

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Relota, Marija

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:123:440854>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



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

Marija Relota

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Marija Relota

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Marija Relota

BROJ INDEKSA: 4475

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 235

Objekt se nalazi na području Rijeke.

Razmak okvira: 5,4 (m)

U Splitu, 19.09.2019.

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

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Rijeke. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivost (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i promjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnji sila dobiveni su u računalnom programu „SCIA Engineer 18.1“.

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: its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Rijeka. 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 18.1“.

Keywords:

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

SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS	1
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE	1
1.1.1. <i>OPĆENITO</i>	1
1.1.2. <i>KONSTRUKTIVNI ELEMENTI</i>	2
1.1.2.1. SPOJEVI.....	2
1.1.2.1.1. SPOJ STUP – TEMELJ	2
1.1.2.1.2. SPOJ STUP – REŠETKA	2
1.1.2.1.3. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	3
1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE.....	3
1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	3
1.4. PRIMIJENJENI PROPISI.....	3
1.5. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA	4
1.6. ZAŠTITA OD POŽARA	4
1.7. MONTAŽA I TRANSPORT	4
2. ANALIZA OPTEREĆENJA	5
2.1. GLAVNA KONSTRUKCIJA (OKVIR).....	5
2.1.1. <i>STALNO OPTEREĆENJE</i>	5
2.1.1.1. <i>KROVNA PLOHA</i>	5
2.1.2. <i>POKRETNOST OPTEREĆENJE</i>	6
2.1.2.1. <i>DJELOVANJE SNIJEGA</i>	6
2.1.2.2. <i>DJELOVANJE VJETRA</i>	7
2.1.2.2.1. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA RAVNOG KROVA $\Theta=0$	10
2.1.2.3. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE... ..	13
2.1.2.3.1. <i>DJELOVANJE VJETRA NA ZABAT HALE</i>	16
3. KONTROLA PROGIBA	18
3.1. VERTIKALNI PROGIB	18
3.2. HORIZONTALNI POMAK	19
4. DIJAGRAMI REZIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)	20
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA	20
4.1.1. <i>KOMBINACIJA $1,35*(G_0+G_1)+1,5*S$</i>	20
4.1.2. <i>KOMBINACIJA $1,35*(G_0+G_1)+1,5*W_1$</i>	21
4.1.3. <i>KOMBINACIJA $1,35*(G_0+G_1)+1,5*W_2$</i>	23
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA	25
4.2.1. <i>ZABATNI STUPOVI</i>	25
4.2.2. <i>KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI</i>	27
4.2.3. <i>BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI</i>	28
4.2.4. <i>KROVNA PODROŽNICA</i>	29
4.2.5. <i>BOČNA PODROŽNICA</i>	34
5. DIMENZIONIRANJE	36
5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA	36

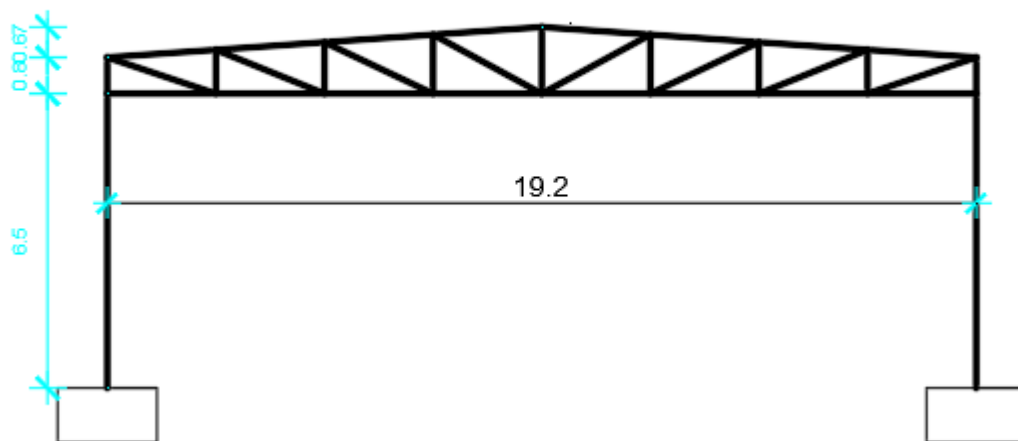
5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA	36
5.1.2. GORNJI POJAS REŠETKE.....	42
5.1.3. DONJI POJAS REŠETKE	45
5.1.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA REŠETKE	47
5.1.5. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA REŠETKE.....	48
5.2. SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE	50
5.2.1. ZABATNI STUPOVI.....	50
5.2.2. HORIZONTALNI SPREG	53
5.2.3. BOČNI SPREG.....	53
5.2.4. KROVNA PODROŽNICA	54
5.2.5. BOČNA PODROŽNICA.....	59
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA	62
6.1. SPOJ STUP-TEMELJ	62
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE	66
6.3. ZGLOBNI SPOJ STUP-REŠETKA.....	68
7. PRORAČUN TEMELJA	70
8. LITERATURA	73
9. NACRTI	74
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA	75
9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR.....	76
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA	77
9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA	78
9.5 DETALJ „DE1“ SPOJA STUP-TEMELJ	79
9.6 DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA	80
9.7 DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	81
10. ISKAZ MATERIJALA	82

1. TEHNIČKI OPIS

1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

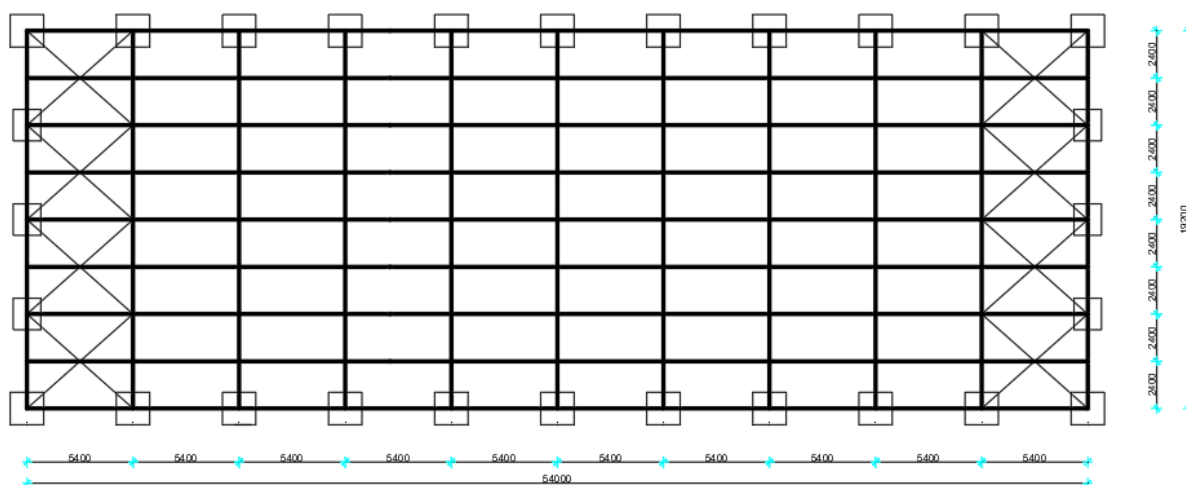
1.1.1. OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimenzije su 19,2 x 54,0 (m), a visina iznosi 7,97 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 4,0^\circ$, što je ekvivalentno nagibu od 7%. Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10 ravninskih rešetki raspona 19,2 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 5,4 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na gornje pojaseve se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,40 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,17 (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.

1.1.2.KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

Glavna rešetka

Glavne rešetke su dimenzionirane da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenje od snijega i vjetra. Profili gornjeg i donjeg pojasa su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 150x150x6 spojeni u čvorovima. Profili vertikalna su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 50x50x4, dok su profili dijagonala pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 120x50x5.

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA280 duljine 6500 mm. Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 200. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

Podrožnice

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Podrožnica je okomita na nagib krovne plohe. Pri dimenzioniranju podrožnice koristi se djelovanje snijega, gravitacije i vjetra. Profili krovnih podrožnica su IPE 200, a bočnih podrožnica IPE 180. Duljina podrožnica je 5,4 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 RD 14 (krovni spreg) i RD 16 (bočni spreg).

1.1.2.1.SPOJEVI

1.1.2.1.1.SPOJ STUP – TEMELJ

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 540x320x55(mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M27 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

1.1.2.1.2.SPOJ STUP – REŠETKA

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 320x320x14(mm) i vijcima M12 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

1.1.2.1.3. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Spoj gornjeg i donjeg pojasa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 300x300x10 (mm) ,navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćene vijcima M20 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

Statičkom 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 5,4 (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 elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao prosta greda širine 5,4 (m). 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, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S235.

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom. Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

1.4.PRIMIJEJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

HRN EN 1991	vlastita težina građevine
HRN EN 1992	djelovanje snijega na konstrukciju
HRN EN 1993	djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje

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

1.5.ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije. Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 μm .

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 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 je potrebno obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s "Pravilnikom o zaštiti na radu".

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. GLAVNA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

2.1.1. STALNO OPTEREĆENJE

2.1.1.1. KROVNA PLOHA

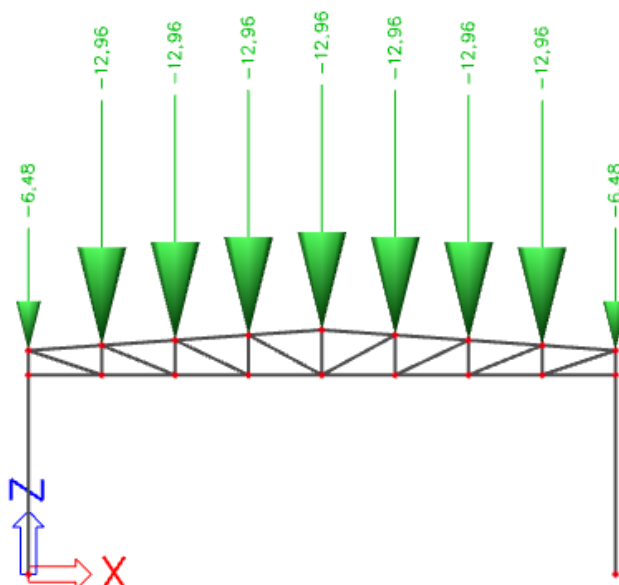
- sendvič paneli (aluminij)	0,20	kN/m ²
- sekundarna konstrukcija i spregovi	0,60	kN/m ²
- instalacije	0,20	kN/m ²
$\Sigma =$	1,00	kN/m ²

$$G_{kp} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,4\text{m} = 5,4 \text{ kN/m'}$$

Sile u čvorovima rešetke:

$$G1 = G_{kp} \cdot 1,2 = 6,48 \text{ kN}$$

$$G2 = G_{kp} \cdot 2,4 = 12,96 \text{ kN}$$



Slika 2.1.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima rešetke

2.1.2. POKRETNO OPTEREĆENJE

2.1.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA

$$s = s_k * \mu_i * c_e * c_t \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

$s_k \Rightarrow$ karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m^2

$s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2 \Leftrightarrow$ za Rijeku, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

$\mu_i \Rightarrow$ koeficijent oblika za opterećenje snijegom , očitamo ga ovisno o α ,

α je nagib krova

$$\text{tg}\alpha = 7/100=0,07 \rightarrow \alpha = 4,00^\circ \text{ (Ravni krov) ;}$$

$$\mu_i = 0,8 \Leftrightarrow \text{ za nagib krova } 0^\circ < \alpha < 15^\circ \quad \alpha_1 = \alpha_2$$

$c_e \Rightarrow$ koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

$c_t \Rightarrow$ toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine: $s_1 = 0,5 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,40 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$

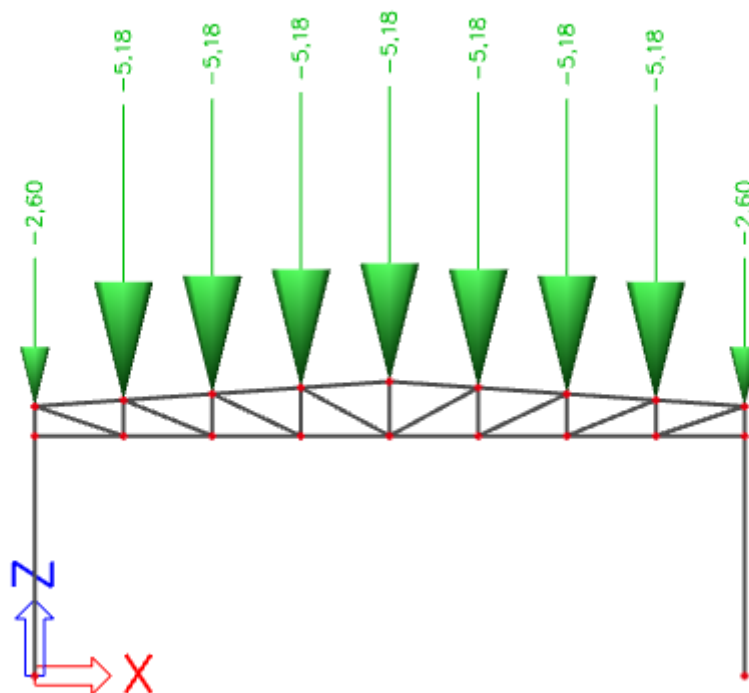
Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,40 \text{ m} = 2,16 \text{ kN/m'}$$

Sile u čvorovima rešetke:

$$S_1 = S * 1,2 = 2,60 \text{ kN}$$

$$S_2 = S * 2,4 = 5,18 \text{ kN}$$



Slika 2.1.2.1.1. Opterećenje snijegom u čvorovima rešetke

2.1.2.2. DJELOVANJE VJETRA

$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$ [kN/m²] - pritisak vjetra na vanjske površine

$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$ [kN/m²] - pritisak vjetra na unutarnje površine

$q_p(z_e) \Rightarrow$ pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_e \Rightarrow$ referentna visina za vanjski(unutarnji) pritisak

$c_{pe} \Rightarrow$ vanjski koeficijent pritiska

$c_{pi} \Rightarrow$ unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

$\rho \Rightarrow$ gustoća zraka (usvaja se $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

$v_b \Rightarrow$ osnovna brzina vjetra

$$v_b = c_{season} \cdot c_{dir} \cdot v_{b,0} \text{ (m/s)}$$

$v_{b,0} \Rightarrow$ fundamentalna vrijednost brzine vjetra (očitano s karte $v_{b,0} = 25 \text{ (m/s)}$)

$c_{dir} \Rightarrow$ faktor smjera vjetra (uzima se 1,0)

$c_{season} \Rightarrow$ faktor doba godine (uzima se 1,0)

$$v_b = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25 \text{ (m/s)}$$

$v_m(z) \Rightarrow$ srednja brzina vjetra

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \text{ (m/s)}$$

$c_0(z) \Rightarrow$ faktor orografije (uzima se 1,00)

$c_r(z) \Rightarrow$ faktor hrapavosti

$k_r(z) \Rightarrow$ faktor terena (kategorija terena 2.)

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

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(7,78/0,05) = 0,96$$

$$v_m(z) = 0,96 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24,0 \text{ (m/s)}$$

$I_v(z) \Rightarrow$ intenzitet turbulencije

$k_1 \Rightarrow$ faktor turbulencije (uzima se 1,0)

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(7,97/0,05)} = 0,20$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 0,391 (kN / m^2)$$

$c_e(z) \Rightarrow$ faktor izloženosti

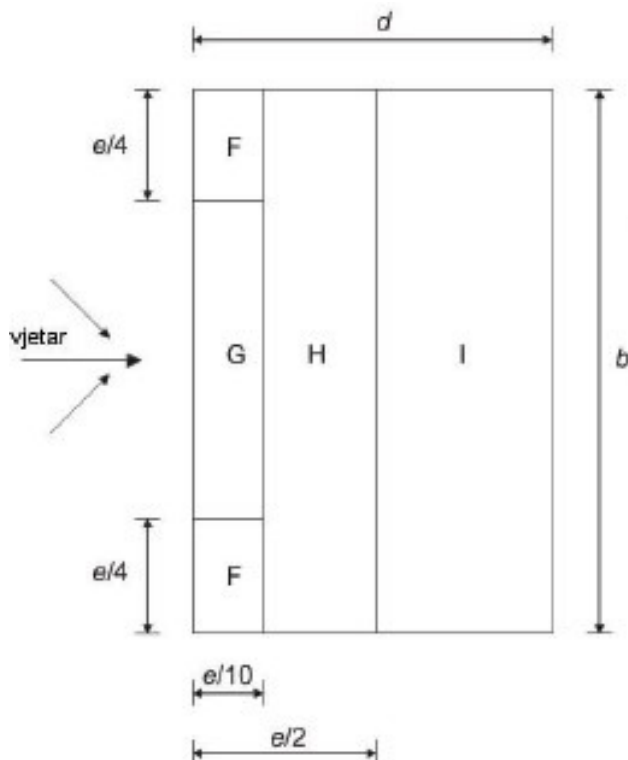
$$c_e(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) = 1 + 7 \cdot 0,20 = 2,4$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,20) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24^2 = 0,864 (kN/m^2)$$

2.1.2.2.1. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA RAVNOG KROVA $\Theta=0$

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu skrovom nagiba $\alpha = 4,00^\circ$ za područja ravnog krova $\Theta=0$



Slika 2.1.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za ravne krovove

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

Tablica 1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na vanjske površine :

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

$$q_p = 0,864 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+/-0,2
$w_{e1} (\text{kN/m}^2)$	-1,55	-1,04	-0,61	+/-0,17

Tablica 2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Rezultirajuće djelovanje vjetra :

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

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

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m'}], \quad L = 5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/-0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,72	-1,21	-0,78	0,00
$W_k \text{ (kN/m')}$	-9,29	-6,53	-4,21	0,00

Tablica 3. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

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

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m'}], \quad L = 5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/- 0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,29	-0,78	-0,35	-0,43
$W_k \text{ (kN/m')}$	-6,97	-4,21	-1,89	-2,32

Tablica 4. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

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

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m'}], \quad L=5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/-0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,72	-1,21	-0,78	-0,34
$W_k \text{ (kN/m')}$	-9,29	-6,53	-4,21	-1,84

Tablica 5. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

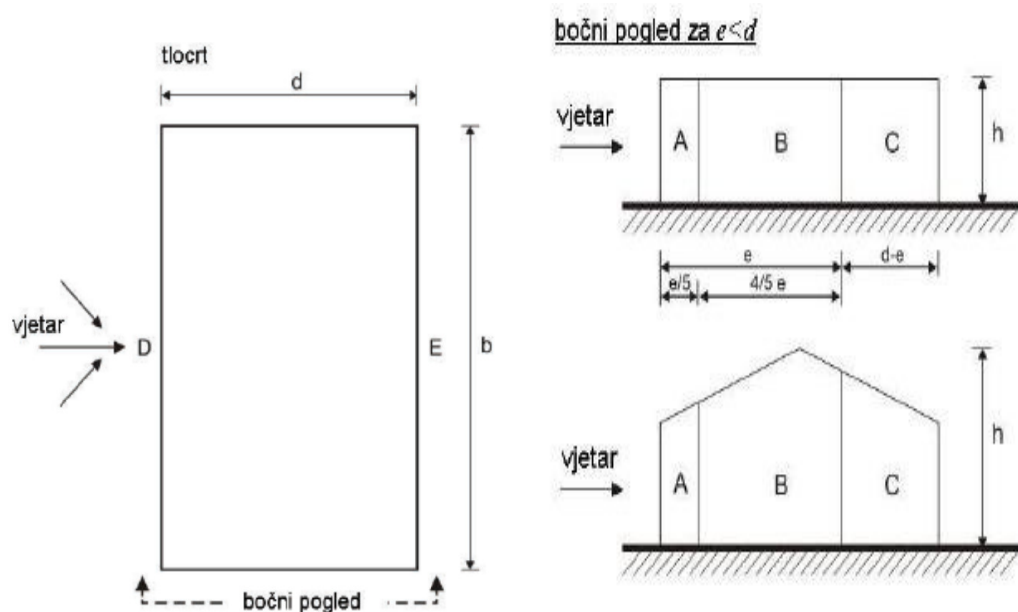
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ($c_{pi} = -0,3$)

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m'}], \quad L = 5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/- 0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,29	-0,78	-0,35	0,09
$W_k \text{ (kN/m')}$	-6,97	-4,21	-1,89	0,49

Mjerodavne kombinacije su 3. i 4.

2.1.2.3. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE



Slika 2.1.2.3.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,72	-0,32

Tablica 6. 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 koeficijent pritiska $\rightarrow c_{pi} = -0,3$ i $+0,2$

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p = 0,864 \text{ kN/m}^2$ -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,72	-0,32
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,04	-0,69	-0,43	0,62	-0,28

Tablica 7. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

$$q_p = 0,864 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_i = 0,864 \cdot 0,2 = +0,173 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,864 \cdot -0,3 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,04	-0,69	-0,43	0,62	-0,28
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,21	-0,86	-0,6	0,45	-0,45
$W_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	6,53	4,64	3,24	2,43	2,43

Tablica 8. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m ²)	-1,04	-0,69	-0,43	0,62	-0,28
w_i (kN/m ²)	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
w_k (kN/m ²)	-0,78	-0,43	-0,17	0,88	-0,02
W_k (kN/m')	4,21	2,32	0,92	4,75	0,11

Tablica 9. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

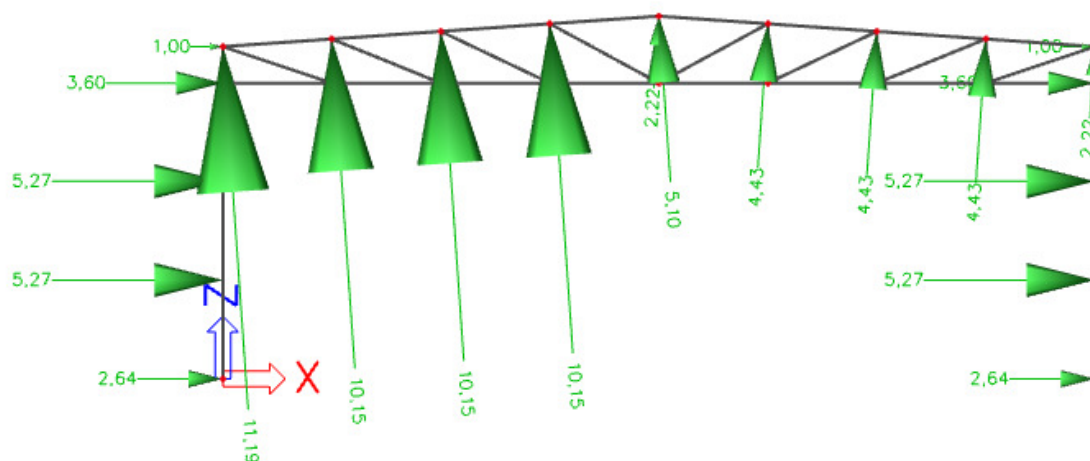
W1

$W_1 = -9,29$ (kn/m') F zona $W_5 = 2,43$ (kn/m') D zona

$W_2 = -6,53$ (kn/m') G zona $W_6 = 2,43$ (kn/m') E zona

$W_3 = -4,21$ (kn/m') H zona

$W_4 = -1,84$ (kn/m') I zona



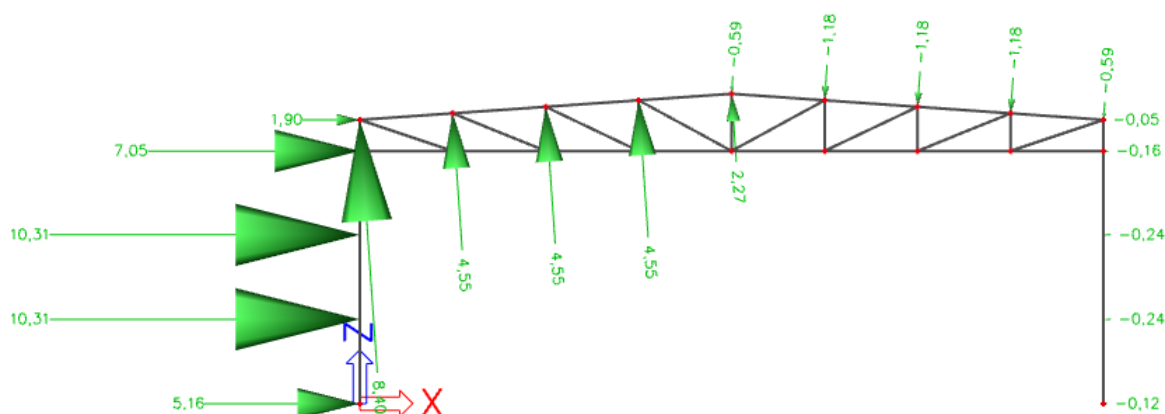
W2

$W_1 = -6,97 \text{ (kn/m')}$ F zona $W_5 = 4,75 \text{ (kn/m')}$ D zona

$W_2 = -4,21 \text{ (kn/m')}$ G zona $W_6 = -0,11 \text{ (kn/m')}$ E zona

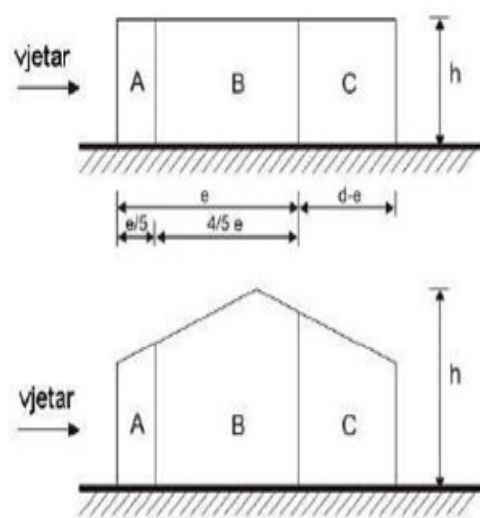
$W_3 = -1,89 \text{ (kn/m')}$ H zona

$W_4 = 0,49 \text{ (kn/m')}$ I zona



2.1.2.3.1. DJELOVANJE VJETRA NA ZABAT HALE

bočni pogled za $e < d$



Koeficijent vanjskog pritiska na halu dobije se linearnom interpolacijom koeficijenata zadanih u tablici za vrijednost: $h/d=0,415$

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

$$e=15,94 \text{ m}$$

$$A=3,188 \text{ m}$$

$$B=12,752 \text{ m}$$

$$C=3,26 \text{ m}$$

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

PODRUČJE	A	B	C
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,04	-0,69	-0,43
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,21	-0,86	-0,6

$$Q1 = 2,4 \cdot A = 2,90 \text{ kN/m}^2$$

$$Q2 = (3,188-2,4) \cdot A + (2,4-0,788) \cdot B + 2,4 \cdot B = 4,40 \text{ kN/m}^2$$

$$Q3 = 4,8 \cdot B = 4,13 \text{ kN/m}^2$$

$$Q4 = 2,4 \cdot B + (2,4-0,86) \cdot B + 0,86 \cdot C = 3,89 \text{ kN/m}^2$$

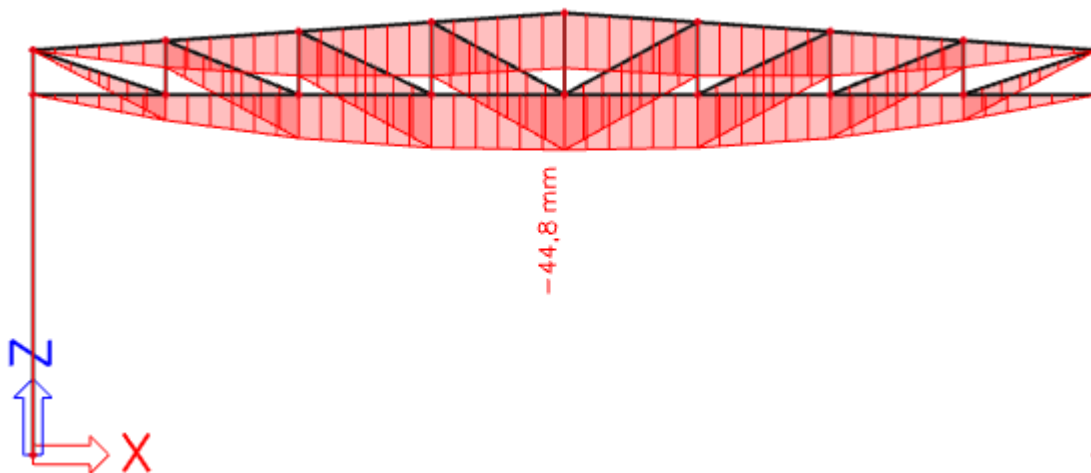
$$Q5 = 2,4 \cdot C = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

Sile Q1-Q5 su dobivene kao jednoliko raspoređeno opterećenje po zabatnim zidovima.

Reakcije u ležajevima prenose se na krovni spreg, pri čemu je mjerodavno opterećenje vjetrom "W1".

3. KONTROLA PROGIBA

3.1. VERTIKALNI PROGIB



Slika 3.1.1. Vertikalni progib glavnog nosača

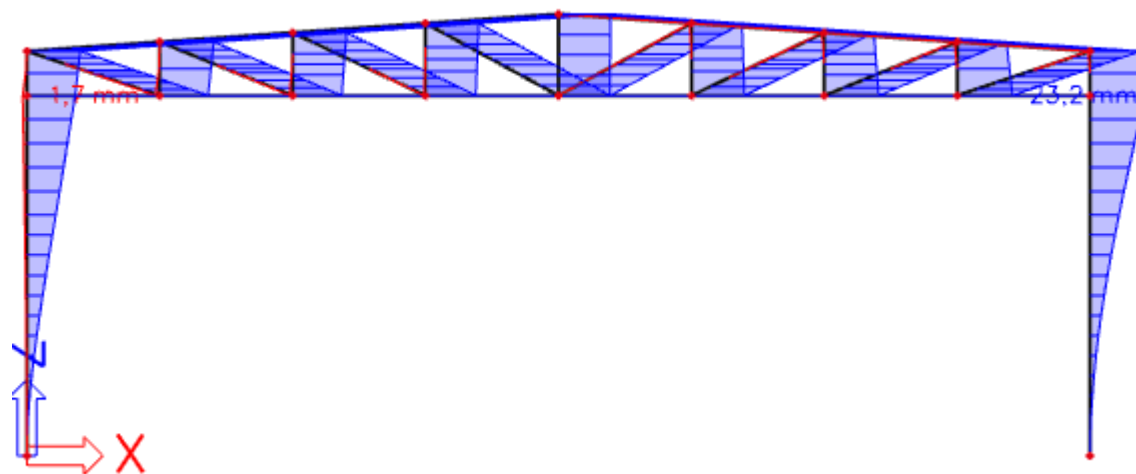
Najveći progib krovišta dobivamo za kombinaciju $1,0 \cdot (G_0 + G_1 + S)$

Dopušteni progib: $L/300 = 19200 \text{ mm} / 250 = 76,8 \text{ mm}$

$$44,8 / 76,8 = 58,33 \%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 58,33%.

3.2. HORIZONTALNI POMAK



Slika 3.2.1. Horizontalni progib glavnog nosača

Najveći horizontalni progib dobivamo za kombinaciju **1,0*(G₀+G₁+W₁)**

Dopušteni progib: $H/250 = 6500\text{mm}/250 = 26\text{ mm}$

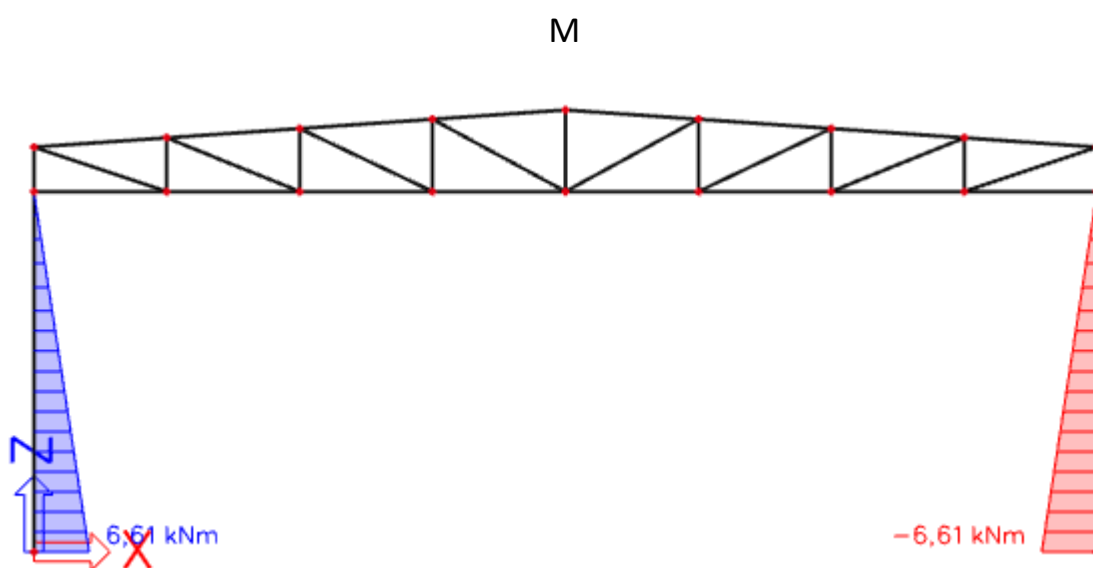
$$23,2/26 = 89,23\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 89,23 %.

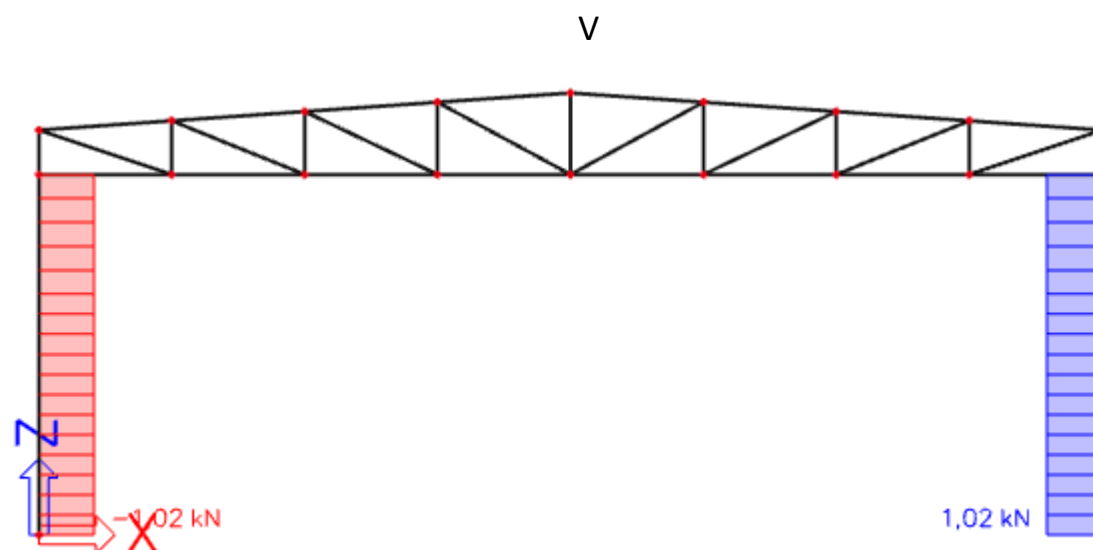
4. DIJAGRAMI REZIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

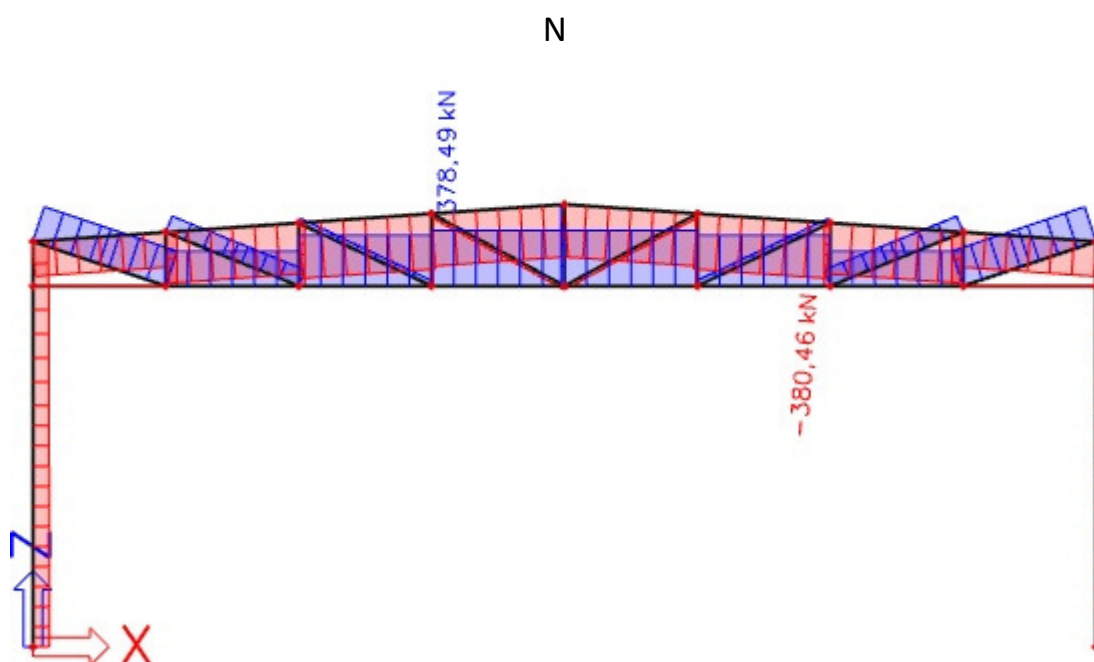
4.1.1. KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot S$



Slika 4.1.1.1. Momentni dijagram kombinacije 1

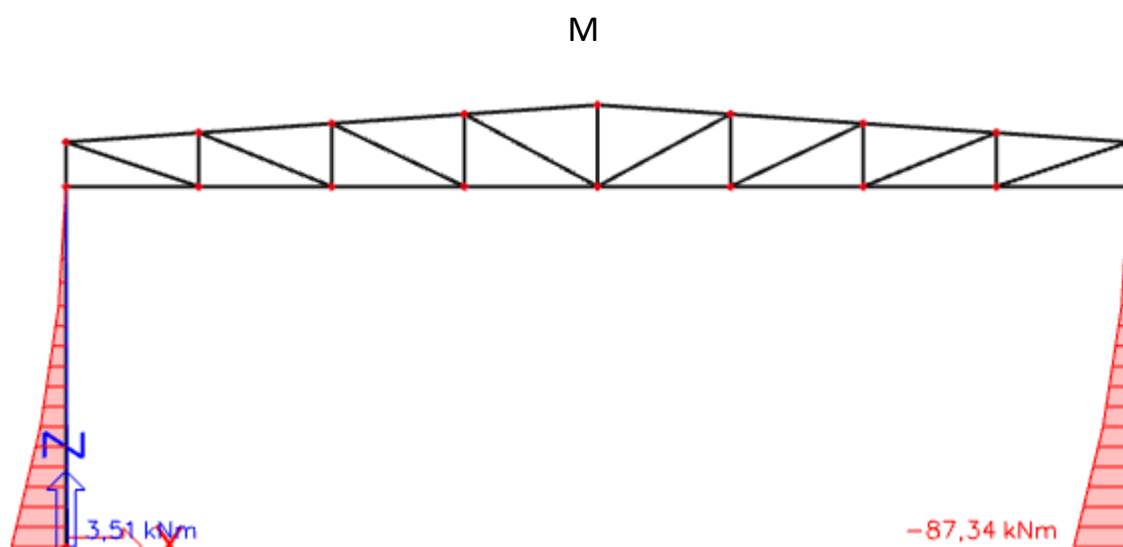


Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila kombinacije 1

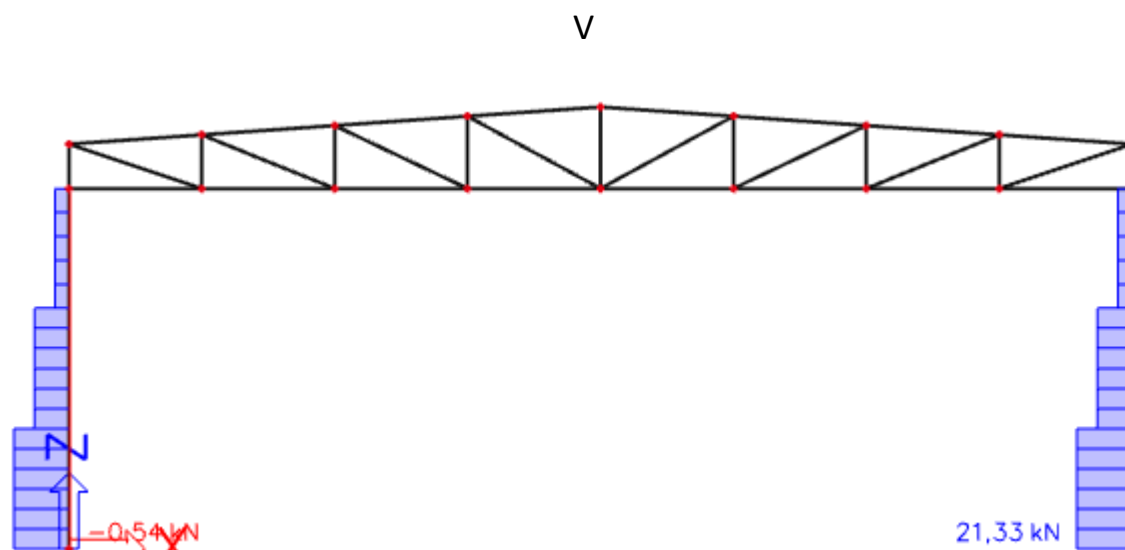


Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila kombinacije 1

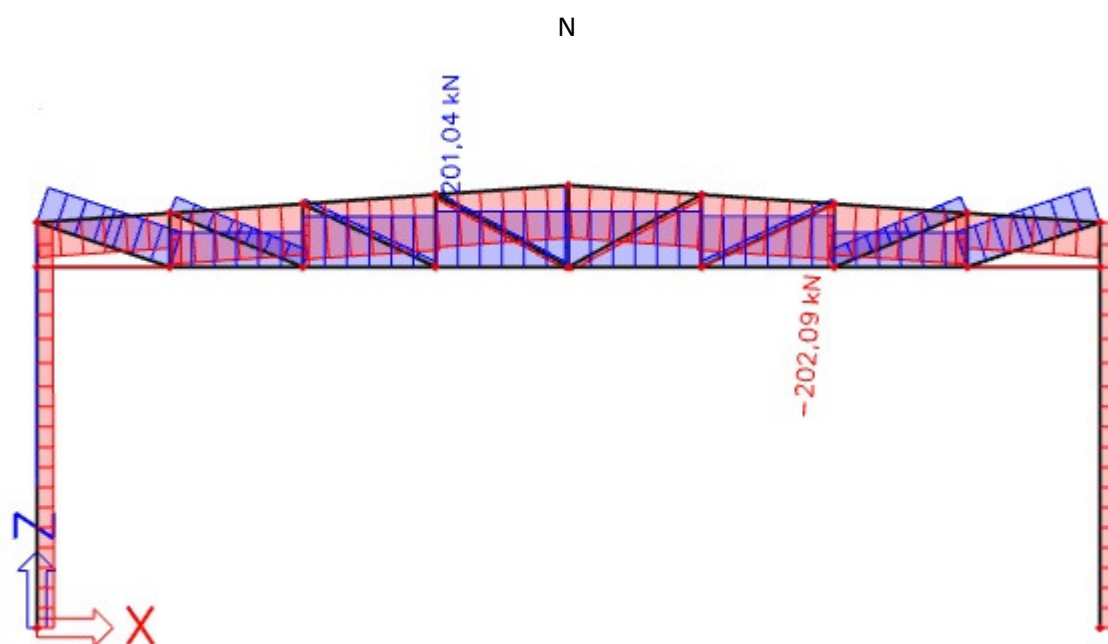
4.1.2. KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_1$



Slika 4.1.2.1. Momentni dijagram kombinacije 2

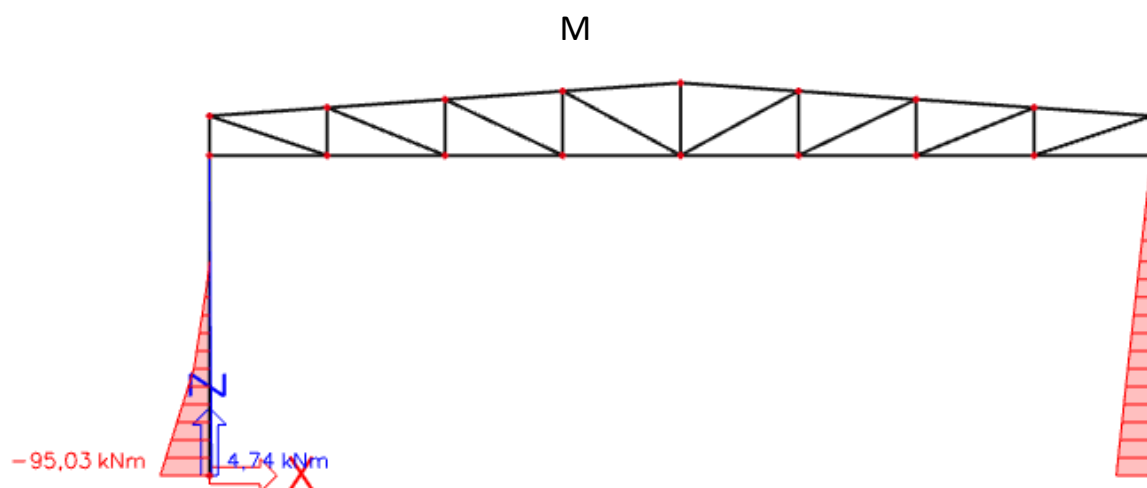


Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila kombinacije 2

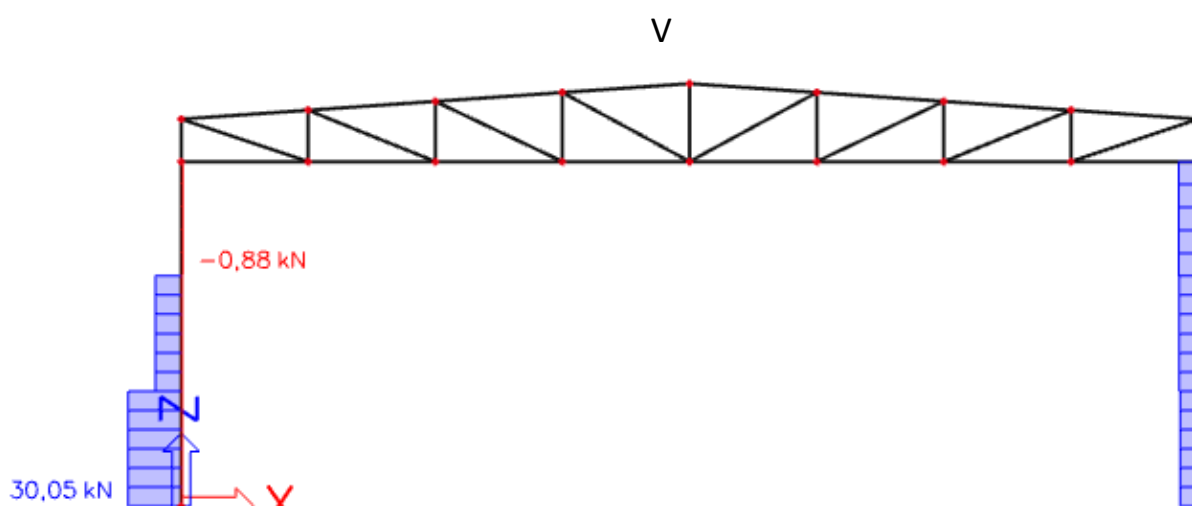


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila kombinacije 2

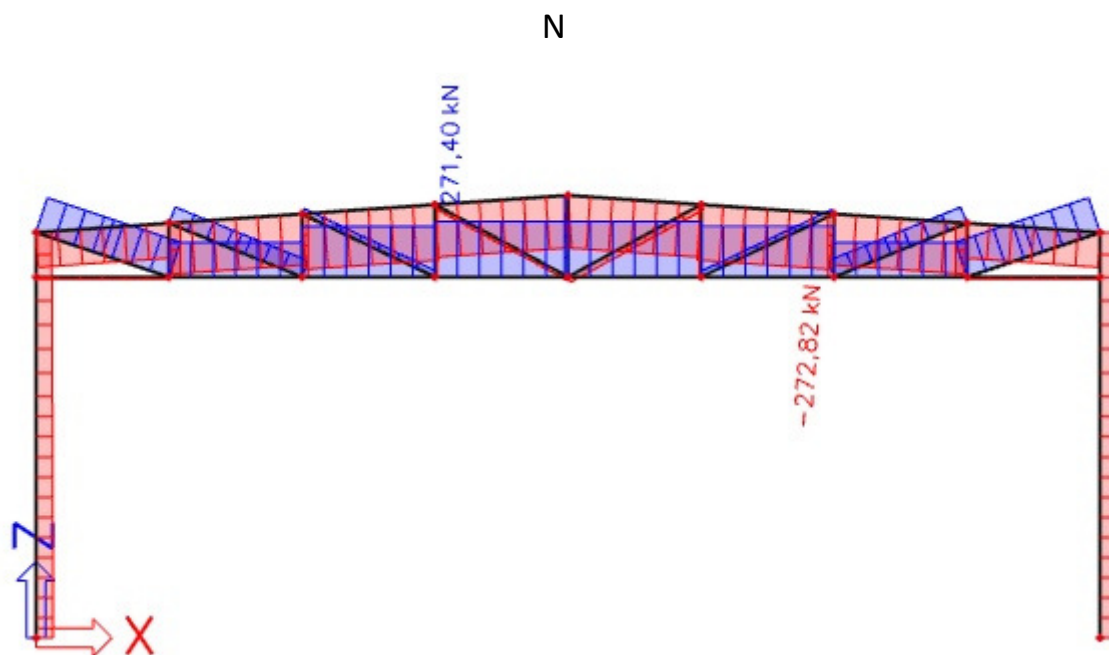
4.1.3 KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_2$



Slika 4.1.3.1. Momentni dijagram kombinacije 3



Slika 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

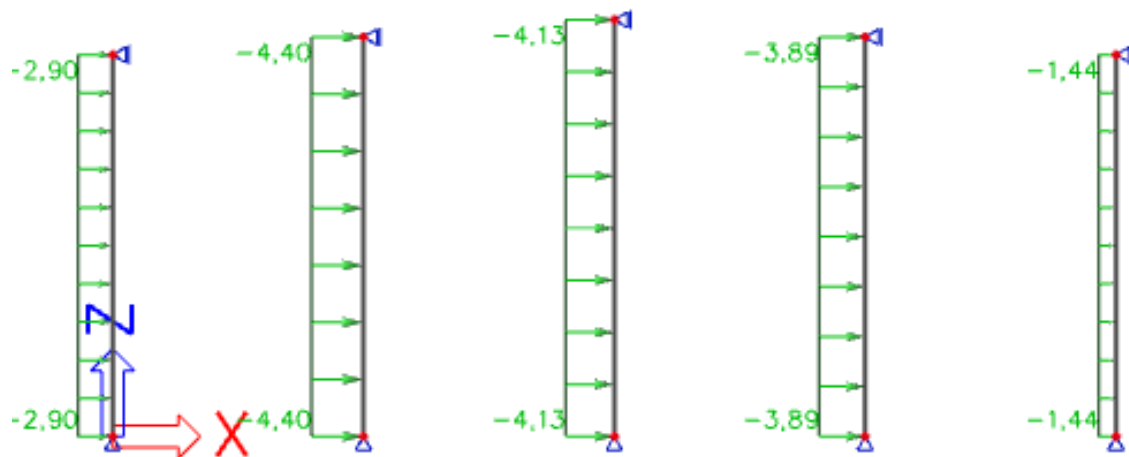


Slika 4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila kombinacije 3

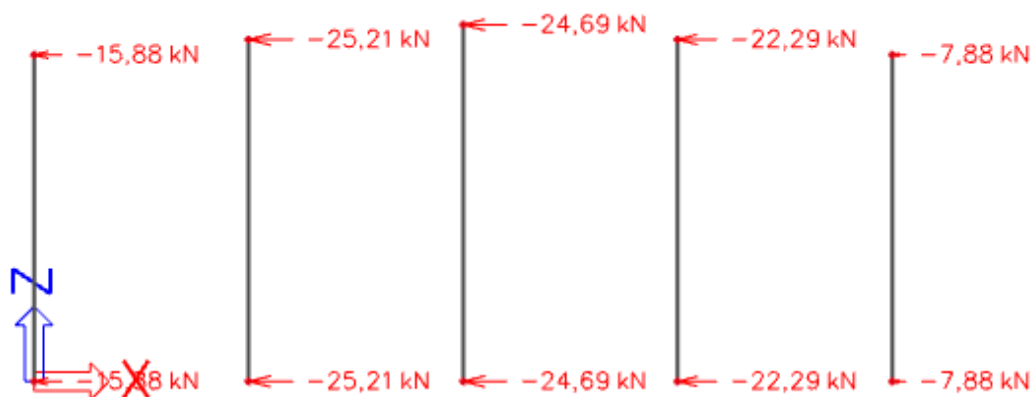
4.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

4.2.1 ZABATNI STUPOVI

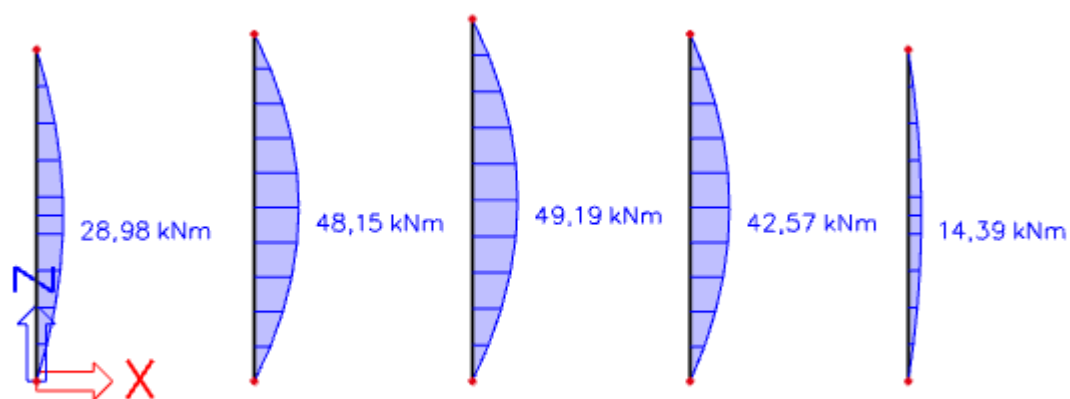
Kao mjerodavno djelovanje uzima se pritisak vjetra "W1" na zabat čelične hale.



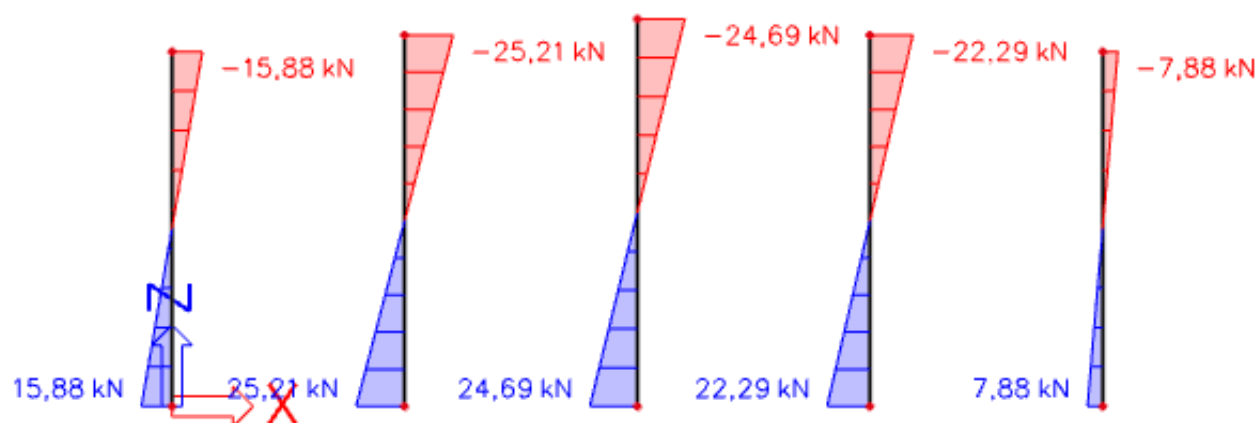
Slika 4.13. Model zabatnih stupova



Slika 4.14. Reakcije za djelovanje vjetra W1



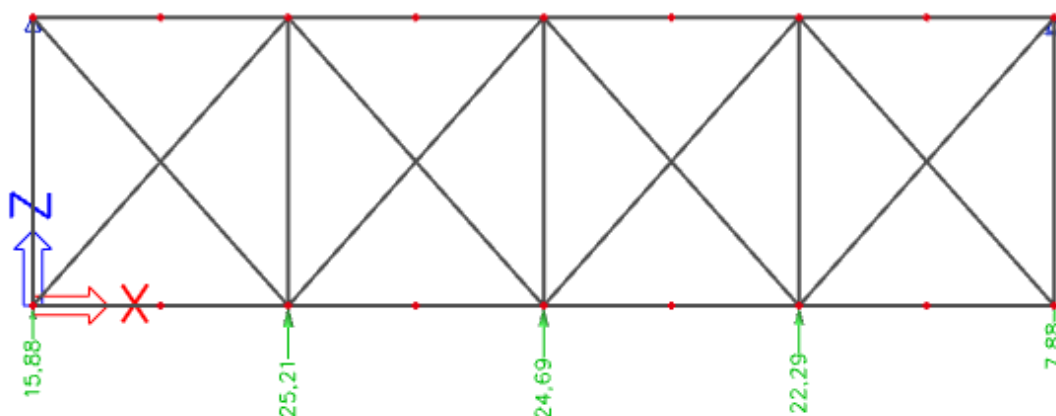
Slika 4.15. Momentni dijagram za djelovanje vjetra W1



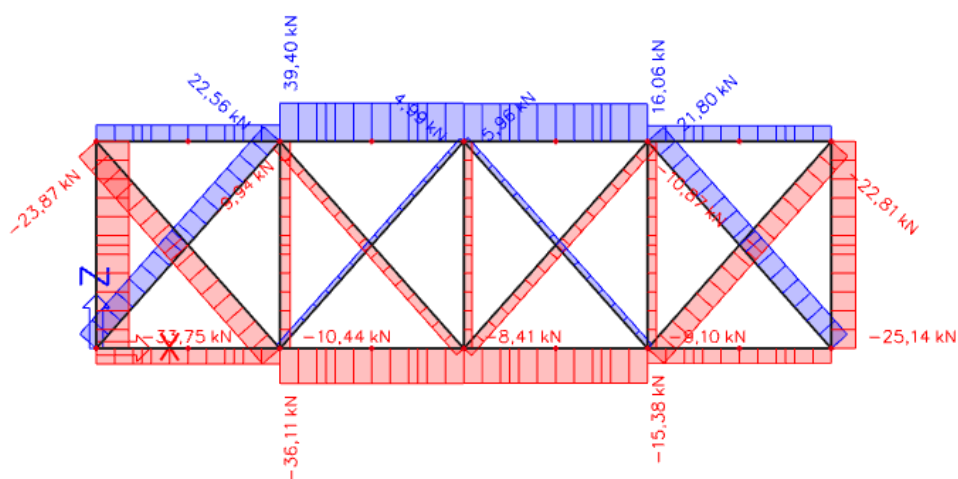
Slika 4.16. Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra W1

4.2.2 KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI

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



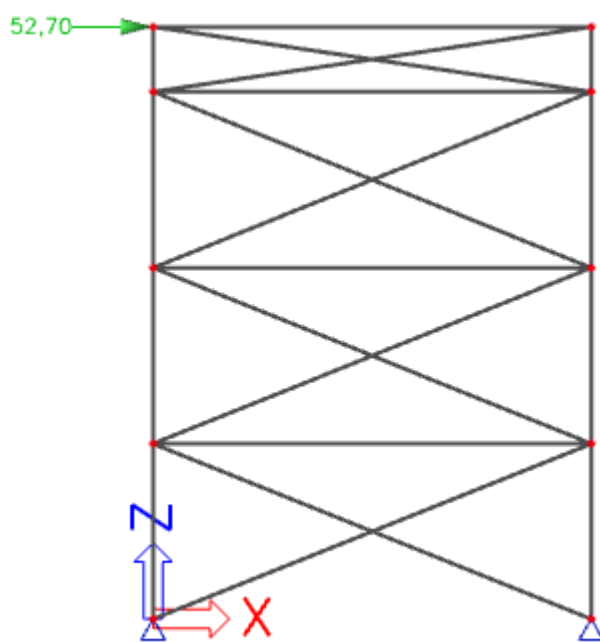
Slika 4.17. Model krovnog sprega



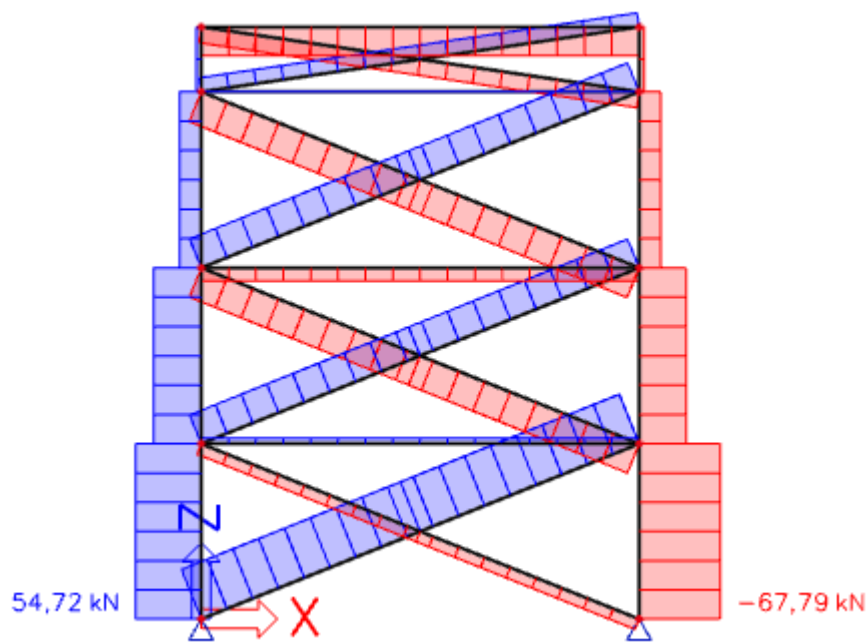
Slika 4.18. Dijagram uzdužnih sila horizontalnog sprega

4.2.3 BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI

Sile koje djeluju na bočne spregove su prenešene reakcije sa krovnih spregova.



Slika 4.19. Model bočnog sprega



Slika 4.20. Dijagram uzdužnih sila vertikalnog sprega

4.2.4 KROVNA PODROŽNICA

Krovne podrožnice su duljine 5,4 m. Nalaze se na osnom razmaku od 2,4 m i pod kutom su od $\alpha=4^\circ$.

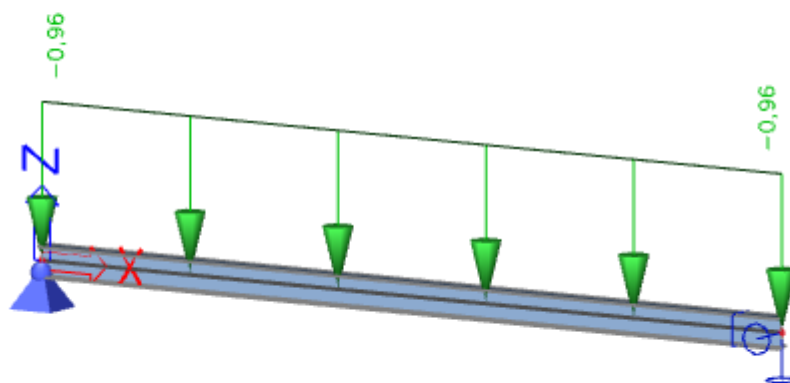
Djelovanja na krovnu podrožnicu su sljedeća:

Dodatno stalno opterećenje: $G = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 0,96 \text{ kN/m'}$

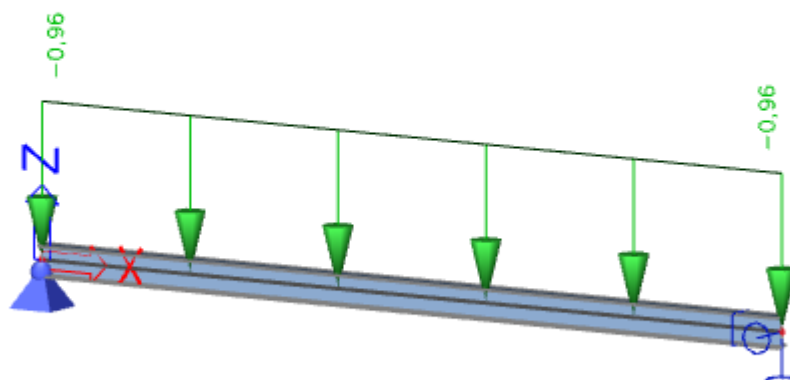
Snijeg: $S = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 0,96 \text{ kN/m'}$

Vjetar W1: $W1 = 1,835 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 4,413 \text{ kN/m'}$

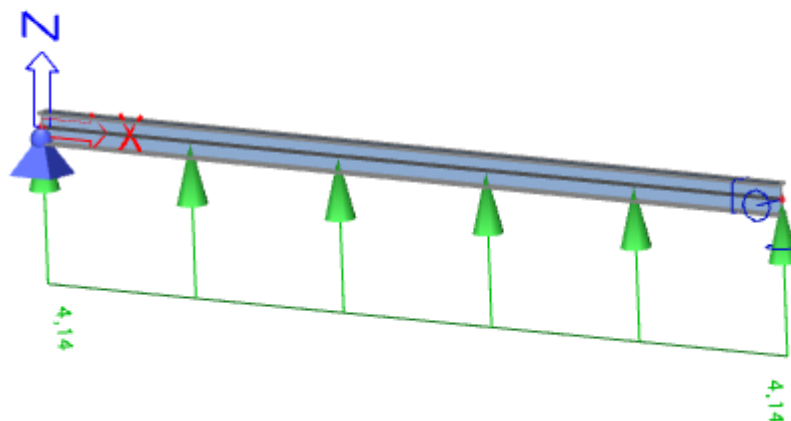
Vjetar W2: $W2 = 0,091 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 0,22 \text{ kN/m'}$



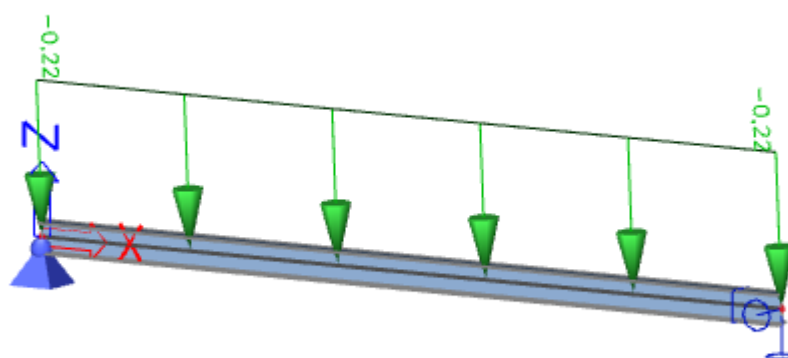
Slika 4.21. Model krovne podrožnice za djelovanje G



Slika 4.22. Model krovne podrožnice za djelovanje snijega S

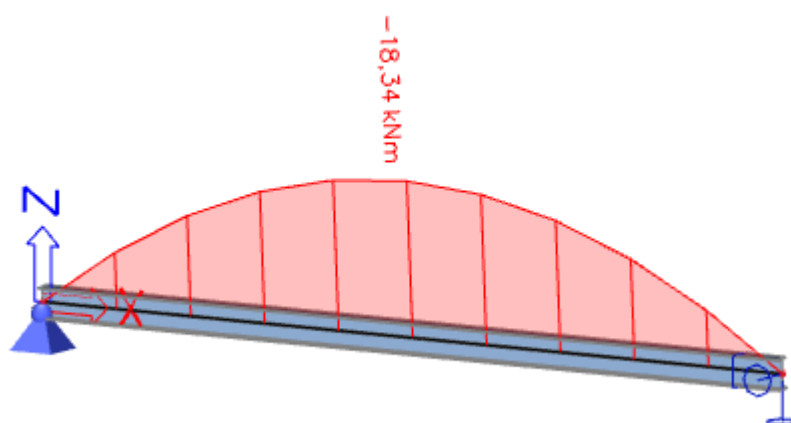


Slika 4.23. Model krovne podrožnice za djelovanje vjetra W1

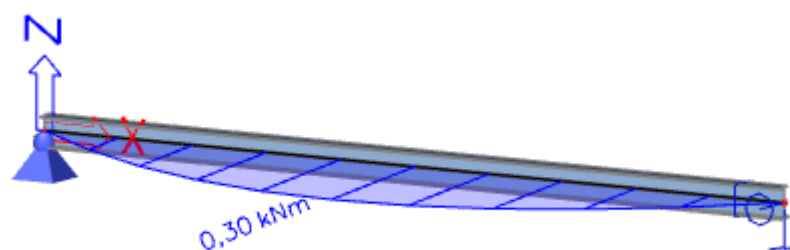


Slika 4.24. Model krovne podrožnice za djelovanje vjetra W2

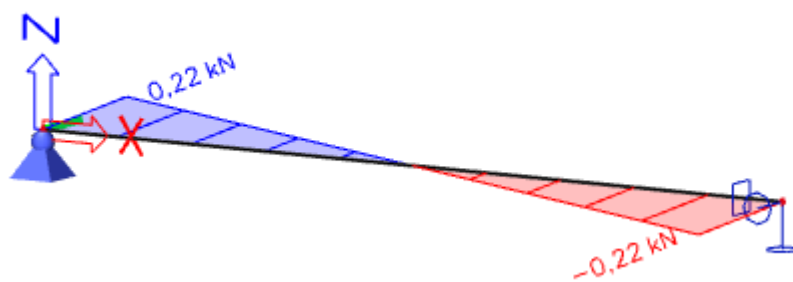
Mjerodavna kombinacija: $1.0 \cdot (G+G1) + 1.5 \cdot W1$



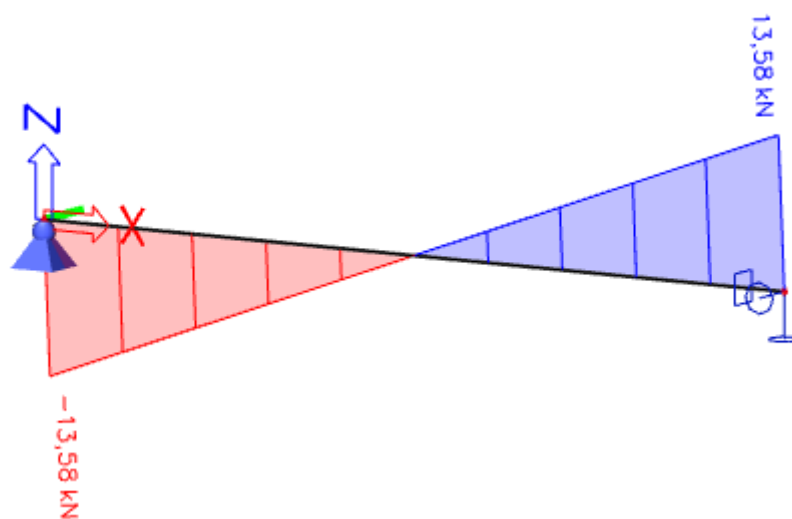
Slika 4.25. Momentni dijagram M_y za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.26. Momentni dijagram M_z za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.27. Dijagram poprečnih sila V_y za mjerodavnu kombinaciju



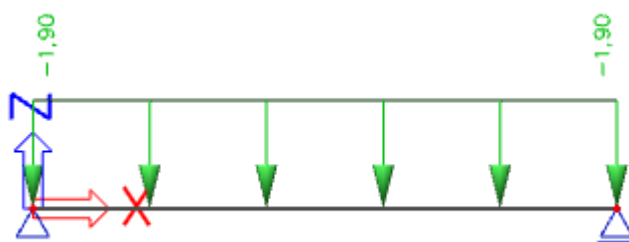
Slika 4.28. Dijagram poprečnih sila V_z za mjerodavnu kombinaciju

4.2.5 BOČNA PODROŽNICA

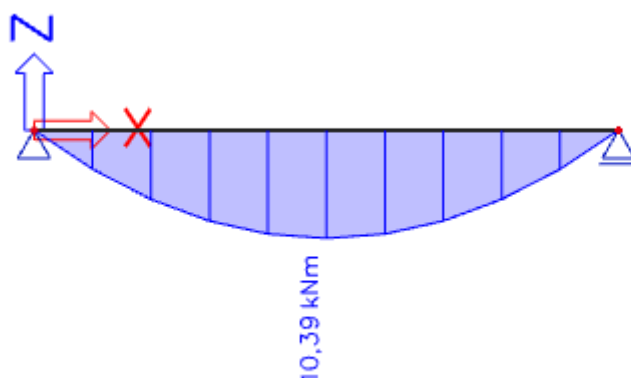
Opterećenje bočne podrožnice je uzeto za područje D i pritisak na vertikalne zidove koji iznosi $w_k=0,88 \text{ kN/m}^2$

$$W_k = w_k \cdot n = 0,88 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,16 \text{ m} = 1,90 \text{ kN/m'}$$

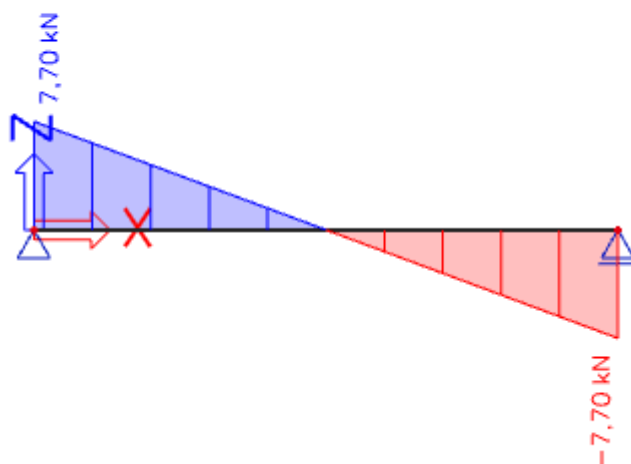
n - razmak između bočnih podrožnica



Slika 4.29. Model bočne podrožnice



Slika 4.30. Momentni dijagram za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.31. Dijagram poprečnih sila za mjerodavnu kombinaciju

5. DIMENZIONIRANJE

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA

Profil: HEA 280

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h = 270 \text{ mm}$

Širina pojasnice: $b = 280 \text{ mm}$

Debljina pojasnice: $t_f = 13 \text{ mm}$

Debljina hrpta: $t_w = 8 \text{ mm}$

Radijus: $r = 24 \text{ mm}$

Površina: $A = 97,3 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 13700 \text{ cm}^4$

$I_z = 4760 \text{ cm}^4$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 1112,5 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 516,67 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja: $I_w = 785370 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 62,1 \text{ cm}^4$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila $\rightarrow M_{y,Ed} = 95,03 \text{ kNm}$

$\rightarrow V_{z,Ed} = 30,05 \text{ kN}$

$\rightarrow N_{Ed} = 85,54 \text{ (tlak)}$

Materijal: S235 $\rightarrow f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

$\rightarrow \varepsilon = 1,00$

$\rightarrow E = 210\,000 \text{ N/mm} \rightarrow \nu = 0,3$

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat

$d = h - 2t_f - 2r = 270 - 26 - 48 = 196 \text{ mm}$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{196}{8} = 24,50$$

$$a = \frac{N_{ed}}{\frac{2 \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}} = \frac{85,54}{\frac{2 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1}} = 2,27$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{19,6} \left(\frac{19,6}{2} + 2,27 \right) = 0,61 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot 1,00}{13 \cdot 0,61 - 1} = 56,50$$

$$24,50 \leq 56,50$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{280 - 8 - 48}{2} = 112 \text{ mm}$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13} = 8,62$$

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

$$8,62 \leq 9,00$$

Pojasnica je klase 1.

Presjek je klase 1.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{97,30 \cdot 23,5}{1} = 2286,55 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2286,55 \text{ kN} > N_{Ed} = 85,54 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{85,54}{2286,55} = 0,037 = 3,70\%$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1112,5 \cdot 23,5}{1} = 26143,75 \text{ kNcm} = 261,44 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 261,44 \text{ kNm} > M_{edy} = 95,03 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 26}{8} = 30,5$$

$$30,5 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$30,5 < 72 \cdot \frac{1,00}{1,20}$$

$$30,5 < 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 97,3 - 2 \cdot 28 \cdot 1,3 + (0,8 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,3 = 31,78 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 24,4 \cdot 0,8 = 23,42 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{31,78 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 431,18 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 431,18 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 30,05 \text{ kN}$$

Interakcija M-V-N

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} \quad \Rightarrow \quad V_{Ed} = 30,05 \text{ kN} < 215,59$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje.

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

$$N_{Ed} = 85,54 \leq 0,25 \cdot 2286,55 = 571,64 \text{ kN}$$

$$2. N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

$$N_{Ed} = 85,54 \leq \frac{0,5 \cdot 24,4 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,0} = 229,36$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Profil HEA 280 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

Uzdužna tlačna otpornost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

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

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} < 1,2 \quad t_f = 13 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Za os y-y: krivulja izvijanja b $\rightarrow (\alpha = 0,34)$

Za os z-z: krivulja izvijanja c $\rightarrow (\alpha = 0,49)$

Izvijanje oko osi y

$$L_{cr,y} = 1300 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 13700}{1300^2} = 1680,17 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{97,30 \cdot 23,5}{1680,17}} = 1,17$$

$$\chi_y = 0,50 \quad \text{za } y-y \Rightarrow \text{krivulja b } (\alpha = 0,34)$$

Izvijanje oko osi z

$$L_{cr,z} = 216,7 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760}{216,7^2} = 21009,13 \text{ kN}$$

$$\lambda_{z,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{97,30 \cdot 23,5}{21009,13}} = 0,33 \quad (\alpha = 0,49)$$

$$\chi_z = 0,93 \quad \text{za } z-z \Rightarrow \text{krivulja b } (\alpha = 0,49)$$

Mjerodavna je manja vrijednost $\chi = 0,50$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,50 \cdot 97,30 \cdot 23,5}{1,0} = 1143,27 > N_{ed} = 85,54 \text{ kN}$$

Otpornost na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right] = 5110,46 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\lambda_{LTcr} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,226 < 0,4$$

$$M_{b,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 261,43 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 261,43 \text{ kNm} > M_{ed} = 95,03 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{95,03}{261,43} = 0,36 = 36,3\%$$

Profil HEA 280 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 36,3%.

Interakcija M-N

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

$$\lambda_{z,cr} = 0,33$$

$$\lambda_{y,cr} = 1,17$$

$$k_{zy} = 0,6 + \lambda_{zcr} \leq \left[1 - \frac{0,1\lambda_{zcr}}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$\Psi = 0$$

$$0,6 + 0,4 \Psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6$$

$$C_{mLT} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (1,17 - 0,2) \cdot \frac{85,54}{0,6 \cdot \frac{2286,55}{1,0}} \right] = 0,643 > 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{85,54}{0,5 \cdot \frac{2286,55}{1,0}} \right] = 0,635$$

$$k_{zy} = 0,6 + 0,33 = 0,93$$

$$\leq \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,33}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{85,54}{0,93 \cdot 2286,55/1,0} \right] = 0,996$$

$$k_{yy} = 0,64$$

$$k_{zy} = 0,93$$

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

$$\frac{85,54}{0,5 \cdot 2286,55/1,0} + 0,64 \cdot \frac{95,03}{1 \cdot 261,43} = 0,31 \leq 1,0$$

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

$$\frac{85,54}{0,93 \cdot 2286,55/1,0} + 0,93 \cdot \frac{95,03}{1 \cdot 261,43} = 0,38 \leq 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 38 %.

5.1.2. GORNJI POJAS REŠETKE

CFRHS 150/150/6

Visina presjeka: $h = 150 \text{ mm}$

Širina presjeka: $b = 150 \text{ mm}$

Debljina: $t_f = 6 \text{ mm}$

Radius: $r = 6 \text{ mm}$

Površina: $A = 33,63 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 1145,9 \text{ cm}^4$

$$I_z = 1145,9 \text{ cm}^4$$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 179,88 \text{ cm}^3$

$$W_{pl,z} = 179,88 \text{ cm}^3$$

Konstanta krivljenja: $I_w = 37969 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 1832,7 \text{ cm}^4$

ULAZNI PODATCI:

Djelovanje: uzdužna sila $\rightarrow N_{Ed} = 380,46 \text{ kN}$ (tlak)

Materijal: S235 $\rightarrow f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

$$\rightarrow \varepsilon = 1$$

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

$$\rightarrow \nu = 0,3$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta

$$d = h - 3t = 150 - 18 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22 < 33\varepsilon = 33$$

Hrbat svrstan u klasu 1

Poprečni presjek svrstan u klasu 1

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{33,63 \cdot 23,5}{1} = 790.305 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 790.305 \text{ kN} > N_{ed} = 380,46 \text{ kN}$$

$$\frac{380,46}{790,305} = 0,48 = 48 \%$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

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

Za valjani pravokutni profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

-za os y-y: krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,49$

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 240,6 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1145,9}{240,6^2} = 4102,75 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{33,63 \cdot 23,5}{4102,75}} = 0,44$$

$$\lambda_y = 0,876$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 480,2 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1145,9}{480,2^2} = 1029,97 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{33,63 \cdot 23,5}{1029,97}} = 0,876$$

$$\lambda_z = 0,616$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0,616$.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,616 \cdot 33,63 \cdot 23,5}{1,0} = 484,89 > N_{ed2} = 383,03 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{380,46}{484,89} = 0,78 = 78,46 \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 78,46 %.

5.1.3. DONJI POJAS REŠETKE

CFRHS 150/150/6

Visina presjeka: $h = 150 \text{ mm}$

Širina presjeka: $b = 150 \text{ mm}$

Debljina: $t_f = 6 \text{ mm}$

Radius: $r = 6 \text{ mm}$

Površina: $A = 33,63 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 1145,9 \text{ cm}^4$

$I_z = 1145,9 \text{ cm}^4$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 179,88 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 179,88 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja: $I_w = 37969 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 1832,7 \text{ cm}^4$

ULAZNI PODATCI:

Djelovanje: uzdužna sila $\rightarrow N_{Ed} = 378,49 \text{ kN}$ (vlak)

Materijal: S235 $\rightarrow f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

$\rightarrow \varepsilon = 1$

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

$\rightarrow \nu = 0,3$

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$d = h - 3t = 150 - 18 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22 < 33\varepsilon = 33$$

$$\frac{d}{t} < 33\varepsilon$$

$$\frac{132}{6} < 33$$

$$22 < 33$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{33,63 \cdot 23,5}{1} = 790,31 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 790,31,27 \text{ kN} > N_{ed} = 379,06 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{378,49}{790,31} = 0,48 = 48 \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 48,0%.

5.1.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA REŠETKE

CFRHS 120x50x5

$$A = 15,36 \text{ cm}^2$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

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

$$N = 251,31 \text{ kN (vlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$d = h - 3t = 120 - 15 = 105 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{105}{5} = 21 < 33\epsilon = 33$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{15,36 \cdot 23,5}{1} = 360,96 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 360,96 \text{ kN} > N_{ed} = 251,31 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{251,31}{360,96} = 0,698 = 70 \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskorištenosti od 70%.

5.1.5. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA REŠETKE

CFRHS 50x50x4

$$A = 6,95 \text{ cm}^2$$

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$I_y = 23,74 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 23,74 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,y} = 11,73 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 11,73 \text{ cm}^3$$

$$N = 78,41 \text{ (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$d = h - 3t = 50 - 12 = 38 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{38}{4} = 9,5 < 33\epsilon = 33$$

$$9,5 < 33$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{6,95 \cdot 23,5}{1} = 163,32 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 163,25 \text{ kN} > N_{ed} = 78,41 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

-za os y-y: krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,49$

$L_{cr} = 96,7 \text{ cm}$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 23,74}{96,7^2} = 526,19 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,95 \cdot 23,5}{526,19}} = 0,557$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,81 \cdot 6,95 \cdot 23,5}{1,0} = 132,29 > N_{ed} = 78,41 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{78,41}{132,29} = 0,59 = 59,27 \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 59,27 %.

5.2. SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

5.2.1. ZABATNI STUPOVI

Profil: HEA 200

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h = 190 \text{ mm}$

Širina pojasnice: $b = 200 \text{ mm}$

Debljina pojasnice: $t_f = 10 \text{ mm}$

Debljina hrpta: $t_w = 7 \text{ mm}$

Radius: $r = 18 \text{ mm}$

Površina: $A = 53,8 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 3690 \text{ cm}^4$

$I_z = 1340 \text{ cm}^4$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 429,17 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 203,75 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja: $I_w = 108000 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 21 \text{ cm}^4$

$$M_{ed} = 49,19 \text{ kNm}$$

$$V = 25,21 \text{ kN}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{190 - 20 - 36}{7} = 19,14$$

$$19,14 < 72\varepsilon = 19,14 < 72$$

Hrbat je klase 1

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{200 - 7 - 36}{2} = 78,5$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{78,5}{10} < 9\varepsilon = 7,85 < 9$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{429,17 \cdot 23,5}{1} = 10085,495 \text{ kNm} = 100,85 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 100,85 > M_{Ed} = 49,19$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{190 - 20}{7} = 24,29$$

$$24,29 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \quad 24,29 < 60$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 53,8 - 2 \cdot 20 \cdot 1 + (0,7 + 2 \cdot 1,8) \cdot 1 = 18,1 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 17 \cdot 0,7 = 14,28 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{18,1 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 245,58 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 245,58 \geq V_{Ed} = 25,21 \text{ kN}$$

Interakcija M-V

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

$$V_{z,Ed} = 14,81 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 122,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 100,85 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{41,32}{100,85} = 0,40 < 1$$

Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right] = 87,50 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{190}{2} = 9,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$L = 797 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429,17 \cdot 23,5}{87,50}} = 1,07 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,07^2}} = 0,62 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,07 - 0,2) + 1,07^2] = 1,16$$

Za krivulju izvijanja $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,62 \cdot \frac{429,17 \cdot 23,5}{1} = 6253,01 \text{ kNcm} = 62,53 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 62,53 > M_{y,Ed} = 49,19$$

$$\eta = \frac{49,19}{62,53} = 0,786 = 0,787 \%$$

Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 78,7 %.

5.2.2. HORIZONTALNI SPREG

Maksimalna vlačna sila: $N = 22,56 \text{ kN}$

$$A = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,54 * 23,5}{1} = 36,19 \text{ kN} > N_{Ed} = 22,56 \text{ kN}$$

Za spregove je odabran profil **RD14**

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{22,56}{36,19} = 0,62 = 62,3 \%$$

Profil RD14, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti $\eta=62,3\%$.

5.2.3 BOČNI SPREG

Maksimalna vlačna sila: $N = 44,5 \text{ kN}$

$$A = 2,009 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{2,01 * 23,5}{1} = 47,23 \text{ kN} > N_{Ed} = 44,50 \text{ kN}$$

Za spregove je odabran profil **RD16**

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{44,50}{47,23} = 0,94 = 94,2 \%$$

Profil RD16, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti $\eta=94,2\%$.

5.2.4.KROVNA PODROŽNICA

Profil: IPE 200

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h = 200 \text{ mm}$

Širina pojasnice: $b = 100 \text{ mm}$

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

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

Radijus: $r = 12 \text{ mm}$

Površina: $A = 28,50 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 1943 \text{ cm}^4$

$I_z = 142 \text{ cm}^4$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 221 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 44,6 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja: $I_w = 13000 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 6,98 \text{ cm}^4$

$$M_{y,Ed} = 18,45 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,30 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,22 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 13,58 \text{ kN}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{200 - 18 - 24}{6} = 26,33$$

$$26,33 < 72 \varepsilon = 29,2 < 72$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{100 - 6 - 24}{2} = 35$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35}{9} < 9 \varepsilon = 3,89 < 9$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka

Savijanje oko osi y-y

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{221 * 23,5}{1} = 5193,5 \text{ kNcm} = 51,94 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 51,94 > M_{Ed} = 18,45$$

Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{44,6 * 23,5}{1} = 1048,1 \text{ kNcm} = 10,48 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 10,48 > M_{Ed} = 0,30$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru osi z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{200 - 18}{6} = 30,3$$

$$30,3 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 30,3 < 60$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} * (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 28,5 - 2 * 10 * 0,9 + (0,6 + 2 * 1,2) * 0,9 = 13,2 \text{ cm}^2 \geq 1,2 * 18,2 * 0,6 = 13,10 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13,2 * (\frac{23,5}{\sqrt{3}})}{1}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,10 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,10 \geq V_{Ed} = 13,58 \text{ kN}$$

U smjeru osi y

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} * (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$

$$A_{v,y} = A - \sum h_w * t_w$$

$$A_{v,y} = 28,5 - \sum 18,2 * 0,6 = 17,58 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17,58 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 238,52 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,22 \text{ kN}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

Presjek: $5.4/4 = 1.35$

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

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

Poprečna sila u smjeru osi z

$$V_z = 6,79 \text{ kN}$$

$$0,5 * V_{pl,z,Rd} = 0,5 * 179,10 = 89,55 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,79 < 0,5 * V_{pl,z,Rd} = 89,55 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Poprečna sila u smjeru osi y

$$V_y = 0,11 \text{ kN}$$

$$0,5 * V_{pl,y,Rd} = 0,5 * 238,52 = 119,26 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,11 < 0,5 * V_{pl,y,Rd} = 119,26 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

$$\left(\frac{18,43}{51,93}\right)^2 + \left(\frac{0,30}{10,48}\right)^1 \leq 1,0 = 0,15 < 1$$

Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right] = 24,30 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$L = 540 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 23,5}{2429,51}} = 1,46 > 0,4$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,70 + \sqrt{1,70^2 - 1,46^2}} = 0,39 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,70$$

Za krivulju izvijanja $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,39 \cdot \frac{221 \cdot 23,5}{1} = 2025,46 \text{ kNcm} = 20,02 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 20,02 > M_{y,Ed} = 18,43$$

$$\eta = \frac{18,43}{20,02} = 0,9205 = 92,05 \%$$

Interakcija My i Mz

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

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

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

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

$$L_{cr,z} = 540 \text{ cm}$$

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

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

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

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

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

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

$$k_{yz} = 0,57$$

$$k_{zy} = 1$$

$$0 + 0,95 \cdot \frac{18,43}{0,39 \cdot 51,93} + 0,57 \cdot \frac{0,30}{10,48} = 0,88 \leq 1,0$$

$$0 + 1 \cdot \frac{18,43}{0,39 \cdot 51,93} + 0,95 \cdot \frac{0,30}{10,48} = 0,937 \leq 1,0$$

Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 94%.

5.2.5. BOČNA PODROŽNICA

Profil: IPE 180

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h = 180 \text{ mm}$

Širina pojasnice: $b = 91 \text{ mm}$

Debljina pojasnice: $t_f = 8 \text{ mm}$

Debljina hrpta: $t_w = 5 \text{ mm}$

Radijus: $r = 9 \text{ mm}$

Površina: $A = 23,9 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 1317 \text{ cm}^4$

$I_z = 101 \text{ cm}^4$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 166 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 34,6 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja: $I_w = 7430 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 4,79 \text{ cm}^4$

$$M_{y,Ed} = 10,39 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,70 \text{ kN}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{180 - 16 - 18}{5} = 29,2$$

$$29,2 < 72 \varepsilon = 29,2 < 72$$

Hrbat je klase 1

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{91 - 5 - 18}{2} = 34$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} < 9\varepsilon = 4,25 < 9$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1

Otpornost poprečnog presjeka

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{166 * 23,5}{1} = 3901 \text{ kNcm} = 39,01 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 39,01 > M_{Ed} = 10,39$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{180 - 16}{5} = 32,8$$

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

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 23,9 - 2 \cdot 9,1 \cdot 0,8 + (0,5 + 2 \cdot 0,9) \cdot 0,8 = 11,18 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 16,4 \cdot 0,5 = 9,84 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{11,18 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 151,69 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 151,69 \geq V_{Ed} = 7,70 \text{ kN}$$

Interakcija M-V

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 151,69 = 75,84 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,70 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 75,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 39,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{10,39}{39,01} = 0,27 < 1$$

Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right] = 16,99 \text{ kNm}$$

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

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$L = 540 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166 \cdot 23,5}{1698,82}} = 1,52 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,37 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,52 - 0,2) + 1,52^2] = 1,79$$

Za krivulju izvijanja $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,37 \cdot \frac{166 \cdot 23,5}{1} = 1443,37 \text{ kNcm} = 14,43 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,43 > M_{y,Ed} = 10,39$$

$$\eta = \frac{10,39}{14,43} = 0,719 = 71,98 \%$$

Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 72%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1. SPOJ STUP-TEMELJ

Veličine djelovanja

$$N_{Ed} = 85,54 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 95,03 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 30,05 \text{ kN}$$

Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

Poprečni presjek:

Profil: HEA 280

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h = 270 \text{ mm}$

Širina pojasnice: $b = 280 \text{ mm}$

Debljina pojasnice: $t_f = 13 \text{ mm}$

Debljina hrpta: $t_w = 8 \text{ mm}$

Radius: $r = 24 \text{ mm}$

Površina: $A = 97,3 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti: $I_y = 13700 \text{ cm}^4$

$I_z = 4760 \text{ cm}^4$

Momenti otpora: $W_{pl,y} = 1112,5 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 516,67 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja: $I_w = 785370 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta: $I_t = 62,1 \text{ cm}^4$

Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N_p^M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{95,03}{0,27 - 0,013} = 369,77 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{28 \cdot 1,3}{97,3} \cdot 85,54 = -32,00 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_p^M + N_p^N = 369,77 - 32,00 = 337,77 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

KONTROLA VAROVA

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice

$$l \approx 2 \cdot 280 = 560 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta

$$l \approx 2 \cdot 244 = 488 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a=5 \text{ mm}$

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129,9}{1,25} \cdot \frac{560}{100} = 581,95 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 337,77 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129,9}{1,25} \cdot \frac{488}{100} = 507,13 \text{ kN} > V_{Ed} = 30,05 \text{ kN}$$

PRORAČUN VIJAKA

Uz pretpostavku vijaka M-27 udaljenost $c_{\min}$ vijaka od ruba pojasnice iznosi

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 27 + 5\sqrt{2} = 61,07$$

-usvojeni $c=65 \text{ mm}$

-ekscentricitet uzdužne sile

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{95,03}{85,54} = 1,11 \text{ m}$$

-ekscentricitet

$$x_1 = 65 + 270 - 6,5 = 328,5 \text{ mm} = 0,329 \text{ m}$$

$$x_2 = 1110 - 270/2 + 6,5 = 981,5 \text{ mm} = 0,9815 \text{ m}$$

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Ed} \cdot x_1 \quad \Rightarrow \quad F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 85,54 \cdot \frac{0,9815}{0,329} = 238,81 \text{ kN}$$

PRORAČUN VIJAKA

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{206,6}{1,25} = 165,28 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = 119,41 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{137,7}{1,25} = 110,16 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{30,05}{4} = 7,51 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$
$$\frac{7,51}{110,16} + \frac{119,41}{1,4 \cdot 165,28} \leq 1,0 \Rightarrow 0,58 \leq 1,0$$

PRORAČUN PLOČE

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 270 + 2 \cdot (65 + 70) = 540 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 5\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 314,14 \text{ mm}$$
$$= p_2 + 2e_2 = 90 + 2 \cdot 55 = 200 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 540x320 mm

Proračun debljine ploče - t_{pl}^{min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{30,05}{4} = 7,51 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$
$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{182,3}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 7,51 \text{ kN} \Rightarrow t_{pl}^{min} = 0,515 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{540 - 270 + 13}{2} = 141,5 \text{ mm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 238,81 + 85,54 = 324,35 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{b,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{324,35}{\frac{3 \cdot 14,15 \cdot 32,0}{2}} = 0,48 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$M_{Ed} = F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$
$$= \frac{2}{3} \cdot 4800 \cdot 0,1415 \cdot 0,320 \cdot \frac{0,1415}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 4800 \cdot 0,1415 \cdot 0,320}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,1415 = 13,67 \text{ kNm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 238,81 \cdot (0,065 + 0,0065) = 17,07 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{pl} \cdot f_y}{1,1}$$

$$W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6}$$

$$t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1707 \cdot 6}{32 \cdot 23,5}} = 3,87 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče 540x320x55 mm.

6.2 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

$$N_{Ed} = 347,35kN$$

$$150/150/6$$

KONTROLA VAROVA

Određivanje maksimalne debljine vara

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

odabrano $a = 4mm$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 150 = 600mm$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{103,9}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 498,72kN > N_{Ed} = 347,35kN$$

PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: vijci M20 k.v.8.8

n=4vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{176,4}{1.25} = 141,12 kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{347,35}{4} = 86,84kN < F_{t,Rd} = 141,12kN$$

PRORAČUN PLOČE

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,66mm$$

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

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 150 + 11,31 + 20 = 181,31mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 314x314mm

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

$$e=32\text{mm}$$

$$b_{pl}=314\text{mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 86,84 \cdot 0.032 = 5,56 \text{ kNm}$$

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

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 556 \cdot 6}{314 \cdot 23.5}} = 0,70\text{cm}$$

Zadovoljava ploča debljine $t_{pl} = 10\text{mm}$

Odabrane dimenzije ploče su **314x314x10mm.**

6.3. ZGLOBNI SPOJ STUP-REŠETKA

$$V_{Ed} = 10,95 \text{ kN}$$

STUP HEA 280 *Profil: MSH 150x150x6*

$$A = 97,3 \text{ cm}^2$$

$$h = 270 \text{ mm}$$

$$b = 280 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

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

KONTROLA VAROVA

Dužina vara hrpta

$$l_1 = 2 * (h - 2 * t_f) = 2 * (270 - 2 * 13) = 488 \text{ mm}$$

Dužina vara pojasa

$$l_2 = 0 = 4 * 150 = 600 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

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

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

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{488}{100} = 405,63 \text{ kN} > V_{Ed} = 10,95 \text{ kN}$$

PRORAČUN VIJAKA

Odabrani vijci: M12; kv 8.8

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 2 vijka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{40,5}{1,25} = 32,4 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{10,95}{2} = 5,47 \text{ kN}$$

$$\frac{5,47}{32,4} \leq 1,0$$

$$0,16 \leq 1,0$$

PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE

Proračun širine i dužine ploče:

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 311,31 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 320x320 mm

Proračun debljine ploče - t_{pl}^{min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{2} = \frac{10,95}{2} = 5,47 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} * \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} * \gamma_{Mb} * 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{5,47 * 1,25 * 10}{83,1} = 0,82 \text{ mm}$$

Usvojene dimenzije ploče 320x320x14 mm.

7. PRORAČUN TEMELJA

ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA

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

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

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

MATERIJAL

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

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

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

REZNE SILE

$$N_{Sd} = -85,54 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 30,05 \text{ kN}$$

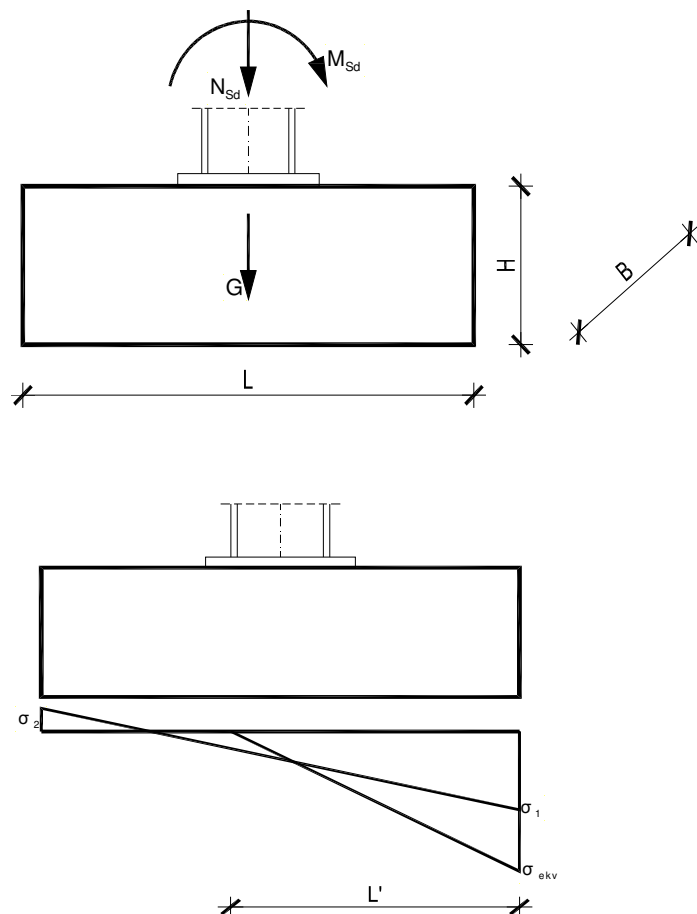
$$M_{Sd} = 95,03 \text{ kNm}$$

Površina temeljne stope

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

Težina temeljne stope

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



Moment otpora temeljne stope

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

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

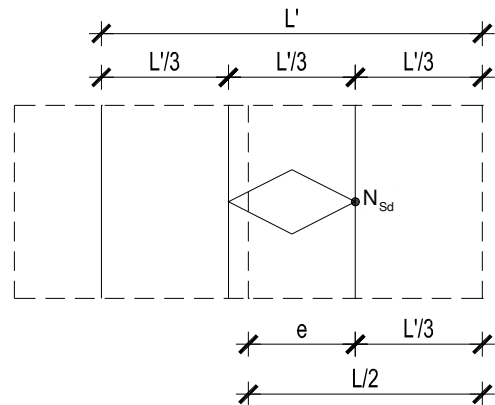
$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{sd} + G}{A} \pm \frac{M_{sd}}{W} = \frac{85,54 + 100,0}{4,0} \pm \frac{95,03}{1,33} = 46,39 \pm 71,45$$

$$\sigma_1 = 117,84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_2 = -25,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd} + G} = \frac{95,03}{85,54 + 100,0} = 0,5 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2,0}{2} - 0,5 \right) = 1,5 \text{ m}$$

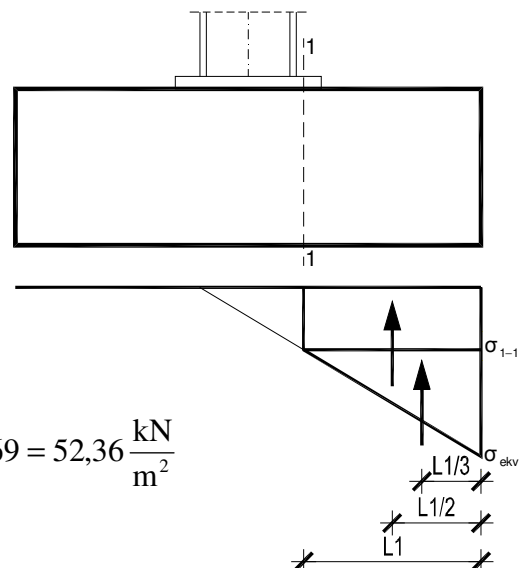


$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (85,54 + 100,0)}{1,5 \cdot 2,0} = 123,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{ila, \lim} = 300,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

PRORAČUN ARMATURE TEMELJA

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,27}{2} = 0,865 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1,5 - 0,865}{1,5} \cdot 123,69 = 52,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



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

$$M_{Sd}^{1-1} = 1,4 \cdot \left(52,36 \cdot \frac{0,865^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{123,69 - 52,36}{2} \cdot 0,865 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,865 \right) = 104,66 \text{ kNm}$$

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

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{10466}{80 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 3,01 \text{ cm}^2 < A_{S1, \min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 20,0 \text{ cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura → ø12/10 19 kom = 21,48 cm²
 razdjelna armatura → ø8/25

8. LITERATURA

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

9.NACRTI

9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA

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

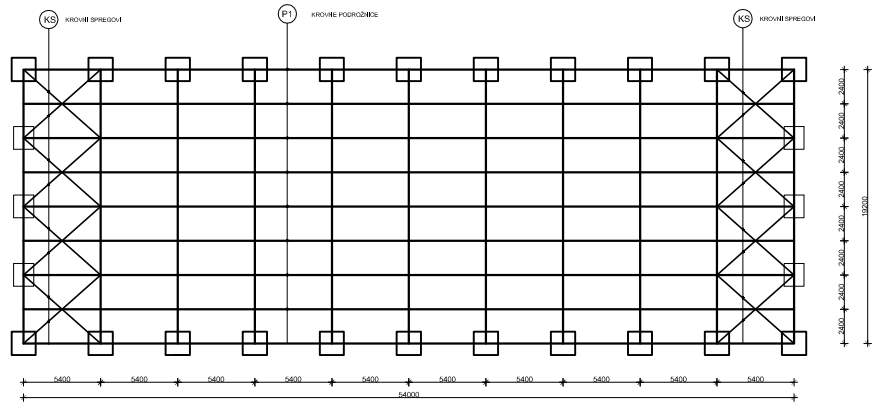
9.6 DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA

9.7 DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

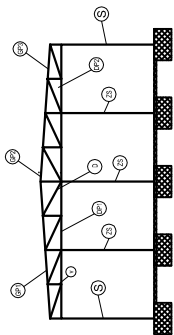
10. ISKAZ MATERIJALA

9.1 GENERALNI
PLAN POZICIJA
M 1:150

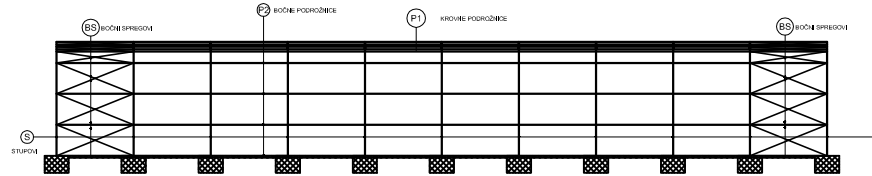
TLOCRTNI POGLLED



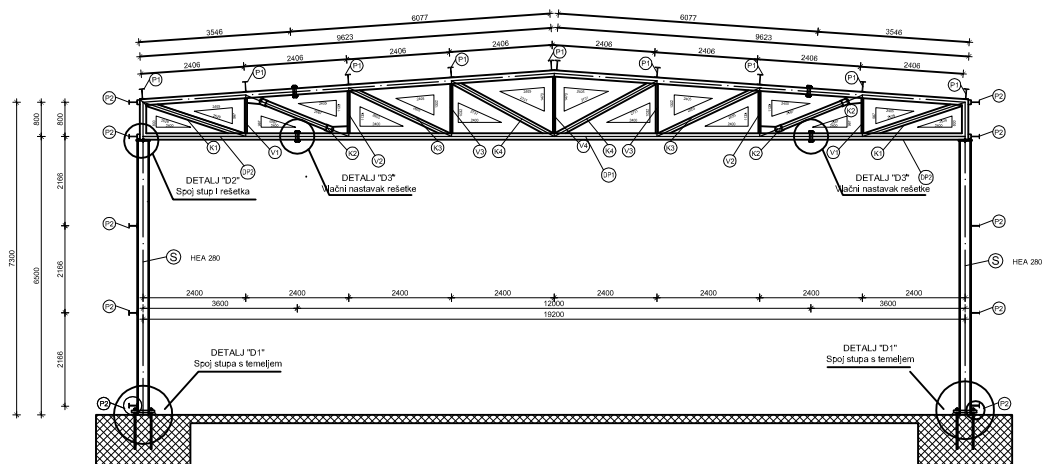
BOČNI POGLLED



UZDUŽNI POGLLED



- S - STUP HEA 280
- P1 - KROVNA PODROŽNICA IPE 200
- P2 - BOČNA PODROŽNICA IPE 180
- KS - KROVNI SPREGOVI RD 14
- BS - BOČNI SPREGOVI RD 16
- GP1 - GORNJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
- GP2 - GORNJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
- GP3 - GORNJA POJASNICA 3 CFRHS 150/150/6
- DP1 - DONJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
- DP2 - DONJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
- ZS - ZABATNI STUP HEA 200
- D - DIJAGONALA CFRHS 120/50/5
- V - VERTIKALA CFRHS 50/50/4



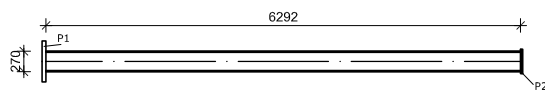
9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR
M 1:50

- S - STUP HEA 280
P1 - KROVNA PODROŽNICA IPE 200
P2 - BOČNA PODROŽNICA IPE 180
GP1 - GORNJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
GP2 - GORNJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
GP3 - GORNJA POJASNICA 3 CFRHS 150/150/6
DP1 - DONJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
DP2 - DONJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
K - DIJAGONALA CFRHS 120/50/5
V - VERTIKALA CFRHS 50/50/4

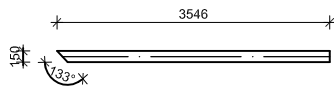
Napomena:
Materijal konstrukcije za sve elemente
je S235.

9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

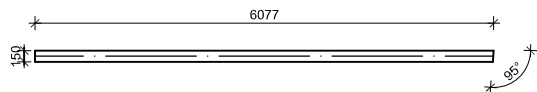
STUP (S) HEA 280, I=629,2 mm, 22 kom



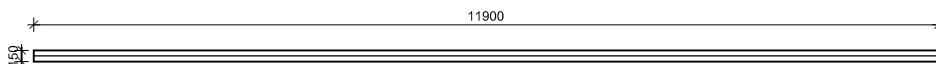
GORNJA POJASNICA (GP1) 150/150/6, I=3546 mm, 22 kom



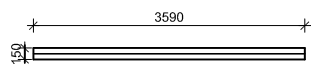
GORNJA POJASNICA (GP1) 150/150/6, I=6077 mm, 22 kom



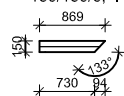
DONJA POJASNICA (DP1) 150/150/6, I=11900 mm, 11 kom



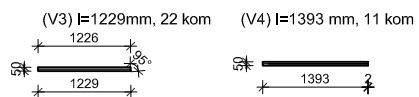
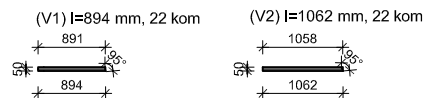
DONJA POJASNICA (DP2) 150/150/6, I=3590 mm, 22 kom



BOČNA POJASNICA (BP)
150/150/6, I=869 mm, 22 kom



ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE CFRHS 50/50/4

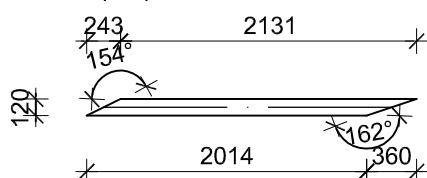


 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija		
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI	Marilja Relota	
	SADRŽAJ	Radionički nacrt, glavni nosač	MJERILO
	DATUM	lipanj 2019.	BROJ PRILOGA
			3

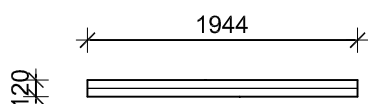
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, CFRHS 120/50/5

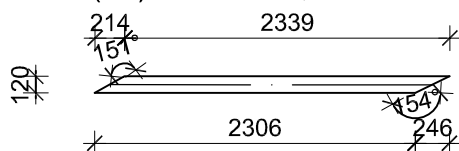
(K1) $l=2374$ mm, 22 kom



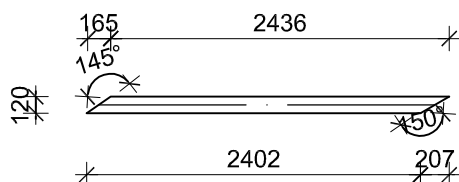
(K2) $l=1944$ mm, 22 kom



(K3) $l=2553$ mm, 22 kom



(K4) $l=2609$ mm, 22 kom



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI

Marija Relota

SADRŽAJ

Radionički nacrt, glavni nosač

MJERILO

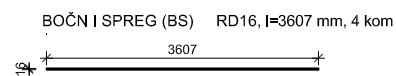
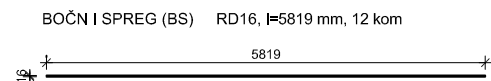
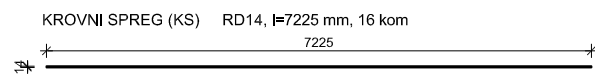
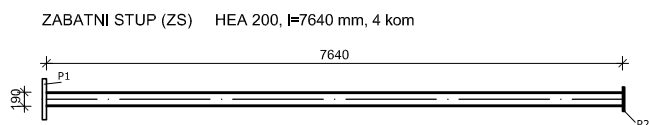
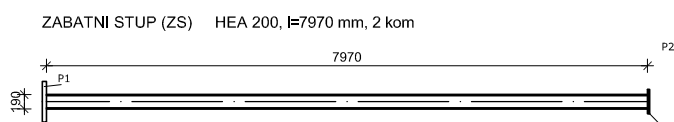
1:50

BROJ PRILOGA

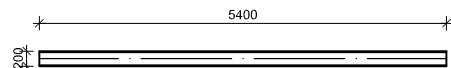
4

DATUM

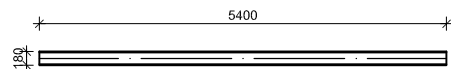
9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50



KROVNA PODROŽNICA (P1) IPE 200, l=5400 mm, 100 kom

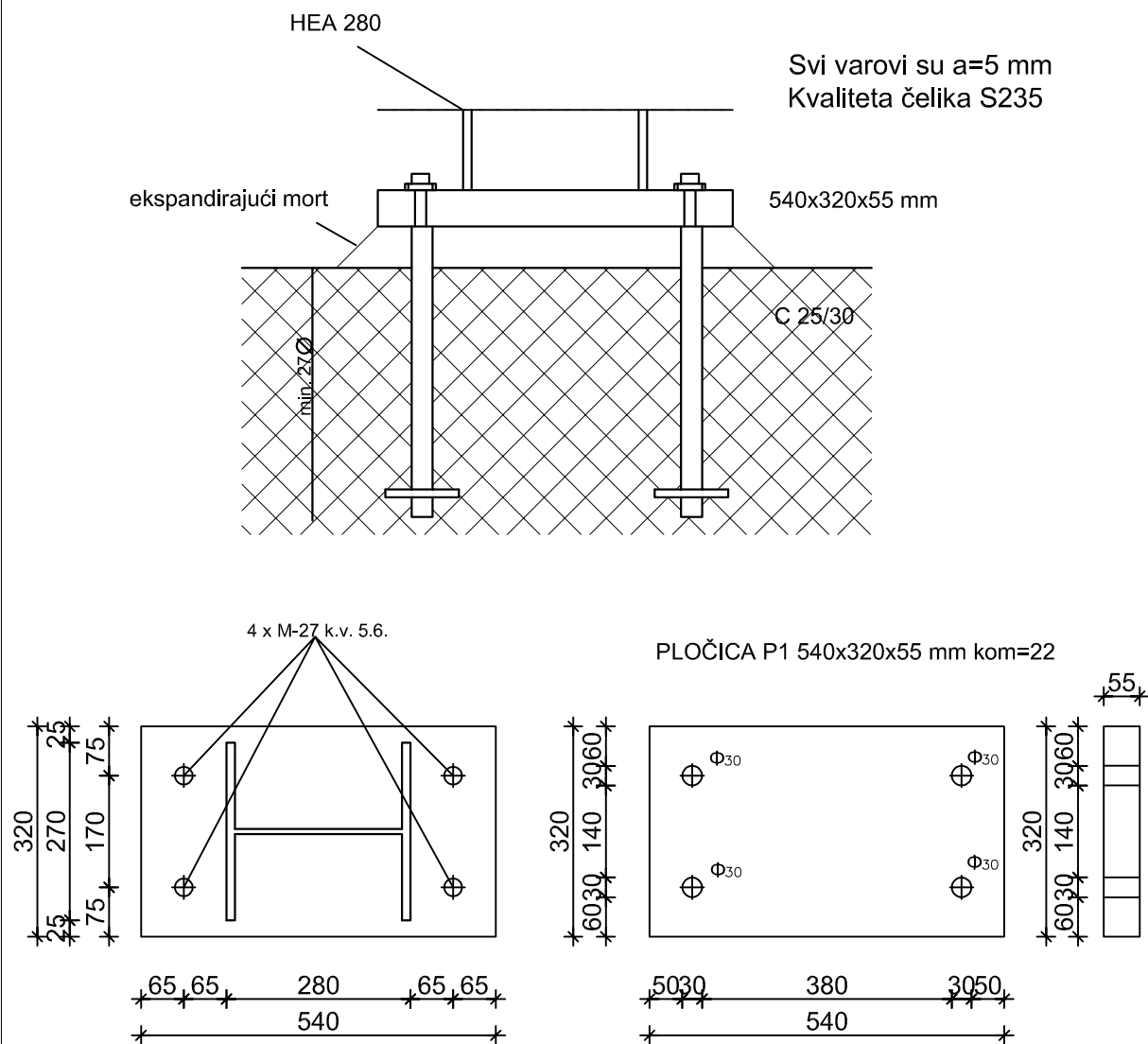


BOČNA PODROŽNICA (P2) IPE 180, l=5400 mm, 100 kom



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija		
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI	Marilja Relota	
	SADRŽAJ	Radionički nacrt, sekundarni nosač	MJERILO
	DATUM	lipanj 2019.	BROJ PRELOGA

9.5 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ M 1:10



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI
Marija Relota

SADRŽAJ
Detalj spoja stup-temelj

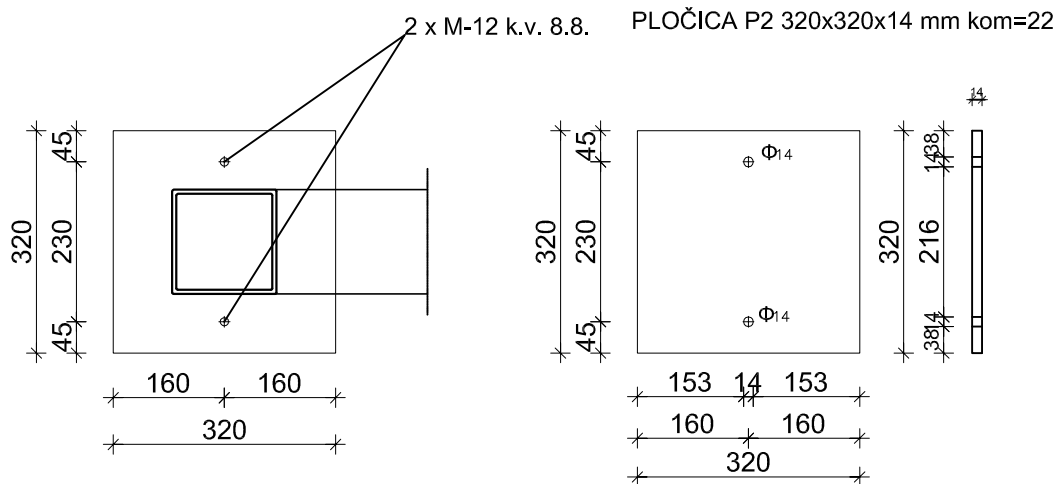
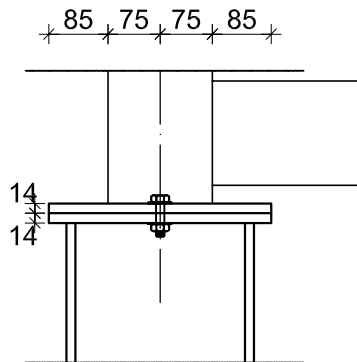
DATUM
lipanj 2019.

MJERILO
1:10

BROJ PRILOGA
6

9.6 ZGLOBNA VEZA STUP-REŠETKA

M 1:10



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI

Marija Relota

SADRŽAJ

Spoj stup-rešetka

MJERILO

1:10

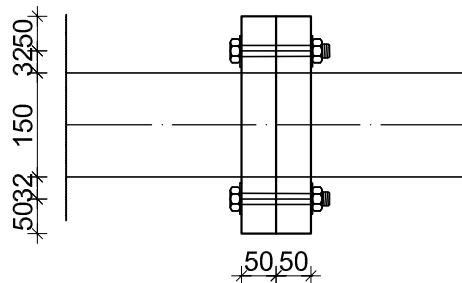
BROJ PRILOGA

7

DATUM

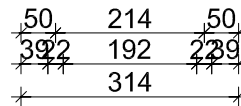
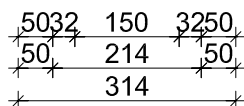
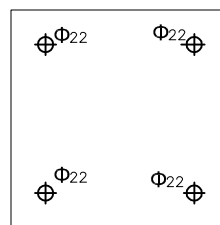
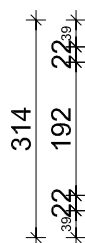
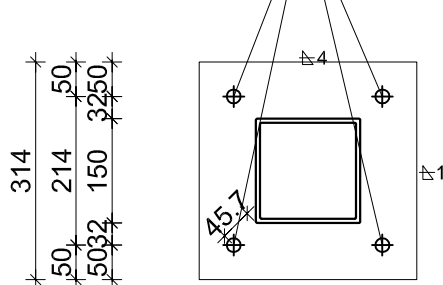
lipanj 2019.

9.7 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10



4 x M-20 k.v. 8.8

PLOČICA P3 314x314x10 mm kom=88



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI

Marija Relota

SADRŽAJ

Vlačni nastavak rešetke

MJERILO

1:10

BROJ PRILOGA

8

DATUM

lipanj 2019.

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 280	6500	22	76,38	10922,34
Donji pojas (DP1)	150x150x6	3600	22	26,4	2090,88
Donji pojas (DP2)	150x150x6	12000	11	26,4	3484,8
Gornji pojas (GP1)	150x150x6	3546	22	26,4	2059,52
Gornji pojas (GP2)	150x150x6	6077	22	26,4	3529,52
Vertikala (V1)	50x50x4	967	22	5,46	116,16
Vertikala (V2)	50x50x4	1135	22	5,46	136,34
Vertikala (V3)	50x50x4	1303	22	5,46	156,52
Vertikala (V4)	50x50x4	1470	11	5,46	88,29
Dijagonala (D1)	120x50x5	2131	22	12,06	565,40
Dijagonala (D2)	120x50x5	1944	22	12,06	515,78
Dijagonala (D3)	120x50x5	2553	22	12,06	677,36
Dijagonala (D4)	120x50x5	2609	22	12,06	692,22
Pločica (P1)	540x320x55	Proračun preko zapremnine	22	7850 (kg/m ³)	1641,34
Pločica (P2)	320x320x14	Proračun preko zapremnine	22	7850 (kg/m ³)	247,58
Pločica (P3)	314x314x10	Proračun preko zapremnine	88	7850 (kg/m ³)	681,1
Krovna podrožnica (P1)	IPE200	5400	100	22,37	12079,8
Bočna podrožnica (P2)	IPE180	5400	100	18,76	10130,4
Kr. spreg (KS)	Ø14	7225	16	1,21	139,88
Boč. spreg (BS1)	Ø16	5816	24	1,58	220,54
Boč. spreg (BS2)	Ø16	5459	8	1,58	69,0
Zabatni stup(ZS1)	HEA200	7970	2	42,23	673,15
Zabatni stup(ZS2)	HEA200	7640	4	42,23	1290,54
Ukupno (kg) +2,0% spojna sredstva					52208,46 1044,17
UKUPNO (kg)					53252,63
UKUPNO (kg/m ²)					51,36



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUDENT	Marija Relota, 4475	
SADRŽAJ	Predmjer materijala	MJERILO
DATUM	rujan 2019.	BROJ PRILOGA



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:	Prediplomski sveučilišni studij Građevinarstvo
2.	KANDIDAT/KINJA:	Relota Marija
3.	BROJ INDEKSA:	4475
4.	KATEDRA:	Katedra za metalne i drvene konstrukcije
5.	PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija
6.	DATUM OBRANE:	19.09.2019.
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 Rijeke. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i promjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila su dobiveni 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: its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Rijeka. 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.



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

UNIVERSITY OF SPLIT
**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY**

Napomena:

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