Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Maleš, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:123:810363

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Petra Maleš

Split, 2015.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Petra Maleš

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, 2015.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	**PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Petra Maleš
BROJ INDEKSA:	3971
KATEDRA:	**Katedra za metalne i drvene konstrukcije**
PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je izraditi radionički nacrt sekundarne konstrukcije, radioničke nacrte sekundarne konstrukcije i spregova te detalje dodatnih spojeva.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 355

Objekt se nalazi na području Splita.

Razmak okvira: 6,0 (m)

U Splitu, 03.09.2015.

Voditelj Završnog rada:

Doc.dr.sc. Torić Neno

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je izraditi radionički nacrt sekundarne konstrukcije, radioničke nacrte sekundarne konstrukcije i spregova te detalje dodatnih spojeva.

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 make drawings of this structure: its main supporting structure, secondary structure and bracings.

Keywords:

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

Sadržaj

1.TEHNIČKI OPIS.....4

1.1. MATERIJAL.....4

1.2. KONSTRUKTIVNO RJEŠENJE HALE.....4

1.3. STATIČKA ANALIZA SISTEMA.....4

1.4. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA.....4

1.5.MONTAŽA I TRANSPORT.....6

1.6. ZAŠTITA OD KOROZIJE.....6

1.7. ZAŠTITA OD POŽARA.....6

2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....7

2.1.STALNO OPTEREĆENJE – KROVNA PLOHA.....7

2.2. Promjenjivo opterećenje.....8

2.2.1. Djelovanje snijega.....8

2.2.2. Djelovanje vjetra.....10

3. KONTROLA PROGIBA (GSU).....19

3.1. Vertikalni progib u sredini donjeg pojasa rešetke.....20

3.2. Horizontalni pomak vrha stupa.....21

4.DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN).....22

4.1. Kombinacija 1.....22

4.2. Kombinacija 2.....23

4.3. Kombinacija 3.....25

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....27

5.1. Glavna nosiva konstrukcija.....27

5.1.1. Stupovi.....27

5.1.2. Gornji pojas.....34

5.1.3. Donji pojas.....36

5.1.4. Ispune – vertikalni štapovi.....37

5.1.6. Ispune - dijagonale.....39

5.2. Sekundarna konstrukcija i stabilizacija.....41

5.2.1. Krovne podrožnice.....41

5.2.2. Bočne podrožnice.....51

5.2.3. Krovni spregovi.....60

5.2.4. Bočni spregovi.....63

6. PRORAČUN SPOJEVA.....65

6.1. Dimenzioniranje upetog spoja stup - temelj.....65

6.2. Dimenzioniranje spoja stup - rešetka.....70

6.3. Dimenzioniranje vlačnog nastavka štapa rešetke.....74

6.4. Dimenzioniranje spoja nastavka krovnih podrožnica.....76

6.5. Dimenzioniranje spoja nastavka bočnih podrožnica.....79

6.6. Dimenzioniranje spoja krovne podrožnice na GP.....82

6.7. Dimenzioniranje spoja bočne podrožnice na stup.....85

6.8. Dimenzioniranje spoja bočnih i krovnih spregova.....86

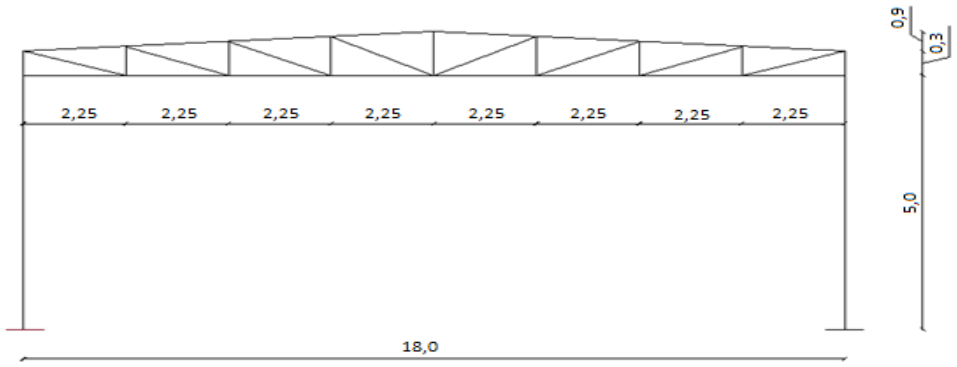
7. PRORAČUN TEMELJA.....89

8. NACRTI.....91

8. LITERATURA.....92

1. TEHNIČKI OPIS

Zadatkom je predviđena izrada proračuna metalne hale tlocrtnih dimenzija 18 m x 60,0 m, te ukupne visine 6,2 m.



1.1. MATERIJAL

Metalni elementi su izrađeni od čelika S355. Spojevi su izvedeni vijcima k.v. 10.9 kod upetog spoja stup-temelj, te vijcima kod spoja stup-rešetka.

1.2. KONSTRUKTIVNO RJEŠENJE HALE

Konstrukcija je zamišljena kao okvirni sustav od deset jednakih okvira razmaknutih za 6 m.Prilikom analize opterećenja za zadanu konstrukciju uzeto je da se objekt nalazi na području grada Splita koje spada u područje C za opterećenje snijegom i u područje P9 za opterećenje vjetrom. Prostorna stabilizacija konstrukcije predviđena je spregovima.

1.3. STATIČKA ANALIZA SUSTAVA

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja (vlastita težina, stalno, snijeg i vjetar) koja djeluju na konstrukciju. Pri ovom proračunu, analiza opterećenja je napravljena za jedan okvir raspona 18 m, kao reprezentativnog okvira.Za proračun uzimamo najnepovoljniju kombinaciju opterećenja, te je prema tome izvršeno dimenzioniranje konstrukcije.

1.4. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA

- STUPOVI

  Predviđeni su stupovi kao europski širokopojasni vrućevaljani H profili HEA 300. Stupovi su oslonjeni na betonske temelje, tako da je na njihovom spoju upotrebljena čelična ploča dimenzija 560 x 340 x 35 mm. Stupovi su vezani za temelj vijcima M27. Dimenzije i armatura temelja su analizirani u proračunu temelja.

- REŠETKASTI NOSAČ

Predviđen je rešetkasti nosač čiji su elementi izrađeni od pravokutnih cjevastih (šupljih) profila. Rešetkasti nosač se sastoji od gornjeg pojasa i donjeg pojasa (poprečnog presjeka 80x140x6 mm), 9 vertikala (središnjih šest vertikala poprečnog presjeka 60x60x4 mm, te dvije rubne poprečnog presjeka 80x140x6 mm) međusobnog osnog razmaka 2,25 m i 8 dijagonala (poprečnog presjeka 60x60x4 mm).

- SEKUNDARNI NOSAČI (PODROŽNICE)

Podrožnica prenosi opterećenje sa krovne plohe na primarne nosače (gornji pojas rešetke). Podrožnice su vijcima vezane za nosač. Također je predviđena i zidna sekundarna konstrukcija na koju se naslanjaju zidni paneli za zatvaranje konstrukcije. Proračunom su odabrane krovne podrožnice europskih širokopojasnih H profila HEA 160, te bočne podrožnice HEA 140.

- SPREGOVI

Kao dijagonale krovnih spregova odabrane su čelične sajle Φ 22 mm, a bočnih spregova čelične sajle Φ 22 mm.

- SPOJEVI

1) Stup – greda

Spoj donje pojasnice grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 330/300/10 (mm)i vijcima M16 k.v.10.9 nosivim na vlak i odrez.

2) Stup – temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 560/340/35 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M27 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

3) Vlačni nastavak gornjeg pojasa rešetke

Spoj se izvodi vijčano pomoću vezica. Pojasnice se spajaju parom ploča dimenzija 260/200/15 koje međusobno povezuju vijci M16 k.v. 10.9 nosivi na vlak i odrez.

4) Nastavak krovne podrožnice

Spoj se izvodi navarivanjem ploče dimenzija 220/160/10 na kraj elemeta koje međusobno povezuju vijci M12 k.v. 10.9 nosivi na vlak i odrez.

5) Nastavak bočne podrožnice

Spoj se izvodi navarivanjem ploče dimenzija 200/140/10 na kraj elemeta koje međusobno povezuju vijci M12 k.v. 10.9 nosivi na vlak i odrez.

6) Spoj krovne podrožnice i gornjeg pojasa

Spoj se izvodi navarivanjem ploče dimenzija 160/240/10 na element gornjeg pojasa. Međusobno se povezuju vijcima M12 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez, navarena pločica i pojasnica podrožnice.

7) Spoj bočne podrožnice i stupa

Spoj se izvodi međusobnim povezivanjem vijcima M12 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez. Spajaju se direktno pojasnice bočne podrožnice i stupa.

8) Spoj spregova

Spoj se izvodi spajanjem pločice navarene na element sprega i pločice navarene na element gornjeg pojasa. Međusobno se pločice povezuju vijkom M24 k.v. 10.9 nosivim na odrez. Dimenzije pločica prikazane su detaljno u nacrtima spojeva.

- TEMELJI

  Proračunom su odabrani temelji dimenzija 2,0 x 2,0 x 1,0 (m).

1.5.MONTAŽA I TRANSPORT

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

1.6. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama "Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čelične konstrukcije od korozije". Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita premazom boja.

1.7. ZAŠTITA OD POŽARA

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

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1.STALNO OPTEREĆENJE – KROVNA PLOHA

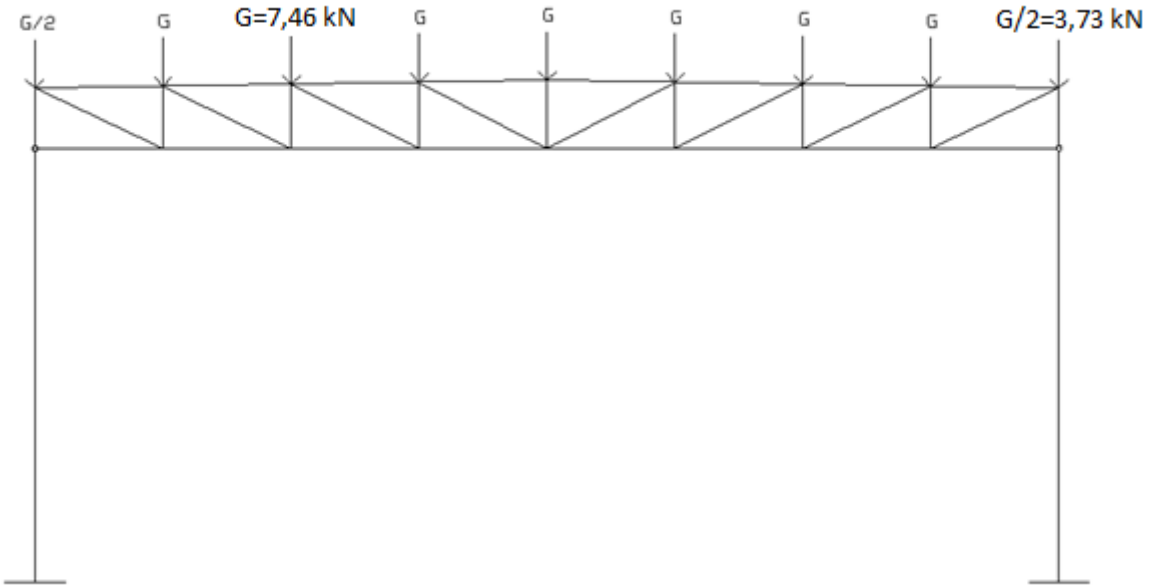
- sendvič paneli (aluminij) 0,25 kN/m^2
- sekundarna konstrukcija + spregovi 0,20 kN/m^2
- instalacije 0,10 kN/m^2

$\sum =$ 0,55 kN/m^2

$$a = \frac{2,25}{\cos(5,71)} = 2,26 \quad m$$

$$G = g \cdot a \cdot l = 0,55 \cdot 2,26 \cdot 6,00 = 7,46 \quad kN$$

Opterećenje u čvorovima okvira:



Slika 2.1.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima okvira

2.2. Promjenjivo opterećenje

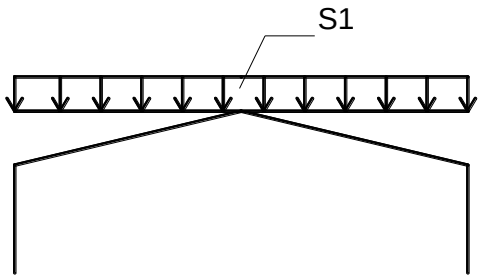
2.2.1. Djelovanje snijega

$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$ [kN/m^2]

- μ_i ... koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ovisi i obliku i nagibu krova, te o rasporedu snijega na krovnoj plohi); za α=5,71° => μ_i = 0,8
- s_k ... karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m^2 (ovisi o lokaciji i nadmorskoj visini objekta); Split, područje 1. => s_k = 0,5 kN/m^2
- C_e ... koeficijent izloženosti (obično uzima vrijednost 1,0)
- C_t ... toplinski koeficijent (obično uzima vrijednost 1,0)

Opterećenje snijegom:

1) Snijeg S_1 (opterećenje na cijeli krov): $S_1 = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}5 = 0{,}4$ kN/m^2



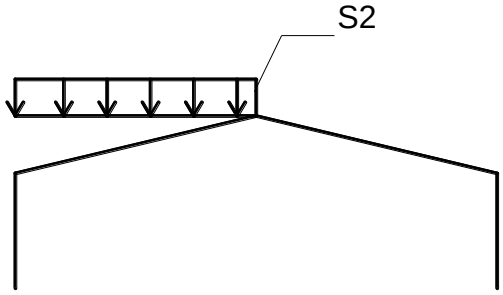
Slika 2.2.1.1. Opterećenje snijegom po cijelom nosaču

Raspodijeljena sila na glavni nosač :

Fs = 0,4 kN/m^2 · 6,0m = 2,4 kN/m'

2) Snijeg S_2 (opterećenje na pola krova):

$S_2 = 0{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}5 = 0{,}2$ kN/m^2



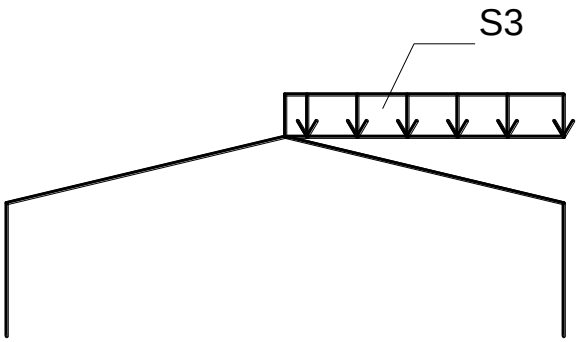
Slika 2.2.1.2. Opterećenje snijegom po pola nosača

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

Fs = 0,2 kN/m^2 · 6,0 m = 1,2 kN/m'

3) Snijeg S_2 (opterećenje na pola krova):

S_3 = 0,5· 0,8·1,0·1,0·0,5 = 0,2 kN/m^2



Slika 2.2.1.3. Opterećenje snijegom po pola nosača

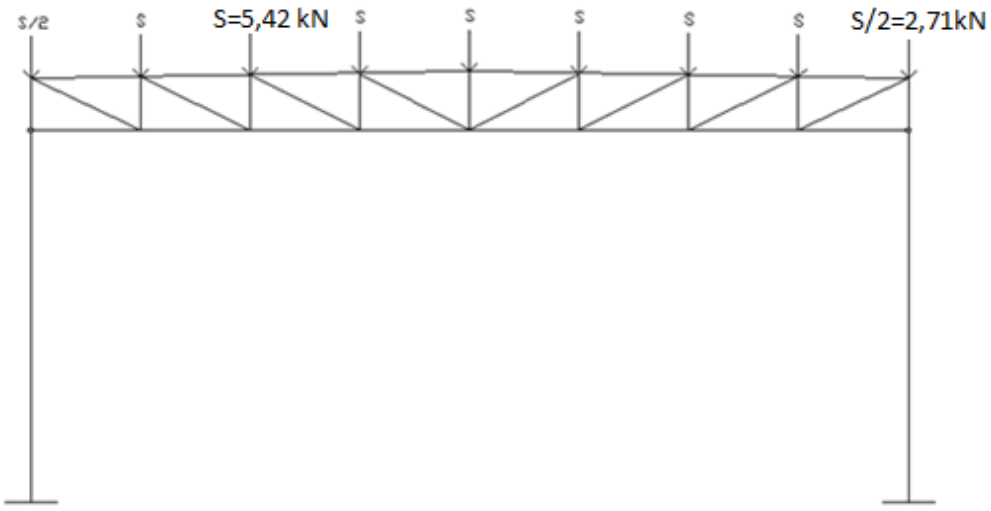
Raspodijeljena sila na glavni nosač:

Fs = 0,2 kN/m^2 · 6,0 m = 1,2 kN/m'

Opterećenje čvorova :

S=0,4 * 6,0 * 2,26 = 5,42 kN

Opterećenje čvorova:



Slika 2.2.1.4. Opterećenje snijegom u čvorovima okvira

2.2.2. Djelovanje vjetra

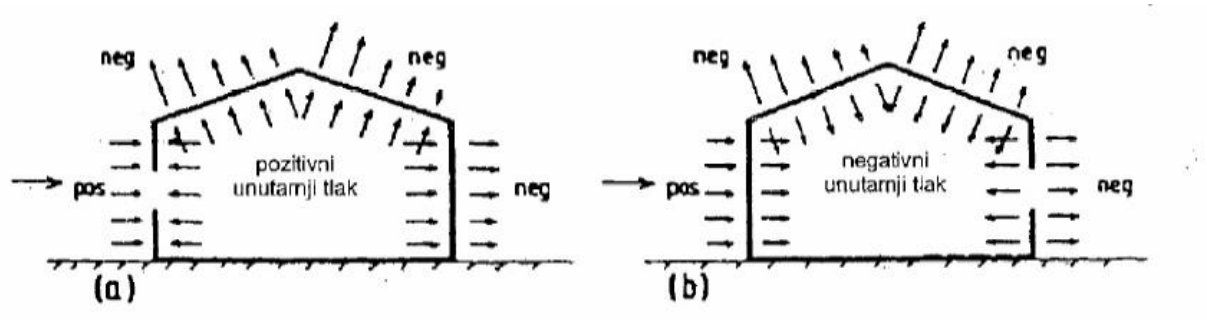
- pritisak vjetra na vanjske površine: $w_e = q_p\,(z_e)*c_{pe}$ [kN/m^2]
- pritisak vjetra na unutarnje površine: $w_i = q_p\,(z_i)*c_{pi}$ [kN/m^2]

gdje je:

$q_p\,(z_{e(i)})$– pritisak brzine vjetra pri udaru

z_e;z_i – referentna visina za vanjski ili unutarnji pritisak

c_{pe};c_{pi} – vanjski i unutarnji koeficijent pritiska



Slika 2.2.2.1. Pozitivni i negativni koeficijenti pritiska vjetra

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

Osnovni pritisak vjetra q_b određuje se prema formuli: $q_b = \frac{\rho}{2} * v_b^2$ [kN/m^2]

gdje je:

v_b – osnovna brzina vjetra

ρ – gustoća zraka (ρ=1,25 kg/m3)

Osnovna brzina vjetra v_b , dana je izrazom: $V_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$

gdje je:

$v_{b,0}$ – fundamentalna osnovne brzine vjetra

(za područje Split $v_{b,0}$=30 m/s)

c_{dir} – faktor smjera vjetra (obično uzima vrijednost 1,0)

c_{season} – faktor doba godine (obično uzima vrijednost 1,0)

v_b = 1,0*1,0*30,0 = 30 m/s

$$q_b = \frac{1,25}{2} * 30,0^2 = 562,5 \frac{N}{m^2} = 0,5625 \frac{kN}{m^2}$$

Srednja brzina vjetra $v_m(z)$ iznad terena: $v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$ [m/s]

gdje je:

$c_r(z)$ – faktor hrapavosti terena

$c_o(z)$ – faktor orografije ili opisivanje brežuljaka ili gora (obično uzima vrijednost 1,0)

Faktor hrapavosti $c_r(z)$ određuje se prema:

$c_r(z) = k_r * \ln(\frac{z}{z_o})$ za $z_{min} \leq z \leq z_{max}$

$c_r(z) = c_r(z_{min})$ za $z \leq z_{min}$

gdje su:

z_o – duljina hrapavosti (za kategoriju terena 0 → z_o = 0,003 m)

k_r – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti

z_{min} – minimalna visina hrapavosti (za kategoriju terena 0 → z_{min} = 1,0 m)

z_{max} – maksimalna visina hrapavosti (usvaja se vrijednost 200 m)

Faktor terena k_r određuje se prema:

$$k_r = 0,19(\frac{z_o}{z_{o,II}})^{0,07}$$

gdje je:

$z_{o,II}$ – duljina hrapavosti za kategoriju terena II (prema tablici iznosi 0,05 m)

$$k_r = 0,19(\frac{0,003}{0,05})^{0,07} = 0,16$$

Za 1,0 m ≤ 6,2 m ≤ 200 m

$$c_r(z) = 0,16 * \ln\left(\frac{6,2}{0,003}\right) = 1,22$$

Srednja brzina vjetra $v_m(z)$ iznad terena:

$v_m(z) = 1,22 * 1,0 * 30 = 36,6$ [m/s]

Intezitet tubulencije $I_v(z)$ računa se prema izrazu:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln(\frac{z}{z_0})}$$

gdje je:

k_I – faktor turbulencije (obično se uzima vrijednost 1,0, ukoliko nije drugačije definirano nacionalnim dodatkom)

$$I_v(z) = \frac{1{,}0}{1{,}0 * \ln\left(\frac{6{,}2}{0{,}003}\right)} = 0{,}13$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru $q_p(z)$ se računa prema sljedećem izrazu:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho_z * v_m^2(z) \frac{kN}{m^2}$$

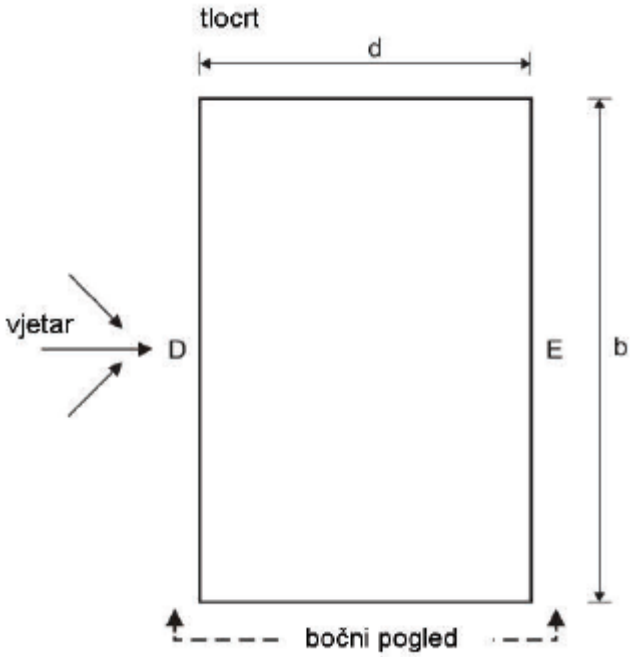
Gdje je:

$C_e(z)$ – faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena z i kategoriji terena)

$$q_p(z) = (1 + 7 * 0{,}13) * \frac{1}{2} * 1{,}25 * 36{,}6^2 = 1599{,}1 \frac{N}{m^2} = 1{,}6 \frac{kN}{m^2}$$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

Vertikalne površine konstrukcije



Slika 2.2.2.2. Definiranje područja vjetra za vertikalne zidove

Opterećena površina je veća od 10 m^2 pa se za c_{pe} uzima $c_{pe,10}$.

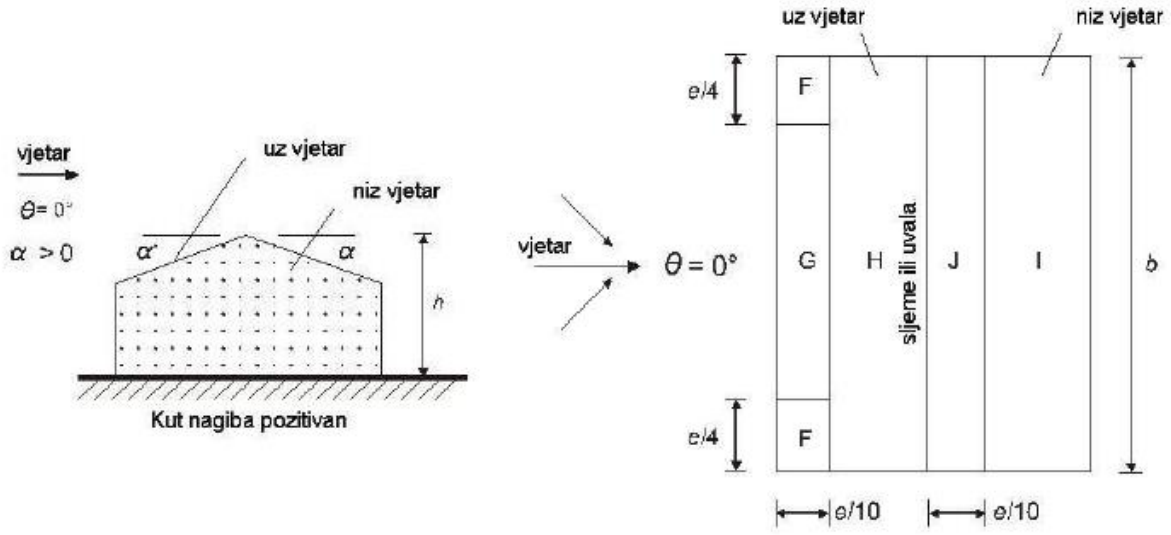
Budući da je odnos: h/d = 6,2/18 = 0,43

Očitavamo koeficijente vanjskog pritiska za zone:

D: c_{pe} = +0,712

E: c_{pe} = - 0,324

Krovne površine konstrukcije (dvostrešni krov)



Slika 2.2.2.3. Prikaz kuta djelovanja na dvostrešni krov i područja vjetra

Kut nagiba krova: $\alpha = 5{,}71 \approx 5{,}0$

Smjer vjetra: $\theta = 0$

Parametar e: $e = \min\{b;2h\} = \min\{60; 12{,}4\} = 12{,}4$ m

Očitavamo koeficijente vanjskog pritiska za zone:

F: $c_{pe} = -1{,}7\ (+0{,}0)$

G: $c_{pe} = -1{,}2\ (+0{,}0)$

H: $c_{pe} = -0{,}6\ (+0{,}0)$

I: $c_{pe} = -\ 0{,}6$

J: $c_{pe} = +0{,}2\ (-0{,}6)$

Zona F se ne razmatra, jer se proračunava središnji okvir.

Uzimaju se nepovoljniji koeficijenti.

Određivanje koeficijenta pritiska c_{pi} na unutarnje površine konstrukcije

Već je spomenuto da vrijednost koeficijenta c_{pi} ovisi o veličini i raspodjeli otvora na konstrukciji.

U slučaju kada nam nije poznat taj podatak, usvaja se nepovoljniji učinak od $c_{pi} = +0{,}2$ i $c_{pi} = -0{,}3$.

Određivanje opterećenja vjetrom *w*

Opterećenje vjetrom na vanjske površine:

$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$ kN/m^2

Opterećenje vjetrom na unutarnje površine:

$w_i = q_p(z_i) * c_{pi}$ kN/m^2

Rezultantno djelovanje vjetra dobije se kombiniranjem vanjskog i unutarnjeg učinka:

W = w_e "+" w_i , a znak "+" znači da se kombiniraju.

D: w = $q_p(z)*(c_{pe}$ "+" $c_{pi}) = 1,6 *(0,712 – 0,2) = +0,82$ kN/m^2

E: w = $q_p(z)*(c_{pe}$ "+" $c_{pi}) = 1,6 *(0,324 + 0,2) = -0,84$ kN/m^2

G: w = $q_p(z)*(c_{pe}$ "+" $c_{pi}) = 1,6*(1,2 + 0,2) = -2,24$ kN/m^2

H: w = $q_p(z)*(c_{pe}$ "+" $c_{pi}) = 1,6*(0,6 + 0,2) = -1,28$ kN/m^2

I=J: w = $q_p(z)*(c_{pe}$ "+" $c_{pi}) = 1,6*(0,6 + 0,2) = -1,28$ kN/m^2

SILE VJETRA NA ZID :

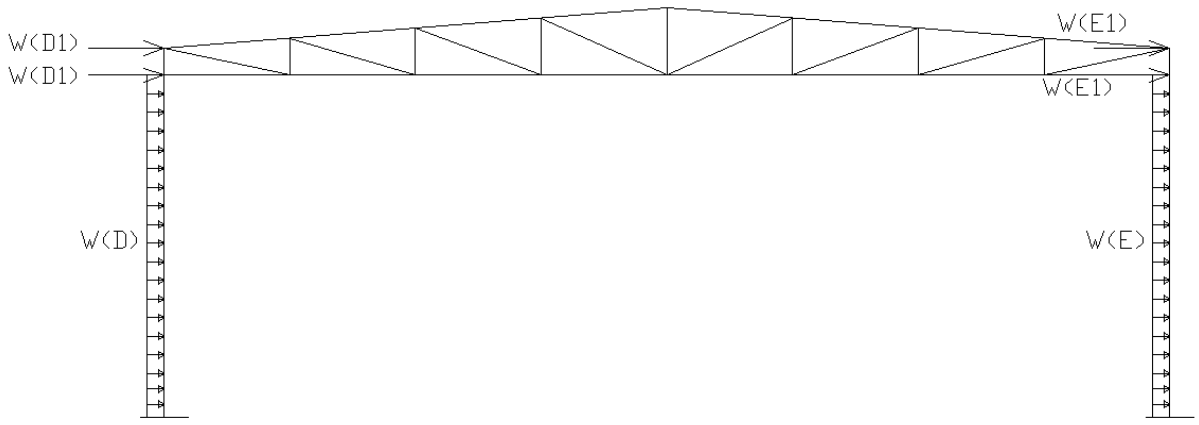
$W = w \cdot n$ [kN/m'], $n = 6{,}0$ m

D: W = 0,82*6,0 = +4,92 kN/m'

E: W = - 0,84*6,0 = -5,04 kN/m'

Sile područje D: W(D1) = (0,82 * 0,3 * 6,0)/2 = +0,74 kN

Sile područje E: W(E1) = (-0,84 * 0,3 * 6,0)/2 = -0,76 kN



Slika 2.2.2.4. Djelovanje vjetra W na okvir

SILE VJETRA NA KROV:

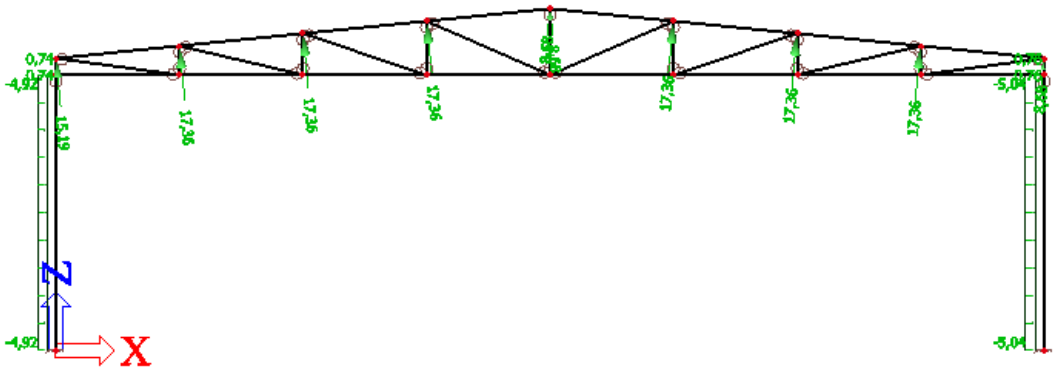
W_1 = - 2,24·6,0·2,26/2 = -15,19 kN

$W_2 = W_3 = W_4$= -1,28·6,0·2,26 = -17,36 kN

$W_{5L} = W_{5D}$ = -1,28·6,0·2,26/2 = -8,68 kN

$W_6 = W_7 = W_8$ = -1,28·6,0·2,26= -17,36 kN

W_9=-1,28·6,0·2,26/2 = -8,68 kN



Slika 2.2.2.5. Djelovanje vjetra W_1 na konstrukciju

Rezultantno djelovanje vjetra *dobije se kombiniranjem vanjskog i unutarnjeg učinka:*

W = w_e "+" w_i , a znak "+" znači da se kombiniraju.

D: w = $q_p(z)$*(c_{pe} "+" c_{pi}) = 1,6 *(0,712 +0,3) = +1,62 kN/m^2

E: w = $q_p(z)$*(c_{pe} "+" c_{pi}) = 1,6 *(0,324 - 0,3) = -0,04 kN/m^2

G: w = $q_p(z)$*(c_{pe} "+" c_{pi}) = 1,6*(0,0 + 0,3) = +0,48 kN/m^2

H: w = $q_p(z)$*(c_{pe} "+" c_{pi}) = 1,6*(0,0 + 0,3) = +0,48 kN/m^2

I: w = $q_p(z)$*(c_{pe} "+" c_{pi}) = 1,6*(0,6 - 0,3) = -0,48 kN/m^2

J: w = $q_p(z)$*(c_{pe} "+" c_{pi}) = 1,6*(0,2 + 0,3) = +0,8 kN/m^2

SILE VJETRA NA ZID :

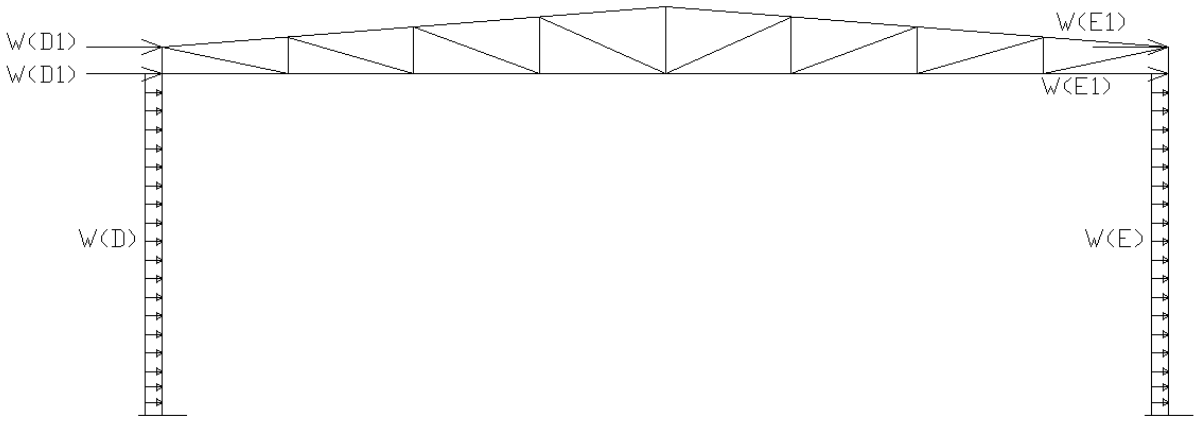
$W = w \cdot n$ [kN/m'], $n = 6{,}0\,\text{m}$

D: W = 1,62*6,0 = +9,72 kN/m'

E: W = -0,04*6,0 = -0,24 kN/m'

Sile područje D: W(D2) = (1,62 * 0,3 * 6,0)/2 = +1,46 kN

Sile područje E: W(E2) = (-0,04 * 0,3 * 6,0)/2 = -0,04 Kn



Slika 2.2.2.6. Djelovanje vjetra W na okvir

SILE VJETRA NA KROV:

W_1 = 0,48·6,0·2,26/2 = +3,25 kN

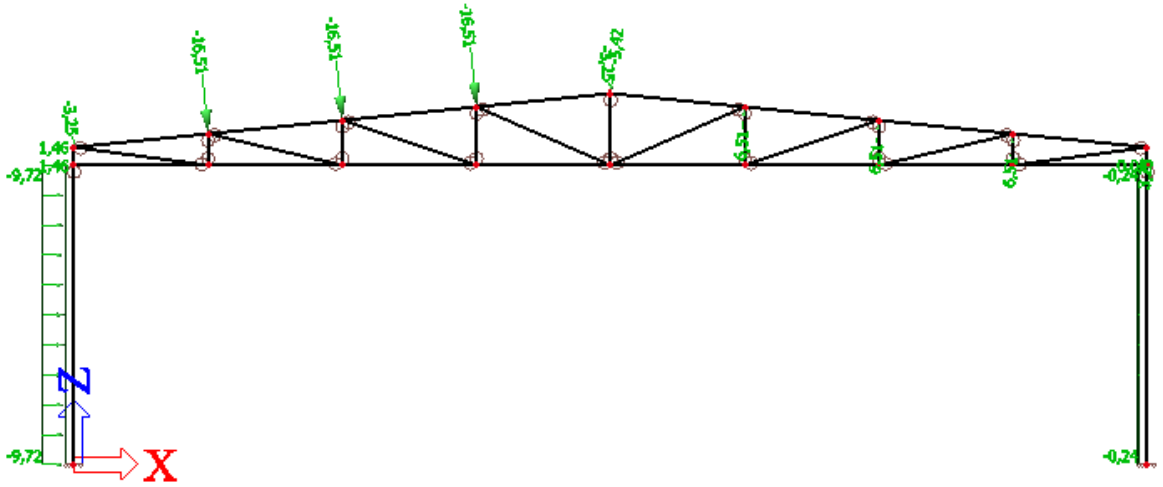
$W_2 = W_3 = W_4$= 0,48·6,0·2,26 = +6,51 kN

W_{5L} = 0,48·6,0·2,26/2 = +3,25 kN

W_{5D} = 0,8·6,0·2,26/2 = +5,42 kN

$W_6 = W_7 = W_8$ = -0,48·6,0·2,26= -6,51 kN

W_9= -0,48·6,0·2,26/2 = -3,25 kN



Slika 2.2.2.7. Djelovanje vjetra W_2 na konstrukciju

3. KONTROLA PROGIBA (GSU)

Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini koji ne smije prekoračiti vrijednost od L/250, pri čemu je L duljina rešetke. U ovom slučaju dozvoljeni progib iznosi 18000/250, što je jednako 72 mm.

Najveći progib rešetke δ_{max} koji se pojavljuje u svim provedenim kombinacijama iznosi 51,3 mm, što je manje od dopuštenih 72 mm.

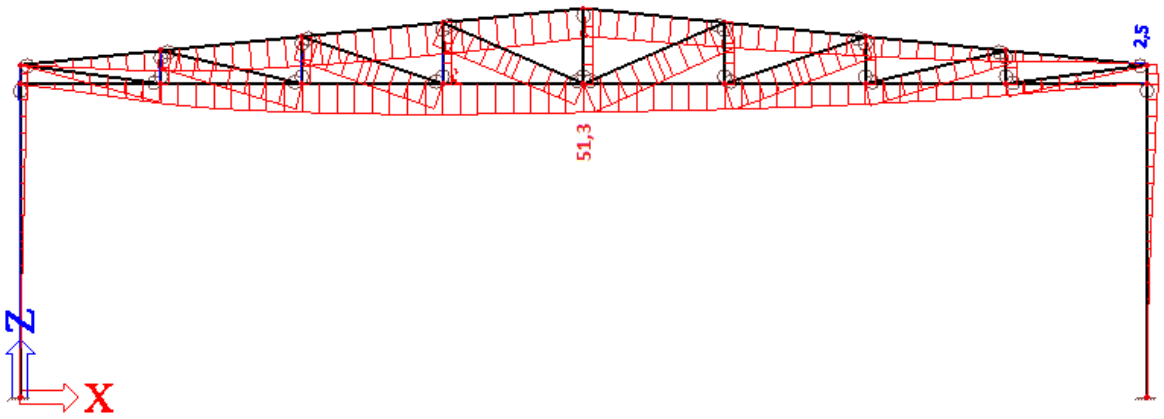
Progib stupa ne smije prekoračiti vrijednost od H/200 pri čemu je H visina stupa. U ovom slučaju dozvoljeni progib stupa iznosi 25 mm.

Najveći progib stupa δ_{max} koji se pojavljuje u svim provedenim kombinacijama iznosi 19,8 mm, što je manje od dopuštenih 25 mm.

Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU su jednaki jedinici.

3.1. Vertikalni progib u sredini donjeg pojasa rešetke

Mjerodavna kombinacija: 1.0*V.T.+1.0*G+1.0*W2



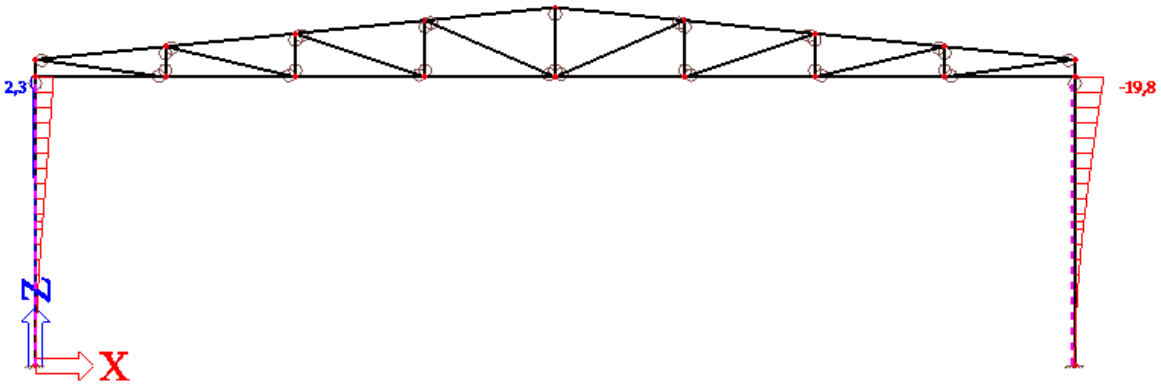
Slika 3.1.3. Vertikalni pomak rešetke uslijed mjerodavne kombinacije

Najveći pomak $\delta_{max} = 51{,}3$ mm je manji od dopuštenog $\frac{L}{250} = \frac{1800}{250} = 72$ mm.

$\Rightarrow$ Iskoristivost = 71 %

3.2. Horizontalni pomak vrha stupa

Mjerodavna kombinacija: $1.0*G+1.0*W2$



Slika 4.2.1. Horizontalni pomak rešetke uslijed mjerodavne kombinacije

Najveći pomak $\delta_{max} = 19{,}8\,\text{mm}$ je manji od dopuštenog $\frac{H}{200} = \frac{500}{200} = 25\,\text{mm}.$

$\Rightarrow$ Iskoristivost = 79 %

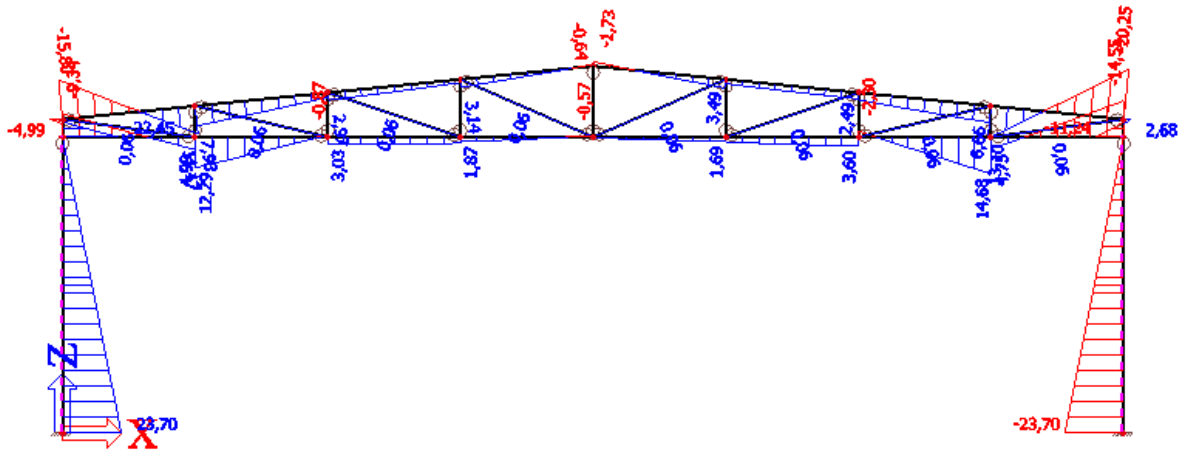
Granično stanje uporabljivosti je zadovoljeno!

4.DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

4.1. Kombinacija 1

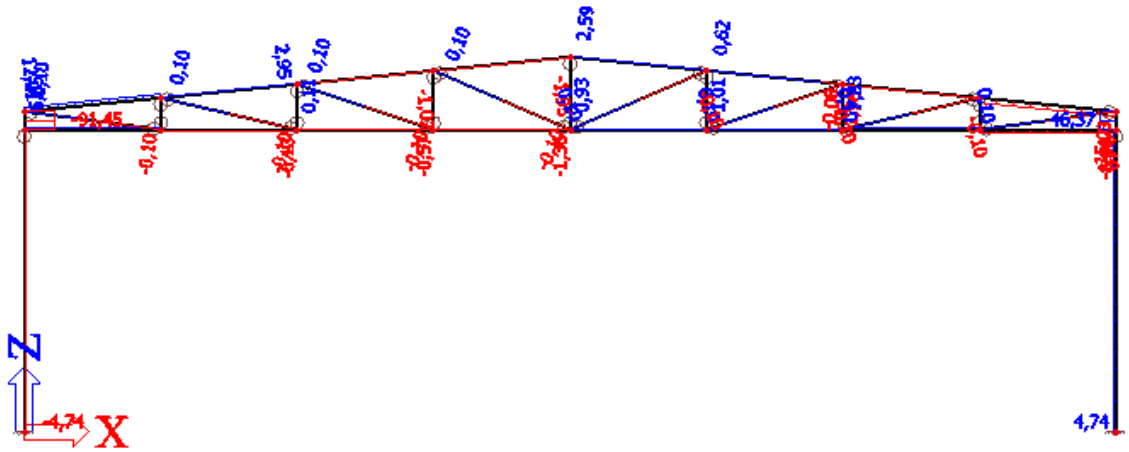
$$K_1 = 1.35 * V.T. + 1.35 * G + 1.50 * S$$

M (kNm)



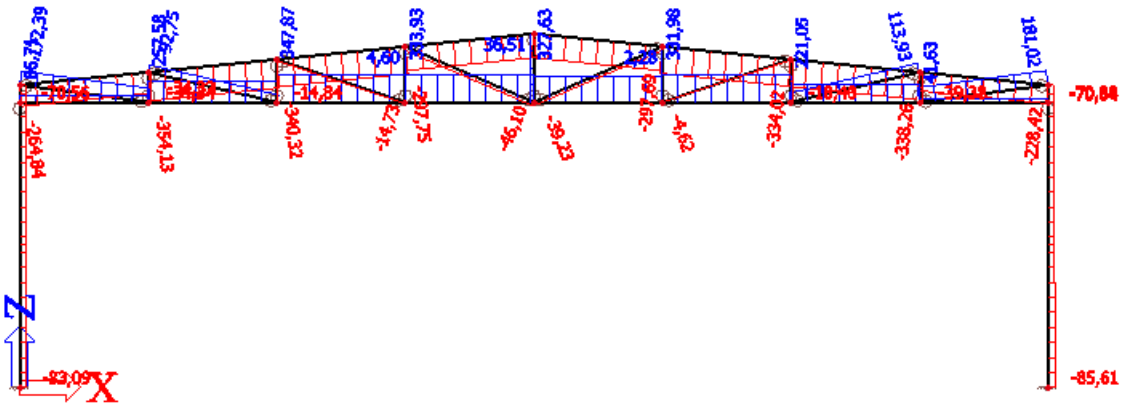
Slika 4.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1

V (kN)



Slika 4.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1

N (kN)

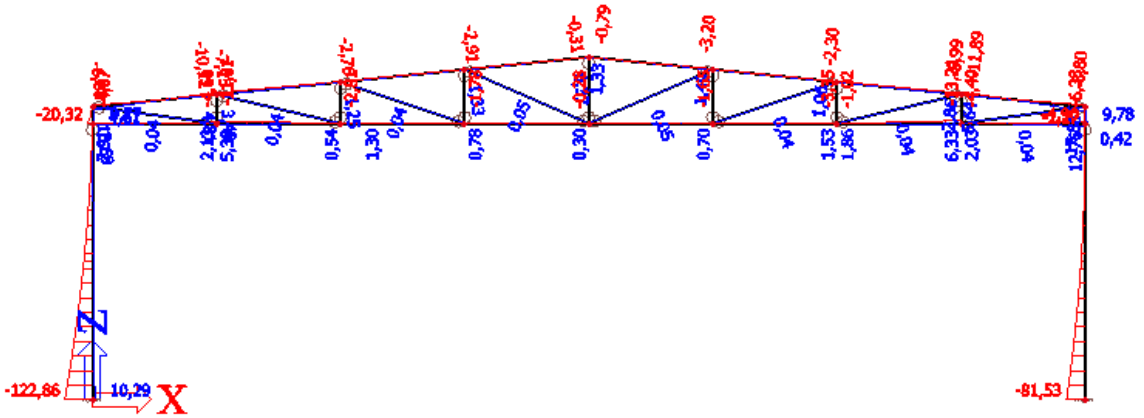


Slika 4.1.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1

4.2. Kombinacija 2

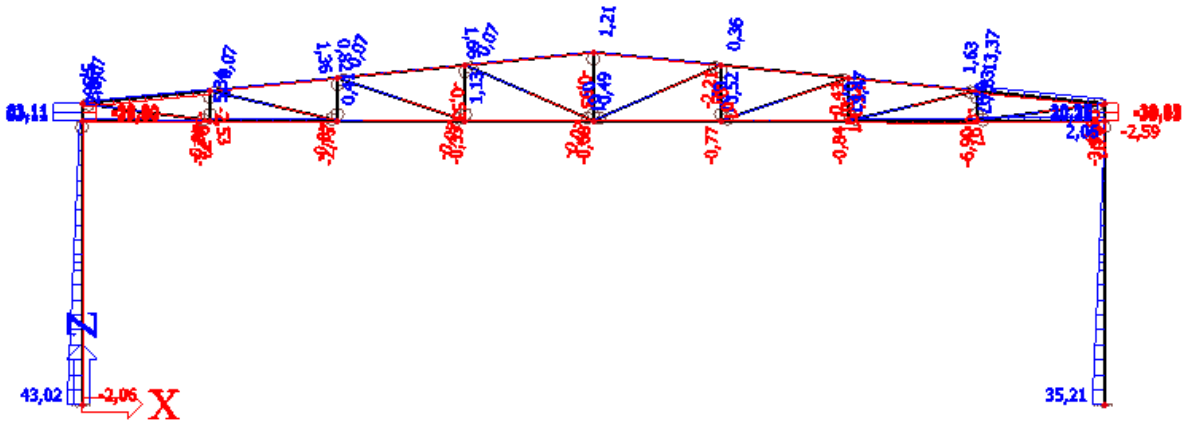
$$K_2 = 1.00 * V.T. + 1.00 * G + 1.50 * W_1$$

M (kNm)



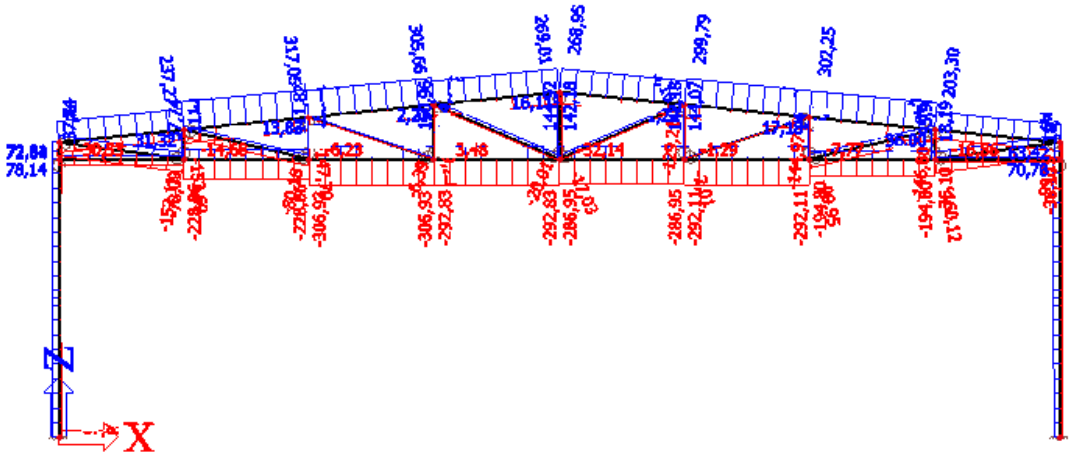
Slika 4.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 2

V (kN)



Slika 4.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2

N (kN)

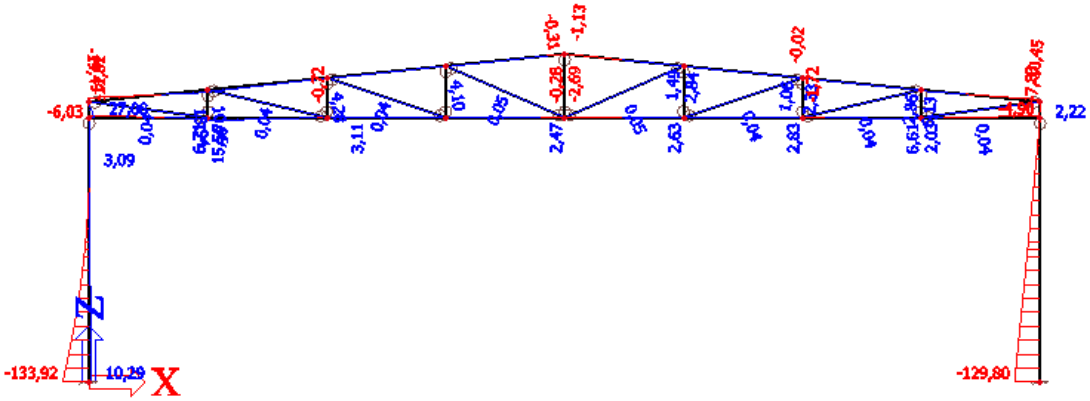


Slika 4.2.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 2

4.3. Kombinacija 3

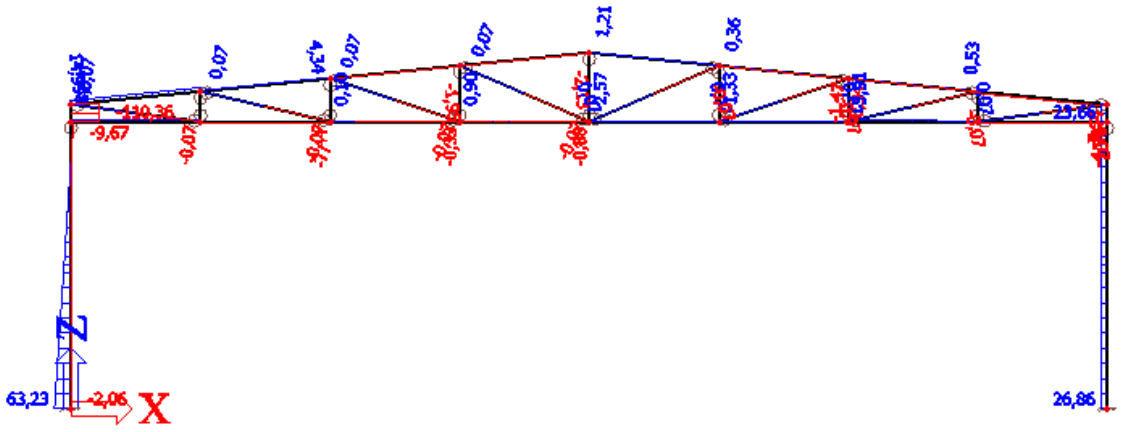
$$K_3 = 1.00 * V.T. + 1.00 * G + 1.50 * W_2$$

M (kNm)



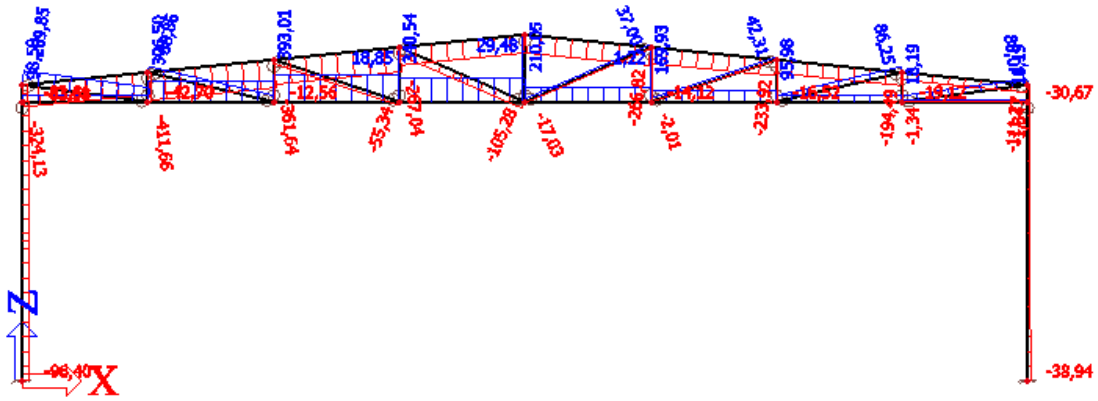
Slika 4.3.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 3

V (kN)



Slika 4.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 3

N (kN)



Slika 4.3.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 3

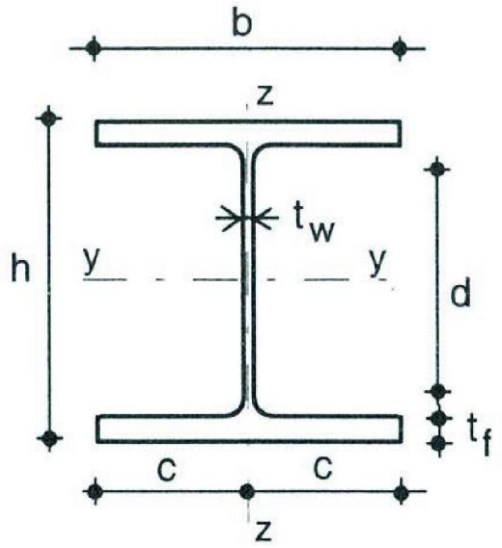
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1. Glavna nosiva konstrukcija

5.1.1. Stupovi

5.1.1.1 Karakteristike poprečnog presjeka

Skica poprečnog presjeka



slika 5.1.1.1. pop. pr. stupa

Odabrani profil: HEA 300

Tip poprečnog presjeka		vrućevaljani	
Površina poprečnog presjeka	A :	113,00	cm^2
Moment tromosti	I_y :	18300,00	cm^4
	I_z :	6310,00	cm^4
Moment otpora	$W_{el,y}$:	1260,00	cm^3
	$W_{el,z}$:	421,00	cm^3
	$W_{pl,y}$:	1383,30	cm^3
	$W_{pl,z}$:	641,67	cm^3
Torzijska konstanta	I_t:	85,20	cm^4
Radijus tromosti	i_y :	12,70	cm
	i_z :	7,50	cm
Visina presjeka	h :	290,00	mm
Širina presjeka	b :	300,00	mm
Debljina pojasnice	t_f :	14,00	mm
Debljina hrpta	t_w :	9,00	mm
Radijus	r:	27,00	mm

Osnovni materijal

Fe 510 → ε = 0,81

t<40mm	Granica popuštanja	f_y :	355	N/mm^2
	Vlačna čvrstoća	f_u :	510	N/mm^2
	Modul elastičnosti	E :	210 000	N/mm^2
	Modul posmika	G :	81 000	N/mm^2
	Poissonov koeficijent	ν :	0.3	

Parcijalni faktori sigurnosti

γ_{M0}	1,10
γ_{M1}	1,10
γ_{M2}	1,25

5.1.1.2. Maksimalne rezne sile

KOMBINACIJA K3 = 1.00*G + 1.5*W2

$$M_{max} = 133{,}92 \quad kNm$$
$$V_{max} = 63{,}23 \quad kN$$
$$N_{max} = 96{,}40 \quad kN \quad (tlak)$$

5.1.1.3. Klasifikacija poprečnog presjeka

- HRBAT (tlak + savijanje)

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 290 - 2 \cdot 14 - 2 \cdot 27 = 208 \quad cm$$
$$\frac{d}{t_w} = \frac{208}{9} = 23{,}11$$
$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2 \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{MO}}} = \frac{96{,}4}{\frac{2 \cdot 0{,}9 \cdot 35{,}5}{1.0}} = 1{,}51$$
$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{20{,}8} \cdot \left(\frac{20{,}8}{2} + 1{,}51 \right) = 0{,}57 > 0.5$$

Uvjet za klasu 1 presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \le 396 \cdot \frac{\varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} \rightarrow \frac{208}{9} \le 396 \cdot \frac{0{,}81}{13 \cdot 0.57 - 1} \rightarrow 50{,}04 \le 61{,}78$$

Hrbat je klase 1

- POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 9 - 2 \cdot 27}{2}}{14} = 8{,}46$$

Uvjet za klasu 1 poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = 8{,}46 \le 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}81 \rightarrow 8{,}46 > 7{,}29$$

Uvjet za klasu 2 poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = 8{,}46 \le 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0{,}81 \rightarrow 8{,}46 < 8{,}1$$

Uvjet za klasu 3 poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = 8{,}46 \le 10 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0{,}81 \rightarrow 8{,}46 < 11{,}34$$

Pojasnica je klase 3

Zaključak: **Odabrani poprečni presjek svrstan je u klasu 3.**

5.1.1.4. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{el,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{113 \cdot 35{,}5}{1} = 4011{,}5 \quad kN$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \le N_{pl,Rd}$$
$$96{,}4 \le 4011{,}5$$

- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} * f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1260 * 35.5}{1} = 44730 kNcm = 447{,}3 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti: $M_{y,Ed} \le M_{c,Rd} \rightarrow 133{,}92 < 447{,}3 \text{ kNm}$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2t_f}{t_w} = \frac{262}{9} 29.11 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,2} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik!

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f > \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$113 - 2 \cdot 30 \cdot 1,4 + (0,9 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,4 = 37,82 > 1,2 \cdot 26,2 \cdot 0,9 = 28,3$$

$$V_{el,z,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M,0}} = 37,82 \cdot \frac{\frac{35,5}{\sqrt{3}}}{1} = 775,16 > V_{z,Ed} = 63,23\,\text{kN}$$

- Interakcija M-V –N

$M_{Ed} = 133,92\,\text{kN}$
$V_{Ed} = 63,23\,\text{kN}$
$N_{,Ed} = -96,4\,\text{kN}$

Uvjet: $V_{z,Ed} = 63,23kN < 0.5 * V_{el,z,Rd} = 0.5 * 775,16 = 387,58\,\text{kN}$
Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Uvjet: $N_{,Ed} = 96,4kN \le 0.25 \cdot N_{el,Rd} = 0.25 \cdot 4011,5 = 1002,88$
Uvjet: $N_{Ed} = 96,4kN \le \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,5 \cdot 26,2 \cdot 0,9 \cdot 35,5}{1} = 418,55\,\text{kN}$
Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$M_{N,y,Rd} = M_{el,y,Rd} = 447,30 > M_{Ed} = 133,92kNm$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{133,92}{447,30} = 0,30 < 1.0$$

Profil HEA 300 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

5.1.1.5. Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

- Uzdužna tlačna otpornost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

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

Os y-y

$$L_{cr,y} = 2 \cdot h = 2 \cdot 500 = 1000cm$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 18300}{1000^2}$$

$$N_{cr,y} = 3792{,}89kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{113 \cdot 35{,}5}{3792{,}89}} = 1{,}03$$

Os z-z

$$L_{cr,z} = \frac{h}{2} = \frac{500}{2} = 250cm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 6310}{250^2}$$

$$N_{cr,z} = 20925{,}14kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{113 \cdot 35{,}5}{20925{,}14}} = 0{,}44$$

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0{,}97 < 1{,}2$$

$$t_f = 14mm < 100mm$$

Za valjani profil:
Za os y-y → krivulja izvijanja b
Za os z-z → krivulja izvijanja c

Očitani faktori redukcije: $\chi_y = 0{,}5781$

$\chi_z = 0{,}8760$

Mjerodavna je manja vrijednost:
$\chi = \chi_{\min} = 0{,}5781$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = \frac{0{,}5781 \cdot 113 \cdot 35{,}5}{1} = 2319{,}05kN > N_{Ed} = 96{,}4kN$$

- Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)_2} \cdot \left(\sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_{2\cdot} \cdot z_g \right)$$

L = 250 cm – razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{29}{2} = 14{,}5cm$$

$$G = \frac{E}{2*(1+\nu)} = \frac{21000}{2.6} = 8077\,\text{kN/cm}^2$$

Na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja stupa imamo slijedeće koeficijente: k=1,0, k_w=1,0, C_1=1,31 i C_2=0.0

$$M_{cr} = 1{,}31 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 6310}{(1 \cdot 500)^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{1^2}{1^2} \cdot \frac{1200 \cdot 10^3}{6310} + \frac{(1 \cdot 500)^2 \cdot 8077 \cdot 85{,}20}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 6310}} \right)$$

$$M_{cr} = 409403{,}55kNcm = 4094{,}04kNm$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1260 \cdot 35.5}{409403{,}55}} = 0{,}331 < 0.4$$

.Utjecaj bočnog izvijanja se može zanemariti.

$$M_{b,Rd} = M_{c,Rd} = 447{,}3kNm$$

$$M_{y,Ed} \le M_{b,Rd} \rightarrow 133{,}92 < 447{,}3\,\text{kNm}$$

- Interakcija M-N

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

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

Interakcijski faktori za klasu 3:

$$k_{yy} = C_{my}\left(1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y\cdot\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)\le C_{my}\left(1+0{,}6\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y\cdot\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

$$k_{zy} = \left(1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0{,}25)}\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z\cdot\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)\ge\left(1-\frac{0{,}05}{(C_{mLT}-0{,}25)}\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z\cdot\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

$0\le\alpha_h\le 1$ $\qquad C_{my}=0{,}95+0{,}05\cdot\alpha_h$

➔

$-1\le\psi\le 1$ $\qquad C_{mLT}=0{,}95+0{,}05\cdot\alpha_h$

$$C_{my}=0{,}95+0{,}05\cdot 0{,}5=0{,}975$$

$$C_{mLT}=0{,}95+0{,}05\cdot 0{,}5=0{,}975$$

$$k_{yy}=0{,}975\left(1+0{,}6\cdot 1{,}03\cdot\frac{96{,}4}{0{,}5781\cdot\frac{4011{,}5}{1}}\right)\le 0{,}975\left(1+0{,}6\cdot\frac{96{,}4}{0{,}5781\cdot\frac{4011{,}5}{1}}\right)$$

$$k_{yy}=1=1$$

$$k_{zy}=\left(1-\frac{0{,}05\cdot 0{,}44}{(0{,}975-0{,}25)}\cdot\frac{96{,}4}{0{,}8760\cdot\frac{4011{,}5}{1}}\right)\ge\left(1-\frac{0{,}05}{(0{,}975-0{,}25)}\cdot\frac{96{,}4}{0{,}8760\cdot\frac{4011{,}5}{1}}\right)$$

$$k_{zy}=0{,}999\ge 0{,}998$$

$$\frac{96{,}4}{0{,}5781\cdot\frac{4011{,}5}{1}}+1\cdot\frac{133{,}92}{\frac{447{,}3}{1}}=0{,}74\le 1$$

$$\frac{96{,}4}{0{,}8760\cdot\frac{4011{,}5}{1}}+0{,}999\cdot\frac{133{,}92}{\frac{447{,}3}{1}}=0{,}73\le 1$$

Interakcija M-N zadovoljava

5.1.1.6. Iskoristivost poprečnog presjeka

Profil HEA 300 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti; η = 74 %.

5.1.2. Gornji pojas

5.1.2.1. Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:80 x 140 /6

Tip poprečnog presjeka		vrućevaljani	
Površina poprečnog presjeka	A :	24,03	cm^2
Moment tromosti	I_y :	247,96	cm^4
	I_z :	597,00	cm^4
Moment otpora	$W_{el,y}$:	61,99	cm^3
	$W_{el,z}$:	85,29	cm^3
	$W_{pl,y}$:	72,43	cm^3
	$W_{pl,z}$:	107,09	cm^3
Torzijska konstanta	I_t:	583,80	cm^4
Radijus tromosti	i_y :	3,20	cm
	i_z :	5,00	cm
Visina presjeka	h :	80,00	mm
Širina presjeka	b :	140,00	mm
Debljina pojasnice	t_f :	6,00	mm
Debljina hrpta	t_w :	6,00	mm

Osnovni materijal

Fe 510 → ε = 0,81

t<40mm	Granica popuštanja	f_y :	355	N/mm^2
	Vlačna čvrstoća	f_u :	510	N/mm^2
	Modul elastičnosti	E :	210 000	N/mm^2
	Modul posmika	G :	81 000	N/mm^2
	Poissonov koeficijent	ν :	0.3	

Parcijalni faktori sigurnosti

γ_{M0}	1,10
γ_{M1}	1,10
γ_{M2}	1,25

5.1.2.2. Maksimalne rezne sile

N_{sd} = -411,66 kN (tlak)

5.1.2.3. Klasifikacija poprečnog presjeka

ε= 0,81

$\frac{d}{t_w} = \frac{62}{6} = 10{,}33 < 33\,\varepsilon = 26{,}73 \rightarrow$ klasa 1

Poprečni presjek → klasa 1

5.1.2.4. Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila N_{Sd} = -411,66 kN (tlak)

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24{,}03*35{,}5}{1{,}1} = 775{,}51$ kN > N_{Sd} = 411,66 kN → zadovoljava

5.1.2.5. Otpornost elementa

$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 76{,}41$, $\beta_A = 1.0$

Os y-y

l_{iy} = 226,1 cm

$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 70{,}66$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0{,}93$

Os z-z

l_{iz} = 452,2 cm

$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 90{,}44$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1{,}18$

Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a

$\chi_y = 0.7206$ $\chi_z = 0.5427$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} * N_{c,Rd} = 420{,}87$ kN > N_{sd} = 411,66 kN → zadovoljava

5.1.2.6. Iskoristivost poprečnog presjeka

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

TLAK → $\eta = \frac{411{,}66}{420{,}87} = 0{,}9781 = 97{,}81\ \%$

5.1.3. Donji pojas

5.1.3.1. Maksimalne rezne sile

N_{sd} = -306,93 kN (tlak)

5.1.3.2. Iskoristivost poprečnog presjeka

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\text{TLAK} \rightarrow \quad \eta = \frac{306,93}{420,87} = 0,7293 = 72,93\ \%$$

Komentar: S obzirom da su gornji i donji pojas jednakog poprečnog presjeka, dimenzioniranje smo izvršili na veću uzdužnu tlačnu silu koja se javlja u gornjem pojasu.

5.1.4. Ispune – vertikalni štapovi

5.1.4.1. Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: 60 x 60 / 4

Tip poprečnog presjeka		vrućevaljani	
Površina poprečnog presjeka	A :	8,55	cm^2
Moment tromosti	I_y :	43,55	cm^4
	I_z :	43,55	cm^4
Moment otpora	$W_{el,y}$:	14,52	cm^3
	$W_{el,z}$:	14,52	cm^3
	$W_{pl,y}$:	17,64	cm^3
	$W_{pl,z}$:	17,64	cm^3
Torzijska konstanta	I_t:	72,64	cm^4
Radijus tromosti	i_y :	2,30	cm
	i_z :	2,30	cm
Visina presjeka	h :	60,00	mm
Širina presjeka	b :	60,00	mm
Debljina pojasnice	t_f :	4,00	mm
Debljina hrpta	t_w :	4,00	mm

Osnovni materijal

Fe 510 → ε = 0,81

t<40mm	Granica popuštanja	f_y :	355	N/mm^2
	Vlačna čvrstoća	f_u :	510	N/mm^2
	Modul elastičnosti	E :	210 000	N/mm^2
	Modul posmika	G :	81 000	N/mm^2
	Poissonov koeficijent	ν :	0.3	

Parcijalni faktori sigurnosti

γ_{M0}	1,10
γ_{M1}	1,10
γ_{M2}	1,25

5.1.4.2. Maksimalne rezne sile

N_{sd} = 36,51 kN (vlak)

N_{sd} = -42,70 kN (tlak)

5.1.4.3. Klasifikacija poprečnog presjeka

ε= 0,81

$\frac{d}{t_w} = \frac{48}{4} = 12 < 33\ \varepsilon = 26{,}73 \rightarrow$ klasa 1

Poprečni presjek → klasa 1

5.1.4.4. Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila N_{Sd} = 36,51 kN (vlak)

$N_{Rd} = \frac{0{,}9 * A_{netto} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * 8{,}55 * 51}{1{,}25} = 313{,}96$ kN > N_{Sd} = 36,51 kN→ zadovoljava

Uzdužna sila N_{Sd} = 42,70 kN (tlak)

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8{,}55 * 35{,}5}{1{,}1} = 275{,}93$ kN > N_{Sd} = 42,70 kN → zadovoljava

5.1.4.5. Otpornost elementa

$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 76{,}41$, $\beta_A = 1.0$

Os y-y

l_{iy} = 52,5 cm

$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 22{,}83$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0{,}3$

Os z-z

l_{iz} = 52,5 cm

$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 22{,}83$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0{,}3$

Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a

$\chi_y = 0.9775$ $\chi_z = 0.9775$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} * N_{c,Rd} = 269{,}72$ kN > N_{sd} = 42,70 kN → zadovoljava

5.1.6. Ispune - dijagonale

5.1.6.1. Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: 60 x 60 / 4

Tip poprečnog presjeka		vrućevaljani	
Površina poprečnog presjeka	A :	8,55	cm^2
Moment tromosti	I_y :	43,55	cm^4
	I_z :	43,55	cm^4
Moment otpora	$W_{el,y}$:	14,52	cm^3
	$W_{el,z}$:	14,52	cm^3
	$W_{pl,y}$:	17,64	cm^3
	$W_{pl,z}$:	17,64	cm^3
Torzijska konstanta	I_t:	72,64	cm^4
Radijus tromosti	i_y :	2,30	cm
	i_z :	2,30	cm
Visina presjeka	h :	60,00	mm
Širina presjeka	b :	60,00	mm
Debljina pojasnice	t_f :	4,00	mm
Debljina hrpta	t_w :	4,00	mm

Osnovni materijal

Fe 510 → ε = 0,81

t<40mm	Granica popuštanja	f_y :	355	N/mm^2
	Vlačna čvrstoća	f_u :	510	N/mm^2
	Modul elastičnosti	E :	210 000	N/mm^2
	Modul posmika	G :	81 000	N/mm^2
	Poissonov koeficijent	ν :	0.3	

Parcijalni faktori sigurnosti

γ_{M0}	1,10
γ_{M1}	1,10
γ_{M2}	1,25

5.1.6.2. Maksimalne rezne sile

N_{sd} = 209,85 kN (vlak)

N_{sd} = -160,12 kN (tlak)

5.1.6.3. Klasifikacija poprečnog presjeka

ε= 0,81

$\frac{d}{t_w} = \frac{48}{4} = 12 < 33\ \varepsilon = 26{,}73 \rightarrow$ klasa 1

Poprečni presjek → klasa 1

5.1.6.4. Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila N_{Sd} = 209,85 kN (vlak)

$N_{Rd} = \frac{0{,}9 * A_{netto} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * 8{,}55 * 51}{1{,}25} = 313{,}96$ kN > N_{Sd} = 209,85 kN→ zadovoljava

Uzdužna sila N_{Sd} = 105,28 kN (tlak)

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8{,}55 * 35{,}5}{1{,}1}$ = 275,93 kN > N_{Sd} = 105,28kN → zadovoljava

5.1.6.5. Otpornost elementa

$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 76{,}41$, $\beta_A = 1.0$

Os y-y

l_{iy} = 227,0 cm

$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 98{,}70$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1{,}29$

Os z-z

l_{iz} = 227,0 cm

$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 98{,}70$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1{,}29$

Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a

χ_y = 0.4760 χ_z = 0.4760

$N_{b,Rd} = \chi_{min} * N_{c,Rd}$ = 131,34 kN > N_{sd} = 105,28 kN → zadovoljava

5.1.6.6. Iskoristivost poprečnog presjeka

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

VLAK → $\eta = \frac{209{,}85}{313{,}96} = 0{,}6684 = 66{,}84\ \%$

TLAK → $\eta = \frac{\mathbf{105{,}28}}{\mathbf{131{,}34}} = \mathbf{0{,}8016 = 80{,}16}\ \%$

5.2. Sekundarna konstrukcija i stabilizacija

5.2.1. Krovne podrožnice

Opterećenje sendvič panelima krovnih podrožnica

- sendvič paneli (aluminij) ..... 0,25 kN/m^2

- sekundarna konstrukcija i spregovi ..... 0,20 kN/m^2

$$G_z = g \cdot l \cdot cos\alpha = 0{,}45 \cdot 2{,}26 \cdot cos\ 5{,}71° = 1{,}01 \text{kN/m'}$$

$$G_y = g \cdot l \cdot sin\alpha = 0{,}45 \cdot 2{,}26 \cdot sin\ 5{,}71° = 0{,}1 \text{ kN/m'}$$

l→razmak sekundarnih krovnih nosača, l = 2,26 m

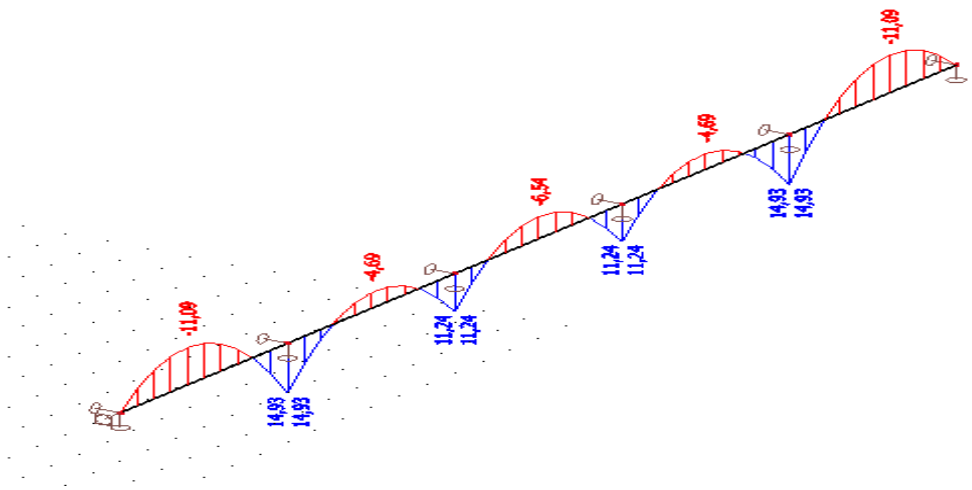
Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za krovne sekundarne nosače

- Podtlačno djelovanje vjetra

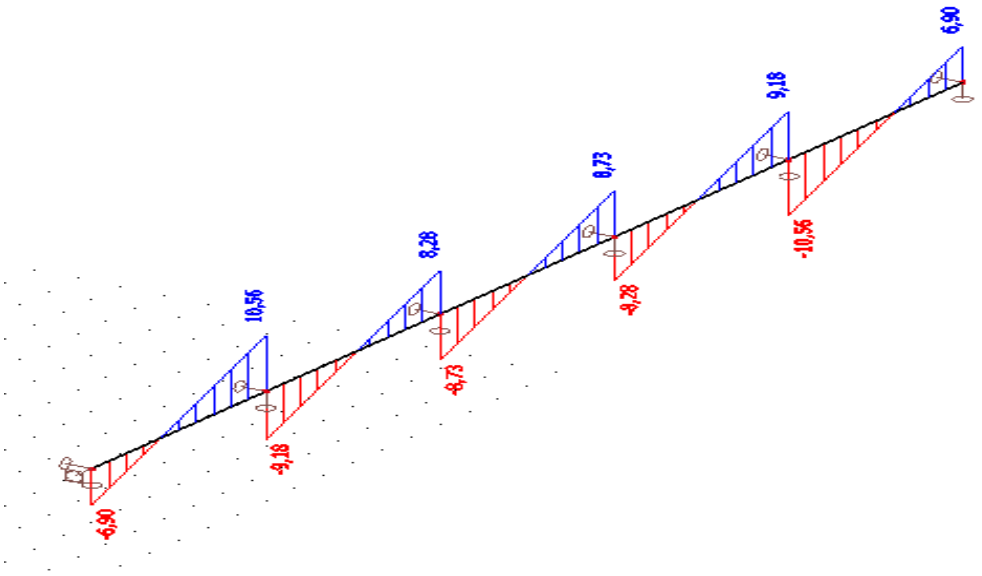
  w_k = -0,37 kN/m^2, za područje H koje je mjerodavno

$$W_z = w_k \cdot l = -1{,}28 \cdot 2{,}26 = -2{,}88 \text{ kN/m'}$$

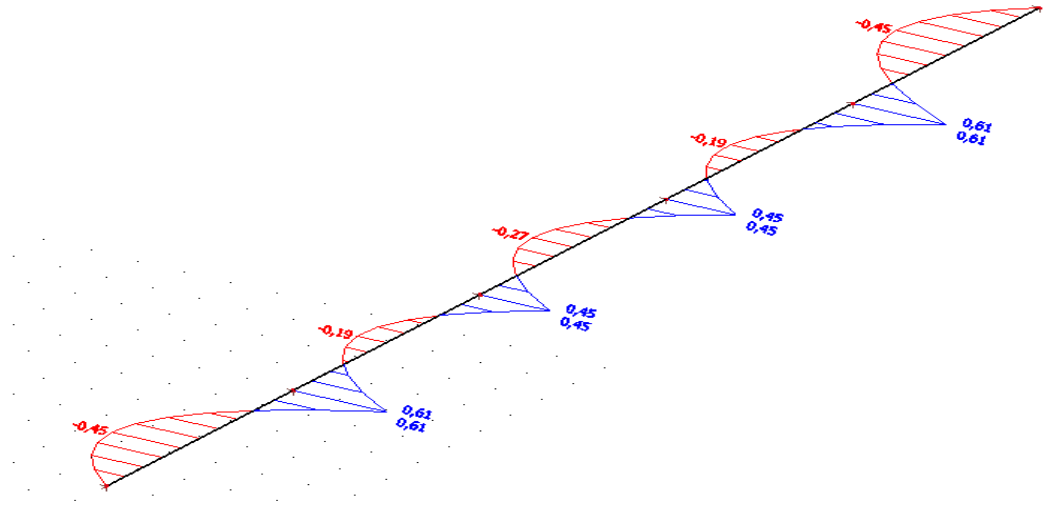
Kombinacija 1,0G_p+1,5W2



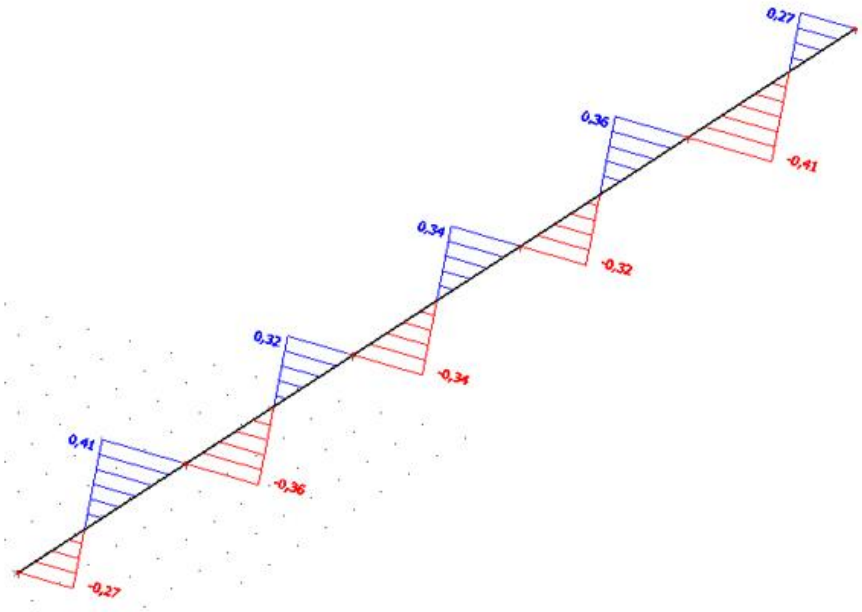
Slika 5.2.1.1. Momenti savijanja My (kNm)



Slika 5.2.1.2. Poprečne sile V_z (kN)

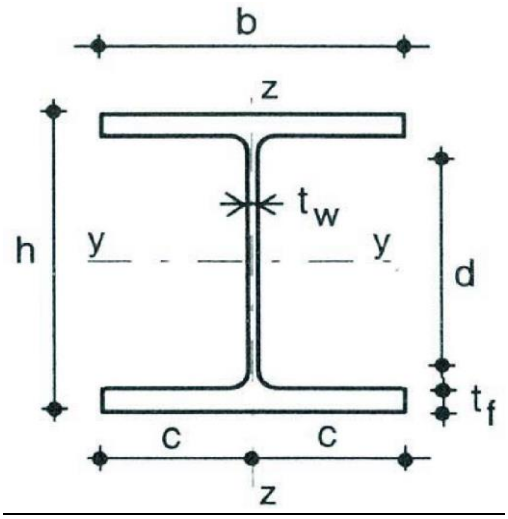


Slika 5.2.1.3. Momenti savijanja Mz (kNm)



Slika 5.2.1.4. Poprečne sile V_y (kN)

5.2.1. Dimenzioniranje poprečnog presjeka krovnih podrožnica



Slika 5.2.1.5. Pop. pr. krovne podrožnice

5.2.1.1. Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: HEA 160

Tip poprečnog presjeka		vrućevaljani	
Površina poprečnog presjeka	A :	38,78	cm^2
Moment tromosti	I_y :	1672,97	cm^4
	I_z :	615,57	cm^4
Moment otpora	$W_{el,y}$:	220,13	cm^3
	$W_{el,z}$:	76,95	cm^3
	$W_{pl,y}$:	245,15	cm^3
	$W_{pl,z}$:	117,63	cm^3
Torzijska konstanta	I_t:	12,194	cm^4
Radijus tromosti	i_y :	6,57	cm
	i_z :	3,99	cm
Visina presjeka	h :	152,00	mm
Širina presjeka	b :	160,00	mm
Debljina pojasnice	t_f :	9,00	mm
Debljina hrpta	t_w :	6,00	mm
Radijus	r:	15,00	mm

Osnovni materijal

S 355 → ε = 0,81

t<40mm	Granica popuštanja	f_y :	355	N/mm^2
	Vlačna čvrstoća	f_u :	510	N/mm^2
	Modul elastičnosti	E :	210 000	N/mm^2
	Modul posmika	G :	81 000	N/mm^2
	Poissonov koeficijent	ν :	0.3	

Parcijalni faktori sigurnosti

γ_{M0}	1,10
γ_{M1}	1,10
γ_{M2}	1,25

5.2.1.2. Maksimalne rezne sile

$M_{y,Ed} = 14{,}95 kNm$

$V_{z,Ed} = 9{,}97 kN$

$M_{z,Ed} = 0{,}61 kNm$

$V_{y,Ed} = 0{,}41 kN$

$N_{Ed} = -79{,}25 kN$

5.2.1.3. Klasifikacija poprečnog presjeka

- HRBAT

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 152 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 15 = 104 \ \ cm$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{104}{6} = 17{,}33$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2 \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{MO}}} = \frac{79{,}25}{\frac{2 \cdot 0{,}6 \cdot 35{,}5}{1.0}} = 1{,}86$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{10{,}4} \cdot \left(\frac{10{,}4}{2} + 1{,}86 \right) = 0{,}68 > 0.5$$

Uvjet za klasu 1 presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \le 396 \cdot \frac{\varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} \rightarrow \frac{104}{6} \le 396 \cdot \frac{0{,}81}{13 \cdot 0.68 - 1} \rightarrow 17{,}33 \le 40{,}91$$

Hrbat je klase 1

- POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{160 - 6 - 2 \cdot 15}{2}}{9} = 6{,}89$$

Uvjet za klasu 1 poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = 6{,}89 \le 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}81 \rightarrow 6{,}89 < 7{,}29$$

Pojasnica je klase 1

Zaključak: Odabrani poprečni presjek svrstan je u klasu 1.

5.2.1.4. Otpornost poprečnog presjeka

- Uzdužna sila N_{Ed}

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{38{,}78 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 1376{,}69kN \ge 79{,}25kN$$

- Moment savijanja $M_{y,Ed}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot fy}{\gamma_{M0}} = \frac{245{,}15 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 87{,}03kNm \ge M_{y,Ed} = 14{,}95kNm$$

- Moment savijanja $M_{z,Ed}$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot fy}{\gamma_{M0}} = \frac{117{,}63 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 41{,}76kNm \ge M_{Z,Ed} = 0{,}61kNm$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 22{,}33 \le \frac{72}{1{,}2} \cdot \varepsilon = 48{,}60 \Rightarrow$$ provjera izbočavanja hrpta na posmik nije potrebna

- Poprečna sila $V_{y,Ed}$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,Y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{30{,}06 \cdot 35{,}5}{\sqrt{3} \cdot 1{,}0} = 616{,}11kN \ge V_{y,Ed} = 0{,}41kN$$

- Poprečna sila $V_{z,Ed}$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{13{,}21 \cdot 35{,}5}{\sqrt{3} \cdot 1{,}0} = 270{,}75kN \ge V_{z,Ed} = 0{,}41kN$$

- Interakcija M – N - V

$$\frac{M_{N.V.y.Rd}}{M_{y,Rd}} = 1{,}0 \Rightarrow M_{N,V,y,Rd} = 87{,}03kNm$$

$$\frac{M_{N.V.z.Rd}}{M_{z,Rd}} = 1{,}0 \Rightarrow M_{N,V,z,Rd} = 41{,}86kNm$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,V,y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,V,z,Rd}}\right)^1 \leq 1$$

Uvjet: $V_{y,Ed} = 0{,}41kN < 0.5 * V_{el,y,Rd} = 0.5 * 616{,}11 = 308{,}06\,\text{kN}$
Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Uvjet: $V_{z,Ed} = 9{,}97kN < 0.5 * V_{el,z,Rd} = 0.5 * 270{,}75 = 135{,}38\,\text{kN}$
Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Uvjet: $N_{,Ed} = 79{,}25kN \leq 0.25 \cdot N_{el,Rd} = 0.25 \cdot 1376{,}69 = 344{,}17kN$

Uvjet: $N_{Ed} = 79{,}25kN \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0{,}5 \cdot 13{,}4 \cdot 0{,}6 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 142{,}71\,\text{kN}$
Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$M_{N,z,Rd} = M_{el,z,Rd} = 41{,}86 > M_{Ed} = 0{,}61kNm$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{el,y,Rd} = 87{,}03 > M_{Ed} = 14{,}95kNm$$

$$\left(\frac{14{,}95}{87{,}03}\right)^2 + \left(\frac{0{,}61}{41{,}86}\right)^1 = 0{,}044 \leq 1$$

Profil HEA 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

5.2.1.5. Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna otpornost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

Budući da su jednake duljine izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se može provesti samo za slabiju os.

Os z-z

$$L_{cr,z} = 600cm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 615,57}{600^2} = 354,40kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{38,78 \cdot 35,5}{354,4}} = 1,97$$

Os y-y

$$L_{cr,z} = 600cm$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1672,97}{600^2} = 963,17kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{38,78 \cdot 35,5}{963,17}} = 1,2$$

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 9mm < 100mm$$

Za valjani profil:
Za os z-z → krivulja izvijanja c
Za os y-y → krivulja izvijanja b

Očitan faktor redukcije: $\chi_z = 0,2013$

$$\chi_y = 0,4781$$

Mjerodavni faktor redukcije: $\chi_{\min} = 0,2013$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = \frac{0,2013 \cdot 38,78 \cdot 35,5}{1,0} = 277,13kN > N_{Ed} = 79,25kN$$

- Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)_2} \cdot \left(\sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_{2.} \cdot z_g \right)$$

L = 600 cm – razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{15,2}{2} = 7,6cm$$

$$G = \frac{E}{2*(1+\nu)} = \frac{21000}{2.6} = 8077\,\text{kN/cm}^2$$

Na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja stupa očitamo slijedeće koeficijente: k=1,0, k_w=1,0, C_1=1,132 i C_2=0,459

$$M_{cr} = 1{,}132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 615{,}57}{(1 \cdot 600)^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{1^2}{1^2} \cdot \frac{31409{,}664}{615{,}57} + \frac{(1 \cdot 600)^2 \cdot 8077 \cdot 12{,}194}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 615{,}57} + (0{,}459 \cdot 7{,}6)^2} - 0{,}459 \cdot 7{,}6 \right)$$

$$M_{cr} = 6009{,}92 kNcm = 60{,}09 kNm$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{245{,}15 \cdot 35.5}{6009{,}92}} = 1{,}2 < 0.4$$

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0{,}95 \le 2{,}0 \rightarrow \text{krivulja izvijanja a}$$

$$\chi_{LT} = 0{,}5300$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{c,Rd} = 46{,}13 kNm$$

$$M_{y,Ed} \le M_{b,Rd} \rightarrow 14{,}95 < 46{,}13 \text{ kNm}$$

- Interakcija M-N

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

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

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

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

$$\bar{\lambda}_z = 1{,}97 > 0{,}4$$

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

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

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = -0{,}73 \qquad C_{my} = 0{,}1 + 0{,}8 \cdot 0{,}73 = 0{,}68$$

$$C_{mz} = 0{,}1 + 0{,}8 \cdot 0{,}73 = 0{,}68$$

$$\psi = 0 \qquad C_{LT} = 0{,}1 + 0{,}8 \cdot 0{,}73 = 0{,}68$$

$$k_{yy} = 0{,}68\left(1 + (1{,}2 - 0{,}2) \cdot \frac{79{,}25}{0{,}4781 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}}\right) \leq 0{,}68\left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{79{,}25}{0{,}4781 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}}\right) \rightarrow k_{yy} = 0{,}76$$

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

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0{,}1 \cdot 1{,}92}{0{,}68 - 0{,}25} \cdot \frac{79{,}25}{0{,}2013 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}}\right) \geq 0{,}68\left(1 - \frac{0{,}1}{0{,}68 - 0{,}25} \cdot \frac{79{,}25}{0{,}2013 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}}\right) \rightarrow k_{zy} = 0{,}87$$

$$k_{zz} = 0{,}68\left(1 + (2 \cdot 1{,}2 - 0{,}6) \cdot \frac{79{,}25}{0{,}2013 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}}\right) \leq 0{,}68\left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{79{,}5}{0{,}2013 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}}\right) \rightarrow k_{zz} = 1{,}0$$

$$\frac{79{,}25}{0{,}4781 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}} + 0{,}76 \cdot \frac{14{,}95}{0{,}5300 \cdot \frac{87{,}04}{1{,}0}} + 0{,}6 \cdot \frac{0{,}61}{\frac{41{,}76}{1{,}0}} = 0{,}60 \leq 1$$

$$\frac{79{,}25}{0{,}2013 \cdot \frac{1376{,}69}{1{,}0}} + 0{,}87 \cdot \frac{14{,}95}{0{,}5300 \cdot \frac{87{,}04}{1{,}0}} + 1{,}0 \cdot \frac{0{,}61}{\frac{41{,}76}{1{,}0}} = 0{,}80 \leq 1 \rightarrow \eta = 80\ \%$$

5.2.2. Bočne podrožnice

l→razmak sekundarnih krovnih nosača, l = 2,5 m

Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za krovne sekundarne nosače

- Tlačno djelovanje vjetra

  w_k = 1,62 kN/m^2, za područje D koje je mjerodavno

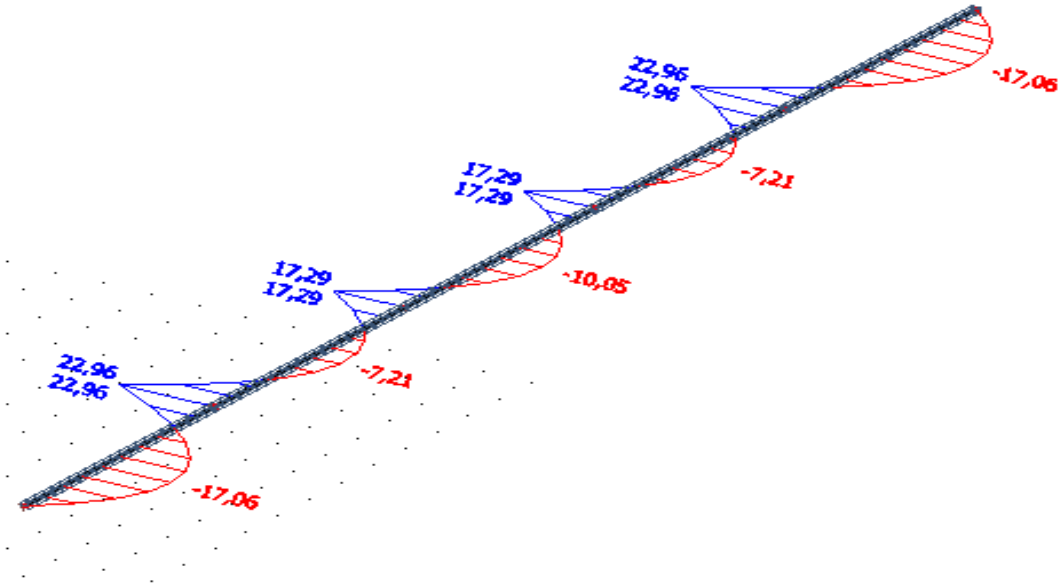
  $W_z = w_k \cdot l = 1{,}62 \cdot 2{,}5 = 4{,}05$ kN/m'

- Podtlačno djelovanje vjetra

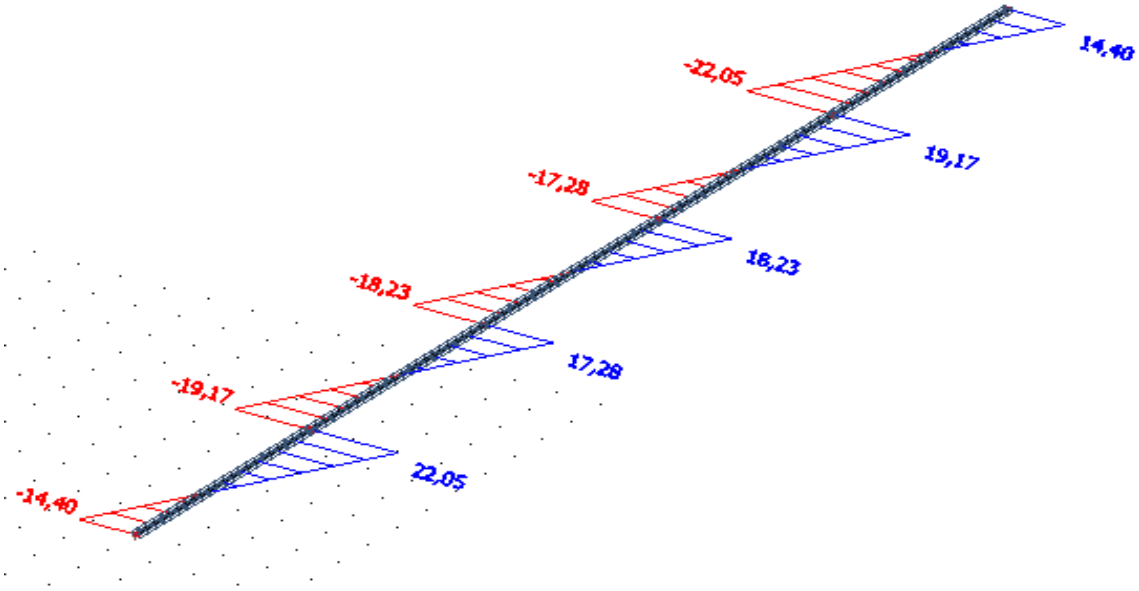
  w_k = -0,84 kN/m^2, za područje E koje je mjerodavno

  $W_z = w_k \cdot l = -0{,}84 \cdot 2{,}5 = -2{,}1$ kN/m'

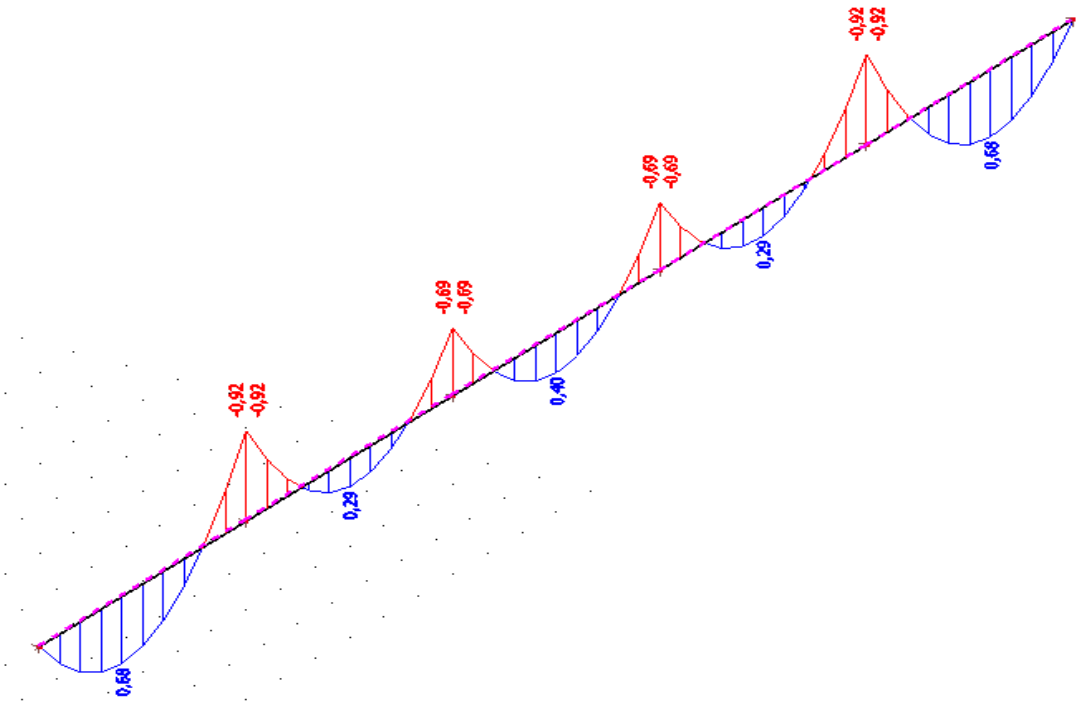
1) Kombinacija 1,0G$_{elementa}$+1,5W1



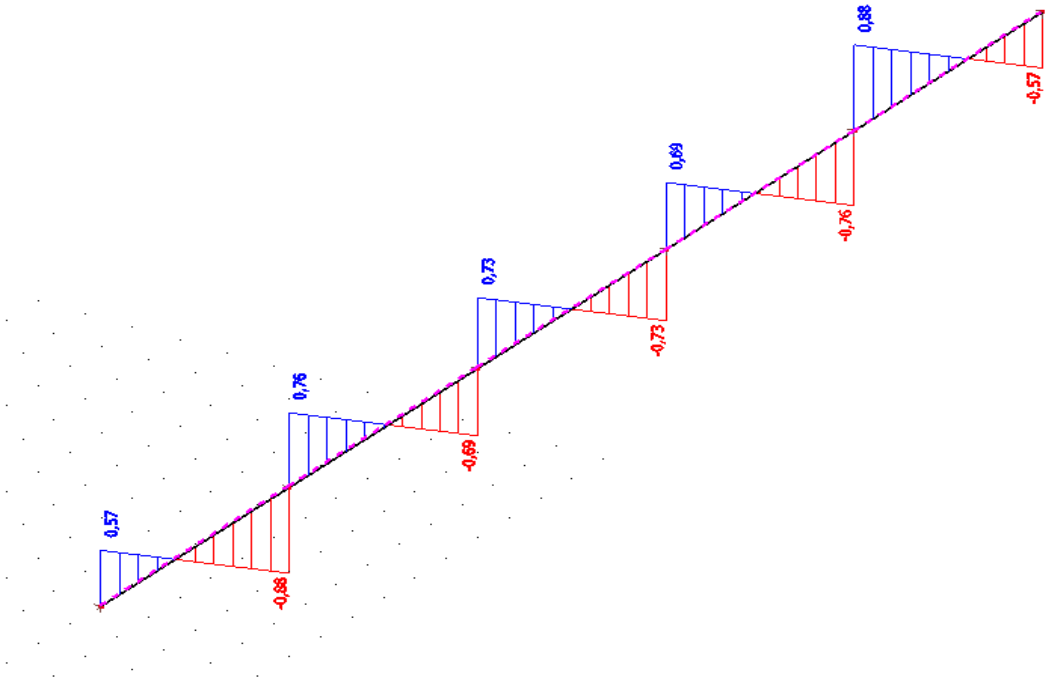
Slika 5.2.2.1. Momenti savijanja My (kNm)



Slika 5.2.2.2. Poprečne sile V_z (kN)

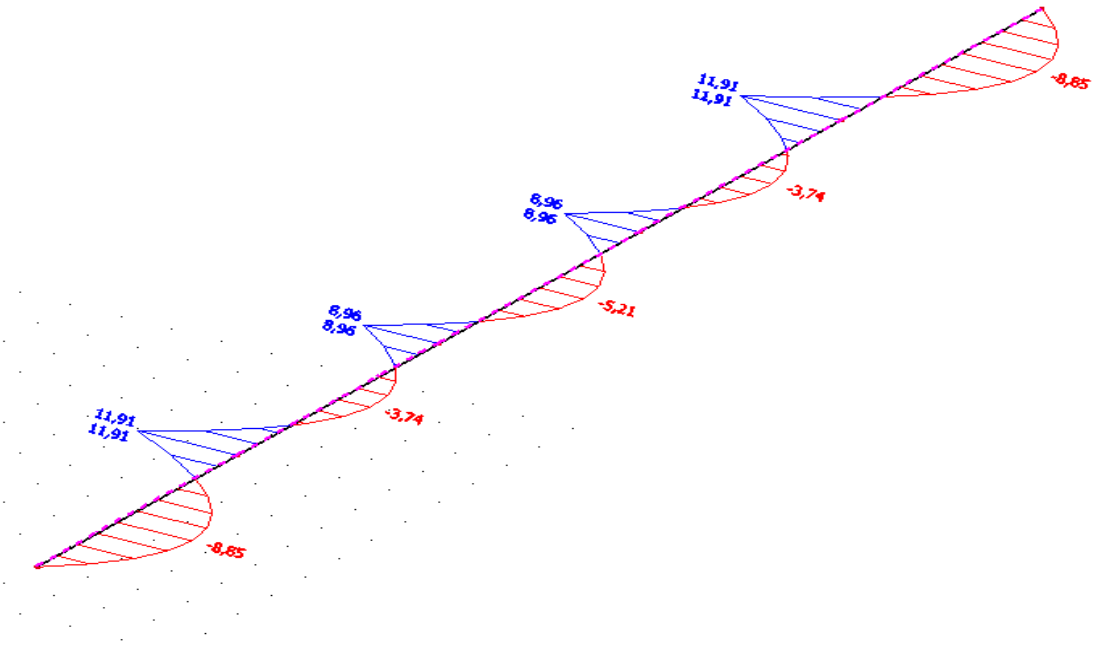


Slika 5.2.2.3. Momenti savijanja Mz (kNm)

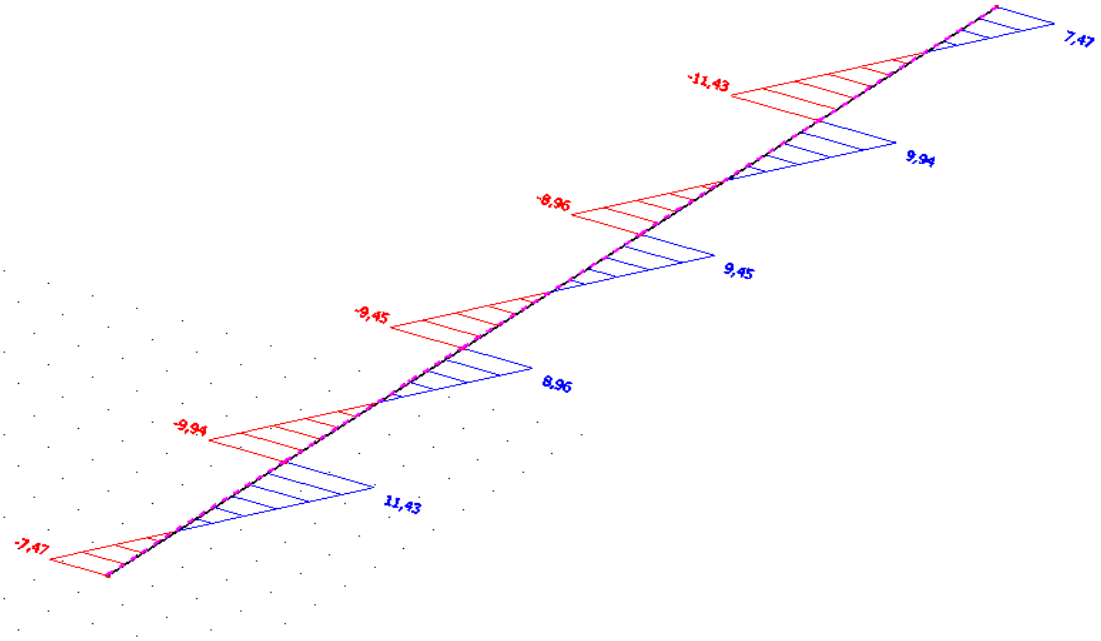


Slika 5.2.2.4. Poprečne sile V_y (kN)

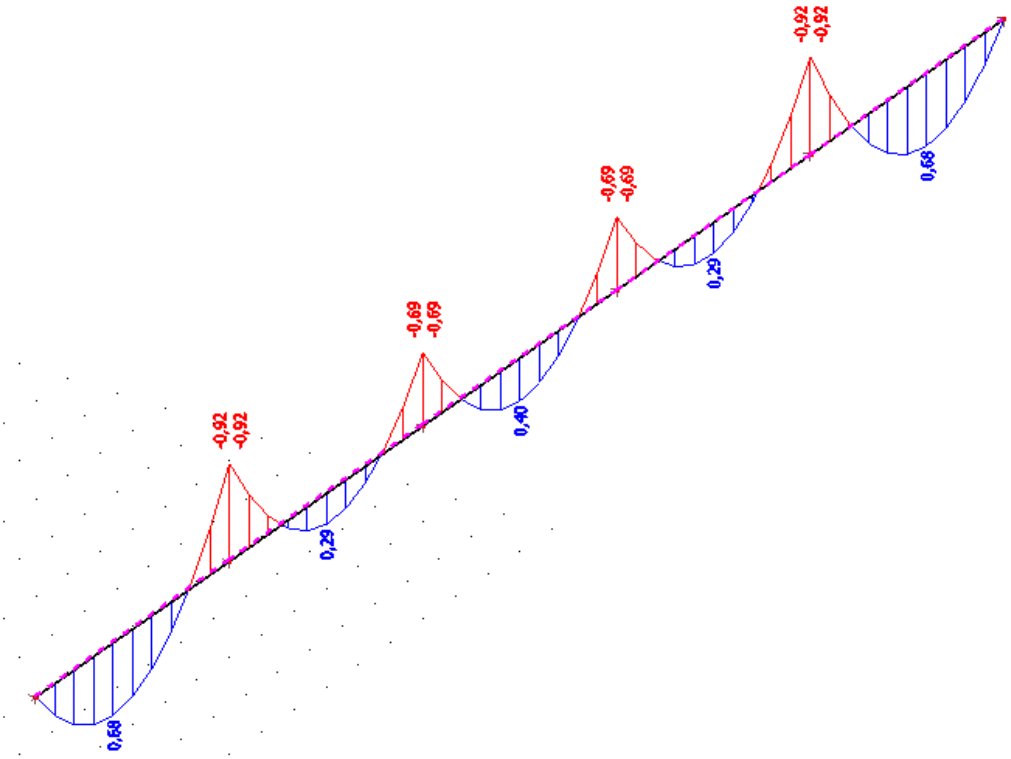
2) Kombinacija 1,0G$_{elementa}$+1,5W2



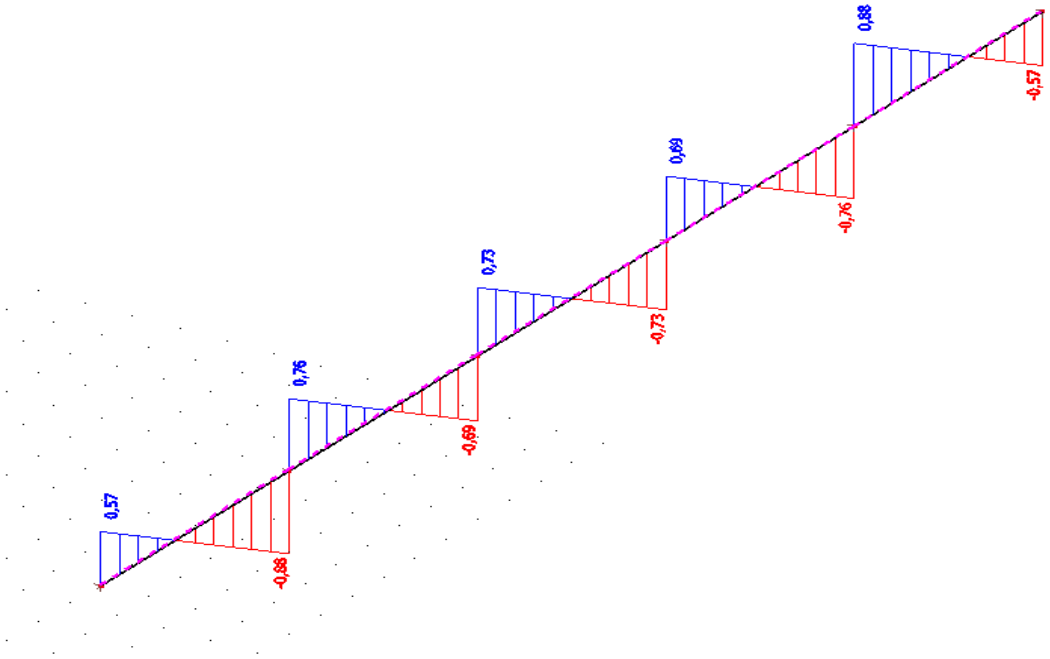
Slika 5.2.2.5. Momenti savijanja My (kNm)



Slika 5.2.2.6. Poprečne sile V_z (kNm)

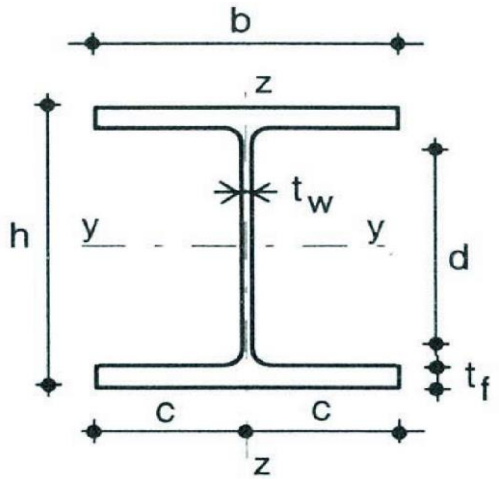


Slika 5.2.2.7. Momenti savijanja Mz (kNm)



Slika 5.2.2.8. Poprečne sile V_y (kN)

5.2.2. Dimenzioniranje poprečnog presjeka bočnih podrožnica



Rezne sile:

$M_{y,Ed} = 22{,}96kNm$

$V_{z,Ed} = 22{,}05kN$

Slika 5.2.2.9. Pop. pr. bočne podrožnice

5.2.2.1. Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: HEA 140

Tip poprečnog presjeka		vrućevaljani	
Površina poprečnog presjeka	A :	31,42	cm^2
Moment tromosti	I_y :	1033,00	cm^4
	I_z :	389,3	cm^4
Moment otpora	$W_{el,y}$:	155,4	cm^3
	$W_{el,z}$:	55,62	cm^3
	$W_{pl,y}$:	173,5	cm^3
	$W_{pl,z}$:	84,85	cm^3
Torzijska konstanta	I_t:	8,13	cm^4
Radijus tromosti	i_y :	5,73	cm
	i_z :	3,52	cm
Visina presjeka	h :	133,00	mm
Širina presjeka	b :	140,00	mm
Debljina pojasnice	t_f :	9,00	mm
Debljina hrpta	t_w :	6,00	mm
Radijus	r:	12,00	mm

Osnovni materijal

S 355 → ε = 0,81

t<40mm	Granica popuštanja	f_y :	355	N/mm^2
	Vlačna čvrstoća	f_u :	510	N/mm^2
	Modul elastičnosti	E :	210 000	N/mm^2
	Modul posmika	G :	81 000	N/mm^2
	Poissonov koeficijent	ν :	0.3	

Parcijalni faktori sigurnosti

γ_{M0}	1,10
γ_{M1}	1,10
γ_{M2}	1,25

5.2.2.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

- HRBAT

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 133 - 2 \cdot 9{,}0 - 2 \cdot 12 = 91 \quad mm$$

Uvjet za klasu 1 presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{91}{6} = 15{,}71 < 72\varepsilon = 58{,}32$$

Hrbat je klase 1

- POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{140 - 6 - 2 \cdot 12}{2}}{9} = 6{,}11$$

Uvjet za klasu 1 poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = 6{,}11 \le 9 \cdot \varepsilon = 7{,}29$$

Pojasnica je klase 1

Zaključak: Odabrani poprečni presjek svrstan je u klasu 1.

5.2.2.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Moment savijanja $M_{y,Ed}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot fy}{\gamma_{M0}} = \frac{173{,}5 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 61{,}59kNm \geq M_{y,Ed} = 22{,}96kNm$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 19{,}16 \leq \frac{72}{1{,}2} \cdot \varepsilon = 48{,}60 \Rightarrow \text{provjera izbočavanja hrpta na posmik nije potrebna}$$

- Poprečna sila $V_{z,Ed}$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10{,}12 \cdot 35{,}5}{\sqrt{3} \cdot 1{,}0} = 359{,}26kN \geq V_{z,Ed} = 22{,}05kN$$

5.2.2.4. Otpornost elementa izloženog djelovanju savijanja

- Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)_2} \cdot \left(\sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_{2\cdot} \cdot z_g \right)$$

L = 600 cm – razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{13{,}3}{2} = 6{,}65cm$$

$$G = \frac{E}{2*(1+\nu)} = \frac{21000}{2.6} = 8077\,\text{kN/cm}^2$$

Na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja stupa imamo slijedeće koeficijente: k=1,0, k_w=1,0, C_1=1,132 i C_2=0,459

$$M_{cr} = 1{,}132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389}{(1 \cdot 600)^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{1^2}{1^2} \cdot \frac{15086}{389} + \frac{(1 \cdot 600)^2 \cdot 8077 \cdot 8{,}1}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389} + (0{,}459 \cdot 6{,}65)^2} - 0{,}459 \cdot 6{,}65 \right)$$

$$M_{cr} = 3902{,}38kNcm = 39{,}02kNm$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{173{,}5 \cdot 35.5}{3902{,}38}} = 1{,}26 > 0.4$$

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0{,}95 \leq 2{,}0 \rightarrow \text{krivulja izvijanja a}$$

$$\chi_{LT} = 0{,}7003$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{c,Rd} = 27{,}33 kNm$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd} \rightarrow 22{,}96 < 27{,}33\,\text{kNm}$$

5.1.2.5. Iskoristivost poprečnog presjeka

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\eta = \frac{22{,}96}{27{,}33} = 0{,}8401 = 84{,}01\ \%$$

5.2.3. Krovni spregovi

- stalno opterećenje:

$$G = g \cdot 2{,}26 = 0{,}45 \cdot 2{,}26 = 1{,}017 kN/m$$

- opterećenje snijegom:

$$S = s \cdot 2{,}26 = 0{,}4 \cdot 2{,}26 = 0{,}90 kN/m$$

- opterećenje vjetrom:

Vjetar W1:

$$W_D = 0{,}82 \cdot 2{,}5 = 2{,}05 kN/m'$$
$$W_E = (-0{,}84) \cdot 2{,}5 = -2{,}1 kN/m'$$
$$W_G = (-2{,}24) \cdot (2{,}26/2) = -2{,}53 kN/m'$$
$$W_H = (-1{,}28) \cdot 2{,}26 = -2{,}89 kN/m'$$
$$W_I = (-1{,}28) \cdot 2{,}26 = -2{,}89 kN/m'$$
$$W_J = (-1{,}28) \cdot (2{,}26/2) = -1{,}45 kN/m$$

Vjetar W2:

$$W_D = 1{,}62 \cdot 2{,}5 = 4{,}05 kN/m'$$
$$W_E = (-0{,}04) \cdot 2{,}5 = -0{,}1 kN/m'$$
$$W_G = 0{,}48 \cdot (2{,}26/2) = 0{,}54 kN/m'$$
$$W_H = 0{,}48 \cdot 2{,}26 = 1{,}08 kN/m'$$
$$W_I = (-0{,}48) \cdot 2{,}26 = -1{,}08 kN/m'$$
$$W_J = 0{,}80 \cdot (2{,}26/2) = 0{,}9 kN/m'$$

Uzdužna sila:

- pritisak vjetra na zabat:

Za područje D: $c_{pe} = +0{,}712$

$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 1{,}6 \cdot 0{,}712 = 1{,}14\ kN/m^2$

$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} = 1{,}6 \cdot 0{,}3 = 0{,}48\ kN/m^2$

$$w_k = w_e - w_i = 1{,}14 + 0{,}48 = 1{,}62 kN/m^2$$
$$W_k = w_k \cdot A_z = w_k \cdot \frac{h \cdot l}{2} = 1{,}62 \cdot \frac{6{,}2 \cdot 4{,}52}{2} = 22{,}70 kN$$

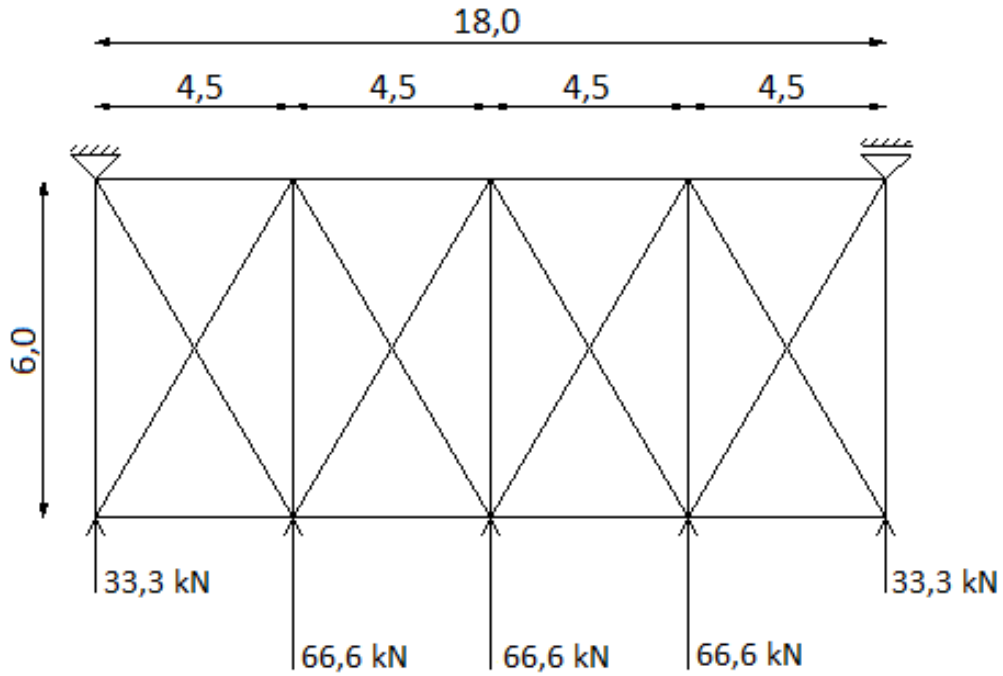
- sila od trenja vjetra po krovu:

$$w_{fr} = q_p(z_e) \cdot C_{fr} = 1{,}6 \cdot 0{,}1 = 0{,}16 kN/m^2$$
$$W_{fr} = w_{fr} \cdot A_{fr} = w_{fr} \cdot \frac{d \cdot l}{2} = 0{,}16 \cdot \frac{60 \cdot 4{,}52}{2} = 21{,}7 kN$$

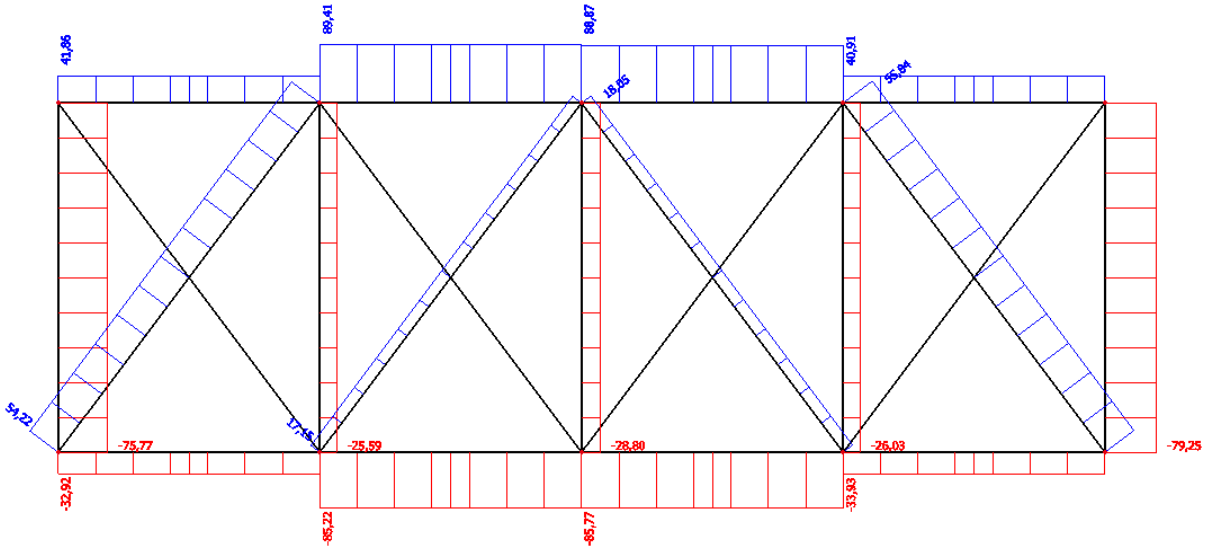
- ukupna sila:

$$F = \gamma \cdot \left(W_k + W_{fr}\right) = 1{,}5 \cdot \left(22{,}7 + 21{,}7\right) = 66{,}6kN$$

$$\frac{F}{2} = \frac{66{,}6}{2} = 33{,}3kN$$



Slika 5.2.3.1.. Raspored krovnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.3.2. Uzdužne sile u krovnim podrožnicama i spregovima

$N_{Ed} = 55{,}84kN$

$$N_{Ed} \le \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} \Rightarrow A \ge \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} = \frac{1{,}0 \cdot 55{,}84}{35{,}5} = 1{,}6cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \ge \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}6}{\pi}} = 1{,}43cm$$

$d_{odabrano} = 22mm$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{2{,}2^2 \cdot \pi}{4} = 3{,}80cm^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3{,}80 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 134{,}90kN \ge N_{Ed} = 57{,}38kN$$

Za krovne spregove je odabran profil Ø22!

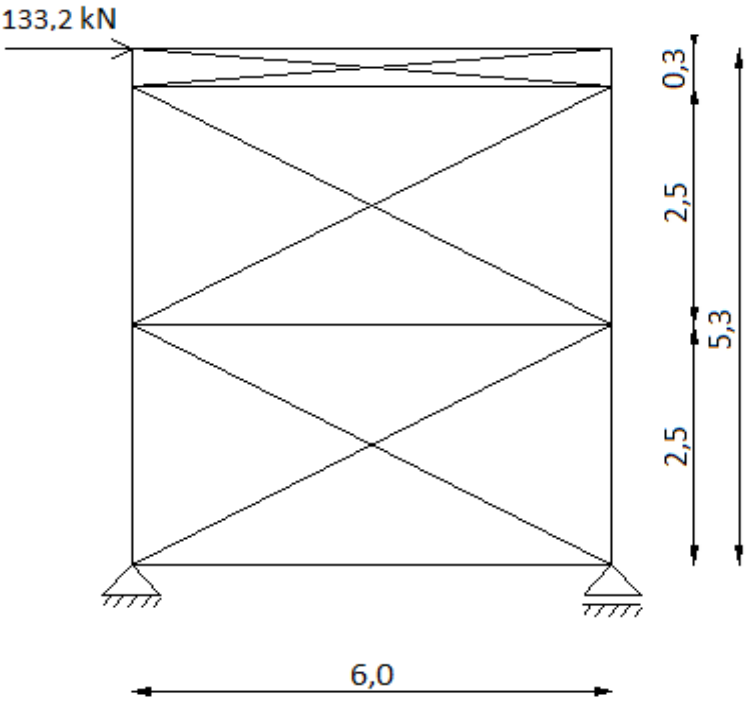
Komentar: za krovne spregove odabrani profil je Ø22 da bi imali iste profile za krovne i bočne spregove, iako bi kod krovnih spregova već zadovoljio i manji profil.

5.2.3.1. Iskoristivost poprečnog presjeka

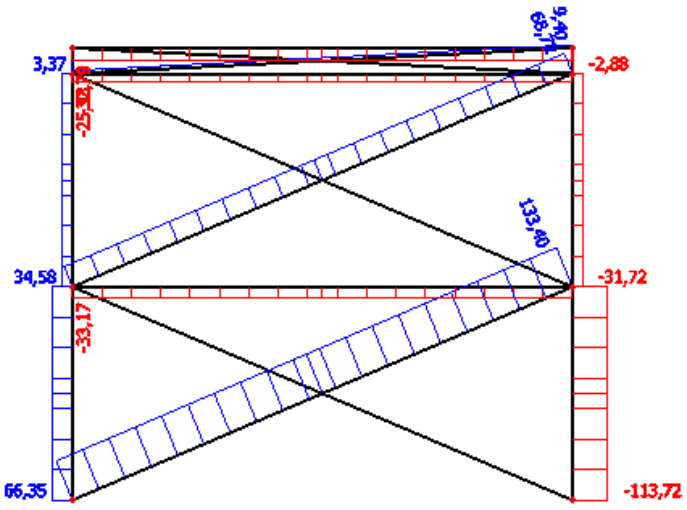
Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\eta = \frac{57{,}38}{134{,}90} = 0{,}4254 = 42{,}54\ \%$$

5.2.4. Bočni spregovi



Slika 5.2.4.1. Raspored bočnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.4.2.. Maksimalne uzdužne sile u bočnim podrožnicama i spregovima

$N_{Ed} = 133{,}4kN$

$$N_{Ed} \le \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} \Rightarrow A \ge \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} = \frac{1 \cdot 133{,}4}{35{,}5} = 3{,}76cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \ge \sqrt{\frac{4 \cdot 3{,}76}{\pi}} = 2{,}19cm$$

$d_{odabrano} = 22mm$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{2{,}2^2 \cdot \pi}{4} = 3{,}80cm^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3{,}80 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 134{,}90kN \ge N_{Ed} = 133{,}40kN$$

Za bočne spregove je odabran profil Ø22!

5.2.3.1. Iskoristivost poprečnog presjeka

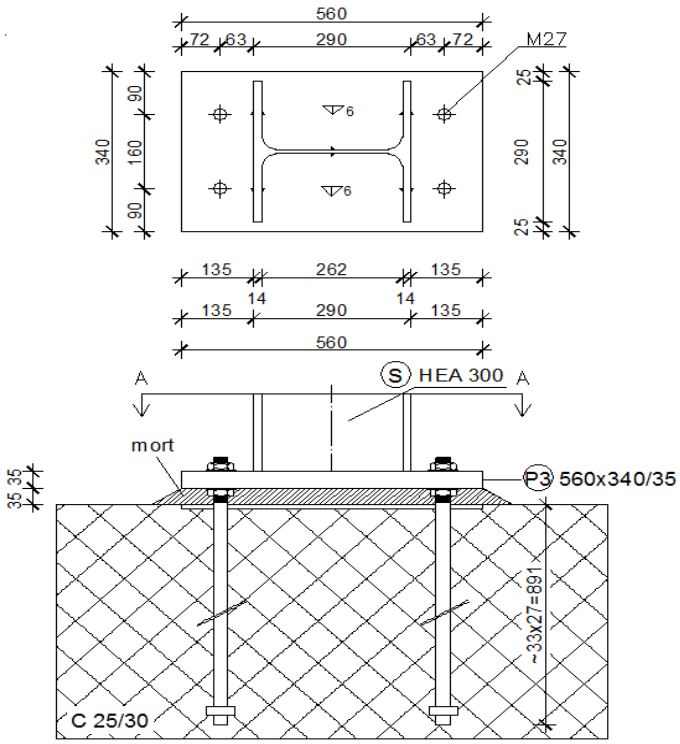
Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\eta = \frac{133{,}40}{134{,}90} = 0{,}9888 = 98{,}88\ \%$$

6. PRORAČUN SPOJEVA

6.1. Dimenzioniranje upetog spoja stup – temelj

Ulazni podaci



Slika 6.1.1. Spoj stup - temelj

Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:

N_{sd} = 78,14 kN (vlak)
M_{sd} = 122,86 kNm
V_{sd} = 43,02 kN

Materijal:

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Profil: HEA 300
h= 290 mm
b= 300 mm
t_w= 9 mm
t_f= 14 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja

$$N_p^{*M} = \frac{M_{sd}}{h'} = \frac{122,86}{(0.290 - 0.014)} = 445,14kN$$

Vlačna sila u pojasnici od uzdužne sile

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{sd} = \frac{30,0 \cdot 1,4}{113} \cdot 78,14 = 29,04kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 474,18kN = F_{w,sd}$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice

$$l_1 = 2 \cdot 300 = 600mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot 262 = 524mm$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 9 = 6,3mm$$

Za pretpostavljeni var a=6.0mm

Uzdužna sila

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{196,3}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 942,24kN > F_{w,sd} = 474,18kN$$

Poprečna sila

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{196,3}{1.25} \cdot \frac{524}{100} = 822,89kN > V_{sd} = 43,02kN$$

Proračun vijaka:

Pretpostavljeni vijak

M 27 ; k.v. 10.9

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 27 + 6\sqrt{2} = 62{,}49mm$$

Usvojeni c = 63 mm.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{122{,}86}{78{,}14} = 1{,}57m$$

Ekscentricitet $x_1 = 63 + 290 - 7 = 346mm = 0.35m$

Ekscentricitet $x_2 = 1572{,}31 - \frac{290}{2} + 7 = 1434.31m = 1.43m$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{78{,}14 \cdot 1{,}43}{0{,}35} = 319{,}26kN$$

Otpornost vijka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{413{,}1}{1{,}25} = 330{,}8kN > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{319{,}26}{2} = 159{,}63kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{229{,}5}{1{,}25} = 183{,}6kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{43{,}02}{4} = 10{,}76kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{159{,}63}{1.4 \cdot 330{,}8} + \frac{10{,}76}{183{,}6} = 0{,}4 < 1.0$$

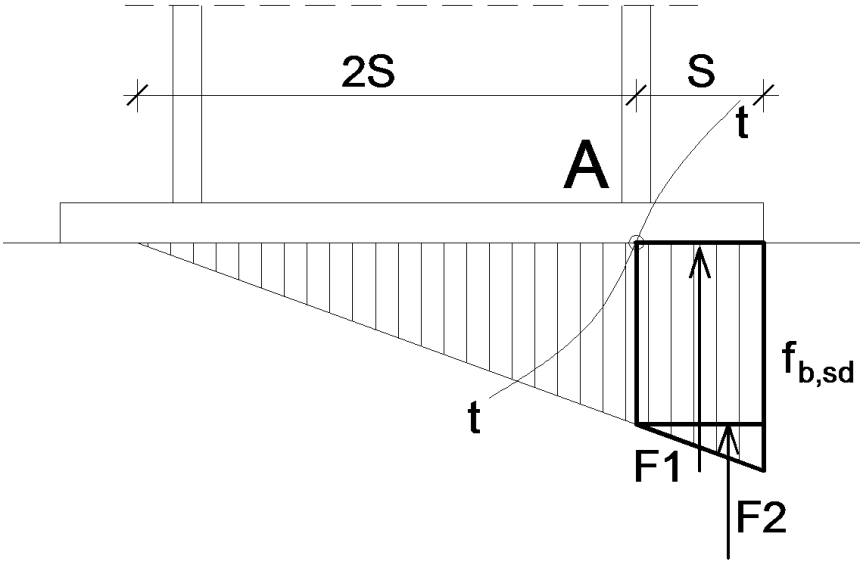
Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 290 + 2 \cdot (63 + 70) = 556mm$$
$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} + 20 = 336{,}97mm$$
$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 90 + 2 \cdot 55 = 200mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 560x340mm

Proračun debljine ploče



Slika 6.1.3. Spoj stup - temelj

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = 10{,}76\,\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{10{,}76 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{258{,}2} = 0.52\,\text{mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$S = (560 - 290 + 7)/2 = 108{,}50mm = 10{,}85cm$

$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 319{,}26 + 78{,}14 = 397{,}4kN$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{397{,}4}{\frac{3 \cdot 10{,}85 \cdot 34}{2}} = 0.72kN/cm^2 \le \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2{,}5}{1{,}5} = 1{,}67kN/cm^2$$

Savijanje ploče

$$M_{sd} = F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{3 \cdot S}{2} = \frac{2}{3} f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot S =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 7181 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}34 \cdot \frac{0{,}11}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 7181 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}34}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0{,}11 = 13{,}13kNm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

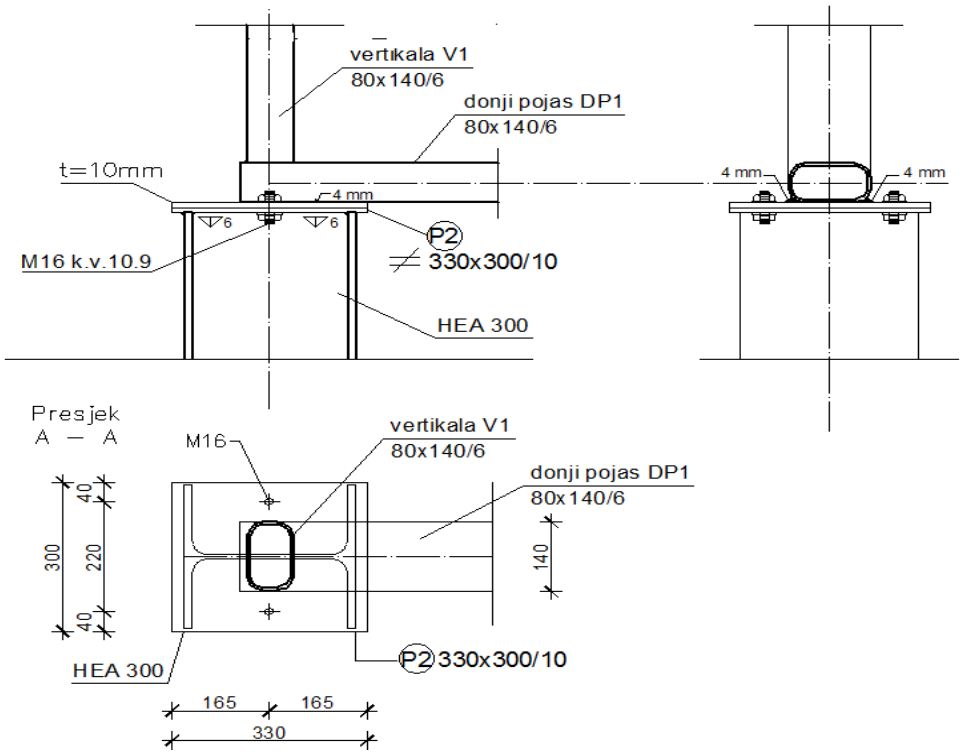
$$M_{sd} = F_{t.sd} \cdot (c + t_f/2) = 319{,}26 \cdot (0.063 + 0.14/2) = 22{,}35kNm$$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1{,}0 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1{,}0 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1{,}0 \cdot 2235 \cdot 6}{34 \cdot 35{,}5}} = 3{,}49cm$$

$t_{pl} = 3{,}5cm$

Usvojene dimenzije ploče su 560x340x35 mm

6.2. Dimenzioniranje spoja stup – rešetka



Slika 6.2.1. Spoj stup - rešetka

Ulazni podaci

N_{Ed}= 78,14 kN (vlak)

V_{Ed} = 37,74 kN

Materijal:
Osnovni materijal: S 355

Vijci: k.v. 10.9.

STUP:

Poprečni presjek:
Profil: HEA 300
h= 290 mm
b= 300 mm
t_w= 9 mm
t_f= 14 mm

REŠETKA:

Poprečni presjek:
Profil 80 x 140 x 6

h = 80 mm

b = 140 mm

t = 6 mm

Kontrola varova

Fw,Ed= $(78,14^2+37,74^2)^{0,5}$= 86,78 kN

Profil HEA 300

-Duljina vara

l= 2 ·300 + 2 · (290 – 28) = 1124 mm

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu elementa:

$a_{max}=0,7*t_{min}=0,7*9=6,3mm \approx 6mm$

Za pretpostavljeni var: 4mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \times \frac{1124}{100} = 1177,05\,\text{kN} > F_{w,Ed} = 86,78\ \text{kN}$$

Profil 80x140x6

Duljina vara :

l= 2 ·190 + 140 = 520 mm

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu elementa:

$a_{max}=0,7*t_{min}=0,7*6=4,2mm \approx 4mm$

Za pretpostavljeni var: 4mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \times \frac{520}{100} = 544,54\,\text{kN} > F_{w,Ed} = 86,78\ \text{kN}$$

Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M16 (kv. 10.9.), udaljenost $c_{\min}$ od ruba pojasnice iznosi :

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37{,}65mm$$

Odabrano: c=40 mm

e_1=40mm

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141{,}3}{1.25} = 113{,}04kN > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{78{,}14}{2} = 39{,}07kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{78{,}5}{1.25} = 62{,}8kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{2} = \frac{37{,}74}{2} = 18{,}87kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{39{,}07}{1{,}4 \cdot 113{,}04} + \frac{18{,}87}{62{,}8} = 0{,}55 < 1.0$$

Proračun dimenzija ploče

Proračun duljine i širine ploče:

$$a_{pl}^{\min} = h + 2a\sqrt{2} + 20 = 290 + 2 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} + 20 = 326{,}97mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2 \cdot (c + e_1) = 140 + 2 \cdot (40 + 40) = 300mm$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 55 + 2 \cdot 30 = 115mm$$

Odabrane dimenzije duljine i širine ploče su 330x300mm.

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,Sd} = \frac{37,74}{2} = 18,87\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{18,87 \cdot 1,25 \cdot 10}{151,1} = 1,56\text{mm}$$

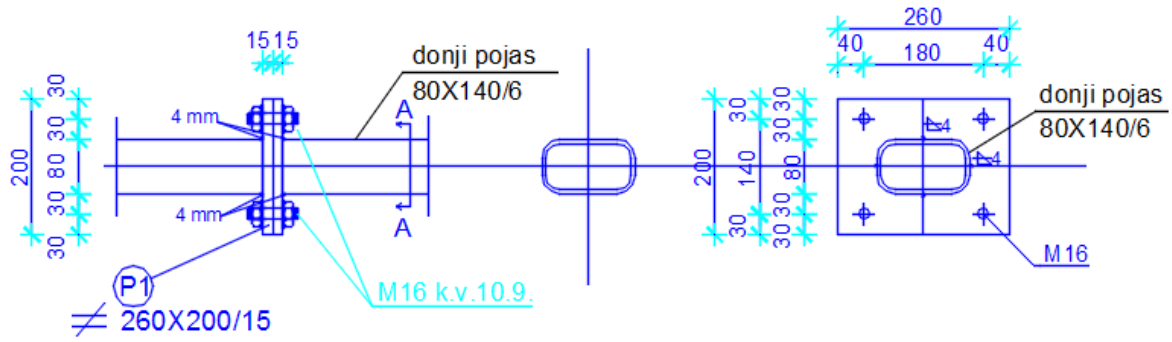
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c = 39,07 \cdot 0,04 = 1,56kNm$$

$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 156 \cdot 6}{30 \cdot 35,5}} = 0,98cm = 10mm \rightarrow \text{usvojeno 10mm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 330x300x10mm

6.3. Dimenzioniranje vlačnog nastavka štapa rešetke



Slika 6.3.1. Vlačni nastavak štapa rešetke

Ulazni podaci

Veličina djelovanja na mjestu spoja

N_{sd} = 393,01 kN (vlačna sila)

Materijal

Osnovni materijal: S 355

Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek

Profil: 80*140*6

h = 80 mm

b = 140 mm

t = 6 mm

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

$a_{max} = 0.7*t_{min} = 0.7*6 = 4{,}2$ mm → odabrano a = 4mm

Otpornost vara:

$L_w = O = 2*80+140*2 = 440$ mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{130{,}9}{1.25} \cdot \frac{440}{100} = 460{,}77kN > N_{sd} = 393{,}01kN$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 16 k.v. 10.9

n = 4 vijka

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1.25} = 113,04kN$$

$$F_{t,sd} = \frac{N_{sd}}{4} = \frac{393,01}{4} = 98,25kN \le F_{t,Rd} = 113,04kN$$

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37,66mm \approx 38mm$$

$$a_{pl,\min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 30 + 55 = 115mm$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20mm = 140 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 171,31mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 260 x 200 mm

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

b_{pl} = 200 mm

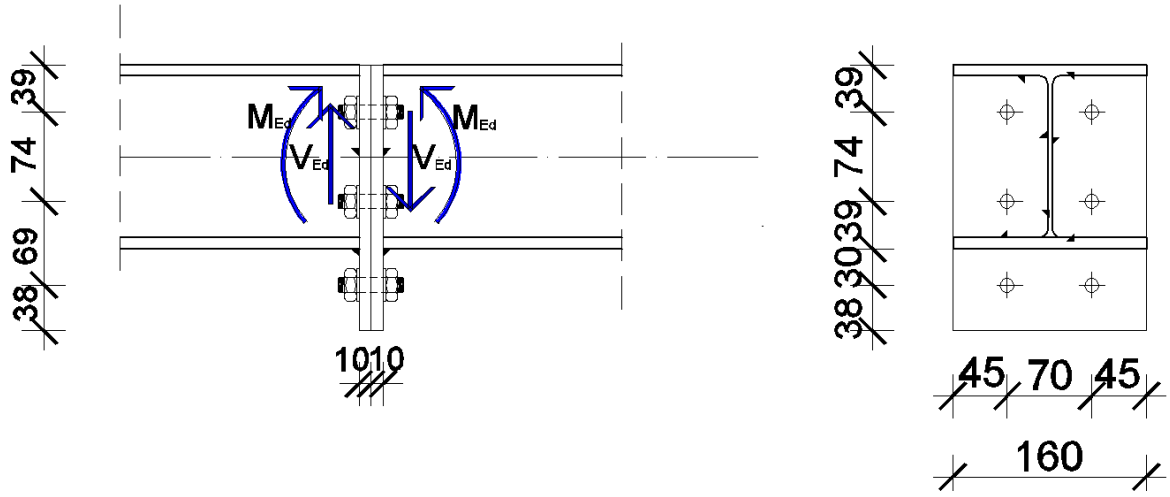
$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot e \cdot 2 = 98,25 \cdot 0.030 \cdot 2 = 1,15kNm$$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.0} \Rightarrow W = \frac{1.0 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot {t_{pl}}^{2\min}}{6}$$

$$\Rightarrow {t_{pl}}^{\min} = \sqrt{\frac{1.0 \cdot 115 \cdot 6}{20 \cdot 35.5}} = 1,04cm$$

Odabrane dimenzije ploče su 260x200x15 mm

6.4. Dimenzioniranje spoja nastavka krovne podrožnice



Slika 6.4.1. Spoj krovne podrožnice i gornjeg pojasa

Ulazni podaci

Mjerodavna kombinacija je ista kao i za proračun otpornosti presjeka krovne konstrukcije.
M_{Ed} = 5,0 kNm
V_{Ed} = 6,0kN

Nastavci krovnih podrožnica postavljeni su bliže glavnim nosačima zbog kritične mjerodavne kombinacije. Ta kombinacija odiže samu konstrukciju te se vlačna zona sa donje strane nalazi u okružju glavnih nosača. Zbog rijetke kritične kombinacije sa snijegom, u unutrašnjem dijelu presjeka postavljeni su dodatni vijci.

Materijal:

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Profil: HEA 160
h= 152 mm
b= 160 mm
t_w= 6 mm
t_f= 9 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{5,0}{(0.152 - 0.009)} = 34,97kN$$

Sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = 0kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 34{,}97 + 0kN = 34{,}97kN = F_{w,Ed}$$

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu:

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 \cdot 160 = 320mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot (152 - 2 \cdot 9) = 268mm$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 6 = 4{,}2mm$$

Za pretpostavljeni var **a=3,0mm**:

Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{98{,}1}{1.25} \cdot \frac{320}{100} = 251{,}14kN > F_{w,sd} = 34{,}97kN$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{98{,}1}{1.25} \cdot \frac{268}{100} = 210{,}33kN > V_{Ed} = 6{,}0kN$$

Pretpostavljeni vijak

M 12 ; k.v. 10.9

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 3\sqrt{2} = 28{,}24mm$$

Usvojeni c = 30 mm.

Otpornost vijka na vlak:

Vlačna sila se raspoređuje na 2 vijaka.

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75{,}9}{1.25} = 60{,}72kN > F_{t,Ed} = \frac{N_P}{2} = \frac{34{,}97}{2} = 17{,}49kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1.25} = 33,76kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = \frac{6,0}{6} = 1,0kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{17,49}{1.4 \cdot 60,72} + \frac{1,0}{33,76} = 0,24 < 1.0$$

Proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl}^{\min} = h + (c + e_1) = 152 + (30 + 30) = 212mm$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 40 + 2 \cdot 25 = 90mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b = 160mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 220x160mm

Proračun debljine ploče:

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{6} = 1,0\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{1,0 \cdot 1,25 \cdot 10}{117,7} = 0.1\text{mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

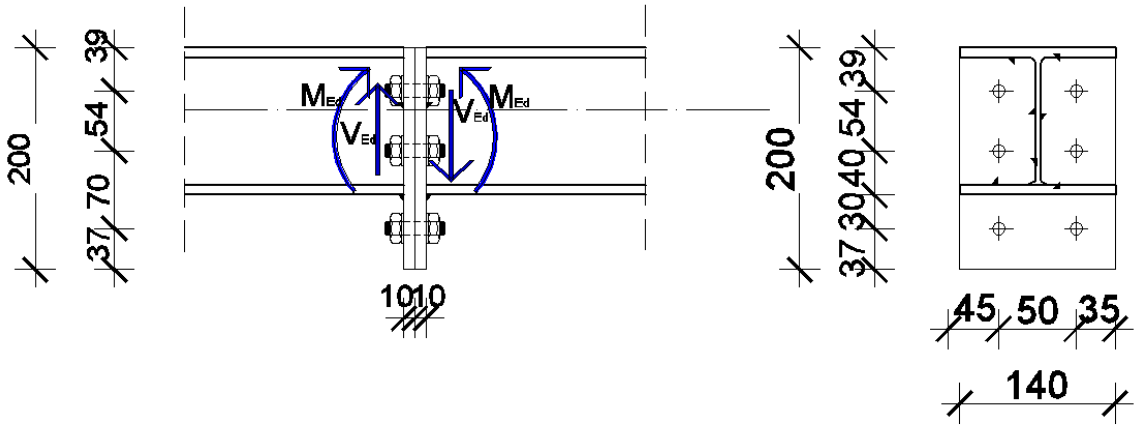
$$M_{sd} = F_{t,Ed} \cdot c = 17,49 \cdot 0,030 = 0,5247kNm$$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 52,47 \cdot 6}{16 \cdot 35,5}} =$$

$t_{pl} = 0,78cm \rightarrow$ usvojeno 10mm

Usvojene dimenzije ploče su: **220x160x10mm**

6.5. Dimenzioniranje spoja nastavka bočne podrožnice



Slika 6.4.1. Spoj krovne podrožnice i gornjeg pojasa

Ulazni podaci

Mjerodavna kombinacija je ista kao i za proračun otpornosti presjeka bočne sekundarne konstrukcije.

M_{Ed} = 7,0 kNm
V_{Ed} = 2,0 kN

Zbog mogućeg podtlačnog djelovanja vjetra, u unutrašnjem dijelu presjeka postavljeni su dodatni vijci.

Materijal:

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Profil: HEA 140
h= 133 mm
b= 140 mm
t_w= 5,5 mm
t_f= 8,5 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{7,0}{(0.133 - 0.0085)} = 56,22kN$$

Sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = 0kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 56,22 + 0kN = 56,22kN = F_{w,Ed}$$

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu:

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 \cdot 140 = 280mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot (133 - 2 \cdot 8,5) = 232mm$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 5,5 = 3,85mm$$

Za pretpostavljeni var **a=3,0mm**:

Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{98,1}{1.25} \cdot \frac{280}{100} = 219,74kN > F_{w,sd} = 56,22kN$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{98,1}{1.25} \cdot \frac{232}{100} = 182,07kN > V_{Ed} = 2,0kN$$

Pretpostavljeni vijak

M 12 ; k.v. 10.9

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 3\sqrt{2} = 28,24mm$$

Usvojeni c = 30 mm.

Otpornost vijka na vlak:

Vlačna sila se raspoređuje na 2 vijaka. Zbog kombinacije opterećenja s vjetrom koja odiže konstrukciju postavljeno

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1.25} = 60,72kN > F_{t,Ed} = \frac{N_P}{2} = \frac{56,22}{2} = 28,11kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1.25} = 33,76kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = \frac{2,0}{6} = 0,33kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{28,11}{1.4 \cdot 60,72} + \frac{0,33}{33,76} = 0,34 < 1.0$$

<u>Proračun dimenzija ploče:</u>

$a_{pl}^{\min} = h + (c + e_1) = 133 + (30 + 30) = 193mm$

$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 40 + 2 \cdot 25 = 90mm$

$b_{pl}^{\min} = b = 140mm$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 200x140mm

<u>Proračun debljine ploče</u>

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{6} = 0,33\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{0,33 \cdot 1,25 \cdot 10}{117,7} = 0.04\text{mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

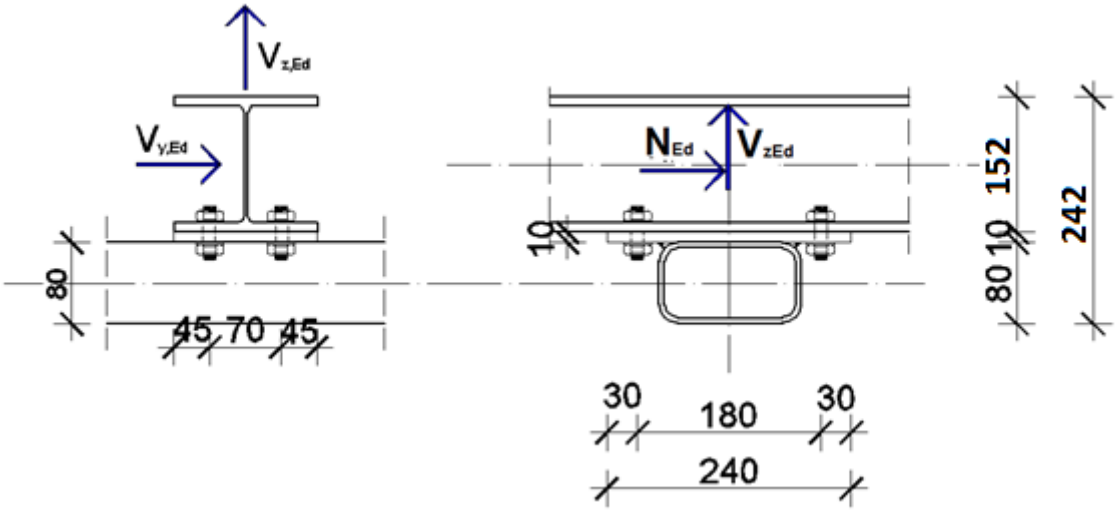
$M_{sd} = F_{t,Ed} \cdot c = 7,0 \cdot 0,030 = 0,210kNm$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 21,0 \cdot 6}{16 \cdot 35,5}} =$$

$t_{pl} = 0,49cm$

Usvojene dimenzije ploče su: **200x140x10mm**

6.6. Dimenzioniranje spoja krovne podržnice i gornjeg pojasa



Slika 6.6.1. Spoj krovne podrožnice i gornjeg pojasa

Ulazni podaci

Mjerodavna kombinacija kao i kod proračuna poprečnog presjeka krovnih podrožnica.

N_{Ed} = -79,25 kN
$V_{z,Ed}$ =19,74 kN (odizanje)
$V_{y,Ed}$ =0,77 kN

Materijal:

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Krovna podrožnica:	Gornji pojas:
Profil: HEA 160	Profil: 80x140x6
h= 152 mm	h= 80 mm
b= 160 mm	b= 140 mm
t_w= 6 mm	t= 6 mm
t_f= 9 mm	t= 6 mm

Spoj podrožnice na gornji pojas izvest će se zavarivanjem pravokutne ploče na gornji pojas nosača dimenzija 160x240mm debljine 10mm.

Pretpostavljeni vijak
M 12 ; k.v. 10.9

Uvjet nosivosti neto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = (160 - 2 \cdot 13) \cdot 10 = 1340{,}00 mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 1340 \cdot 510}{1{,}25} = 492{,}05 kN$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

0,77 kN < 492,05 kN

Uvjet nosivosti bruto poprečnog presjeka:

$$A_{brutto} = 160 \cdot 10 = 1000 mm^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{1000 \cdot 355}{1{,}0} = 355{,}00 kN$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

0,77 kN < 355,00 kN

Kontrola varova

$F_{w,Ed} = (19{,}74^2 + 79{,}25^2)^{0,5} = 81{,}67$ kN

Određivanje maksimalne debljine vara:
$a_{max} = 0.7 * t_{min} = 0.7 * 10 = 7$ mm

odabrano a = 3 mm

Otpornost vara:

$L_w = O = 2 * 140 = 280$ mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M,w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98{,}1}{1{,}25} \cdot \frac{280}{100} = 219{,}74 kN > F_{v,Ed} = 81{,}67 kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

$F_{w,Ed} = (0{,}77^2 + 79{,}25^2)^{0,5} = 79{,}25$ kN

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42{,}2}{1.25} = 33{,}76 kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = 19{,}81 kN$$

Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:

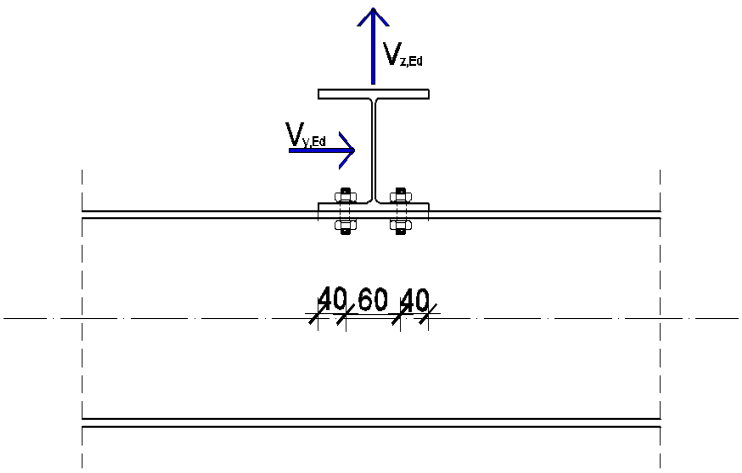
$F_{w,Ed}= (0,77^2+79,25^2)^{0,5}=79,25$ kN

$$F_{b,rd} = \frac{F_{b,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{117,7 \cdot 5}{1.25 \cdot 10} = 47,08kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = 19,81kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1.25} = 60,72kN > F_{t,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = 4,94kN$$

6.7. Dimenzioniranje spoja bočne podrožnice i stupa



Slika 6.7.1. Spoj bočne podrožnice i stupa

Ulazni podaci

Mjerodavna kombinacija je za podtlačno djelovanje vjetra.

$V_{z,,Ed}$ = 21,37 kN (odizanje)
$V_{y,Ed}$ = 1,64 kN

Materijal:

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Bočna podrožnica:	Stup:
Profil: HEA 140	Profil: HEA 300
h= 133 mm	h= 290 mm
b= 140 mm	b= 300 mm
t_w= 6,0 mm	t_w= 9 mm
t_f= 9,0 mm	t_f= 14 mm

Pretpostavljeni vijak
M 12 ; k.v. 10.9

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1.25} = 33,76kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = 0,41kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1.25} = 60,72kN > F_{t,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = 5,34kN$$

6.8. Dimenzioniranje spoja bočnih i krovnih spregova

Ulazni podaci

N_{Ed} = 133,40 (vlak)

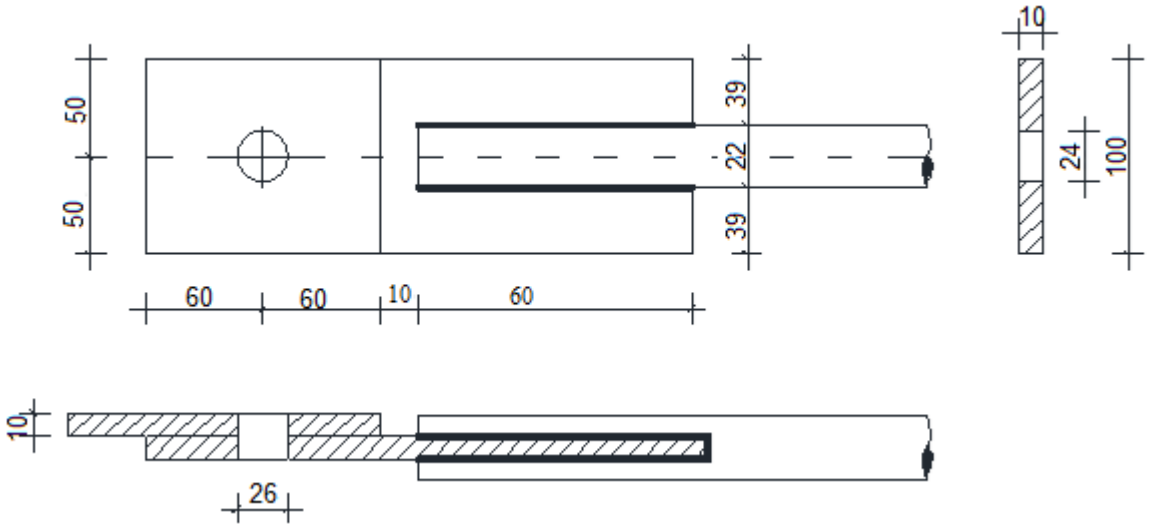
*Provjera nosivosti bočnih spregova vrijedi i za krovne spregove zbog istog spoja, ali manje sile u elementu.

Materijal:

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Profil: Ø22
d= 22 mm



Slika 6.8.1. Spoj spregova

Uvjet nosivosti neto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = (2 \cdot e_2 - d) \cdot t = (2 \cdot 50 - 26) \cdot 10 = 740 mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 740 \cdot 510}{1{,}25} = 271{,}73 kN$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

133,40 kN < 271,73 kN

Uvjet nosivosti bruto poprečnog presjeka:

$$A_{brutto} = 100 \cdot 10 = 1000 mm^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{1000 \cdot 355}{1{,}0} = 355{,}00 kN$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

133,40 kN < 355,00kN.

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{176{,}5}{1.25} = 141{,}20 kN > F_{v,Ed} = 133{,}40 kN$$

Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:

$$F_{b,rd} = \frac{F_{b,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{235{,}40 \cdot 10}{1.25 \cdot 10} = 188{,}33 kN > F_{v,Ed} = 133{,}40 kN$$

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:
$a_{max} = 0.7 * t_{min} = 0.7 * 10 = 7{,}0$ mm

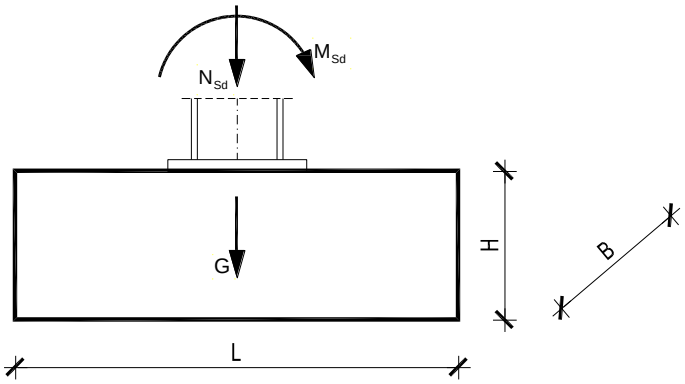
odabrano a = 3 mm

Otpornost vara:

$L_w = O = 3 * 60 = 180$ mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M,w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98{,}1}{1{,}25} \cdot \frac{180}{100} = 141{,}26 kN > N_{Ed} = 133{,}40 kN$$

7. PRORAČUN TEMELJA



ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA

$L = 2{,}0\ \text{m}$
$B = 2{,}0\ \text{m}$
$H = 1{,}0\ \text{m}$

MATERIJAL

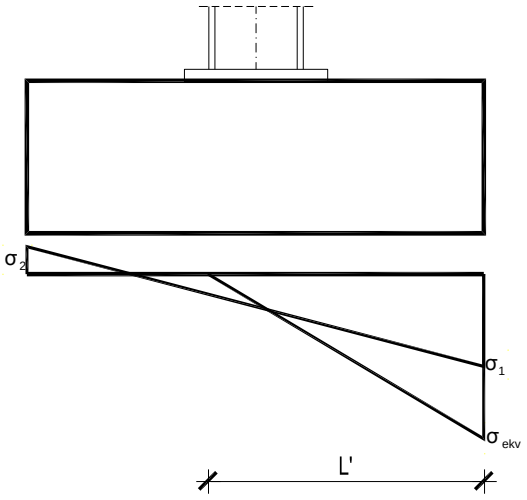
Temeljno tlo: $\sigma_{tla,\text{lim}} = 300\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Beton C25/30 $f_{ck} = 2{,}5\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Čelik B500B $f_{yk} = 50{,}0\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

REZNE SILE

$N_{Sd} = -96{,}50\ \text{kN}$
$V_{Sd} = 63{,}23\ \text{kN}$
$M_{Sd} = 133{,}92\ \text{kNm}$



Površina temeljne stope

$A = L \cdot B = 2{,}0 \cdot 2{,}0 = 4{,}0\ \text{m}^2$

Težina temeljne stope

$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2{,}0 \cdot 2{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 25 = 100{,}0\ \text{kN}$

Moment otpora temeljne stope

$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2{,}0 \cdot 2{,}0^2}{6} = 1{,}33\ \text{m}^3$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

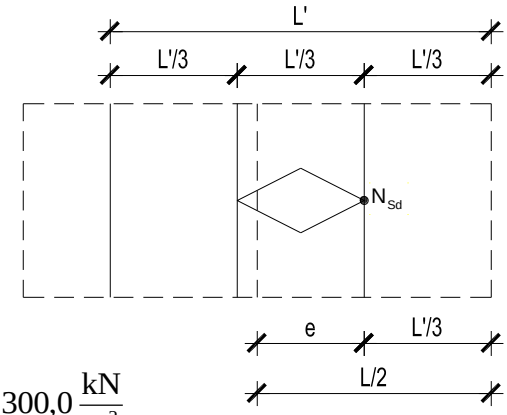
$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Sd} + G}{A} \pm \frac{M_{Sd}}{W} = \frac{96{,}4 + 100{,}0}{4{,}0} \pm \frac{133{,}92}{1{,}33} = 49{,}1 \pm 100{,}7$$

$$\sigma_1 = 149{,}8 \,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_2 = -51{,}6 \,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

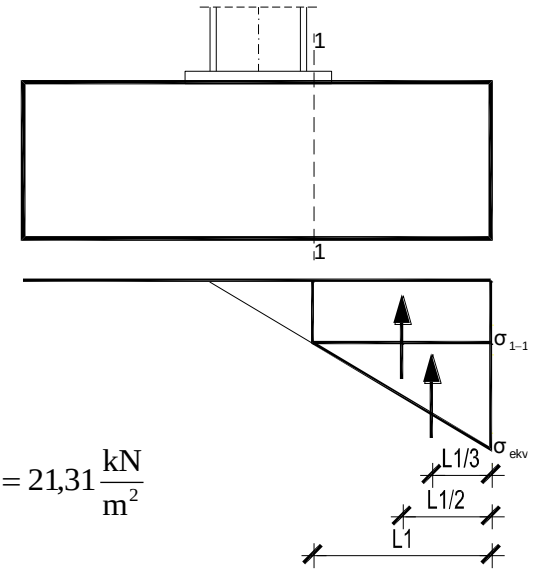
$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd} + G} = \frac{133{,}92}{96{,}4 + 100{,}0} = 0{,}68\,\text{m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2{,}0}{2} - 0{,}68 \right) = 0{,}96\,\text{m}$$



$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot \left(N_{Sd} + G \right)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot \left(96{,}4 + 100{,}0 \right)}{0{,}96 \cdot 2{,}0} = 204{,}58 \,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,\text{lim}} = 300{,}0 \,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

PRORAČUN ARMATURE TEMELJA



$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2{,}0 - 0{,}29}{2} = 0{,}86\,\text{m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{0{,}96 - 0{,}86}{0{,}96} \cdot 204{,}58 = 21{,}31 \,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$M_{Sd}^{1-1} = 1{,}4 \cdot \left(21{,}31 \cdot \frac{0{,}86^2}{2} \cdot 2{,}0 + \frac{204{,}58 - 21{,}31}{2} \cdot 0{,}86 \cdot 2{,}0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0{,}86 \right) = 148{,}58\,\text{kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0{,}8 \cdot H = 0{,}8 \cdot 1{,}0 = 0{,}8\,\mathrm{m} = 80\,\mathrm{cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_S}} = \frac{14858}{80 \cdot \frac{50{,}0}{1{,}15}} = 4{,}27\,\mathrm{cm}^2 < A_{S1,\min} = \frac{0{,}1}{100} \cdot B \cdot H = 20{,}0\,\mathrm{cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

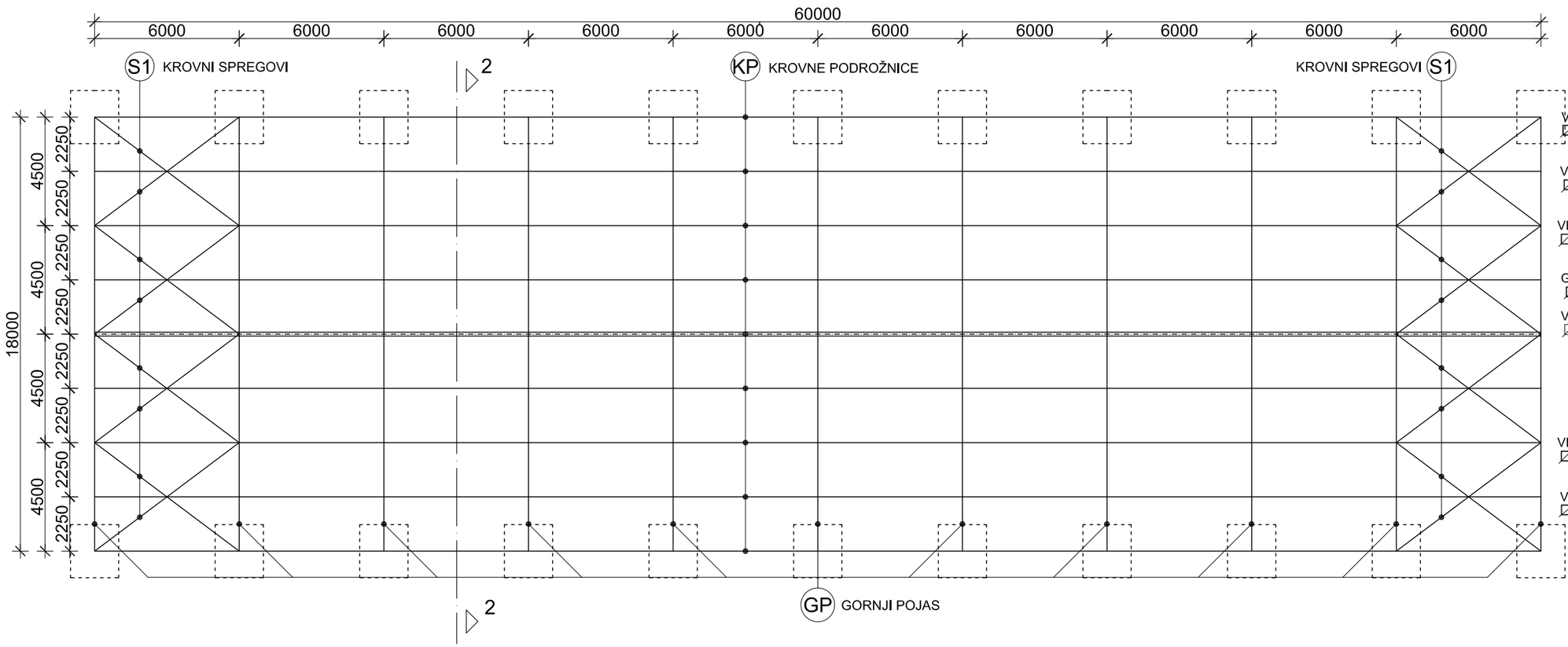
Odabrano: glavna armatura → ø12/10 19 kom = 21,48 cm^2

razdjelna armatura → ø8/25

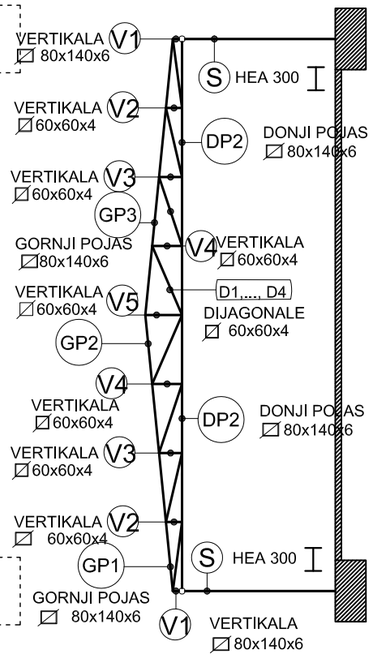
8. NACRTI

GENERALNI PLAN POZICIJA
M1:200

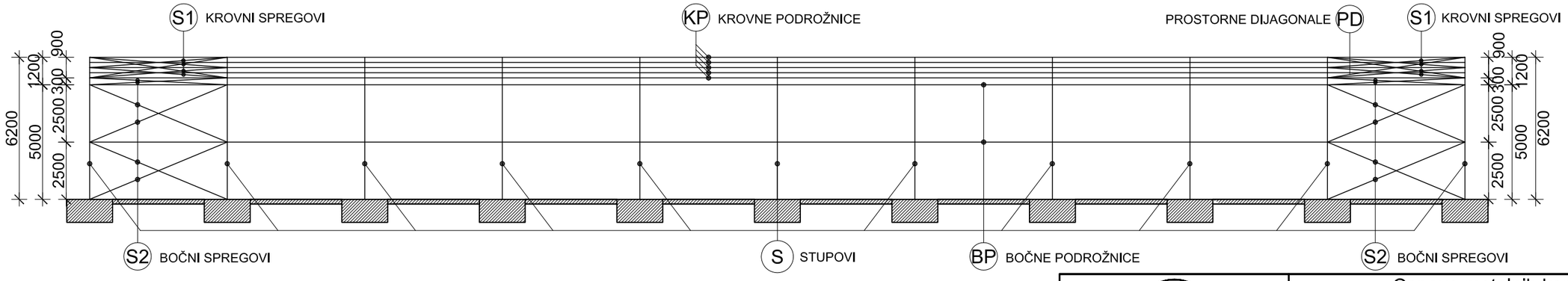
TLOCRTNI PRIKAZ



PRESJEK 2-2



BOČNI PRIKAZ

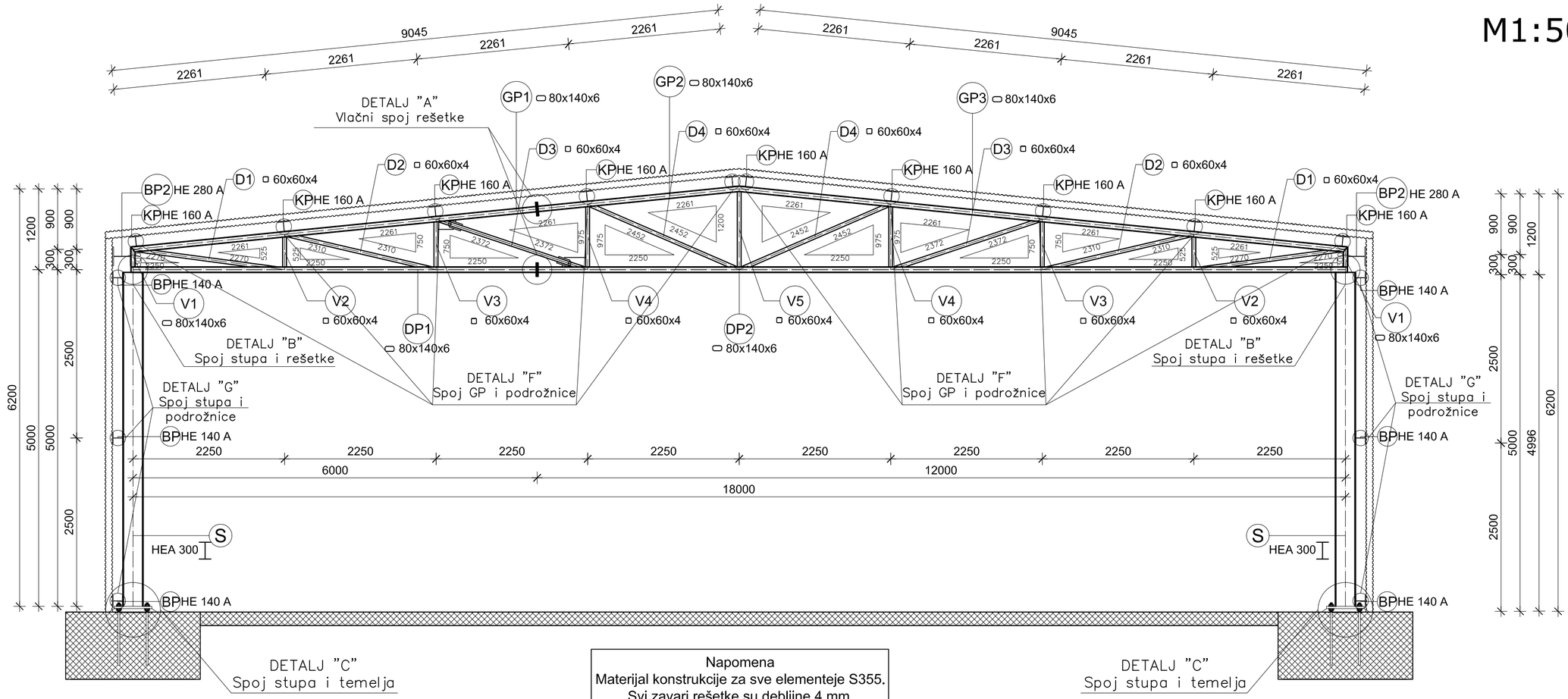


SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENTI	Petra Maleš, 3971
SADRŽAJ	Generalni plan pozicija
MJERILO	1:200
BROJ PRILOGA	1
DATUM	rujan 2015

PRESJEK KROZ GLAVNI NOSAČ

M1:50

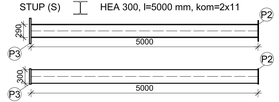


Napomena
Materijal konstrukcije za sve elementeje S355.
Svi zavari rešetke su debljine 4 mm.

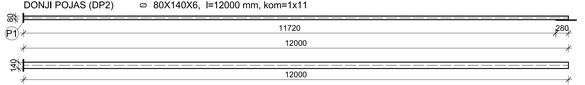
SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Petra Maleš, 3971	
	SADRŽAJ: Presjek kroz glavni okvir	MJERILO: 1:50
	DATUM: rujan 2015	BROJ PRILOGA: 2

RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA M1:50

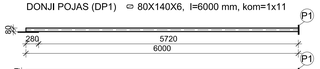
STUP (S) HEA 300, l=5000 mm, kom=2x11



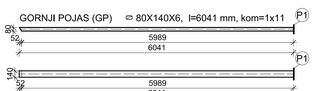
DONJI POJAS (DP2) ⇨ 80X140X6, l=12000 mm, kom=1x11



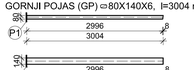
DONJI POJAS (DP1) ⇨ 80X140X6, l=6000 mm, kom=1x11



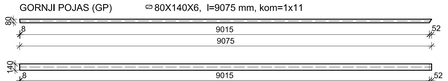
GORNJI POJAS (GP) ⇨ 80X140X6, l=6041 mm, kom=1x11



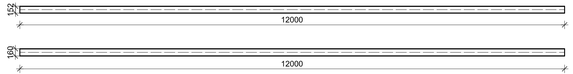
GORNJI POJAS (GP) ⇨80X140X6, l=3004 mm, kom=1x11



GORNJI POJAS (GP) ⇨80X140X6, l=9075 mm, kom=1x11



KROVNA PODROŽNICA (KP1) HEA 160, l=12000 mm, kom=30



KROVNA PODROŽNICA (KP2) HEA 160, l=10000 mm, kom=10



KROVNA PODROŽNICA (KP3) HEA 160, l=7000 mm, kom=20



VERTIKALA (V1) ⇦ 80X140X6, l=377 mm, kom=2x11



VERTIKALA (V2) ▫ 60X60X4, l=448 mm, kom=2x11



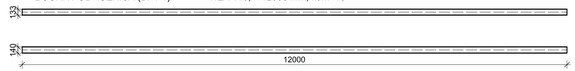
VERTIKALA (V3) ▫ 60X60X4, l=673 mm, kom=2x11



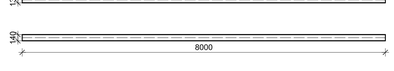
VERTIKALA (V4) ▫ 60X60X4, l=898 mm, kom=2x11



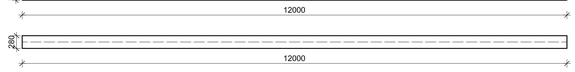
BOČNA PODROŽNICA (BP1-1) HEA 140, l=12000 mm, kom=18



BOČNA PODROŽNICA (BP1-2) HEA 140, l=8000 mm, kom=18



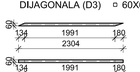
BOČNA PODROŽNICA (BP2-1) HEA 280, l=12000 mm, kom=6



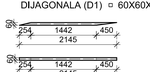
VERTIKALA (V5) ▫ 60X60X4, l=1119 mm, kom=1x11



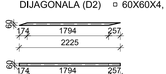
DIJAGONALA (D3) ▫ 60X60X4, l=2304 mm, kom=2x11



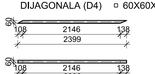
DIJAGONALA (D1) ▫ 60X60X4, l=2145 mm, kom=2x11



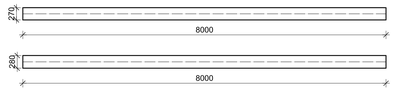
DIJAGONALA (D2) ▫ 60X60X4, l=2225 mm, kom=2x11



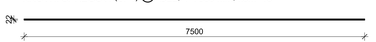
DIJAGONALA (D4) ▫ 60X60X4, l=2399 mm, kom=2x11



BOČNA PODROŽNICA (BP2-2) HEA 280, l=8000 mm, kom=6



KROVNI SPREGOVI (SP1) ◯ Ø22, l=7500 mm, kom=16



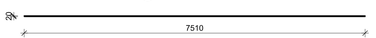
BOČNI SPREGOVI (SP2-1) ◯ Ø22, l=6500 mm, kom=16



BOČNI SPREGOVI (SP2-2) ◯ Ø22, l=6000 mm, kom=8



PROSTORNI SPREG ◯ Ø20, l=7510 mm, kom=4

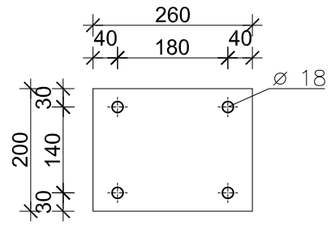


SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

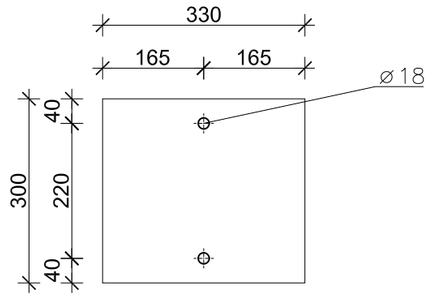
TEMA:	Osnove metalnih konstrukcija
	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT:	Petra Maleš, 3971
SADRŽAJ:	Radionički nacrt glavnog okvira
MJERILO	1:50
BROJ PRILOGA	3
DATUM	rujan 2015

PRIKAZ PLOČICA
M1:10

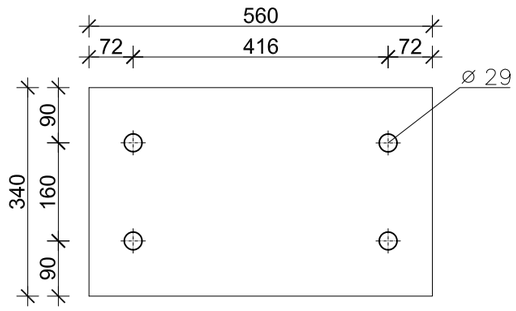
Pločica P1 : 260x200x15, kom=44



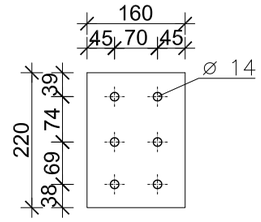
Pločica P2 : 460x340x10, kom=44



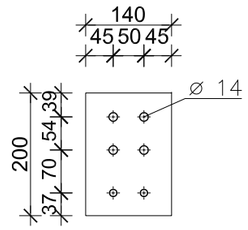
Pločica P3 : 560x340x35, kom=22



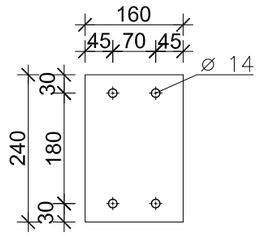
Pločica P4 : 220x160x10, kom=80



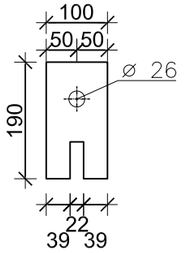
Pločica P5 : 200x140x10, kom=32



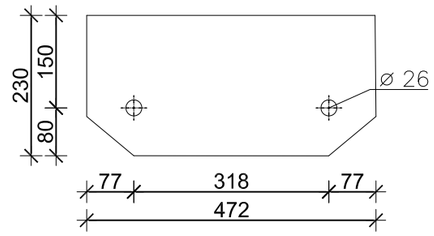
Pločica P6 : 240x160x10, kom=110



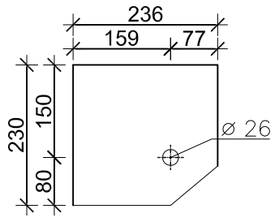
Pločica P7 : 190x100x10, kom=80



Pločica P8 : 472x230x10, kom=24



Pločica P9 : 236x230x10, kom=32



SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE, 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI: Petra Maleš, 3971	
	SADRŽAJ: Prikaz pločica	MJERILO: 1:10
	DATUM: rujan 2015	BROJ PRILOGA: 4

PREDMJER MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU (DUŽINSKI ELEMENTI)					
POZICIJA	PROFIL (mm)	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup	HEA 300	5000	22	88,30	9713,00
Donji pojas (DP1)	80X140X6	6000	11	19,00	1254,00
Donji pojas (DP2)	80X140X6	12000	11	19,00	2508,00
Gornji pojas (GP1)	80X140X6	6041	11	19,00	1262,58
Gornji pojas (GP2)	80X140X6	3004	11	19,00	627,88
Gornji pojas (GP3)	80X140X6	9075	11	19,00	3793,35
Vertikala (V1)	60X60X4	377	22	6,93	57,53
Vertikala (V2)	60X60X4	448	22	6,93	68,31
Vertikala (V3)	60X60X4	673	22	6,93	102,63
Vertikala (V4)	60X60X4	898	22	6,93	136,95
Vertikala (V5)	60X60X4	1119	11	6,93	85,25
Dijagonala (D1)	60X60X4	2145	22	6,93	327,03
Dijagonala (D2)	60X60X4	2225	22	6,93	339,24
Dijagonala (D3)	60X60X4	2304	22	6,93	351,23
Dijagonala (D4)	60X60X4	2399	22	6,93	365,75
P1	260X200X15	Proračun preko zapremnine.	22	7850	134,75
P2	330X300X10	Proračun preko zapremnine.	44	7850	540,21
P3	560X340X35	Proračun preko zapremnine.	44	7850	2301,75
Krovna podrožnica (KP1)	HE 160 A	12000	30	30,4	10944
Krovna podrožnica (KP2)	HE 160 A	10000	10	30,4	3040
Krovna podrožnica (KP3)	HE 160 A	7000	20	30,4	4256
Bočna podrožnica (BP1-1)	HE 140 A	12000	18	24,7	5335,2
Bočna podrožnica (BP1-2)	HE 140 A	8000	18	24,7	3556,8
Bočna podrožnica (BP2-1)	HE 280 A	12000	6	76,4	5500,8
Bočna podrožnica (BP2-2)	HE 280 A	8000	6	76,4	3667,2
Krovni spreg	Ø 22	7500	16	3,021	362,52
Bočni spreg 1	Ø 22	6500	16	3,021	314,18
Bočni spreg 2	Ø 22	6000	8	3,021	145,01
Prostorni spreg	Ø 20	7510	4	2,466	74,08
P4	220x160x10	Proračun preko zapremnine.	80	7850	221,06
P5	200x140x10	Proračun preko zapremnine.	32	7850	70,34
P6	240x160x10	Proračun preko zapremnine.	110	7850	331,59
P7	190x100x10	Proračun preko zapremnine.	80	7850	119,32
P8	472x230x10	Proračun preko zapremnine.	24	7850	204,53
P9	236x230x10	Proračun preko zapremnine.	32	7850	136,35
			Ukupno (kg)		62283,07
			+2,0% spojna sredstva		1245,66
			UKUPNO (kg)		63528,73

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Petra Maleš, 3971

SADRŽAJ: Radionički nacrt glavnog okvira

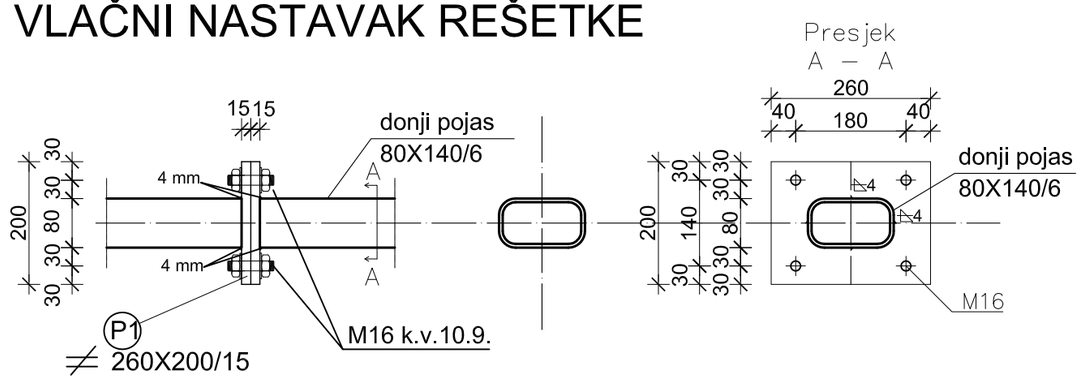
MJERILO: 1:50

BROJ PRILOGA: 5

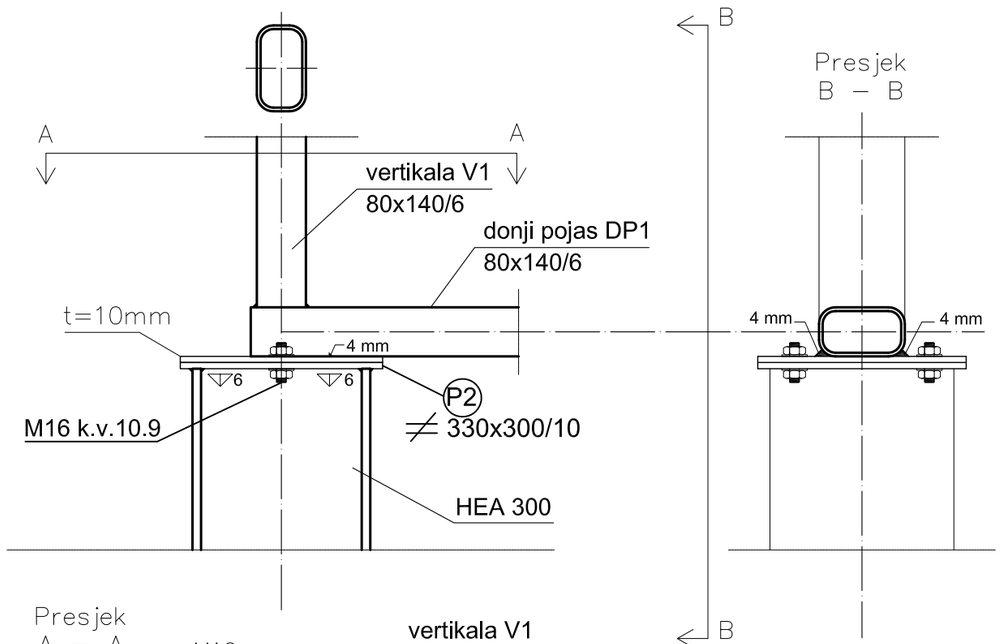
DATUM: rujan 2015

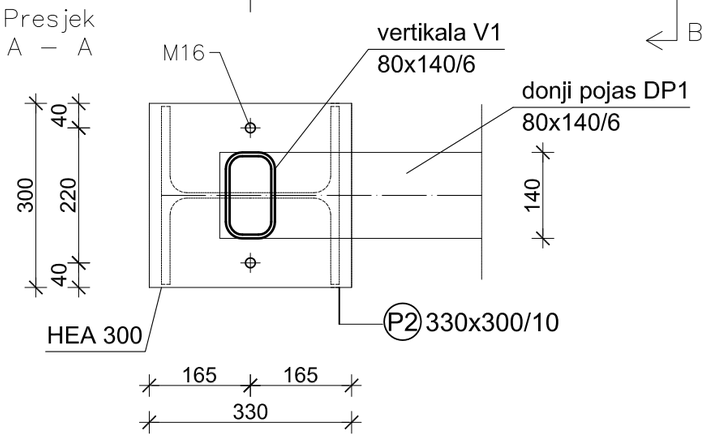
DETALJI SPOJEVA
M1:10

DETALJ "A"
VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

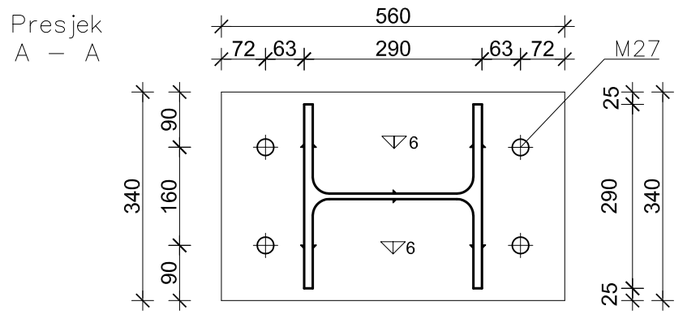


DETALJ "B"
ZGLOBNI SPOJ STUPA S REŠETKOM

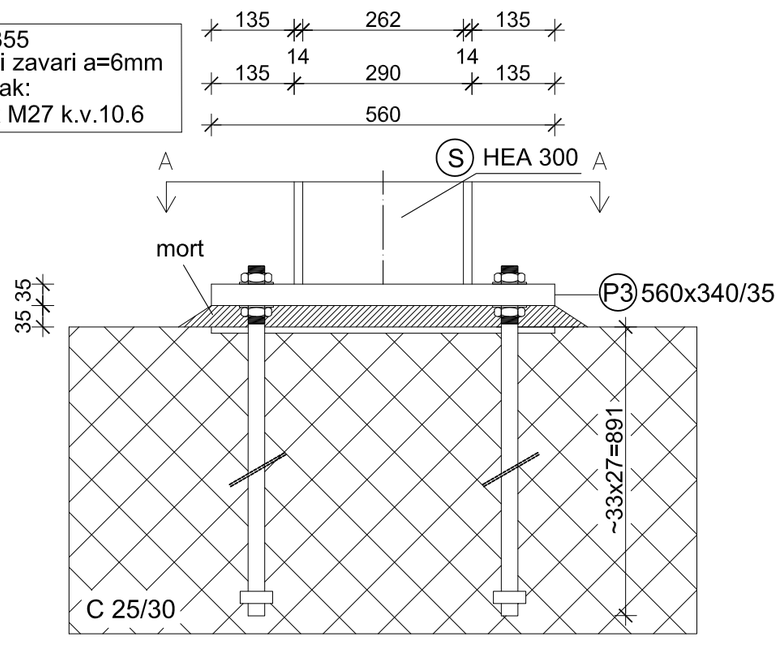




DETALJ "C"
UPETI SPOJ STUP-TEMELJ



S355
svi zavari a=6mm
vijak:
4x M27 k.v.10.6



Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S355.

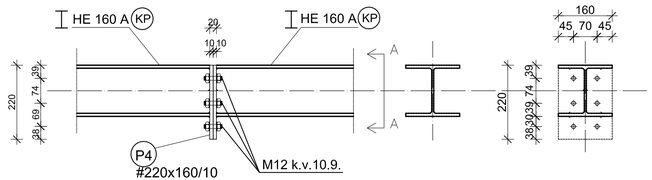
SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENTI	Petra Maleš, 3971
SADRŽAJ	Detalji spojeva
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	6
DATUM	rujan 2015

DETALJI SPOJEVA
M 1:10

DETALJ "D"
NASTAVAK KROVNE PODROŽNICE

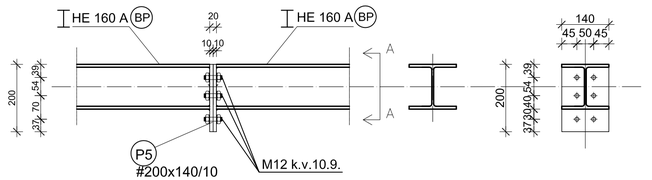
Pogled



Presjek A - A

DETALJ "E"
NASTAVAK BOČNE PODROŽNICE

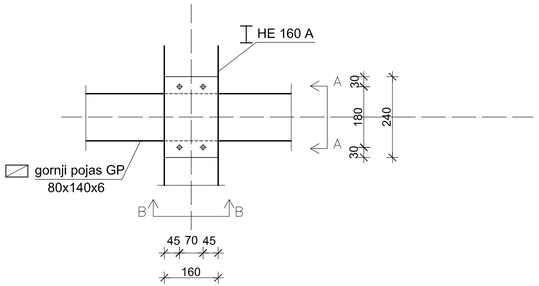
Pogled



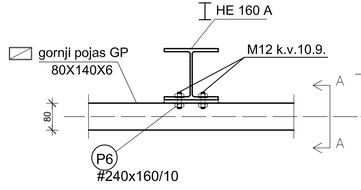
Presjek A - A

DETALJ "F"
SPOJ KROVNE PODROŽNICE NA GORNJI POJAS

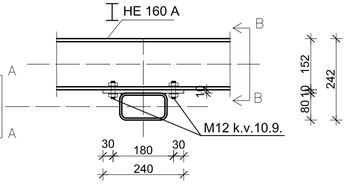
Pogled



Presjek B-B

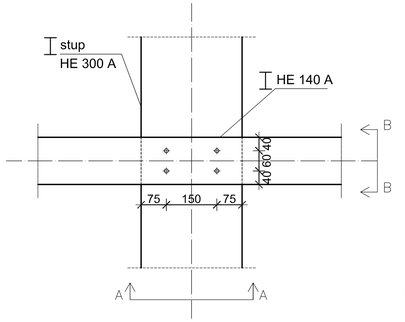


Presjek A-A

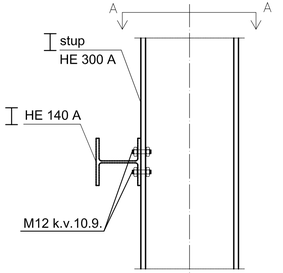


DETALJ "G"
SPOJ BOČNE PODROŽNICE NA STUP

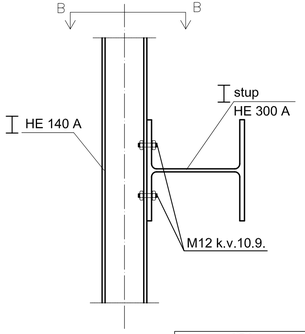
Pogled



Presjek B-B



Presjek A-A



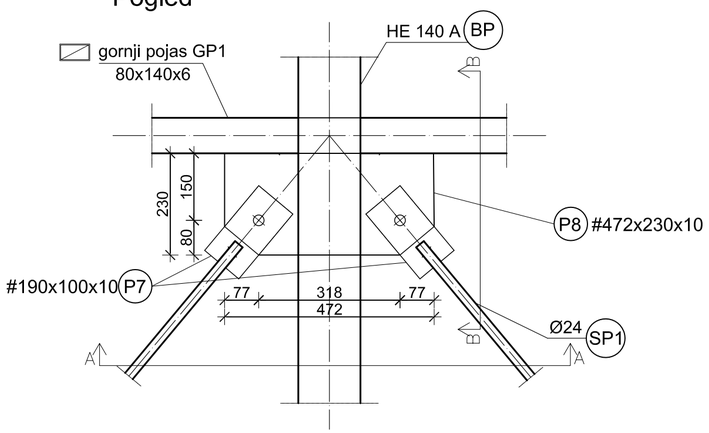
Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S355.
Svi zavari rešetke su debljine a= 3 mm.

SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE, 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Petra Maleš, 3971
SADRŽAJ	Detalji spojeva D, E, F, G
MJERILO	1:10
DATUM	rujan 2015.
BROJ PRILOGA	7

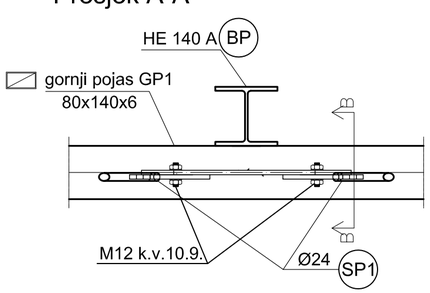
DETALJI SPOJEVA
M 1:10

DETALJ "H"
DVOSTRUKI SPOJ SPREGA NA GORNJI POJAS

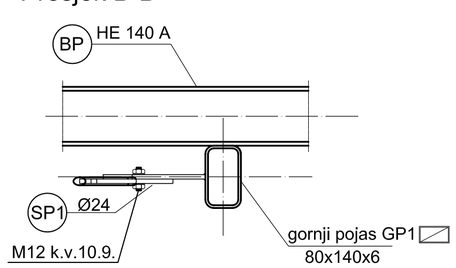
Pogled



Presjek A-A

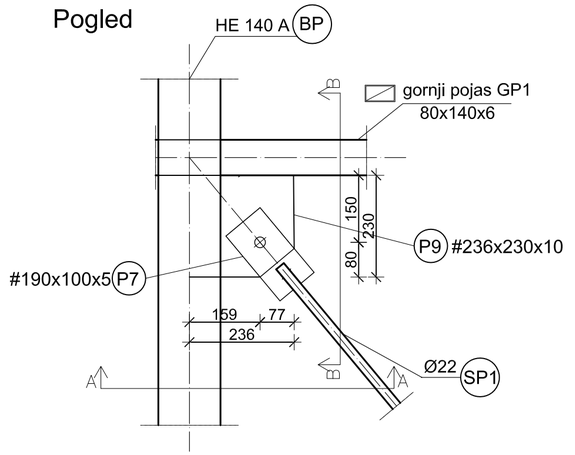


Presjek B-B

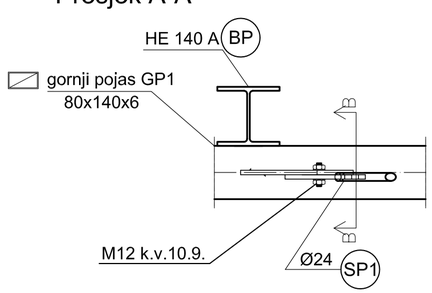


DETALJ "I"
JEDNOSTRUKI SPOJ SPREGA NA GORNJI POJAS

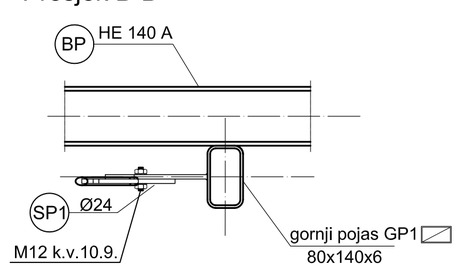
Pogled



Presjek A-A



Presjek B-B



Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S355
Svi zavari rešetke su debljine a= 3 mm.

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Petra Maleš, 3971
SADRŽAJ	Detalji spojeva H, I
MJERILO	1:10
DATUM	rujan 2015.
BROJ PRILOGA	8

9. 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] B.Peroš, I. Boko: Predavanja