Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Milanović, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:877306

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-11**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Mario Milanović

Split,2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split,2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	**PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Mario Milanović
BROJ INDEKSA:	4349
KATEDRA:	**Katedra za metalne i drvene konstrukcije**
PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka:
Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije.
Način izvedbe: montažno
Materijal konstrukcije: S 275
Objekt se nalazi na području Osijeka.
Razmak okvira: 5.0 (m)

U Splitu, 20.09.2018.g.

Voditelj Završnog rada: prof.dr.sc Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

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

Ključne riječi:

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

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

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

Keywords:

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

SADRŽAJ

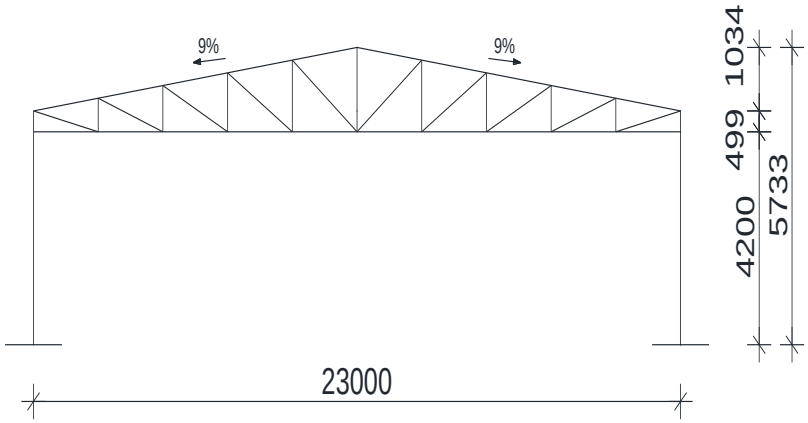
1. TEHNIČKI OPIS 1
1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI 3
1.2.2. STUPOVI 3
1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ 4
1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE 5
1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE 6
2. ANALIZA OPTEREČENJA 7
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE 8
2.3. DJELOVANJE VJETRA 9
3. KONTROLA PROGIBA 18
3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB 19
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA 20
4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W2 21
4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1 22
4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W2) 23
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 25
4.2.2. KROVNI 27
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI 28
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE 30
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE 37
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE 39
5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA 46
5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA 50
5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA 52
5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA 56
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 60
5.2.2. ZABATNI STUPOVI 69
5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA 73

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA 79
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA 81
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE 86
6.3. SPOJ STUP-REŠETKA 88
7. PRORAČUN TEMELJA 92
8. LITERATURA 94
9. NACRTI 95
9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200 96
9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50 97
9.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10 98
9.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50 99
9.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50 100
9.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10 101
9.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU 102

1. TEHNIČKI OPIS

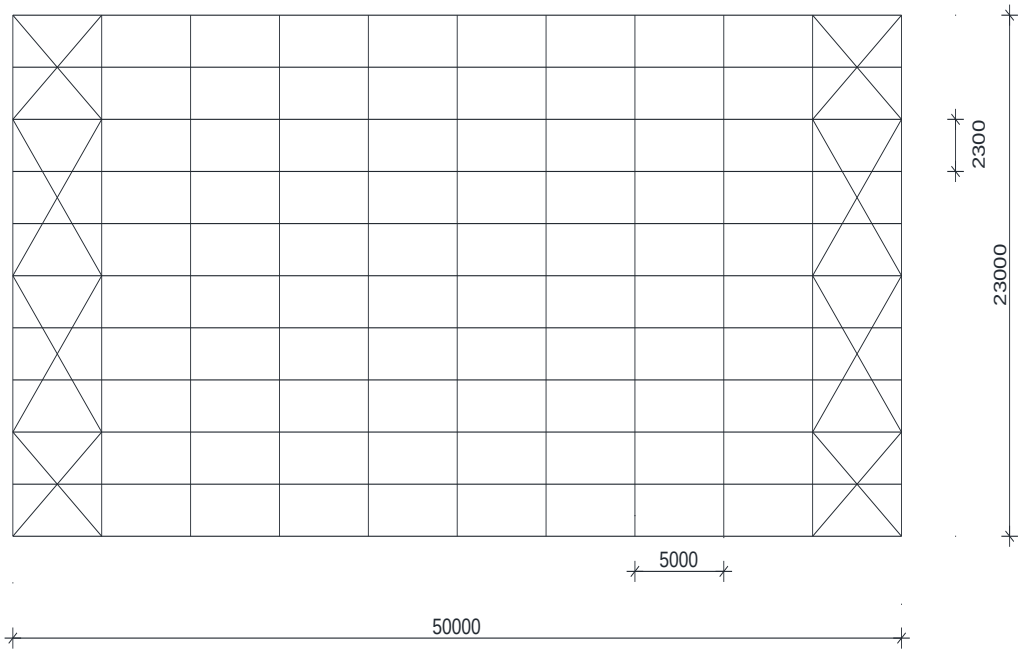
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

Predmetna građevina nalazi se na području grada Osijeka. Tlocrtne dimnzije su 23.0 x 50.0 m, a visina iznosi 5.73 m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom α = 5.14°, 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 23 m, stabilnih u svojoj ravnini na međusobnom osnom razmaku od 5.0 m.



Slika 2 tlocrtni prikaz hale

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (krovne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.31 m, a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 1.4 m.

Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem).

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

Stupovi i grede su nosači međusobno spojeni zglobnim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je upetom vezom.

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 120x120x7.1.
Gornji pojas je ukupne dužine (do sljemena) 11 546 mm, a donji pojas je ukupne dužine 23 000mm. Spojevi su pozicionirani na mjestima največih vlačnih sila.

1.2.2. STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi I profila, tipa HEA 200 ukupne dužine 4200 mm. Zabatni stupovi su I profila, tipa HEA 200 na razmacima 4.6 m i 6.9 m. Odabrani profil stupa zadovoljava pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja, točnije pomaci stupa su manji od dopuštenih pomaka.

1.2.3. ISPUNA REŠETKE (Vertikale i dijagonale)

Proračunom je odabrane (zadovoljavaju GSN i GSU) i za vertikale i za dijagonale šuplji hladno oblikovani profil CFRHS 120x100x2.5. 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 200O. Projektirane su kao proste grede (od nosača do nosača) dužine su 5000mm, 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 5000mm.

1.2.5. SPREGOVI

U konstrukciji su korišteni horizontalni (krovni) i vertikalni (bočni) spregovi za prostornu stabilizaciju objekta. Služe za prijnost horizontalnih (vjetrovnih) sila preko konstrukcije na temelje objekta. Polja za vertikalni i horizontalno ukručenje smješteni su u prvom i posljednjem polju konstrukcije. Za spregove koristimo okrugli puni presjek ,za krovne i bočne spregove profil RD 10.

1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ

Spoje se ostvaruje podložnom pločicom dimenzije 420x240x25 mm navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano betonski temelj dimenzija 1.5x1.5x1.0m. 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 350x320x10 mm,ukrutom i vijcima M16 k.v.10.9 nosivim na vlak i odrez.

1.2.8. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Vlačni nastavak rešetke se ostvaruje čeonom pločom dimenzija 260x260x25 mm i vijcima M20 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.

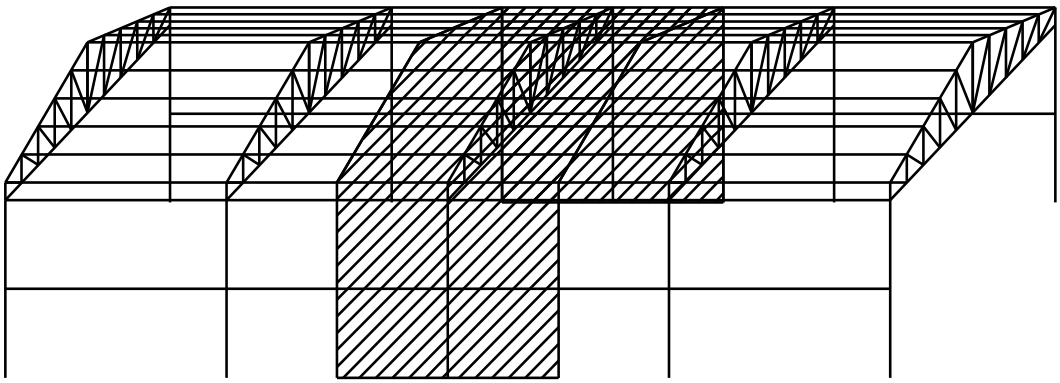
1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

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

STALNA OPTEREĆENJA: - vlastita težine konstrukcije
-instalacije
-pokrov

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

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



Slika 3 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 opterečenja.

1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni rešetkasti okvir, sekundarne konstrukcije, stupovi, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika (standarne kvalitete) S275.
Računske vrijednosti koeficijenata čelika su:
E=210 000 N/mm^2
G≈81 000 N/mm^2
v=0.3
f_y=275 N/mm^2 za t≤ 40mm
f_y=275 N/mm^2 za 40mm ≤t≤ 80mm
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 1994	dimenzioniranje armirano betonskih konstrukcija

1.6. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

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

1.7. ZAŠTITA OD POŽARA

U svrhu produljenja zagrijavanja konstruktivnih elemenata predmete hale, svi tavi elementi moraju se zaštitii 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 OPTEREČENJA

2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (REŠETKASTI NOSAČ)

STALNO OPTEREĆENJE

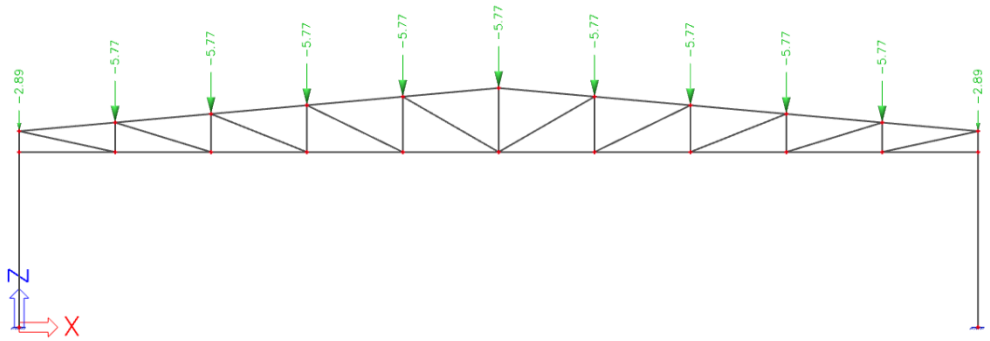
KROVNA PLOHA:

SENDVIČ PANELI	0.20kN/m^2
SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA I SPREGOVI	0.20kN/m^2
INSTALACIJE	0.10kN/m^2
UKUPNO:	0.50kN/m^2

$$G = a \cdot l \cdot g \qquad a = \frac{2.3}{\cos(5.14)} = 2.309$$

$$G = 2.309 \cdot 5.0 \cdot 0.50 = 5{,}773kN$$

$$\frac{G}{2} = 2{,}89kN$$



Slika 5 Djelovanje stalnog opterećenja na glavni nosač

2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

Djelovanje snijega: $s=\mu_i \cdot C_e \cdot C_i \cdot s_k$

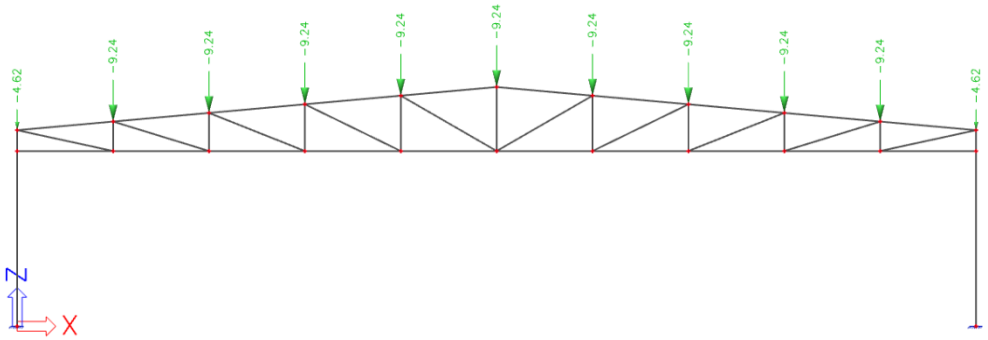
μ_i –koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ovisi o obliku i nagibu krova, te nadmorskoj visini, iz dijagrama)
s_k- karakteristična vrijednost opterećenja na tlu kN/m^2
Ce- koeficijent izloženosti (usvojena vrijednost 1.0)
Ci- toplinski koeficijent (usvojena vrijednost 1.0)

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

Lokacija objekta: Osijek
Nadmorska visina:0-100 m n.m.
Opterećenje snijegom na tlo: s_k= 1.00kN/m^2

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$s=\mu_i \cdot C_e \cdot C_i \cdot s_k$ S=0.80·5.0·2.309=9.24kN
s=0.8·1.0·1.0·1.00
s=0.80kN/m^2 S/2=4.62kN



Slika 6 Opterećenje glavnog nosača snijegom

2.3. DJELOVANJE VJETRA

• <u>Pritisak vjetra na vanjske površine:</u>

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

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

• Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

ρ - gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa: **1.25 kg/m^3**)
v_b - osnovna brzina vjetra

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

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

$v_{b,0}$ = 20 m/s $\rightarrow$ očitano iz karte za područje oko Osijeka

$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 20 = 20$ [m/s]

$k_r = 0{,}19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot (0.05/0{,}05)^{0{,}07} = 0{,}19$

$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0{,}19 \cdot \ln(5.73/0{,}05) = 0{,}9$

$v_m(z) = 0{,}9 \cdot 1{,}0 \cdot 20 = 18$ (m/s)

intezitet turbulencije

$I_v = 0.211$

• Pritisak brzine vanjskog vjetra pri udaru:

$q_p\ |z_e| = (1+7 \cdot 0.211) \cdot 0.5 \cdot 1.25 \cdot 18^2 = 0.5$ kN/m^2

Određivanje faktora izloženosti:

Visina objekta h=5.73m

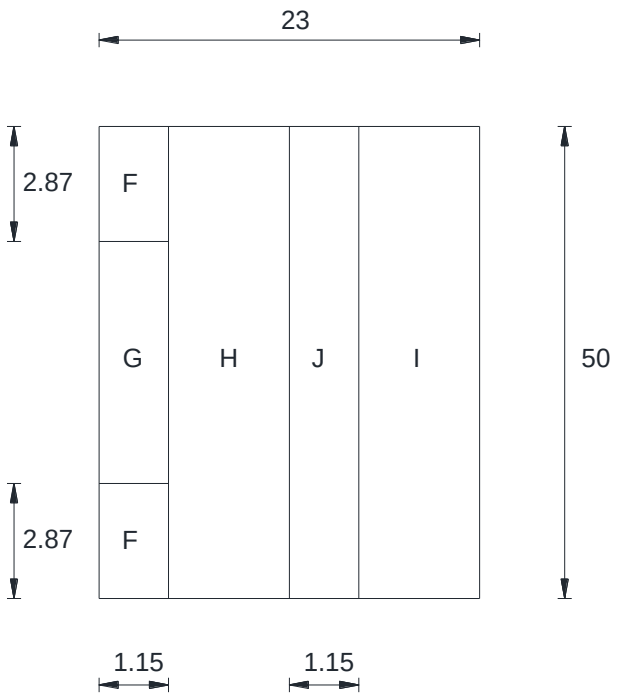
<u>Kategorija zemljišta II</u>

$C_{e(z)}$=2.0

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = q_b \cdot C_{e(z)} = 0.250 \cdot 2.0 = 0.5\text{kN/m}^2$$

Uzeta vrijednost:0,5kN/m²



ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KOSOG KROVA

Θ=0

e=min(b,2h)→(50,11.46)→e=11.46

Slika 8 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba α=5.14°, za područje dvostrešnog kosog krova Θ=0(određeno interpolacijom iz tablice između 5° i 15°)

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

Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

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

Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

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

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

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

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

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

$$w_k = q_P \cdot (C_{pe} + C_{pi})[kN/m^2]$$
$$q_p = 0.5 kN/m^2$$
$$W_k = w_k \cdot L[kN/m'] \rightarrow L = 5.0m(\text{razmak glavnih nosača})$$

<u>Vjetar W1 pozitivi unutarnji pritisak</u>

PODRUČJE	F	G	H	I	J
C_{pe}"+"C_{pi}	-1.9	-1.4	-0.8	-0.8	0
w_k[kN/m^2]	-0.95	-0.7	-0.4	-0.4	0
W_k[kN/m']	-4.75	-3.5	-2.0	-2.0	0

Tablica 1 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
C_{pe}"+"C_{pi}	+0.3	+0.3	+0.3	-0.3	-0.3
w_k[kN/m^2]	+0.15	+0.15	+0.15	-0.15	-0.15
W_k[kN/m']	+0.75	+0.75	+0.75	-0.75	-0.75

Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

Sile u čvorovima krova

Vjetar W1 pozitivi unutarnji pritisak

W_1 = 3.5*2,309/2=-4.04 kN → zona G
W_2 = 2*2.309 = -4.618 kN →zona H
W_3 = 2*2.309 = -4.618 kN → zona H
W_4 = 2*2.309 = -4.618 kN → zona H
W_5 = 2*2.309 = -4.618 kN → zona H
W_{6L} =2*2.309/2=-2.309 → zona H
W_{6D} = 0 → zona J
W_7 =2*2.309 = -4.618 kN → zona I
W_8 = 2*2.309 = -4.618 kN → zona I
W_9 = 2*2.309 = -4.618 kN → zona I
W_{10} =2*2.309 = -4.618 kN → zona I
W_{11} =2*2.309/2=-2.309 → zona I

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

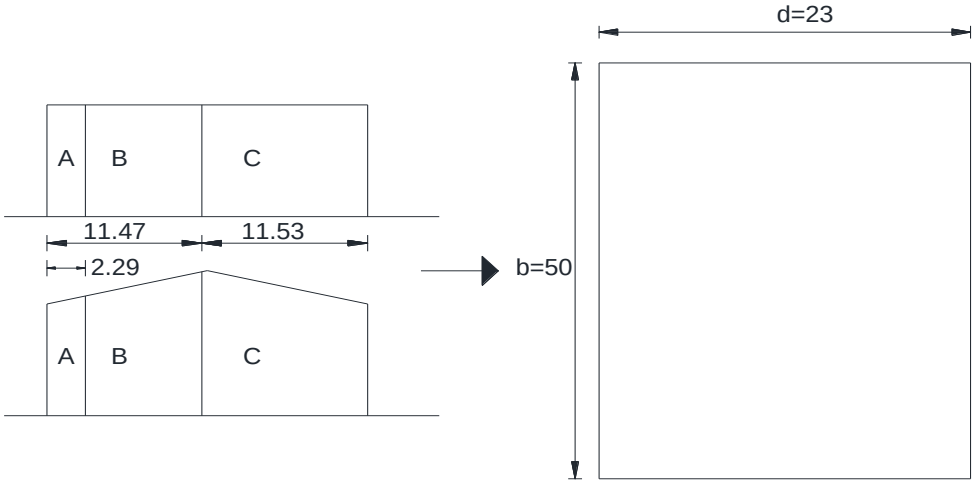
W_1 = 0.75*2.309/2=0.87 → zona G
W_2 =0.75*2.309=1.73 →zona H
W_3 = 0.75*2.309=1.73 → zona H
W_4 =0.75*2.309=1.73 → zona H
W_5 =0.75*2.309=1.73 → zona H
W_{6L} = 0.75*2.309/2=0.87 → zona H
W_{6D} = 0.75*2.309/2=-0.87 → zona J
W_7 =0.75*2.309=-1.73 → zona I
W_8 =0.75*2.309=-1.73 → zona I
W_9 =0.75*2.309=-1.73 → zona I
W_{10} =0.75*2.309=-1.73 → zona I
W_{11} =0.75*2.309/2=-0.87 → zona I

ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE

e=min(b,2h)→min(50,11.46)
e=11.46m

h=5.73m
d=23m

$$\frac{h}{d} = \frac{5.73}{23} = 0.249$$



Slika 10 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove- bočni pogled

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove h/d=0.249

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1.2	-0.8	-0.5	+0.7	-0.3

Tablica 2 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 → C_{pi}=-0.3 ,+0.2

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

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
C_{pe}"+"C_{pi}	-0.9	-0.5	-0.2	+1.0	-0.0

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

$$w_k = q_P \cdot (C_{pe} + C_{pi})[kN/m^2]$$
$$q_p = 0.5\ kN/m^2 \rightarrow \text{preuzeto iu analize opterećenja glavnog nosača}$$
$$W_k = w_k \cdot L[kN/m'] \rightarrow L = 5.0m(\text{razmak glavnih nosača})$$

Vjetar W1, pozitivni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
C_{pe}"+"C_{pi}	-1.4	-1.0	-0.5	+0.5	-0.5
w_k[kN/m^2]	-0.7	-0.5	-0.25	+0.25	-0.25
W_k[kN/m']	-1.61	-4.59	-2.88	+1.25	-1.25

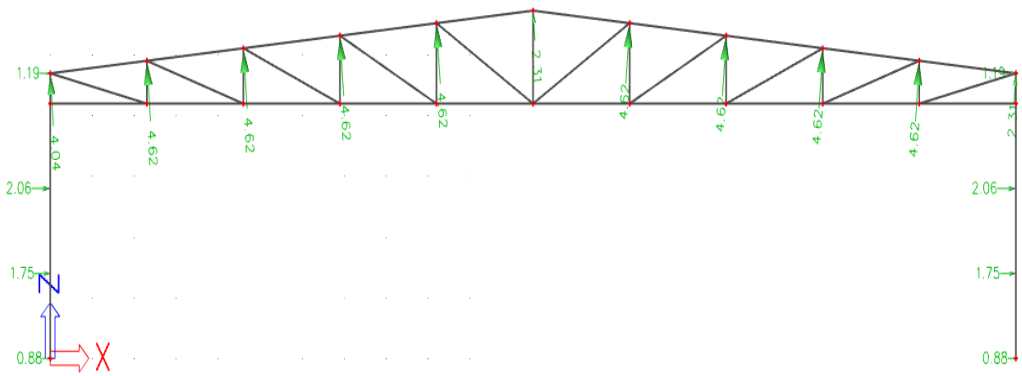
Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2, negativni unutarnji pritisak

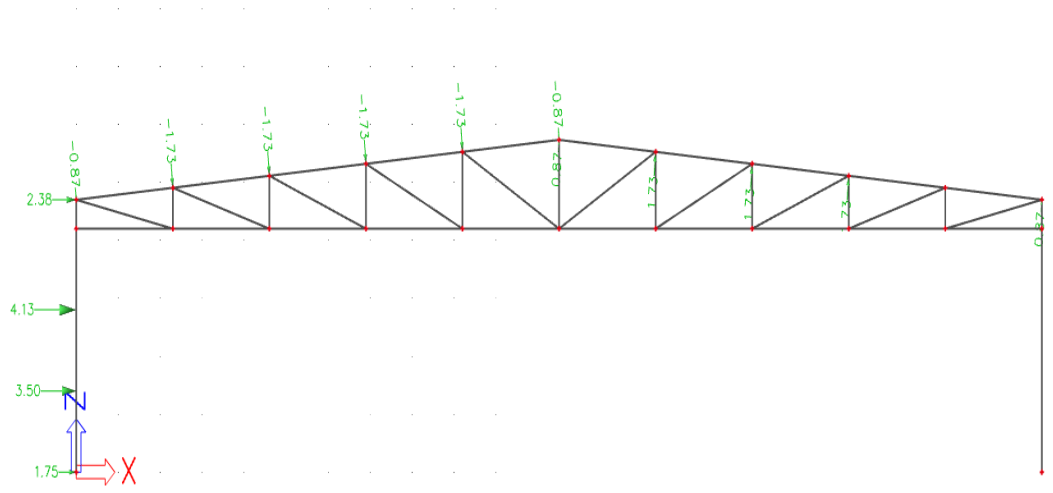
PODRUČJE	A	B	C	D	E
C_{pe}"+"C_{pi}	-0.9	-0.5	-0.2	+1.0	0.0
w_k[kN/m^2]	-0.45	-0.25	-0.1	+0.5	0.0
W_k[kN/m']	-1.04	-2.29	-1.15	+2.5	0.0

Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

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

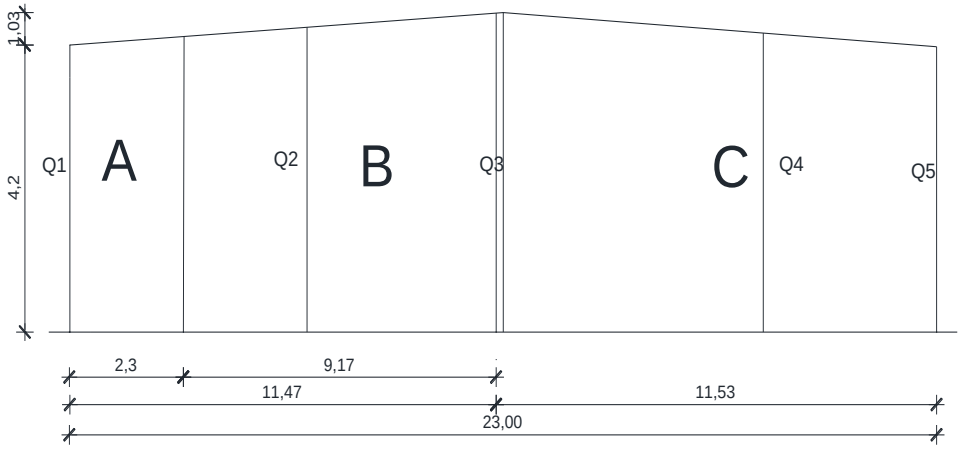


Slika 11 Opterećenje vjetra W1 u čvorovima rešetke



Slika 12 Opterećenje vjetra W2 u čvorovima rešetke

2.4.2. SILE VJETRA NA ZABAT



Slika 9 Područja na zabatu

Vrijednosti pritiska vijetra na zabat W1:

Q1== A*2,3 = -0.7*2,5=-1.61 kN/m
Q2== B*5,75 =-0.5*5,75=-2,9kN/m
Q3== B*2,3+B*1,15+C*2,3+C*1,15=-2,6 kN/m
Q4== C*5,75=-0,25*5,75= -1,44 kN/m
Q5==C*2,3=-0,25*2,3= -0,58 kN/m

Vrijednosti pritiska vijetra na zabat W2:

Q1== A*2,3 = -0,45*2,3=-1,04 kN/m
Q2== B*5,75 =-0,25*5,75= -1,44 kN/m
Q3== B*3,45+C*3,45=-0,25*3,45+(-0,1)*3,45=-1,21 kN/m
Q4== C*5,75=-0,1*5,75= -0,56 kN/m
Q5==C*2,3=-0,1*2,3= -0,23 kN/m

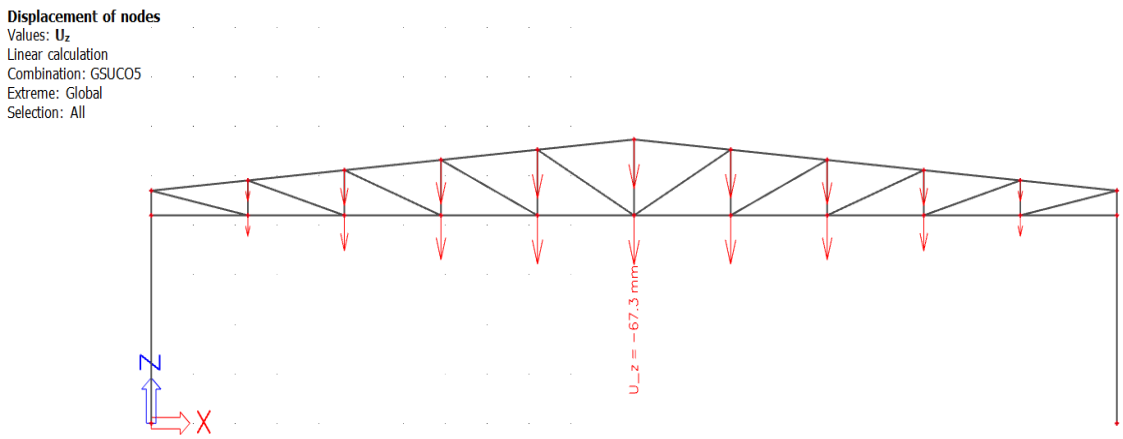
Napomena: Sile Q1-Q5 su dobivene kao jednoliko raspoređeno opterećenje po zabatnim zidovima, reakcije u ležejevima se prenose na krovni spreg,pri čemu je uzeta najveće opterećenje od opterećenja „w1“.

3. KONTROLA PROGIBA

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

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



Slika 1 Vertikalni progib glavnog nosača

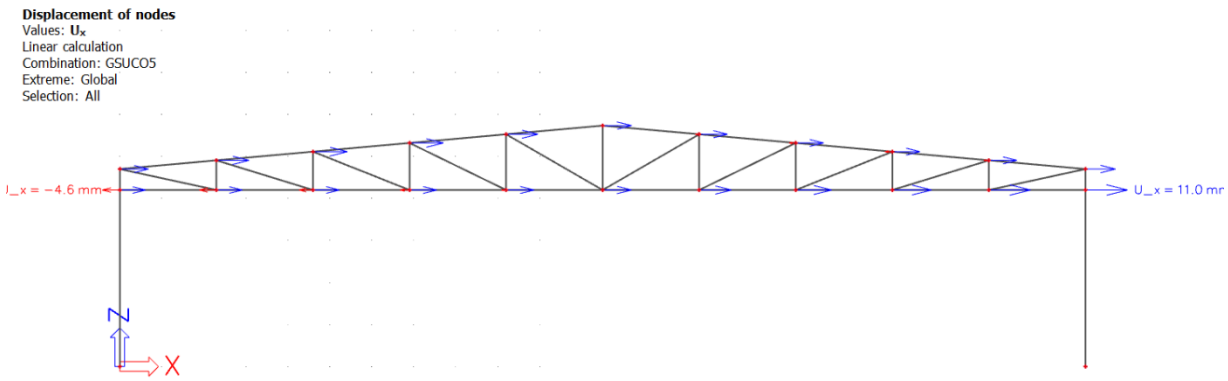
Dopušteni progib: $\frac{L}{300} = \frac{23\,000}{300} = 76.67\text{mm}$

$$\frac{67.3}{76.67} = 0.88 \rightarrow 88\%$$

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

3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB

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



Slika 2 Horizontalni progib glavnog nosača

Dopušteni progib: $\frac{\mathrm{H}}{300} = \frac{5733}{300} = 19.11\mathrm{mm}$

$$\frac{11.0}{19.11} = 0.58 \rightarrow 58\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti sa 58%.

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

-gornji pojas CFRHS 120x120x7.1
-donji pojas CFRHS 120x120x7.1
-vertikale CFRHS 120x100x2.5
-dijagonale CFRHS 120x100x2.5
-stup HEA 200

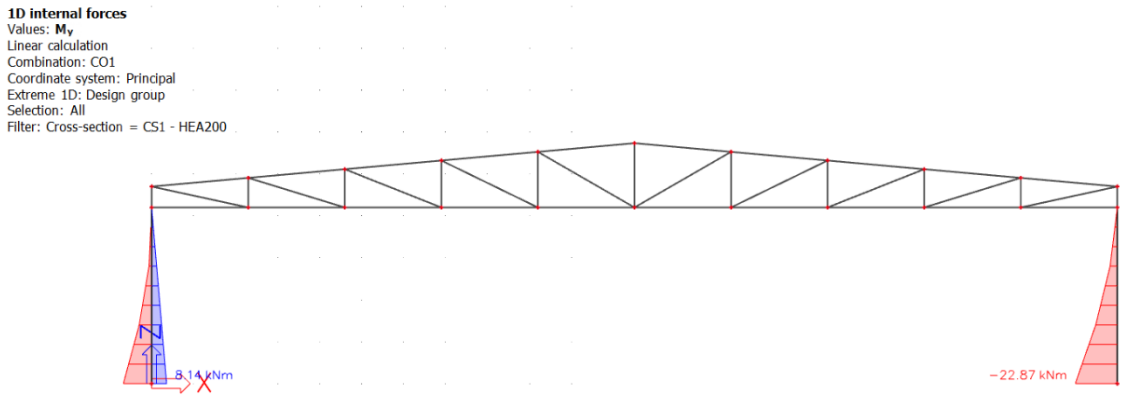
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

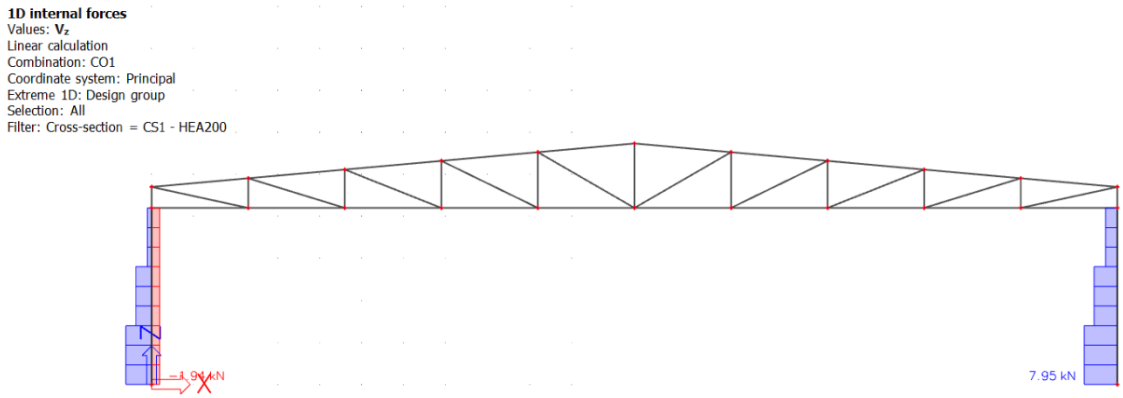
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila dobiveni su za istoimene profile koji su korišteni pri računanju progiba. Profili su usvojeni sa iskoristivosti od 88%.

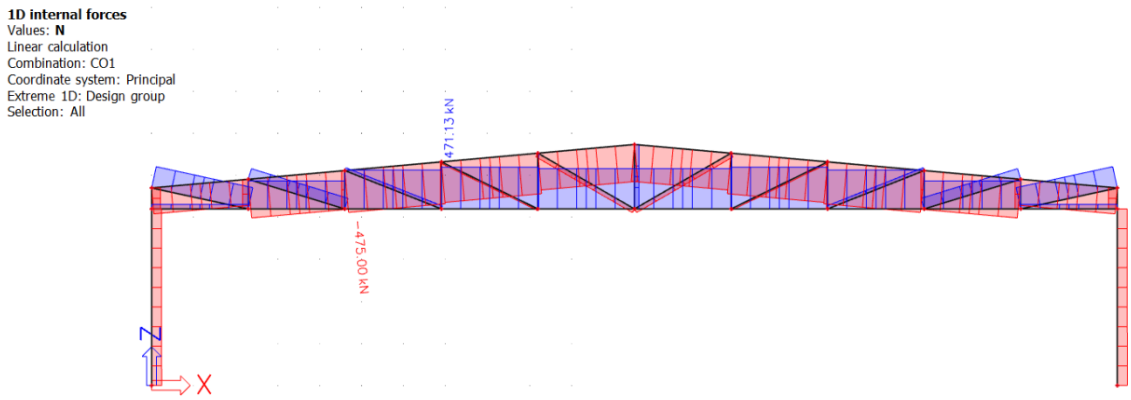
4.1.1. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W1)



Slika 3 Dijagram momenata za kombinaciju 1

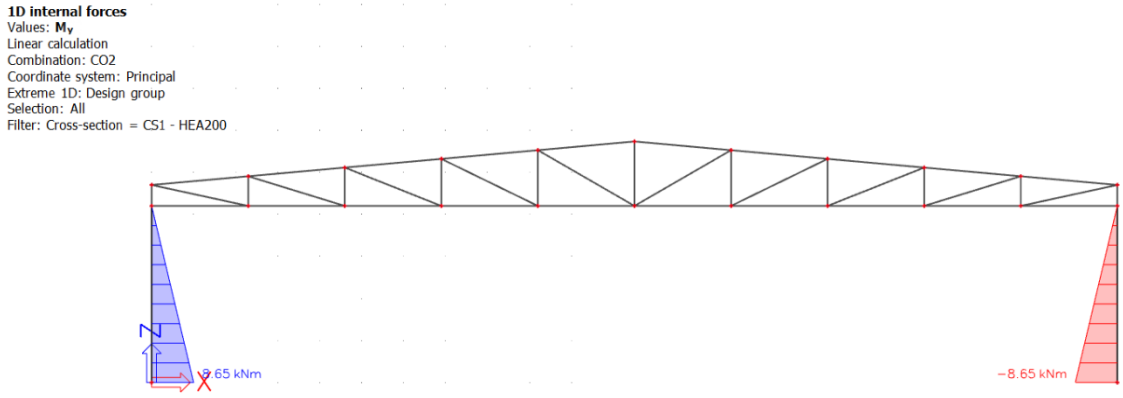


Slika 4 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1

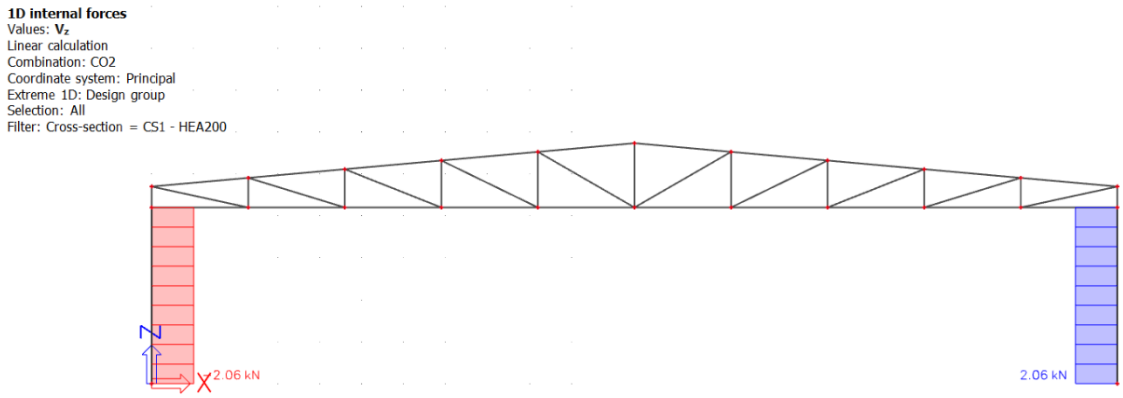


Slika 5 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

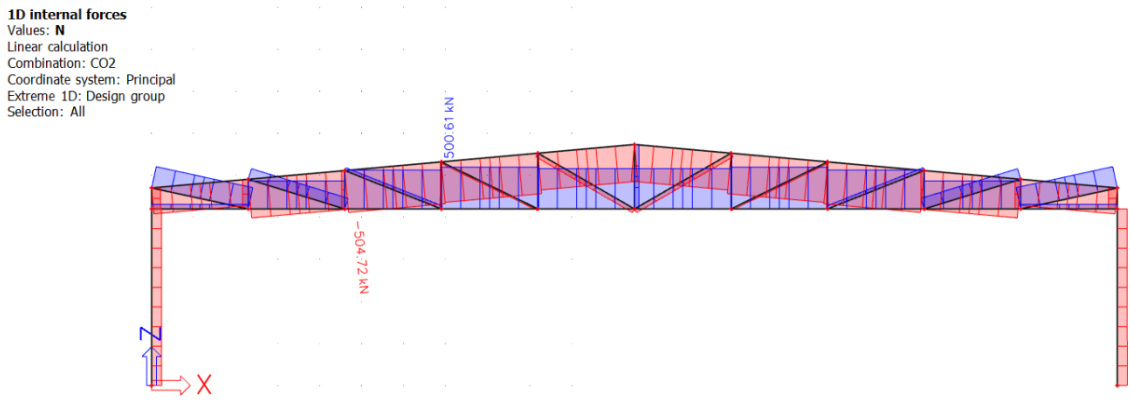
4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5S



Slika 6 Dijagram momenata za kombinaciju 2

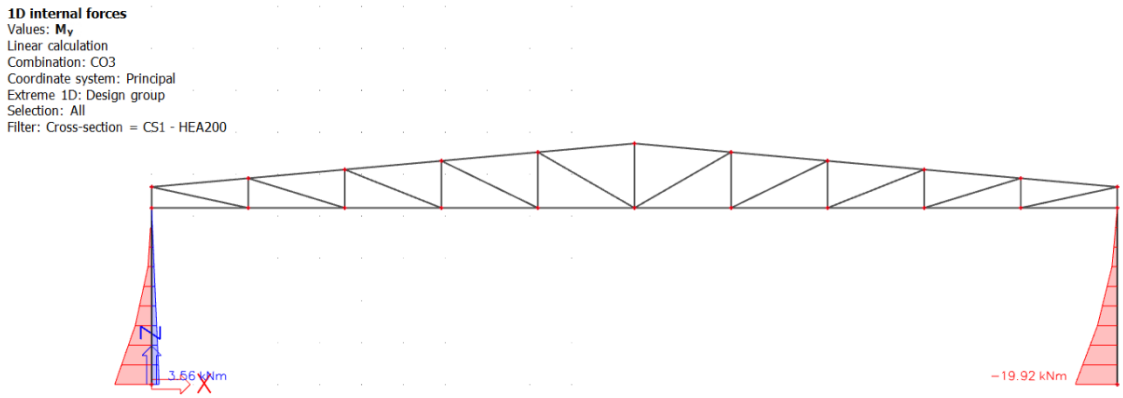


Slika 7 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2

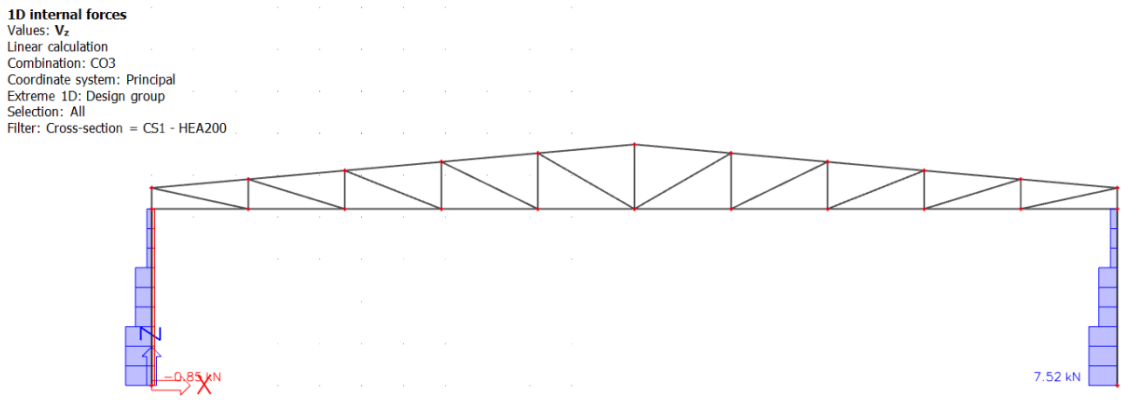


Slika 8 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

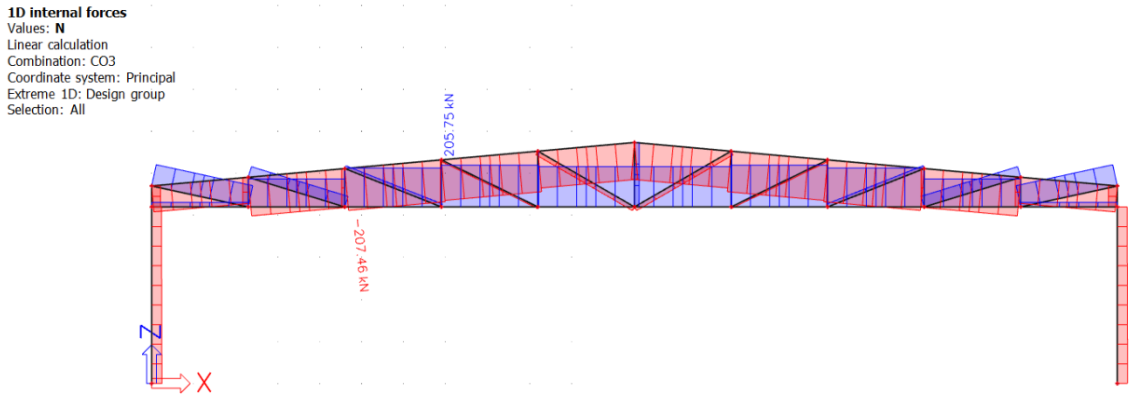
4.1.3. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W1



Slika 9 Dijagram momenata za kombinaciju 3

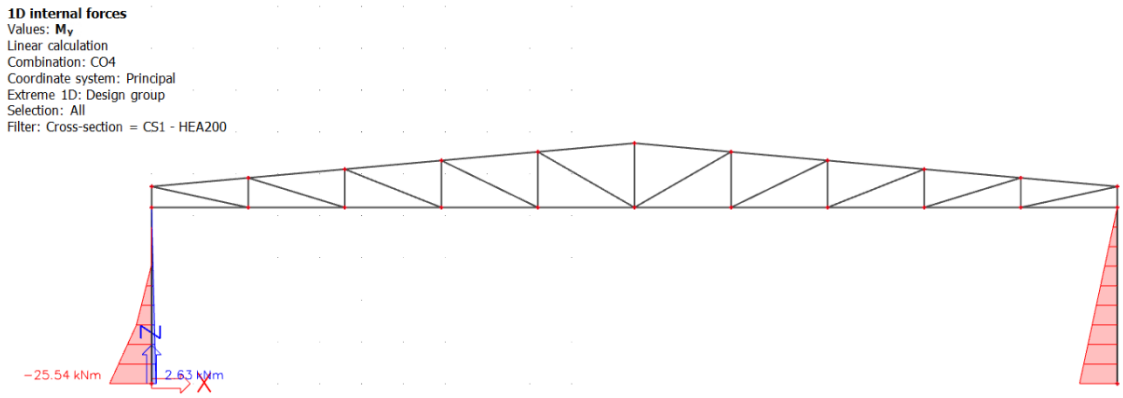


Slika 10 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3

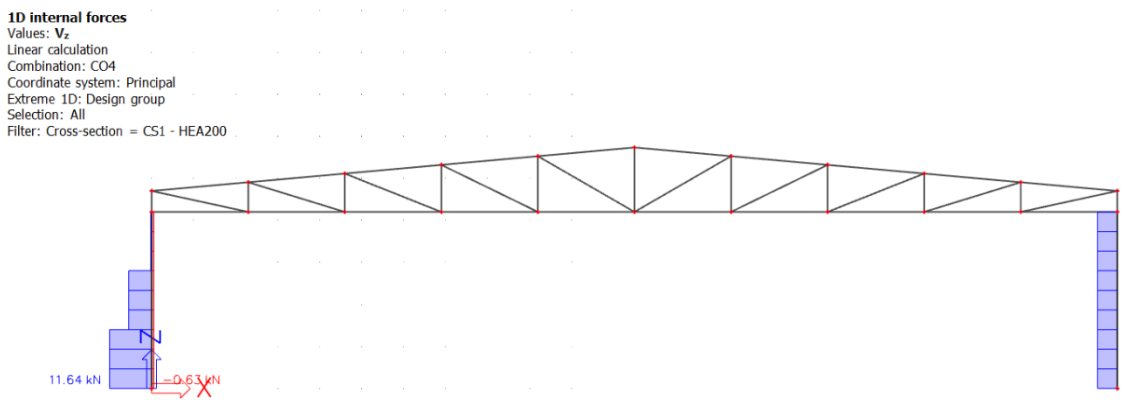


Slika 11 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

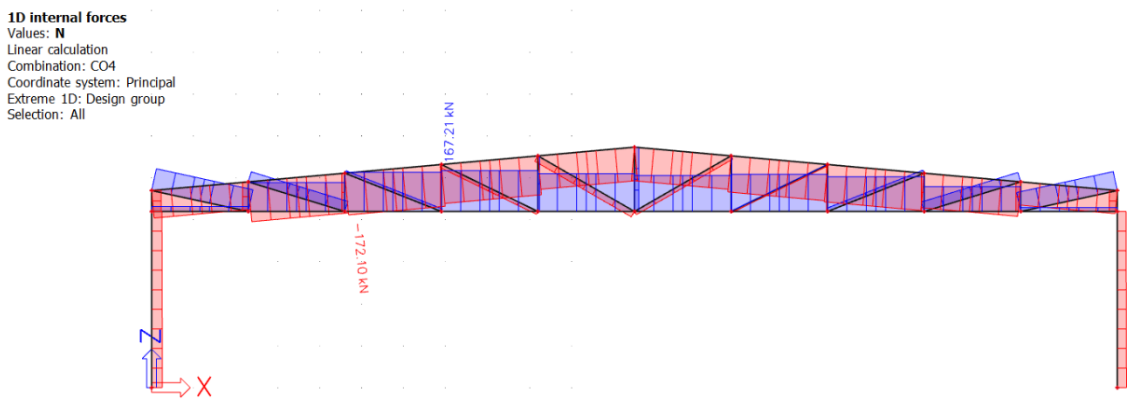
4.1.4. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W2



Slika 12 Dijagram momenata za 4 kombinaciju



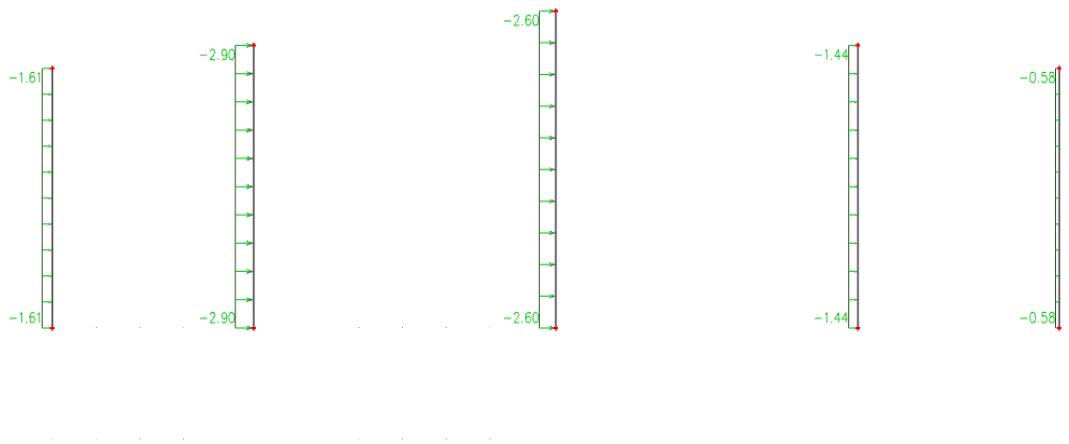
Slika 13 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 4



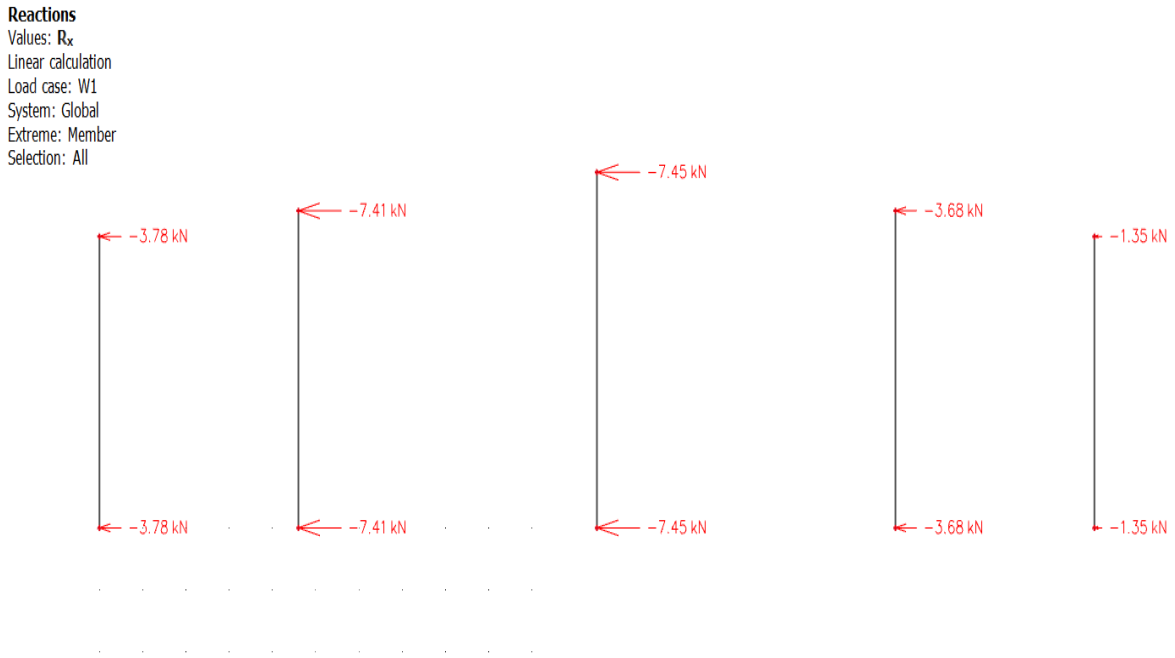
Slika 14 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4

4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

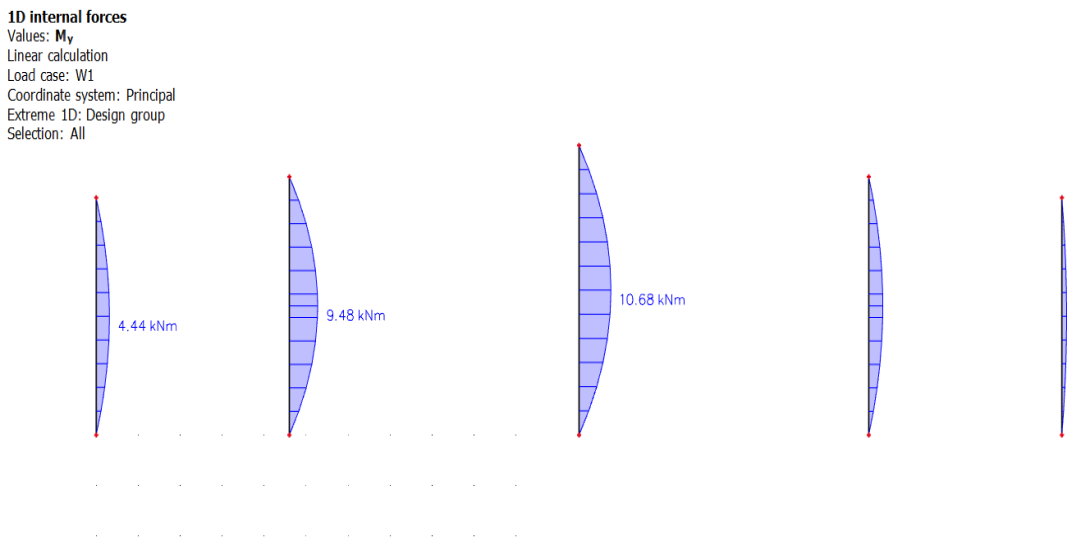
4.2.1. ZABATNI STUPOVI (Za djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1)



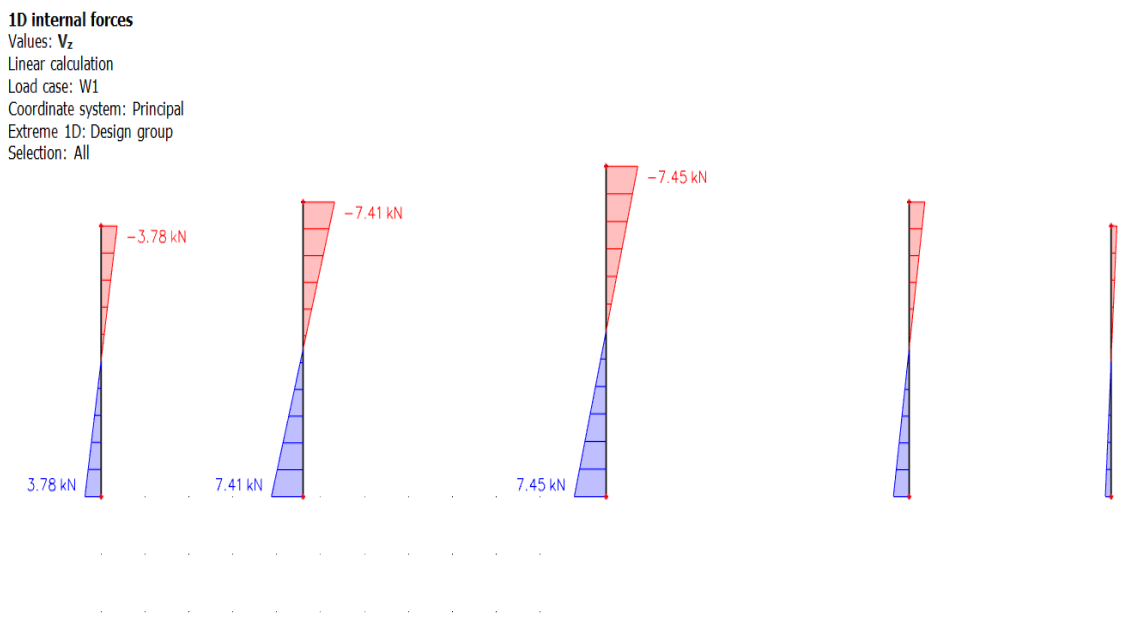
Slika 15 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1 na zabatne stupove



Slika 16 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1

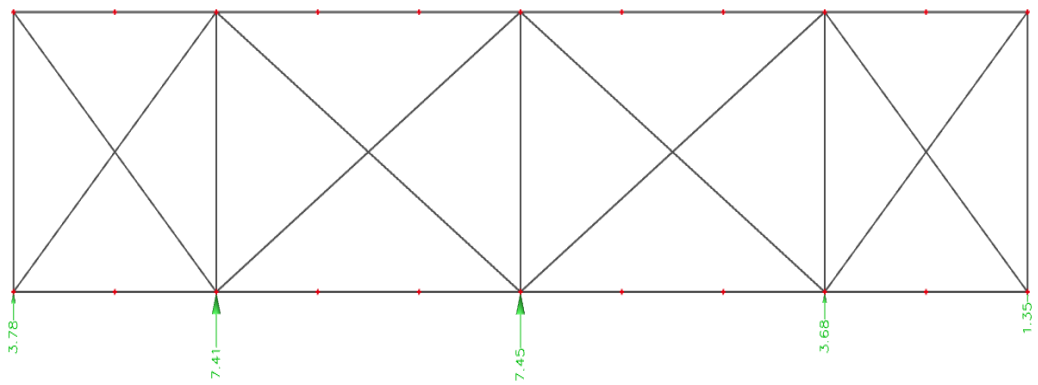


Slika 17 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterečenja W1

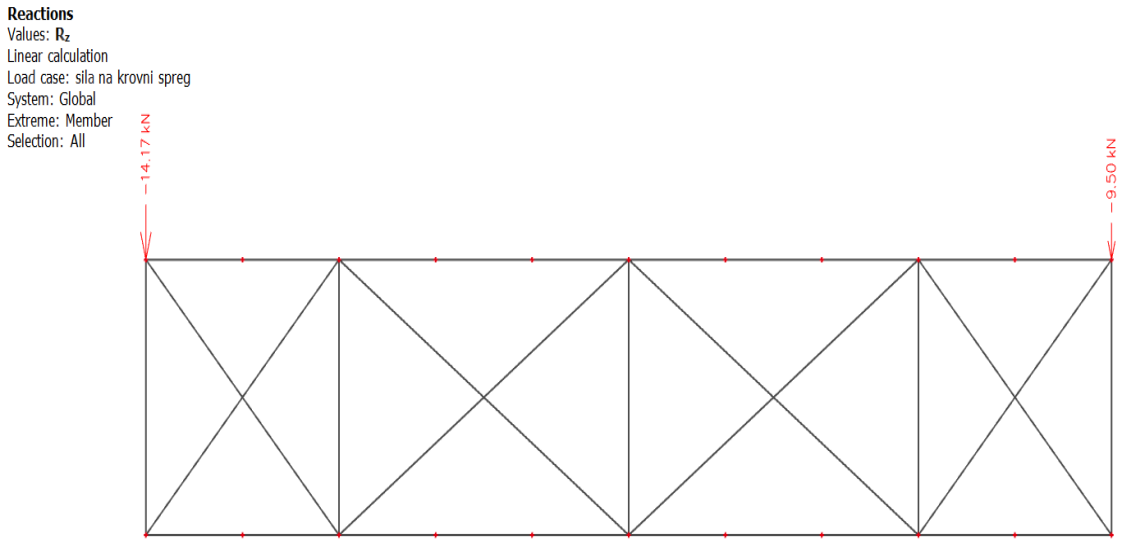


Slika 18 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterečenja W1

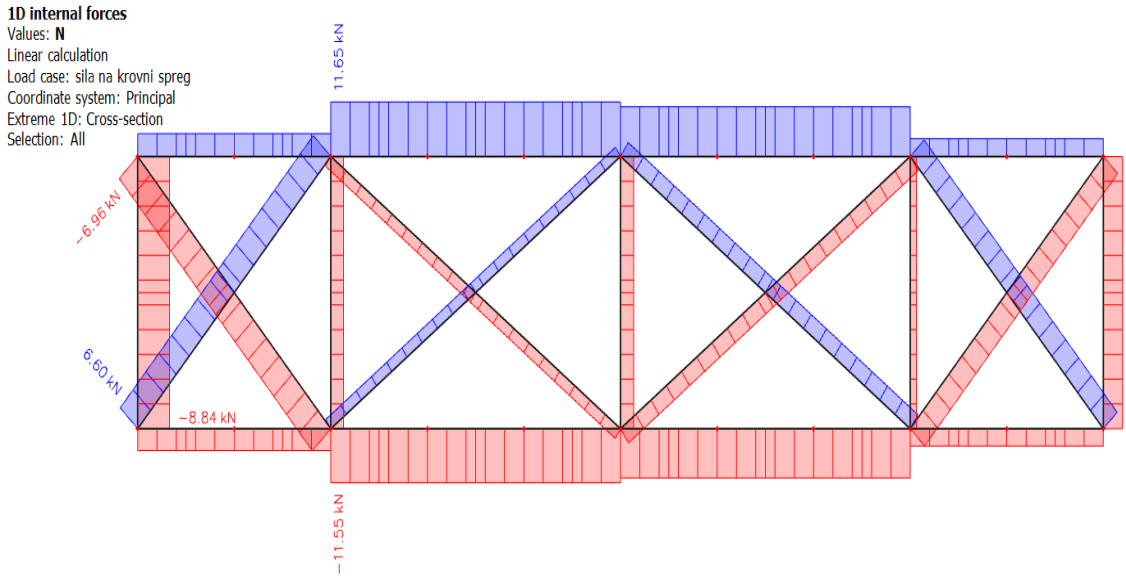
4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI



Slika 19 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova)

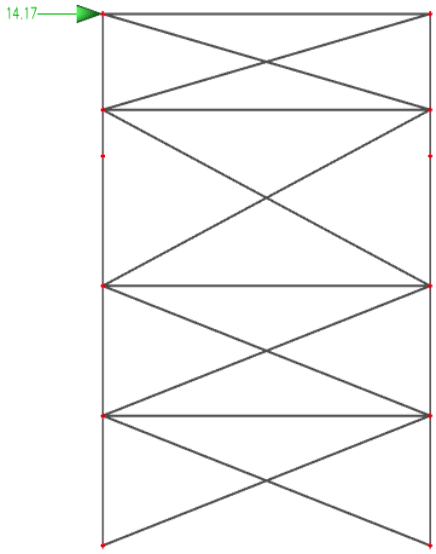


Slika 20 Reakcije horizontalnog sprega

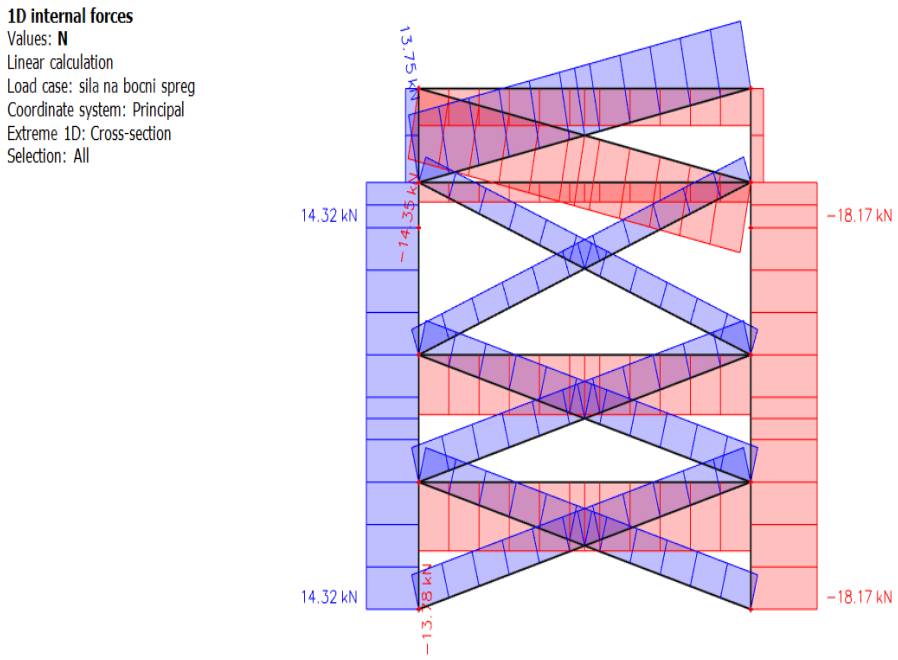


Slika 21 Dijagram uzdužnih sila

4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI



Slika 22 Djelovanje na bočni spreg



Slika 23 DIjagram uzdužnih sila na bočni spreg

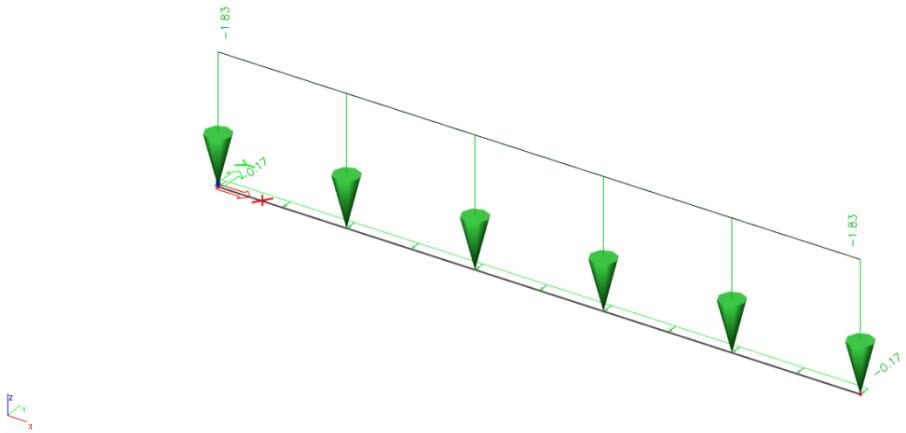
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE

Djelovanja na krovne podroznice (dvoosno stanje naprezanja), l=2.3m α=5.14°

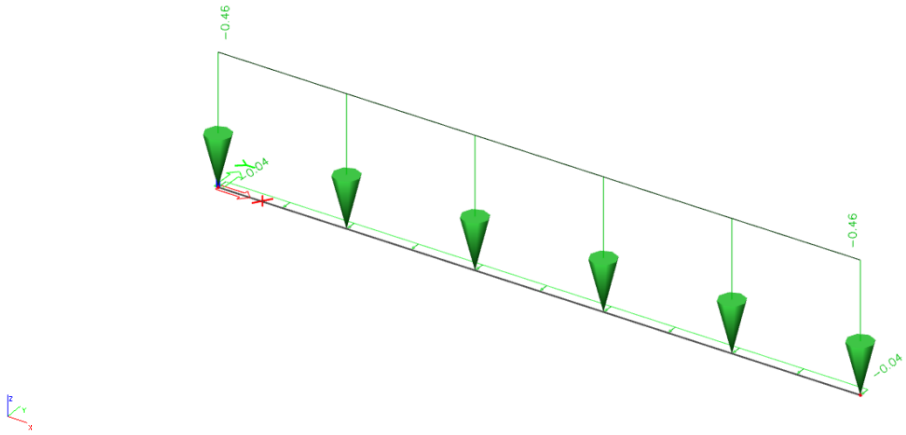
s=0.80kN/m^2 (opterečenje snijegom)
S_y=s·l·cosα=-1.83kN/m'
S_z=s·l·sinα=-0.17kN/m'

-sendvičpaneli(aluminij):g=0.20kN/m^2
G_z=g·l·cosα=-0.46kN/m'
G_y=g·l·sinα=-0.041kN/m'

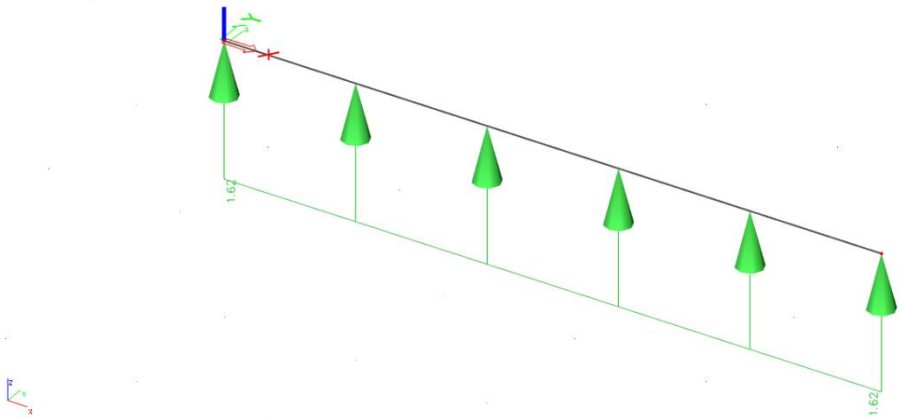
SNIJEG



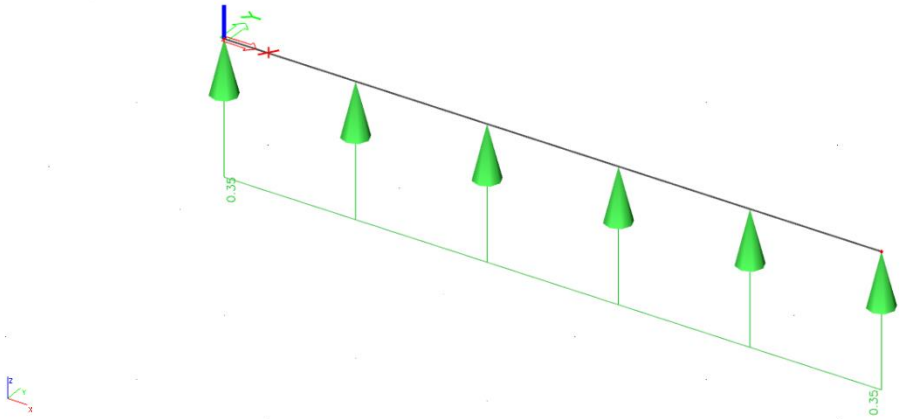
G



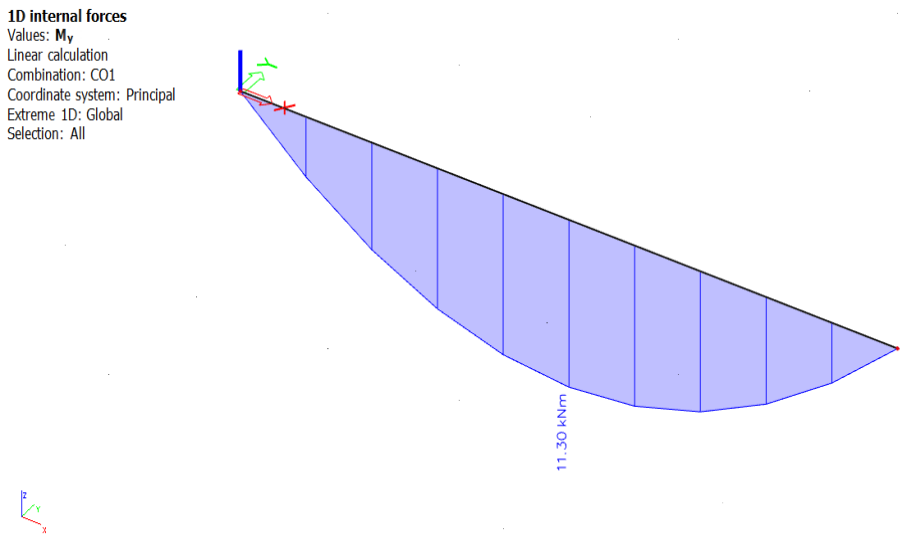
W1

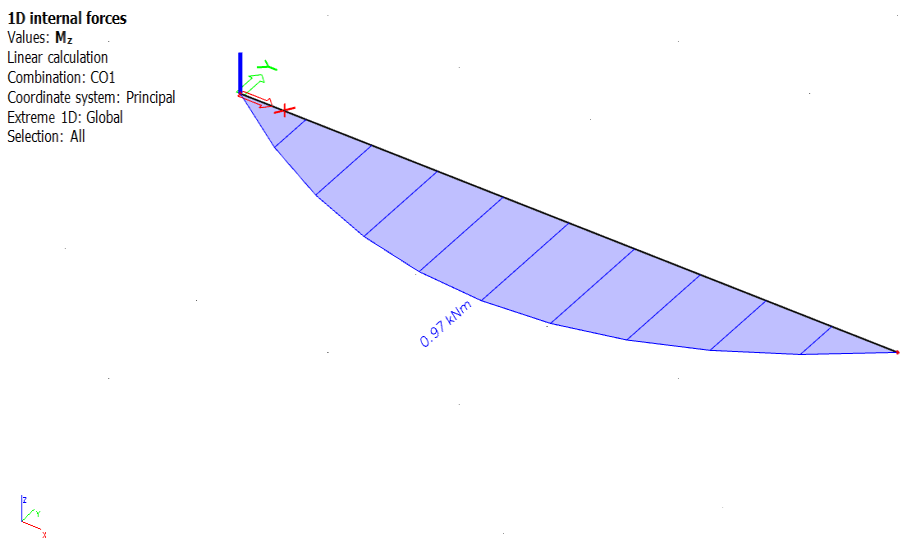


W2

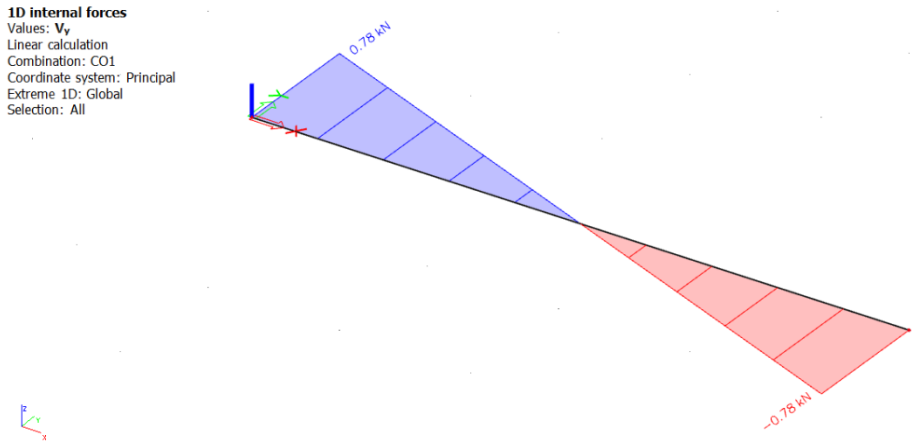


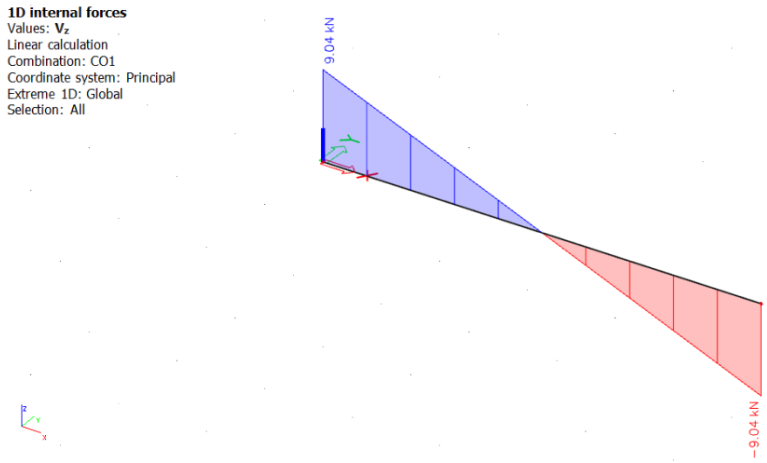
1. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5S





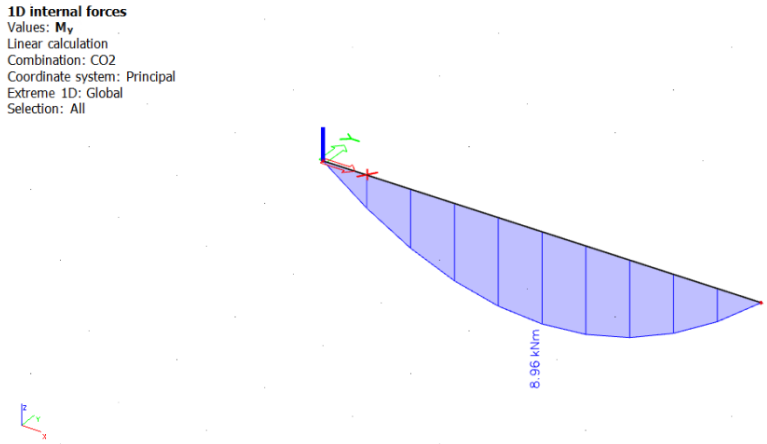
Slika 24 Dijagram momenata My i Mz za kombinaciju 1

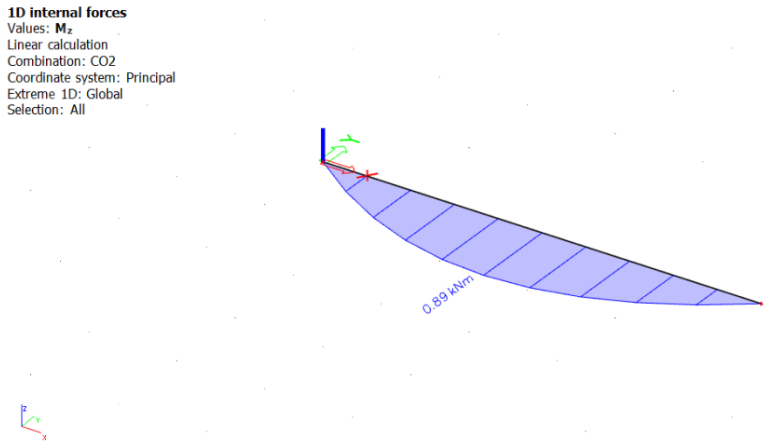




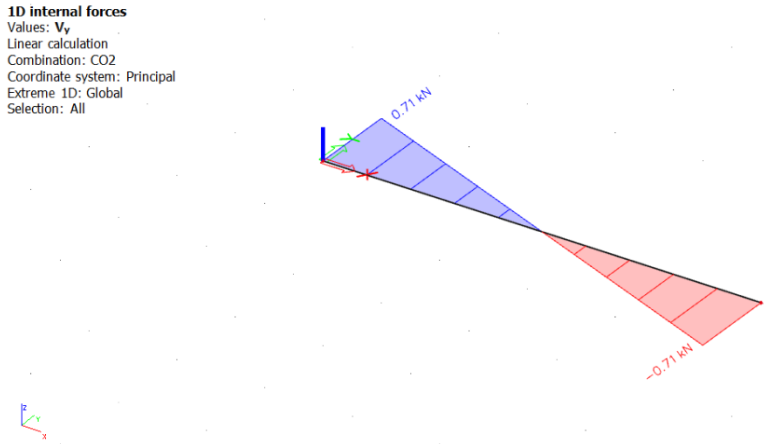
Slika 25 Dijagram poprečnih sila Vy i Vz za kombinaciju 1

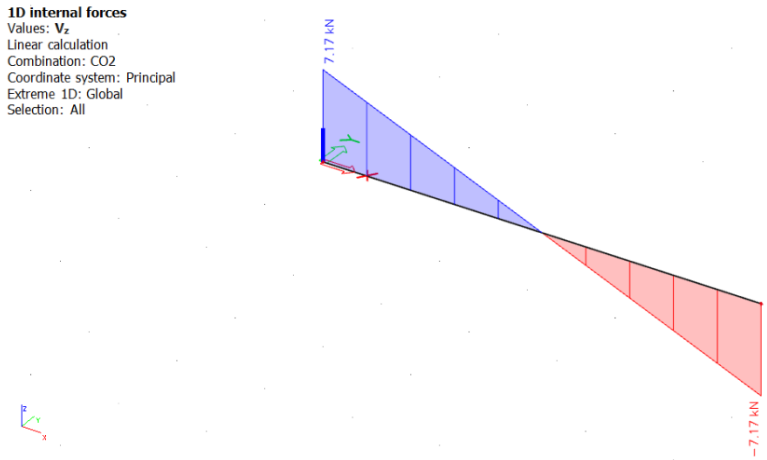
2. KOMBINACIJA 1.35(LC_1+G)+1.5W_2





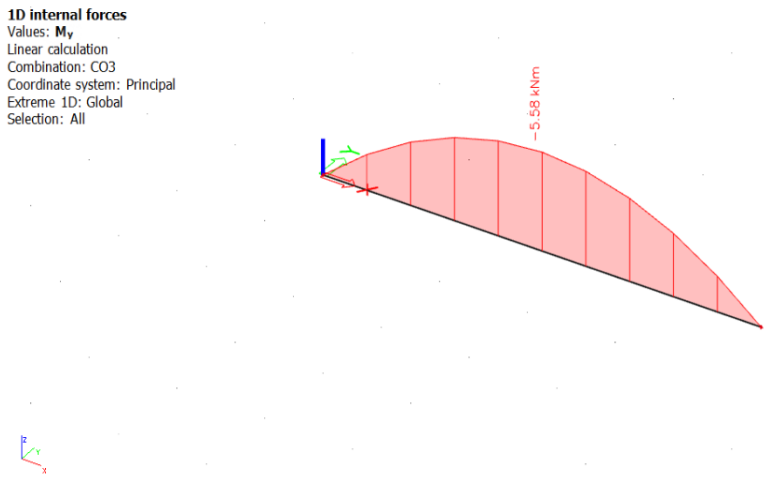
Slika 26 Dijagram momenata My i Mz za kombinaciju 2

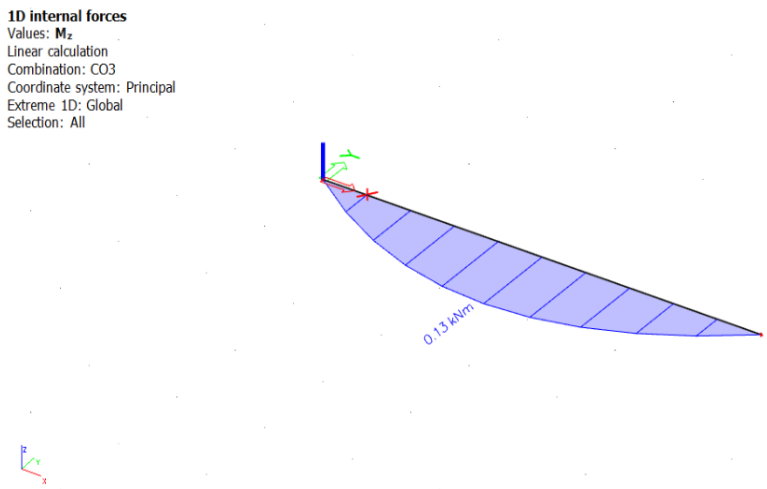




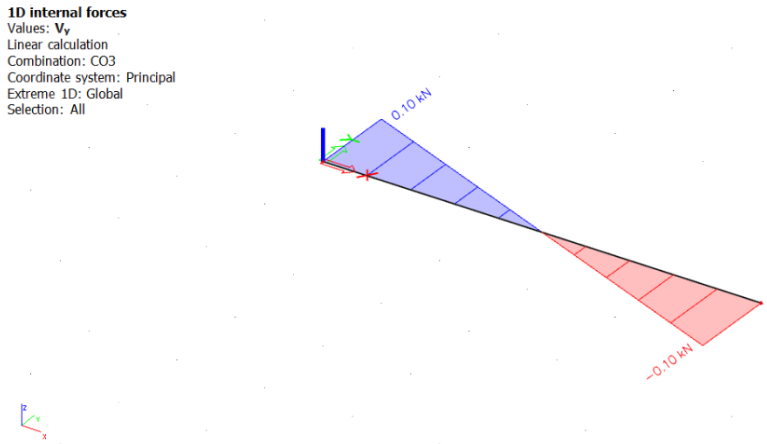
Slika 27 Dijagram poprečnih sila Vy i Vz za kombinaciju 2

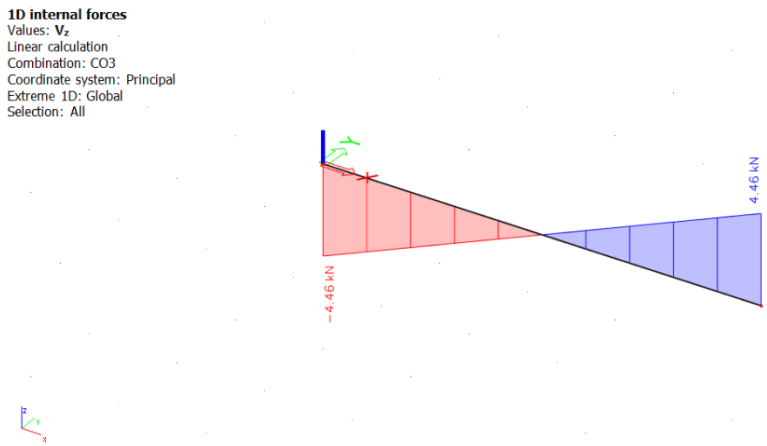
3. KOMBINACIJA 1.35(LC_1+G)+1.35(S+W_2)





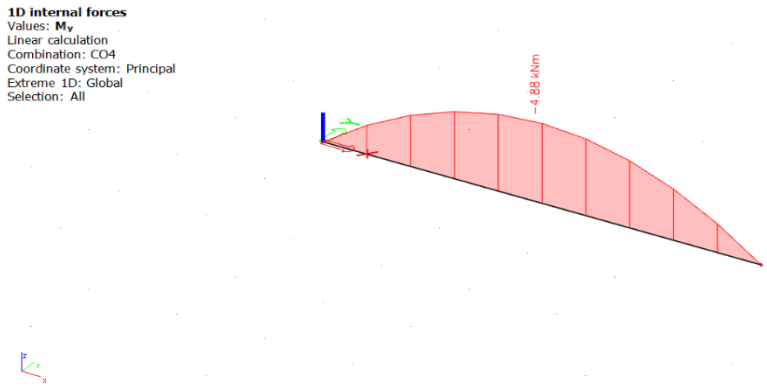
Slika 28 Dijagram momenata My i Mz za kombinaciju 3

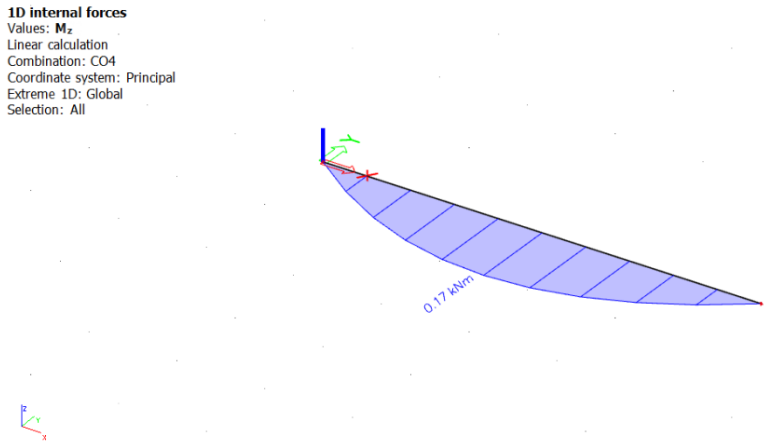




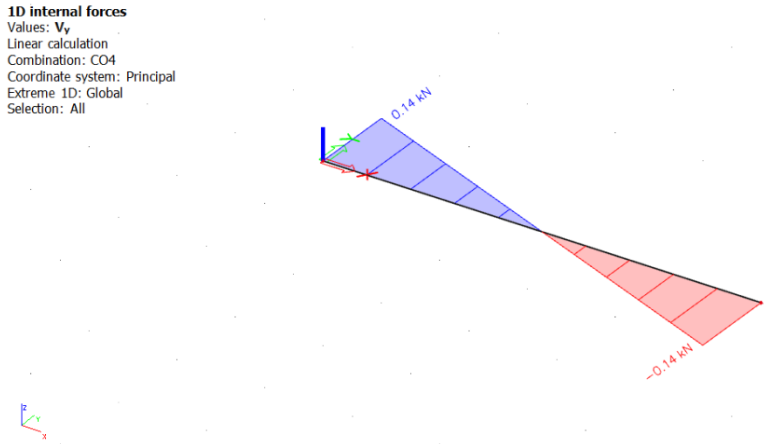
Slika 29 Dijagram poprečnih sila Vy i Vz za kombinaciju 3

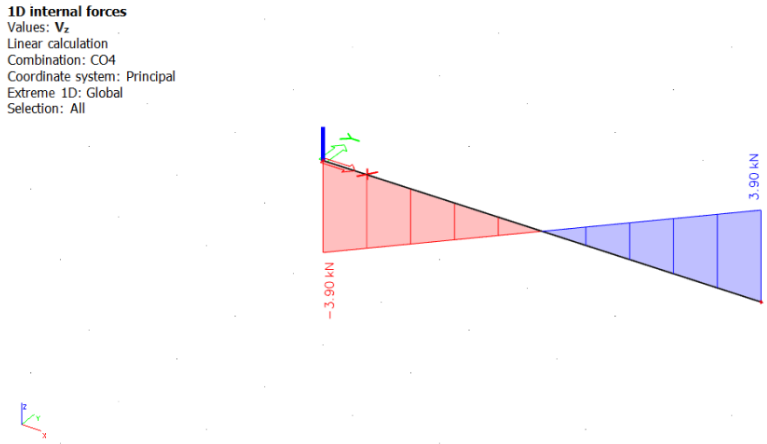
4. KOMBINACIJA 1.0(LC_1+G) + 1.5W_1





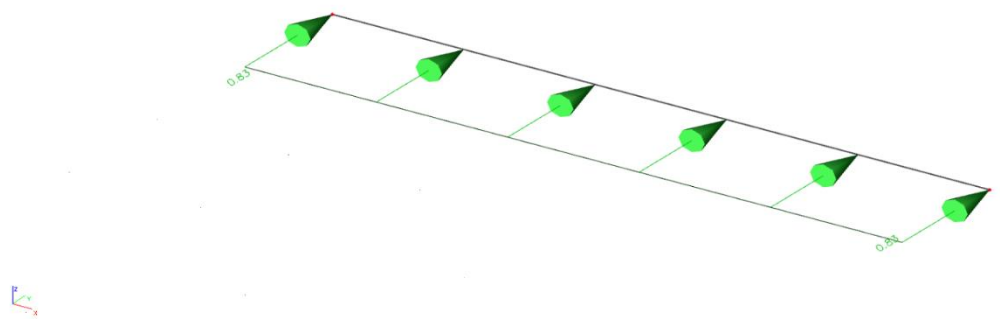
Slika 30 Dijagram momenata My i Mz za kombinaciju 4



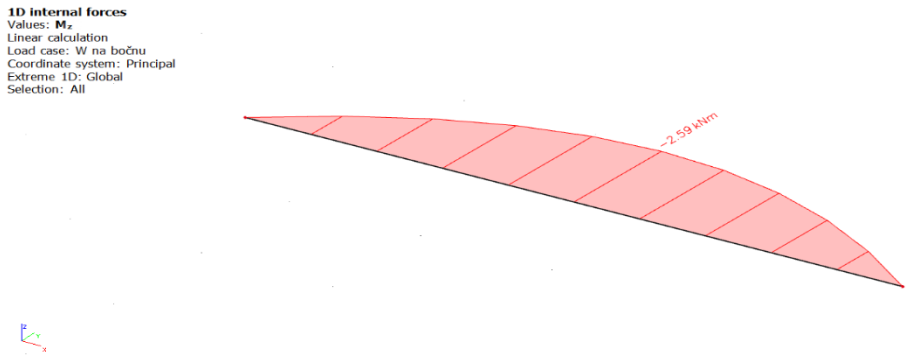


Slika 31 Dijagram poprečnih sila Vy i Vz za kombinacju 4

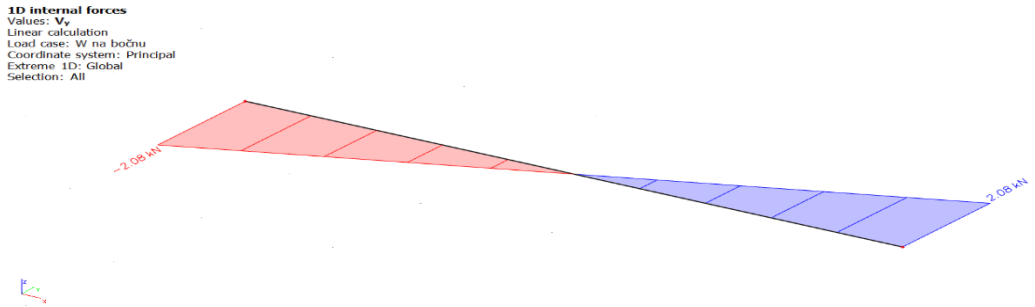
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE



Slika 32 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu



Slika 33 Dijagram momenata za djelovanje vjetra

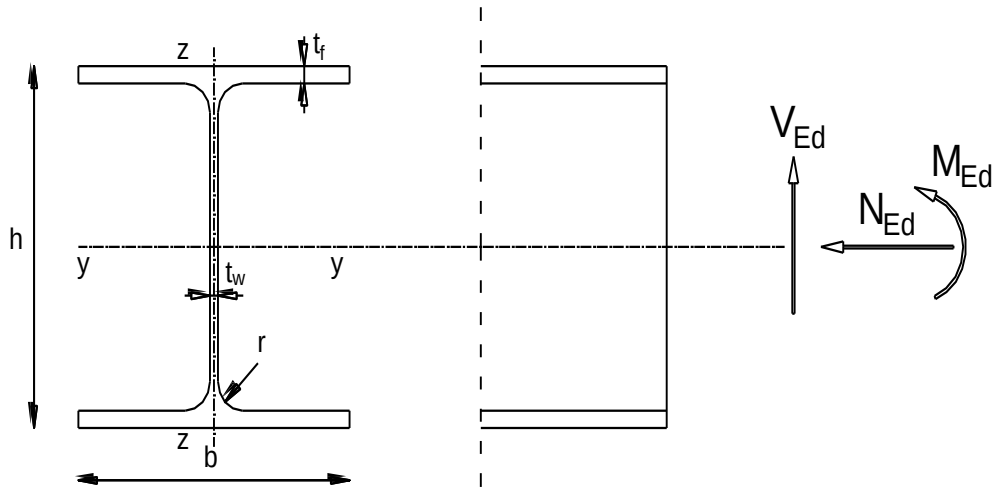


Slika 34 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 35 Poprečni presjek stupa

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Debljina hrpta: Radijus: Površina:	HEA200 Valjani h=190mm b=200mm t_f=10mm t_w=7mm r=18mm A=53.8cm^2	Moment tromosti	I_y=3 690cm^4 I_z=1340cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=429.17cm^3; W_y=389cm^3 $W_{PL,z}$=203.75cm^3 ; W_z=134cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=108 000cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=21cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
$M_{y,Ed}$= $V_{z,Ed}$= N_{Ed}=	25.54 kNm 11.64 kN -44.07 kN		

Tablica 7 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

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

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

$$19.14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 19.14 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \quad \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

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

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

$$7.85 \leq 9\varepsilon \rightarrow 7.85 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53.8 \cdot 27.5}{1.00} = 1479.5 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1479.5 \text{ kN} > N_{Ed} = -44.07 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{429.17 \cdot 27.5}{1.00} = 11\,802.18 \text{ kNcm} = 118.02\text{kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 118.02\text{kNm} > M_{y,Ed} = -25.54\text{kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

$$24.29 < 72\frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

$\rightarrow$ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 53.8 - 2 \cdot 20 \cdot 1.0 + |0.7 + 2 \cdot 1.8| \cdot 1.0 = 18.1\text{cm}^2 \geq 1.20 \cdot 17 \cdot 0.7 = 14.28\text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{14.28\left|27.5/\sqrt{3}\right|}{1.00} = 226.73\text{kN}$$
$$V_{Pl,z,Rd} = 226.73\text{kN} > V_{z,Ed} = 11.64\text{kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

X=2.1m

$M_{Ed} = -6.25\text{kNm}$
$V_{Ed} = 11.64\text{kN}$
$N_{Ed} = -44.07\text{kN}$

$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 226.73 = 113.37\text{kN}$
$V_{z,Ed} = 11.64\text{kN} < 0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 113.37\text{kN}$

$\rightarrow$ *NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE*

1) $N_{Ed} = 44.07 \leq 0.25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0.25 \cdot 1479.5 = 369.88\text{kN}$

2) $N_{Ed} = 44.07 \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 17 \cdot 0.7 \cdot 27.5}{1.00} = 163.63\text{kN}$

$\rightarrow$ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

<u>OS $y - y$</u>

$$L_{cr} = 2 \cdot 420\text{cm} = 840\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 3690}{840^2} = 1082.8\text{kN}$$

$$\overline{\lambda_y} = \sqrt{\frac{53.8 \cdot 27.5}{1082.8}} = 1.17$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS $y - y$ KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (1.17 - 0.2) + 1.17^2] = 1.35$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1.35 + \sqrt{1.35^2 - 1.17^2}} = 0.49$$

<u>OS z − z</u>

$$L_{cr} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 420\text{cm} = 420\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 1340}{420^2} = 1572.84\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{53.8 \cdot 27.5}{1572.84}} = 0.97$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS z − z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0.49$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.97 - 0.2) + 0.97^2] = 1.16$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.16 + \sqrt{1.16^2 - 0.97^2}} = 0.56$$

$\lambda = \lambda_{min} = 0.49$ → MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.49 \cdot 53.8 \cdot 27.5}{1.0} = 724.96\text{ kN}$$

$N_{b,Rd} = 724.96\text{kN} > N_{Ed} = 44.07\text{kN}$

<u>Otpornost elementa na savijanje</u>

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

→ ELASTIČNI KRITIČNI MOMENT BOČNOG TORZIJSKOG IZVIJANJA

$L = 420\text{cm}$ $G = 8077\text{kN/cm}^2$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{19.0}{2} = 9.5\text{cm}$$

$k = 1.0$ $k_2 = 1.0$

$C_1 = 1.77$ $C_2 = 0$

$$M_{cr} = 1.77\frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340}{|1.0 \cdot 420^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108\,000}{1340} + \frac{|1.0 \cdot 420|^2 \cdot 8077 \cdot 21}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340} + |0 \cdot 9.5|^2} - 0 \cdot 9.5\right]$$

$$M_{cr} = 38\,215.76\ kNcm = 382.22\ kNm$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{429.17 \cdot 27.5}{38\,215.76}} = 0.56 > \overline{\lambda_{LT,0}} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0.95 < 2\ VALJANI\ PROFIL\ \ a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.56 - 0.2) + 0.56^2] = 0.7$$

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

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT}\frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.89\frac{429.17 \cdot 27.5}{1.00} = 10503.94\text{kNcm} = 105.04\text{kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 105.04\text{kNm} > M_{y,Ed} = 25.54\text{kNm}$$

INTERAKCJA M-N

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

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

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

za $\bar{\lambda}_{\mathrm{z}} = 0.97 \geq 0.4$

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

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

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

$$\mathrm{k_{yy}} = 0.95 \cdot \left[1 + (1.17 - 0.2) \cdot \frac{44.07}{0.55 \cdot \frac{1479.5}{1{,}0}}\right] = 1.00 \leq 0.95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{44.07}{0.55 \cdot \frac{1479.5}{1{,}0}}\right]$$
$$= 1.00$$

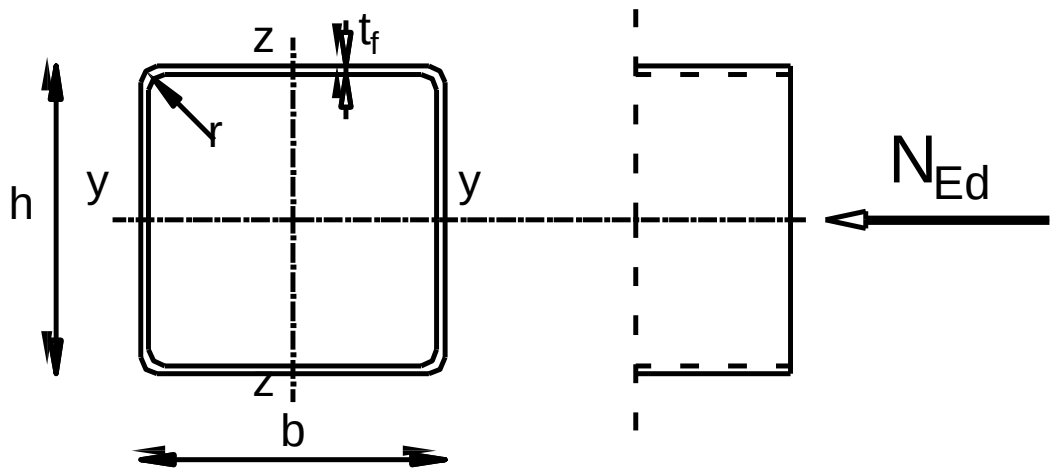
$$\mathrm{k_{zy}} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot 0.97}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{44.07}{0.56 \cdot \frac{1479.5}{1{,}0}}\right] = 0.99 \geq \left[1 - \frac{0{,}1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{44.07}{0.55 \cdot 1479.5/1{,}0}\right]$$
$$= 0{,}99$$

$$\frac{44.07}{0.55 \cdot 1479.5/1.0} + 1.00 \cdot \frac{25.54}{0.89 \cdot 118.02} = 0.06 + 0.25 = 0.31 \leq 1{,}0$$

$$\frac{44.07}{0.56 \cdot 1479.5/1.0} + 0.99 \cdot \frac{25.54}{0.89 \cdot 118.02} = 0.05 + 0.24 = 0.29 \leq 1{,}0$$

Odabrani profil HEA200, kvalitete čelika S 275 ne zadovoljava GSN (mala iskoristivost η=31%), međutim mjerodavan je za dimenzioniranje s obzirom da zadovoljava GSU sa iskoristivosti od η=88%.

5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 36 Poprečni presjek gornjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Radijus: Površina:	CFRHS Valjani h=120mm b=120mm t_f=7mm r=18mm A=30.33cm^2	Moment tromosti	I_y=623.3cm^4 I_z=623.3cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=125.65cm^3;W_y=103.88cm^3 $W_{PL,z}$=125.65cm^3;W_z=103.88cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=14 723cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=1056cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
N_{Ed}=	-504.72 kN		

Tablica 8 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 7 = 106\text{mm}$

$\frac{c}{t_f} = \frac{106}{7} = 15.14$

$15.14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 15.14 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow$ PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{30.33 \cdot 27.5}{1.0} = 834.08\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 834.08\text{kN} > N_{Ed} = 504.72\text{kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

<u>OS y − y</u>

$L_{cr} = 230.9\text{cm}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 623.3}{230.9^2} = 2420.63\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{30.33 \cdot 27.5}{2420.63}} = 0.59$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS y − y KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (0.59 - 0.2) + 0.59^2] = 0.74$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.74 + \sqrt{0.74^2 - 0.59^2}} = 0.84$$

<u>OS z − z</u>

$L_{cr} = 692.7cm$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 623.3}{692.7^2} = 605.16kN$$

$$\bar{\lambda_z} = \sqrt{\frac{30.33 \cdot 27.5}{605.16}} = 1.19$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS z − z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0.49$

$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (1.19 - 0.2) + 1.19^2] = 1.29$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.29 + \sqrt{1.29^2 - 1.19^2}} = 0.61$$

$\lambda = \lambda_{min} = 0.61$ → MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

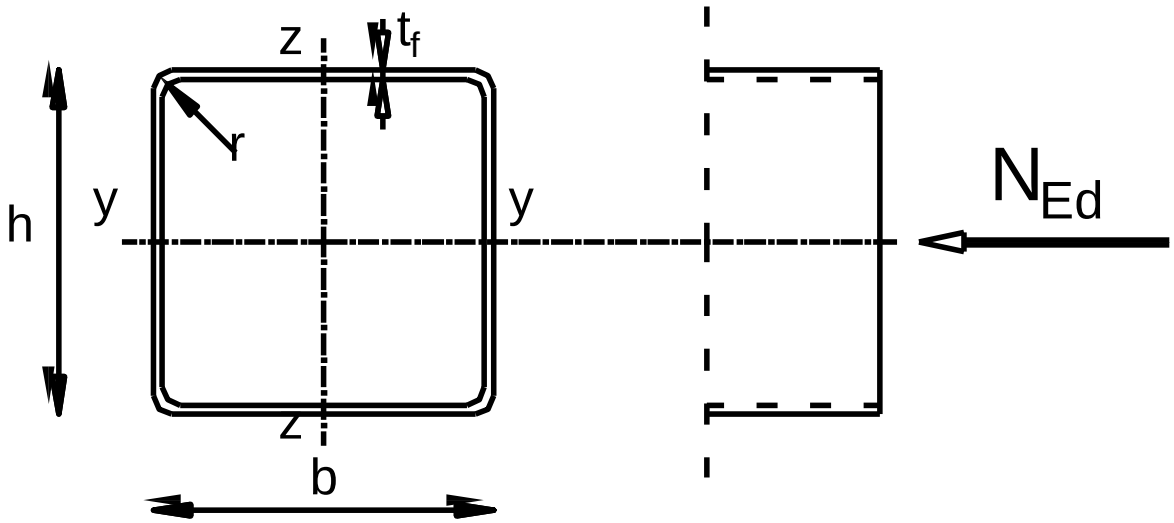
$$N_{b,Rd} = \frac{0.61 \cdot 30.33 \cdot 27.5}{1.0} = 518.79\ kN$$

$N_{b,Rd} = 518.79kN > N_{Ed} = 504.72kN$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{504.72}{518.79} = 0.97 \rightarrow \eta = 97\%$$

Odabrani profil CFRHS 120x120x7.1, kvalitete čelika S 275, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 97%.

5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA



Slika 37 Poprečni presjek donjega pojasa

Tablica 9 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Radijus: Površina:	CFRHS Valjani h=120mm b=120mm t_f=7mm r=18mm A=30.33cm^2	Moment tromosti	I_y=623.3cm^4 I_z=623.3cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=125.65cm^3;W_y=103.88cm^3 $W_{PL,z}$=125.65cm^3;W_z=103.88cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=14 723cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=1056cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
N_{Ed}=	500.61 kN		

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 7 = 104\text{mm}$
$\frac{c}{t_f} = \frac{104}{7} = 14.86$

$$14.86 \leq 72\varepsilon \rightarrow 14.86 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

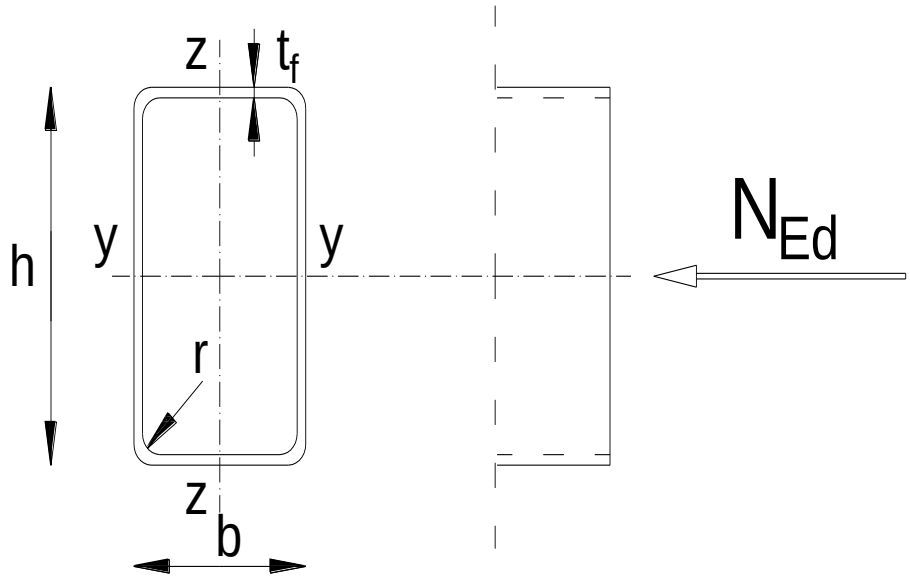
POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{30.33 \cdot 27.5}{1.0} = 834.08\text{kN}$$
$$N_{c,Rd} = 834.08\text{kN} > N_{Ed} = 500.61\text{kN}$$

5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 38 Poprečni presjek vertikala

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Radijus: Površina:	CFRHS Valjani h=120mm b=100mm t_f=3mm r=5mm A=10.59 cm^2	Moment tromosti	I_y=230.27cm^4 I_z=174.4cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=44.95cm^3;W_y=38.38cm^3 $W_{PL,z}$=39.73cm^3;W_z=34.88cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=3 300cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=309.43cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
N_{Ed}=	-107.54 kN		

Tablica 10 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 3 = 114\text{mm}$$
$$\frac{c}{t_f} = \frac{114}{3} =$$
$$38 \leq 72\varepsilon \rightarrow 38 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10.59 \cdot 27.5}{1.0} = 291.23\text{kN}$$
$$N_{c,Rd} = 291.23\text{kN} > N_{Ed} = 107.54\text{kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASE 1,2,3}$$
$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$
$$\phi = 0.5\left[1 + \alpha \cdot \left(\bar{\lambda} - 0.2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

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

<u>OS y − y</u>

$L_{cr} = 50cm$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 230.27}{50^2} = 19\,071.11kN$$

$$\bar{\lambda_y} = \sqrt{\frac{10.59 \cdot 27.5}{19\,071.11}} = 0.12$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS y − y KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (0.12 - 0.2) + 0.12^2] = 0.49$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.49 + \sqrt{0.49^2 - 0.12^2}} = 1.03$$

<u>OS z − z</u>

$L_{cr} = 50cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 174.4}{50^2} = 14\,443.92kN$$

$$\bar{\lambda_z} = \sqrt{\frac{10.59 \cdot 27.5}{14\,443.92}} = 0.14$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS z − z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.14 - 0.2) + 0.14^2] = 0.50$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0.50 + \sqrt{0.50^2 - 0.14^2}} = 1.02$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 1.02 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{1.02 \cdot 10.59 \cdot 27.5}{1.0} = 297.05 \text{ kN}$$
$$N_{b,Rd} = 297.05\text{kN} > N_{Ed} = 107.54\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{107.54}{297.05} = 0.36 \rightarrow \eta = 36\%$$

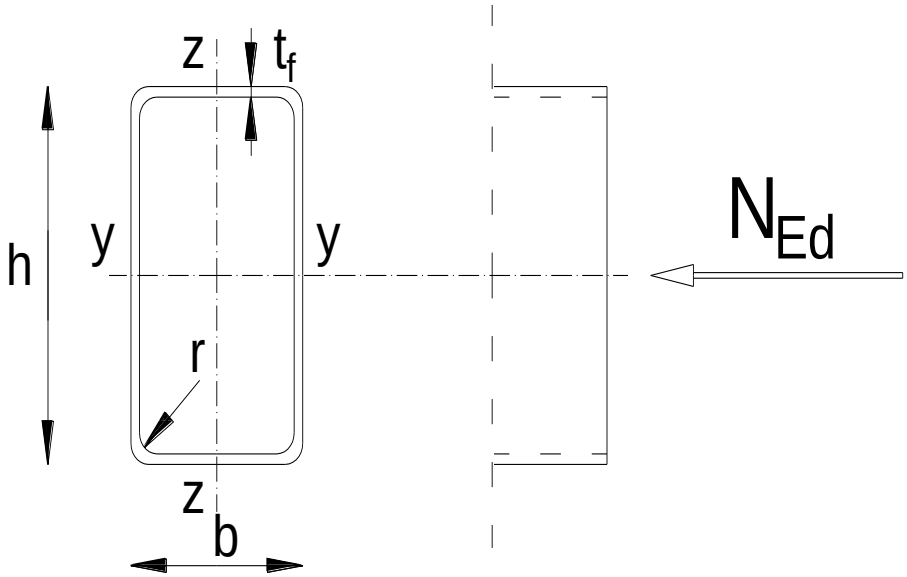
Poprečni presjek CFRHS 120x100x2.5, kvalitete čelika S275, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) I zbog uvjeta $b_{donjeg\ pojasa}=h_{vertikale}$.

<u>Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili</u>

Vertikala je izložena vlačnoj sili u kombinaciji 3 u iznosu od N_{Ed}=54.18kN.

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10.59 \cdot 27.5}{1.0} = 291.23\text{kN}$$
$$N_{c,Rd} = 291.23\text{kN} > N_{Ed} = 54.18\text{kN}$$

5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 39 Poprečni presjek dijagonala

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Radijus: Površina:	CFRHS Valjani h=120mm b=100mm t_f=3mm r=5mm A=10.59 cm^2	Moment tromosti	I_y=230.27cm^4 I_z=174.4cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=44.95cm^3;W_y=38.38cm^3 $W_{PL,z}$=39.73cm^3;W_z=34.88cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=3 300cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=309.43cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
N_{Ed}=	-50.26kN		

Tablica 11 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 3 = 114\text{mm}$$
$$\frac{c}{t_f} = \frac{114}{3} = 38$$

$$38 < 72\varepsilon \rightarrow 38 < 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PREJSEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10.59 \cdot 27.5}{1.0} = 291.23\text{kN}$$
$$N_{c,Rd} = 291.23\text{kN} > N_{Ed} = 50.26\text{kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASE 1,2,3}$$
$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$
$$\phi = 0.5\left[1 + \alpha \cdot \left(\bar{\lambda} - 0.2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

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

<u>OS y – y</u>

$L_{cr} = 266cm$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 230.27}{266^2} = 673.83kN$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{10.59 \cdot 27.5}{673.83}} = 0.66$$

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (0.66 - 0.2) + 0.66^2] = 0.80$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.80 + \sqrt{0.80^2 - 0.66^2}} = 0.80$$

<u>OS z – z</u>

$L_{cr} = 266cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 174.4}{266^2} = 510.34kN$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{10.59 \cdot 27.5}{510.34}} = 0.76$$

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

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.76 - 0.2) + 0.76^2] = 0.93$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0.93 + \sqrt{0.93^2 - 0.76^2}} = 0.68$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0.68 \cdot 10.59 \cdot 27.5}{1.0} = 198.03 \text{ kN}$$
$$N_{b,Rd} = 198.03\text{kN} > N_{Ed} = 50.26\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{50.26}{198.03} = 0.25 \rightarrow \eta = 25\%$$

Poprečni presjek CFRHS 120x10x2.5, kvalitete čelika S275, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) I zbog uvjeta $b_{donjeg\ pojasa}=h_{vertikale}$.

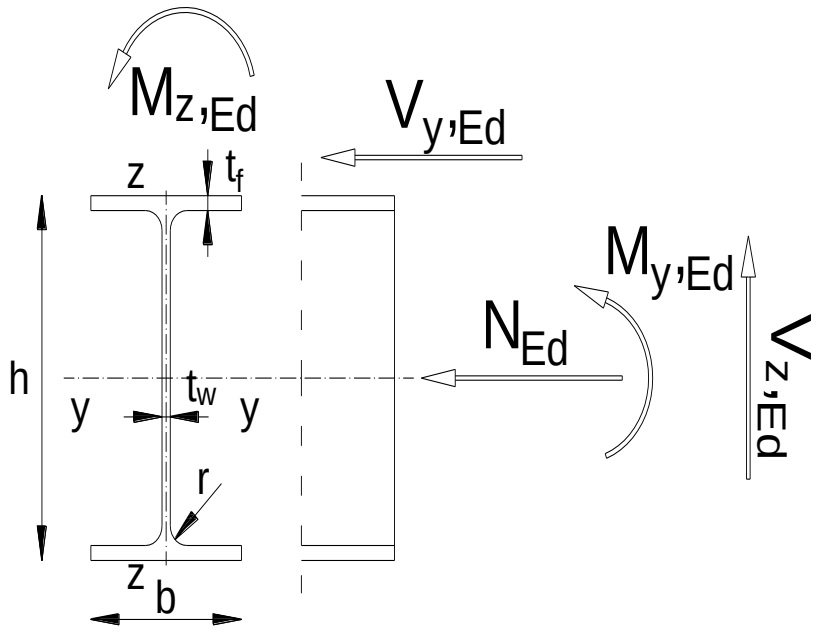
<u>Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili</u>

Dijagonala je izložena vlačnoj sili u kombinaciji 2 u iznosu od N_{Ed}=261.66 kN.

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10.59 \cdot 27.5}{1.0} = 291.23\text{kN}$$
$$N_{c,Rd} = 291.23\text{kN} > N_{Ed} = 261.66\text{kN}$$

5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.2.1. KROVNE PODROŽNICE



Slika 40 Poprečni presjek krovne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE 200O	Moment tromosti	I_y=2 211cm^4 I_z=169cm^4
Tip presjeka:	Valjani		
Visina presjeka:	h=202mm	Moment otpora:	$W_{PL,y}$=249cm^3; W_y=219cm^3 $W_{PL,z}$=51.9cm^3 ; W_z=33.1cm^3
Širina presjeka:	b=102mm		
Debljina pojasnice:	t_f=10mm	Konstanta krivljenja:	I_w=15 600cm^6
Debljina hrpta:	t_w=6mm		
Radijus:	r=12mm	Torzijska konstanta:	I_t=9.45cm^4
Površina:	A=32cm^2		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
$M_{y,Ed}$=	11.3kNm		
$M_{z,Ed}$=	0.97kNm		
$V_{y,Ed}$=	0.78kN		
$V_{z,Ed}$=	9.04kN		
N_{Ed}=	-8.84kN		

Tablica 12 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 202 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 12 = 158mm$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26.3$$

$$26.3 \leq 72\varepsilon \rightarrow 26.3 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \quad \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{102}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 36mm$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{36}{10} = 3.6$$

$$3.6 \leq 9\varepsilon \rightarrow 3.6 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

<u>OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA</u>

<u>Otpornost presjeka izloženog uzdužnoj sili</u>

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{32 \cdot 27.5}{1.00} = 880 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 880 \text{ kN} > N_{Ed} = 8.84\text{kN}$$

<u>Otpornost presjeka izloženog savijanju</u>

<u>Os y-y</u>

$$M_{c,y,Rd} = M_{Pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{249 \cdot 27.5}{1.00} = 6847.5 \text{ kNcm} = 68.48\text{kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 68.48\text{kNm} > M_{y,Ed} = 11.3\text{kNm}$$

<u>Os z-z</u>

$$M_{c,z,Rd} = M_{Pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{51.9 \cdot 27.5}{1.00} = 1427.25 \text{ kNcm} = 14.27\text{kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 14.27\text{kNm} > M_{z,Ed} = 0.97\text{kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{202 - 2 \cdot 10}{6} = 30.33$$

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

$\rightarrow$ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 32 - 2 \cdot 10.2 \cdot 1.0 + |0.6 + 2 \cdot 1.2| \cdot 1.0 = 14.6\text{cm}^2 \geq 1.20 \cdot 18.2 \cdot 0.6 = 13.1\text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{14.6\left|27.5/\sqrt{3}\right|}{1.00} = 231.81\text{kN}$$
$$V_{Pl,z,Rd} = 231.81\text{kN} > V_{z,Ed} = 9.04\text{kN}$$

U smjeru y-y

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

$$A_{v,z} = A - \Sigma h_w \cdot t_w$$
$$= 32 - 18.2 \cdot 0.6 = 21.08\text{cm}^2$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{21.08\left|27.5/\sqrt{3}\right|}{1.00} = 334.69\text{kN}$$
$$V_{Pl,y,Rd} = 334.69\text{kN} > V_{y,Ed} = 0.78\text{kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

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

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

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{8.84}{880} = 0.01$$

$$\beta = 5 \cdot 0.01 = 0.05 \leq 1 \ \rightarrow \beta = 1$$

Savijanje u smjeru y-y

$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 231.81 = 115.91\text{kN}$
$V_{z,Ed} = 9.04\text{kN} < 115.91kN \ \rightarrow$ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI OD POPREČNE SILE

1)$N_{Ed} = 8.84\text{kN} < 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 0.25 \cdot 880 = 220\text{kN}$
2)$N_{Ed} = 8.84\text{kN} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 18.2 \cdot 0.6 \cdot 27.5}{1.0} = 150.15\text{kN}$
$\rightarrow$ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVJIANJE OD UZDUŽNE SILE

$M_{N,v,y,Rd} = M_{c,y,Rd} = 68.48\text{kN}$

Savijanje u smjeru z-z

$0.5 \cdot V_{Pl,y,Rd} = 0.5 \cdot 334.69 = 167.35\text{kN}$
$V_{y,Ed} = 0.78 < 167.35kN \ \rightarrow$ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI OD POPREČNE SILE

$M_{N,v,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 14.27\text{kN}$

$$\left(\frac{11.3}{68.48}\right)^2 + \left(\frac{0.97}{14.27}\right)^1 = 0.1 \leq 1.0$$

OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

<u>OS $y - y$</u>

$$L_{cr} = 500\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2211}{500^2} = 1831.16\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{32 \cdot 27.5}{1831.16}} = 0.69$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS $y - y$ KRIVULJA IZVIJANJA a → $\alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.69 - 0.2) + 0.69^2] = 0.79$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.79 + \sqrt{0.79^2 - 0.69^2}} = 0.85$$

<u>OS z − z</u>

$L_{cr} = 500cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 169}{500^2} = 139.97kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{32 \cdot 27.5}{139.97}} = 2.51$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS z − z KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (2.51 - 0.2) + 2.51^2] = 4.22$$

$$\lambda_z = \frac{1}{4.22 + \sqrt{4.22^2 - 2.51^2}} = 0.13$$

$\lambda = \lambda_{min} = 0.13$ → MJERODAVNA JE MANJA VRJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.13 \cdot 32 \cdot 27.5}{1.0} = 114.4\ kN$$

$N_{b,Rd} = 114.4kN > N_{Ed} = 8.84kN$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{8.84}{114.4} = 0.08 < 1.0$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$L = 500\text{cm}$ $G = 8077\text{kN/cm}^2$

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{202}{2} = 10.1\text{cm}$

$k = 1.0\ k_2 = 1.0$

$C_1 = 1.127\ C_2 = 0.454$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 169}{|1.0 \cdot 500^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{15600}{169} + \frac{|1.0 \cdot 500|^2 \cdot 8077 \cdot 9.45}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 169} + |0.454 \cdot 10.1|^2} - 0.454 \cdot 10.1 \right]$$

$M_{cr} = 5569.91\ \text{kNcm} = 55.7\ \text{kNm}$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{249 \cdot 27.5}{5569.91}} = 1.11 > \overline{\lambda_{LT,0}} = 0.4$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{202}{102} = 1.98 \leq 2\ VALJANI\ PROFIL\ \ a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.11 - 0.2) + 1.11^2] = 1.21$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.21 + \sqrt{1.21^2 - 1.11^2}} = 0.59 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.59 \frac{249 \cdot 27.5}{1.00} = 4040.03\text{kNcm} = 40.4\text{kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 40.4\text{kNm} > M_{y,Ed} = 11.3\text{kNm}$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

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

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

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + 2 \cdot \left|\overline{\lambda_z} - 0{,}6\right| \cdot \frac{N_{Ed}}{\lambda_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right] \leq \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right]$$

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

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

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

$$k_{yy} = 0.95 \cdot \left[1 + (0.69 - 0.2) \cdot \frac{8.84}{0.85 \cdot 880/1.0}\right] \leq 0.95 \cdot \left[1 + 0.8 \cdot \frac{8.84}{0.85 \cdot 880/1.0}\right]$$

$$k_{yy} = 0.95 \leq 0.96$$

$$k_{zz} = 0.95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2.51 - 0{,}6) \cdot \frac{8.84}{0.13 \cdot 880/1.0}\right] \leq 0.95 \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \frac{8.84}{0.13 \cdot 880/1.0}\right]$$

$$k_{zz} = 1.27 > 1.05$$

$$k_{yz} = 0.6 \cdot 1.27 = 0.76$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot 2.51}{|0.95 - 0.25|} \cdot \frac{8.84}{0.13 \cdot 880/1.0}\right] \geq \left[1 - \frac{0.1}{|0.95 - 0.25|} \cdot \frac{8.84}{0.13 \cdot 880/1.0}\right]$$

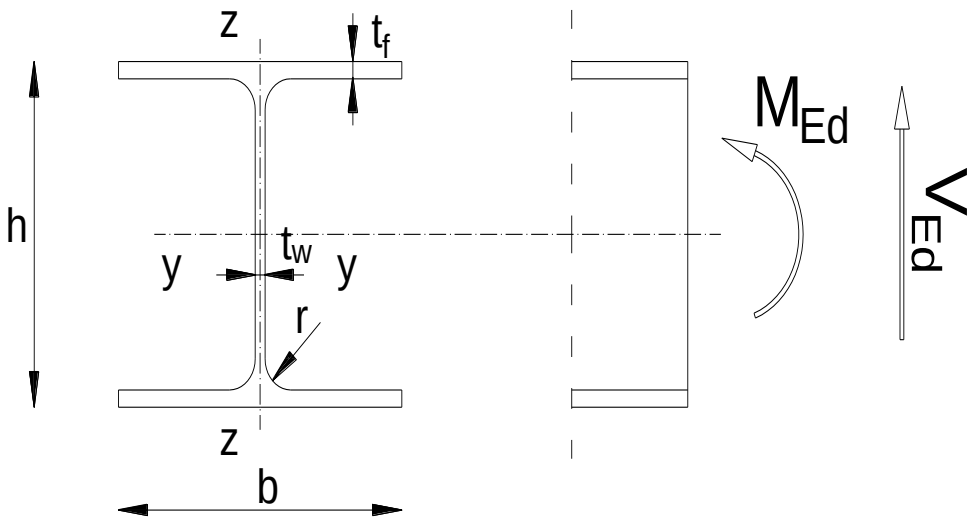
$$k_{zy} = 0.97 \leq 0.99$$

$$\frac{8.84}{0.85 \cdot 880/1.0} + 0.95 \cdot \frac{11.3}{1.11 \cdot 68.48/1.0} + 0.76 \cdot \frac{0.97}{14.27/1.0} = 0.21 \leq 1{,}0$$

$$\frac{8.84}{0.13 \cdot 880/1.0} + 0.97 \cdot \frac{11.3}{1.11 \cdot 68.48/1.0} + 1.27 \cdot \frac{0.97}{14.27/1.0} = 0.31 \leq 1{,}0$$

Profil IPE 200O, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoritistivosti od η=31%.

5.2.2. ZABATNI STUPOVI



Slika 41 Poprečni presjek zabatnog stupa

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Debljina hrpta: Radijus: Površina:	HEA200 Valjani h=190mm b=200mm t_f=10mm t_w=7mm r=18mm A=53.8 cm^2	Moment tromosti	I_y=3690cm^4 I_z=1340cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=421.97cm^3; W_y=389cm^3 $W_{PL,z}$=203.75 cm^3 ; W_z=134cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=108 000cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=21 cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
$M_{y,Ed}$= $V_{z,Ed}$=	16.02 kNm 11.18 kN		

Tablica 13 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

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

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

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

Pojasnica:

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

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

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

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

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjea izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{421.97 \cdot 27.5}{1.00} = 11\,604.18\ \text{kNcm} = 116.04\text{kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 116.04\text{kNm} > M_{y,Ed} = 16.02\text{kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

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

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

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

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18.1\left|27.5/\sqrt{3}\right|}{1.00} = 287.38kN$$
$V_{Pl,z,Rd} = 287.38kN > V_{z,Ed} = 11.18kN$

INTERAKCIJA M-V

Presjek u L/4=1.43
$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 287.38 = 143.69kN$
$V_{z,Ed} = 11.18 < 143.69kN$
→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVJIANJE OD UZDUŽNE SILE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{16.02}{116.04} = 0.14 < 1$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$L = 573cm \qquad G = 8077kN/cm^2$
$z_g = \frac{h}{2} = \frac{190}{2} = 9.5cm$
$k = 1.0\ k_2 = 1.0$
$C_1 = 1.127\ C_2 = 0.454$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340}{|1.0 \cdot 573^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108\ 000}{1340} + \frac{|1.0 \cdot 573|^2 \cdot 8077 \cdot 21}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340} + |0.454 \cdot 9.5|^2} - 0.454 \cdot 9.5\right]$$
$M_{cr} = 12\ 385.53\ kNcm = 123.86\ kNm$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{421.97 \cdot 27.5}{12\,385.53}} = 0.97 > \overline{\lambda_{LT,0}} = 0.4$$

FAKTOR REDUKCIJE

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

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

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

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.97 - 0.2) + 0.97^2] = 1.05$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.05 + \sqrt{1.05^2 - 0.97^2}} = 0.69 \leq 1.0$$

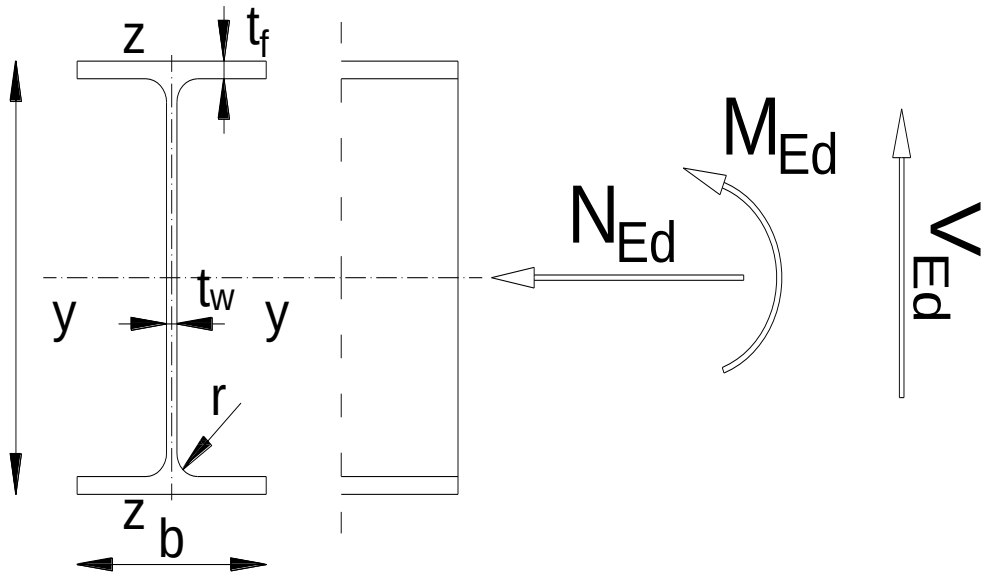
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.69 \frac{421.97 \cdot 27.5}{1.00} = 8\,006.88\text{kNcm} = 80.07\text{kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 80.07\text{kNm} > M_{y,Ed} = 16.02\text{kNm}$$

$$\eta = \frac{16.02}{80.07} = 0.20 < 1.0$$

Profil HEA200, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti od 20%.

5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 42 Poprečni presjek bočne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Debljina hrpta: Radijus: Površina:	IPE200O Valjani h=202mm b=102mm t_f=10mm t_w=6mm r=12mm A=32cm^2	Moment tromosti	I_y=2211cm^4 I_z=169cm^4
		Moment otpora:	$W_{PL,y}$=249 cm^3; W_y=219cm^3 $W_{PL,z}$=51.9cm^3 ; W_z=33.1cm^3
		Konstanta krivljenja:	I_w=15 600cm^6
		Torzijska konstanta:	I_t=9.45cm^4
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
$M_{y,Ed}$= $V_{z,Ed}$= N_{ed}=	2.59 kNm 2.08 kN -13.78kN		

Tablica 14 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 202 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 12 = 158\text{mm}$$

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

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

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{102}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 36\text{mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{36}{10} = 3.6$$

$$3.6 \leq 9\varepsilon \rightarrow 3.6 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{32 \cdot 27.5}{1.00} = 880 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 880 \text{ kN} > N_{Ed} = 13.78 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{249 \cdot 27.5}{1.00} = 6847.5 \text{ kNcm} = 68.48\text{kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 68.48 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 2.59\text{kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{202 - 2 \cdot 10}{6} = 30.33$$

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

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 32 - 2 \cdot 10.2 \cdot 1.0 + |0.6 + 2 \cdot 1.2| \cdot 1.0 = 14.6\text{cm}^2 \geq 1.20 \cdot 18.2 \cdot 0.6 = 13.1\text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{14.6\left|27.5/\sqrt{3}\right|}{1.00} = 231.81\text{kN}$$
$$V_{Pl,z,Rd} = 231.81\text{kN} > V_{z,Ed} = 2.08\text{kN}$$

OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

<u>OS $y - y$</u>

$$L_{cr} = 500\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2211}{500^2} = 1831.16\text{kN}$$

$$\overline{\lambda_y} = \sqrt{\frac{32 \cdot 27.5}{1831.16}} = 0.69$$

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.69 - 0.2) + 0.69^2] = 0.79$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.79 + \sqrt{0.79^2 - 0.69^2}} = 0.85$$

<u>OS z − z</u>

$L_{cr} = 500cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 169}{500^2} = 139.97kN$$

$$\bar{\lambda_z} = \sqrt{\frac{32 \cdot 27.5}{139.97}} = 2.5$$

ZA VALJANI PROFIL →
ZA OS z − z KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34 \cdot (2.5 - 0.2) + 2.5^2] = 4.01$$

$$\lambda_z = \frac{1}{4.01 + \sqrt{4.01^2 - 2.5^2}} = 0.14$$

$$\lambda = \lambda_{min} = 0.14$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.14 \cdot 32 \cdot 27.5}{1.0} = 123.2\ kN$$

$N_{b,Rd} = 123.2kN > N_{Ed} = 8.84kN$

<u>Otpornost elementa na savijanje</u>

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

$L = 500cm$ $\qquad G = 8077kN/cm^2$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{202}{2} = 10.1cm$$

$k = 1.0\ k_2 = 1.0$

$C_1 = 1.127\ C_2 = 0.454$

$$M_{cr} = 1.127\frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 169}{|1.0 \cdot 500^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{15\,600}{169} + \frac{|1.0 \cdot 500|^2 \cdot 8077 \cdot 9.45}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 169} + |0.454 \cdot 10.1|^2} - 0.454 \cdot 10.1\right]$$

$$M_{cr} = 3325.06\ kNcm = 33.26kNm$$

<u>Bezdimenzijska vitkost</u>

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

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

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{249 \cdot 27.5}{3325.06}} = 1.44 > \overline{\lambda_{LT,0}} = 0.4$$

<u>Faktor redukcije</u>

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{202}{102} = 1.98 \leq 2\ VALJANI\ PROFIL\ \ a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.44 - 0.2) + 1.44^2] = 1.67$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.67 + \sqrt{1.67^2 - 1.44^2}} = 0.4 \leq 1.0$$

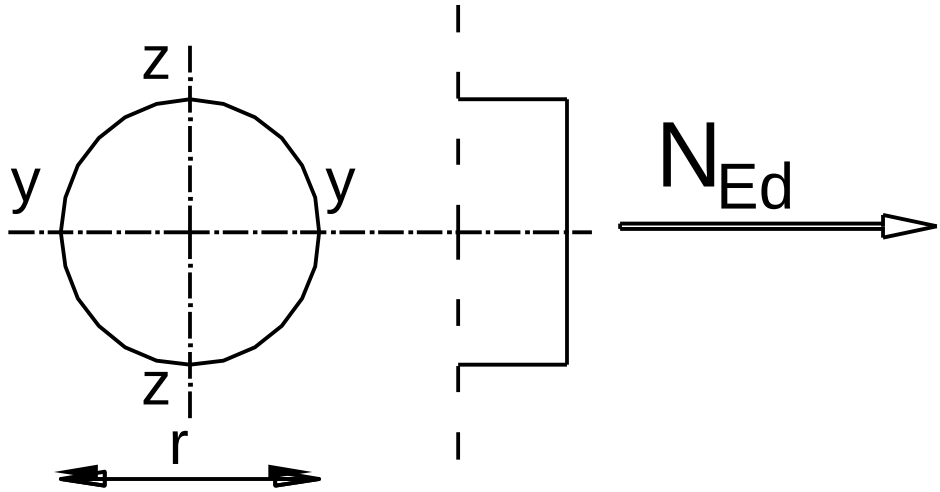
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT}\frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.4\frac{249 \cdot 27.5}{1.00} = 1739\text{kNcm} = 17.39\text{kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 17.39\text{kNm} > M_{y,Ed} = 2.59\text{kNm}$$

Profil IPE200O, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od η=15%.

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA

5.2.4.1. HORIZONTALNI SPREG



Slika 43 Poprečni presjek sprega

Karekteristike presjeka: RD 10 A=0.79cm^2	Materijal S275→ f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
Ulazni podaci: N_{Ed}=6.60 kN	

Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka sprega

<u>OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI</u>

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.79 \cdot 27.5}{1.0} = 21.73\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 21.73\text{kN} > N_{Ed} = 6.60\text{kN}$$

$$\eta = \frac{6.60}{21.73} = 0.31 < 1.0$$

Profil RD 10,kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoritstivosti od η=31%.

5.2.4.2. DIMENZIONIRANJE BOČNOG SPREGA

Karekteristike presjeka:RD 10 A=0.79cm^2	Materijal S275→ f_y=275N/mm^2 ε=0.92 E=210 000 N/mm^2 ν=0.3
Ulazni podaci: N_{Ed}=13.75 kN	

Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.79 \cdot 27.5}{1.0} = 21.73kN$$

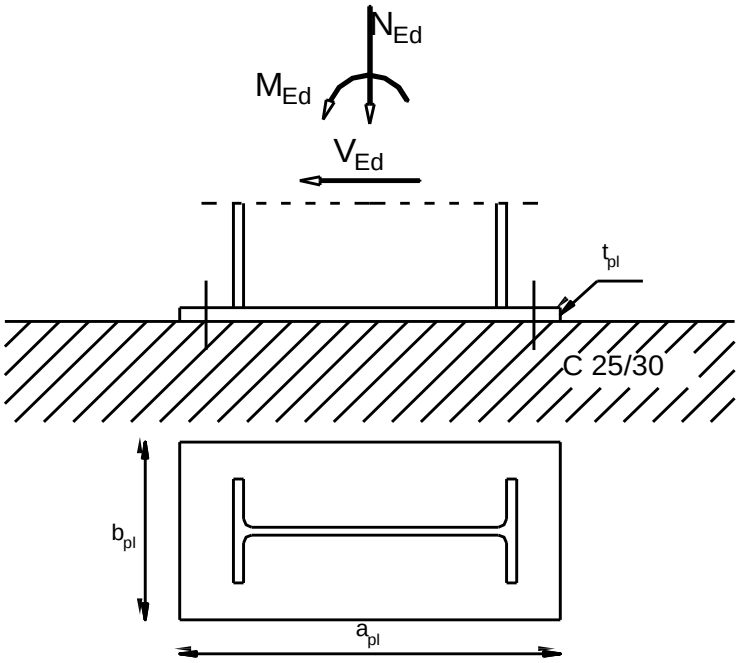
$$N_{c,Rd} = 21.73kN > N_{Ed} = 13.75kN$$

$$\eta = \frac{13.75}{21.73} = 0.63 < 1.0$$

Profil RD 10,kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoritstivosti od η=63%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 44 Spoj stup-temelj

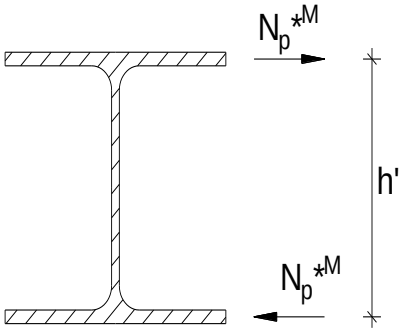
Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (STUP, HEA 200)	
M_{Ed}=	25.54kNm	Osnovni materijal S275	h=	190mm
			b=	200mm
V_{Ed}=	11.64kN	Vijci k.v. 10.9	t_w=	7mm
			t_f=	10mm
N_{Ed}=	-44.07kN		A=	53.8cm^2

Tablica 17 Tablica karakteristika spoja stup-temelj

RASPODJELA SILA PO PRESJEKU NOSAČA:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:



$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{25.54}{(0.190 - 0.01)} = 141.89\text{kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1.0}{53.8} \cdot (-44.07) = -16.38\text{kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 141.89 - 16.38 = 125.5\text{kN} = F_{w,Ed}$$

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 pretpostavljni var a=4mm

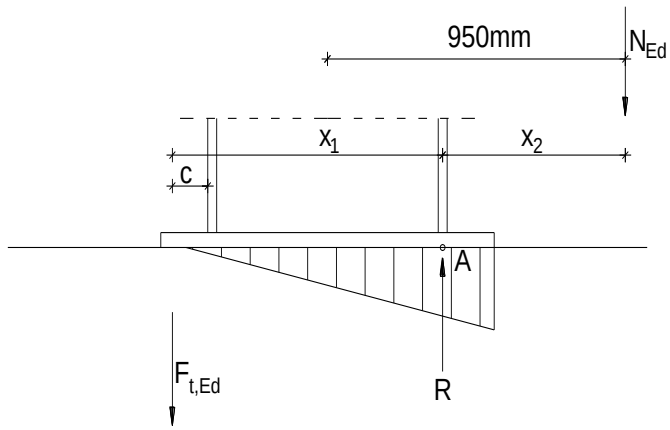
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 373.76\text{kN} > F_{w,Ed} = 125.5\text{kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 317.7\text{kN} > F_{w,Ed} = 11.64\text{kN}$$

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=40mm

-Ekscentricitet uzdužne sile e=M_{Ed}/N_{Ed}=25.54/44.07=0.60m=600mm

-Ekscentricitet X_1=c+h-t_f/2=40+190+10/2=235mm=0.235m

-Ekscentricitet X_2=e-h/+t_f/2=600-190/2+10/2=510mm=0.51m

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{t,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 44.07 \cdot \frac{0.51}{0.235} = 95.64\text{ kN}$$

OTPORNOST VIJAKA NA VLAK

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141.3}{1.25} = 113.04kN \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{95.64}{2} = 47.82kN$$

OTPORNOST VIJAKA NA POSMIK

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{78.5}{1.25} = 62.8kN \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{11.64}{4} = 2.91kN$$

INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

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

$$\frac{2.91}{62.8} + \frac{47.82}{1.4 \cdot 113.04} = 0.35 \leq 1.0$$

PRORAČUN PLOČE

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 190 + 2(40 + 40) = 390mm$$
$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20mm = 200 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 231.31mm$$
$$= p_2 + 2e_2 = 55 + 2 \cdot 30 = 115mm$$

ODRABRANE DIMENZIJE PLOČE SU **420x240**mm

Proračun debljine ploče t_{pl}^{min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{sd}}{4} = \frac{11.64}{4} = 2.91\text{kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{127.4}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl}^{min} > \frac{2.91 \cdot 1.25 \cdot 10}{127.4} = 0.286mm$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{420 - 190 + 10}{2} = 120\text{mm} = 0.120\text{m}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 95.64 + 44.07 = 139.71\text{kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{139.71}{\frac{3 \cdot 12.0 \cdot 24}{2}} = \frac{0.323\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.67\text{kN/cm}^2$$

SAVIJANJE PLOČE

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

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 3230 \cdot 0.120 \cdot 0.24 \cdot \frac{0.120}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 3230 \cdot 0.120 \cdot 0.24}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.120 = 4.96\text{ kNm}$$

SAVIJANJE PLOČE OD VLAČNIH VIJAKA

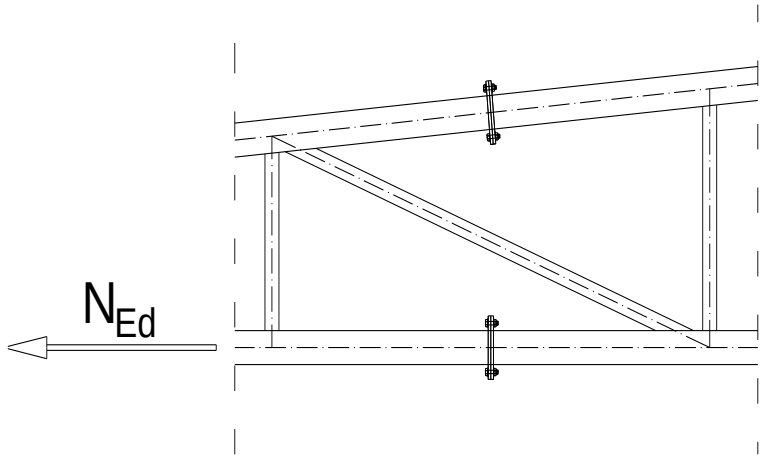
$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2}\right) = 95.64 \cdot \left(40 + \frac{10}{2}\right) = 4\,303.8\text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\,min}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 430.4 \cdot 6}{24 \cdot 27.5}}$$

$$= 2.07\text{cm} = 20.7\text{mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 420x240x25 mm

6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 45 Vlačni nastavak rešetke

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (CFRHS 120x120x7.1)	
N_{Ed}=	466.41kN	Osnovni materijal S275 Vijci k.v. 10.9	h= b= t_f= A=	120mm 120mm 7mm 30.33cm^2

1.KONTORLA VAROVA

Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 7 = 4.9\text{mm}$$

Odabrano a=4mm

Otpornost vara

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

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{480}{100} = 488.51\text{kN} > N_{Ed} = 466.41\text{kN}$$

2.PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: M20 k.v. 10.9

n=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{220.5}{1.25} = 176.4kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{466.41}{4} = 116.6kN \leq F_{t,Rd} = 176.4kN$$

3.PRORAČUN PLOČE

Proračun dimenzije ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 46mm$$

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

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20mm = 120 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 151.31mm \approx 160mm$$

ODABRANE DIMENZIJE **260x260** mm

Proračum minimalne debljine ploče t_{pl}

$$e = 20mm$$

$$b_{pl} = 220mm$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 116.6 \cdot 0.02 = 4.66kNm$$

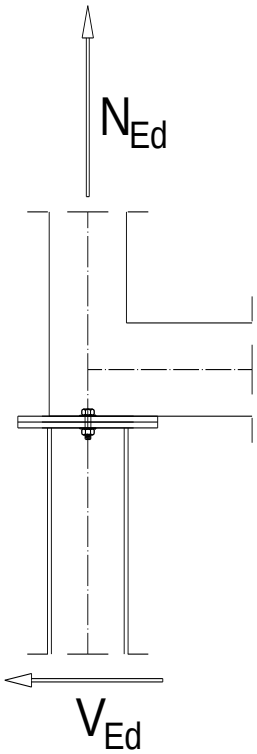
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\,min}}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 466 \cdot 6}{22.0 \cdot 27.5}} = 2.25cm = 22.5mm$$

ZADOVOLJAVA PLOČA DEBLJINE $t_{pl} = 25mm$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 260x260x25 mm

6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



Veličine djelovanja:	Materijal:	Poprečni presjek:	
Poprečna sila u stupu V_{Ed}=2.06 kN Vlačna sila u vertikali N_{Ed}=54.13kN	Osnovni materijal S275 Vijci k.v. 10.9	HEA 200(stup)	CFRHS 120x120x7
		h=190mm t_f=200mm t_f=10mm t_w=7mm	h=120mm b=120mm t_f=7mm

1.KONTROLA VAROVA

Dužina vara hrpta

$l_1=2\cdot(h-2\cdot t_f)=2\cdot(190-2\cdot 10)=340mm$

Dužina vara pojasa

$l_2 = O = 4 \cdot 120 = 480mm$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta I pojaseva nosača

$a_{max} = 0.7 \cdot t_w = 0.7 \cdot 7 = 4.9mm$
$a_{max} = 0.7 \cdot t_f = 0.7 \cdot 7 = 4.9mm$
ODABRANO $a = 4.0mm$

Otpornost vara

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 317.7kN > V_{Ed} = 2.06kN$$

Uzdužna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{480}{100} = 448.51kN > N_{Ed} = 54.13kN$$

2.PRORAČUN VIJAKA

Odabrani vijak M16, k.v. 10.9

Otpornost vijka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{78.9}{1.25} = 63.12kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{2.06}{2} = 1.03kN$$

Otpornost vijka na vlak

$$\mathrm{F_{t,Rd}} = \frac{\mathrm{F_{t,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}} = \frac{141.3}{1.25} = 113.04\mathrm{kN} > \mathrm{F_{t,Ed}} = \frac{\mathrm{N_{Ed}}}{2} = \frac{54.13}{2} = 27.07\mathrm{kN}$$

Interakcija uzdužne I posmične sile

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow \frac{2.06}{63.12} + \frac{54.13}{1.4 \cdot 113.04} = 0.38 \leq 1.0$$

3.PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37.66mm = 40mm$$
$$a_{pl,min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 190 + 2 \cdot (40 + 40) = 350mm$$
$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20mm = 200 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 231.31mm = 240mm$$

Pritisak po omotaču rupe

$$\mathrm{F_{v,Ed}} = \frac{\mathrm{T_{Ed}}}{2} = \frac{2.06}{2} = 1.06\mathrm{kN} = \mathrm{F_{b,Ed}}$$
$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} = \frac{2.06 \cdot 1.25 \cdot 10}{143.19} = 0.18mm$$

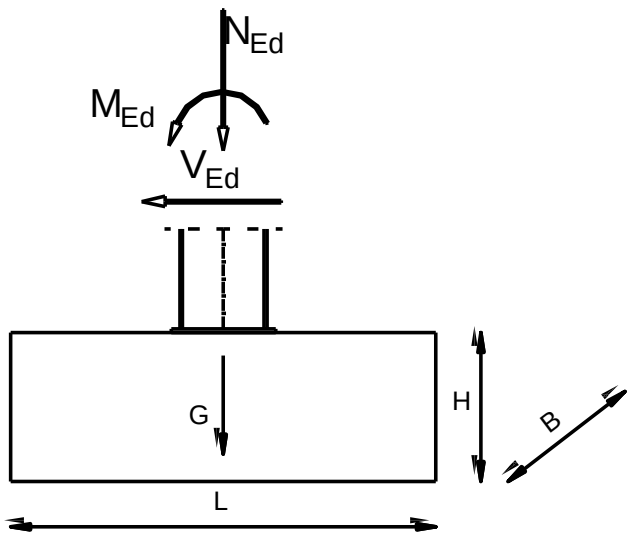
Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 27.07 \cdot 0.04 = 1.08\text{kNm}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 108 \cdot 6}{34 \cdot 27.5}} = 0.87\text{cm} = 8.7\text{mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 350x320x10mm

7. PRORAČUN TEMELJA



Tablica 18 Temelj i opterečenja temelja

Pretpostavljene dimenzije temelja:	Rezne sile:	Karakteristike(temelj, beton, čelik):
L=1.5m B=1.5m H=1.0m	N_{Ed}=44.07kN V_{Ed}=11.64kN M_{Ed}=25.54kNm	Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim}$=300kN/m^2 Beton C25/30: f_{ck}=2.5kN/cm^2 Čelik B500B: f_{yk}=50.0kN/cm^2

Tablica 19 Karakteristike temelja i temoljnog tla

<u>Površina temeljne stope:</u>

$$A = L \cdot B = 1.5 \cdot 1.5 = 2.25\text{m}^2$$

<u>Težina temeljne stope:</u>

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 1.5 \cdot 1.5 \cdot 1.0 \cdot 25 = 56.25\text{kN}$$

<u>Moment otpora temeljne stope:</u>

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{1.5 \cdot 1.5^2}{6} = 0.56\text{m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{44.07 + 56.25}{4} \pm \frac{25.54}{1.33}$$
$$\sigma_1 = 44.28 kN/m^2$$
$$\sigma_2 = 5.88 kN/m^2$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{25.54}{44.07 + 56.25} = 0.25m$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e\right) = 3 \cdot \left(\frac{1.5}{2} - 0.25\right) = 1.5m$$
$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (44.07 + 56.25)}{1.5 \cdot 1.5} = 89.17 \frac{kN}{m^2} < \sigma_{tla,lim} = 300 kN/m^2$$

Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{1.5 - 0.19}{2} = 0.66m$$
$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1.5 - 0.66}{1.5} \cdot 89.17 = 49.94 kN/m^2$$
$$M_{Ed}^{1-1} = \gamma \cdot \left(\sigma_{1-1} \cdot \frac{L_1^2}{2} \cdot B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} \cdot L_1 \cdot B \cdot \frac{2}{3} \cdot L_1\right)$$
$$M_{Ed}^{1-1} = 1.4 \cdot \left(49.94 \cdot \frac{0.66^2}{2} \cdot 1.5 + \frac{89.17 - 49.94}{2} \cdot 0.66 \cdot 1.5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.66\right) = 34.8 kNm$$

Krak unutarnjih sila u betonu:

$$z \approx 0.8 \cdot H = 0.8 \cdot 1.0 = 80cm$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{3\,480}{80 \cdot \frac{50.0}{1.15}} = 1cm^2 < A_{S1,min} = \frac{0.1}{100} \cdot B \cdot H = 15.0cm^2$$

Odabrana je minimalna armature:

Odabrano: glavna armatura → ϕ12/10

razdjelna armature → ϕ8/25

8. LITERATURA

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

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

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

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

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

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

9. NACRTI

9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50

9.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10

9.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

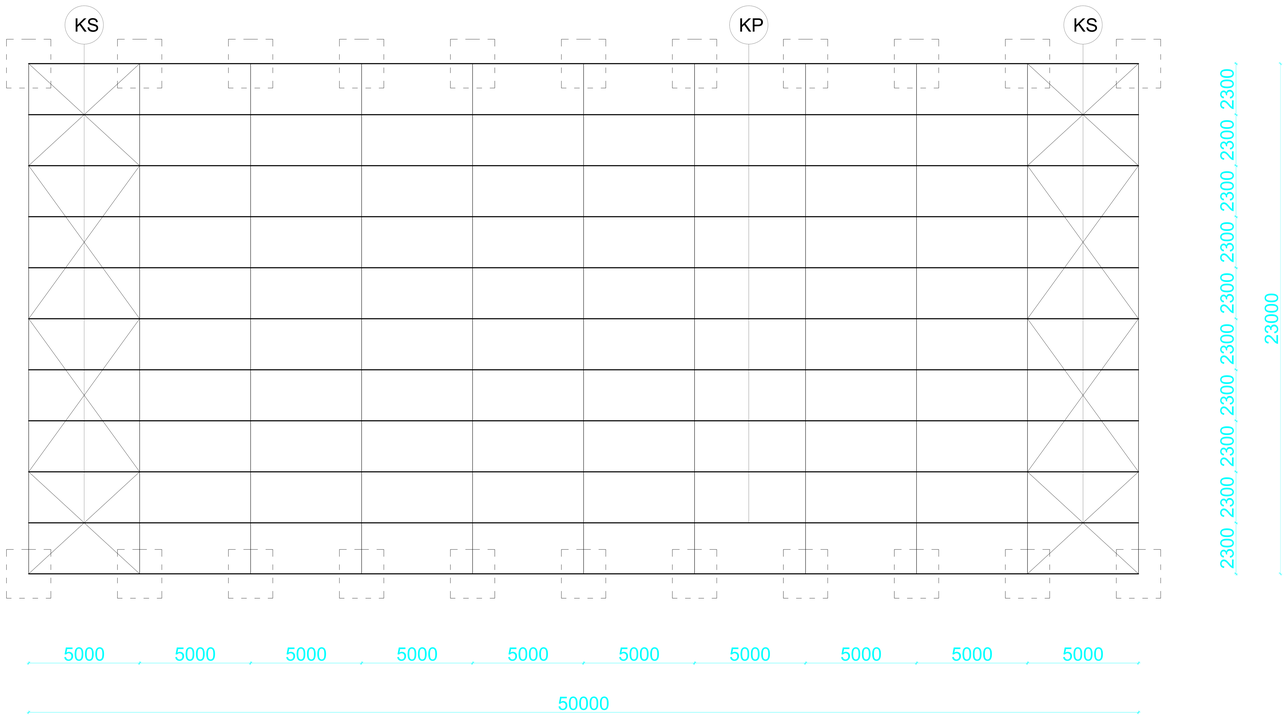
9.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50

9.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10

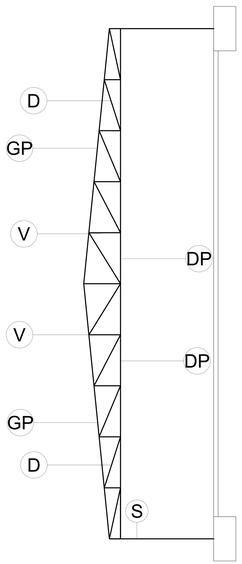
9.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

7.1 GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

TLOCRTNI POGLED

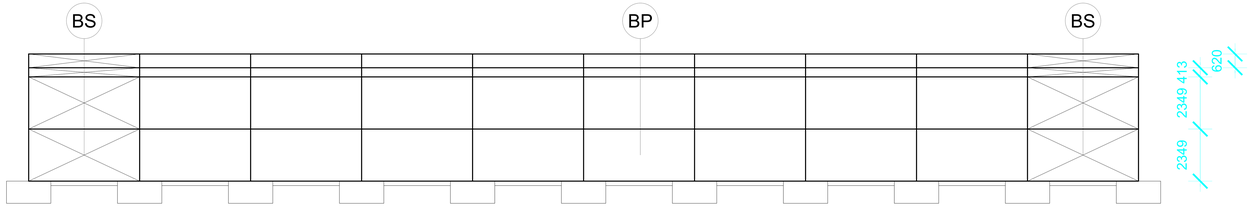


BOČNI POGLED



GORNJI POJAS	CFRHS 120x120x7.1	KROVNI SPREGOVI	•	RD 10
DONJI POJAS	CFRHS 120x120x7.1	BOČNI SPREGOVI	•	RD 10
VERTIKALE	CFRHS 120x100x2.5	BOČNE PODROŽNICE	I	IPE 200O
DIJAGONALE	CFRHS 120x100x2.5	ZABATNI STUPOVI	I	HEA 200
KROVNE PODROŽNICE	IPE 200O	STUPOVI	I	HEA 200

UZDUŽNI POGLED



SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

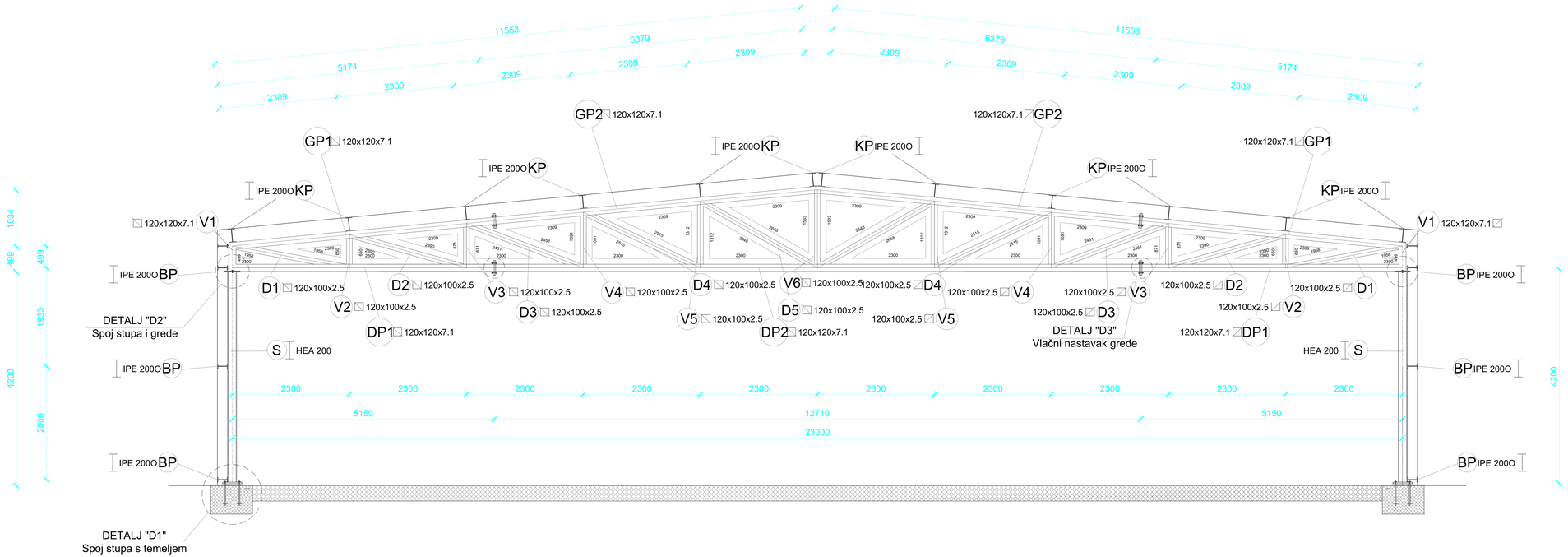
STUDENT: Milanović Mario

SADRŽAJ: Generalni plan pozicija

MJERILO: 1:200

BROJ PRILOGA: 1

DATUM: rujan 2018.



S - stup
BP - bočna podrožnica
DP - donji pojas
D - dijagonala
KP - krovna podrožnice
V - vertikale
GP - gornji pojas

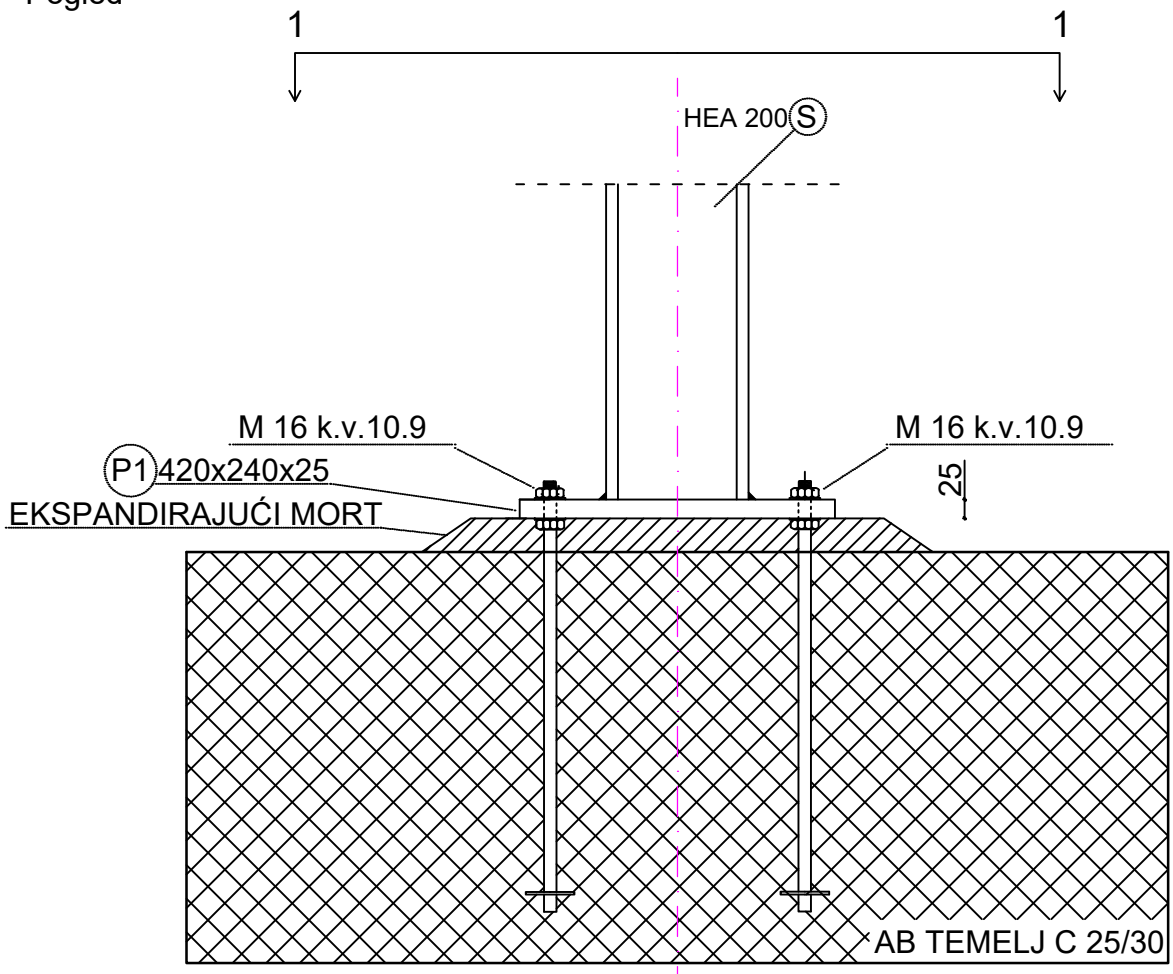
Napomena:
Materijal konstrukcije za sve elemente je S275.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

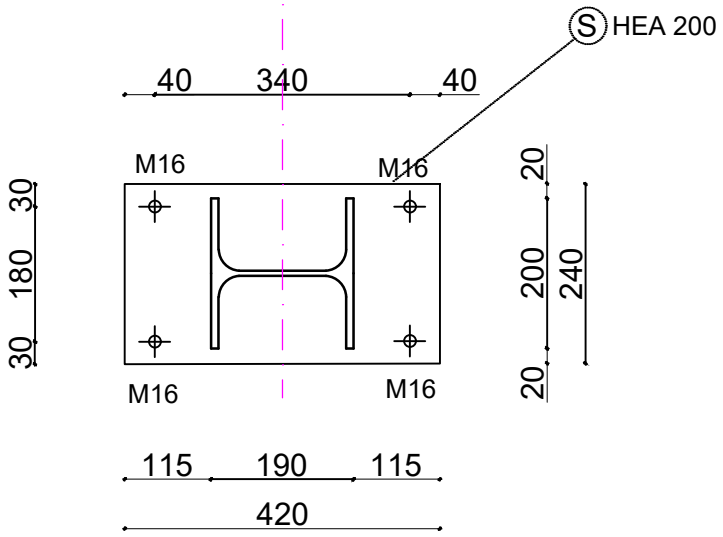
TEMA	Osnove metalnih konstrukcija PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Mario Milanović
SADRŽAJ	Poprečni presjek glavnog nosača
MJERILO	1:50
BROJ PRILOGA	2
DATUM	rujan.2018.

DETALJ "D1" SPOJ STUP-TEMELJ
M1:10

Pogled



Presjek 1-1



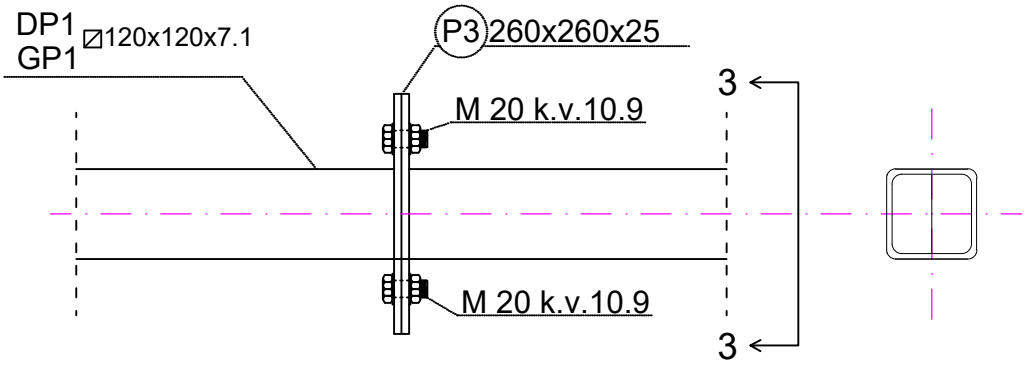
SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Milanović Mario	
	SADRŽAJ: Detalj spoja stup-temelj	MJERILO: 1:10
	DATUM: rujan, 2018.	BROJ PRILOGA: 3

DETALJ "D3" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

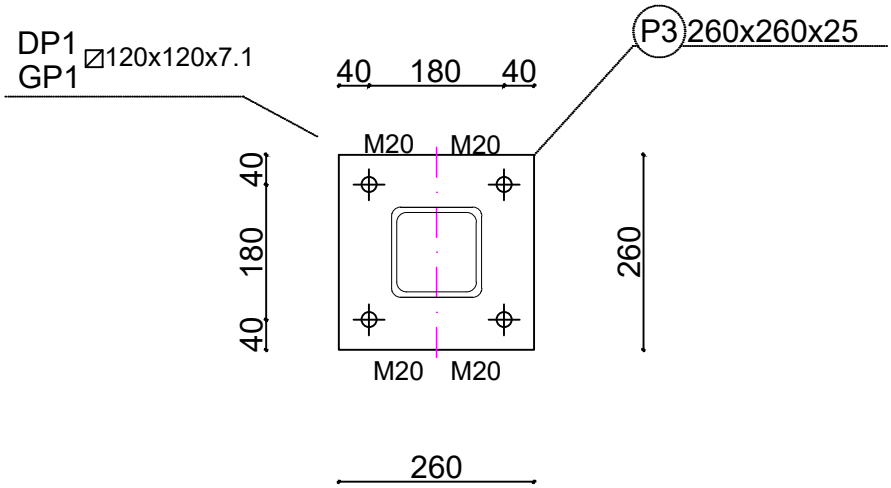
DETALJ SPOJA

M 1:10

Pogled



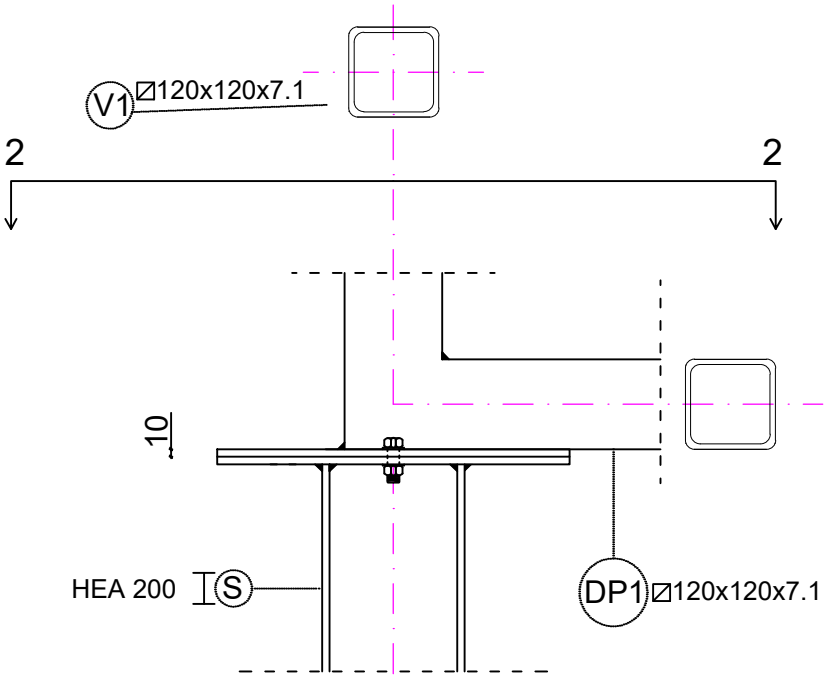
Presjek 3-3



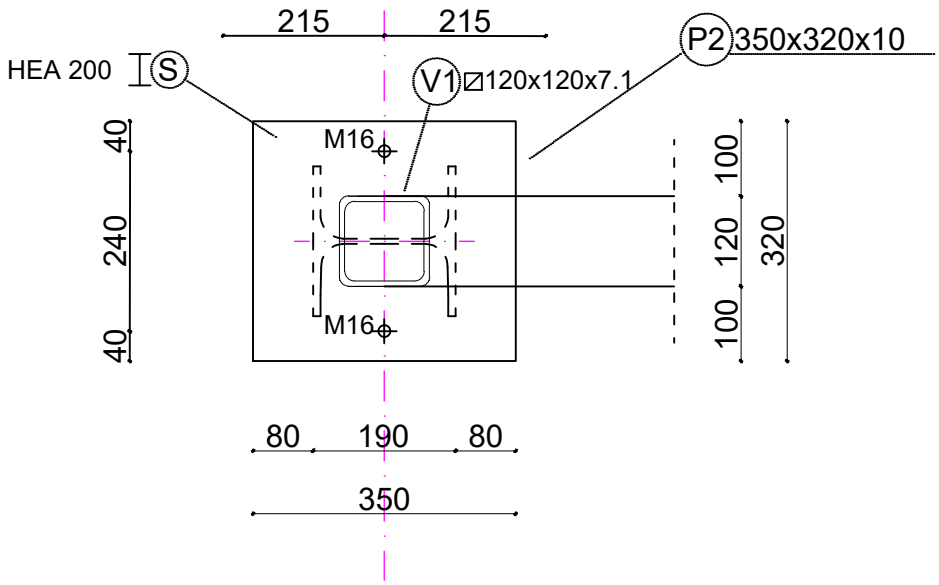
SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Milanović Mario	
	SADRŽAJ: Vlačni nastavak rešetke	MJERILO: 1:10
	DATUM: rujan, 2018.	BROJ PRILOGA: 4

DETALJ "D2" ZGLOBNI SPOJ STUPA SA REŠETKOM
M1:10

Pogled



Presjek 2-2

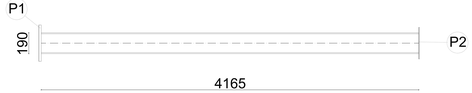


SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Milanović Mario	
	SADRŽAJ: Spoj stup-rešetka	MJERILO: 1:10
	DATUM: rujan, 2018.	BROJ PRILOGA: 5

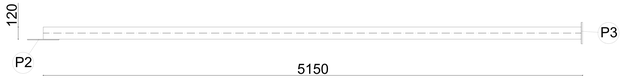
RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

M 1:50

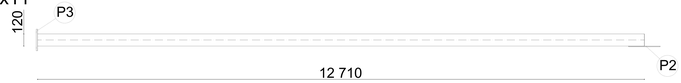
STUP (S) HEA 200 l=4165mm, kom=2x11



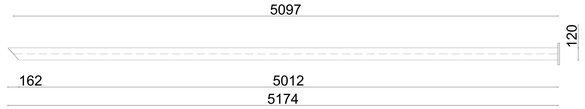
DONJI POJAS (DP1) 120x120x7.1 l=5150mm, kom=2x11



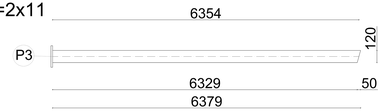
DONJI POJAS (DP2) 120x120x7.1 l=12 710mm, kom=1x11



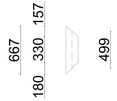
GORNJI POJAS (GP1) 120x120x7.1 l=5174mm, kom=2x11



GORNJI POJAS (GP2) 120x120x7.1 l=6379mm, kom=2x11



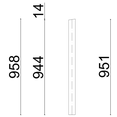
VERTIKALA (V1) 120x120x7.1 l=667mm, kom=2x11



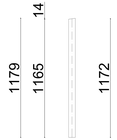
VERTIKALA (V2) 120x100x2.5 l=517mm, kom=2x11

VERTIKALA (V3) 120x100x2.5 l=738mm, kom=2x11

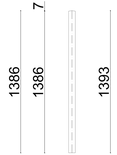
VERTIKALA (V4) 120x100x2.5 l=958mm, kom=2x11



VERTIKALA (V5) 120x100x2.5 l=1179mm, kom=2x11

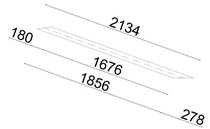


VERTIKALA (V6) 120x100x2.5 l=1390mm, kom=1x11

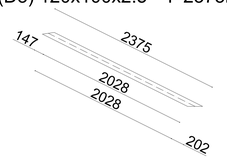


DIJAGONALA (D1) 120x100x2.5 l=2025mm, kom=2x11

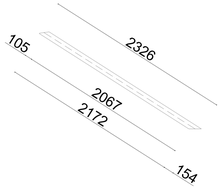
DIJAGONALA (D2) 120x100x2.5 l=2134mm, kom=2x11



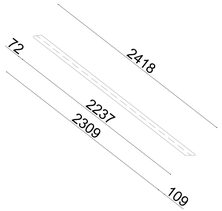
DIJAGONALA (D3) 120x100x2.5 l=2375mm, kom=2x11



DIJAGONALA (D4) 120x100x2.5 l=2326mm, kom=2x11



DIJAGONALA (D5) 120x100x2.5 l=2418mm, kom=2x11

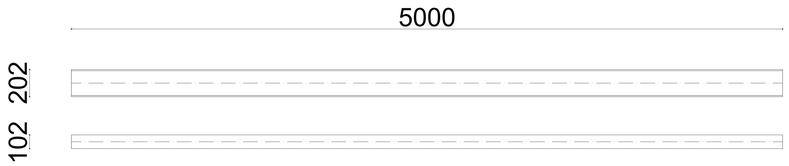


Građevina: Proizvodna hala	SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, ahitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Radionički nacrt glavnog nosača	
Izradio: Mario Milanović	
PRILOG: 6	MJ: 1:50 / Datum: rujan 2018.

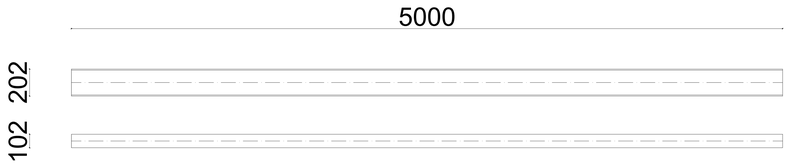
RADIONIČKI NACRT
SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

M 1:50

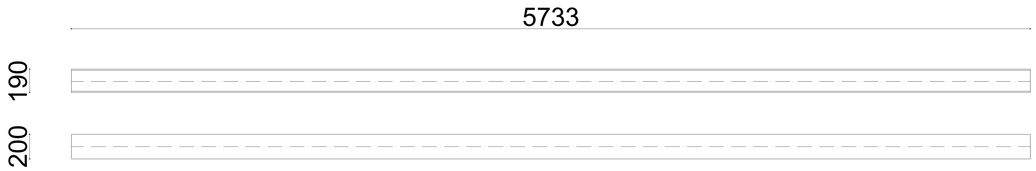
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 200O l=5000mm, kom=132



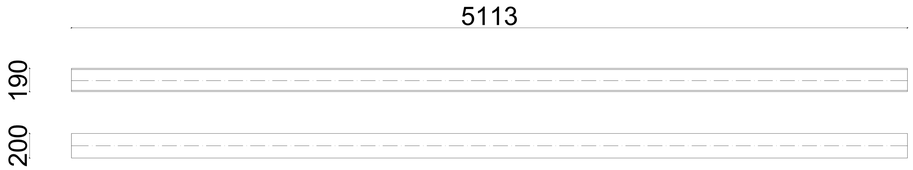
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 200O l=5000mm, kom=88



ZABATNI STUPOVI (ZB 1) HEA 200 l=5733mm, kom=2

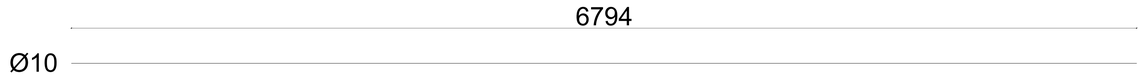


ZABATNI STUPOVI (ZB 2) HEA 200 l=5113mm, kom=4



KROVNI SPREGOVI (KS1) • l=8521mm, kom=8

KROVNI SPREGOVI (KS2) • l=6794mm, kom=8



BOČNI SPREGOVI (BS 1) • l=5348mm, kom=8

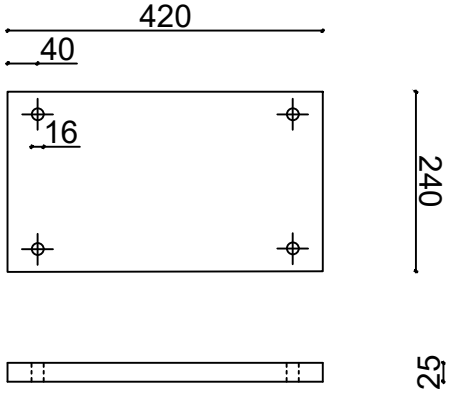
BOČNI SPREGOVI (BS 2) • l=5192mm, kom=16

Građevina: Proizvodna hala	SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, ahitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Radionički nacrt sekundarne konstrukcije	
Izradio: Mario Milanović	
PRILOG: 7	MJ: 1:50 / Datum: rujan 2018.

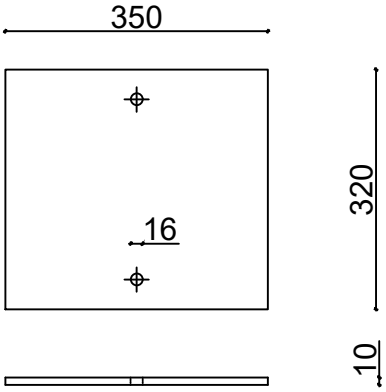
PRIKAZ PLOČICA

M 1:10

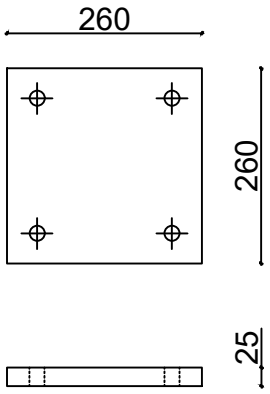
PLOČICA P1 420x240x25, kom=22



PLOČICA P2 350x320x10, kom=22



PLOČICA P3 260x260x25, kom=66



SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT Milanović Mario	
	SADRŽAJ Prikaz pločica	MJERILO 1:10
	DATUM rujan, 2018.	BROJ PRILOGA 8

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTUKCIJU

POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED.TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 200	4165	22	42.3	3875.9
Donji pojas (DP1)	120x120x7.1	5150	22	27.9	3161.1
Donji pojas (DP2)	120x120x7.1	12710	11	27.9	3900.7
Gornji pojas (GP1)	120x120x7.1	5174	22	27.9	3175.8
Gornji pojas (GP2)	120x120x7.1	6379	22	27.9	3915.4
Vertikala (V1)	120x100x2.5	667	22	14.8	217.2
Vertikala (V2)	120x100x2.5	517	22	14.8	168.3
Vertikala (V3)	120x100x2.5	738	22	14.8	240.3
Vertikala (V4)	120x100x2.5	958	22	14.8	311.9
Vertikala (V5)	120x100x2.5	1179	22	14.8	383.9
Vertikala (V6)	120x100x2.5	1393	11	14.8	226.8
Dijagonala (D1)	120x100x2.5	2025	22	14.8	659.3
Dijagonala (D2)	120x100x2.5	2134	22	14.8	694.8
Dijagonala (D3)	120x100x2.5	2326	22	14.8	757.4
Dijagonala (D4)	120x100x2.5	2375	22	14.8	773.3
Dijagonala (D5)	120x100x2.5	2418	22	14.8	787.3
Pločica (P1)	420x240x25	preko zapremnine	22	50.44	1109.7
Pločica (P2)	350x320x10	preko zapremnine	66	12.54	827.6
Pločica (P3)	260x260x25	preko zapremnine	44	16.08	707.5
Krovne podrožnice	IPE 200O	5000	120	25.4	15240
Bočne podrožnice	IPE 200O	5000	88	25.4	11176
Zabatni stupovi (ZS 1)	HEA 200	7820	2	42.3	661.6
Zabatni stupovi (ZS 2)	HEA 200	6818	4	42.3	1153.6

SUMA Σ:	54 125.4
+2% SPOJNA SREDSTVA	1 082.5
UKUPNO (kg):	55207.9
UKUPNO (kg/m^2):	48.0