

Proračun drvenog rešetkastog krovništva proizvodne hale dimenzija 51,0 x 17,6 m

Zrno, Antonija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:123:574832>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Antonija Zrno

Split, 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun drvenog rešetkastog krovišta proizvodne hale
dimenzija 51,0 x 17,6 m

Završni rad

Split, 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **Antonija Zrno**

MATIČNI BROJ (JMBAG): **4565**

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

PREDMET: **Osnove drvenih konstrukcija**

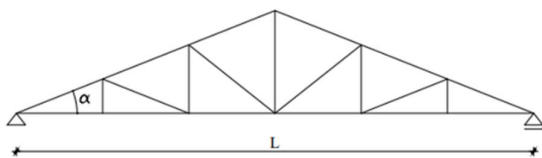
ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun drvenog rešetkastog krovišta proizvodne hale dimenzija 51,0x17,6m

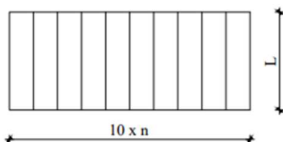
Opis zadatka:

Treba konstruirati i dimenzionirati nosivi sustav krovne konstrukcije prema skici.

POPREČNI PRESJEK



TLOCRT



ZADANI PODACI

- Raspon rešetke:	L = 17.6 m
- Razmak okvira:	n = 5.1 m
- Nagib krovne plohe:	20°
- Materijal izrade:	C24
- Uporabna klasa:	2
- Lokacija objekta:	Rijeka
- Kat. zemljišta:	1

Potrebno je izvršiti dimenzioniranje nosive konstrukcije na slici odnosno izvršiti kontrolu graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti konstrukcije prema EC5.

Potrebno je napraviti dodatnu analizu nosive konstrukcije kako slijedi:

- dimenzioniranje svih spojeva nosive konstrukcije prema EC5,
- proračun nosivosti konstrukcije uslijed djelovanja požara u trajanju od 30 min prema EC5.

U Splitu, 06.04.2021.

Voditelj Završnog rada: Izv.prof.dr.sc. Neno Torić

Sažetak:

Dimenzioniranje drvenog rešetkastog nosača krovišta proizvodne hale zadanih dimenzija i vjetrovnih spregova na utjecaj kritične kombinacije opterećenja. Dimenzionirani su svi spojevi drvenog rešetkastog nosača prema EC5. Proveden je proračun otpornosti svih drvenih elemenata na požar u trajanju od 30 minuta prema EC5. Priloženi su detalji pojedinih spojeva, generalni plan pozicija, radionički nacrt glavnog nosača te iskaz materijala.

Ključne riječi:

Drvo, dimenzioniranje, statički proračun, kritična kombinacija opterećenja, rešetkasta konstrukcija, nosiva konstrukcija, glavni nosač, sekundarna konstrukcija, vjetrovni spregovi, porožnica, požar, spojevi.

Calculation of the wooden truss roof of the production hall with dimensions 51,0 x 17,6 m

Abstract:

Design of the wooden truss roof of the production hall of given dimensions and wind bracings on the influence of the critical combination of loads. All joints of the wooden lattice structure are dimensioned according to EC5. The calculation of fire resistance of all wooden elements for 30 minutes according to EC5 was performed. Details of individual joints, general plan of positions, workshop plan of the main structure and statement of materials are attached.

Keywords:

Timber, dimensioning, static calculations, critical combination of loads, wooden lattice, supporting structure, main structure, secondary structure, wind bracings, fire, joints.

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	TEHNIČKI OPIS	1
2.1	Konstruktivni sustav krova.....	1
2.2	Statička analiza sustava.....	1
2.3	Opis konstruktivnih elemenata.....	2
2.3.1	Glavni nosači.....	2
2.3.2	Podrožnice.....	2
2.3.3	Spreg	2
2.4	Pokrov	2
2.5	Materijali	3
2.5.1	Drveni elementi	3
2.5.2	Metalni elementi.....	3
2.6	Zaštita.....	3
2.6.1	Zaštita drvenih elemenata.....	3
2.6.2	Zaštita metalnih elemenata.....	3
2.7	Montaža i transport.....	3
3	ANALIZA DJELOVANJA.....	5
3.1	Stalno opterećenje	5
3.2	Opterećenje snijegom.....	6
3.3	Opterećenje vjetrom	8
3.3.1	Osnovna brzina vjetra V_b	8
3.3.2	Osnovni pritisak vjetra q_b	9
3.3.3	Srednja brzina vjetra v_{mz}	9
3.3.4	Intenzitet turbulencije I_v(z)	10
3.3.5	Pritisak brzine vjetra pri udaru q_p(z)	10
3.3.6	Određivanje koeficijenata pritiska vjetra	11
3.3.7	Proračun opterećenja od vjetra za svaki mogući slučaj:.....	18
3.3.8	Proračun sila u čvorovima srednjeg okvira uslijed djelovanja najnepovoljnije kombinacije (1. i 2.) vjetra	22
4	GRANIČNO STANJE UPORABJIVOSTI.....	24
5	MODELI OPTEREĆENJA.....	29
5.1	N-dijagrami svakog pojedinog opterećenja na krovnu rešetku	29
5.2	Dijagrami unutrašnjih sila za svaku kombinaciju na krovnoj rešetki.....	31
5.3	Podrožnice u sustavu stabilizacije.....	35

5.4	KROVNI SPREG	38
5.4.1	Opterećenje od vjetra na zabatne stupove-aproksimacija	38
5.4.2	Trenje po plohi krova	38
5.4.3	Izbočavanje (stabilizacija).....	39
6	GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI	41
6.1	Gornji pojas	42
6.2	Donji pojas	45
6.3	Vertikale.....	48
6.4	Dijagonale	50
6.5	Podrožnice u sustavu stabilizacije.....	52
6.6	Čelične vlačne dijagonale krovnoa sprega	55
7	POŽARNA OTPORNOST	56
7.1	Dijagrami unutarnjih sila na glavnom nosaču za kritičnu izvanrednu kombinaciju	57
7.2	Analiza djelovanja požara na krovni spreg	62
7.2.1	Opterećenje od vjetra na zabatne stupove-aproksimacija	62
7.2.2	Trenje po plohi krova	62
7.2.3	Izbočavanje (stabilizacija).....	63
7.3	Dimenzioniranje na požar	65
7.3.1	Gornji pojas.....	65
7.3.2	Donji pojas	68
7.3.3	Vetikale	70
7.3.4	Dijagonale	73
7.3.5	Podrožnice u sustavu stabilizacije.....	76
8	PRORACUN SPAJALA	80
8.1	Vlačni spoj donjeg pojasa DP1 i DP2	80
8.2	Spoj donjeg pojasa DP1 i gornjeg pojasa GP dvostrukim zasjekom.....	84
8.3	Spoj donjeg pojasa DP1 i vertikalne ispune rešetke V1	87
8.4	Spoj donjeg pojasa DP1, dijagonalne ispune D1 i vertikalne ispune rešetke V2.....	91
8.5	Spoj gornjeg pojasa GP , vertikalne ispune rešetke V1 i dijagonalne ispune rešetke D1	97
8.6	Spoj gornjeg pojasa GP, vertikalne ispune rešetke V2 i dijagonalne ispune rešetke D2	100
8.7	Spoj donjeg pojasa D1, dijagonalne ispune D2 i vertikalne ispune rešetke V3	106
8.8	Spoj dva GP i vertikalne ispune rešetke V3	112
9	ZAKLJUČAK	119
10	LITERATURA.....	120
11	PRILOZI	121
11.1	Generalni plan pozicija.....	122

11.2	Radionički nacrt glavnog nosača.....	123
11.3	Detalj spoja 1.....	124
11.4	Detalj spoja 2.....	125
11.5	Detalj spoja 3.....	126
11.6	Detalj spoja 4.....	127
11.7	Detalj spoja 5.....	128
11.8	Detalj spoja 6.....	129
11.9	Detalj spoja 7.....	130
11.10	Detalj spoja 8.....	131
11.11	Iskaz materijala.....	132

1 UVOD

Kao zadatak za završni rad zadana je geometrija drvenog rešetkastog krovnoga nosača dimenzija 51,0 x 17,6 m. Objekt se nalazi lokaciji grada Rijeka, kategorija zemljišta je I. Materijal izrade je drvo C24 , druge klase.

Prema zadanim podacima i odabranim presjecima potrebno je izvršiti kontrolu graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti konstrukcije prema EC5 na djelovanje kritične kombinacije opterećenja od vlastite težine, dodatnog stalnog opterećenja, vjetra i snijega .

Dimenzioniraju se svi spojevi glavnog nosača nosive konstrukcije na kritičnu kombinaciju opterećenja prema EC5.

Potrebno je proračunati nosivost drvenih elemenata konstrukcije na djelovanje požara u trajanju od 30 min prema EC5.

2 TEHNIČKI OPIS

2.1 Konstruktivni sustav krova

Drveni rešetkasti nosač raspona je $L = 17,6$ m. Visina nosača u tjemenu iznosi $h = 3,20$ m, a kut nagiba krovne plohe je $\alpha = 20$ stupnjeva. Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i razmak među njima je $n = 5,1$ m. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi 51 m.

Stabilizaciju konstrukcije proveli smo horizontalnim spregom.

2.2 Statička analiza sustava

Konstrukcija je opterećena vlastitom težinom, vjetrom i snijegom. Objekt se nalazi na području Rijeke. Kategorija zemljišta je I. Proračun je izvršen prema EC 5, a koeficijenti za vjetar i snijeg uzeti su iz propisanih tablica. Proračun sam vršila pomoću računalnog programa Scia Engineer 20.0 i provjerila sve moguće kombinacije opterećenja te daljnji proračun provodila za najkritičniju kombinaciju tj. onu koja ima najveći utjecaj na konstrukciju.

Nadalje provjeren je slučaj djelovanja 30 minutnog požara na konstrukciju. Proračun požarne otpornosti rađen je sa točnim ostatkom poprečnog presjeka i proračun s točnim ostatkom poprečnog presjeka i smanjenim 20% fraktilnim vrijednostima svojstava zbog

zagrijavanja drva u ostatku poprečnog presjeka. Pomoću računalnog programa Scia Engineer 20.0 pronađena je kritična izvanredna kombinacija te sam na njen utjecaj vršila daljnje provjere.

2.3 Opis konstruktivnih elemenata

2.3.1 Glavni nosači

Glavni nosači su nosivi dio konstrukcije i prenose vertikalna opterećenja na nosive zidove i dalje na temeljno tlo.

Dimenzionirani su da prime utjecaj od vlastite težine i opterećenja od snijega i vjetra te pojavljivanje požara u trajanju od 30 min. Oni su pravokutnog poprečnog presjeka.

2.3.2 Podrožnice

Podrožnice prenose opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Dimenzionirane su da kao i glavni nosač mogu primiti utjecaj od vlastite težine i opterećenja od snijega i vjetra te pojavljivanje požara u trajanju od 30 min. Podrožnice su pravokutnog poprečnog presjeka dimenzija 18 cm x 22 cm i nalaze se na razmaku 1,56 m.

2.3.3 Spreg

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja. Horizontalne spregove tvore glavni nosači kao pojasevi, glavne podrožnice kao vertikale i dijagonale koje su izvedene od čelika S235 okruglog poprečnog presjeka \emptyset 18.

2.4 Pokrov

Za pokrov odabrani su EUROFIRE REI 30 krovni paneli otporni na vatru izrađeni od kamene vune, debljine 50 mm sa mogućnosti nošenja 2,7 kN/m² na razmaku između dva oslonca od 1,5 m. Vlastita težina panela iznosi 13,92 kg/m². Širine su 1,00 m sa 5 profilacija a potrebna dužina panela je 10 m.

2.5 Materijali

2.5.1 Drveni elementi

Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od drva klase C24 / uporabna klasa II sa karakterističnim vrijednostima čvrstoće i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{o,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

Svi drveni elementi kotirani su u centimetrima.

2.5.2 Metalni elementi

Kao spajalo korišteni su vijci PBØ 20 mm, 16 mm, 10 mm te 6 mm- k.v. 8.8 i čelični lim S235 debljine 3 mm. Materijal izrade vijaka ima vlačnu čvrstoću 800 N/mm².

Svi metalni elementi kotirani su u milimetrima.

2.6 Zaštita

2.6.1 Zaštita drvenih elemenata

Zaštita drvenih elemenata izvodi se fungicidnim premazom kako bi se drvo zaštitilo od prodora vode i od nametnika. Premaz se nanosi u 3 sloja, dva u radionici prije transporta i montaže a finalni sloj nanosi se nakon završetka montaže konstrukcije.

2.6.2 Zaštita metalnih elemenata

Kao mjera zaštite od korozije svi metalni elementi koji se ugrađuju su pocinčani.

2.7 Montaža i transport

Izvođač izrađuje plan montaže nosača i sukladno tome transportni plan. Montaža se izvodi tako da se dio po dio elemenata konstrukcije sastavlja na podu a potom se uz pomoć dizalice elementi podižu u vertikalni položaj. Nadalje na postavljenu konstrukciju se postavlja pokrov koji ima estetsku i zaštitnu ulogu.

3 ANALIZA DJELOVANJA

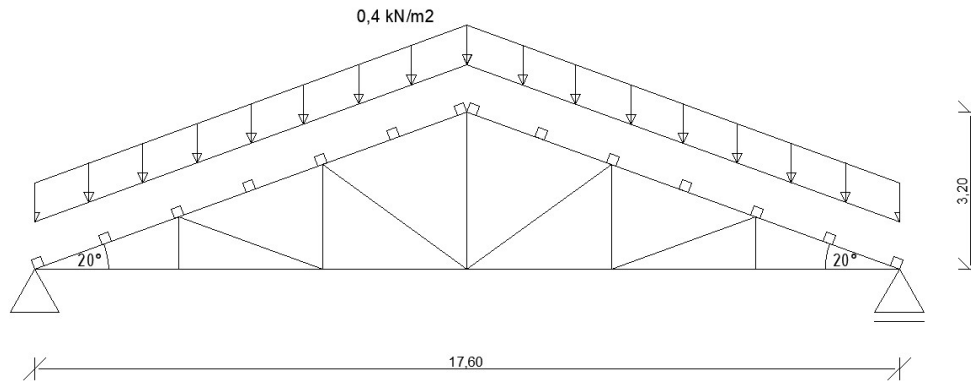
3.1 Stalno opterećenje

Pokrov: $0,1 \frac{\text{Kn}}{\text{m}^2}$

Instalacije: $0,1 \frac{\text{Kn}}{\text{m}^2}$

Sekundarne konstrukcije: $0,2 \frac{\text{Kn}}{\text{m}^2}$

$$\sum g = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika

Slika 3. Djelovanje stalnog opterećenja na krovnu rešetku

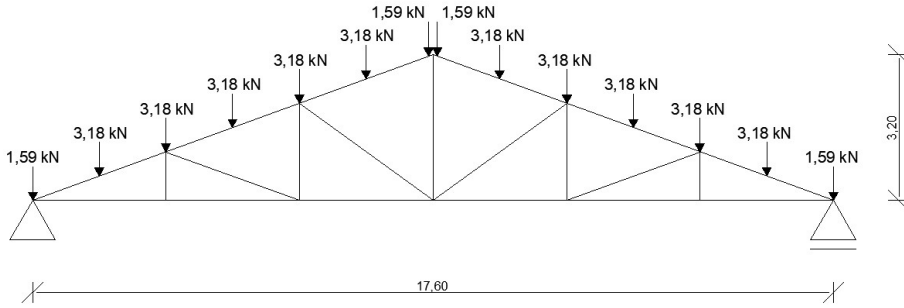
Proračun sila u čvorovima unutrašnjih okvira uslijed djelovanja stalnog opterećenja:

$$G_1 = 0,4 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 1,59 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,4 * 5,1 * 1,56 = 3,18 \text{ kN}$$

$$G_3 = G_2 = G_4 = G_5 = G_6 = G_9 = G_{10} = G_{11} = G_{12} = G_{13} = 3,18 \text{ kN}$$

$$G_7 = G_1 = G_8 = G_{14} = 1,59 \text{ kN}$$



Slika 4. Djelovanje sila u čvorovima od stalnog opterećenja na krovnu rešetku

3.2 Opterećenje snijegom

Računa se po formuli:

$$s = \mu_i(\alpha) * C_e * C_t * s_k$$

$\alpha = 20^\circ$, dvostrešni krov s obe strane jednakog nagiba- jednako opterećenje na obje plohe

Pri čemu su:

$\mu_i(\alpha)$ -koeficijent oblika opterećenja snijegom, očitavamo iz tablice za zadani kut α , u našem slučaju iznosi 0,8

C_e - koeficijent izloženosti, usvojili smo vrijednost 1,0

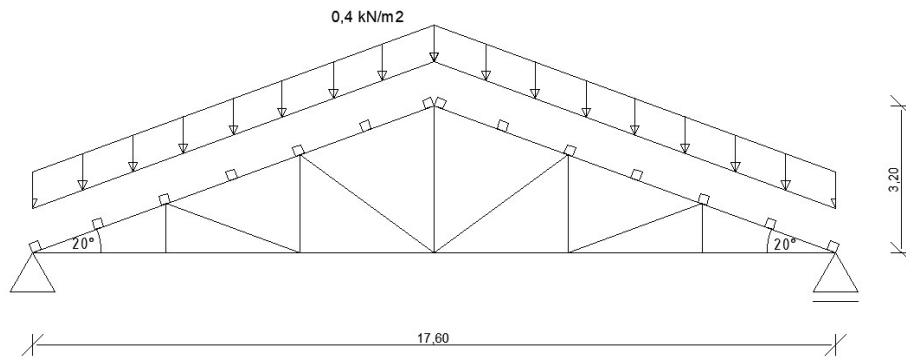
C_t - toplinski koeficijent, usvojili smo vrijednost 1,0

s_k - karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu, očitavamo sa karte za zadano područje te iz tablice ovisno o nadmorskoj visini, našem slučaju za grad Rijeku on iznosi

$$0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Uvrštavamo vrijednosti i dobivamo:

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 5. Djelovanje opterećenja snijegom na krovnu rešetku

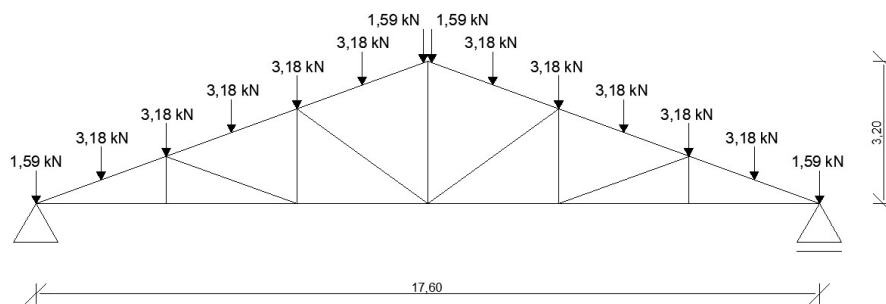
Proračun sila u čvorovima unutrašnjih okvira uslijed djelovanja opterećenja snijegom:

$$S_1 = 0,4 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 1,59 \text{ kN}$$

$$S_2 = 0,4 * 5,1 * 1,56 = 3,18 \text{ kN}$$

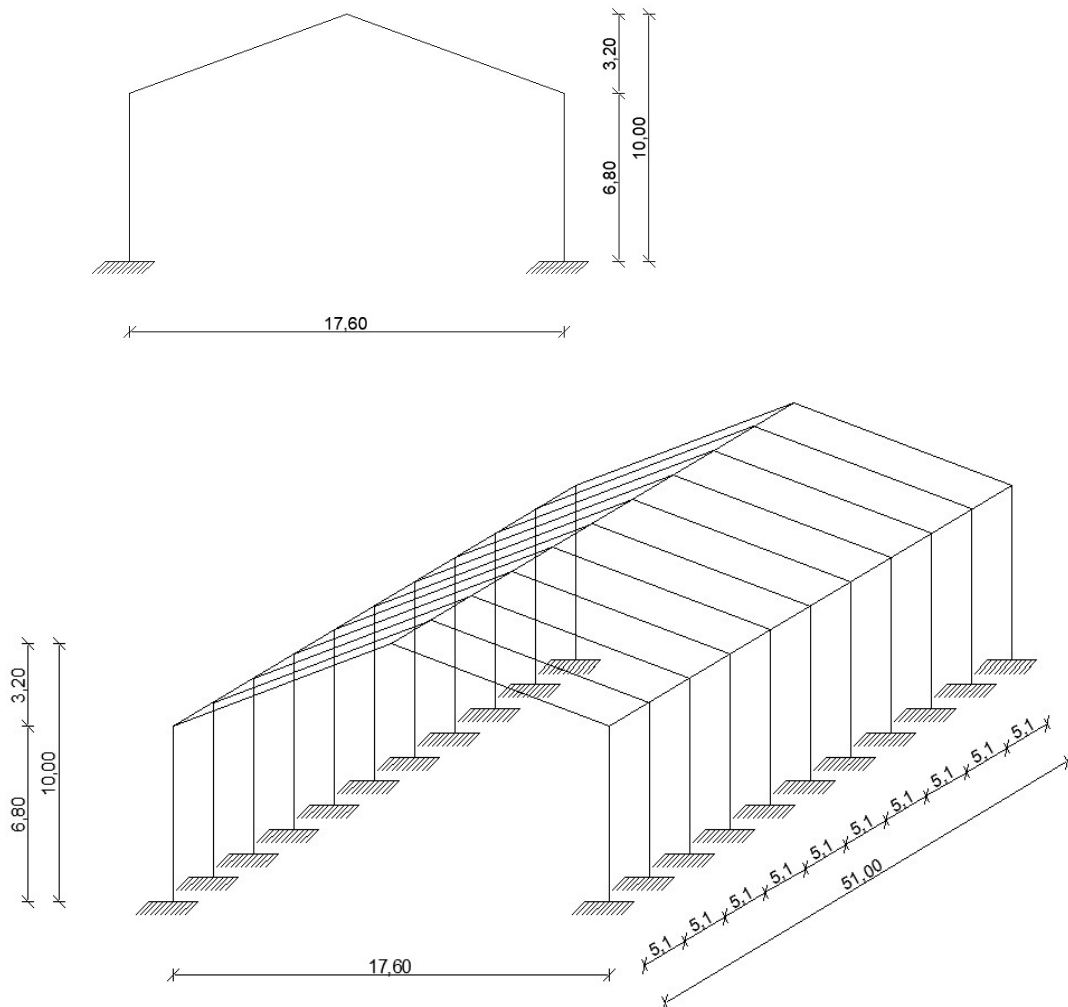
$$S_3 = S_2 = S_4 = S_5 = S_6 = S_9 = S_{10} = S_{11} = S_{12} = S_{13} = 3,18 \text{ kN}$$

$$S_7 = S_1 = S_8 = S_{14} = 1,59 \text{ kN}$$



Slika 6. Djelovanje sila u čvorovima od opterećenja snijegom na krovnu rešetku

3.3 Opterećenje vjetrom



Slika 7. Geometrija proizvodne hale sa visinskim odnosima

3.3.1 Osnovna brzina vjetra V_b

Računa se po formuli:

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$$

Pri čemu su :

- $v_{b,0}$ – fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra i nju smo očitali iz karte, za područje grada Rijeke iznosi 25 m/s

- c_{dir} – faktor smjera vjetra, usvojili smo vrijednost 1,0

- c_{season} – faktor doba godine, usvojili smo vrijednost 1,0

Uvrštavamo vrijednosti i dobivamo:

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 25 \text{ m/s}$$

3.3.2 Osnovni pritisak vjetra q_b

Računa se po formuli:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

Pri čemu su :

- v_b – osnovna brzina vjetra

- ρ - gustoća zraka, prema propisima usvajamo vrijednost od 1,25 kg/m³

Uvrštavamo vrijednosti i dobivamo:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 390,63 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \mathbf{0,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

3.3.3 Srednja brzina vjetra $v_m(z)$

Računa se po formuli:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

Pri čemu su:

- $c_r(z)$ – faktor hrapavosti terena

- $c_0(z)$ – faktor ortografije ili opisivanje brežuljaka ili gora, usvojili smo vrijednost 1,0

Faktor hrapavosti $c_r(z)$ računa se po formuli:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ za slučaj kada je: } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \text{ KORISTIMO OVU FORMULU}$$

JER JE $z=10 \text{ m}$

Odnosno:

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ za slučaj kada je: } z \leq z_{\min}$$

Pri čemu su:

- z_0 – duljina hrapavosti, očitavamo je iz tablice za zadanu kategoriju terena, u našem slučaju ona iznosi 0,01 m

- k_r – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti, računamo ga po formuli: $k_r = 0,19 *$

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

$z_{0,II}$ – predstavlja duljinu hrapavosti za kategoriju terena II koja prema tablici iznosi 0,05 m, u našem slučaju : $k_r = 0,17$

- z_{min} – minimalna visina hrapavosti, očitavamo iz tablice za zadanu kategoriju terena, u našem slučaju ona iznosi 1 m

- z_{max} – maksimalna visina hrapavosti, usvojili smo vrijednost od 200 m

$$c_r(z) = 0,17 * \ln\left(\frac{10}{0,01}\right) = 1,17$$

Na posljetku uvrštavamo ga u formulu za srednju brzinu i dobivamo:

$$v_m(z) = 1,17 * 1,0 * 25 \frac{m}{s} = 29,25 \frac{m}{s}$$

3.3.4 Intenzitet turbulencije $I_v(z)$

Računa se po formuli:

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

Pri čemu je:

- k_I -faktor turbulencije, usvojili smo vrijednost 1,0

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{10}{0,01}\right)} = 0,14$$

3.3.5 Pritisak brzine vjetra pri udaru $q_p(z)$

Računa se po formuli:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

Pri čemu je:

$-c_e(z)$ – faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena z i kategoriji terena, očitano iz tablice 2,75

$$q_p(z) = 2,75 * 0,39 \sim [1 + 7 * 0,14] * \frac{1}{2} * 1,25 * 29,25^2 * 10^{-3}$$

$$q_p(z) = 1,07 \sim 1,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.3.6 Određivanje koeficijenta pritiska vjetra

$$h = 10 \text{ m}$$

$$b = 51 \text{ m}$$

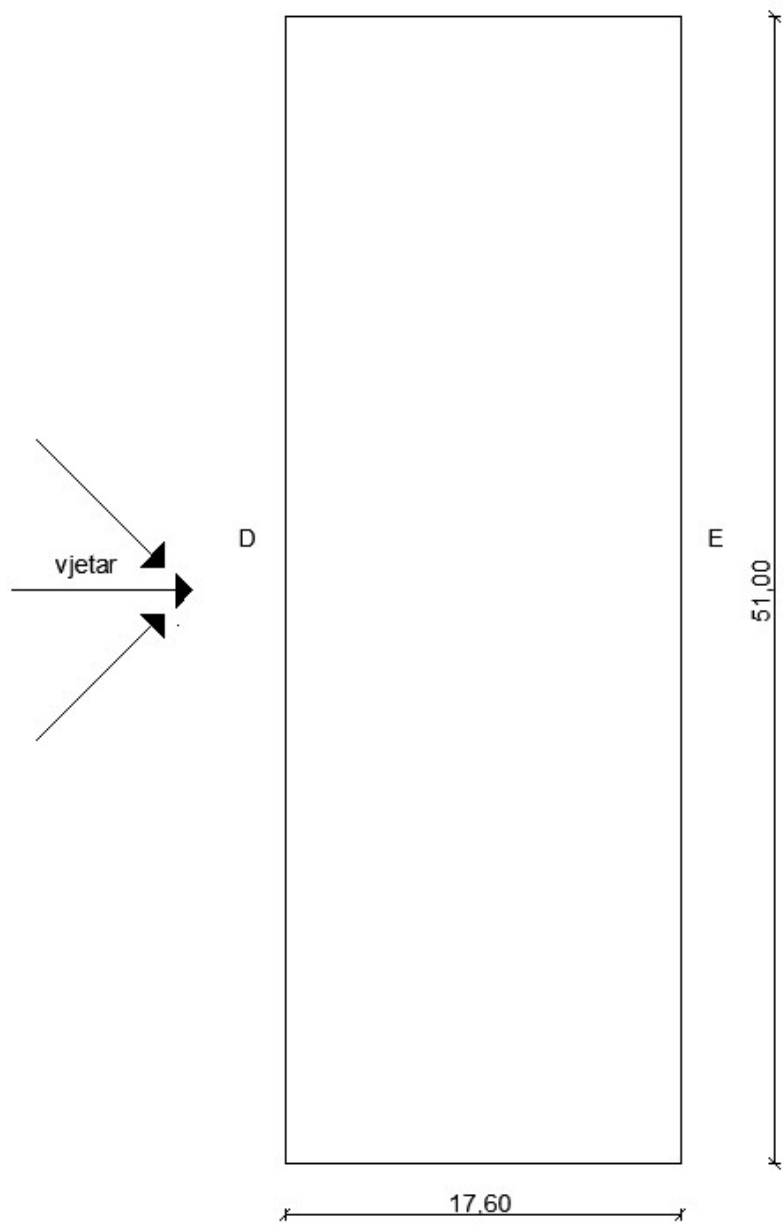
$$d = 17,6 \text{ m}$$

$e = 2 * h$ ili $e = b$ -uzimamo manju vrijednost, **u našem slučaju $e = 2 * h = 20 \text{ m}$**

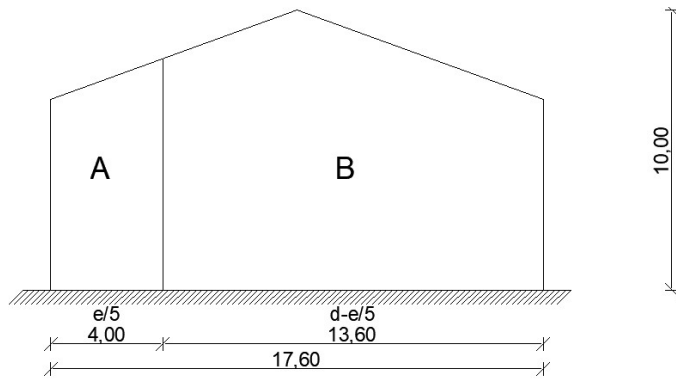
$$e \geq d$$

$$h/d = 10/17,6 = 0,568$$

Za vertikalne zidove:



Slika 8. Djelovanje vjetra na bočne vertikalne zidove (zone)



Slika 8. Djelovanje vjetra na zabatne vertikalne zidove (zone)

Područje	A	B	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
1	-1,2	-0,8	+0,8	-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-0,8	+0,7	-0,3
0,568	-1,2*	-0,8*	+0,74*	-0,39*

*dobiveno interpolacijom gornja dva retka

Tablica 1. Koeficijenti djelovanja vjetra na zabatne zidove po zonama

Za krovna područja (dvostrešni krov):

Vanjski vjetar

$\alpha=20^\circ$

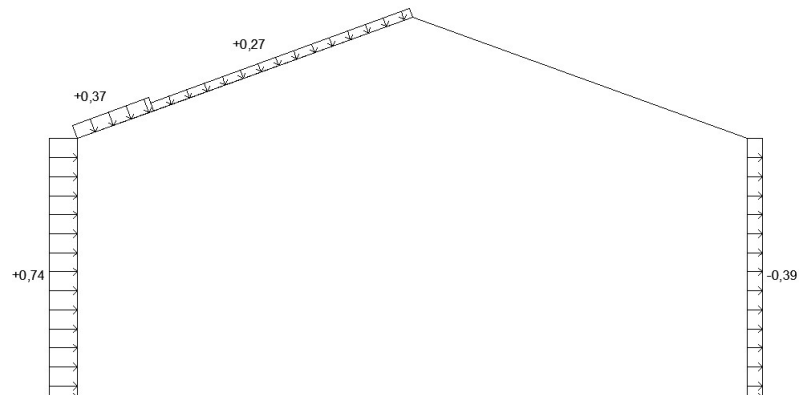
Zanemarujemo zonu F jer je G veći.

$c_{pe} +$

Nagib α	G	H	I	J
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
15°	+0,2	+0,2	+0,0	+0,0
30°	+0,7	+0,4	+0,0	+0,0
20°	+0,37**	+0,27**	+0,0**	+0,0**

**dobiveno interpolacijom gornja dva retka

Tablica 2. Koeficijenti djelovanja vjetra na krovne plohe dvostrešnog krova po zonama



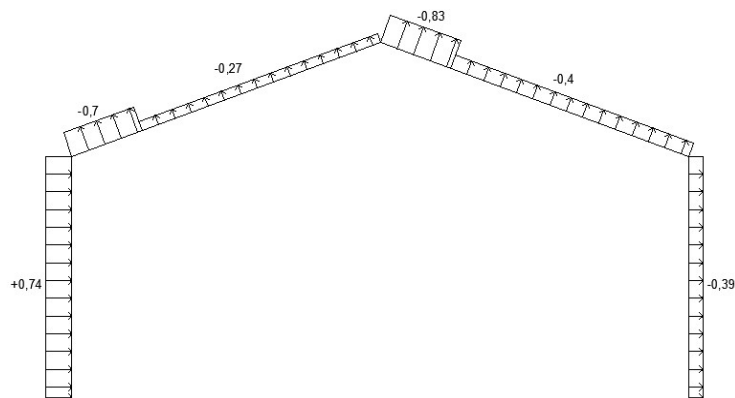
Slika 9. Koeficijenti pritiska vjetra pritiskajućeg

c_{pe} -

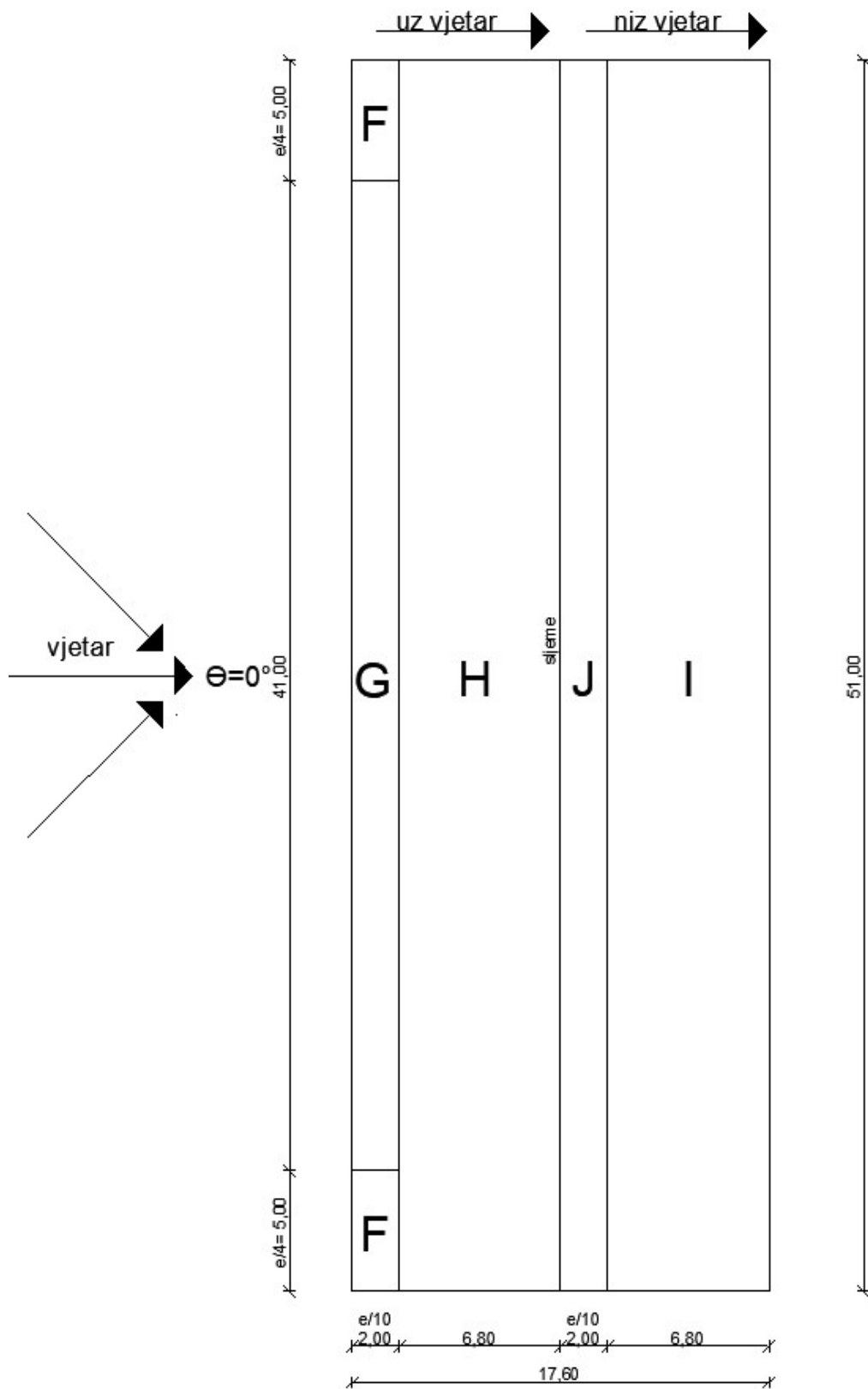
Nagib α	G	H	I	J
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
15°	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
30°	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
20°	-0,7***	-0,27***	-0,4***	-0,83***

***dobiveno interpolacijom gornja dva retka

Tablica 3. Koeficijenti djelovanja vjetra na krovne plohe dvostrešnog krova po zonama



Slika 10. Koeficijenti pritiska vjetra odižućeg

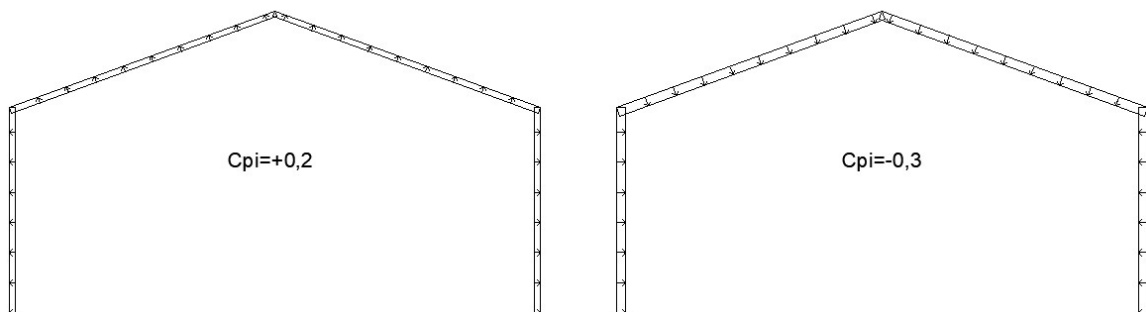


Slika 11. Zone djelovanja vjetra na dvostrešnom krovu

Unutrašnji vjetar:

$$c_{pi} += +0,2$$

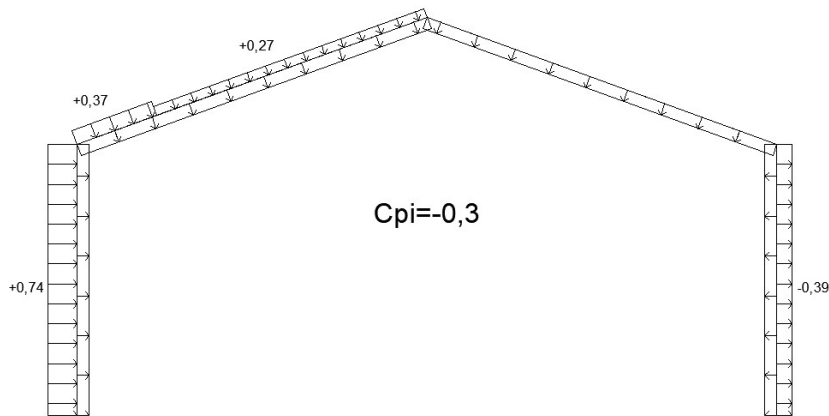
$$c_{pi} -= -0,3$$



Slika 12. Koeficijenti djelovanja unutrašnjeg vjetra

3.3.7 Proračun opterećenja od vjetra za svaki mogući slučaj:

1)



Slika 13. Opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (1. slučaj)

$$D_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,74 + 0,3) = 1,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

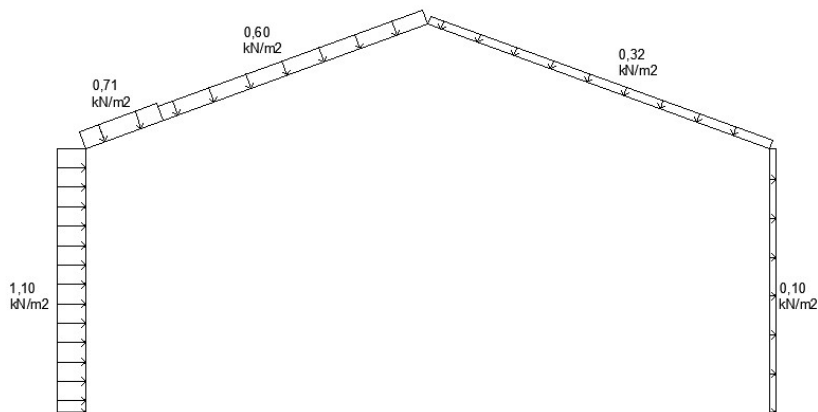
$$E_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,39 - 0,3) = 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,37 + 0,3) = 0,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$H_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,27 + 0,3) = 0,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

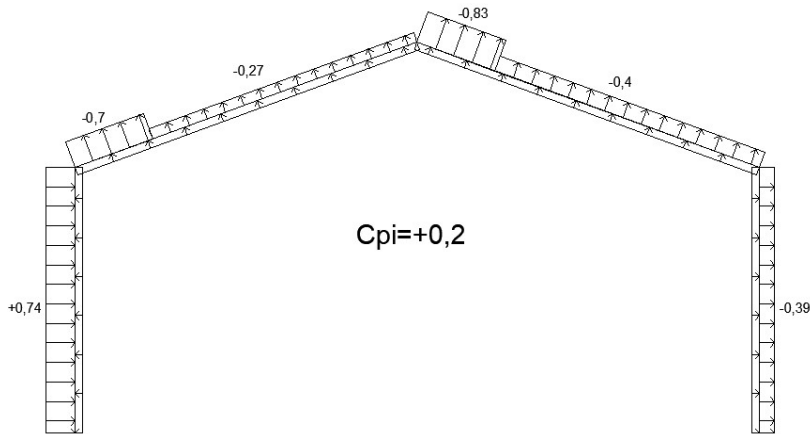
$$J_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * 0,3 = 0,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$I_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * 0,3 = 0,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 14. Ukupno opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (1. slučaj)

2)



Slika 15. Opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (2. slučaj)

$$D_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,74 - 0,2) = 0,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

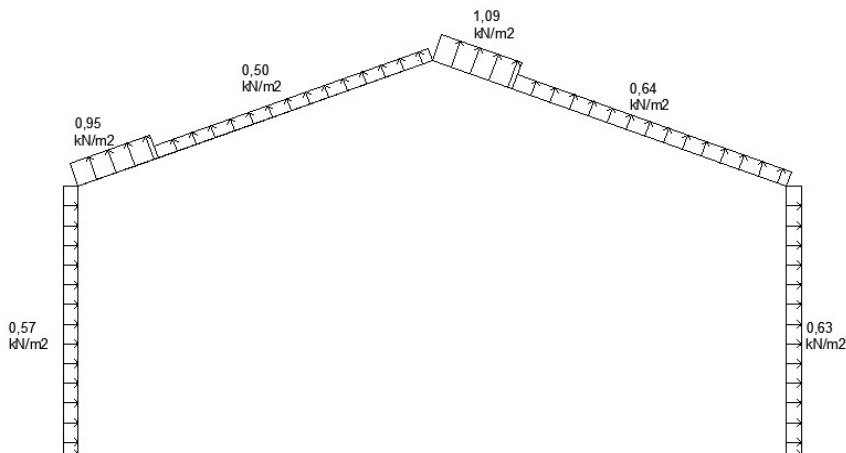
$$E_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,39 + 0,2) = 0,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,7 + 0,2) = 0,95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$H_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,27 + 0,2) = 0,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

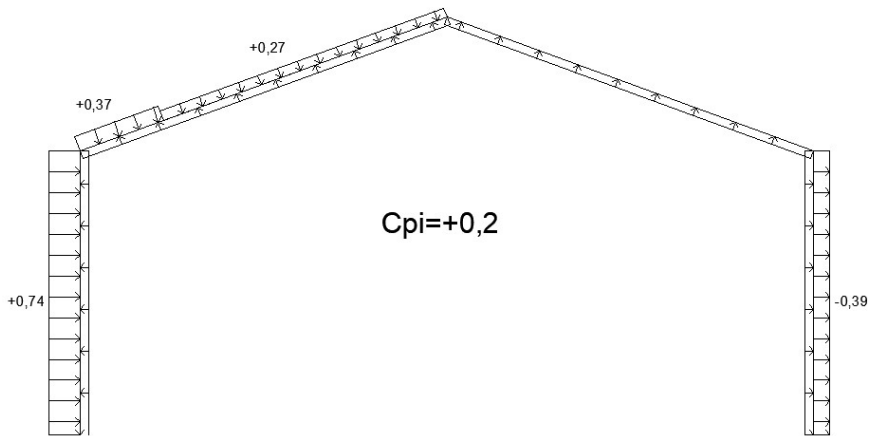
$$J_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,83 + 0,2) = 1,09 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$I_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,4 + 0,2) = 0,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 16. Ukupno opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (2. slučaj)

3)



Slika 17. Opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (3. slučaj)

$$D_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,74 - 0,2) = 0,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

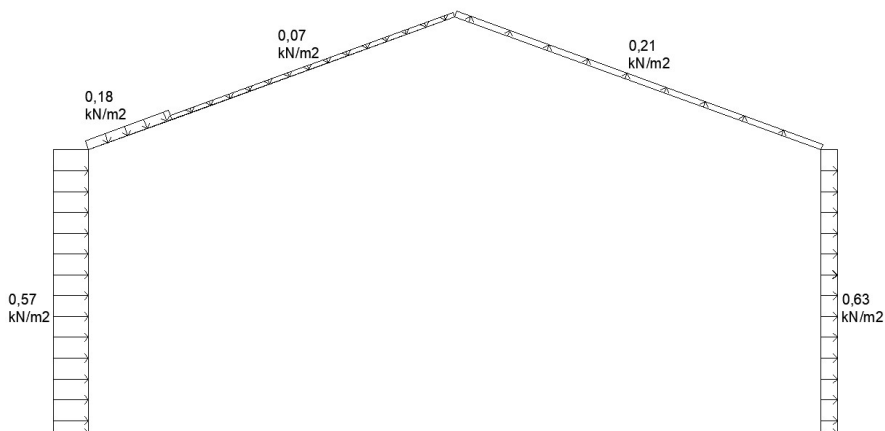
$$E_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,39 + 0,2) = 0,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,37 - 0,2) = 0,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$H_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,27 - 0,2) = 0,07 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

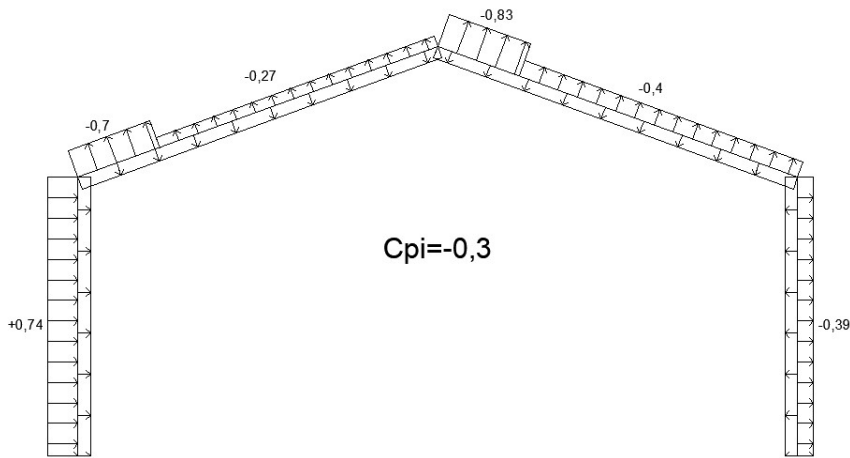
$$J_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * 0,2 = 0,21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$I_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * 0,2 = 0,21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 18. Ukupno opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (3. slučaj)

4)



Slika 19. Opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (4. slučaj)

$$D_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,74 + 0,3) = 1,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

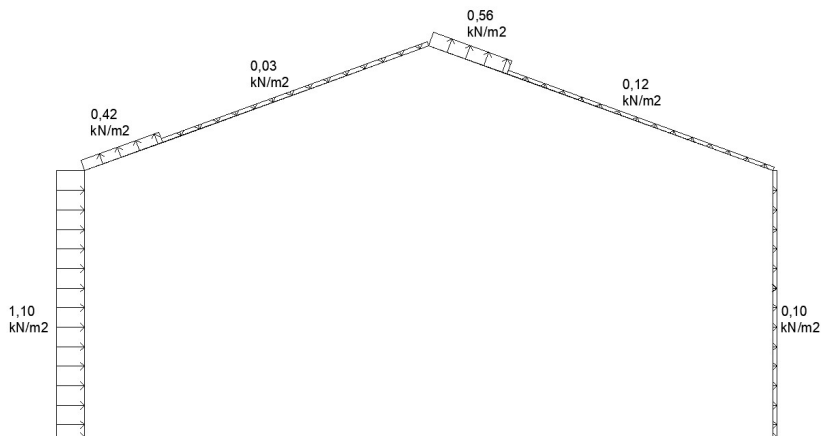
$$E_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,39 - 0,3) = 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,7 - 0,3) = 0,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$H_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,3 - 0,27) = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$J_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,83 - 0,3) = 0,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$I_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,4 - 0,3) = 0,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 20. Ukupno opterećenje objekta od unutarnjeg i vanjskog vjetra (4. slučaj)

3.3.8 Proračun sila u čvorovima srednjeg okvira uslijed djelovanja najnepovoljnije kombinacije (1. i 2.) vjetra

1.)

$$W_1 = 0,71 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 2,82 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,71 * 5,1 * 1,35 + 0,60 * 5,1 * 0,21 = 5,53 \text{ kN}$$

$$W_3 = 0,60 * 5,1 * 1,56 = 4,77 \text{ kN}$$

$$W_4 = W_5 = W_6 = W_3 = 4,77 \text{ kN}$$

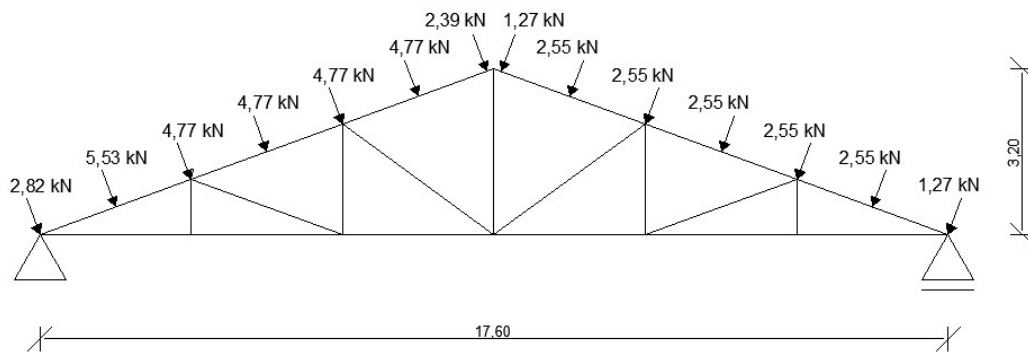
$$W_7 = 0,60 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 2,39 \text{ kN}$$

$$W_8 = 0,32 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 1,27 \text{ kN}$$

$$W_9 = 0,32 * 5,1 * 1,56 = 2,55 \text{ kN}$$

$$W_{10} = W_9 = W_{11} = W_{12} = W_{13} = 2,55 \text{ kN}$$

$$W_{14} = W_8 = 1,27 \text{ kN}$$



Slika 21. Sile u čvorovima krovne rešetke uslijed 1. kombinacije djelovanja vjetra

2.)

$$W_1 = 0,95 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 3,78 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,95 * 5,1 * 1,35 + 0,50 * 5,1 * 0,21 = 7,08 \text{ kN}$$

$$W_3 = 0,50 * 5,1 * 1,56 = 3,98 \text{ kN}$$

$$W_4 = W_5 = W_6 = W_3 = 3,98 \text{ kN}$$

$$W_7 = 0,50 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 1,99 \text{ kN}$$

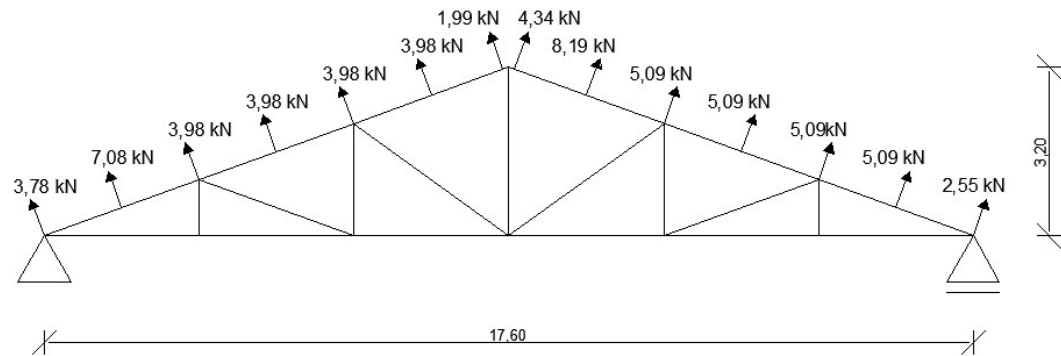
$$W_8 = 1,09 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 4,34 \text{ kN}$$

$$W_9 = 1,09 * 5,1 * 1,35 + 0,64 * 5,1 * 0,21 = 8,19 \text{ kN}$$

$$W_{10} = 0,64 * 5,1 * 1,56 = 5,09 \text{ kN}$$

$$W_{11} = W_{10} = W_{12} = W_{13} = 5,09 \text{ kN}$$

$$W_{14} = 0,64 * 5,1 * \frac{1,56}{2} = 2,55 \text{ kN}$$



Slika 22. Sile u čvorovima krovne rešetke uslijed 2. kombinacije djelovanja vjetra

4 GRANIČNO STANJE UPORABJIVOSTI

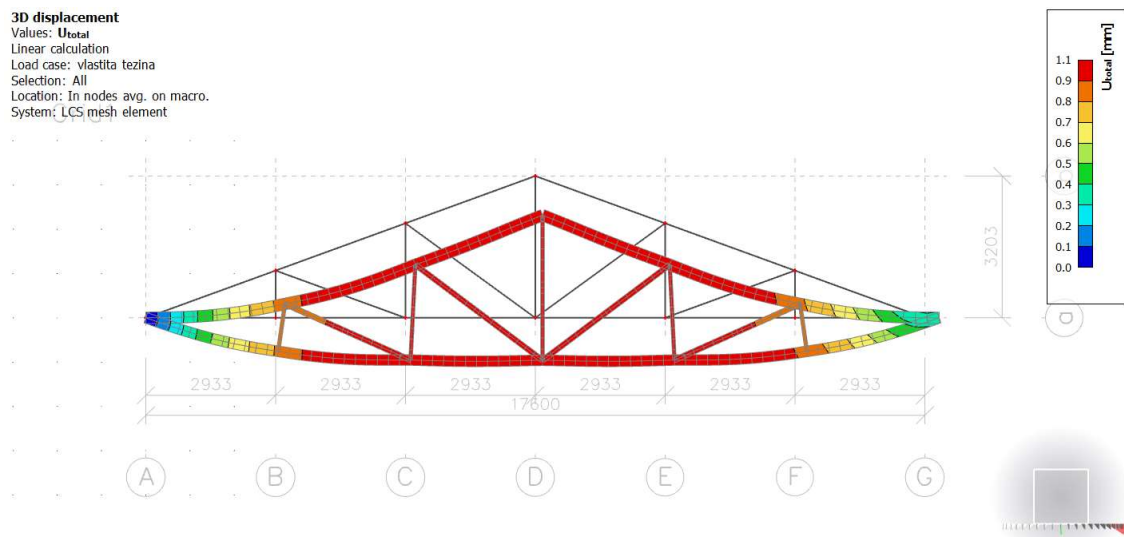
Korišteni su profili:

-Gornji pojas 16/30

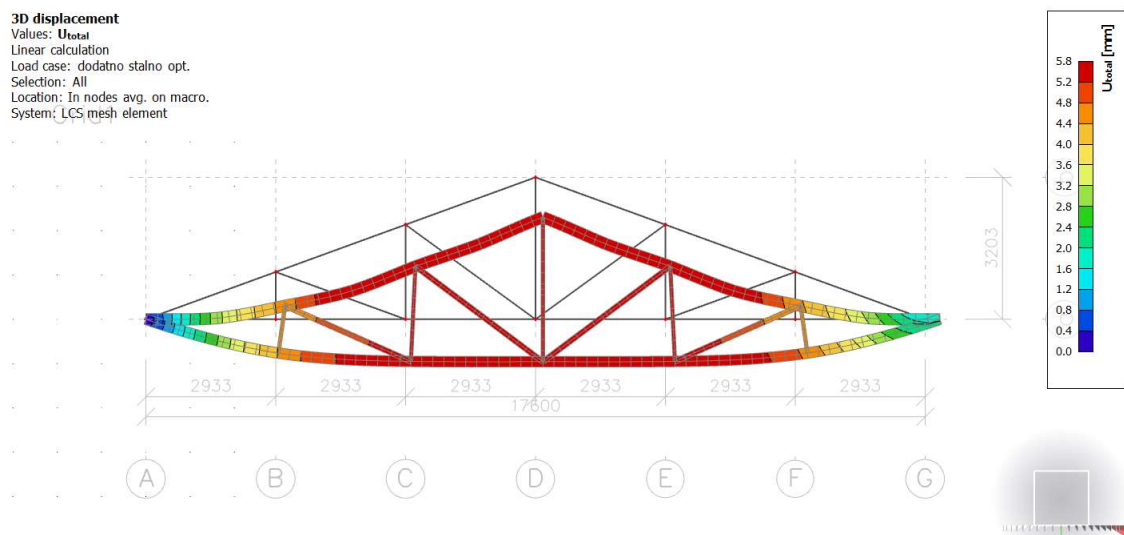
-Donji pojas 16/24

-Dijagonale 16/12

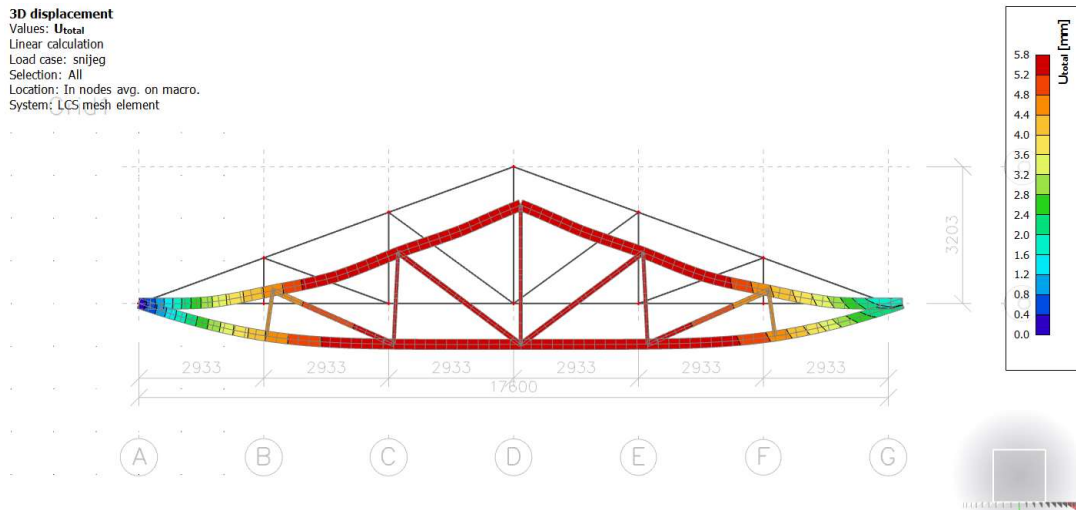
-Vertikale 16/10



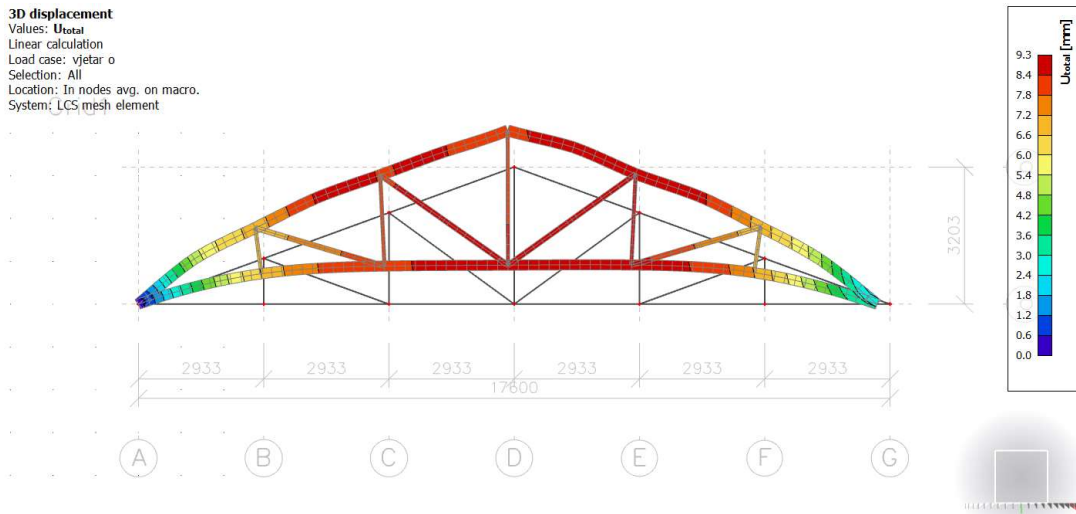
Slika 23. Progib rešetke usljed djelovanja vlastite težine nosača



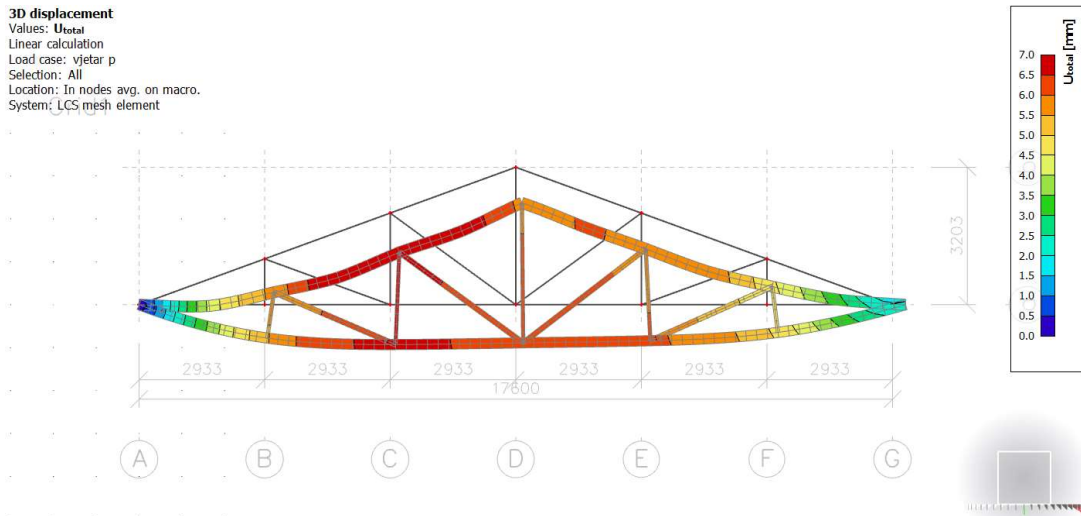
Slika 24. Progib rešetke usljed djelovanja dodatnog stalnog opterećenja



Slika 25. Progib rešetke usljed djelovanja opterećenja snijegom



Slika 26. Progib rešetke usljed djelovanja vjetra odizuceg



Slika 27. Progib rešetke usljed djelovanja vjetra pritiskajućeg

TRENUTNI PROGIBI:

$$\text{Stalno opterećenje} - w_{G,inst} = 1,1 + 5,8 = 6,9 \text{ mm} \leq \frac{1}{300} \leq 58,67 \text{ mm}$$

$$\text{Snijeg} - w_{S,inst} = 5,8 \text{ mm} \leq \frac{1}{300} \leq 58,67 \text{ mm}$$

$$\text{Vjetar} - w_{W_0,inst} = 9,3 \text{ mm} \leq \frac{1}{300} \leq 58,67 \text{ mm}$$

$$\text{Vjetar} - w_{W_p,inst} = 7,0 \text{ mm} \leq \frac{1}{300} \leq 58,67 \text{ mm}$$

Kombinacija 2.

Vlastita težina + dodatno stalno opterećenje + vjetar odižući

TRENUTNI PROGIBI:

$$w_{2,inst} = w_{G,inst} + w_{W_0,inst}$$

$$w_{2,inst} = 6,9 - 9,3$$

$$w_{2,inst} = -2,4 \text{ mm}$$

KONAČNI PROGIBI:

Konačni progibi za stalno opterećenje:

$$w_{G,fin} = w_{G,inst} * (1 + k_{def})$$

$k_{def} = 0.8$ (uporabna klasa 2, stalno opterećenje)

$$w_{G,fin} = 6,9 * (1 + 0,8) = 12,42 \text{ mm}$$

Konačni progib od opterećenja odižućim vjetrom:

$$w_{W_o,fin} = w_{W_o,inst} * (1 + \psi_2 * k_{def})$$

$\psi_2 = 0$ (prilagođeno – do 1000 m.n.m)

$$w_{W_o,fin} = w_{W_o,inst} = 9,3 \text{ mm}$$

$$w_{2,fin} = w_{G,fin} + w_{W_o,fin}$$

$$w_{2,fin} = 12,42 - 9,3$$

$$w_{2,fin} = 3,12 \text{ mm}$$

Kontrola:

$$w_{2,fin} \leq \frac{17600 \text{ mm}}{250}$$

$$w_{2,fin} \leq 70,4 \text{ mm}$$

$$3,12 \text{ mm} \leq 70,4 \text{ mm}$$

Kombinacija 4.

Vlastita težina + dodatno stalno opterećenje + snijeg + vjetar pritiskajući

TRENUTNI PROGIBI:

$$w_{4,inst} = w_{G,inst} + w_{S,inst} + w_{Wp,inst}$$

$$w_{4,inst} = 6,9 + 5,8 + 7,0$$

$$w_{4,inst} = 19,7 \text{ mm}$$

KONAČNI PROGIBI:

Konačni progibi za stalno opterećenje:

$$w_{G,fin} = w_{G,inst} * (1 + k_{def})$$

$$k_{\text{def}} = 0.8 \text{ (uporabna klasa 2, stalno opterećenje)}$$

$$w_{G,\text{fin}} = 6,9 \cdot (1 + 0,8) = 12,42 \text{ mm}$$

Konačni progib od opterećenja snijegom:

$$w_{S,\text{fin}} = w_{S,\text{inst}} \cdot (\psi_0 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})$$

$$\psi_2 = 0 \text{ (prilagođeno – do 1000 m.n.m)}$$

$$\psi_0 = 0,5 \text{ (prilagođeno – do 1000 m.n.m)}$$

$$w_{S,\text{fin}} = 2,9 \text{ mm}$$

Konačni progib od opterećenja pritisnim vjetrom:

$$w_{W_p,\text{fin}} = w_{W_p,\text{inst}} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})$$

$$\psi_2 = 0 \text{ (prilagođeno – do 1000 m.n.m)}$$

$$w_{W_p,\text{fin}} = w_{W_p,\text{inst}} = 7,0 \text{ mm}$$

$$w_{4,\text{fin}} = w_{G,\text{fin}} + w_{S,\text{fin}} + w_{W_p,\text{fin}}$$

$$w_{4,\text{fin}} = 12,42 + 2,9 + 7,0$$

$$w_{4,\text{fin}} = 22,32 \text{ mm}$$

Kontrola:

$$w_{4,\text{fin}} \leq \frac{l}{250}$$

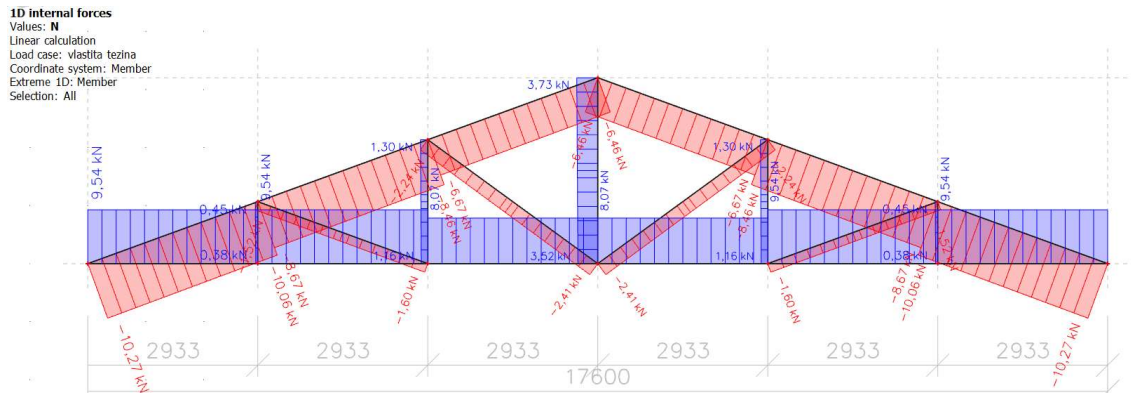
$$w_{4,\text{fin}} \leq \frac{17600 \text{ mm}}{250}$$

$$w_{4,\text{fin}} \leq 70,4 \text{ mm}$$

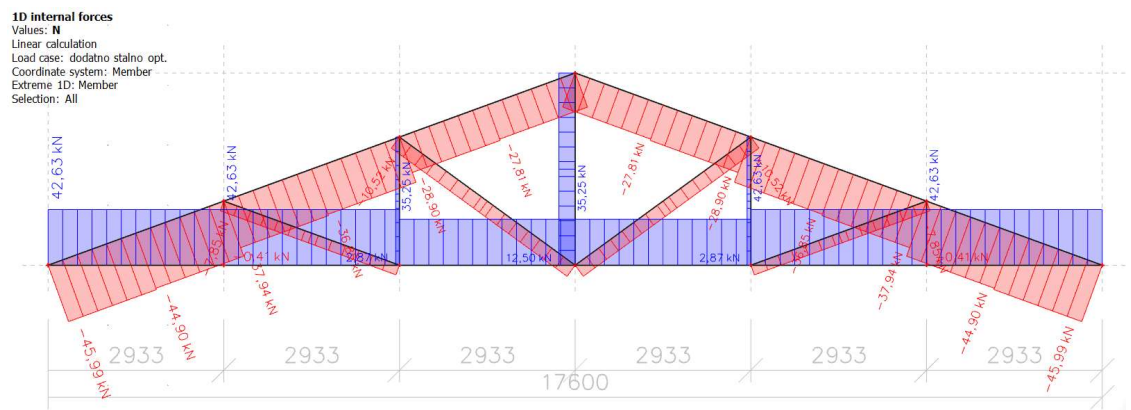
$$22,32 \text{ mm} \leq 70,4 \text{ mm}$$

5 MODELI OPTEREĆENJA

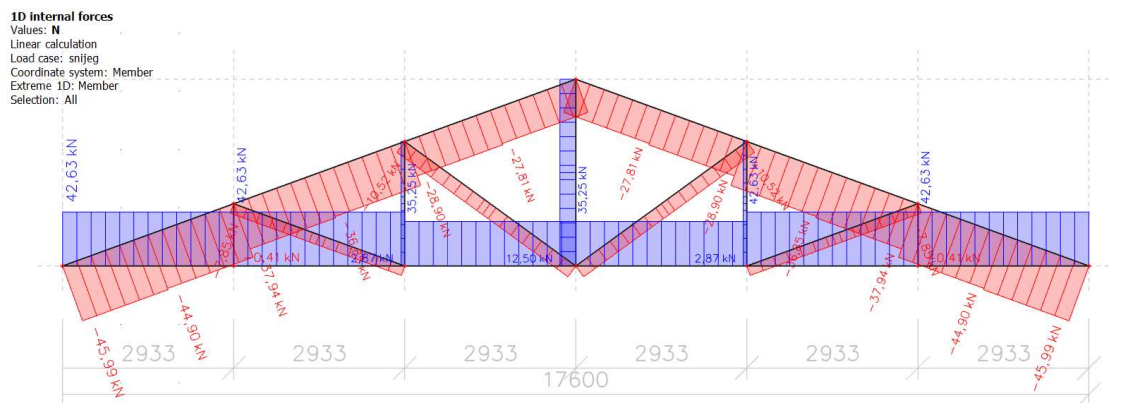
5.1 N-dijagrami svakog pojedinog opterećenja na krovnu rešetku



Slika 28. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem vlastite težine
-dodatno stalno opterećenje



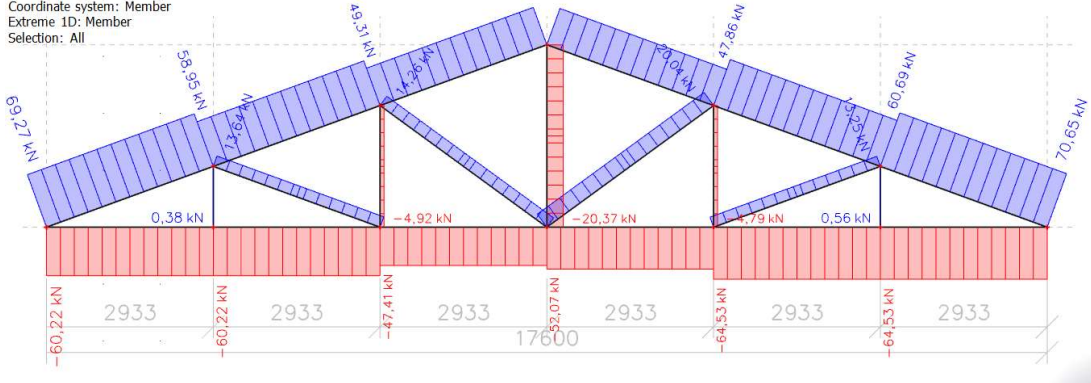
Slika 29. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem dodatnog stalnog opterećenja
-opterećenje stijegom



Slika 30. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem opterećenja snijegom

-opterećenje vjetrom odižućim

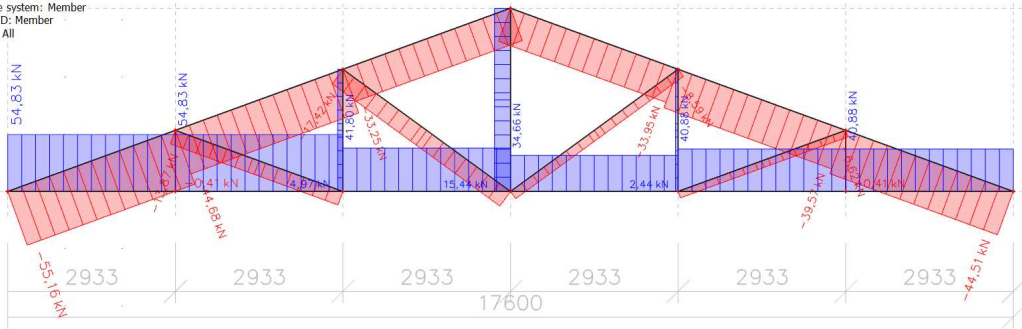
1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Load case: vjetar o
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 31. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem vjetra odižućeg

-opterećenje vjetrom pritiskajućim

1D Internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Load case: vjetar p
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

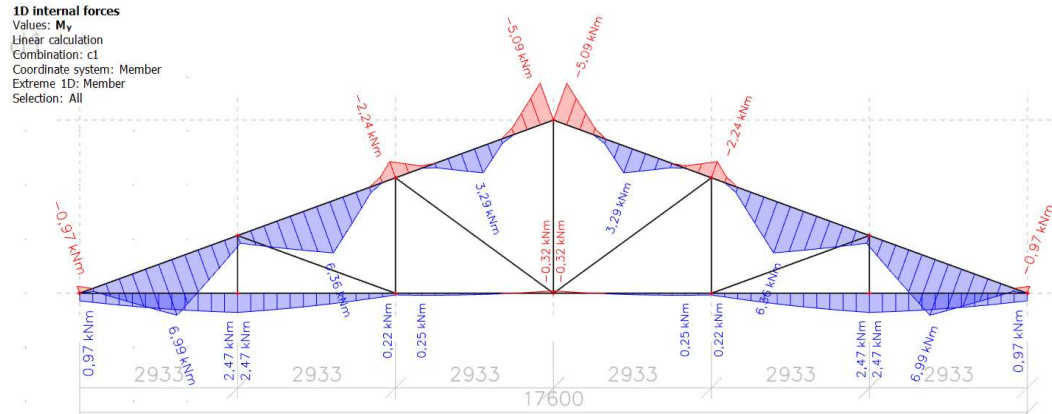


Slika 32. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem vjetra pritiskajućeg

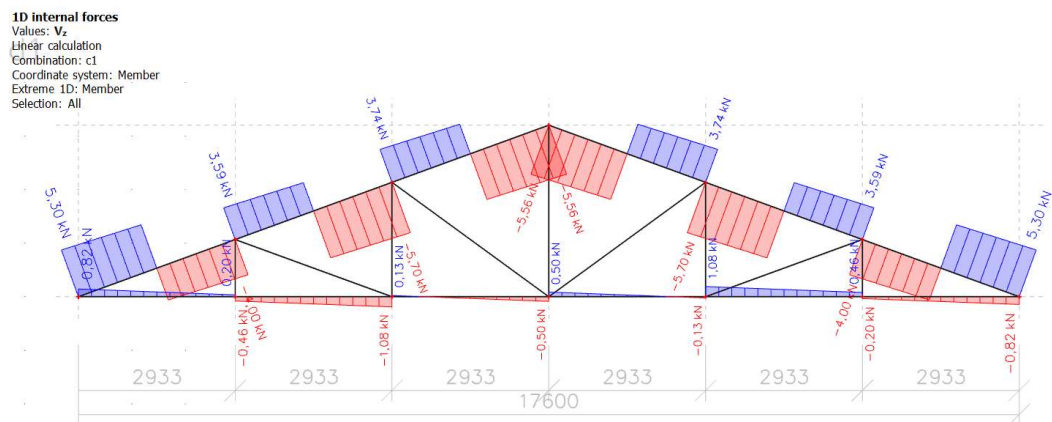
5.2 Dijagrami unutrašnjih sila za svaku kombinaciju na krovnoj rešetki

1.KOMBINACIJA

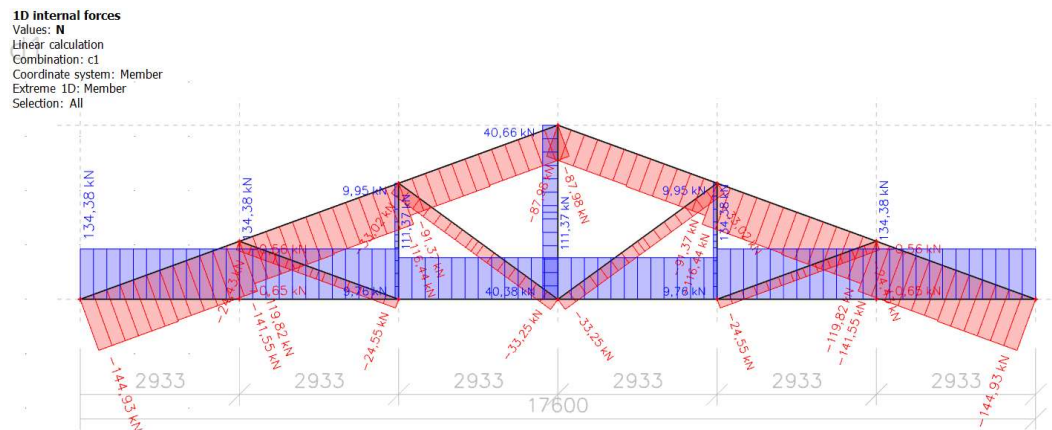
C1=1,35*(vlastita težina + dodatno stalno opt.)+1,5 * opterećenje snijegom



Slika 33. M-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 1. kombinacije opterećenja



Slika 34. V-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 1. kombinacije opterećenja

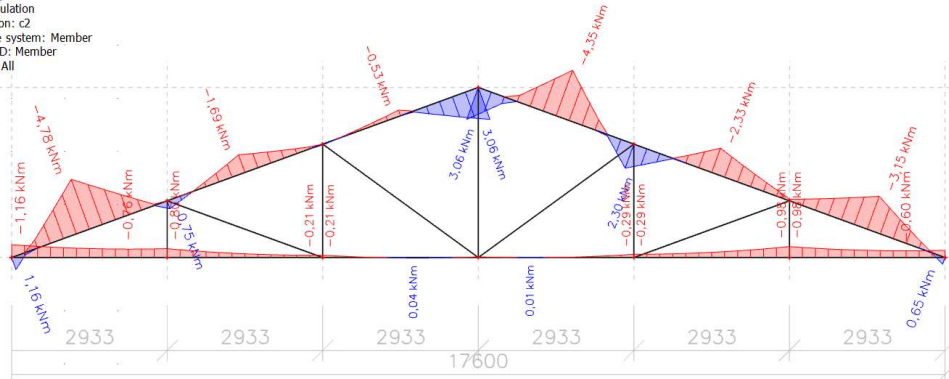


Slika 35. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 1. kombinacije opterećenja

2.KOMBINACIJA

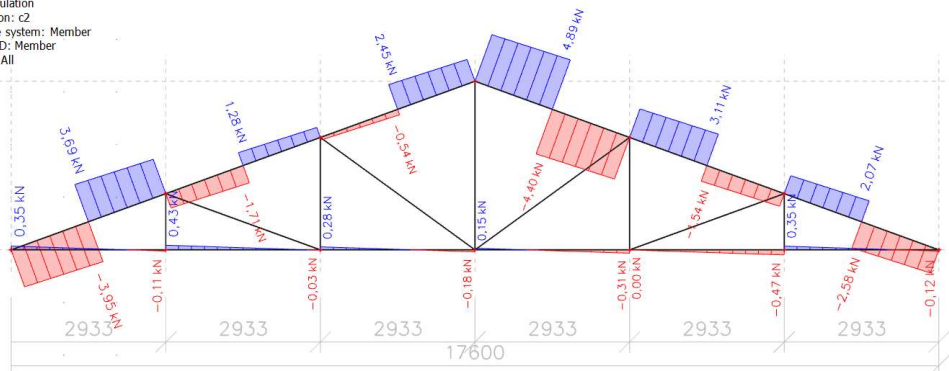
$C2=1,00 \cdot (\text{vlastita težina} + \text{dodatno stalno opt.}) + 1,5 \cdot \text{vjetar odijući}$

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: C2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



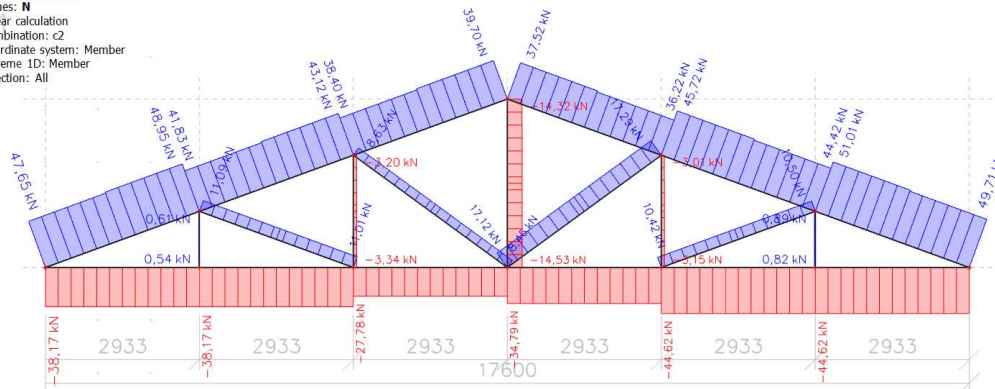
Slika 36. M-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 2. kombinacije opterećenja

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: C2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 37. V-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 2. kombinacije opterećenja

1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: C2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

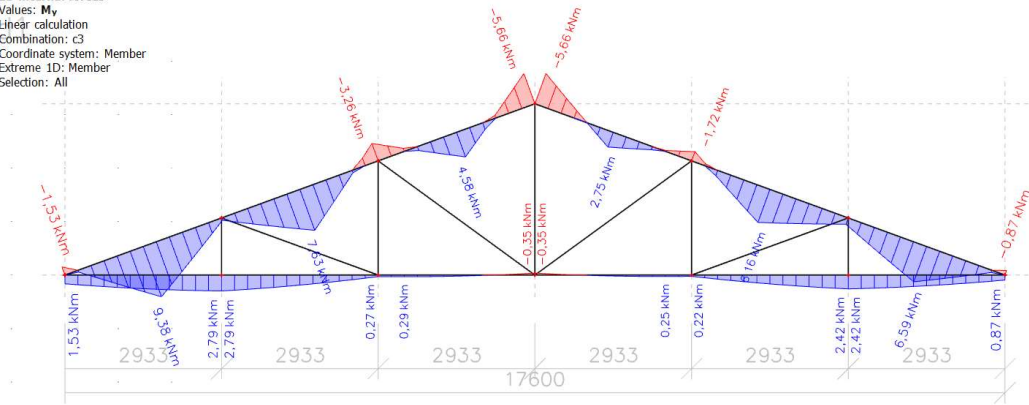


Slika 38. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 2. kombinacije opterećenja

3.KOMBINACIJA

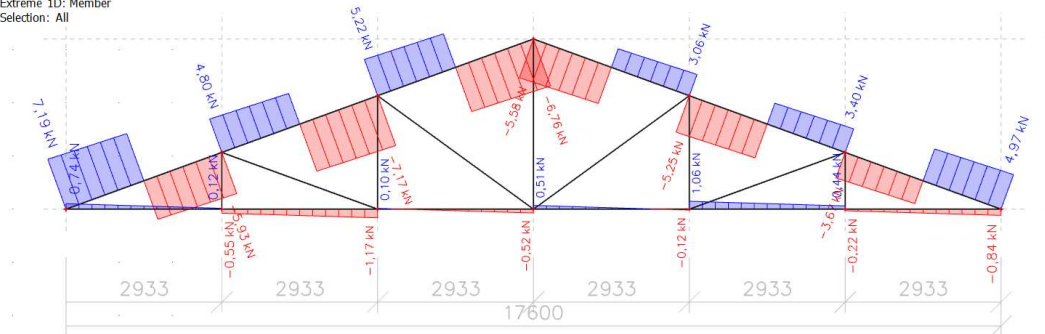
$$C3=1,35 \cdot (\text{vlastita težina} + \text{dodatno stalno opt.}) + 1,5 \cdot \text{vjetar pritiskajući}$$

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: c3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



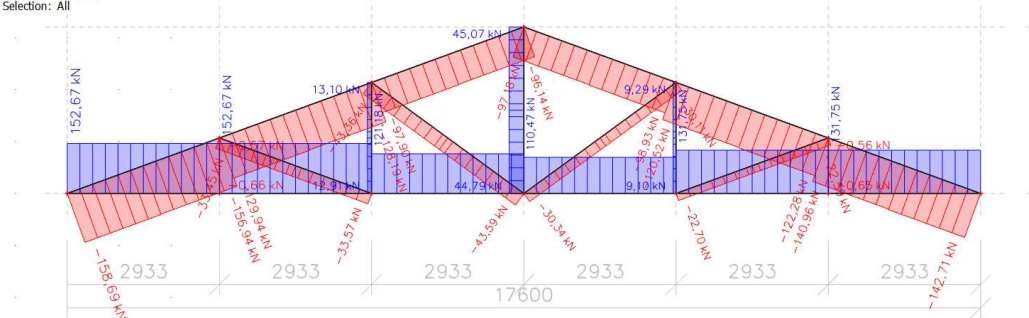
Slika 39. M-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 3. kombinacije opterećenja

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: c3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 40. V-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 3. kombinacije opterećenja

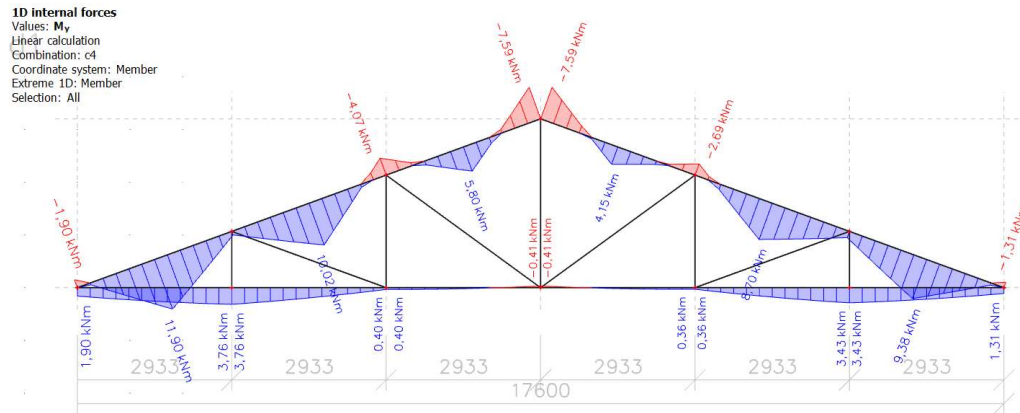
1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: c3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



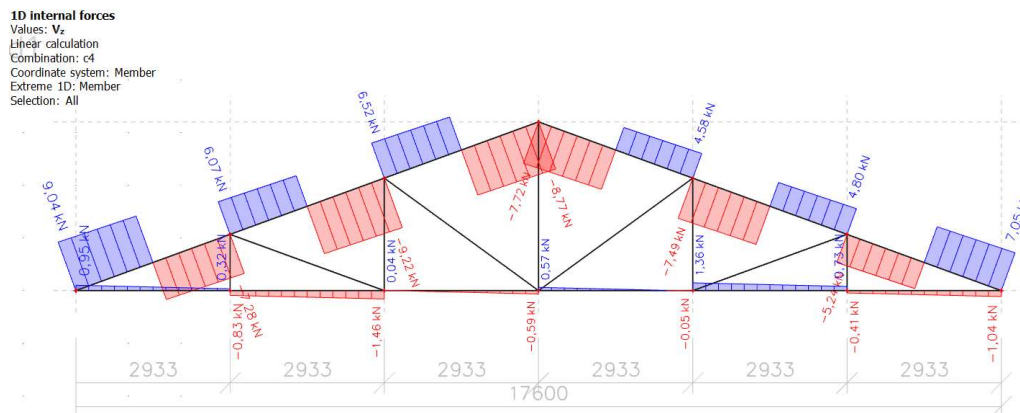
Slika 41. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 3. kombinacije opterećenja

4.KOMBINACIJA

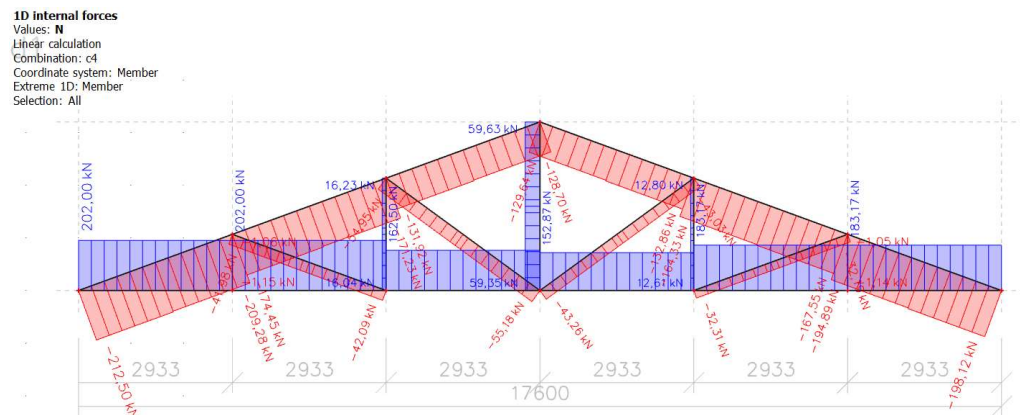
$C4=1,35 \cdot (\text{vlastita težina} + \text{dodatno stalno opt.}) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot \text{snijeg} + 1,5 \cdot \text{vjetar pritiskajući})$



Slika 42. M-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 4. kombinacije opterećenja



Slika 43. V-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 4. kombinacije opterećenja

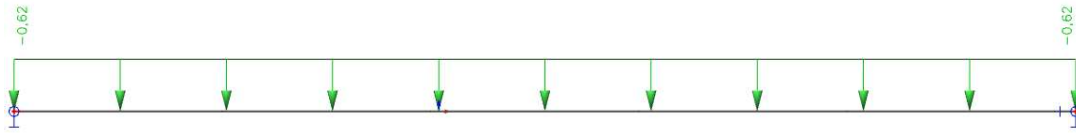


Slika 44. N-dijagram glavnog nosača pod djelovanjem 4. kombinacije opterećenja

5.3 Podrožnice u sustavu stabilizacije

Dodatno stalno opterećenje

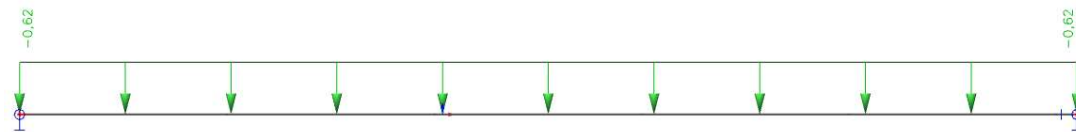
$$q_{G,k} = 0,4 * 1,56 = 0,624 \frac{\text{kN}}{\text{m}'}$$



Slika 45. Dodatno stalno opterećenje na podrožnicu

Snijeg

$$q_{S,k} = 0,4 * 1,56 = 0,624 \frac{\text{kN}}{\text{m}'}$$

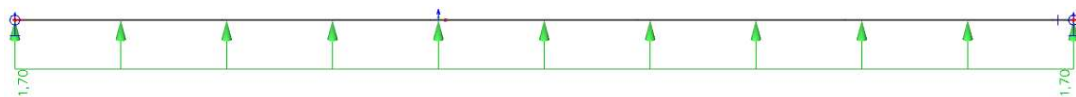


Slika 46. Opterećenje od snijega na podrožnicu

Vjetar odižući

$$I_2: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,83 + 0,2) = 1,09 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{W_0,k} = 1,09 * 1,56 = 1,700 \frac{\text{kN}}{\text{m}'}$$

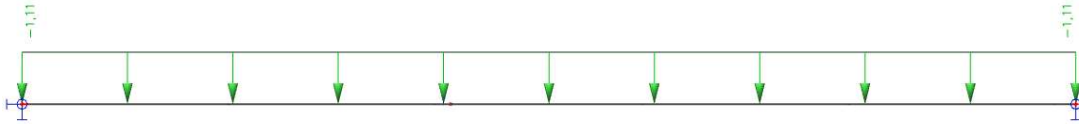


Slika 47. Opterećenje od vjetra odižućeg na podrožnicu

Vjetar pritiskajući

$$G_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,06 * (0,37 + 0,3) = 0,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{w,p,k} = 0,71 * 1,56 = 1,108 \frac{\text{kN}}{\text{m}'}$$

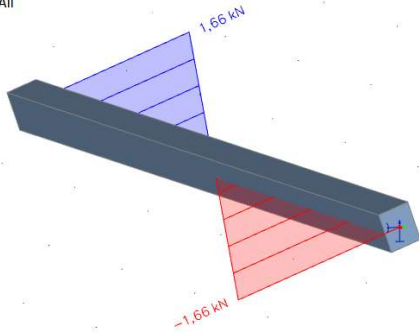


Slika 48. Opterećenje od vjetra pritiskajućeg na podrožnicu

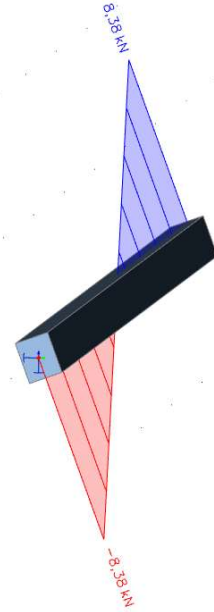
NAJKRITIČNIJA KOMBINACIJA

$C4=1,35 \cdot (\text{vlastita težina} + \text{dodatno stalno opterećenje}) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot \text{snijeg} + 1,5 \cdot \text{vjetar pritiskajući})$

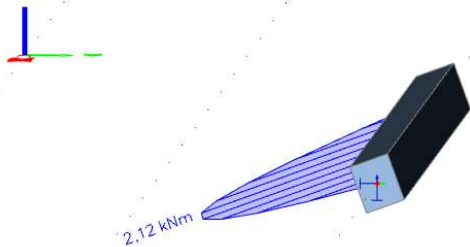
1D internal forces
Values: V_y
Linear calculation
Combination: komb 4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



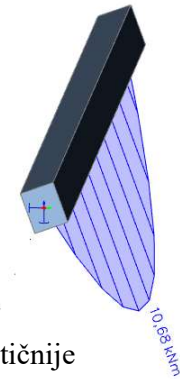
1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: komb 4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces
Values: M_z
Linear calculation
Combination: komb 4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: komb 4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



z, V_y i V_z od djelovanja najkritičnije

kombinacije opterećenja na podrožnici

5.4 KROVNI SPREG

5.4.1 Opterećenje od vjetra na zabatne stupove-aproksimacija

$$q_p(z) = 1,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$c_{pi} "+" = +0,2$$

$$c_{pe} "-" = -1,2$$

$$H = 10 \text{ m}$$

$$q_{wd} = q_p(z) * c_{p,comb} * \frac{H}{2} = 1,06 * (-1,2 - 0,2) * 5 = -7,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

S obzirom da u sustavu imamo dva sprega opterećenje dijelimo na pola za svaki spreg:

$$\frac{q_{wd}}{2} = -3,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

U konačnici dobivamo iznos sile u čvorovima rešetke sprega:

$$\frac{q_{wd}}{2} * 3,12 = -11,58 \text{ kN}$$

5.4.2 Trenje po plohi krova

Zamjenjujuće opterećenje od trenja po plohi krova:

$$w_k = 0,01 * q_p(z)$$

$$w_k = 0,01 * 1,06 = 0,0106 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Djelovanje na jedan spreg:

$$q_{wk} = \frac{1}{2} * B * w_k$$

$$q_{wk} = \frac{1}{2} * 51 * 0,0106 = 0,2703 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na posljetku iznos sile u čvorovima sprega dobivamo kao:

$$Q_{wk} = a' * q_{wk}$$

Pri čemu je a' stvarna dužina polja sprega

$$Q_{wk} = 3,12 * 0,2703 = 0,84 \text{ kN}$$

5.4.3 Izbočavanje (stabilizacija)

-promatramo uzdužne sile u najkritičnijoj kombinaciji u gornjem pojasu najopterećenijeg glavnog nosača

$$\sum N_{\text{gornj pojas}} = -1017,40 \text{ kN}$$

$$N_d = \frac{\sum N_{\text{gornji pojas}}}{6} = \frac{-1017,40}{6} = -169,567 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{1}} \right\} = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{18,72}} \right\} = \min\{1; 0,895\} = 0,895$$

$$n = \frac{\text{broj nosača}}{\text{broj spregova}} = \frac{11}{2} = 5,5$$

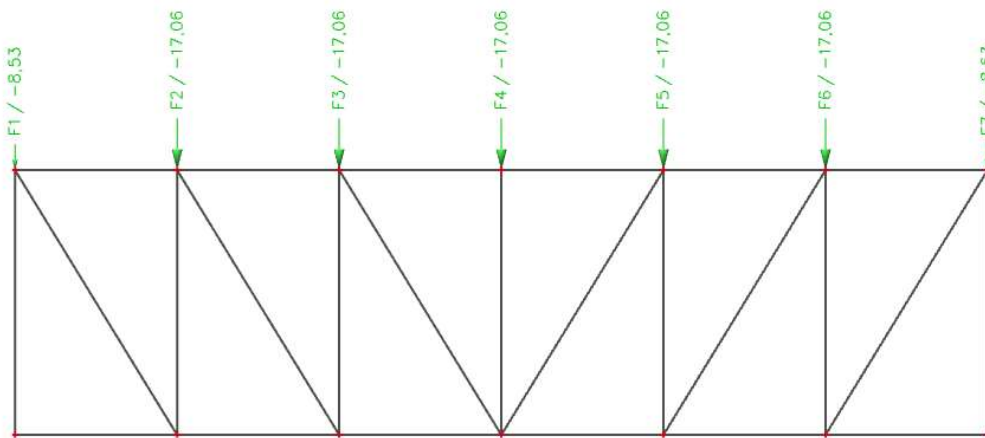
$$q_d = 0,895 * \frac{n * N_d}{30 * 1} = 0,895 * \frac{5,5 * (-169,567)}{30 * 18,72} = -1,49 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

U konačnici dobivamo iznos sile u čvorovima rešetke sprega:

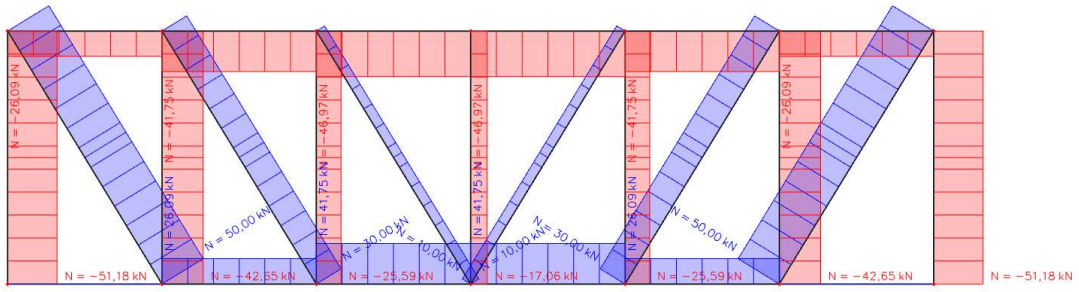
$$q_d * 3,12 = -4,64 \text{ kN}$$

Konačno, u čvorovima rešetke sprega:

$$(-11,58) + (-4,64) + (-0,84) = -17,06 \text{ kN}$$



Slika 50. Ukupno djelovanje sila u čvorovima sprega



Slika 51. N-dijagram uslijed djelovanja ukupnih sila na spreg

6 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{o,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća dobivamo kao:

$$f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Pri čemu je

$k_{\text{mod}} = 0,90 \rightarrow$ uporabna klasa 2, kratkotrajno opterećenje

$\gamma_M = 1,3 \rightarrow$ parcijalni koeficijent za cjelovito drvo

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 16,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 9,69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 14,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

6.1 Gornji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = 16/30 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 16 \cdot 30 = 480 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{16 \cdot 30^3}{12} = 36000 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{30 \cdot 16^3}{12} = 10240 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{16 \cdot 30^2}{6} = 2400 \text{ cm}^3$$

Kombinacija opterećenja 4

$$N_{c,d} = -212,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 11,90 \text{ kNm}$$

$$N_{gp,stab} = -46,97 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{212,50 \text{ kN}}{480 \text{ cm}^2} = 4,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{11,90 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{\frac{16 \cdot 30^2}{6} \text{ cm}^3} = 4,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c,0,d,stabilizacija} = \frac{N_{gp,stab}}{A} = \frac{46,97 \cdot 10^3}{480 \cdot 10^2} = 0,98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos \alpha} = \frac{17,6}{\cos 20^\circ} = 3,12 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{3,12 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{10240 \text{ cm}^4}{480 \text{ cm}^2}}} = 67,55$$

$$\lambda_{\text{rel},c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit}}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{67,55}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,15$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},c,z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,15 - 0,3) + 1,15^2] \\ = 1,246$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},c,z}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,246 + \sqrt{1,246^2 - 1,15^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,582; 1,0\} = 0,582$$

Za savijane štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine b , $k_m = 1,0$, ako je:

$$\frac{(l_{\text{eff}} \cdot h)}{b^2} = \frac{312,1 \text{ cm} \cdot 28 \text{ cm}}{16^2 \text{ cm}^2} = 34,14 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,\text{stabilizacija}}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$

$$\frac{0,98}{0,58 \cdot 14,54} + \frac{4,96}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{4,43}{0,58 \cdot 14,54} = 0,94 < 1$$

Posmik:

$$V_d = 9,22 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{9,22 \text{ kN}}{480 \text{ cm}^2} = 0,029 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,105 < 1$$

Kombinacija opterećenja 2.

$$N_{t,d} = 49,71 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 4,78 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{\text{netto}}} = \frac{49,71 \text{ kN}}{0,80 \cdot 480 \text{ cm}^2} = 0,129 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{4,78 \cdot 100 \text{ kNcm}}{2400 \text{ cm}^3} = 0,199 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1$$

$$\frac{1,99}{16,62} + \frac{1,29}{9,69} = 0,253 < 1$$

Posmik:

$$V_d = 4,89 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{4,89 \text{ kN}}{480 \text{ cm}^2} = 0,0153 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,153 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,153 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,055 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 16/30 cm.

6.2 Donji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = 16/24 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 16 \cdot 24 = 384 \text{ cm}^2 = 38400 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{16 \cdot 24^3}{12} = 18432 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{24 \cdot 16^3}{12} = 8192 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{16 \cdot 24^2}{6} = 1536 \text{ cm}^3$$

Kombinacija opterećenja 2.

$$N_{c,d} = -44,62 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 1,16 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{44,62 \text{ kN}}{384 \text{ cm}^2} = 1,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1,16 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{\frac{16 \cdot 24^2}{6} \text{ cm}^3} = 0,76 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{2} = \frac{17,6}{2} = 8,8 \text{ m} \rightarrow \text{pridrzanje na sredini donjeg pojasa}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{8,8 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{8192 \text{ cm}^4}{384 \text{ cm}^2}}} = 190,53$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{190,53}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 3,231$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (3,231 - 0,3) + 3,231^2] \\ = 6,012$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{6,012 + \sqrt{6,012^2 - 3,231^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,090; 1,0\} = 0,090$$

Za savijane štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine b, $k_m = 1,0$, ako je:

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{880 \text{ cm} \cdot 24 \text{ cm}}{16^2 \text{ cm}^2} = 82,5 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz stabilnosti za os z:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$

$$\frac{0,76}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{1,16}{0,09 \cdot 14,54} = 0,932 < 1$$

Posmik:

$$V_d = 0,47 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,47 \text{ kN}}{384 \text{ cm}^2} = 0,018 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,018 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,007 < 1$$

Kombinacija opterećenja 4.

$$N_{t,d} = 202,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 3,76 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{\text{netto}}} = \frac{202,00 \text{ kN}}{0,80 \cdot 384 \text{ cm}^2} = 6,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{3,76 \cdot 100 \text{ kNcm}}{1536 \text{ cm}^3} = 0,245 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1$$

$$\frac{2,45}{16,62} + \frac{6,58}{9,69} = 0,826 < 1$$

Posmik:

$$V_d = 1,46 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,46 \text{ kN}}{384 \text{ cm}^2} = 0,0057 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,057 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,057 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,021 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 16/24 cm

6.3 Vertikale

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = \frac{16}{10} \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 16 \cdot 10 = 160 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{16 \cdot 10^3}{12} = 1333,33 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{10 \cdot 16^3}{12} = 3413,33 \text{ cm}^4$$

Kombinacija opterećenja 2.

$$N_{c,d} = -14,53 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{14,53 \text{ kN}}{160 \text{ cm}^2} = 0,0908 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,908 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,y} = 3,203 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{3,203 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{1333,33 \text{ cm}^4}{160 \text{ cm}^2}}} = 110,96$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{110,96}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,882$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,882 - 0,3) + 1,882^2] \\ = 2,429$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{2,429 + \sqrt{2,429^2 - 1,882^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,252; 1,0\} = 0,252$$

Dokaz stabilnosti za os y:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$

$$\frac{0,908}{0,252 \cdot 14,54} = 0,250 < 1$$

Kombinacija opterećenja 4.

$$N_{t,d} = 59,63 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{\text{netto}}} = \frac{59,63 \text{ kN}}{0,80 \cdot 160 \text{ cm}^2} = 0,4659 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,659 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1$$

$$\frac{4,659}{9,69} = 0,481 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 16/10 cm

6.4 Dijagonale

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = \frac{16}{12} \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 16 \cdot 12 = 192 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{16 \cdot 12^3}{12} = 2304 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{12 \cdot 16^3}{12} = 4096 \text{ cm}^4$$

Kombinacija opterećenja 2.

$$N_{t,d} = 17,29 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{\text{netto}}} = \frac{17,29 \text{ kN}}{0,80 \cdot 192 \text{ cm}^2} = 0,113 = 1,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1$$

$$\frac{1,13}{9,69} = 0,117 < 1$$

Kombinacija opterećenja 4.

$$N_{c,d} = -55,18 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{55,18 \text{ kN}}{192 \text{ cm}^2} = 0,287 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{\text{ef},y} = 3,628 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{\text{ef},y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{3,628 * 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{2304 \text{ cm}^4}{192 \text{ cm}^2}}} = 104,73$$

$$\lambda_{\text{rel},c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit}}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{104,73}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,776$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,776 - 0,3) + 1,776^2]$$

$$= 2,225$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{2,225 + \sqrt{2,225^2 - 1,776^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,281; 1,0\} = 0,281$$

Dokaz stabilnosti za os y:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$

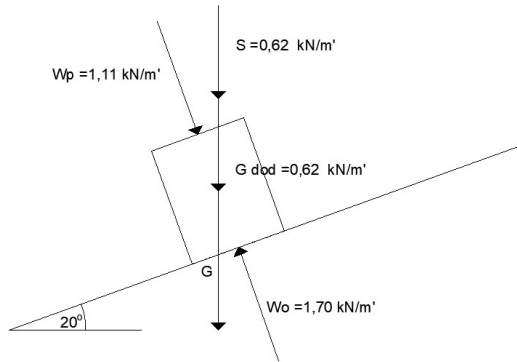
$$\frac{2,87}{0,28 \cdot 14,54} = 0,705 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 16/12 cm

6.5 Podrožnice u sustavu stabilizacije

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = 18/22 \text{ cm}$$



Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 22 = 396 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{18 \cdot 22^3}{12} = 15972 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{22 \cdot 18^3}{12} = 10692 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 22^2}{6} = 1452 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 18^2}{6} = 1188 \text{ cm}^3$$

Kombinacija opterećenja 4.

$$M_{y,d} = 10,68 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 2,12 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{podr,stab}} = -51,18 \text{ kN}$$

$$\sigma_{y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{10,68 \cdot 10^6}{1452 \cdot 10^3} = 7,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,12 \cdot 10^6}{1188 \cdot 10^3} = 1,78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c,0,d,\text{stabilizacija}} = \frac{N_{\text{podr,stab}}}{A} = \frac{51,18 \cdot 10^3}{396 \cdot 10^2} = 1,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Za savijane štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine b, $k_m = 1,0$, ako je:

$$\frac{(l_{\text{eff}} \cdot h)}{b^2} = \frac{510 \text{ cm} \cdot 22 \text{ cm}}{18^2 \text{ cm}^2} = 34,63 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{\text{ef,z}} = 5,1 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{5,1 * 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{10692 \text{ cm}^4}{396 \text{ cm}^2}}} = 98,150$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{98,150}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{7400,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,664$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,664 - 0,3) + 1,664^2] = 2,021$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{2,021 + \sqrt{2,021^2 - 1,664^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,316; 1,0\} = 0,316$$

$k_{red}=0.7$ – za pravokutne poprečne presjeke

$$\frac{\sigma_{c,0,V_1,d,\text{stabilizacija}}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} < 1,0$$

$$\frac{1,29}{0,316 \cdot 14,54} + \frac{7,36}{1 \cdot 16,62} + 0,7 \cdot \frac{1,78}{16,62} = 0,799 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,V_1,d,\text{stabilizacija}}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} < 1,0$$

$$\frac{1,29}{0,316 \cdot 14,54} + 0,7 \cdot \frac{7,36}{1 \cdot 16,62} + \frac{1,78}{16,62} = 0,698 < 1,0$$

Posmik:

$$V_{y,d} = 1,66 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 8,38 \text{ kN}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,66 \cdot 10^3}{39600} = 0,06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{8,38 \cdot 10^3}{39600} = 0,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{0,06}{2,77}\right)^2 + \left(\frac{0,32}{2,77}\right)^2 \leq 1,0$$

$$0,014 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 18/22 cm.

6.6 Čelične vlačne dijagonale krovnoa sprega

Pretpostavljeni poprečni presjek:

Ø18

S235

Geometrijske karakteristike

presjeka:

$$A_{\text{netto}} = 2,54 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{dij,stab}} = 50,27 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{2,54 * 23,5}{1,00} = 59,69 \text{ kN} > N_{\text{dij,stab}} = 50,27 \text{ kN}$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno Ø18.

7 POŽARNA OTPORNOST

Tražena klasa otpornosti na požar je F30, dakle djelovanje požara iznosi 30 min. U proračun otpornosti glavnoga nosača i sekundarnih nosača ulazim sa pretpostavkom da je spreg zaštićen od požara kako ne bi došlo do otkazivanja sustava za stabilizaciju.

Gustoća drva $\rho \geq 290 \text{ kg/m}^3$; $\beta_n = 0,8$

F30 ; $t_f = 30 \text{ min}$

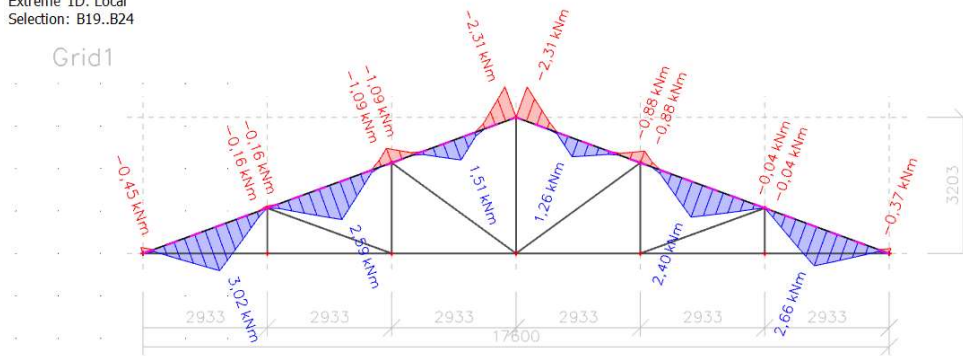
Gubitak poprečnog presjeka (točan proračun): $d(t_f) = \beta_n * t_f = 0,8 * 30 = 24 \text{ mm} \rightarrow$
UMANJENJE SVIH STRANICA ZA TAJ IZNOS*2

NAJKRITIČNIJA IZVANREDNA KOMBINACIJA

$c_{fi}=1,00$ *(vlastita težina-reduciranih presjeka + dodatno stalno opterećenje)+ $0,20$ *vjetar koji pritiska

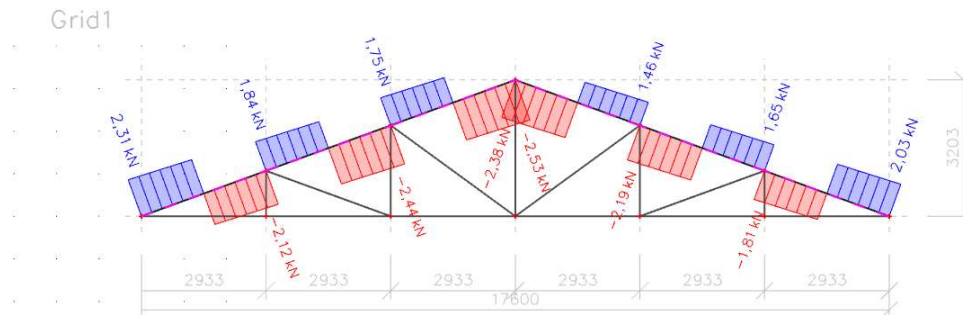
7.1 Dijagrami unutarnjih sila na glavnom nosaču za kritičnu izvanrednu kombinaciju

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: Požarna 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Local
 Selection: B19..B24



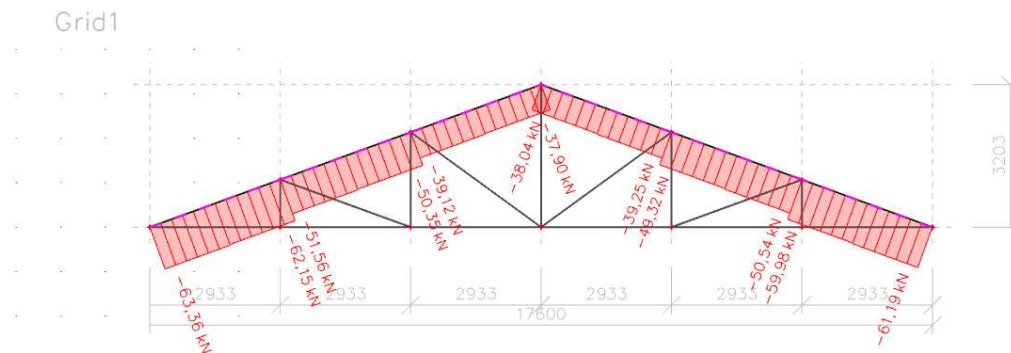
Slika 52. M-dijagram gornjeg pojasa glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: Požarna 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Local
 Selection: B19..B24



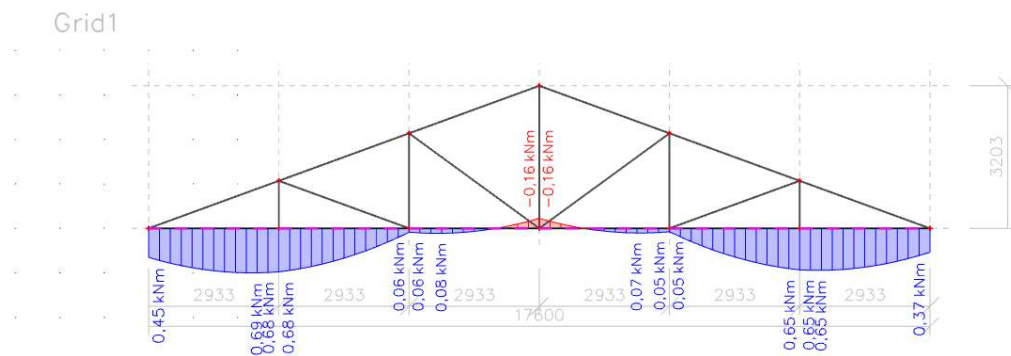
Slika 53. V-dijagram gornjeg pojasa glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces
 Values: **N**
 Linear calculation
 Combination: Požarna 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Local
 Selection: B19..B24



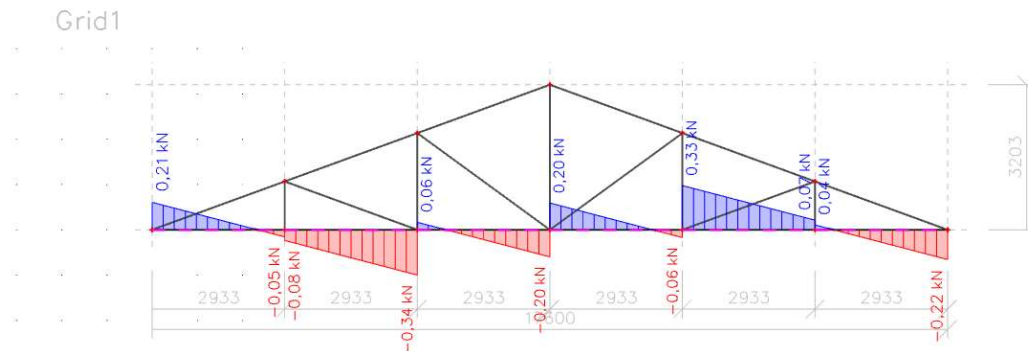
Slika 54. N-dijagram gornjeg pojasa glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces
 Values: **M_y**
 Linear calculation
 Combination: Požarna 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Local
 Selection: B1..B6



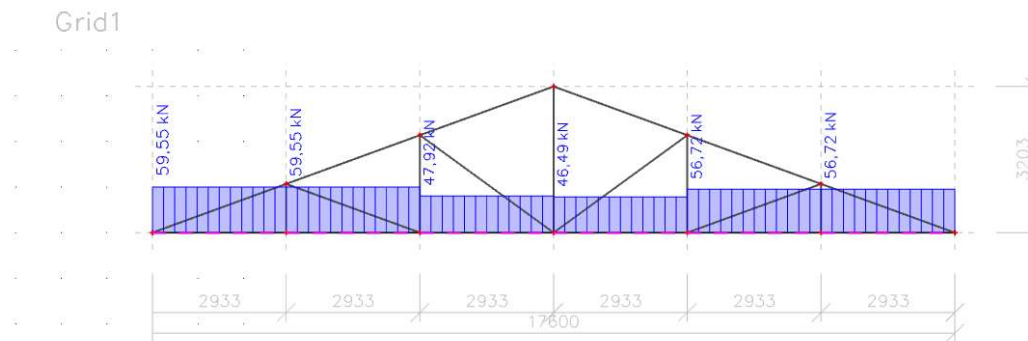
Slika 55. M-dijagram donjeg pojasa glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: Požarna 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Local
 Selection: B1..B6



Slika 56. V-dijagram donjeg pojasa glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

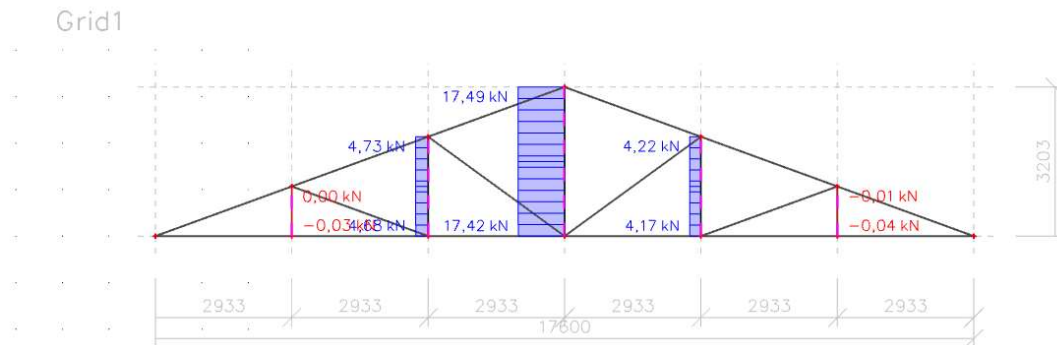
1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: Požarna 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Local
 Selection: B1..B6



Slika 57. N-dijagram donjeg pojasa glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces

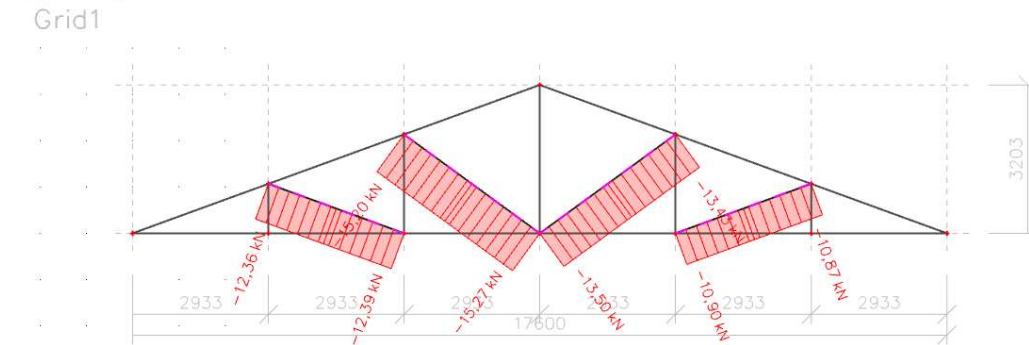
Values: **N**
Linear calculation
Combination: Požarna 3
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B25..B29



Slika 58. N-dijagram vertikala glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces

Values: **N**
Linear calculation
Combination: Požarna 3
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B30..B33

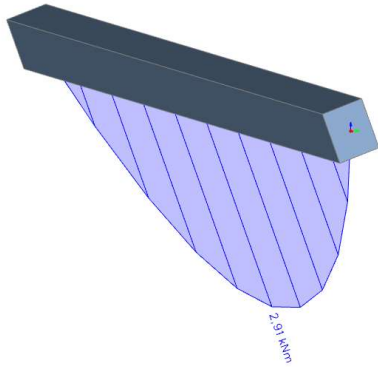


Slika 59. N-dijagram dijagonala glavnog nosača usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

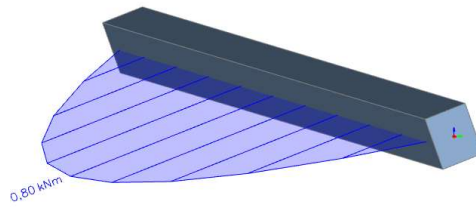
-Podrožnice

$c_{fi,2}=1,00$ *(vlastita težina-reduciranih presjeka + dodatno stalno opterećenje)+0,20*vjetar koji pritiska

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: požar 2-vjetar
pritiskajući
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

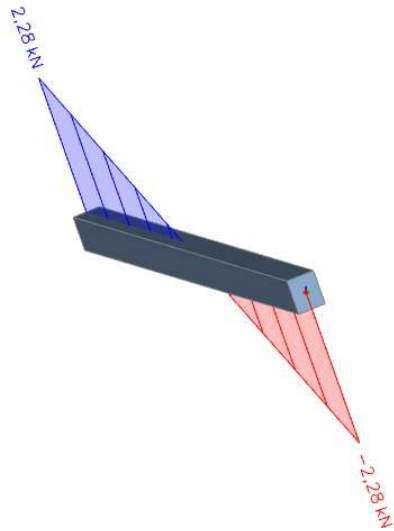


1D internal forces
Values: M_z
Linear calculation
Combination: požar 2-vjetar
pritiskajući
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

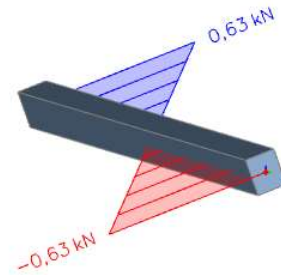


Slika 60. M_y i M_z -dijagram podrožnica usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: požar 2-vjetar
pritiskajući
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces
Values: V_y
Linear calculation
Combination: požar 2-vjetar
pritiskajući
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 61. V_z i V_y -dijagram podrožnica usljed djelovanja najkritičnije požarne kombinacije

7.2 Analiza djelovanja požara na krovni spreg

7.2.1 Opterećenje od vjetra na zabatne stupove-aproksimacija

$$q_p(z) = 1,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$c_{pi} "+" = +0,2$$

$$c_{pe} "-" = -1,2$$

$$H = 10 \text{ m}$$

$$q_{wd} = q_p(z) * c_{p,comb} * \frac{H}{2} = 1,06 * (-1,2 - 0,2) * 5 = -7,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

S obzirom da u sustavu imamo dva sprega opterećenje dijelimo na pola za svaki spreg:

$$\frac{q_{wd}}{2} = -3,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

U konačnici dobivamo iznos sile u čvorovima rešetke sprega:

$$\frac{q_{wd}}{2} * 3,12 = -11,58 \text{ kN}$$

7.2.2 Trenje po plohi krova

Zamjenjujuće opterećenje od trenja po plohi krova:

$$w_k = 0,01 * q_p(z)$$

$$w_k = 0,01 * 1,06 = 0,0106 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Djelovanje na jedan spreg:

$$q_{wk} = \frac{1}{2} * B * w_k$$

$$q_{wk} = \frac{1}{2} * 51 * 0,0106 = 0,2703 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Na posljetku iznos sile u čvorovima sprega dobivamo kao:

$$Q_{wk} = a' * q_{wk}$$

Pri čemu je a' stvarna dužina polja sprega

$$Q_{wk} = 3,12 * 0,2703 = 0,84 \text{ kN}$$

7.2.3 Izbočavanje (stabilizacija)

-promatramo uzdužne sile u najkritičnijoj kombinaciji za požar u gornjem pojasu najopterećenijeg glavnog nosača

$$\sum N_{\text{gornji pojas}} = -305,01 \text{ kN}$$

$$N_d = \frac{\sum N_{\text{gornji pojas}}}{6} = \frac{-305,01}{6} = -50,84 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{1}} \right\} = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{18,72}} \right\} = \min\{1; 0,895\} = 0,895$$

$$n = \frac{\text{broj nosača}}{\text{broj spregova}} = \frac{11}{2} = 5,5$$

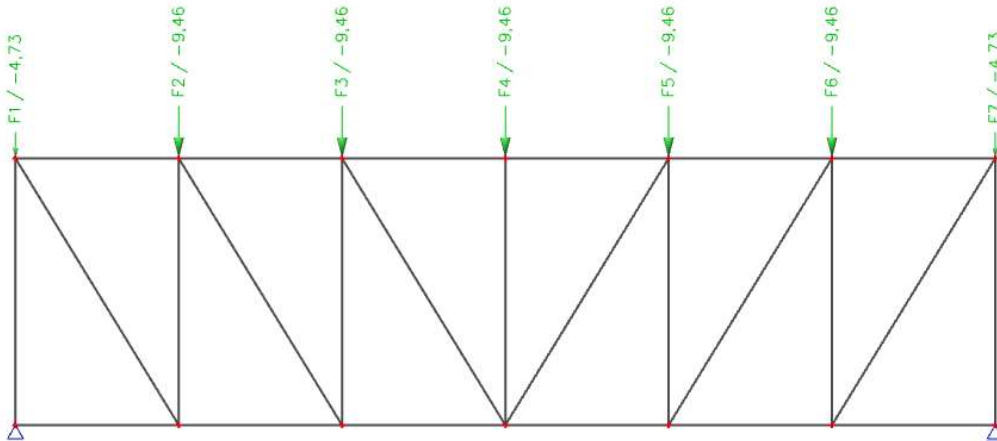
$$q_d = 0,895 * \frac{n * N_d}{30 * 1} = 0,895 * \frac{5,5 * (-50,84)}{30 * 18,72} = -0,45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

U konačnici dobivamo iznos sile u čvorovima rešetke sprega:

$$q_d * 3,12 = -1,39 \text{ kN}$$

Konačno, u čvorovima rešetke sprega:

$$0,65 * [(-11,58) + (-0,84)] + (-1,39) = -9,46 \text{ kN}$$



Slika 62. Ukupne sile u čvorovima sprega za najkritičniju požarnu kombinaciju

7.3 Dimenzioniranje na požar

7.3.1 Gornji pojas

REDUCIRANI poprečni presjek:

$$b/h = 11,2/25,2 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A_r = 11,2 \cdot 25,2 = 282,24 \text{ cm}^2$$

$$u_r = 11,2 \cdot 2 + 25,2 \cdot 2 = 72,8 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{11,2 \cdot 25,2^3}{12} = 14936,14 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{25,2 \cdot 11,2^3}{12} = 2950,35 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{11,2 \cdot 25,2^2}{6} = 1185,41 \text{ cm}^3$$

$$N_{\text{stab,fi}} = -26,04 \text{ kN}$$

$$N_{\text{c,d}} = -63,36 \text{ kN}$$

$$M_{\text{y,d}} = 3,02 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\text{stab,fi}} = \frac{N_{\text{stab,fi}}}{A_r} = \frac{26,04 \text{ kN}}{282,24 \text{ cm}^2} = 0,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{c,0,d}} = \frac{N_{\text{c,d}}}{A_r} = \frac{63,36 \text{ kN}}{282,24 \text{ cm}^2} = 2,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{m,y,d}} = \frac{M_{\text{y,d}}}{W_y} = \frac{3,02 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{\frac{11,2 \cdot 25,2^2}{6} \text{ cm}^3} = 2,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{\text{m,k}} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{c,0,k}} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{v,k}} = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,69 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 0,69 = 0,575 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

Koeficijenti $\gamma_{M,fi}$, $k_{mod,fi}$ i k_{fi} za cjelovito drvo (ovisno o A_r , u_r):

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{72,8}{282,24} = 0,999$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{72,8}{282,24} = 0,998$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{72,8}{282,24} = 0,999$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{24 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 29,97 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{21 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 26,20 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 9240,75 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 575 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 478,69 \frac{N}{mm^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos \alpha} = \frac{17,6}{\cos 20^\circ} = 3,12 \text{ m}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A_r}}} = \frac{3,12 * 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{2950,35 \text{ cm}^4}{282,24 \text{ cm}^2}}} = 96,50$$

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} = \frac{96,50}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{9240,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,64$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z,fi}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,64 - 0,3) + 1,64^2] = 1,979$$

$$k_{c,z,fi} = \min \left\{ \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,c,z,fi}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,979 + \sqrt{1,979^2 - 1,64^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,324; 1,0\} = 0,324$$

Za savijane štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine b, $k_{m,fi} = 1,0$, ako je:

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{312,1 \text{ cm} \cdot 25,2 \text{ cm}}{11,2^2 \text{ cm}^2} = 62,70 < 140 \Rightarrow k_{m,fi} = 1,0$$

$$\frac{\sigma_{stab,fi}}{k_{c,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} < 1$$

$$\frac{0,92}{0,324 \cdot 26,20} + \frac{2,55}{1,0 \cdot 29,97} + \frac{2,24}{0,324 \cdot 26,20} = 0,452 < 1$$

Posmik:

$$V_d = 2,53 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_r} = 1,5 \cdot \frac{2,53 \text{ kN}}{282,24 \text{ cm}^2} = 0,013 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d,fi} = 1,5 * f_{v,d} = 1,5 * 4,0 = 6,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d,fi}} = \frac{0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{6,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,022 < 1$$

7.3.2 Donji pojas

REDUCIRANI poprečni presjek:

$$b/h = 11,2/19,2 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A_r = 11,2 \cdot 19,2 = 215,04 \text{ cm}^2$$

$$u_r = 11,2 \cdot 2 + 19,2 \cdot 2 = 60,8 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{11,2 \cdot 19,2^3}{12} = 6606,03 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{19,2 \cdot 11,2^3}{12} = 2247,88 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{11,2 \cdot 19,2^2}{6} = 688,13 \text{ cm}^3$$

$$N_{c,d} = +59,55 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0,69 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A_{r,netto}} = \frac{59,55 \text{ kN}}{0,8 \cdot 215,04 \text{ cm}^2} = 3,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,69 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{\frac{11,2 \cdot 19,2^2}{6} \text{ cm}^3} = 1,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,69 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 0,69 = 0,575 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

Koeficijenti $\gamma_{M,fi}$, $k_{\text{mod},fi}$ i k_{fi} za cjelovito drvo (ovisno o A_r , u_r):

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{60,8}{215,04} = 0,999$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{\text{mod},fi} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{60,8}{215,04} = 0,999$$

$$f_{m,d,fi} = k_{\text{mod}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 29,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,d,fi} = k_{\text{mod}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 17,48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 9240,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 478,69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_{ef,z} = \frac{l}{2} = \frac{17,6}{2} = 8,8 \text{ m- pridrzanje na sredini donjeg pojasa}$$

Za savijane štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine b, $k_{m,fi} = 1,0$, ako je:

$$\frac{(l_{\text{eff}} \cdot h)}{b^2} = \frac{880 \text{ cm} \cdot 19,2 \text{ cm}}{11,2^2 \text{ cm}^2} = 134,69 < 140 \Rightarrow k_{m,fi} = 1,0$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} + \frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} < 1$$

$$\frac{1,00}{1,0 \cdot 29,97} + \frac{3,64}{17,48} = 0,242 < 1$$

Posmik:

$$V_d = 0,34 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_r} = 1,5 \cdot \frac{0,34 \text{ kN}}{215,04 \text{ cm}^2} = 0,002 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d,fi}} = \frac{0,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{6,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,003 < 1$$

7.3.3 Vetikale

REDUCIRANI poprečni presjek:

$$b/h = 11,2/5,2 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A_r = 11,2 \cdot 5,2 = 58,24 \text{ cm}^2$$

$$u_r = 11,2 \cdot 2 + 5,2 \cdot 2 = 32,8 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{11,2 \cdot 5,2^3}{12} = 131,23 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{5,2 \cdot 11,2^3}{12} = 608,80 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{11,2 \cdot 5,2^2}{6} = 50,47 \text{ cm}^3$$

$$N_{c,d} = -0,04 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A_r} = \frac{0,04 \text{ kN}}{58,24 \text{ cm}^2} = 0,007 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,69 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 0,69 = 0,575 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2}{3} \cdot G_{05} \cdot \gamma_{M,fi}$$

Koeficijenti $\gamma_{M,fi}$, $k_{\text{mod},fi}$ i k_{fi} za cjelovito drvo (ovisno o A_r , u_r):

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{32,8}{58,24} = 0,995$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{32,8}{58,24} = 0,998$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{\text{mod}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,995 \cdot 1,25 \cdot \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 26,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,d,fi} = k_{\text{mod}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 17,47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod,fi}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 9231,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{d,fi} = k_{\text{mod,fi}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 478,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{\text{ef,y}} = 1,068 \text{ m}$$

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{\text{ef,y}}}{\sqrt{\frac{I_y}{A_r}}} = \frac{1,068 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{131,23 \text{ cm}^4}{58,24 \text{ cm}^2}}} = 71,15$$

$$\lambda_{\text{rel,c,y,fi}} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,fi}}{E_{d,fi}}} = \frac{71,15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{9231,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,205$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$\begin{aligned} k_{y,fi} &= 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel,c,y,fi}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,c,y,fi}}^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,205 - 0,3) + 1,205^2] = 1,317 \end{aligned}$$

$$k_{c,y,fi} = \min \left\{ \frac{1}{k_{y,fi} + \sqrt{k_{y,fi}^2 - \lambda_{\text{rel,c,y,fi}}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,317 + \sqrt{1,317^2 - 1,205^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,541; 1,0\} = 0,541$$

Dokaz stabilnosti za os y:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} < 1$$

$$\frac{0,007}{0,541 \cdot 26,12} = 0,001 < 1$$

$$N_{t,d} = 17,49 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d,fi} = \frac{N_{t,d}}{A_{r,netto}} = \frac{17,49 \text{ kN}}{0,80 \cdot 58,24 \text{ cm}^2} = 3,754 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} < 1$$

$$\frac{3,754}{17,47} = 0,215 < 1$$

7.3.4 Dijagonale

REDUCIRANI poprečni presjek:

$$b/h = 11,2/7,2 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A_r = 11,2 \cdot 7,2 = 80,64 \text{ cm}^2$$

$$u_r = 11,2 \cdot 2 + 7,2 \cdot 2 = 36,8 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{11,2 \cdot 7,2^3}{12} = 348,36 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{7,2 \cdot 11,2^3}{12} = 842,96 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{11,2 \cdot 7,2^2}{6} = 96,77 \text{ cm}^3$$

$$N_{c,d} = -15,27 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A_r} = \frac{15,27 \text{ kN}}{80,64 \text{ cm}^2} = 1,89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,69 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 0,69 = 0,575 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

Koeficijenti $\gamma_{M,fi}$, $k_{\text{mod},fi}$ i k_{fi} za cjelovito drvo (ovisno o A_r , u_r):

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{36,8}{80,64} = 0,996$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{36,8}{80,64} = 0,998$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{\text{mod}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,996 \cdot 1,25 \cdot \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 26,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{d,fi} = k_{\text{mod,fi}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 9231,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{d,fi} = k_{\text{mod,fi}} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 478,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{\text{ef,y}} = 3,628 \text{ m}$$

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{\text{ef,y}}}{\sqrt{\frac{I_y}{A_r}}} = \frac{3,628 * 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{348,36 \text{ cm}^4}{80,64 \text{ cm}^2}}} = 174,55$$

$$\lambda_{\text{rel,c,y,fi}} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,fi}}{E_{d,fi}}} = \frac{174,55}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{9231,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 2,957$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel,c,y,fi}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,c,y,fi}}^2]$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,957 - 0,3) + 2,957^2] = 5,138$$

$$k_{c,y,fi} = \min \left\{ \frac{1}{k_{y,fi} + \sqrt{k_{y,fi}^2 - \lambda_{\text{rel,c,y,fi}}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{5,138 + \sqrt{5,138^2 - 2,957^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,107; 1,0\} = 0,107$$

Dokaz stabilnosti za os y:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} < 1$$

$$\frac{1,89}{0,107 \cdot 26,15} = 0,675 < 1$$

7.3.5 Podrožnice u sustavu stabilizacije

REDUCIRANI poprečni presjek:

$$b/h = 13,2/17,2 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A_r = 13,2 \cdot 17,2 = 227,04 \text{ cm}^2$$

$$u_r = 13,2 \cdot 2 + 17,2 \cdot 2 = 60,8 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{13,2 \cdot 17,2^3}{12} = 5597,29 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{17,2 \cdot 13,2^3}{12} = 3296,62 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{13,2 \cdot 17,2^2}{6} = 650,85 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{17,2 \cdot 13,2^2}{6} = 499,49 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{M_{y,d} = 2,91 \text{ kNm}}$$

$$\mathbf{M_{z,d} = 0,80 \text{ kNm}}$$

$$\mathbf{N_{podr,stab} = -28,38 \text{ kN}}$$

$$\sigma_{stab,fi} = \frac{N_{podr,stab}}{A_r} = \frac{28,38 \text{ kN}}{227,04 \text{ cm}^2} = 1,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,91 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{650,85 \text{ cm}^3} = 4,47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,8 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{499,49 \text{ cm}^3} = 1,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,69 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 0,69 = 0,575 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}}$$

Koeficijenti $\gamma_{M,fi}$, $k_{mod,fi}$ i k_{fi} za cjelovito drvo (ovisno o A_r , u_r):

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25$$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{60,8}{227,04} = 0,999$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{60,8}{227,04} = 0,998$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{300} \cdot \frac{60,8}{227,04} = 0,999$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{24 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 29,97 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,998 \cdot 1,25 \cdot \frac{21 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 26,20 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 9240,75 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,999 \cdot 1,25 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 575 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 478,69 \frac{N}{mm^2}$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = 5,1 \text{ m}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A_r}}} = \frac{5,1 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{3296,62 \text{ cm}^4}{227,04 \text{ cm}^2}}} = 133,84$$

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}} = \frac{133,84}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{9240,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 2,27$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (puno drvo)}$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z,fi}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,27 - 0,3) + 2,27^2] = 3,27$$

$$k_{c,z,fi} = \min \left\{ \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,c,z,fi}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{3,27 + \sqrt{3,27^2 - 2,27^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,178; 1,0\} = 0,178$$

Za savijane štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine b, $k_m = 1,0$, ako je:

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{510 \text{ cm} \cdot 17,2 \text{ cm}}{13,2^2 \text{ cm}^2} = 50,34 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

$k_{red}=0.7$ – za pravokutne poprečne presjeke

$$\sigma_{stab,fi} = \frac{N_{podr,stab}}{A_r} = \frac{28,38 \text{ kN}}{227,04 \text{ cm}^2} = 1,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,91 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{650,85 \text{ cm}^3} = 4,47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,8 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{499,49 \text{ cm}^3} = 1,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{stab,fi}}{k_{c,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d,fi}} < 1$$

$$\frac{\sigma_{stab,fi}}{k_{c,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d,fi}} < 1$$

$$\frac{1,25}{0,178 \cdot 26,20} + \frac{4,47}{1,0 \cdot 29,97} + 0,7 \cdot \frac{1,60}{29,97} < 1$$

$$\frac{1,25}{0,178 \cdot 26,20} + 0,7 \cdot \frac{4,47}{1,0 \cdot 29,97} + \frac{1,6}{29,97} < 1$$

$$0,45 < 1$$

$$0,43 < 1$$

Posmik:

$$V_{y,d} = 0,63 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 2,82 \text{ kN}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A_r} = 1,5 \cdot \frac{0,63 \cdot 10^3}{22704} = 0,03 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A_r} = 1,5 \cdot \frac{2,82 \cdot 10^3}{22704} = 0,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d,fi}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d,fi}} \right)^2 \leq 1,0$$

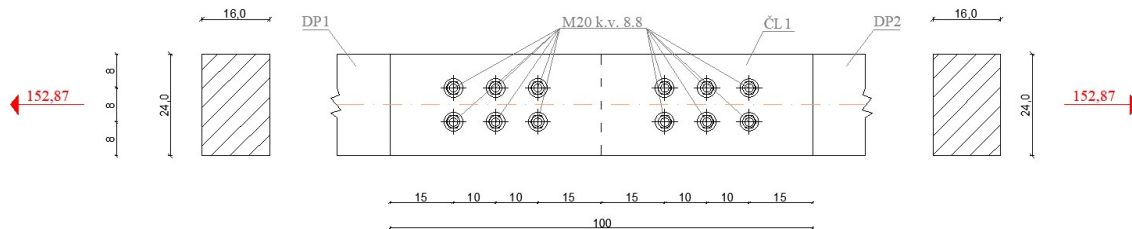
$$\left(\frac{0,03}{6,0} \right)^2 + \left(\frac{0,12}{6,0} \right)^2 \leq 1,0$$

$$0,001 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 18/22 cm.

8 PRORAČUN SPAJALA

8.1 Vlačni spoj donjeg pojasa DP1 i DP2



Slika 64. Vlačni spoj donjeg pojasa DP1 i DP2

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim/vertikala:

S235

2 x (t = 3 mm)

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 20mm – k. v. 8.8

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{\text{mod}} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

drvo $\gamma_M = 1,30$

čelik $\gamma_M = 1,10$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

$F_d = 152,87$ kN (kratkotrajno – 4. kombinacija)

Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakancata i proračunava se na slijedeći način:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 350 = 22,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na slijedeći način:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 579280,93 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ mm} \rightarrow t = 10 \text{ mm}$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 579280,93 \cdot 22,96 \cdot 20} = 23065,38 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{579280,93}{22,96 \cdot 20}} = 35,52 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 23065,38}{1,1} = 18871,67\text{N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{152870}{2 \cdot 18871,67} = 4,05 \text{ kom}$$

Odabrano: 6 PBØ 20mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

3 vijka u nizu – u smjeru sile

$a_1 = 100 \text{ mm}$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ 3; 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 20}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min\{3; 2,26\} = 2,26$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,\text{TOT}}} = \frac{152,87 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 2,26 \cdot 23065,38} = 0,73 < 1,0$$

$$(R_{d,\text{TOT}} = 2 \cdot n_{\text{reda}} \cdot 2 \cdot n_{\text{niza}} \cdot n_{\text{ef}} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,\text{req}} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,\text{req}} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Okomito na vlakanca:

$$a_{2,\text{req}} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,\text{req}} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 20 ; 80\} = \max\{140 ; 80\} = 140 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

Nepterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik:

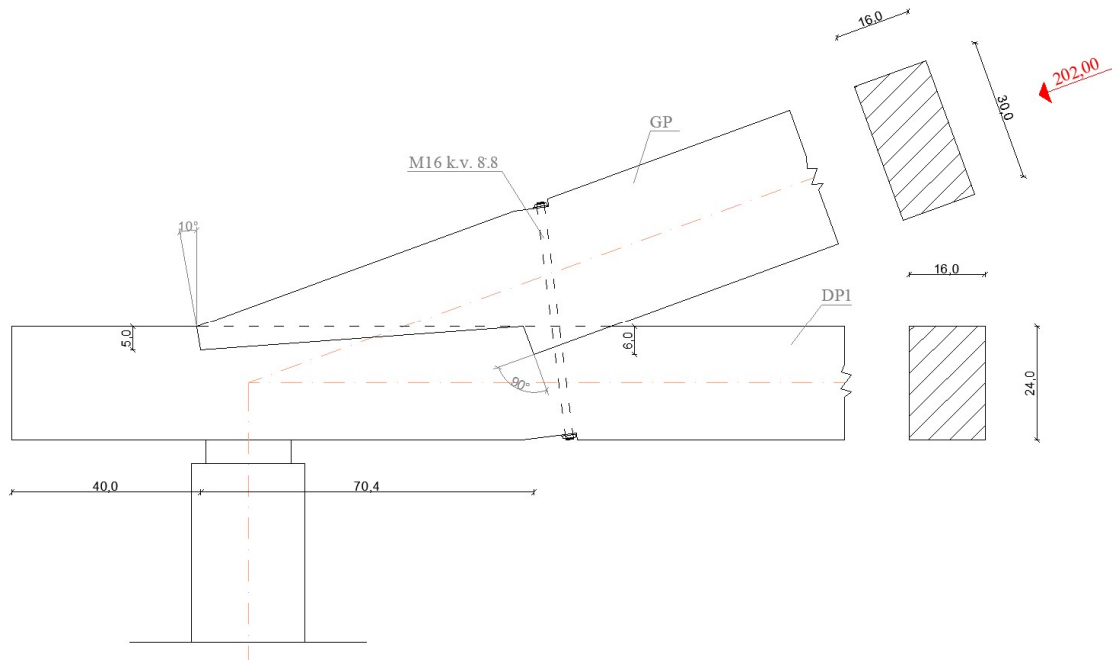
$$A_{\text{netto}} = 240 \cdot 3 - 2 \cdot [3 \cdot (20 + 1)] = 594,00 \text{ mm}^2 = 5,94 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,\text{Rd}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{netto}}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 5,94}{1,1} = 126,90 \text{ kN}$$

$$N_{t,\text{Rd}} = 126,9 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = \frac{152,87}{2} = 76,44 \text{ kN}$$

$$\frac{76,44}{126,9} = 0,60 < 1$$

8.2 Spoj donjeg pojasa DP1 i gornjeg pojasa GP dvostrukim zasjekom



Slika 65. Spoj donjeg pojasa DP1 i gornjeg pojasa GP dvostrukim zasjekom

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Gornji pojas:

C24/up.kl. 2

16/30 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{\text{mod}} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

drvo $\gamma_M = 1,30$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

$$F_d = -202,00 \text{ kN (kratkotrajno – 4. kombinacija)}$$

$$\gamma = 20^\circ$$

$$A_1 = \frac{b_1 * t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{16 * 5}{\cos 10} = 81,23 \text{ cm}^2 \quad \alpha = \frac{\gamma}{2} = 10^\circ$$

$$A_1 = \frac{b_2 * t_{v,2}}{\cos \gamma} = \frac{16 * 6}{\cos 20} = 102,16 \text{ cm}^2$$

C24-proračunske vrijednosti čvrstoća

$$f_{c,0,d} = 0,9 * \frac{21}{1,3} = 14,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 0,9 * \frac{4}{1,3} = 2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

DOKAZI

Kontrola dubina zasjeka $t_v \leq \frac{h_2}{4}$

$$t_{v,1} = 5 \text{ cm} \leq \frac{24}{4} = 6 \text{ cm}$$

$$t_{v,2} = 6 \text{ cm} \leq \frac{24}{4} = 6 \text{ cm}$$

DOKAZI NOSIVOST

Prednje čelo zasjeka

$$R_{1,\alpha,d} = f_{c,\alpha,d} * A_1$$

$f_{c,\alpha,d} \rightarrow$ proračunavamo prema odredbama DIN koje se odnose na tesarske spojeve

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{v,d}} * \sin \alpha \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 * 1,73} * \sin^2 10^\circ\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 * 2,77} * \sin 10^\circ \cos 10^\circ\right)^2 + \cos^4 10^\circ}}$$

$$= 13,51 \frac{N}{mm^2}$$

$$R_{1,\alpha,d} = 13,51 * 81,23 * 10^2 = 109741,73 N$$

U osi štapa

$$R_{1,c,0,d} = \frac{R_{1,\alpha,d}}{\cos \alpha} = \frac{109741,73}{\cos 10^\circ} = 111434,67 N = 111,43 kN$$

Zadnje čelo zasjeka

$$R_{2,c,0,d} = R_{2,\gamma,d} = f_{c,\gamma,d} * A_2$$

$$f_{c,\gamma,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{c,90,d}} * \sin^2 \gamma\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{v,d}} * \sin \gamma \cos \gamma\right)^2 + \cos^4 \gamma}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 * 1,73} * \sin^2 20^\circ\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 * 2,77} * \sin 20^\circ \cos 20^\circ\right)^2 + \cos^4 20^\circ}}$$

$$= 11,05 \frac{N}{mm^2}$$

$$R_{2,c,0,d} = R_{2,\gamma,d} = 11,05 * 102,16 * 10^2 = 112886,80 N = 112,89 kN$$

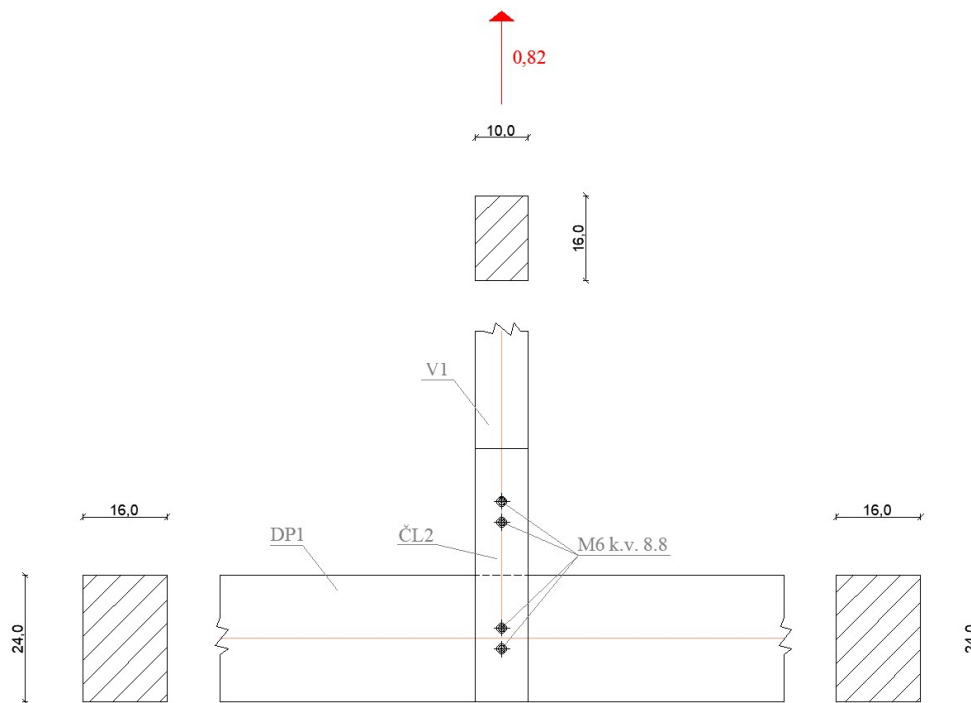
UKUPNA NOSIVOST ZASJEKA

$$R_{tot,d} = R_{1,c,0,d} + R_{2,c,0,d} = 111,34 + 112,89 = 224,23 kN$$

$$\frac{F_d}{R_{tot,d}} = \frac{202,00}{224,23} = 0,90 < 1$$

Mjesto spoja osiguravamo konstruktivnim vijkom M16 k.v.8.8.

8.3 Spoj donjeg pojasa DP1 i vertikalne ispune rešetke V1



Slika 66. Spoj donjeg pojasa DP1 i vertikalne ispune rešetke V1

Vertikala:

C24/up.kl. 2

16/10 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim/vertikala:

S235

2 x (t = 3mm)

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 6mm – k. v. 8.8

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{mod} = 0,90$ **Parcijalni koeficijenti sigurnosti:**drvo $\gamma_M = 1,30$ čelik $\gamma_M = 1,10$ **Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:** **$F_d = 0,82$ kN (kratkotrajno – vlak)****Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:**

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakancina i proračunava se na slijedeći način:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) \cdot 350 = 26,98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na slijedeći način:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 6^{2,6} = 25316,55 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ mm} \rightarrow t = 3 \text{ mm}$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 25316,55 \cdot 26,98 \cdot 6} = 2862,95 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{25316,55}{26,98 \cdot 6}} = 69,44 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 2862,95}{1,1} = 2342,41 \text{ N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{0,82}{2 \cdot 2,34} = 0,18 \text{ kom}$$

Odabrano: 2 PBØ 6mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

2 vijka u nizu – u smjeru sile

$a_1 = 40 \text{ mm}$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{40}{10 \cdot 6}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min\{2; 1,69\} = 1,69$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,\text{TOT}}} = \frac{0,82 \cdot 10^3}{1 \cdot 2 \cdot 1,69 \cdot 2862,95} = 0,08 < 1,0$$

$$(R_{d,TOT} = 1 \text{ red} \cdot 2 \text{ niza} \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 6 = 30 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 6 ; 80\} = \max\{42 ; 80\} = 80 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Nepterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik

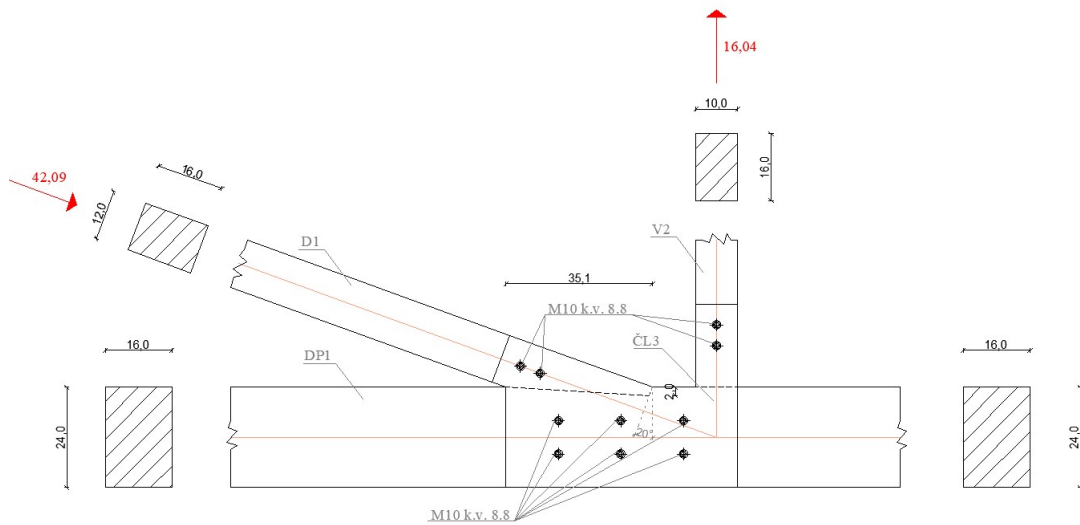
$$A_{nett} = 100 \cdot 3 - [1 \cdot (6 + 1)] = 293 \text{ mm}^2 = 2,93 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{netto}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 2,93}{1,1} = 62,60 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 62,60 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = 0,41 \text{ kN}$$

$$\frac{0,41}{62,60} = 0,01 < 1$$

8.4 Spoj donjeg pojasa DP1, dijagonalne ispune D1 i vertikalne ispune rešetke V2



Slika 67. Spoj donjeg pojasa DP1, dijagonalne ispune D1 i vertikalne ispune rešetke V2
JEDNOSTRUKI ZASJEK (DIJAGONALA- DONJI POJAS)

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Dijagonalna ispuna:

C24/up.kl. 2

16/12 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{\text{mod}} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

drvo $\gamma_M = 1,30$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

$$F_d = -42,09 \text{ kN (kratkotrajno – 4. kombinacija)}$$

$$\gamma = 20^\circ$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = 10^\circ$$

$$F_{c,\alpha,d} = F_d * \cos \alpha = 42,09 * \cos 10 = 41,45 \text{ kN}$$

$$A = \frac{b * t_v}{\cos \alpha} = \frac{16 * 2}{\cos 10} = 32,49 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} = \frac{41,45 * 10^3}{32,49 * 10^2} = 12,76 \text{ N/mm}^2$$

C24-proračunske vrijednosti čvrstoća

$$f_{c,0,d} = 0,9 * \frac{21}{1,3} = 14,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 0,9 * \frac{4}{1,3} = 2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

DOKAZI

Kontrola dubina zasjeka $t_v \leq \frac{h_2}{4}$

$$t_{v,1} = 2 \text{ cm} \leq \frac{24}{4} = 6 \text{ cm}$$

DOKAZI NOSIVOST

Prednje čelo zasjeka

$f_{c,\alpha,d} \rightarrow$ proračunavamo prema odredbama DIN koje se odnose na tesarske spojeve

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{v,d}} * \sin \alpha \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 * 1,73} * \sin^2 10^\circ\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 * 2,77} * \sin 10^\circ \cos 10^\circ\right)^2 + \cos^4 10^\circ}}$$

$$= 13,51 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{12,76}{13,51} = 0,94 < 1,00$$

Mjesto spoja osiguravamo konstruktivnim vijcima M10 k.v.8.8. te čeličnim limom debljine 3mm.

VLAČNI SPOJ TIJESNO UGRAĐENIM VIJCIMA (VERTIKALA- DONJI POJAS)

Vertikala:

C24/up.kl. 2

16/10 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim/vertikala:

S235

2 x (t = 3mm)

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 10mm – k. v. 8.8 – VERTIKALA

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{mod} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

$$\text{drvo } \gamma_M = 1,30$$

$$\text{čelik } \gamma_M = 1,10$$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

$$\text{VERTIKALA: } F_d = 16,04 \text{ kN (4. kombinacija – vlak)}$$

Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakancija i proračunava se na slijedeći način:

Vertikalna:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 350 = 25,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na slijedeći način:

Vertikalna:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 10^{2,6} = 95545,72 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ mm} \rightarrow t \leq 5 \text{ mm}$

DEBLJINA LIMA USVOJENO: $t=3 \text{ mm}$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

Vertikalna:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 95545,72 \cdot 25,83 \cdot 10} = 7025,59 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{95545,72}{25,83 \cdot 10}} = 75,51 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 7025,59}{1,1} = 5748,21 \text{ N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{16,04}{2 \cdot 5,75} = 1,39 \text{ kom}$$

Odabrano: 2 PBØ 10mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

2 vijka u nizu – u smjeru sile

$$a_1 = 50 \text{ mm}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{10 \cdot 10}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min\{2; 1,57\} = 1,57$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{16,04 \cdot 10^3}{1 \cdot 2 \cdot 1,57 \cdot 5748,21} = 0,89 < 1,0$$

$$(R_{d,TOT} = 1 \text{ red} \cdot 2 \text{ niza} \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 10 = 50 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 10 ; 80\} = \max\{70 ; 80\} = 80 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Neopterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik

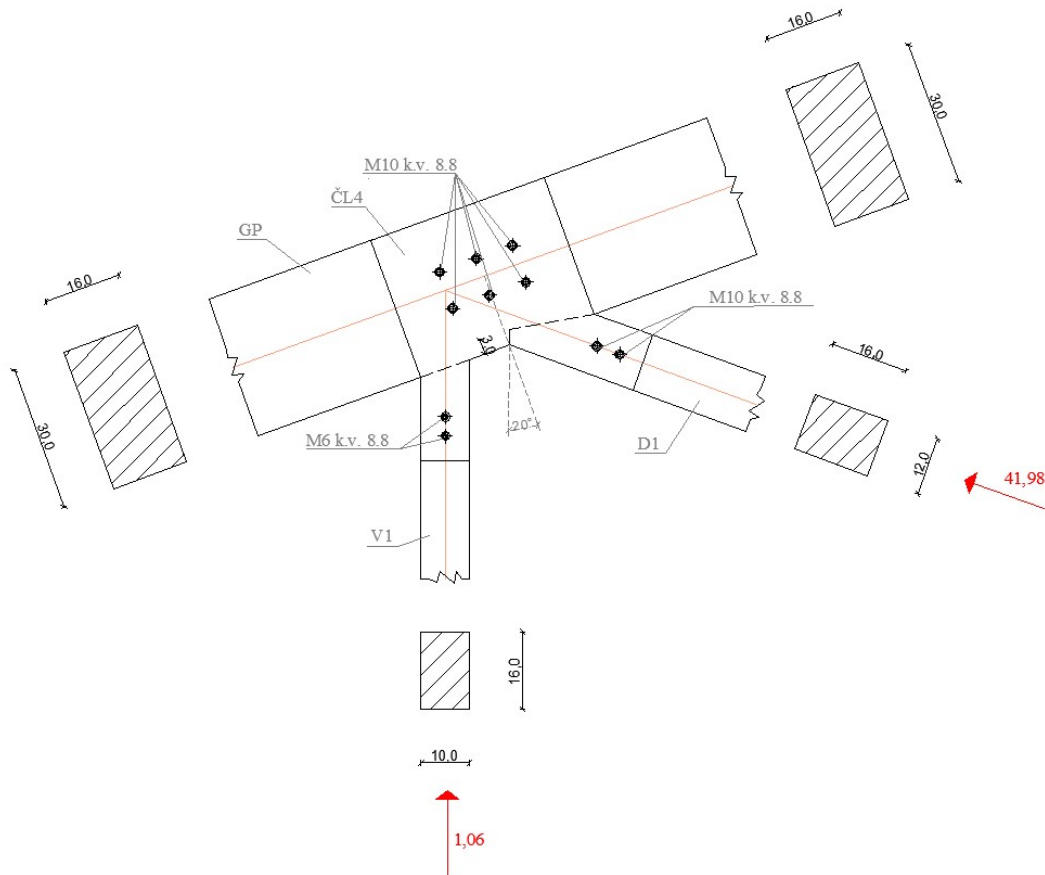
$$A_{netto} = 100 \cdot 3 - [1 \cdot (10 + 1)] = 289 \text{ mm}^2 = 2,89 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{netto}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 2,89}{1,1} = 61,74 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 61,74 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = 8,02 \text{ kN}$$

$$\frac{8,02}{61,74} = 0,13 < 1$$

8.5 Spoj gornjeg pojasa GP , vertikalne ispune rešetke V1 i dijagonalne ispune rešetke D1



Slika 68. Spoj gornjeg pojasa GP , vertikalne ispune rešetke V1 i dijagonalne ispune rešetke D1

JEDNOSTRUKI ZASJEK-zbog male tlačne sile u vertikali izvodimo samo na mjestu spoja gornjeg pojasa sa dijagonalnom ispunom. Čitav spoj osiguravamo konstruktivno vijcima M10 k.v. 8.8 u dijagonali i M6 k.v. 8.8 te čeličnim limom debljine 3 mm.

Dijagonala:

C24/up.kl. 2

16/12 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Gornji pojas:

C24/up.kl. 2

16/30 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim:

S235

2 x (t = 3mm)

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 6mm – k. v. 8.8 – VERTIKALA

PBØ 10mm – k. v. 8.8 – DIJAGONALA

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{\text{mod}} = 0,90$ **Parcijalni koeficijenti sigurnosti:**drvo $\gamma_M = 1,30$ čelik $\gamma_M = 1,10$ **Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:****VERTIKALA: $F_d = -1,06 \text{ kN}$ (4. KOMBINACIJA)****DIJAGONALA: $F_d = -41,98 \text{ kN}$ (4. KOMBINACIJA)** **$\gamma = 40^\circ$ kut između dijagonale i gornjeg pojasa**

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = 20^\circ$$

$$F_{c,\alpha,d} = F_d * \cos\alpha = 41,98 * \cos 20 = 39,45 \text{ kN}$$

$$A = \frac{b * t_v}{\cos\alpha} = \frac{16 * 3}{\cos 20} = 51,08 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} = \frac{39,45 * 10^3}{51,08 * 10^2} = 7,72 \text{ N/mm}^2$$

C24-proračunske vrijednosti čvrstoća

$$f_{c,0,d} = 0,9 * \frac{21}{1,3} = 14,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 0,9 * \frac{4}{1,3} = 2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

DOKAZI

Kontrola dubina zasjeka $t_v \leq \frac{h_2}{4}$

$$t_{v,1} = 3 \text{ cm} \leq \frac{30}{4} = 7,5 \text{ cm}$$

DOKAZI NOSIVOST

Prednje čelo zasjeka

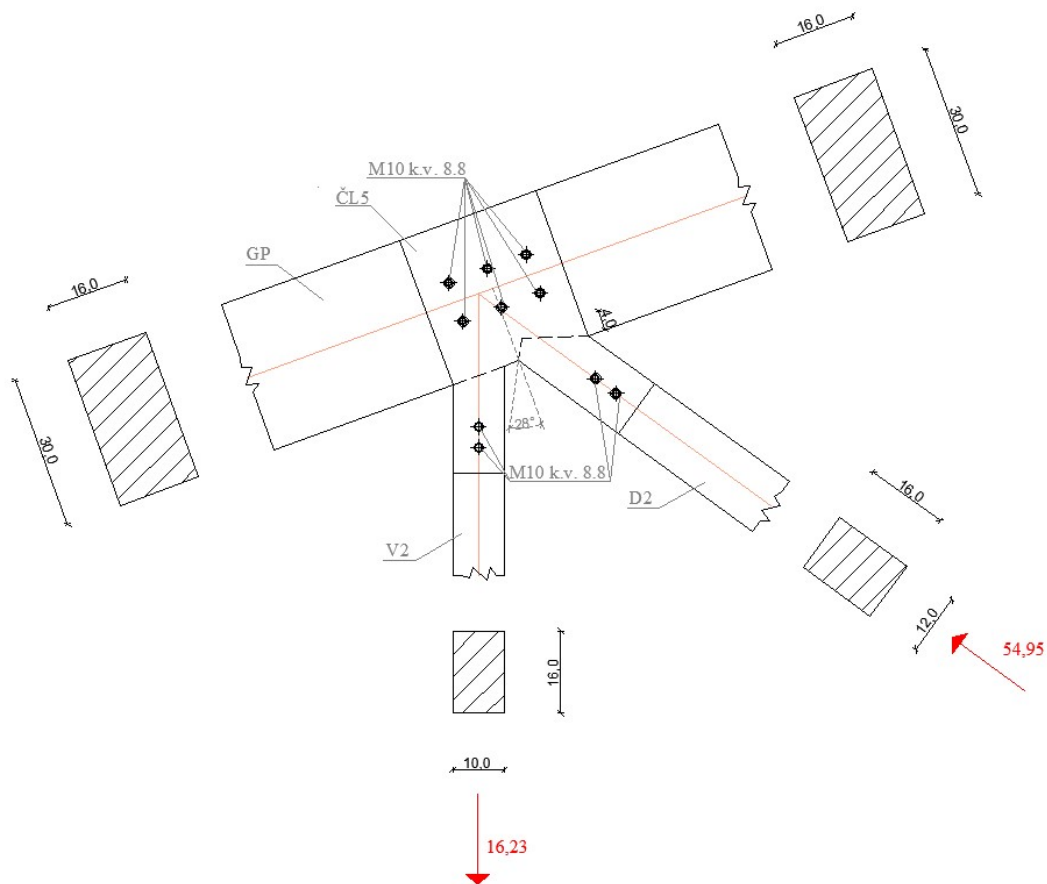
$f_{c,\alpha,d}$ → proračunavamo prema odredbama DIN koje se odnose na tesarske spojeve

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{v,d}} * \sin \alpha \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$\begin{aligned} f_{c,\alpha,d} &= \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 * 1,73} * \sin^2 20^\circ\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 * 2,77} * \sin 20^\circ \cos 20^\circ\right)^2 + \cos^4 20^\circ}} \\ &= 11,05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{7,72}{11,05} = 0,70 < 1,00$$

8.6 Spoj gornjeg pojasa GP, vertikalne ispunne rešetke V2 i dijagonalne ispunne rešetke D2



Slika 69. Spoj gornjeg pojasa GP, vertikalne ispunne rešetke V2 i dijagonalne ispunne rešetke D2

JEDNOSTRUKI ZASJEK-zbog male tlačne sile u vertikali izvodimo samo na mjestu spoja gornjeg pojasa sa dijagonalnom ispunom. Čitav spoj osiguravamo tijesno ugrađenim vijcima i limenim okovom.

Dijagonala:

C24/up.kl. 2

16/12 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Gornji pojas:

C24/up.kl. 2

16/30 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

drvo $\gamma_M = 1,30$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

DIJAGONALA: $F_d = -54,95 \text{ kN}$ (4. KOMBINACIJA)

$\gamma = 56^\circ$ kut između dijagonale i gornjeg pojasa

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = 28^\circ$$

$$F_{c,\alpha,d} = F_d * \cos\alpha = 54,95 * \cos 28 = 48,52 \text{ kN}$$

$$A = \frac{b * t_v}{\cos\alpha} = \frac{16 * 4}{\cos 28} = 72,48 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} = \frac{48,52 * 10^3}{72,48 * 10^2} = 6,69 \text{ N/mm}^2$$

C24-proračunske vrijednosti čvrstoća

$$f_{c,0,d} = 0,9 * \frac{21}{1,3} = 14,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 0,9 * \frac{4}{1,3} = 2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

DOKAZI

Kontrola dubina zasjeka $t_v \leq \frac{h_2}{4}$

$$t_{v,1} = 4 \text{ cm} \leq \frac{30}{4} = 7,5 \text{ cm}$$

DOKAZI NOSIVOST

Prednje čelo zasjeka

$f_{c,\alpha,d}$ → proračunavamo prema odredbama DIN koje se odnose na tesarske spojeve

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{v,d}} * \sin \alpha \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 * 1,73} * \sin^2 28^\circ\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 * 2,77} * \sin 28^\circ \cos 28^\circ\right)^2 + \cos^4 28^\circ}}$$

$$= 8,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{6,69}{8,93} = 0,75 < 1,00$$

VLAČNI SPOJ TIJESNO UGRAĐENIM VIJCIMA (VERTIKALA- DONJI POJAS)

Vertikala:

C24/up.kl. 2

16/10 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Gornji pojas:

C24/up.kl. 2

16/30 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim:

S235

$$2 \times (t = 3\text{mm})$$

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 10mm – k. v. 8.8 – VERTIKALA

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{\text{mod}} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

$$\text{drvo } \gamma_M = 1,30$$

$$\text{čelik } \gamma_M = 1,10$$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

VERTIKALA: $F_d = 16,23 \text{ kN}$ (4. kombinacija – vlak)

Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakancata i proračunava se na slijedeći način:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 350 = 25,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na slijedeći način:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 10^{2,6} = 95545,72 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ mm} \rightarrow t \leq 5 \text{ mm}$

DEBLJINA LIMA USVOJENO: $t=3 \text{ mm}$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 95545,72 \cdot 25,83 \cdot 10} = 7025,59 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{95545,72}{25,83 \cdot 10}} = 75,51 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{mo} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 7025,59}{1,1} = 5748,21 \text{ N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{16,23}{2 \cdot 5,75} = 1,41 \text{ kom}$$

Odabrano: 2 PBØ 10mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

2 vijka u nizu – u smjeru sile

$a_1 = 50 \text{ mm}$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{10 \cdot 10}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min\{2; 1,57\} = 1,57$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{16,23 \cdot 10^3}{1 \cdot 2 \cdot 1,57 \cdot 5748,21} = 0,90 < 1,0$$

$$(R_{d,TOT} = 1 \text{ red} \cdot 2 \text{ niza} \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 10 = 50 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 10 ; 80\} = \max\{70 ; 80\} = 80 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Nepterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik

Vertikala:

$$A_{netto} = 100 \cdot 3 - [1 \cdot (10 + 1)] = 289 \text{ mm}^2 = 2,89 \text{ cm}^2$$

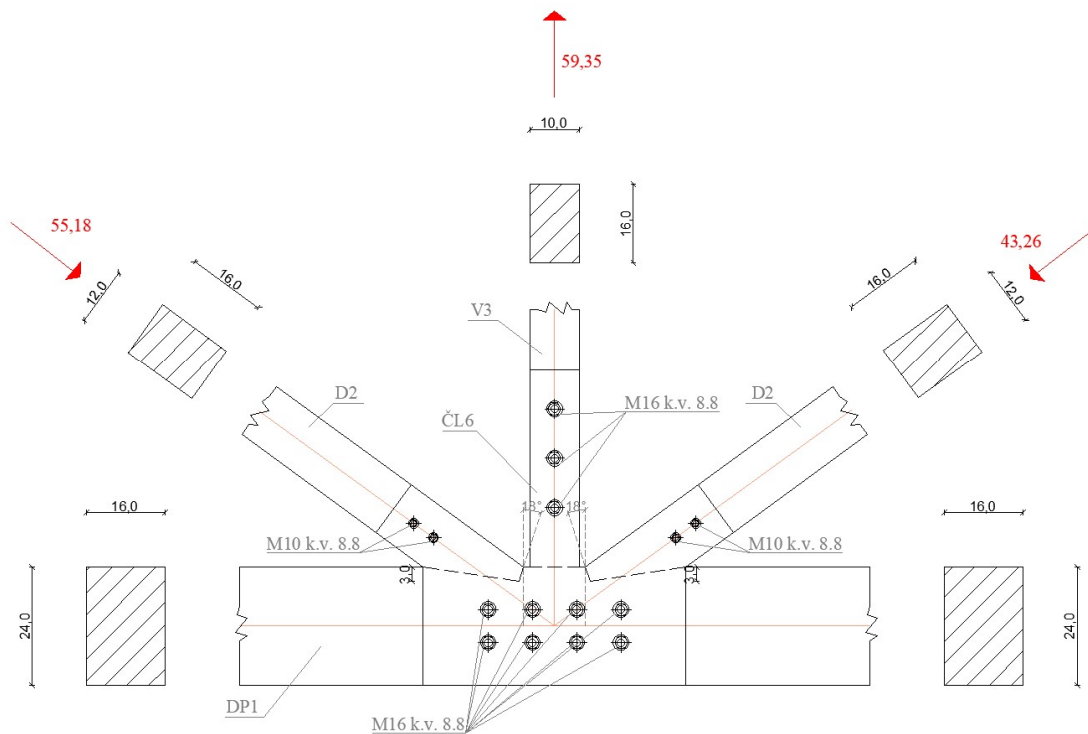
$$N_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{netto}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 2,89}{1,1} = 61,74 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 61,74 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = 8,12 \text{ kN}$$

$$\frac{8,12}{61,74} = 0,13 < 1$$

8.7 Spoj donjeg pojasa D1, dijagonalne ispune D2 i vertikalne ispune rešetke V3

Slika 70. Spoj donjeg pojasa D1, dijagonalne ispune D2 i vertikalne ispune rešetke V3



JEDNOSTRUKI ZASJEK (DONJI POJAS-DIJAGONALA)

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Dijagonalna ispuna:

C24/up.kl. 2

16/12 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{\text{mod}} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

$$\text{drvo } \gamma_M = 1,30$$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja lijevo:

$F_d = -55,18 \text{ kN}$ (kratkotrajno – 4. kombinacija) –veća sila –
primjenjujemo i na drugu stranu gdje je sila tlačna s iznosom 43,26

$$\gamma = 36^\circ$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = 18^\circ$$

$$F_{c,\alpha,d} = F_d * \cos\alpha = 55,18 * \cos 18 = 52,48 \text{ kN}$$

$$A = \frac{b * t_v}{\cos\alpha} = \frac{16 * 3}{\cos 18} = 50,47 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} = \frac{52,48 * 10^3}{50,47 * 10^2} = 10,40 \text{ N/mm}^2$$

C24-proračunske vrijednosti čvrstoća

$$f_{c,0,d} = 0,9 * \frac{21}{1,3} = 14,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,9 * \frac{2,5}{1,3} = 1,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 0,9 * \frac{4}{1,3} = 2,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

DOKAZI

Kontrola dubina zasjeka $t_v \leq \frac{h_2}{4}$

$$t_{v,1} = 3 \text{ cm} \leq \frac{24}{4} = 6 \text{ cm}$$

DOKAZI NOSIVOST

Prednje čelo zasjeka

$f_{c,\alpha,d}$ → proračunavamo prema odredbama DIN koje se odnose na tesarske spojeve

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 * f_{v,d}} * \sin \alpha \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 * 1,73} * \sin^2 18^\circ\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 * 2,77} * \sin 18^\circ \cos 18^\circ\right)^2 + \cos^4 18^\circ}}$$

$$= 11,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{10,40}{11,59} = 0,90 < 1,00$$

Mjesto spoja osiguravamo konstruktivnim vijcima M10 k.v.8.8. te čeličnim limom debljine 3mm.

VLAČNI SPOJ TIJESNO UGRAĐENIM VIJCIMA (VERTIKALA- DONJI POJAS)

Vertikala:

C24/up.kl. 2

16/10 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donji pojas:

C24/up.kl. 2

16/24 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim/vertikala:

S235

2 x (t = 3mm)

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 16mm – k. v. 8.8 – VERTIKALA

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{mod} = 0,90$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti:

drvo $\gamma_M = 1,30$

čelik $\gamma_M = 1,10$

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

VERTIKALA: $F_d = 59,35$ kN (4. kombinacija – vlak)

Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakanaca i proračunava se na slijedeći način:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na slijedeći način:

Vertikala:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324282,26 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm} \rightarrow t \leq 8 \text{ mm}$

DEBLJINA LIMA USVOJENO: $t=3 \text{ mm}$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 324282,26 \cdot 24,11 \cdot 16} = 15817,40 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{324282,26}{24,11 \cdot 16}} = 113,84 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 15817,40}{1,1} = 12941,51 \text{ N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{59,35}{2 \cdot 12,94} = 2,29 \text{ kom}$$

Odabrano: 3 PBØ 16 mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

3 vijka u nizu – u smjeru sile

$$a_1 = 100 \text{ mm}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ 3; 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 16}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min\{3; 2,39\} = 2,39$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{59,35 \cdot 10^3}{1 \cdot 2 \cdot 2,39 \cdot 12941,51} = 0,96 < 1,0$$

$$(R_{d,TO} = 1 \text{ red} \cdot 2 \text{ niza} \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 16 = 80 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 16 ; 80\} = \max\{112 ; 80\} = 112 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$$

Nepterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik

Vertikala:

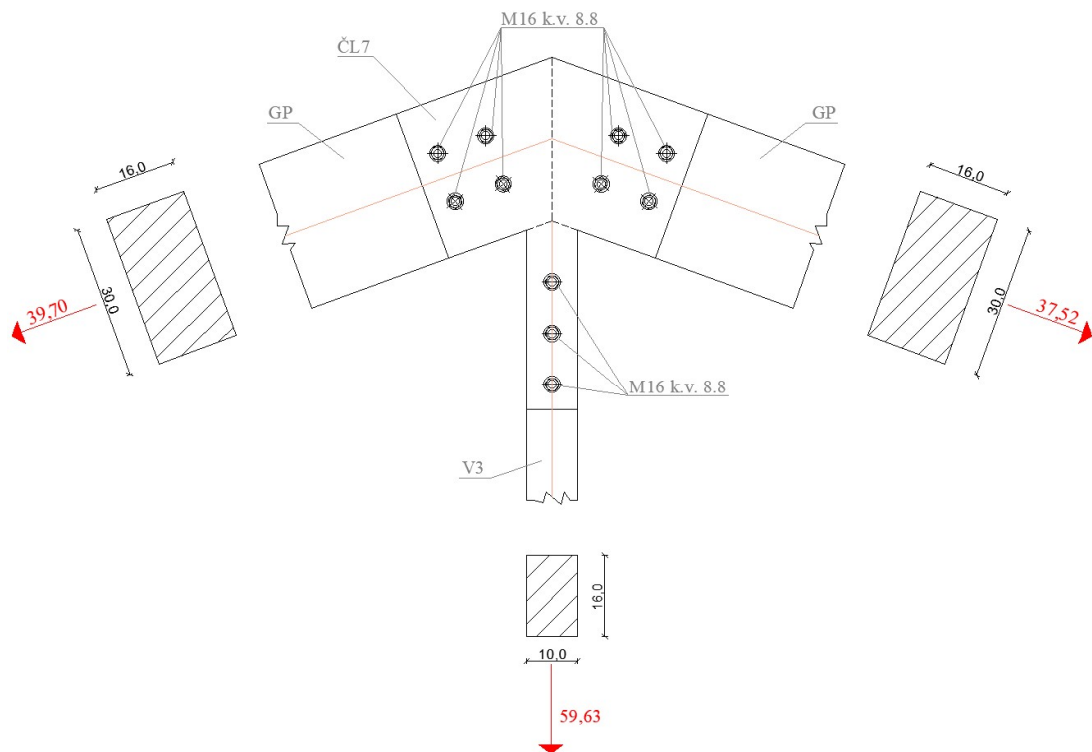
$$A_{netto} = 100 \cdot 3 - [1 \cdot (16 + 1)] = 283 \text{ mm}^2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{netto}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 2,83}{1,1} = 60,46 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 60,46 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = 29,68 \text{ kN}$$

$$\frac{29,68}{60,46} = 0,49 < 1$$

8.8 Spoj dva GP i vertikalne ispune rešetke V3



Slika 71. Spoj dva GP i vertikalne ispune rešetke V3

VLAČNI SPOJ TIJESNO UGRAĐENIM VIJCIMA (VERTIKALA- GORNJI POJAS)

Vertikala:

C24/up.kl. 2

16/10 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Gornji pojas:

C24/up.kl. 2

16/30 mm

$$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Čelični lim/vertikala:

S235

2 x (t = 3mm)

Tijesno ugrađeni vijci:

PBØ 16mm – k. v. 8.8 – GORNJI POJAS

PBØ 16mm – k. v. 8.8 – VERTIKALA

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 2 → $k_{mod} = 0,90$ **Parcijalni koeficijenti sigurnosti:**drvo $\gamma_M = 1,30$ čelik $\gamma_M = 1,10$ **Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:****VERTIKALA: $F_d = 59,63$ kN (4. kombinacija – vlak)****Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:**

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakanaca i proračunava se na slijedeći način:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na slijedeći način:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324282,26 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm} \rightarrow t \leq 8 \text{ mm}$

DEBLJINA LIMA USVOJENO: $t=3$ mm

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 324282,26 \cdot 24,11 \cdot 16} = 15817,40 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{324282,26}{24,11 \cdot 16}} = 113,84 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 15817,40}{1,1} = 12941,51 \text{ N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{59,63}{2 \cdot 12,94} = 2,30 \text{ kom}$$

Odabrano: 3 PBØ 16 mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

3 vijka u nizu – u smjeru sile

$a_1 = 100$ mm

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 3; 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 16}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min\{3; 2,39\} = 2,39$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{59,63 \cdot 10^3}{1 \cdot 2 \cdot 2,39 \cdot 12941,51} = 0,96 < 1,0$$

$$(R_{d,TOT} = 1 \text{ red} \cdot 2 \text{ niza} \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 16 = 80 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 16 ; 80\} = \max\{112 ; 80\} = 112 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$$

Nepterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik:

$$A_{netto} = 100 \cdot 3 - [1 \cdot (16 + 1)] = 283 \text{ mm}^2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{netto}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 2,83}{1,1} = 60,46 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 60,46 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = 29,82 \text{ kN}$$

$$\frac{29,82}{60,46} = 0,49 < 1$$

VLAČNI SPOJ TIJESNO UGRAĐENIM VIJCIMA (GORNJI POJAS- GORNJI POJAS)

Proračunsko opterećenje na mjestu spoja:

$$\text{GORNJI POJAS: } F_d = 39,70 \text{ kN (2. kombinacija – vlak)}$$

Tlačna čvrstoća po plaštu rupe:

Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe kod trnova ovisi o kutu između smjera djelovanja sile i smjera vlakanaca i proračunava se na sljedeći način:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Moment popuštanja:

Karakteristična vrijednost momenta popuštanja trnova okruglog poprečnog presjeka proračunava se na sljedeći način:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$f_{u,k} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324282,26 \text{ Nmm}$$

Debljina lima – promjer vijka: $0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm} \rightarrow t \leq 8 \text{ mm}$

DEBLJINA LIMA USVOJENO: $t=3 \text{ mm}$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 324282,26 \cdot 24,11 \cdot 16} = 15817,40 \text{ N}$$

Kontrola debljina drva (za punu nosivost):

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{324282,26}{24,11 \cdot 16}} = 113,84 \text{ mm}$$

$$t = 160 \text{ mm} > t_{\text{req}}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijka po rezu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$R_d = \frac{0,90 \cdot 15817,40}{1,1} = 12941,51 \text{ N}$$

Potreban broj vijaka:

$$n_{\text{req}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{39,70}{2 \cdot 12,94} = 1,53 \text{ kom}$$

Odabrano: 2 PBØ 16 mm – k. v. 8.8

Efektivni broj vijaka:

2 vijka u nizu – u smjeru sile

$$a_1 = 100 \text{ mm}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 16}} \right\}$$

$$n_{\text{ef}} = \min\{2; 1,66\} = 1,66$$

Dokaz nosivosti za drvo

$$\frac{F_d}{R_{d,\text{TOT}}} = \frac{39,70 \cdot 10^3}{1 \cdot 2 \cdot 1,66 \cdot 12941,51} = 0,92 < 1,0$$

$$(R_{d,\text{TOT}} = 1 \text{ red} \cdot 2 \text{ niza} \cdot n_{\text{ef}} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi- minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,\text{req}} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_{1,\text{req}} = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 16 = 80 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

Opterećeni rub paralelno sa vlakancima :

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot d ; 80\}$$

$$a_{1,t} = \max\{7 \cdot 16 ; 80\} = \max\{112 ; 80\} = 112 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$$

Nepterećeni rub okomito na vlakanca:

$$a_{2,c} = 3 \cdot d$$

$$a_{2,c} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

Dokaz za čelik:

$$A_{\text{netto}} = 300 \cdot 3 - [2 \cdot (16 + 1)] = 866 \text{ mm}^2 = 8,66 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{\text{netto}}}{\gamma_M} = \frac{23,5 \cdot 8,66}{1,1} = 185,01 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 185,01 \text{ kN} > \frac{F_d}{2} = 19,85 \text{ kN}$$

$$\frac{19,85}{185,01} = 0,11 < 1$$

9 ZAKLJUČAK

Drveni elementi odabranih poprečnih presjeka su zadovoljili provjere na granično stanje nosivosti i uporabljivosti.

Vlačne čelične dijagonale su zadovoljile granično stanje nosivosti.

Svi čelični vijci i čelične pločice korišteni kao spojna sredstva su zadovoljili provjere na granično stanje nosivosti.

Drveni elementi reduciranih poprečnih presjeka su zadovoljili provjere na granično stanje nosivosti u slučaju pojave 30 minutnog požara.

Područje ispod spregova potrebno je zaštititi od požara kako ne bi došlo do otkazivanja sustava za stabilizaciju i prekomjernog izvijanja glavnog nosača.

10 LITERATURA

[1]Predavanja iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, doc.dr.sc. Neno Torić

[2]Vježbe iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, asistent Tin Hržić

[3]Predavanja iz predmeta Osnove metalnih konstrukcija, dr.sc. Ivica Boko

[4]Vježbe iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, asistent Marko Goreta

[5]DIN 1052: 2004-08

Design of timber dtructures

General rules and rules for building

[6]HRN EN 1995-1-1: 2013

Eurocode 5: Projektiranje drvenih konstrukcija

Dio 1-1: Općenito- Opća pravila i pravila za visokogradnju

[7]HRN EN 1995-1-2: 2013

Eurocode 5: Projektiranje drvenih konstrukcija

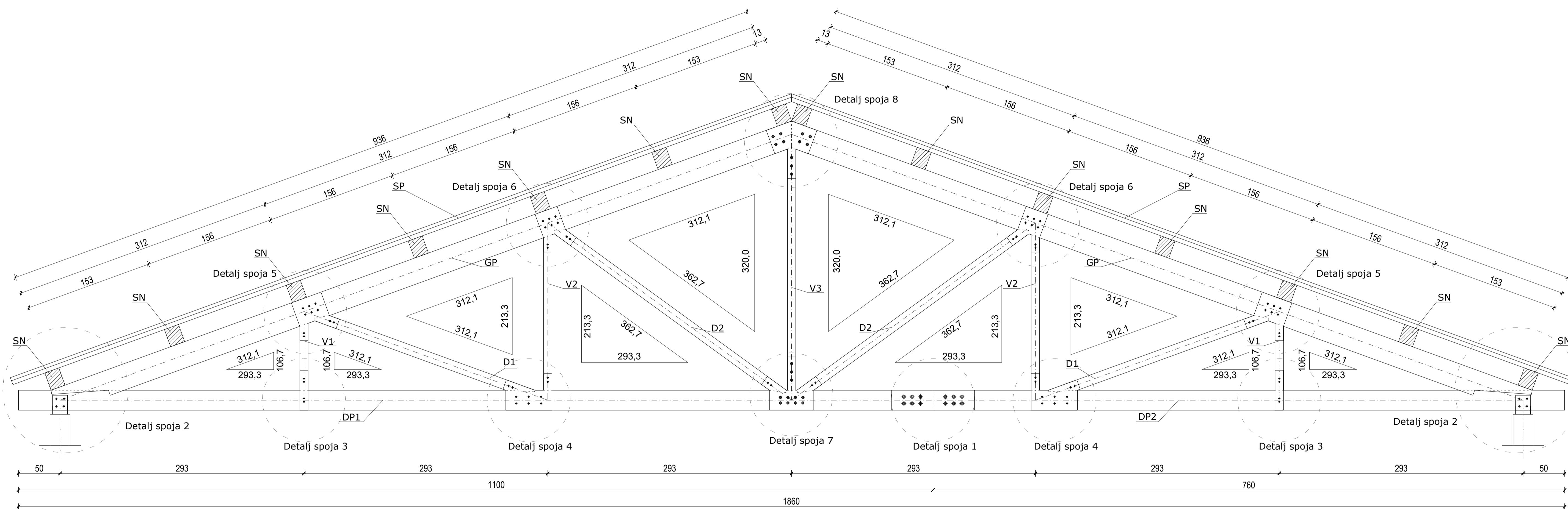
Dio 1-2: Općenito- Proračun požarne otpornosti

[8]HRN EN 1990: 2002+A1: 2005

Eurocode 0: Osnove projektiranja konstrukcija


[6][Eurofire® REI paneli otporni na vatru - Izoforma-paneli](#)

11 PRILOZI



Radionički nacrt glavnog nosača
M 1:25

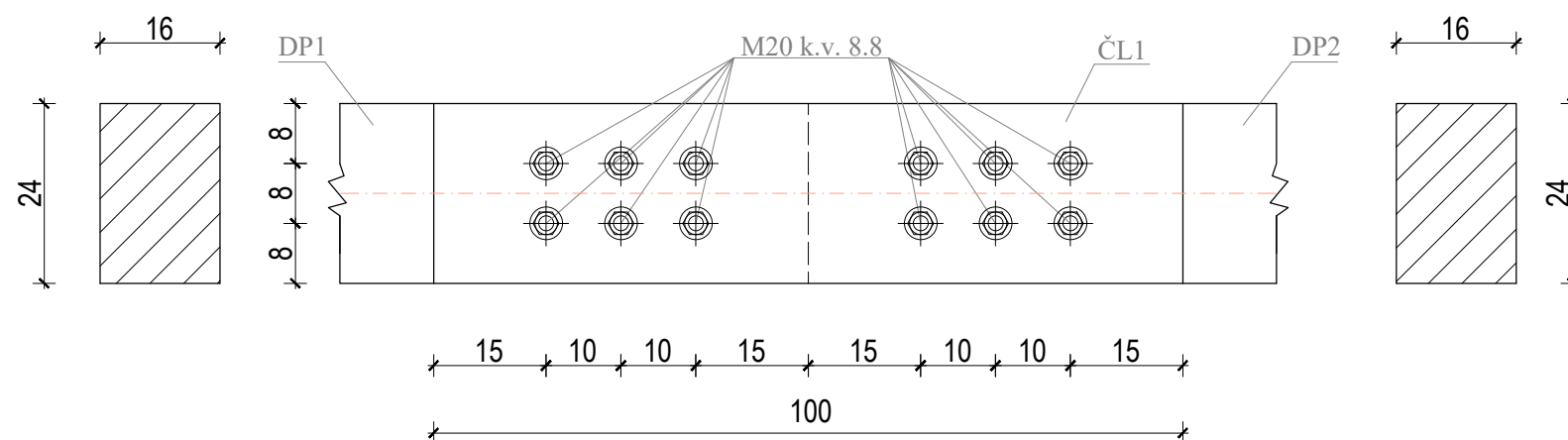
OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
GN	glavni nosač	-
SN	sekundarni nosač	18/22
GP	gornji pojas	16/30
DP1, DP2	donji pojas	16/24
D1, D2	dijagonala	16/12
V1, V2, V3	vertikala	16/10

 Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel: 021/303 333 gradst.unist.hr			
STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ:	Radionički nacrt glavnog nosača
	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad		
	Proračun drvenog rešetkastog krovišta		
	doc.dr.sc. Neno Torić		
IZRADILA:	Antonija Zrno	Mjerilo:	1:25
	rujan 2021.	Broj priloga:	2

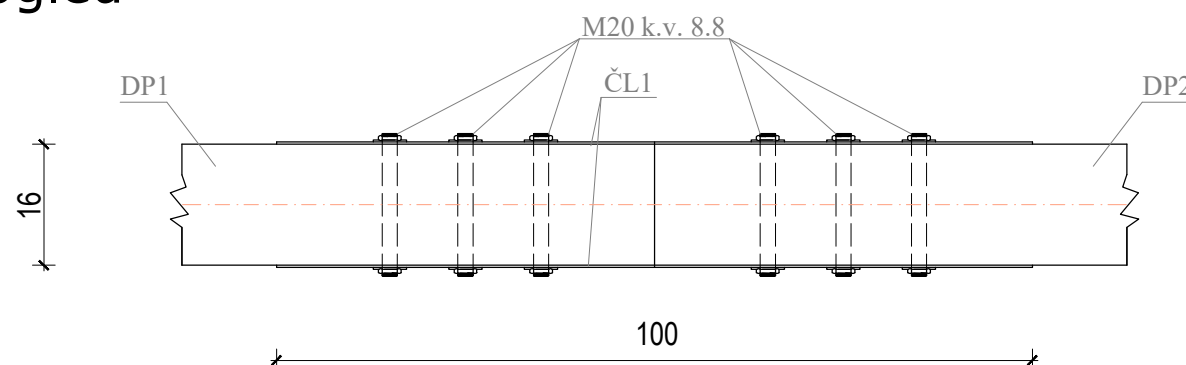
Detalj spoja 1

M 1:10

Bočni pogled

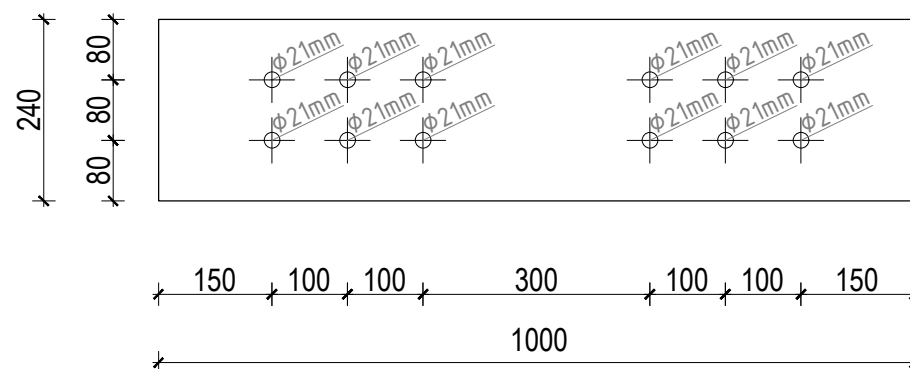


Tlocrtni pogled




Čelični lim x2

ČL1



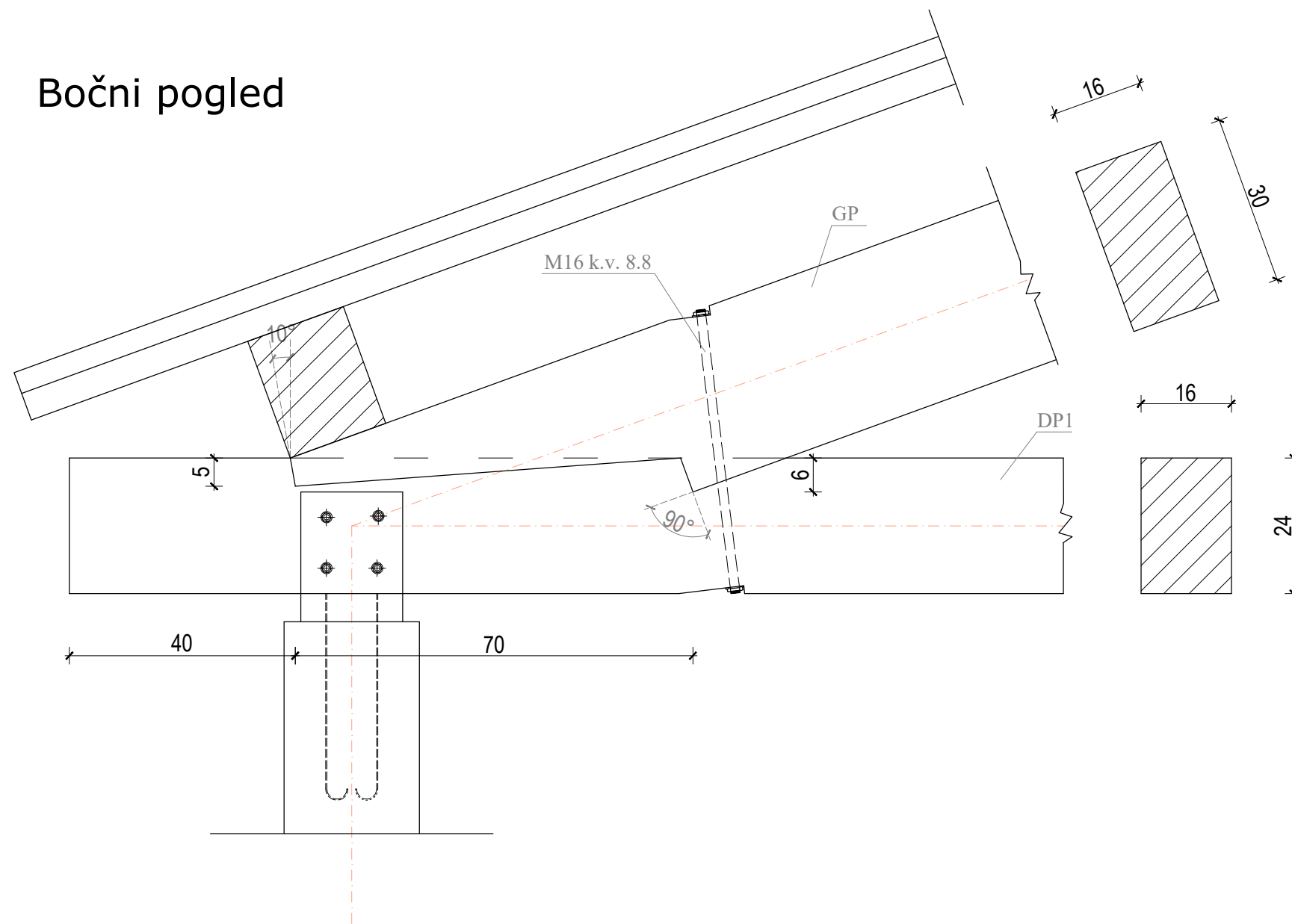
OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
DP1, DP2	donji pojas	16/24
ČL 1	čelični lim	3 mm

 Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr		
STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ:
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad	Detalj spoja 1
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta	
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić	
IZRADILA:	Antonija Zrno	
DATUM:	rujan 2021.	Mjerilo: 1:10 Broj priloga: 3

Detalj spoja 2

M 1:10

Bočni pogled



OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
DP1	donji pojas	16/24
GP	gornji pojas	16/30



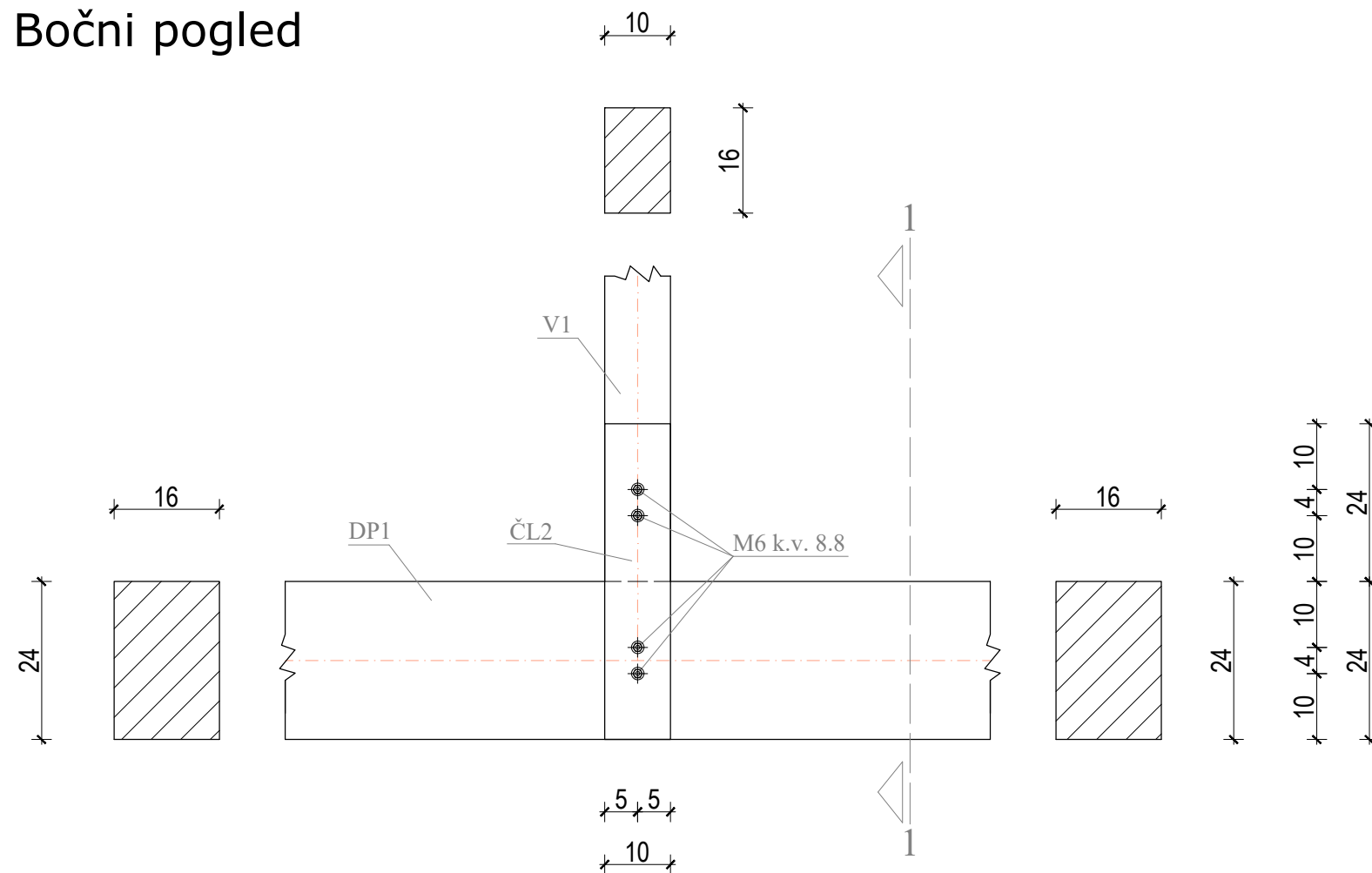
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr

STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ: Detalj spoja 2			
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad				
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta				
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić				
IZRADILA:	Antonija Zrno	Mjerilo:	1:10	Broj priloga:	4
DATUM:	rujan 2021.				

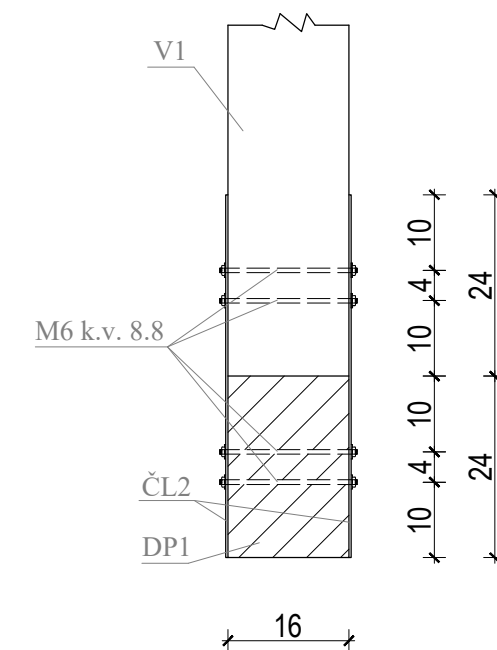
Detalj spoja 3

M 1:10

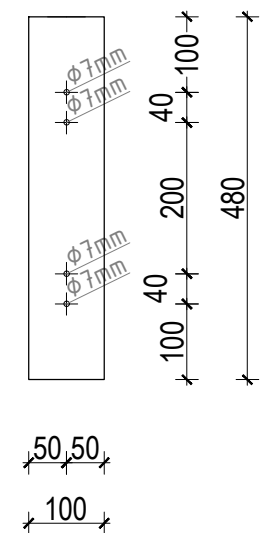
Bočni pogled



Presjek 1-1



Čelični lim x2
ČL2

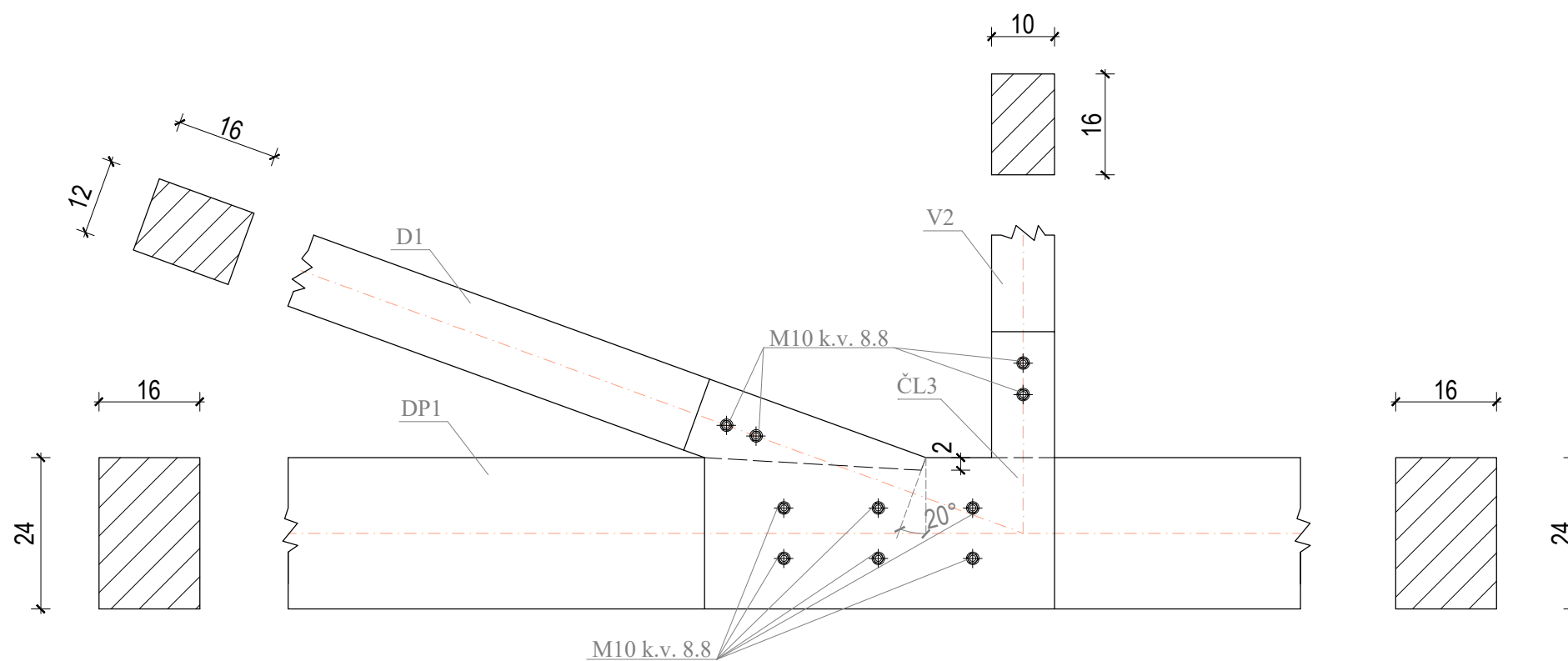


OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
DP1	donji pojas	16/24
V1	vertikala	16/10
ČL2	čelični lim	3 mm

Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr		
STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ:
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad	Detalj spoja 3
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta	
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić	
IZRADILA:	Antonija Zrno	
DATUM:	rujan 2021.	Mjerilo: 1:10 Broj priloga: 5

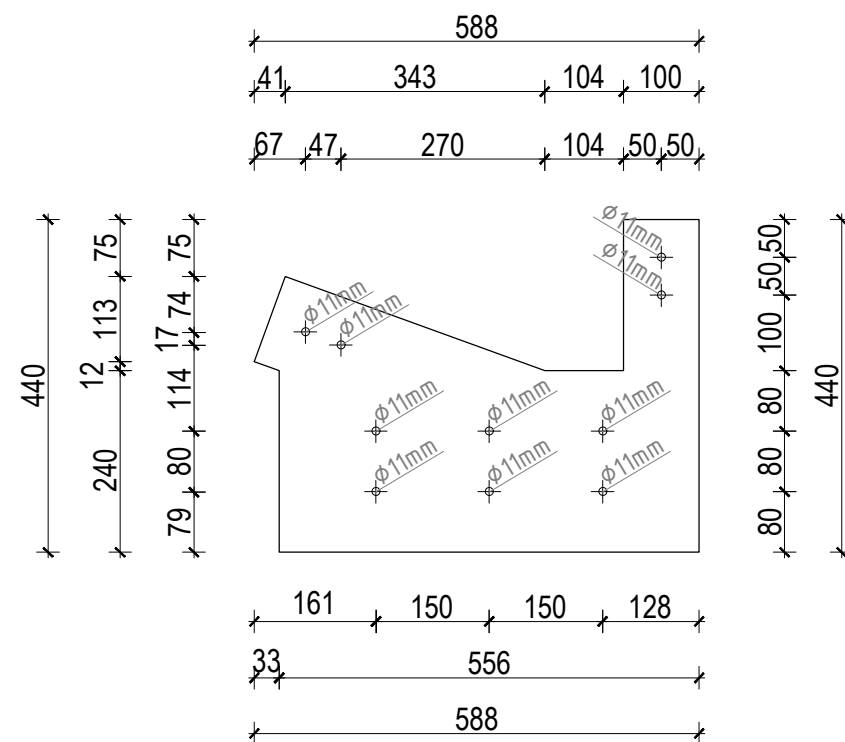
Bočni pogled

Detalj spoja 4 M 1:10



Čelični lim x2

ČL3



OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
DP1	donji pojas	16/24
V2	vertikala	16/10
D1	dijagonala	16/12
ČL3	čelični lim	3 mm



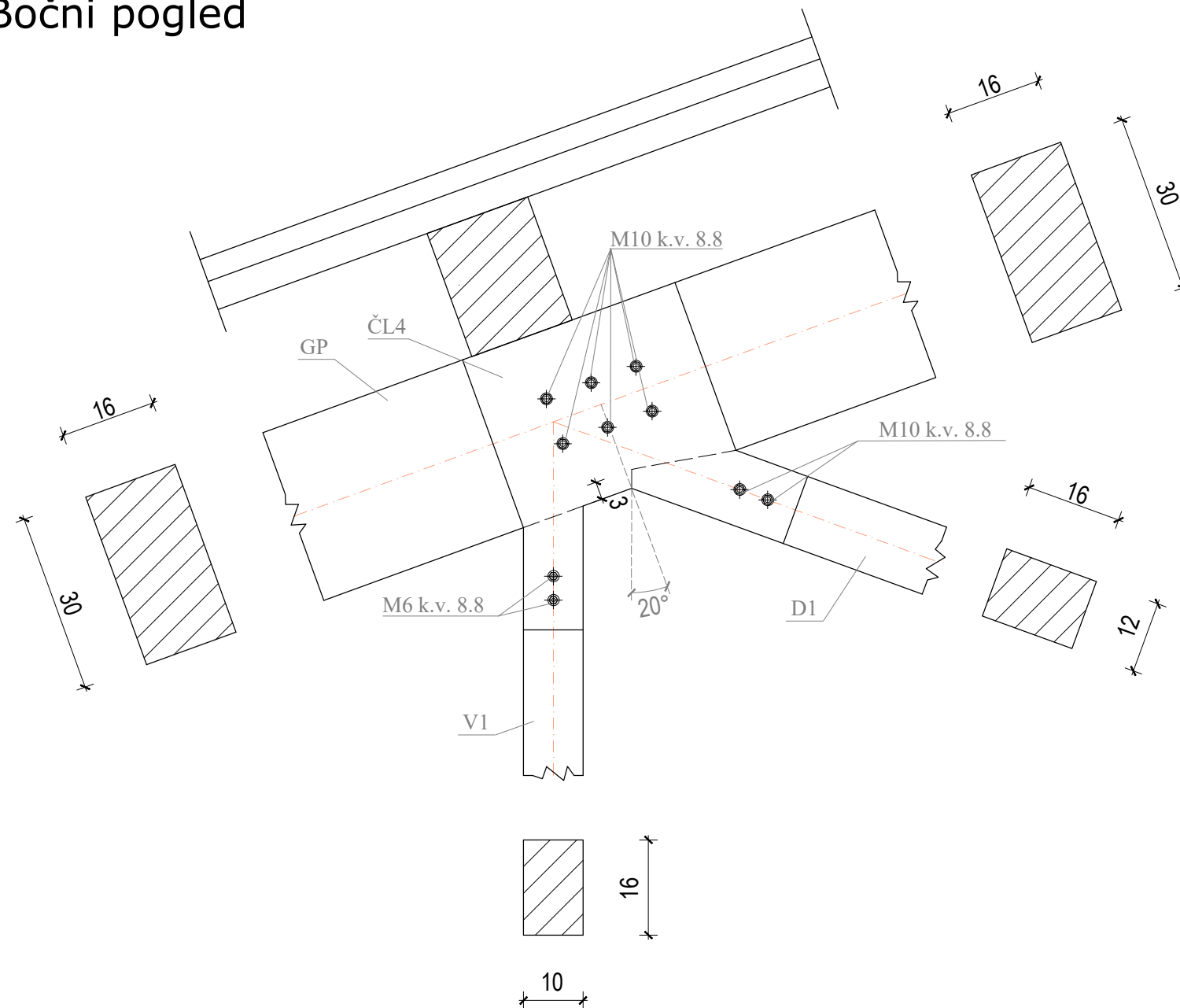
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr

STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ: Detalj spoja 4
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad	
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta	
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić	
IZRADILA:	Antonija Zrno	
DATUM:	rujan 2021.	Mjerilo: 1:10
		Broj priloga: 6

Detalj spoja 5

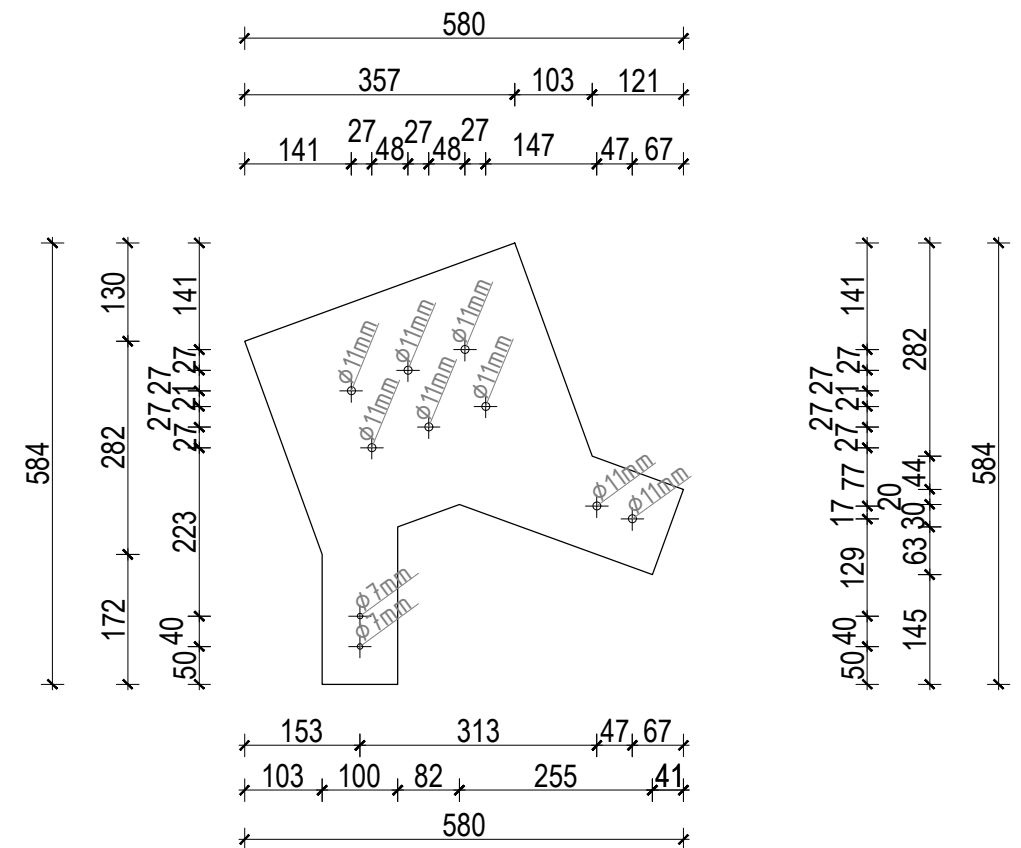
M 1:10

Bočni pogled



Čelični lim x2

ČL4



OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
GP	gornji pojas	16/30
V1	vertikala	16/10
D1	dijagonala	16/12
ČL4	čelični lim	3 mm



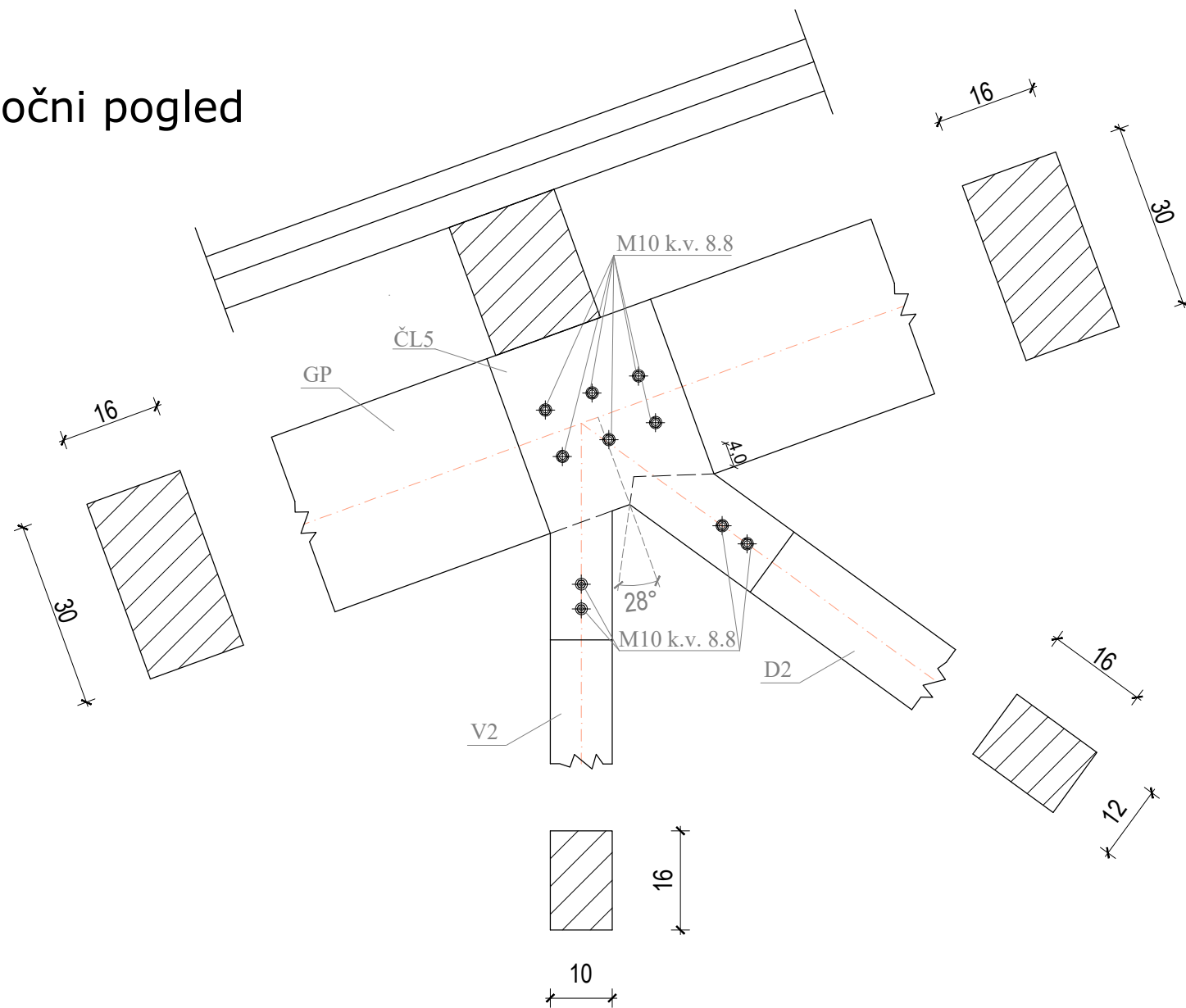
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr

STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ: Detalj spoja 5
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad	
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta	
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić	
IZRADILA:	Antonija Zrno	
DATUM:	rujan 2021.	Mjerilo: 1:10
		Broj priloga: 7

Detalj spoja 6

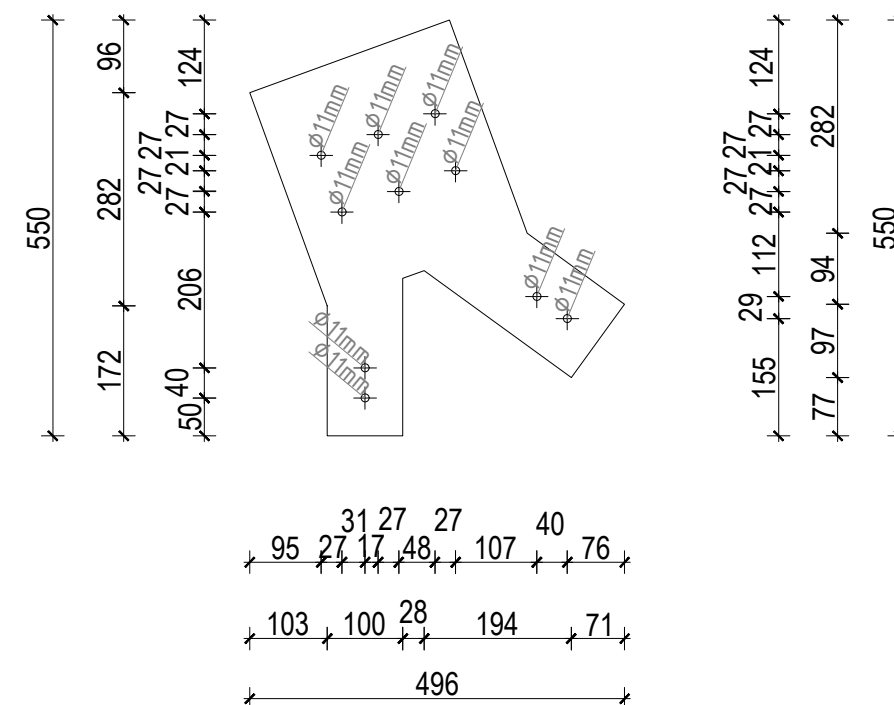
M 1:10

Bočni pogled



Čelični lim x2

ČL5



OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
GP	gornji pojas	16/30
V2	vertikala	16/10
D2	dijagonala	16/12
ČL5	čelični lim	3 mm



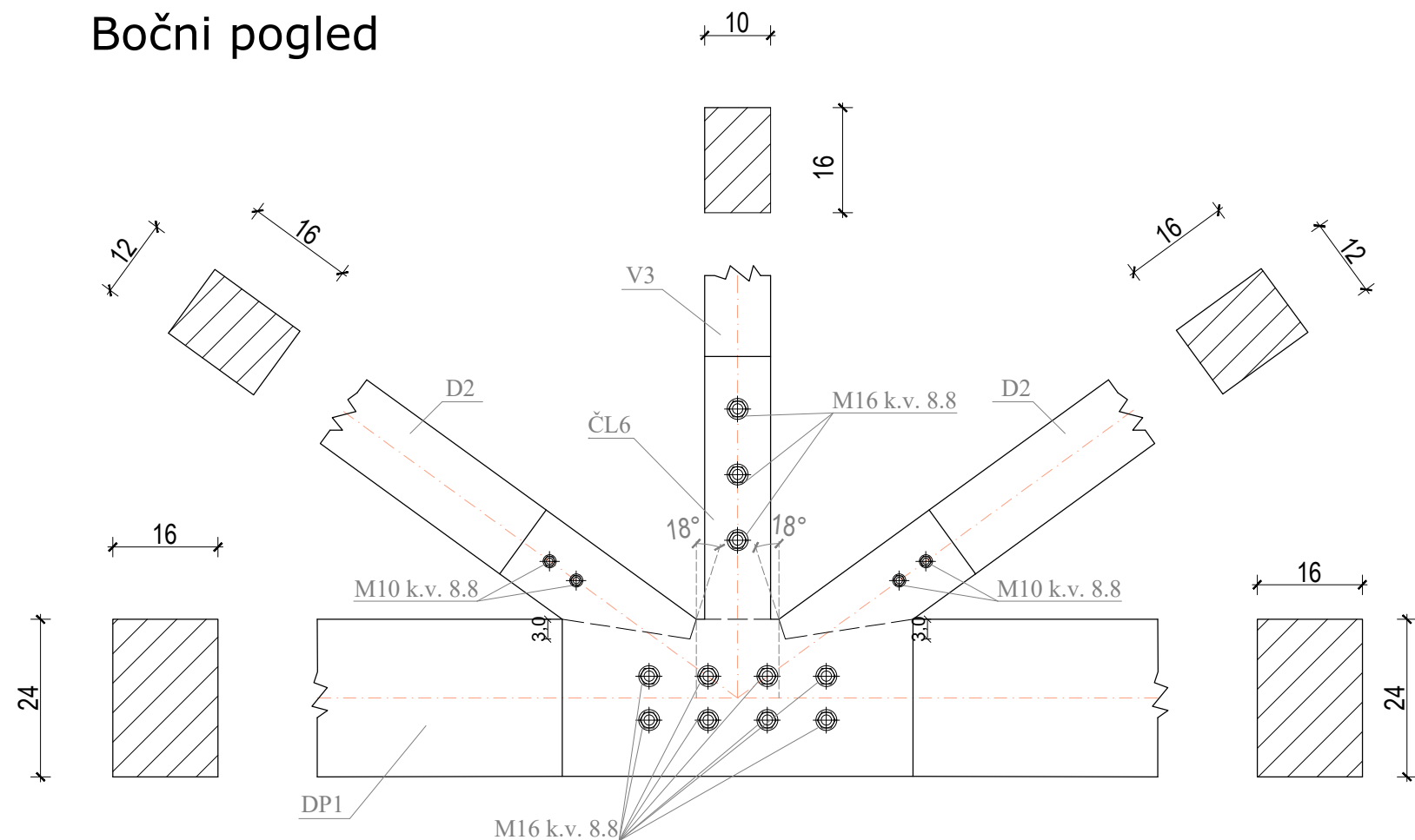
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr

STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ:	Detalj spoja 6	
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad			
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta			
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić			
IZRADILA:	Antonija Zrno	Mjerilo:	1:10	Broj priloga: 8
DATUM:	rujan 2021.			

Detalj spoja 7

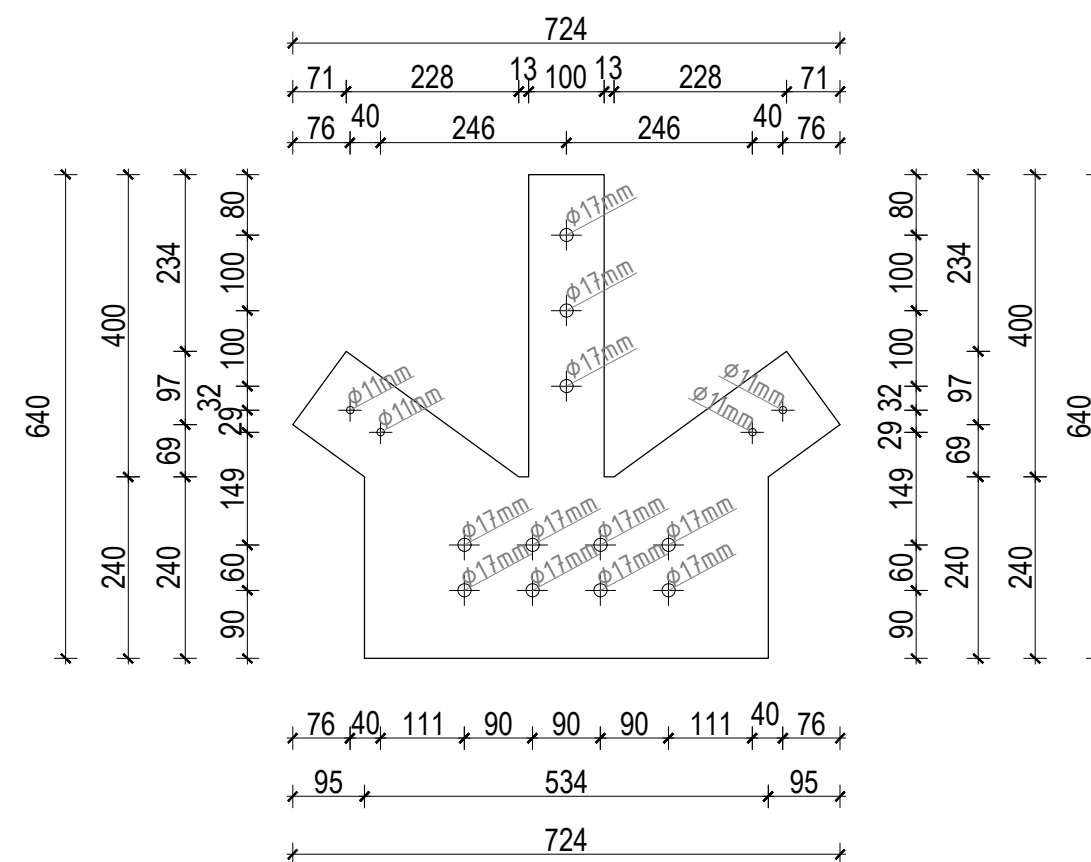
M 1:10

Bočni pogled



Čelični lim x2

ČL6



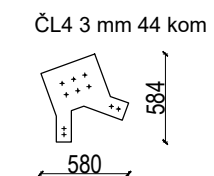
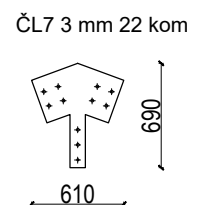
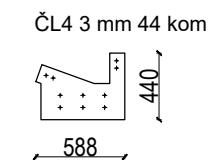
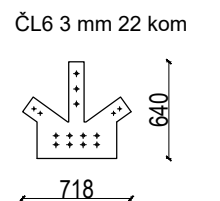
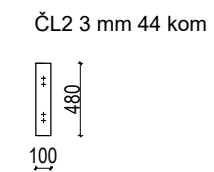
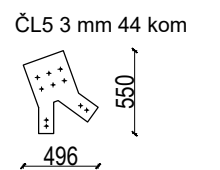
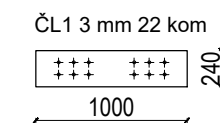
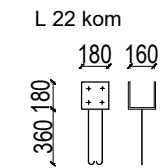
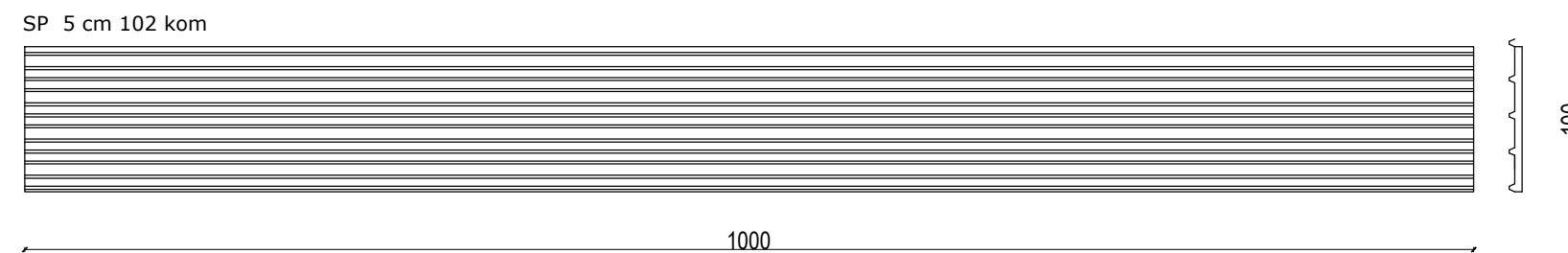
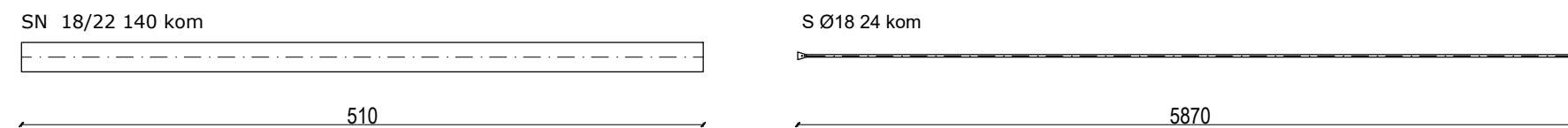
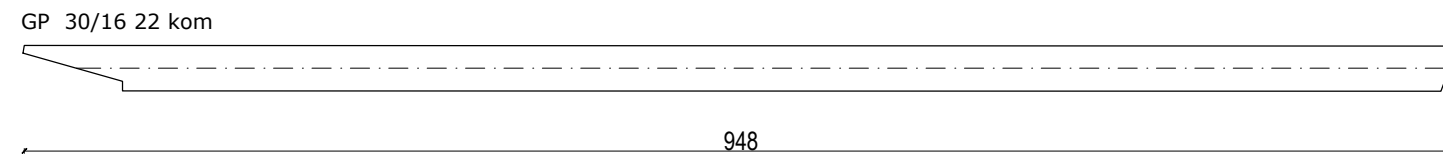
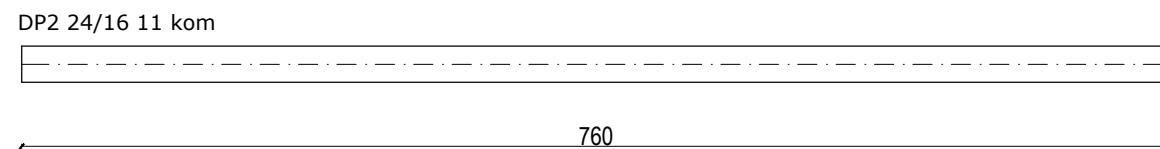
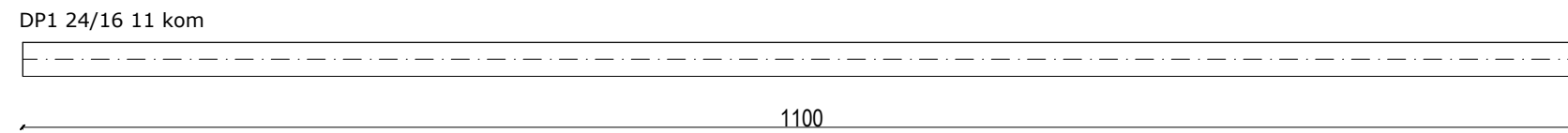
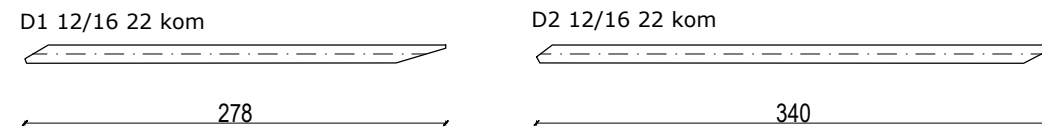
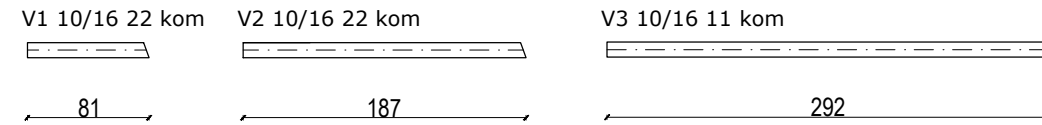
OZNAKA	ZNAČENJE	DIM.
DP1	donji pojas	16/24
V3	vertikala	16/10
D2	dijagonala	16/12
ČL6	čelični lim	3 mm




Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr

STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ:	Detalj spoja 7
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad		
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta		
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić		
IZRADILA:	Antonija Zrno	Mjerilo:	1:10
DATUM:	rujan 2021.	Broj priloga:	9

Iskaz materijala M 1:50



 Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Matice hrvatske 15, HR 21000, SPLIT tel:021/303 333 gradst.unist.hr		
STUDIJ:	Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva	CRTEŽ: Iskaz materijala
PREDMET:	Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad	
TEMA:	Proračun drvenog rešetkastog krovišta	
MENTOR:	doc.dr.sc. Neno Torić	
IZRADILA:	Antonija Zrno	Mjerilo: 1:50
DATUM:	rujan 2021.	

R.BR.	POZ.	OPIS	KOL.	JED. MJERA	Vijci M20 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M16 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M16 k.v.8.8 l=48 cm		Vijci M10 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M6 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M20 k.v.8.8 l=4 cm	
					Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)
1.1.	V1	Vertikalna, p.p. 10/16, l=81 cm, mat.izr. C24.	22	kom												
1.2.	V2	Vertikalna, p.p.10/16, l=187 cm, mat.izr. C24.	22	kom												
1.3.	V3	Vertikalna, p.p.10/16, l=292 cm, mat.izr. C24.	11	kom												
2.1.	D1	Dijagonalna, p.p.12/16, l=278 cm, mat.izr. C24.	22	kom												
2.2.	D2	Dijagonalna, p.p.12/16, l=340 cm, mat.izr. C24.	22	kom												
3.1.	DP1	Donji pojas, p.p.24/16, l=1100 cm, mat.izr. C24.	11	kom												
3.2.	DP2	Donji pojas, p.p.24/16, l=760 cm, mat.izr. C24.	11	kom												
4.	GP	Gornji pojas, p.p.30/16, l=948 cm, mat.izr. C24.	22	kom												
5.	SN	Sekundarni nosač-podrožnica, p.p.30/16, l=510 cm, mat.izr. C24.	140	kom												
6.	S	Čelični spreg, S235, ϕ 18, l=5870 mm.	24	kom											2	48
7.	L	Čelični ležaj, sa dva sidra ϕ 16, duljine 36 cm.	22	kom							4	88				
8.1.	ČL1	Čelični lim, debljine 3 mm.	22	kom	12	132										
8.2.	ČL2	Čelični lim, debljine 3 mm.	44	kom								4	88			
8.3.	ČL3	Čelični lim, debljine 3 mm.	44	kom							10	220				
8.4.	ČL4	Čelični lim, debljine 3 mm.	44	kom							8	176	2	44		

R.BR.	POZ.	OPIS	KOL.	JED. MJERA	Vijci M20 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M16 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M16 k.v.8.8 l=48 cm		Vijci M10 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M6 k.v.8.8 l=16 cm		Vijci M20 k.v.8.8 l=4 cm	
					Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)	Jed.kol. (kom/kom)	Uk.kol. (kom)
8.5.	ČL5	Čelični lim, debljine 3 mm.	44	kom							10	220				
8.6.	ČL6	Čelični lim, debljine 3 mm.	22	kom			11	121			4	44				
8.7.	ČL7	Čelični lim, debljine 3 mm.	22	kom			11	121								
9.	SP	Sendvič paneli, Eurofire REI 30, debljine 5cm, 100x1000 cm	102	kom												
UKUPNO:						132		242		22		748		132		48