

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Šupe, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:382023>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-16**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Splitu

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Šupe Katarina

Split, 2019.

Sveučilište u Splitu
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Šupe Katarina

Sveučilište u Splitu
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA
KANDIDAT:	Šupe Katarina
BROJ INDEKS:	4053
KATEDRA:	Katedra za metalne i drvene konstrukcije
PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale.

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, te spregove konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S235

Objekt se nalazi na području Osijeka

Razmak okvira: 5,1 (m)

U Splitu, 2019.

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

Proračun čelične konstrukcije hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Osijeka. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciju su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i pormijenljivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia engineer 19.0“.

Ključne riječi:

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

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure, it's main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Osijek. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „Scia engineer 19.0“.

Keywords:

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

SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS.....	7
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE.....	7
1.1.1. Općenito.....	7
1.1.2. Konstruktivni elementi.....	8
1.1.3. Spojevi.....	9
1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE.....	9
1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	9
1.4. PRIMJENJENI PROPISI.....	9
1.5. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA.....	10
1.6. ZAŠTITA OD POŽARA.....	10
1.7. MONTAŽA I TRANSPORT.....	10
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	11
2.1. STALNO OPTEREĆENJE.....	11
2.2. POKRETNO OPTEREĆENJE.....	12
2.2.1. Djelovanje snijega.....	12
2.2.2. Djelovanje vjetra.....	13
2.2.2.1. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove.....	15
2.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova $\Theta=0^\circ$	17
2.2.2.3. Djelovanje vjetra na zabat hale.....	21
3. KONTROLA PROGIBA (GSU).....	23
3.1. REŠETKA.....	23
3.2. STUP.....	24
4. DIJAGRAM REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN).....	25
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	25
4.1.1. Kombinacija 1,35G+1,5S.....	25
4.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1.....	27
4.1.3. Kombinacija 1,35G+1,5W2.....	29
4.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	31
4.2.1. Sekundarni krovni nosač.....	31
4.2.1.1. Kombinacija 1,35G+1,5S.....	31
4.2.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1	33
4.2.1.3. Kombinacija 1,35G+1,W2.....	35
4.2.2. Sekundarni bočni nosač.....	37
4.2.2.1. Kombinacija 1,0G _{EI} +1,5S.....	37
4.2.2.2. Kombinacija 1,35G _{EI} +1,5W2.....	38
4.2.3. Zabatni stupovi.....	39
4.2.4. Krovni spreg.....	41
4.2.5. Bočni spreg.....	42
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....	43
5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	43
5.1.1. Stup.....	43
5.1.1.1. Opterećenja kombinacije 1,0G+1,5W1	43
5.1.1.2. Opterećenja kombinacije 1,35G+1,5S.....	49
5.1.2. Gornji pojas.....	55
5.1.3. Donji pojas.....	58
5.1.5. Ispune.....	60
5.1.5.1. Vješaljke.....	60
5.1.5.2. Dijagonale.....	63
5.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	66

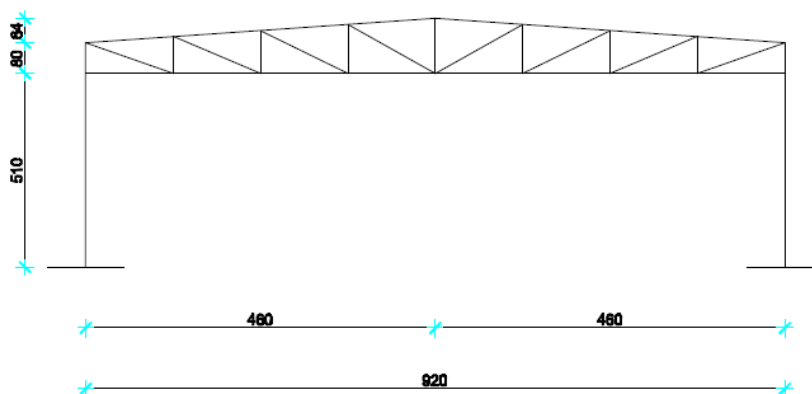
5.2.1. Sekundarni krovni nosač.....	66
5.2.2. Sekundarni bočni nosač.....	72
5.2.3. Zabatni stupovi.....	76
5.2.4. Krovni spreg.....	80
5.2.5. Bočni spreg.....	81
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA.....	82
6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ.....	82
6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA.....	85
6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA DONJEG SPOJA.....	87
7. PRORAČUN TEMELJA.....	89
8. LITERATURA.....	91
9. NACRTI.....	92
9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA.....	92
9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR.....	93
9.3. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA.....	94
9.4. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA.....	95
9.5. DETALJ „DE1“ SPOJ STUP-TEMELJ.....	96
9.6. DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA.....	97
9.7. DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	98
10. ISKAZ MATERIJALA.....	99

1. TEHNIČKI OPIS

1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

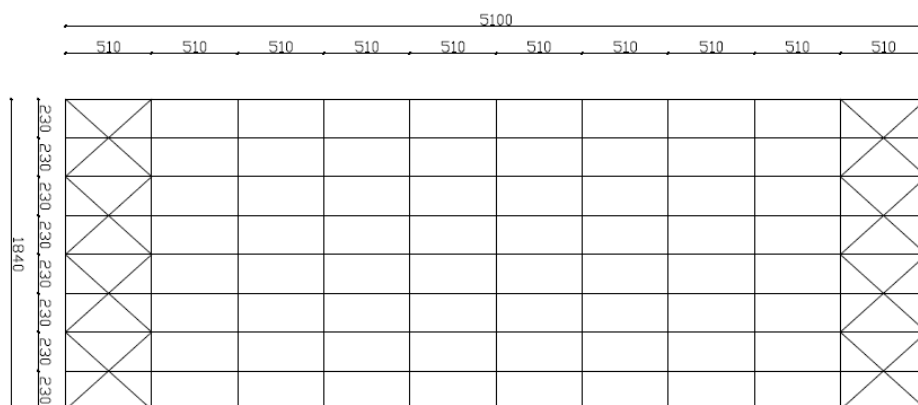
1.1.1. Općenito

Predmetna građevina nalazi se u području grada Osijeka. Tlocrtne dimenzije su $18,4 \times 51,0$ (m), a visina iznosi 6,54 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 4,00^\circ$, što je ekvivalentno nagibu od 7%. Projektirana je za potrebe skladišta.



Slika 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav, koji je zamišljen kao sustav 10 ravninskih okvira raspona 18,4 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 5,1 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,31 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom razmaku od 2,55 (m). Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem).

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

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

1.1.2. Konstruktivni elementi

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA 180 duljine 5100 (mm). Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 180. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

Glavna rešetka

Glavne rešetke su dimenzionirane da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenja od snijega i vjetra. Profili gornjeg i donjeg pojasa su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 160×160×5 (mm) spojeni u čvorovima.

Profili vertikalna su pravokutnog šupljeg presjeka CFRHS 50×50×3 (mm), dok su profili dijagonala pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 70×70×5 (mm).

Sami elementi geometrije prikazani su na generalnom nacrtu.

Podrožnice

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Podrožnica je okomita na nagib krovne plohe.

Pri dimenzioniranju podrožnice koristi se djelovanje gravitacije, snijega i vjetra. Profili krovnih podrožnica su HEA 160, dok su profili bočnih podrožnica HEA 120.

Duljina podrožnica je 5,1 (m).

Spregovi

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja.

Horizontalni i vertikalni spregovi su dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka RD10.

Temelji

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

1.1.3. Spojevi

Stup–temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija $350 \times 250 \times 25$ (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16; k.v. 10.9 nosivim na tlak i odrez, te sidrenim u armirano-betonski temelj. Između podložne ploče i armirano-betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

Stup–rešetka

Spoj donjeg pojasa rešetke na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija $300 \times 280 \times 10$ (mm) i vijcima M12; k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

Vlačni nastavak gornjeg pojasa rešetke

Spoj se izvodi vijčano pomoću vezica. Pojasnice se spajaju parom ploča dimenzija $280 \times 280 \times 20$ (mm) koje međusobno povezuju vijci M16; k.v. 10.9 nosivi na vlak i odrez.

1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

- stalno (vlastita težina građevine)
- snijeg
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 18,4 (m) širine krovne plohe.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 18.1“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji plastičnosti.

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

1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S235.

1.4. PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja:

HRN ENV 1991-2-1	vlastita težina građevine
HRN ENV 1991-2-3	djelovanje snijega na konstrukciju
HRN ENV 1991-2-4	djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje:

HRN ENV 1993	dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
HRN ENV 1992	dimenziniranje armirano-betonskih konstrukcija

1.5. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA

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

1.6. ZAŠTITA OD POŽARA

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

1.7. MONTAŽA I TRANSPORT

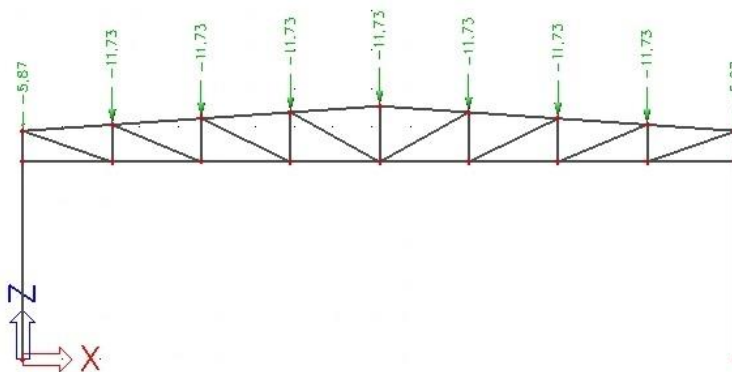
Pozicije okvira će se izrezati u radionici, te transportirati na gradilište. Pri tome potrebno je obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi za suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s „Pravilnikom o zaštiti na radu“.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. STALNO OPTEREĆENJE

– sendvič paneli (aluminij)	0,4 kN/m ²
– sekundarna konstrukcija i spregovi	0,4 kN/m ²
– instalacije	0,2 kN/m ²
	$\Sigma=1,00 \text{ kN/m}^2$

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



Slika 2.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima rešetke

2.2. POKRETNO OPTEREĆENJE

2.2.1. Djelovanje snijega

Opterećenje snijegom na krovove (gravitacijsko opterećenje):

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

μ_i –koeficijent oblika opterećenja snijegom, očitamo ga ovisno o α , α je nagib krova

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{7}{100} = 0,07 \rightarrow \alpha = 4,00^\circ$$

$$\mu_i = 0,8 \Leftrightarrow 0^\circ < \alpha < 15^\circ \quad \alpha_1 = \alpha_2$$

C_e –koeficijent izloženosti (obično se usvaja vrijednost 1,0)

C_t –toplinski koeficijent (obično se usvaja vrijednost 1,0)

s_k –karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu

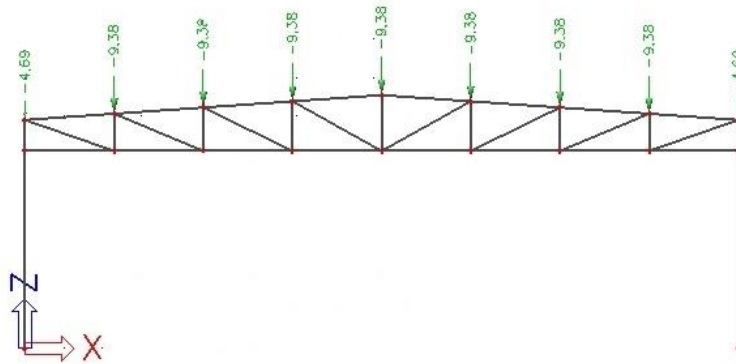
$s_k = 1,0 \text{ [kN/m}^2\text{]} \Leftrightarrow$ za Osijek, od 0-100m nadmorske visine

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Raspodijela sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,1 \text{ m} = 4,08 \text{ kN/m}$$



Slika 2.2.1.1. Opterećenje snijegom u čvorovima rešetke

2.2.2. Djelovanje vjetra

Opterećenje vjetrom (okomito na površine):

– pritisak vjetra na vanjske površine: $w_e = q_p |z_e| \cdot c_{pe} [kN/m^2]$

– pritisak vjetra na unutarnje površine: $w_i = q_p |z_i| \cdot c_{pi} [kN/m^2]$

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

$z_{e(i)}$ – referentna brzina za vanjski (unutarnji) vjetar

c_{pe} – koeficijent pritiska za vanjski vjetar

c_{pi} – koeficijent pritiska za unutarnji vjetar

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$\text{Osnovni pritisak vjetra } q_p = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 [kN/m^2]$$

ρ – gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa $1,25 \text{ kg/m}^3$)

v_b – osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0}$ – fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra (očitava se iz karte $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$)

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

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

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 = 20 [m/s]$$

Srednja brzina vjetra $v_m(z)$:

$$v_m |z| = c_r |z| \cdot c_o |z| \cdot v_b [m/s]$$

$c_r |z|$ – faktor hrapavosti terena

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

Faktor hrapavosti:

$$c_r |z| = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

z_0 – duljina hrapavosti

k_r – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti

Faktor terena:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

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

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r |z| = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{6,54}{0,05} \right) = 0,93$$

$$v_m|z| = 0,93 \cdot 1,0 \cdot 20 = 18,6 \text{ [m/s]}$$

Intezitet turbulencije $I_v(z)$:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o|z| \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

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

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{6,54}{0,05}\right)} = 0,205$$

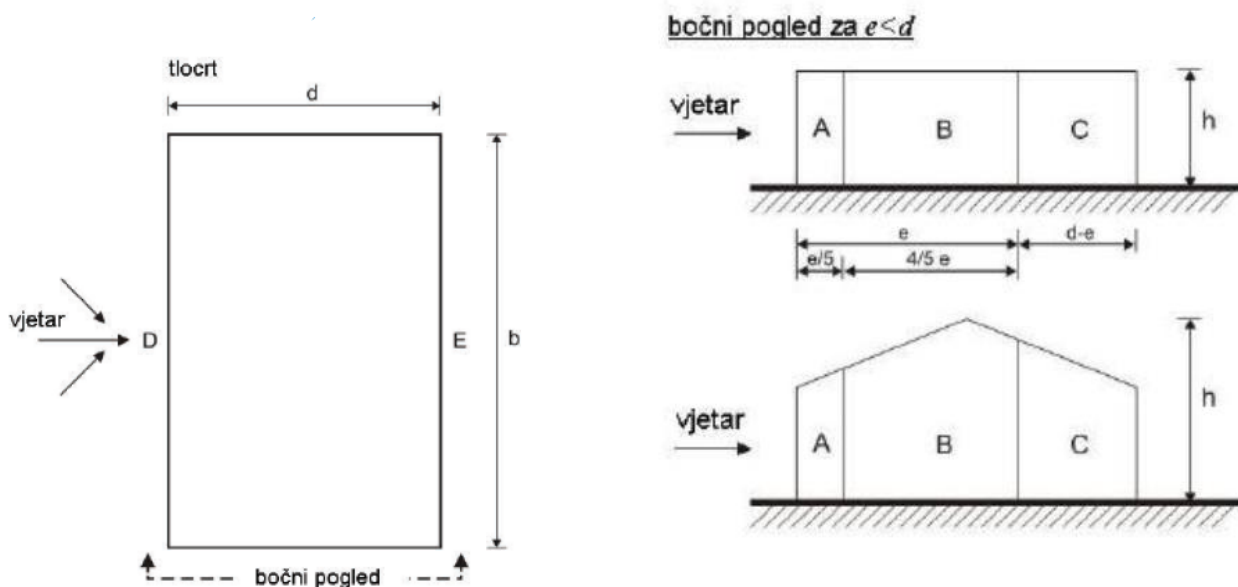
Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p|z| = c_e|z| \cdot q_b = [1 + 7 \cdot I_v|z|] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2|z| \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$c_e|z|$ –faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena z i kategoriji terena (očitano s karte)

$$q_p|z| = [1 + 7 \cdot 0,205] \cdot \frac{1}{2} 1,25 \cdot 18,6^2 = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

2.2.2.1. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove



Slika 2.2.2.1.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Koeficijenti vanjskog pritiska za vertikalne zidove $h/d < 5$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	-0,71	-0,31

Tablica 2.2.2.1.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

– unutrašnji koeficijenti pritiska $c_{pi} = +0,2$ i $-0,3$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

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

$$q_p |z_e| = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	-0,71	-0,31
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,63	-0,42	-0,26	-0,37	-0,16

Tablica 2.2.2.1.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na unutrašnje površine

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

$$q_p |z_i| = 0,519 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_i = 0,527 \cdot 0,2 = 0,11 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_i = 0,527 \cdot (-0,3) = -0,16 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$$w_k = w_e - w_i \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,63	-0,42	-0,26	-0,37	-0,16
$w_i(\text{kN/m}^2)$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,74	-0,53	-0,37	-0,48	-0,27
$W_k(\text{kN/m})$	-3,77	-2,70	-1,89	-2,45	-1,38

Tablica 2.2.2.1.3. Proračun sila prema područjima vjetra za pozitivni unutarnji pritisak

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

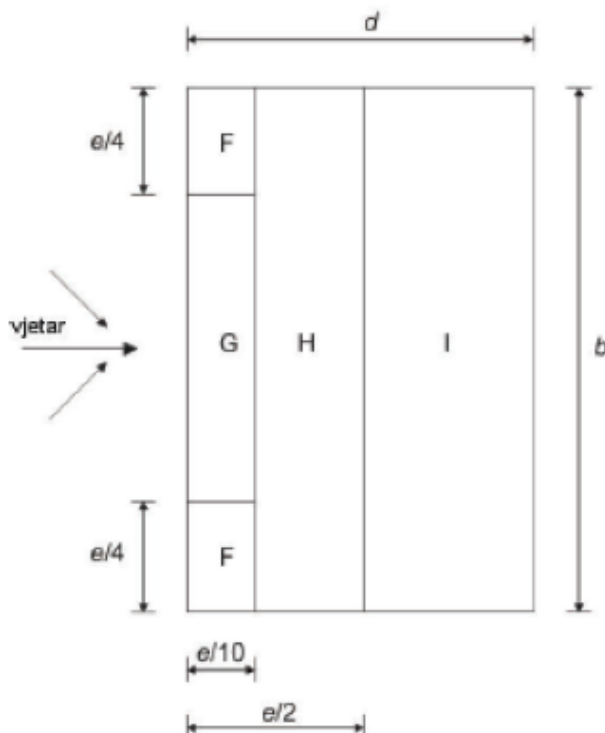
$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,63	-0,42	-0,26	-0,37	-0,16
$w_i(\text{kN/m}^2)$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,47	-0,26	-0,10	-0,21	0,00
$W_k(\text{kN/m}^2)$	-2,40	-1,33	-0,51	-1,07	0,00

Tablica 2.2.2.1.4. Proračun sila prema područjima vjetra za negativni unutarnji pritisak

2.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova $\Theta=0$



Slika 2.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za ravni krov

Koeficijenti vanjskog pritiska za područja dvostrešnog ravnog krova

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2

Tablica 2.2.2.2.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p |z_e| = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	+0,11

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	-0,11

Tablica 2.2.2.2.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$$w_k = w_e - w_i \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	+0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	0,11	0,11	0,11	0,11
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-1,06	-0,74	-0,48	0,00
$W_k(\text{kN/m})$	-5,41	-3,77	-2,45	0,00

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	-0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	0,11	0,11	0,11	0,11
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-1,06	-0,74	-0,48	-0,22
$W_k(\text{kN/m})$	-5,41	-3,77	-2,45	-1,12

Tablica 2.2.2.2.3. Proračun sila prema područjima vjetra za pozitivni unutarnji pritisak

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	+0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,79	-0,47	-0,21	-0,27
$W_k(\text{kN/m})$	-4,03	-2,40	-1,07	-1,38

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	-0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,79	-0,47	-0,21	+0,05
$W_k(\text{kN/m})$	-4,03	-2,40	-1,07	+0,26

Tablica 2.2.2.2.4. Proračun sila prema područjima vjetra za negativni unutarnji pritisak

W1 (kN)

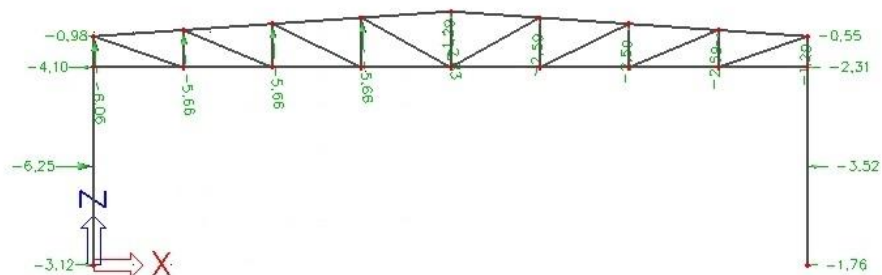
$$W_1 = -5,41 \cdot 2,31 = -12,5 \text{ kN} \quad \text{F zona}$$

$$W_2 = -2,45 \cdot 2,31 = -5,66 \text{ kN} \quad \text{H zona}$$

$$W_3 = -1,12 \cdot 2,31 = -2,59 \text{ kN} \quad \text{I zona}$$

$$W_4 = -2,45 \cdot 2,55 = -6,25 \text{ kN} \quad \text{D zona}$$

$$W_5 = -1,38 \cdot 2,55 = -3,52 \text{ kN} \quad \text{E zona}$$



Slika 2.2.2.2.2. Opterećenje vjetrom W1 u čvorovima rešetke

W2 (kN)

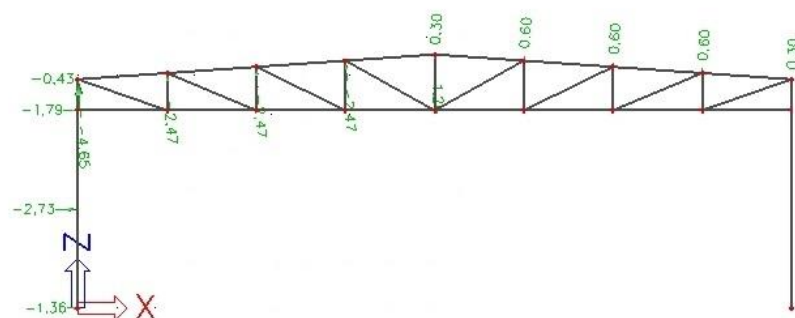
$W_1 = -4,03 \cdot 2,31 = -9,31 \text{ kN}$ F zona

$W_2 = -1,07 \cdot 2,31 = -2,47 \text{ kN}$ H zona

$W_3 = +0,26 \cdot 2,31 = +0,60 \text{ kN}$ I zona

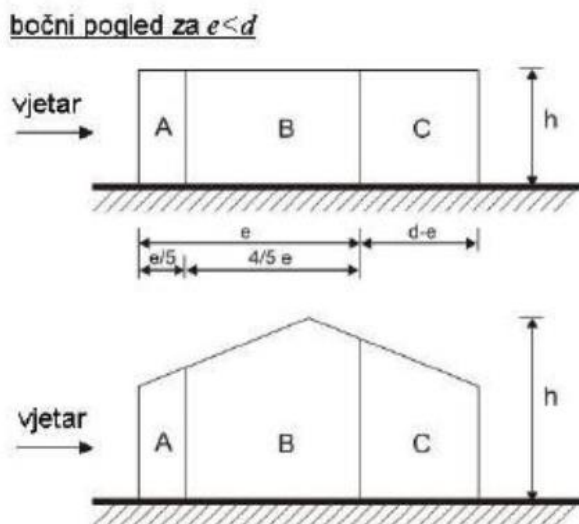
$W_4 = -1,07 \cdot 2,55 = -2,73 \text{ kN}$ D zona

$W_5 = 0 \cdot 2,55 = 0 \text{ kN}$ E zona



Slika 2.2.2.2.3. Opterećenje vjetrom $W1$ u čvorovima rešetke

2.2.2.3. Djelovanje vjetra na zabat hale



2.2.2.3. Područje pritiska vjetra na zabat

Koeficijenti vanjskog pritiska za vertikalne zidove $h/d < 5$

PODRUČJE	A	B	C
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5

Tablica 2.2.2.3.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

– unutrašnji koeficijenti pritiska $c_{pi} = +0,2$ i $-0,3$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

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

$$q_p |z_e| = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PODRUČJE	A	B	C
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,63	-0,42	-0,26

Tablica 2.2.2.3.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

$$Q_1 = A \cdot 2,3 = -0,63 \cdot 2,3 = -1,45 \text{ kN/m'}$$

$$Q_2 = A \cdot 0,316 + B \cdot 4,284 = -0,63 \cdot 2,3 = -2,0 \text{ kN/m'}$$

$$Q_3 = B \cdot 4,6 = -0,63 \cdot 2,3 = -1,93 \text{ kN/m'}$$

$$Q_4 = B \cdot 1,58 + C \cdot 3,02 = -0,63 \cdot 2,3 = -1,45 \text{ kN/m'}$$

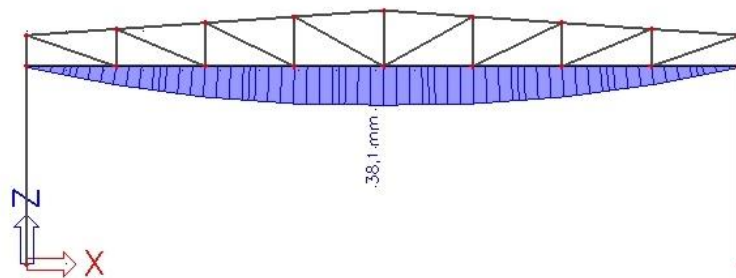
$$Q_5 = C \cdot 2,3 = -0,26 \cdot 2,3 = -0,60 \text{ kN/m'}$$

Napomena: Sile Q_1 - Q_6 dobivene su kao jednoliko raspodijeljeno opterećenje po zabatnim zidovima.
Reakcije u ležajevim prenose se na krovni spreg.

3. KONTROLA PROGIBA (GSU)

3.1. REŠETKA

Najveći progib rešetke dobivamo za kombinaciju 1,0G+1,0S



3.1.1. Vertikalni progib rešetke

Dopušteni progib:

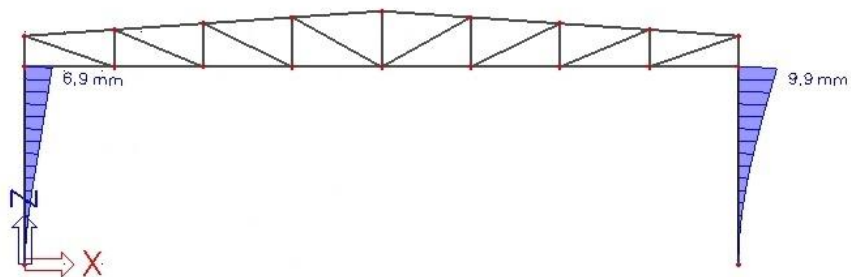
$$\frac{L}{250} = \frac{1840}{250} = 73,6 \text{ mm}$$

$$\frac{38,1}{73,6} \cdot 100 = 52\%$$

Najveći progib rešetke zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti od 52%.

3.2. STUP

Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju 1,0G+1,0W2



3.2.1. Horizontalni progib stupa

Dopušteni progib:

$$\frac{H}{250} = \frac{5100}{250} = 20,4 \text{ mm}$$

$$\frac{9,9}{20,4} \cdot 100 = 49\%$$

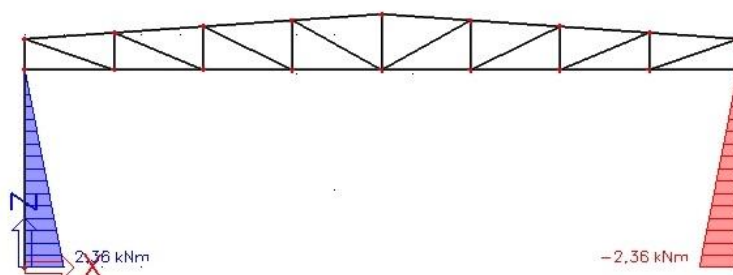
Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti od 49%.

4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

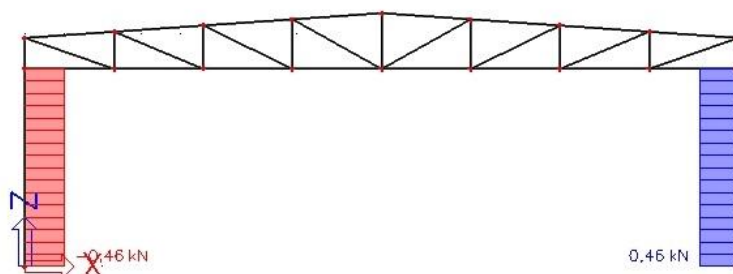
4.1.1. Kombinacija 1,35G+1,5S

Momenti savijanja (kNm)



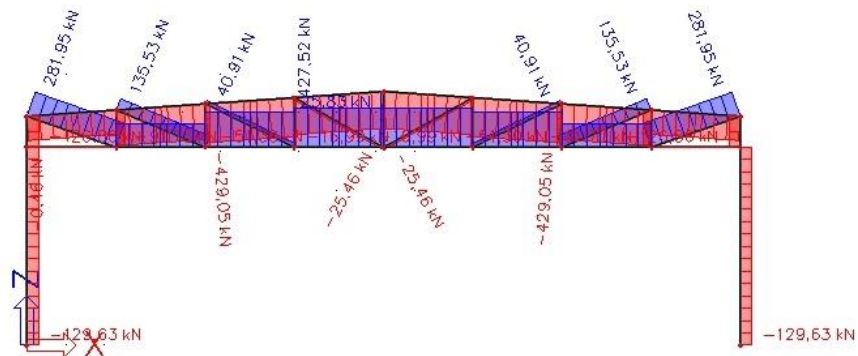
4.1.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1

Poprečne sile (kN)



4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1

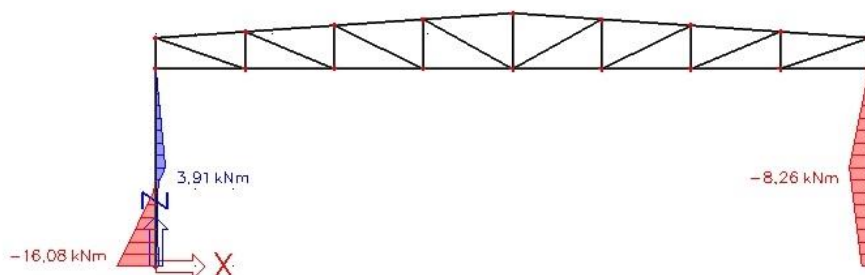
Uzdužne sile (kN)



4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1

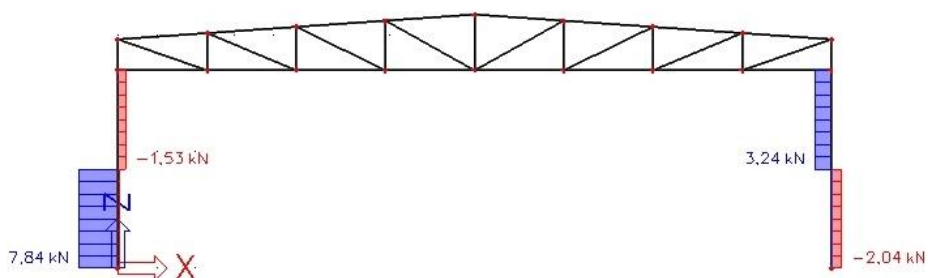
4.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1

Momenti savijanja (kNm)



4.1.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 2

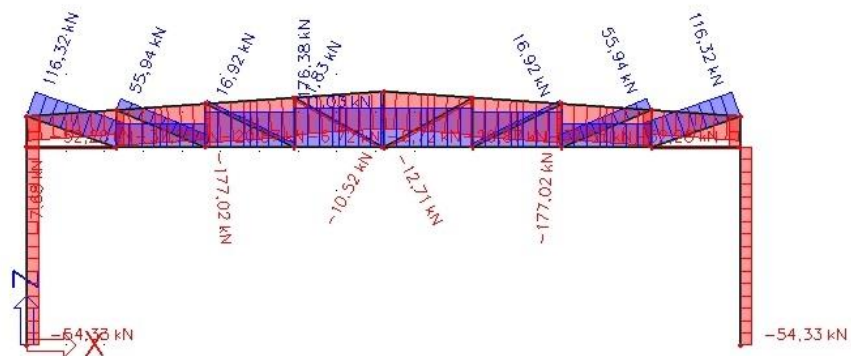
Poprečne sile (kN)



4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2

Uzdužne sile (kN)

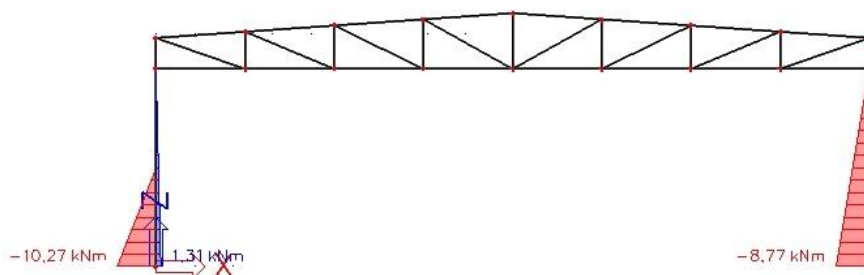
4



4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 2

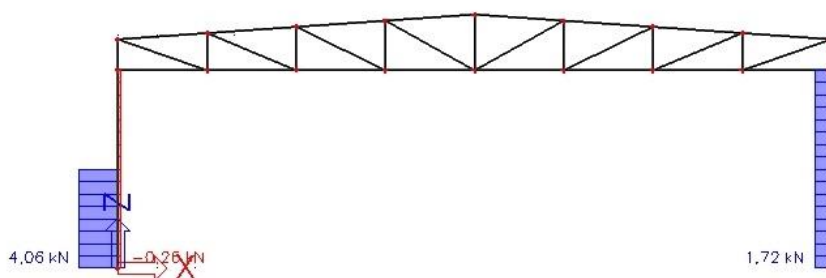
4.1.3. Kombinacija 1,35G+1,5W2

Moment savijanja (kNm)



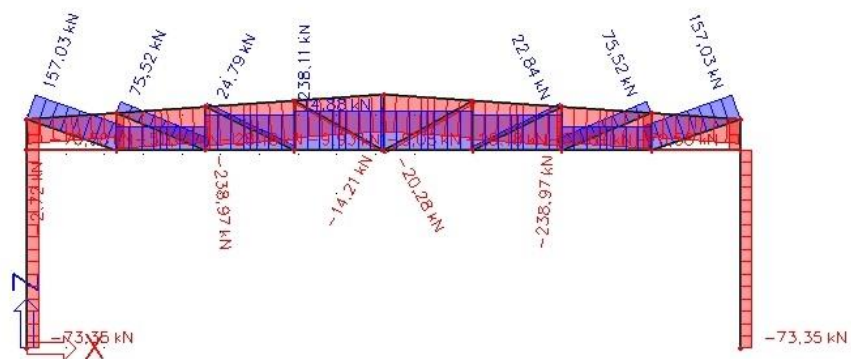
4.1.3.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 3

Poprečne sile (kN)



4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 3

Uzdužne sile (kN)



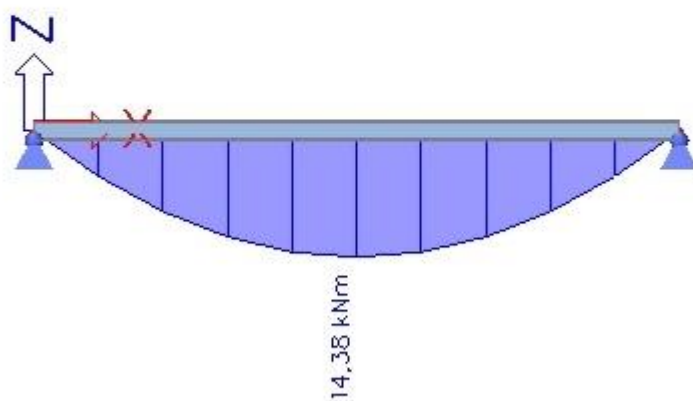
4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 3

4.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

4.2.1. Sekundarni krovni nosači

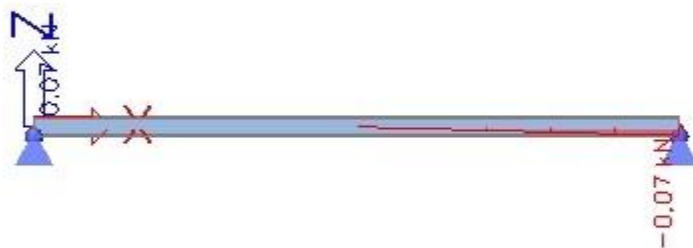
4.2.1.1. Kombinacija 1,0G+1,5S

Momenti savijanja M_y (kNm)



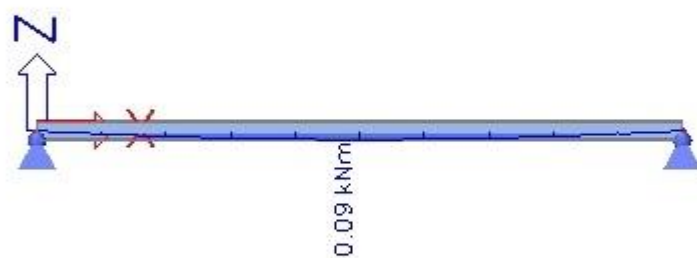
4.2.1.1.1. Momentni dijagram opterećenja u y smjeru kombinacije 1

Poprečne sile V_y (kN)



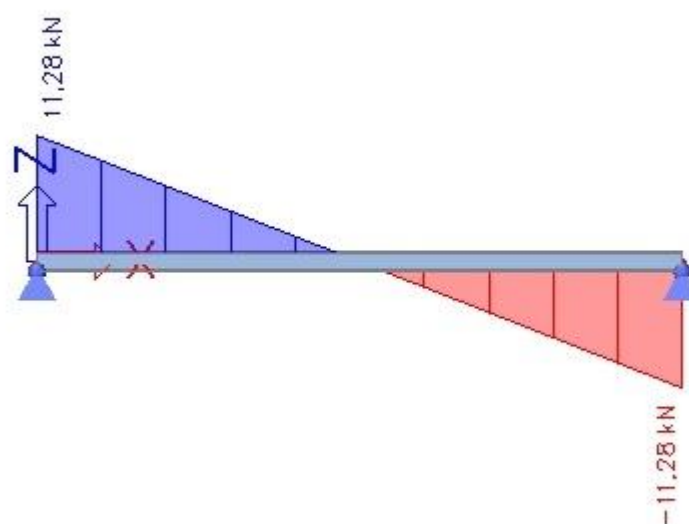
4.2.1.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja u y smjeru kombinacije 1

Momenti savijanja M_z (kNm)



4.2.1.1.3. Momentni dijagram opterećenja u z smjeru kombinacije 1

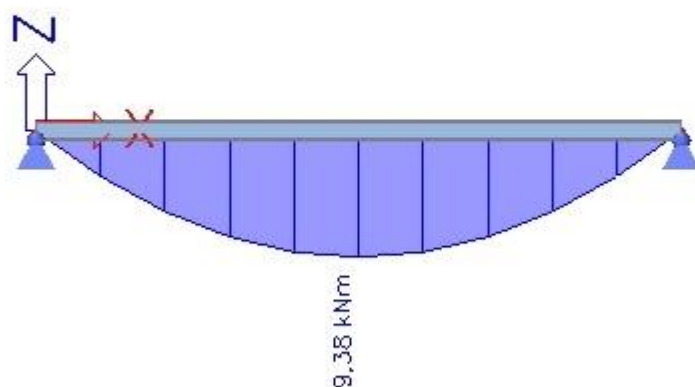
Poprečne sile V_z (kN)



4.2.1.1.4. Dijagram poprečnih sila opterećenja u z smjeru kombinacije 1

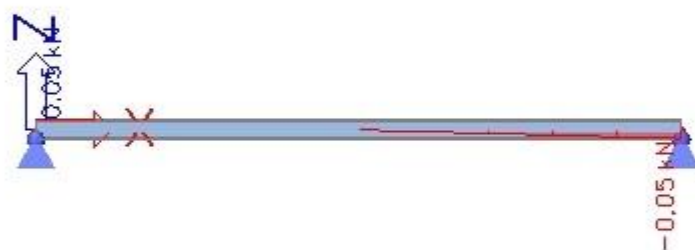
4.2.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1

Momenti savijanja M_y (kNm)



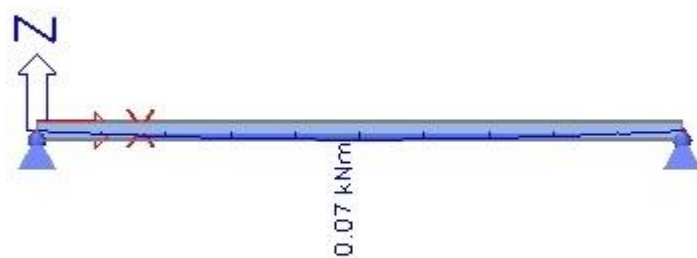
4.2.1.2.1. Momentni dijagram opterećenja u y smjeru kombinacije 2

Poprečne sile V_y (kN)



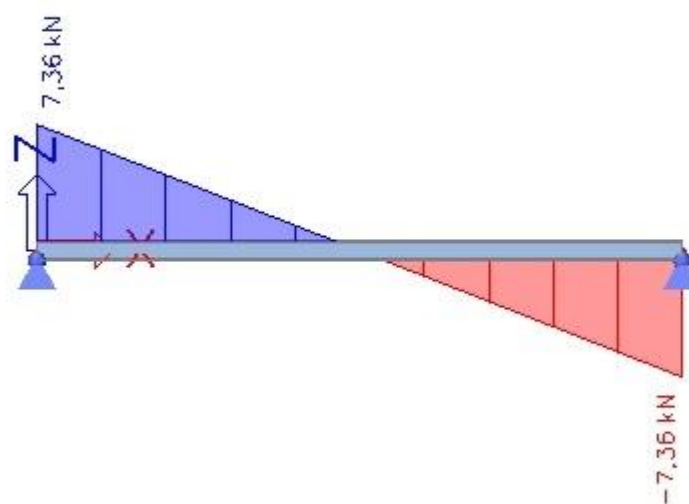
4.2.1.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja u y smjeru kombinacije 2

Momenti savijanja M_z (kNm)



4.2.1.2.3. Momentni dijagram opterećenja u z smjeru kombinacije 2

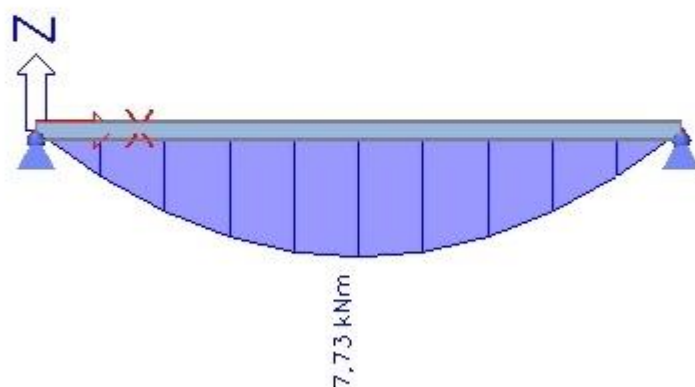
Poprečne sile V_z (kN)



4.2.1.2.4. Dijagram poprečnih sila opterećenja u z smjeru kombinacije 2

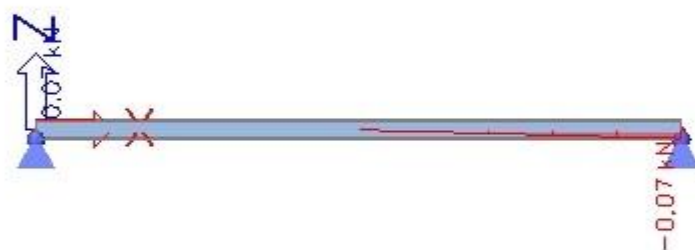
4.2.1.3. Kombinacija 1,0G+1,5W2

Momenti savijanja M_y (kNm)



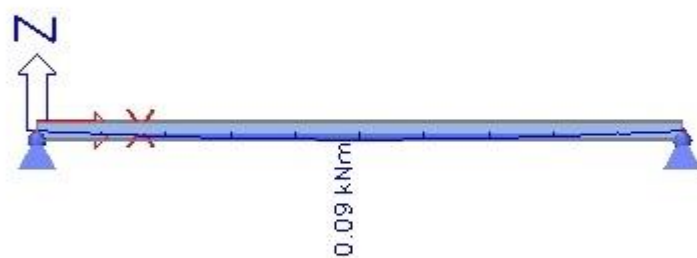
4.2.1.3.1. Momentni dijagram opterećenja u y smjeru kombinacije 3

Poprečne sile V_y (kN)



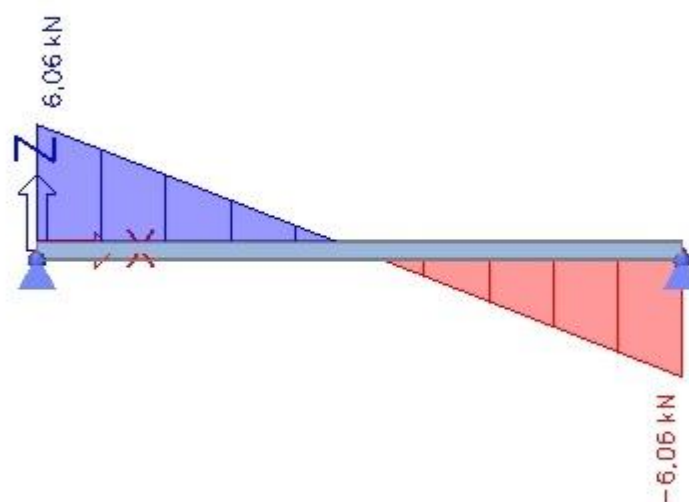
4.2.1.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja u y smjeru kombinacije 3

Momenti savijanja M_z (kNm)



4.2.1.3.3. Momentni dijagram opterećenja u z smjeru kombinacije 3

Poprečne sile V_z (kN)

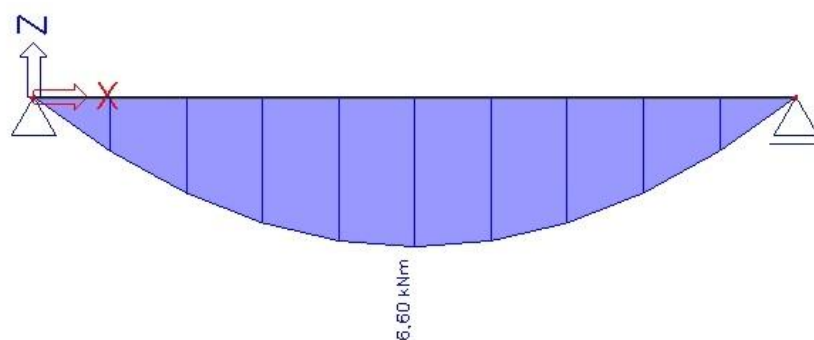


4.2.1.3.4. Dijagram poprečnih sila opterećenja u z smjeru kombinacije 3

4.2.2. Sekundarni bočni nosači

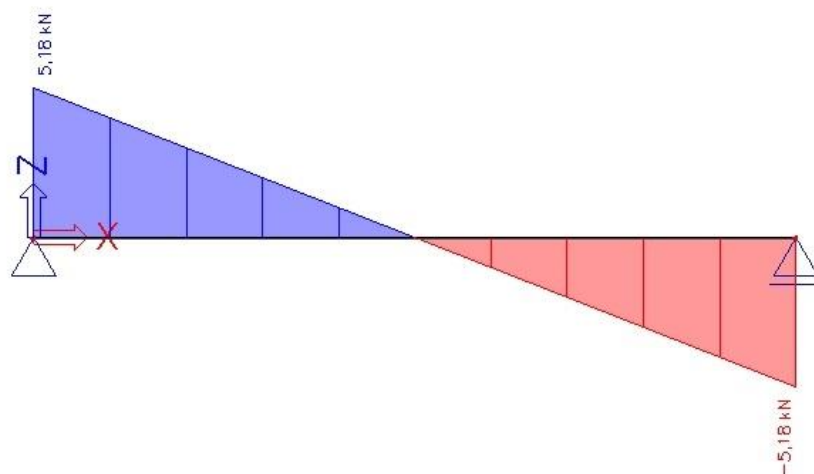
4.2.2.1. Kombinacija 1,0G_{el}+1,5W1

Momenti savijanja (kNm)



4.2.2.1.1. *Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1*

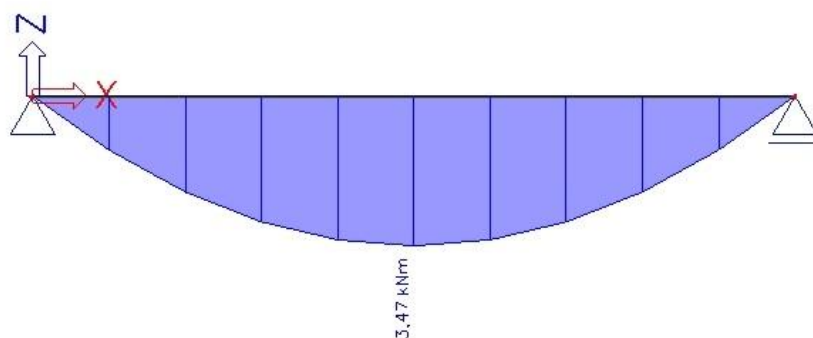
Poprečne sile (kN)



4.2.2.1.2. *Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1*

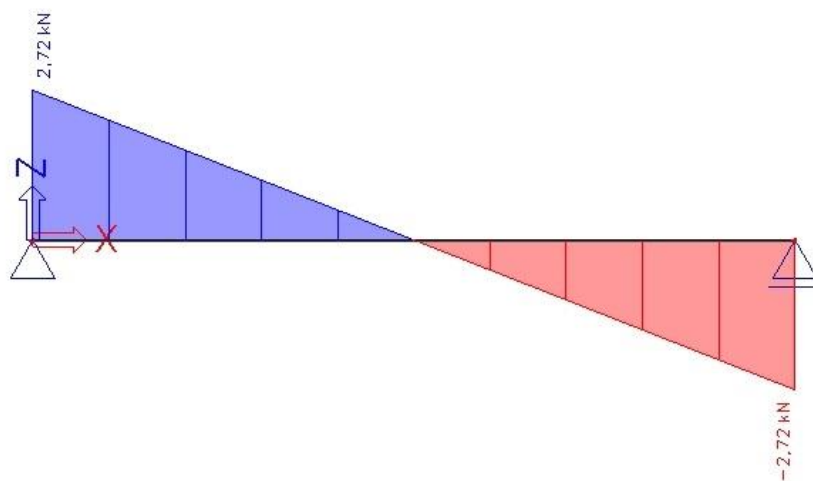
4.2.2.2. Kombinacija 1,35G_{el}+1,5W₂

Momenti savijanja (kNm)



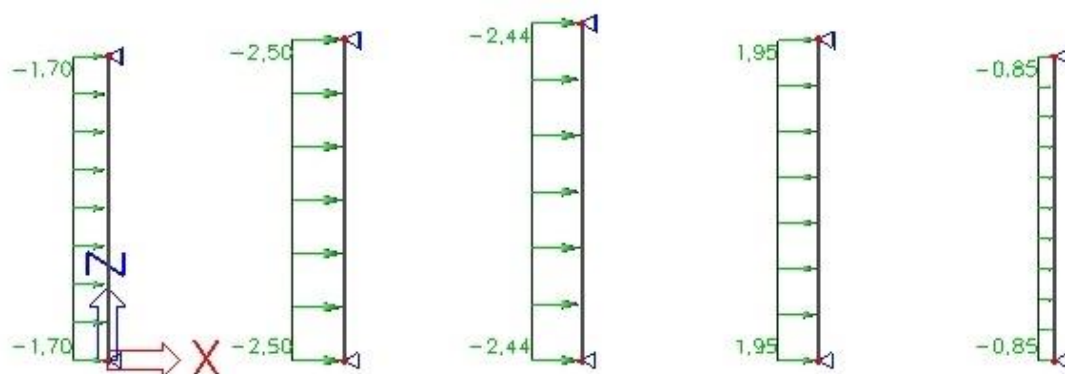
4.2.2.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 2

Poprečne sile (kN)

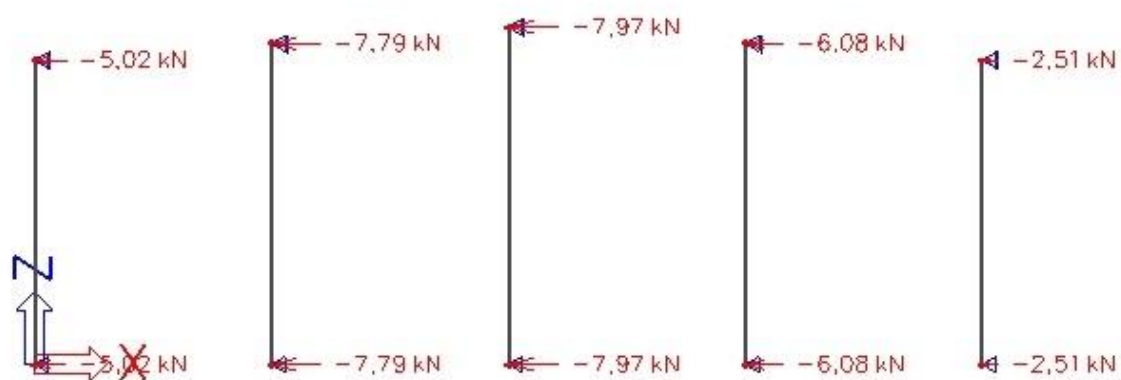


4.2.2.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2

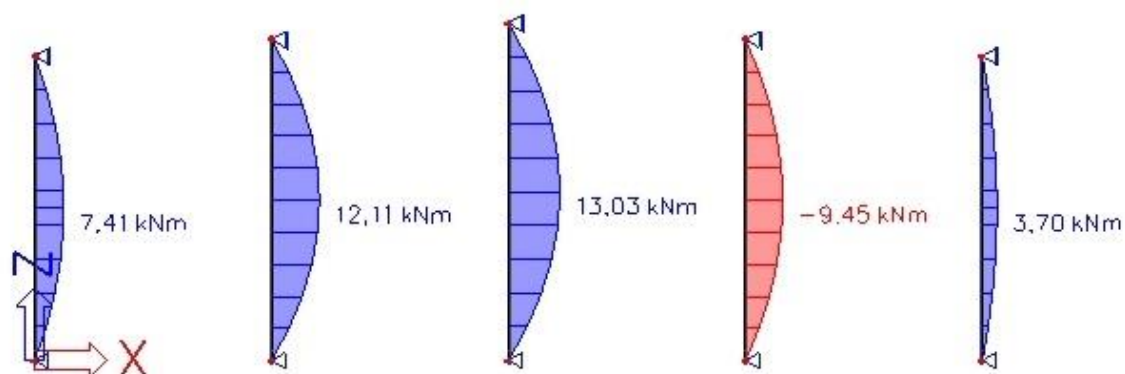
4.2.3. Zabatni stupovi



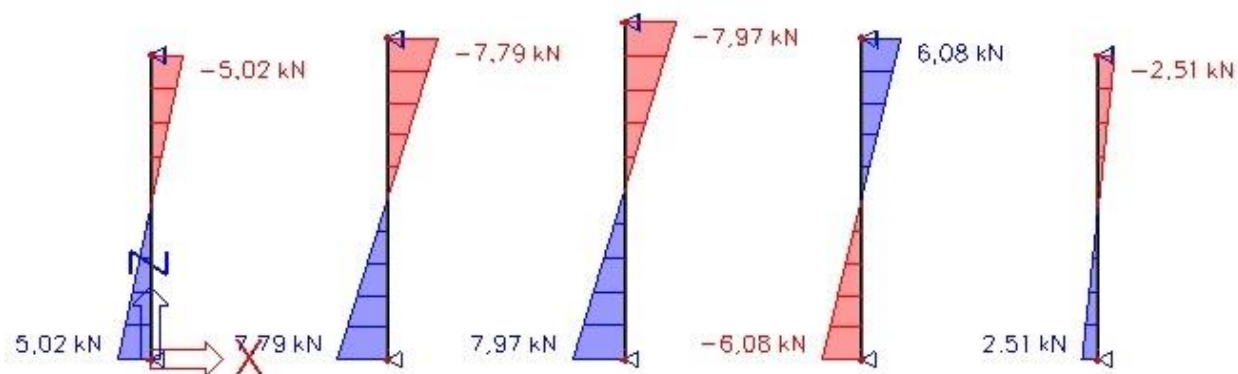
4.2.3.1. Raspored zabatnih stupova i opterećenje



4.2.3.2. Reakcije zabatnih stupova



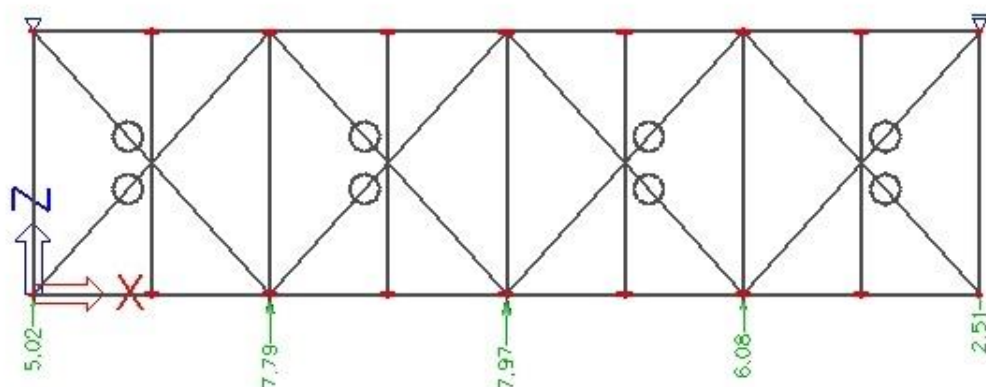
4.2.3.3. Momentni dijagram zabatnih stupova



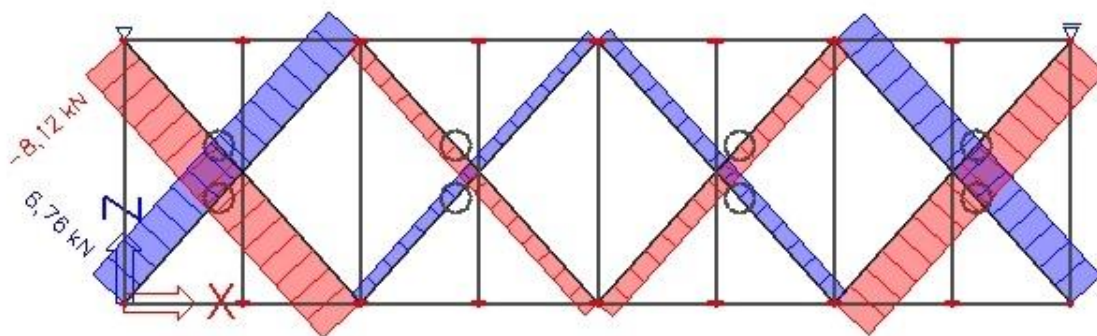
4.2.3.3. Dijagram uzdužnih sila zabatnih stupova

4.2.4. Krovni spreg

Sile koje djeluju na krovne spregove su prenešene reakcije sa zabatnih stupova.



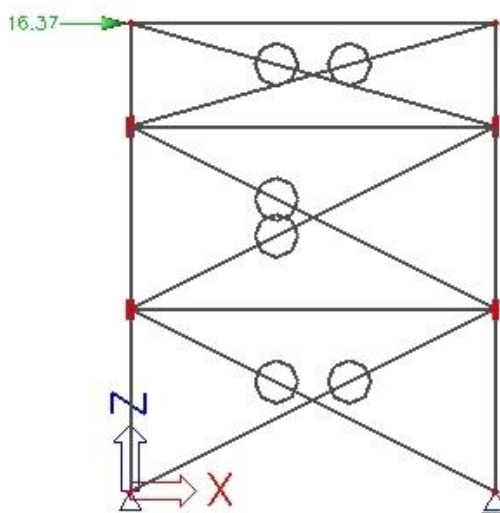
4.2.4.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje



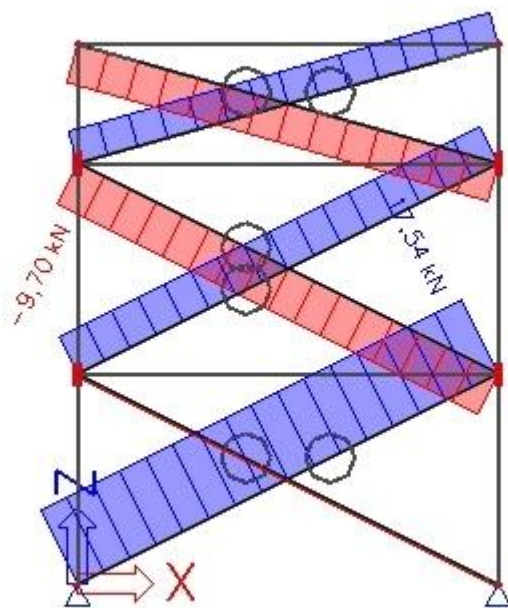
4.2.4.2. Dijagram uzdužnih sila krovnih spregova

4.2.5. Bočni spreg

Sile koje djeluju na bočne spregove su prenešene reakcije od djelovanja nakrovne spregove.



4.2.5.1. Raspored bočnih spregova i opterećenje



4.2.5.2. Dijagram uzdužnih sila u bočnim spregovima

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. Stup

5.1.1.1. Opterećenja kombinacije 1,0G+1,5W1

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=171$ mm

Širina pojsnice: $b=180$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=10$ mm

Debljina hrpta: $t_w=6$ mm

Radijus zakrivljenosti: $r=15$ mm

Povšina: $A=45,3$ cm²

$A_y=32,772$ cm²

$A_z=10,992$ cm²

Moment tromosti: $I_y=2510$ cm⁴

$I_z=925$ cm⁴

Moment otpora: $W_{pl,y}=325$ cm³

$W_{pl,z}=156,67$ cm³

Konstanta krivljenja: $I_w=60211$ cm⁶

Torzijska konstanta: $I_t=14,8$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

$G=8770$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{Ed}=16,08$ kNm

– poprečna sila $V_{Ed}=7,84$ kN

– uzdužna sila $N_{Ed}=54,33$ kN (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 171 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 121 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20,17$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{54,33}{2 \cdot 0,6 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,93$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{121} \cdot \left(\frac{121}{2} + 1,93 \right) = 0,66$$

$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,66 - 1} = 52,31$$

Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 10 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

$$t_f = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{72}{10} = 7,2$$

$$\frac{c}{t_f} = 7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 1064,55 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 1064,55 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 54,33 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 16,08 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$
$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25,17$$
$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{V,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$
$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 15,1 \cdot 0,6 = 10,87 \text{ cm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = \frac{12,9 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$
$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 7,84 \text{ kN}$$

Interakcija M-V-N

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

$$V_{z,Rd} = 7,84 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

Niska razina uzdužne sile:

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

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

$$(1) N_{Ed} = 54,33 \leq 0,25 \cdot 1064,55 = 266,14 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 54,33 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 106,46 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Profil HEA 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog savijanju i uzdužnoj sili

Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}$$

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 \leq 1,2 ; t_f = 8 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

– za os y-y: krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,34$

– za os z-z: krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha = 0,49$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 1020 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{1020^2} = 500,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{500,03}} = 1,46$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,78 + \sqrt{1,78^2 - 1,46^2}} = 0,36 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{1020^2} = 2948,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{2948,36}} = 0,60$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,60 - 0,2) + 0,60^2] = 0,78$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,78 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,36$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,36 \cdot 45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 380,81 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 380,81 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 54,33 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 255 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{17,1}{2} = 8,55 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,77$$

$$C_2 = 0$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 255)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 255)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0 \cdot 8,55)^2} \right] - 0 \cdot 8,55$$

$$= 53636,76 \text{ kNcm} = 536,37 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 325 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{53636,76}} = 0,38 \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 16,08 \text{ kNm}$$

Otpornost elementa na interakciju M-N (jednoosno savijanje)

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

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

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

Interakcijski faktori za presjek klase 1 i 2:

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

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 0,60 \geq 0,4$$

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{3,91}{16,08} = 0,243$$

$$\psi = \frac{M_{h2}}{M_{h1}} = \frac{0}{16,08} = 0$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,2 + 0,8 \cdot 0,243 = 0,4$$

$$c_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,2 + 0,8 \cdot 0,243 = 0,4$$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left[1 + (1,46 - 0,2) \cdot \frac{54,33}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,47$$

$$k_{yy} = 0,47 > 0,4 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{54,33}{0,36 \cdot 1604,55/1,0} \right] = 0,45$$

$$k_{yy} = 0,45$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,6}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{54,33}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,97$$

$$k_{zy} = 0,97 > \left[1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{54,33}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,96$$

$$k_{zy} = 0,97$$

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

$$\frac{54,33}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} + 0,45 \cdot \frac{16,08}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,24 \leq 1,0$$

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

$$\frac{54,33}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} + 0,97 \cdot \frac{16,08}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,27 \leq 1,0$$

Odabrani profil HEA 180 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti $\eta = 27\%$.

5.1.1.2. Opterećenja kombinacije 1,35G+1,5S

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=171$ mm

Širina pojsnice: $b=180$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=10$ mm

Debljina hrpta: $t_w=6$ mm

Radijus zakrivljenosti: $r=15$ mm

Povšina: $A=45,3$ cm²

$$A_y=18,775 \text{ cm}^2$$

$$A_z=10,992 \text{ cm}^2$$

Moment tromosti: $I_y=2510$ cm⁴

$$I_z=925 \text{ cm}^4$$

Moment otpora: $W_{pl,y}=325$ cm³

$$W_{pl,z}=156,67 \text{ cm}^3$$

Konstanta krivljenja: $I_w=60211$ cm⁶

Torzijska konstanta: $I_t=14,8$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y=23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon=1,0$$

$$E=21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$G=8770 \text{ kN/cm}^2$$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{Ed}=2,36$ kNm

– poprečna sila $V_{Ed}=0,46$ kN

– uzdužna sila $N_{Ed}=129,63$ kN (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 171 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 121 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20,17$$

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{54,33}{2 \cdot 0,6 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,93$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{121} \cdot \left(\frac{121}{2} + 1,93 \right) = 0,66$$
$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,66 - 1} = 52,31$$

Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$
$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 10 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$
$$t_f = 5 \text{ mm}$$
$$\frac{c}{t_f} = \frac{72}{10} = 7,2$$
$$\frac{c}{t_f} = 7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$
$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 1064,55 \text{ kN}$$
$$N_{pl,Rd} = 1064,55 \text{ kN} \geq N_{sd} = 129,63 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{119,58 \cdot 23,5}{1,0} = 16,23 \text{ kNm}$$
$$M_{pl,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2,36 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25,17$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 5,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12,9 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 0,46 \text{ kN}$$

Interakcija M-V-N

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

$$V_{z,Rd} = 0,46 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

Visoka razina uzdužne sile:

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

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

$$(1) N_{Ed} = 129,63 \leq 0,25 \cdot 1064,55 = 266,14 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 129,63 \geq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 69,09 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{129,63}{1064,55} = 0,12$$

$$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,11 \cdot (1 - n)$$

$$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = \frac{2,36}{16,23} = 0,15 \leq 1,11 \cdot (1 - n) = 1,11 \cdot (1 - 0,12) = 0,97$$

Profil HEA 120 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog savijanju i uzdužnoj sili

Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}$$

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{114}{120} = 0,95 \leq 1,2 ; t_f = 8 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

– za os y-y: krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,34$

– za os z-z: krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha = 0,49$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 1020 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{1020^2} = 500,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{500,03}} = 1,46$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,78 + \sqrt{1,78^2 - 1,46^2}} = 0,36 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{255^2} = 2948,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{2948,36}} = 0,60$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,60 - 0,2) + 0,60^2] = 0,78$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,17 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,36$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,36 \cdot 45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 380,81 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 380,81 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 129,63 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 255 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{17,1}{2} = 8,55 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,77$$

$$C_1 = 0$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 255)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 255)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0 \cdot 8,55)^2} \right] - 0 \cdot 8,55$$

$$= 53636,76 \text{ kNcm} = 536,37 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 325 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{53636,76}} = 0,38 \geq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 2,36 \text{ kNm}$$

Otpornost elementa na interakciju M-N (jednoosno savijanje)

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

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

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

Interakcijski faktori za presjek klase 1 i 2:

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

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 0,60 \geq 0,4$$

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

$$\psi = \frac{M_{h2}}{M_{h1}} = \frac{0}{2,36} = 0$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (1,46 - 0,2) \cdot \frac{129,63}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,86$$

$$k_{yy} = 0,86 > 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{129,63}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,76$$

$$k_{yy} = 0,76$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,6}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{129,63}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,97$$

$$k_{zy} = 0,97 > \left[1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{129,63}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,96$$

$$k_{zy} = 0,97$$

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

$$\frac{129,63}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} + 0,76 \cdot \frac{2,36}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,36 \leq 1,0$$

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

$$\frac{129,63}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} + 0,97 \cdot \frac{2,36}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,19 \leq 1,0$$

Odabrani profil HEA 180 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti $\eta = 36\%$.

5.1.2. Gornji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 160×160×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=160$ mm

Širina pojasnice: $b=160$ mm

Debljina pojasnice: $t=5$ mm

Povšina: $A=30,36$ cm²

Moment tromosti: $I_y=1202,4$ cm⁴

$I_z=1202,4$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

$G=8077$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila $N_{Ed}=429,05$ kN (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 160 - 3 \cdot 5 = 145 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{145}{5} = 29$$

$$\frac{c}{t} = 29 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{30,36 \cdot 23,5}{1,0} = 713,46 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 713,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 429,05 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{160} = 1 \leq 1,2; t_f = 5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

– za os y-y: krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,34$

– za os z-z: krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha = 0,49$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 230,56 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{230,56^2} = 4688,13 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 23,5}{4688,13}} = 0,39$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(0,39 - 0,2) + 0,39^2] = 0,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,39^2}} = 0,90 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 461,12 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{461,12^2} = 1172,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 23,5}{1172,03}} = 0,78$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,78 - 0,2) + 0,78^2] = 0,95$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,67 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,67$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,67 \cdot 30,36 \cdot 23,5}{1,0} = 481,29 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 481,29 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 429,05 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{429,05}{481,29} \cdot 100 = 89\%$$

5.1.2. Donji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 160×160×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=160$ mm

Širina pojasnice: $b=160$ mm

Debljina pojasnice: $t=5$ mm

Povšina: $A=30,36$ cm²

Moment tromosti: $I_y=1202,4$ cm⁴

$I_z=1202,4$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila $N_{Ed}=427,52$ kN (vlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice.

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 160 - 3 \cdot 5 = 145 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{145}{5} = 29$$

$$\frac{c}{t} = 29 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{30,36 \cdot 23,5}{1,0} = 713,46 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 713,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 427,52 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{427,52}{713,46} \cdot 100 = 60\%$$

5.1.3. Ispune

5.1.3.1. Vješaljke

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 50×50×3

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=50$ mm

Širina pojsnice: $b=50$ mm

Debljina pojasnice: $t=3$ mm

Povšina: $A=5,41$ cm²

Moment tromosti: $I_y=19,47$ cm⁴

$I_z=19,47$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

$G=8077$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila $N_{Ed}=25,83$ kN (vlak)

$N_{Ed}=91,73$ kN (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Važan nam je odnos ravnog dijela pojasnice c i debljine pojasnice t_f .

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 50 - 3 \cdot 3 = 41 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{41}{3} = 13,67$$

$$\frac{c}{t} = 13,67 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5,41 \cdot 23,5}{1,0} = 127,14 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 127,14 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 25,83 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5,41 \cdot 23,5}{1,0} = 127,14 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 127,14 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 91,73 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 19,47}{96} = 437,87 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{5,41 \cdot 23,5}{437,87}} = 0,54$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije α :

- za hladno oblikovani šuplji pravokutni profil, krivulja izvijanja c
- za krivulju izvijanja b, faktor imperfekcije $\alpha=0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,54 - 0,2) + 0,54^2] = 0,73$$

$$\chi = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,54^2}} = 0,82 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,82 \cdot 5,41 \cdot 23,5}{1,0} = 104,38 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 110,17 \geq N_{Ed} = 91,73 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{91,73}{104,38} \cdot 100 = 88\%$$

5.1.3.1. Dijagonale

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 70×70×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=70$ mm

Širina pojsnice: $b=70$ mm

Debljina pojasnice: $t=5$ mm

Povšina: $A=12,36$ cm²

Moment tromosti: $I_y=84,63$ cm⁴

$I_z=84,63$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

$G=8077$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila $N_{Ed}=281,95$ kN (vlak)

$N_{Ed}=25,46$ kN (vlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 70 - 3 \cdot 5 = 55 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{55}{5} = 11$$

$$\frac{c}{t} = 11 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{12,36 \cdot 23,5}{1,0} = 290,46 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 290,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 281,95 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{281,95}{290,46} \cdot 100 = 97\%$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{12,36 \cdot 23,5}{1,0} = 290,46 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 290,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 281,95 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 84,63}{243,52} = 295,78 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{12,36 \cdot 23,5}{295,78}} = 0,99$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije α :

- za hladno oblikovani šuplji pravokutni profil, krivulja izvijanja c
- za krivulju izvijanja b, faktor imperfekcije $\alpha=0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,99 - 0,2) + 0,99^2] = 1,18$$

$$\chi = \frac{1}{1,18 + \sqrt{1,18^2 - 0,99^2}} = 0,55 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,55 \cdot 12,36 \cdot 23,5}{1,0} = 158,36 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 158,36 \geq N_{Ed} = 25,46 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

5.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.2.1. Sekundarni krovni nosač

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 160

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=152 \text{ mm}$

Širina pojsnice: $b=160 \text{ mm}$

Debljina pojasnice: $t_f=9 \text{ mm}$

Debljina hrpta: $t_w=6 \text{ mm}$

Radijus zakrivljenosti: $r=15 \text{ mm}$

Povšina: $A=38,8 \text{ cm}^2$

$$A_y=32,772 \text{ cm}^2$$

$$A_z=9,839 \text{ cm}^2$$

Moment tromosti: $I_y=1670 \text{ cm}^4$

$$I_z=616 \text{ cm}^4$$

Moment otpora: $W_{pl,y}=245 \text{ cm}^3$

$$W_{pl,z}=117,5 \text{ cm}^3$$

Konstanta krivljenja: $I_w=31410 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t=12,2 \text{ cm}^4$

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y=23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon=1,0$$

$$E=21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$G=8770 \text{ kN/cm}^2$$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{y,Ed}=14,38 \text{ kNm}$

– poprečna sila $V_{y,Ed}=0,07 \text{ kN}$

– moment savijanja $M_{z,Ed}=0,09 \text{ kNm}$

– poprečna sila $V_{z,Ed}=11,28 \text{ kN}$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 152 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 15 = 104 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 17,33 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72$$

Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{160 - 6 - 2 \cdot 15}{2} = 62 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{62}{9} = 6,89$$

$$\frac{c}{t_f} = 6,89 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{245 \cdot 23,5}{1,0} = 57,58 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 57,58 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 14,38 \text{ kNm}$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{117,5 \cdot 23,5}{1,0} = 27,61 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = 27,61 \text{ kNm} \geq M_{z,Ed} = 0,09 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25,17$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi y-y:

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

$$A_{V,y} = A - \sum h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,y} = 38,8 - (13,4 - 2 \cdot 0,6) \cdot 0,4 = 8,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{8,88 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{y,Ed} = 0,07 \text{ kN}$$

U smjeru osi z-z:

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 16 \cdot 0,9 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 0,9 = 13,24 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 13,4 \cdot 0,6 = 9,65 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13,24 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 179,64 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,64 \text{ kN} \geq V_{z,Ed} = 0,07 \text{ kN}$$

Interakcija M_y - M_z (dvoosno savijanje)

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

U smjeru osi y-y:

$$V_{y,Ed} = 0,07 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

U smjeru osi z-z:

$$V_{z,Ed} = 11,28 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 179,64 = 89,82 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

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

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = kN$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = kN$$

$$\left(\frac{14,38}{57,58}\right)^2 + \left(\frac{0,07}{27,61}\right)^1 = 0,06 \leq 1,0$$

Profil HEA 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog savijanju

Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 510 \text{ cm}$$

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

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,127$$

$$C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 510)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{31410}{12,2} + \frac{(1,0 \cdot 510)^2 \cdot 8077 \cdot 12,2}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0,454 \cdot 7,6)^2} \right] - 0,454 \cdot 7,6 = 8978,93 \text{ kNcm} = 89,79 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 245 \text{ cm}^3$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{245 \cdot 23,5}{8978,93}} = 0,80 \geq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 245 \cdot 23,5}{1,0} = 57,58 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 57,58 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 14,38 \text{ kNm}$$

Otpornost elementa na interakciju M_y - M_z (dvoosno savijanje)

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

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

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

Interakcijski faktori za presjek klase 1 i 2:

$$L_{cr,y} = 510 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1670}{510^2} = 1330,75 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{38,8 \cdot 23,5}{1330,75}} = 0,83$$

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

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

$$L_{cr,z} = 510 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 616}{510^2} = 490,86 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{38,8 \cdot 23,5}{490,86}} = 1,36$$

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 1,36 \geq 0,4$$

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

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{14,38} = 0$$

$$\psi = \frac{M_{h2}}{M_{h1}} = \frac{0}{14,38} = 0$$

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

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot [1 + (0,83 - 0,2) \cdot 0] = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95 > 0,95 \cdot [1 + 0,8 \cdot 0] = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,36}{(0,95 - 0,25)} \cdot 0 \right] = 1,0$$

$$k_{zy} = 1,0 > \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot 0 \right] = 1,0$$

$$k_{zy} = 1,0$$

$$k_{zz} = 0,95 [1 + (2 \cdot 1,36 - 0,6) \cdot 0] = 0,95$$

$$k_{zz} = 0,95 > [1 + 1,4 \cdot 0] = 1,0$$

$$k_{zz} = 1,0$$

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

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

$$0 + 0,95 \cdot \frac{14,38}{1,0 \cdot 57,58/1,0} + 0,6 \cdot \frac{0,09}{1,0 \cdot 27,61/1,0} = 0,24 \leq 1,0$$

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

$$0 + 1,0 \cdot \frac{14,38}{1,0 \cdot 57,58/1,0} + 1,0 \cdot \frac{0,09}{1,0 \cdot 27,61/1,0} = 0,25 \leq 1,0$$

Odabrani profil HEA 160 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti $\eta = 25\%$.

5.2.2. Sekundarni bočni nosač

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 120

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=114$ mm

Širina pojsnice: $b=120$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=8$ mm

Debljina hrpta: $t_w=5$ mm

Radijus zakrivljenosti: $r=12$ mm

Povšina: $A=25,3$ cm²

$A_y=18,775$ cm²

$A_z=6,1698$ cm²

Moment tromosti: $I_y=606$ cm⁴

$I_z=231$ cm⁴

Moment otpora: $W_{pl,y}=119,58$ cm³

$W_{pl,z}=58,70$ cm³

Konstanta krivljenja: $I_w=6471,9$ cm⁶

Torzijska konstanta: $I_t=5,99$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

$G=8770$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{Ed}=15,39$ kNm

– poprečna sila $V_{Ed}=12,07$ kN

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 114 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12 = 74 \text{ mm}$$

$$t_w = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{74}{5} = 14,8$$

$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72$$

Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{120 - 5 - 2 \cdot 12}{2} = 45,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{45,5}{8} = 5,69$$

$$\frac{c}{t_f} = 5,69 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{119,58 \cdot 23,5}{1,0} = 28,10 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 28,10 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 6,60 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{114 - 2 \cdot 8}{5} = 19,6$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 19,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{V,z} = 25,3 - 2 \cdot 12 \cdot 0,8 + (0,5 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,8 = 8,42 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 5,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{8,49 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 114,24 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 114,24 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 5,18 \text{ kN}$$

Interakcija M-V

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

$$V_{z,Rd} = 5,18 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 114,24 = 57,12 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

Niska razina uzdužne sile:

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

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

$$(1) N_{Ed} = 54,33 \leq 0,25 \cdot 1064,55 = 266,14 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 54,33 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 106,46 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Profil HEA 120 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog savijanju

Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 510 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{11,4}{2} = 5,7 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,127$$

$$C_1 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 231}{(1,0 \cdot 510)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{6471,9}{5,99} + \frac{(1,0 \cdot 510)^2 \cdot 8077 \cdot 5,99}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 231} + (0,454 \cdot 5,7)^2} \right] - 0,454 \cdot 5,7 = 12927,81 \text{ kNcm} = 129,28 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 119,58 \text{ cm}^3$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{119,58 \cdot 23,5}{12927,81}} = 0,89 \leq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 15,39 \text{ kNm}$$

Odabrani profil HEA 120 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{15,39}{76,38} \cdot 100 = 20\%$$

5.2.3. Zabatni stupovi

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka: $h=171$ mm

Širina pojsnice: $b=180$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=10$ mm

Debljina hrpta: $t_w=6$ mm

Radijus zakrivljenosti: $r=15$ mm

Povšina: $A=45,3$ cm²

$A_y=32,772$ cm²

$A_z=10,992$ cm²

Moment tromosti: $I_y=2510$ cm⁴

$I_z=925$ cm⁴

Moment otpora: $W_{pl,y}=325$ cm³

$W_{pl,z}=156,67$ cm³

Konstanta krivljenja: $I_w=60211$ cm⁶

Torzijska konstanta: $I_t=14,8$ cm⁴

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$ kN/cm²

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$ kN/cm²

$G=8770$ kN/cm²

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{Ed}=13,03$ kNm

– poprečna sila $V_{Ed}=7,97$ kN

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 171 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 121 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20,17$$

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{54,33}{2 \cdot 0,6 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,93$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{121} \cdot \left(\frac{121}{2} + 1,93 \right) = 0,66$$

$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,66 - 1} = 52,31$$

Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 10 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

$$t_f = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{72}{10} = 7,2$$

$$\frac{c}{t_f} = 7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 13,03 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25,17$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 15,1 \cdot 0,6 = 10,87 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12,9 \cdot (23,5/\sqrt{3})}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 7,97 \text{ kN}$$

Interakcija M-V

Presjek u L/4

Djelovanje:

- moment savijanja $M_{Ed}=13,03 \text{ kNm}$
- poprečna sila $V_{Ed}=3,98 \text{ kN}$

$$V_{z,Rd} = 3,98 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{9,77}{76,38} = 0,13 < 1,0$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Profil HEA 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog savijanju

Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 654 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{17,1}{2} = 8,55 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,127$$

$$C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 654)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 654)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0,454 \cdot 8,55)^2} \right] - 0,454 \cdot 8,55 = 9404,18 \text{ kNcm} = 94,04 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

$$\text{Za klasu 1 i 2 vrijedi: } W_y = W_{pl,y} = 325 \text{ cm}^3$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{9404,18}} = 0,90 \leq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenata savijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 \leq 1,2$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 13,03 \text{ kNm}$$

Odabrani profil HEA 180 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{13,03}{76,38} \cdot 100 = 17\%$$

5.2.4. Krovni spreg

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila $N_{Ed} = 6,76 \text{ kN}$ (vlak)

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{6,76 \cdot 1,0}{23,5} = 0,29 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,29 \cdot 4}{\pi}} = 0,61 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 10 \text{ mm}$$

Napomena: za krvone spregove odabrani profil je Ø10 da bi imali iste profile za krovne i bočne spregove, iako bi kod krovniha spregova zadovoljio i manji profil.

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1^2 \cdot \pi}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,79 \cdot 23,5}{1,0} = 18,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 6,76 \text{ kN}$$

Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø10, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{6,76}{18,46} \cdot 100 = 37\%$$

5.2.5. Bočni spreg

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235
 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila $N_{Ed} = 17,54 \text{ kN}$ (vlak)

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{17,54 \cdot 1,0}{23,5} = 0,75 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 4}{\pi}} = 0,97 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 10 \text{ mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1^2 \cdot \pi}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,79 \cdot 23,5}{1,0} = 18,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 17,54 \text{ kN}$$

Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø10, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{17,54}{18,46} \cdot 100 = 95\%$$

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP–TEMELJ

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Visina presjeka: $h=171$ mm

Širina pojsnice: $b=180$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=10$ mm

Debljina hrpta: $t_w=6$ mm

Radijus zakrivljenosti: $r=15$ mm

OSNOVNI MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

Vijci k.v. 5.6

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{Ed}=16,08$ kNm

– poprečna sila $V_{Ed}=7,84$ kN

– uzdužna sila $N_{Ed}=54,33$ kN (tlak)

Raspodjela sila po presjeku nosača

Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{M_{Ed}}{(h - t_f)} = \frac{16,08}{(0,171 - 0,01)} = 99,88 \text{ kN}$$

$$N_p^N = -\frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{b \cdot t_f}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{18 \cdot 1}{45,3} \cdot 54,33 = -21,59 \text{ kN}$$

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 99,88 - 21,59 = 78,29 \text{ kN} = F_{w,Sd}$$

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 180 = 360 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 \approx 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (171 - 2 \cdot 10) = 302 \text{ mm}$$

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

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

Za pretpostavljeni var $a=4,0$ mm

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{360}{100} = 299,23 \text{ kN} > F_{w,Sd} 76,80 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{302}{100} = 251,02 \text{ kN} > V_{Ed} = 7,84 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijak M16; k.v. 5.6

Uz pretpostavku vijaka M16 udaljenost c_{min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

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

Usvojeni $c=40$ mm

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{16,08}{54,33} = 0,296 \text{ m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = c + h + \frac{t_f}{2} = 40 + 171 - \frac{10}{2} = 206 \text{ mm} = 0,206 \text{ m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 296 - \frac{171}{2} + \frac{10}{2} = 215,5 \text{ mm} = 0,216 \text{ m}$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,Sd} = \frac{x_2}{x_1} \cdot N_{Ed} = \frac{0,216}{0,206} \cdot 54,33 = 56,97 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{70,7}{1,25} = 56,56 \text{ kN} > \frac{F_{t,Sd}}{2} = \frac{56,97}{2} = 28,49 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{47,1}{1,25} = 37,68 \text{ kN} > F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{7,84}{4} = 1,96 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne sile i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$
$$\frac{56,97}{1,4 \cdot 56,56} + \frac{1,97}{37,68} = 0,77 \leq 1,0$$

Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 171 + 2 \cdot (40 + 40) = 331 \text{ mm}$$

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

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

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 350×250mm.

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{7,84}{4} = 1,96 \text{ kN} = F_{b,sd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} = \frac{F_{b,sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$
$$t^{pl} > \frac{1,96 \cdot 1,25 \cdot 10}{106,7} = 0,23 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$S = \frac{400 - 171 + 10}{2} = 119,5 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$
$$R = F_{t,sd} + N_{Ed} = 56,97 + 54,33 = 111,3 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{111,3}{\frac{3 \cdot 0,12 \cdot 0,3}{2}} = 2061,11 \text{ kN/m}^2 = 0,21 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$M_{sd} = F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{2 \cdot S}{3} = \frac{2}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot S$$
$$= \frac{2}{3} \cdot 2061,11 \cdot 0,12 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,12}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 2061,11 \cdot 0,12 \cdot 0,3}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,12 = 3,94 \text{ kNm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 3,94 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}}$$
$$= 1,92 \text{ cm}$$
$$t_{pl} = 1,92 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 350×250×25mm.

6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP–REŠETKA

POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Visina presjeka: $h=171$ mm

Širina pojsnice: $b=180$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=10$ mm

Debljina hrpta: $t_w=6$ mm

Radijus zakrivljenosti: $r=15$ mm

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

Vijci k.v. 10.9

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– poprečna sila $V_{Ed}=1,53$ kN

– poprečna sila $N_{Ed}=7,68$ kN (tlak)

Kontrola varova

$$F_{w,Ed} = (V_{Ed}^2 + N_{Ed}^2)^{0,5} = (1,53^2 + 7,68^2)^{0,5} = 7,83 \text{ kN}$$

Dužina vara:

$$l = 2 \cdot b + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot b + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 320 \text{ mm}$$

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

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

Za pretpostavljeni var $a=4,0$ mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{320}{100} = 265,98 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 7,83 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijak M12; k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 4\sqrt{2} = 29,66 \text{ mm}$$

Usvojeni $c=30$ mm

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,24 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{1,53}{2} = 0,77 \text{ kN}$$

Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 = 171 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 202,31 \text{ mm}$$

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

$$b_{pl}^{min} = b + 2 \cdot (c + e_1) = 180 + 2 \cdot (30 + 30) = 300 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 300×300mm.

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{1,53}{2} = 0,77 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} = \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$
$$t^{pl} > \frac{0,77 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 0,12 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot c = 7,83 \cdot 0,030 = 0,23 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 23,49 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}}$$
$$= 0,47 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 1 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 300×280×10mm.

6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA DONJEG POJASA

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFRHS 160×160×5 (mm)
Visina presjeka: $h=160$ mm
Širina pojsnice: $b=160$ mm
Debljina pojasnice: $t=5$ mm

MATERIJAL:

Osnovni materijal S235
Vijci k.v. 10.9

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:
– uzdužna sila $N_{Ed}=390,81$ kN (vlak)

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:
 $a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 5 = 3,5$ mm

Za pretpostavljeni var $a=3,0$ mm

Otpornost vara:
 $L_w = 0 = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 2 \cdot 160 + 2 \cdot 160 = 640$ mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{640}{100} = 398,85 \text{ kN} > N_{Ed} = 390,81 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: M16 k.v. 10.9
 $n=4$ vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1,25} = 113,04 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{390,81}{4} = 97,70 \text{ kN}$$

Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$\begin{aligned} c &= 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3\sqrt{2} = 36,14 \text{ mm} \\ b_{pl}^{min} &= 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 30 + 55 = 115 \text{ mm} \\ b_{pl}^{min} &= b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 160 + 2 \cdot 3\sqrt{2} + 20 = 168,49 \text{ mm} \end{aligned}$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 280×280mm.

Proračun minimalne debljine ploče

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

$$b_{pl} = 280 \text{ mm}$$

$$M_{Sd} = 2 \cdot F_{t,Sd} \cdot e = 2 \cdot 97,70 \cdot 0,02 = 3,91 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 319 \cdot 6}{28 \cdot 23,5}}$$

$$= 1,79 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 1,79 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 280×280×20mm.

7. PRORAČUN TEMELJA

ODABRANE DIMENZIJE TEMELJ:

$$L=2,0 \text{ m}$$

$$B=2,0 \text{ m}$$

$$H=1,0 \text{ m}$$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja $M_{Ed}=16,08 \text{ kNm}$

– poprečna sila $V_{Ed}=7,84 \text{ kN}$

– uzdužna sila $N_{Ed}=54,33 \text{ kN}$ (tlak)

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

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

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Sd} + G}{A} \pm \frac{M_{Sd}}{W} = \frac{54,33 + 100}{4} \pm \frac{16,08}{1,33} = 38,58 \pm 12,09$$

$$\sigma_1 = 50,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = 26,49 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd} + G} = \frac{16,08}{54,33 + 100} = 0,1 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} + e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2}{2} + 0,1 \right) = 2,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (54,33 + 100)}{2,7 \cdot 2,0} = 57,16 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,171}{2} = 0,91 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2,7 - 0,91}{2,7} \cdot 57,16 = 37,89 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{Sd}^{1-1} = \gamma \cdot \left(\sigma_{1-1} \cdot \frac{L_1^2}{2} \cdot B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} \cdot L_1 \cdot B \cdot \frac{2}{3} \cdot L_1 \right) = 1,4 \cdot \left(37,89 \cdot \frac{0,91^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{57,16 - 37,89}{2} \cdot 0,91 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,91 \right) = 58,82 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu

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

Potrebna površina armature

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{58,82}{0,8 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 1,69 \text{ cm}^2 < A_{s1,min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = \frac{0,1}{100} \cdot 2,0 \cdot 1,0 = 20,0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armatura.

Odabrana armatura:

- glavna armatura: Ø12/10
- razdjelna armatura: Ø8/25

$$19 \text{ kom} = 21,48 \text{ cm}^2$$

8. LITERATURA

- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [2] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [3] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [4] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Habbau
- [5] prof. dr. sc. Ivica Boko: Predavanja
- [6] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

9. NACRTI

9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA STUP-TEMELJ

9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR

9.3. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

9.4. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA

9.5. DETALJ „DE1“ SPOJA STUP–TEMELJ

9.6. DETALJ „DE3“ SPOJA STUP–REŠETKA

9.7. DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

10. ISKAZ MATERIJALA

OBRAZAC:

Obrazac osnovnih podataka završnog rada preddiplomskog sveučilišnog studija Građevinarstva i stručnog studija Građevinarstva za pohranu u Repozitoriju Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije (Dabar)

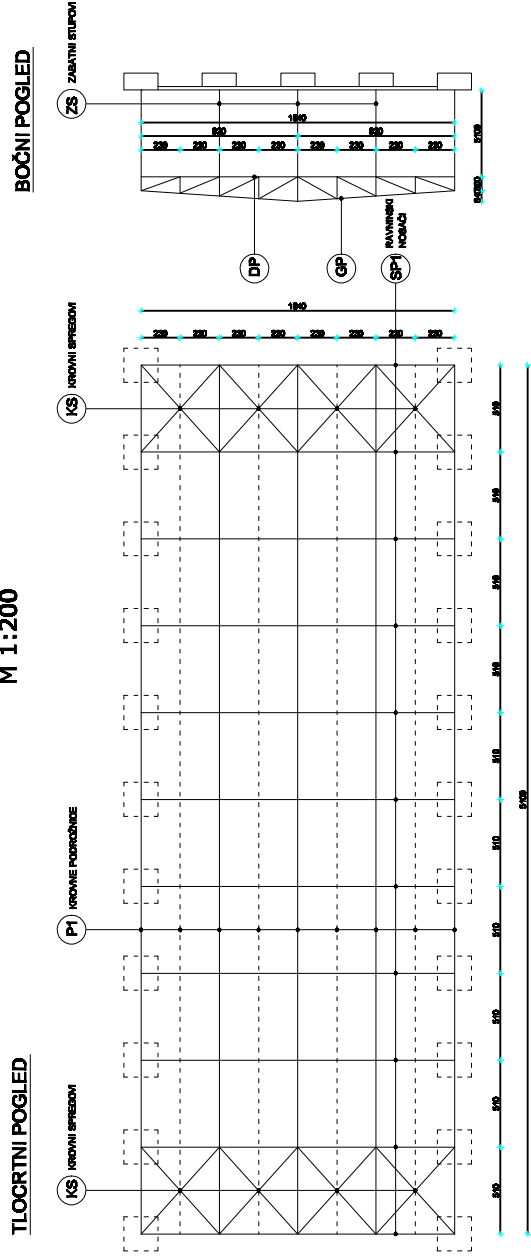
1.	STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo
2.	KANDIDAT/KINJA:	Šupe Katarina
3.	BROJ INDEKSA:	4503
4.	KATEDRA:	Katedra za drvene i metalne konstrukcije
5.	PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija
6.	DATUM OBRANE:	18.09.2019.
7.	MENTOR:	prof. dr. sc. Ivica Boko
8.	NASLOV ZAVRŠNOG RADA:	Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale
9.	SAŽETAK (minimalno 150 znakova):	Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Osijeka. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciju su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i pormijenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia engineer 19.0“.
10.	KLJUČNE RIJEČI:	Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, podrožnice, rešetka, stup, dimenzioniranje, spojevi.
11.	NASLOV ZAVRŠNOG RADA (na engleskom jeziku):	Design of a steel manufacturing hall
12.	SAŽETAK (na engleskom jeziku):	Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure, it's main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Osijek. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „Scia engineer 19.0“.

13.	KLJUČNE RIJEČI (na engleskom jeziku):	Steel, hall, load-bearing structure, bracings, purlins, grating, column, design, joints.
-----	--	--

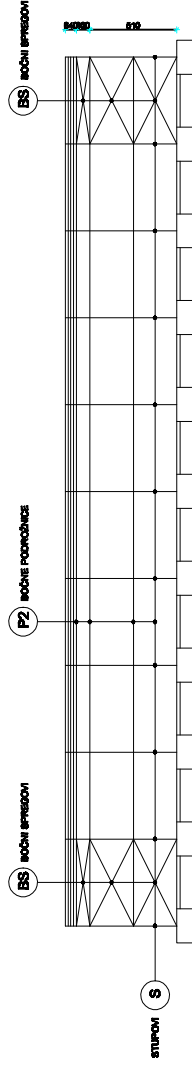
Napomena:

Ovaj obrazac se ispunjava računalno, a zatim se u istom formatu (MS Word dokument) pohranjuje na CD-u/DVD-u uz završni rad.

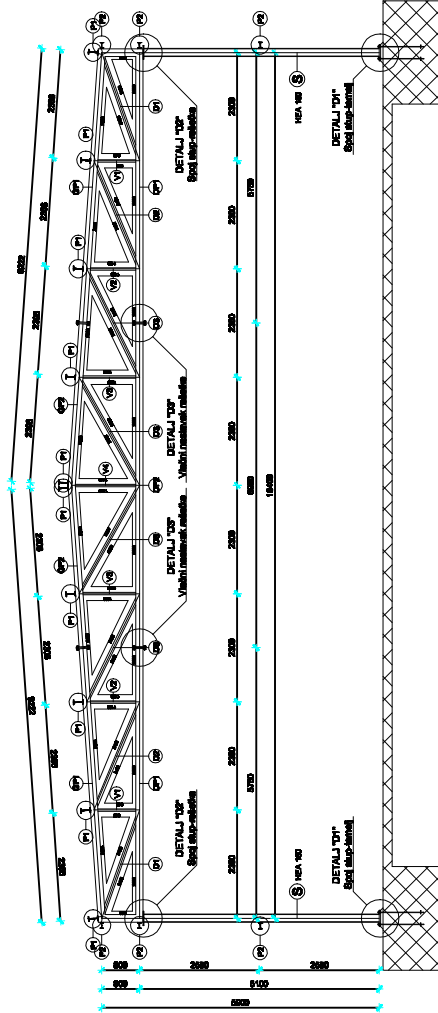
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA



UZDUŽNI POGLLED

[illegible]

9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR
M 1:50



Nagovestje:
Materijal konstrukcije za sve elemente
je OŠB.

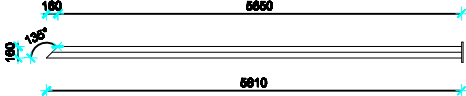
Osnove metalne konstrukcije	
TEMAT	PROJEKTOVANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
PROJEKTOVANJE	Šupe Kalina
PROJEKTOVANJE	Presjek kroz glavni okvir
PROJEKTOVANJE	1:10
PROJEKTOVANJE	2

9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
M 1:50

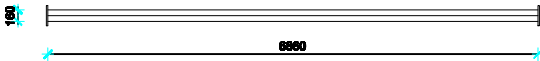
STUP (S) HEA 180, l=5000 mm, 22 kom



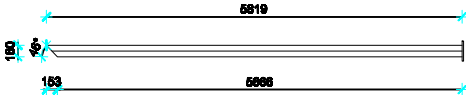
DONJI POJAS (DP1) CFRHS 160x160x5, l=5810 mm, 22 kom



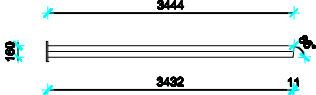
DONJI POJAS (DP2) CFRHS 160x160x5, l=6660 mm, 11 kom



GORNI POJAS (GP1) CFRHS 160x160x5, l=5666 mm, 22 kom



GORNI POJAS (GP2) CFRHS 160x160x5, l=3444 mm, 22 kom



 IZVODIŠTE U SPITU GRADJEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 16	Osnove metalnih konstrukcija		
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUĐENTI	Katarina Šupo	
	SAČIOU	Radionički nacrt glavnog nosača	NAČELNIK
	DRUGI	lipanj 2019.	DRUGI PRELOMA

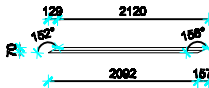
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE CFRHS 50x50x3

(V1) l=2171 mm, 22 kom



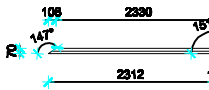
(V2) l=2249 mm, 22 kom



(V3) l=2348 mm, 22 kom

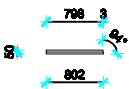


(V4) l=2438 mm, 22 kom

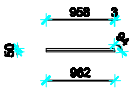


ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, DIJAGONALE CFRHS 70x70x5

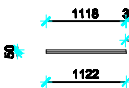
(D1) l=802 mm, 22 kom



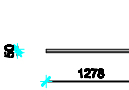
(D2) l=962 mm, 22 kom



(D3) l=1122 mm, 22 kom



(D4) l=1278 mm, 22 kom

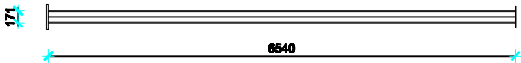


IZVODIŠTE U SPOLU
GRADJEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

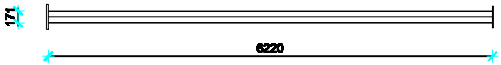
Osnove metalnih konstrukcija		
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUĐENTI	Katarina Šupo	
BAČENJE	Radionički nacrt glavnog nosača	NAČELNIK
BAČENJE	lipanj 2019.	BAČENJE

9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA
M 1:50

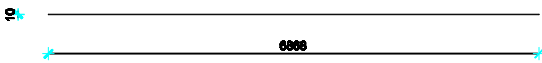
ZABATNI STUP (ZS) HEA 180, l=6540 mm, 2 kom



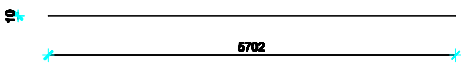
ZABATNI STUP (ZS) HEA 180, l=6220 mm, 4 kom



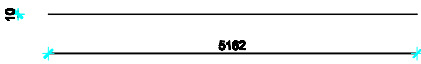
KROVNI SPREG (KS) RD10, l=6868 mm, 16 kom



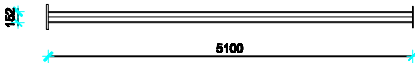
BOČNI SPREG (BS) RD10, l=5702 mm, 16 kom



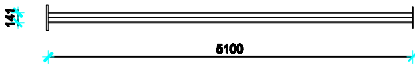
BOČNI SPREG (BS) RD10, l=5162 mm, 8 kom



KROVNA PODROŽNICA (P1) HEA 160, l=5100 mm, 90 kom



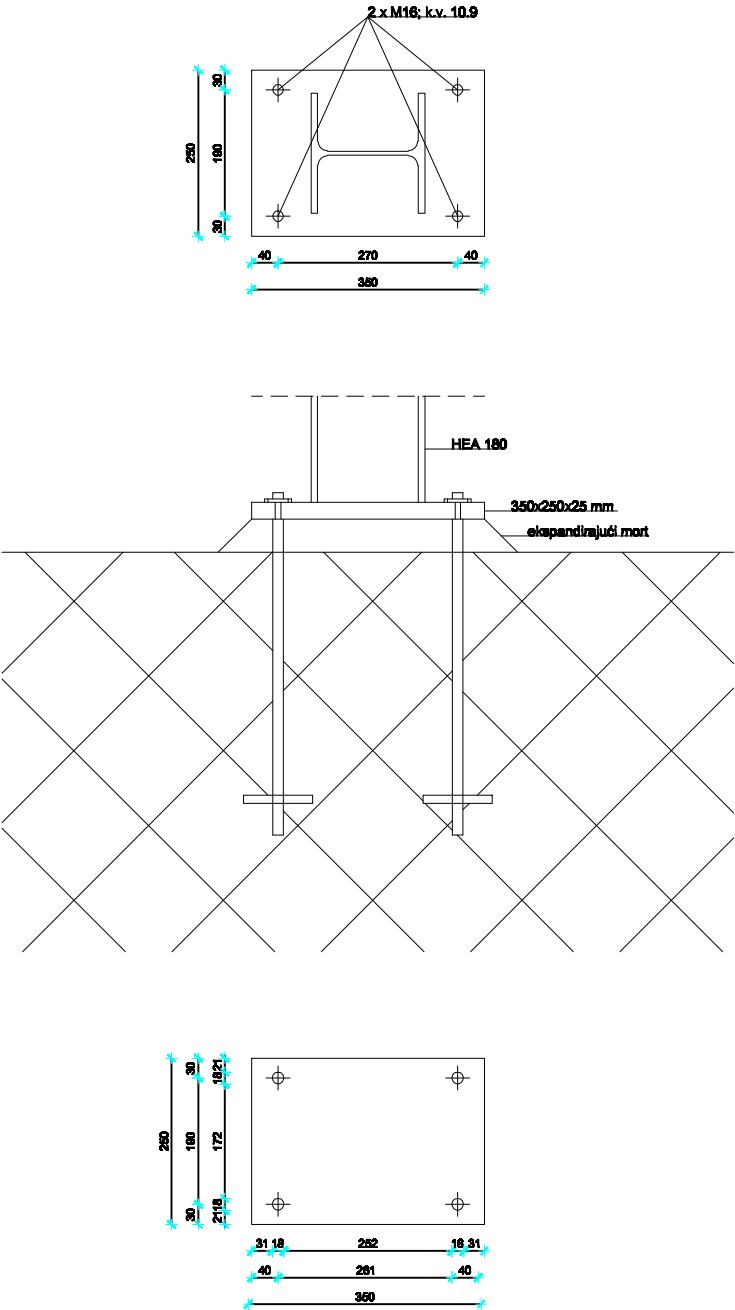
BOČNA PODROŽNICA (P2) HEA 120, l=5100 mm, 44 kom



 IZVODIŠTE U SPOLU GRADIVNIKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATIJE KRVIŠIĆ 16	Osnove metalnih konstrukcija		
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUĐENTI	Katarina Šupo	
	GRADIVA	Radionički nacrt sekundarnog nosača	NAČELNIK
	DRUGI	lipanj 2019.	DRUGI PRELOMA

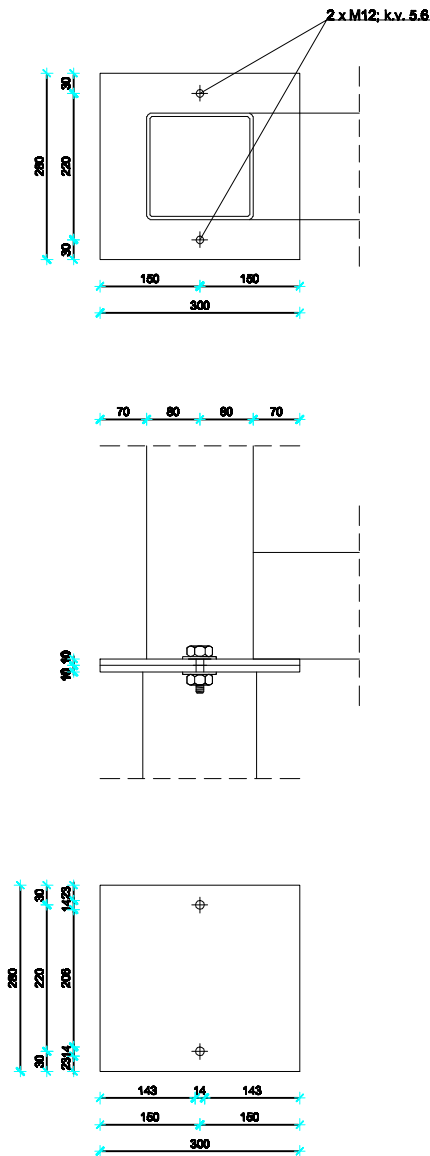
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

9.5 DETALJ "DE1" SPOJA STUP-TEMELJ
M 1:10

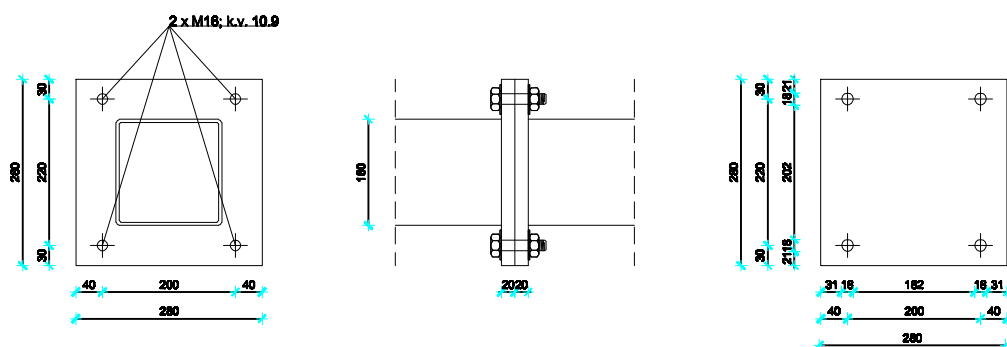


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

9.6 DETALJ "DE2" SPOJA STUP-REŠETKA M 1:10



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Osnove metalnih konstrukcija	
TEMA:	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT:	Šupe Katarina
SADRŽAJ:	Detalj "DE3" vlačni nastavak rešetke MJESELO: 1:10 BRZO PRILOG: 8
DATUM:	lipanj 2019.