

# Proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta

---

Gelo, Slavica

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:123:026001>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-09**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Slavica Gelo**

**Split, 2021.**

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

## **Proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta**

**Završni rad**

**Split, 2021.**

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **SLAVICA GELO**

MATIČNI BROJ (JMBAG): **0083221585**

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

PREDMET: **Osnove drvenih konstrukcija**

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema:

Proračun drvene rešetkaste konstrukcije

Opis zadatka:

Potrebno je proračunati drvenu rešetkastu konstrukciju na temelju zadanih dimenzija glavnog nosača konstrukcije, lokacije zadane konstrukcije i zadanih svojstava drva. Navedeno obuhvaća dimenzioniranje svih elemenata glavnog rešetkastog nosača, sekundarne konstrukcije, prostorne stabilizacije, dimenzioniranje spojeva i proračun otpornosti na požar.

U Splitu, lipanj 2021.

Voditelj Završnog rada: dr. sc. Neno Torić

***Sažetak:***

Na temelju zadanih podataka drvene rešetkaste krovne konstrukcije potrebno je dimenzionirati glavni nosač, sekundarni nosač konstrukcije i vjetrovne spregove te izraditi radioničke nacрте glavnog nosača te detalje dodatnih spojeva.

***Ključne riječi:***

Drvo, nosiva konstrukcija, glavna konstrukcija, sekundarna konstrukcija, rešetka, vjetrovni spregovi, podrožnica, dimenzioniranje, spojevi

***Abstract:***

Based on the given data of the lattice of the roof structure, it is necessary to dimension the main girder, the secondary girder of the structure, wind bracings and to make drawings of the main girder and details of additional joints.

***Keywords:***

Wood, load-bearing structure, main structure, secondary structure, grate, wind bracings, branch, dimensioning, joints

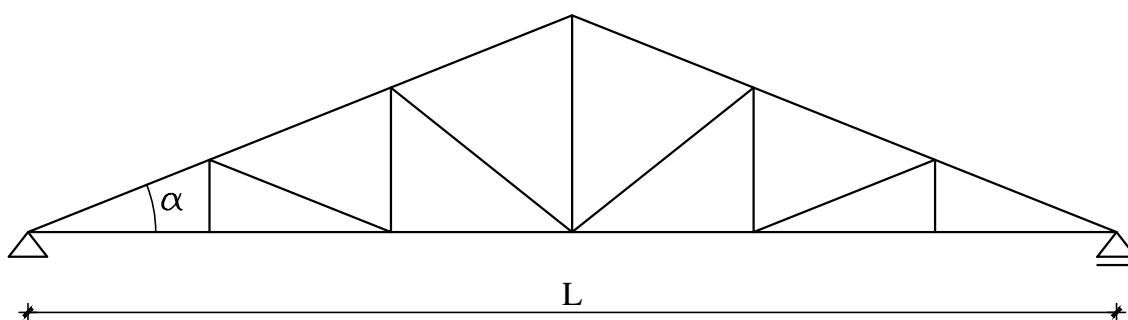
## OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

### PROGRAMSKI ZADATAK

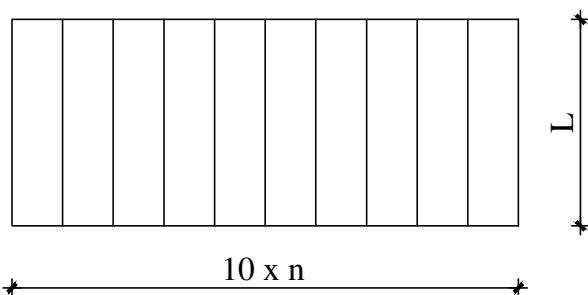
16

Treba konstruirati i dimenzionirati nosivi sustav krovne konstrukcije prema skici.

POPREČNI PRESJEK



TLOCRT



ZADANI PODACI

- Raspon rešetke:  $L = 18.4 \text{ m}$
- Razmak okvira:  $n = 5.4 \text{ m}$
- Nagib krovne plohe:  $19^\circ$
- Materijal izrade: C30
- Uporabna klasa: 1
- Lokacija objekta: Rijeka
- Kat. zemljišta: 3

Datum zadavanja zadatka: 6.10.2020.

Datum predaje zadatka: 19.1.2021.

Predmetni nastavnik:  
doc. dr. sc. Neno Torić

Predmetni asistenti:  
Tin Hrzić, mag. ing. aedif.

Marko Goreta, mag. ing. aedif.

STUDENTI:

---

---

## Sadržaj

1. TEHNIČKI OPIS.....	1
1.1. Konstruktivni sustav krova .....	1
1.2. Statička analiza sustava .....	2
1.3. Opis konstruktivnih elemenata .....	2
1.3.1. Glavni nosači .....	2
1.3.2. Podrožnice .....	2
1.3.3. Spreg.....	2
1.4. Materijali.....	3
1.4.1. Drveni materijali.....	3
1.4.2. Metalni elementi .....	3
1.5. Zaštita.....	3
1.5.1. Zaštita drvenih elemenata.....	3
1.5.2. Zaštita metalnih elemenata .....	3
1.6. Montaža i transport .....	4
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	5
2.1. Glavna nosiva konstrukcija (okvir).....	5
2.1.1 Stalno opterećenje- krovna ploha .....	5
2.1.2 Promjenjivo opterećenje-djelovanje snijega.....	5
2.1.3 Promjenjivo opterećenje-djelovanje vjetra.....	8
3. STATIČKI PRORAČUN .....	17
3.1. KONTROLA PROGIBA.....	17
3.2. DIJAGRAMI UZDUŽNIH SILA ZA SVA OPTEREĆENJA.....	20
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJA DJELOVANJA (GSN).....	23
4.1. KOMBINACIJA $1,35 \cdot G + 0,9 \cdot 1,5 \cdot (S + W_2)$ .....	23
4.2. KOMBINACIJA $1,00 \cdot G + 1,5 \cdot W_1$ .....	24
4.3. KOMBINACIJA $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W_2$ .....	26
4.4. KOMBINACIJA $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S$ .....	27
5. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH NOSAČA .....	29
5.1. Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti: .....	29
5.2. Gornji pojas.....	30
5.3. Donji pojas .....	31
5.4. Dijagonale.....	32
5.5. Vertikale.....	33
5.6. Podrožnice .....	33

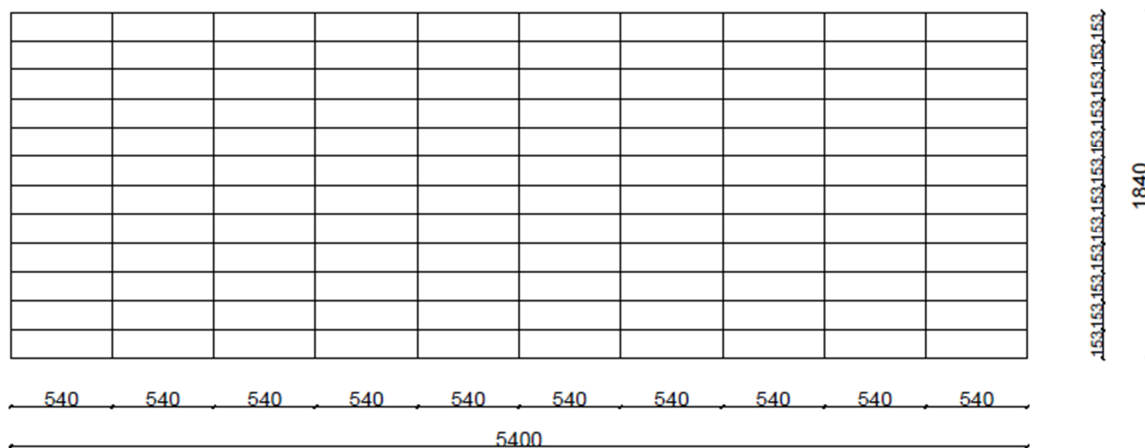
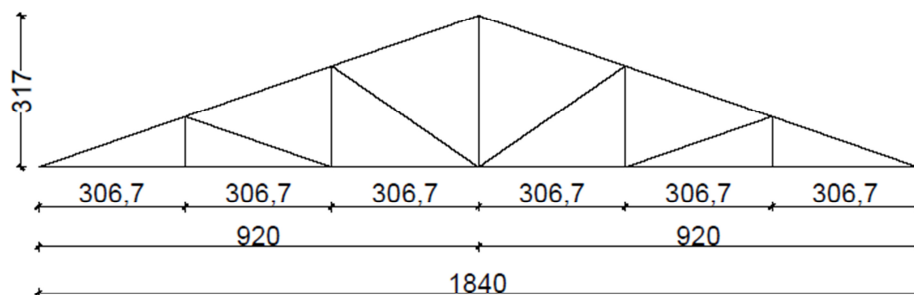
5.6.1.	Van sustava stabilizacije b/h=18/18cm .....	33
5.6.2.	U sustavu stabilizacije b/h=18/20 cm.....	35
6.	PRORAČUN SPAJALA .....	42
6.1.	DETALJ 1- DVOSTRUKI ZASJEK.....	42
6.2.	DETALJ 2-ZASJEK I ČAVLANI SPOJ.....	46
6.3.	DETALJ 3-ČAVLANI SPOJ.....	50
6.4.	DETALJ 4-ZASJEK I ČAVLANI SPOJ.....	52
6.5.	DETALJ 5-ZASJEK I ČAVLANI SPOJ.....	56
6.6.	DETALJ 6-VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	60
6.7.	DETALJ 7- TIJESNO UGRAĐENI VIJCI (V3) .....	62
6.8.	DETALJ 8-ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI.....	65
7.	PROVJERA OTPORNOSTI NA POŽAR .....	68
7.1.	KRITIČNA IZVANREDNA KOMBINACIJA.....	68
8.	NACRTI .....	84
8.1.	Generalni plan pozicija .....	84
8.2.	Radionički nacrt glavnog nosača .....	84
8.3.	Detalj 1 (dvostruki zasjek).....	84
8.4.	Detalj 2 (jednostruki zasjek i čavLANI spoj).....	84
8.5.	Detalj 3 ( čavLANI spoj).....	84
8.6.	Detalj 4 (jednostruki zasjek i čavLANI spoj).....	84
8.7.	Detalj 5 (jednostruki zasjek i čavLANI spoj).....	84
8.8.	Detalj 6 (vlačni nastavak rešetke).....	84
8.9.	Detalj 7 (tijesno ugrađeni vijci) .....	84
8.10.	Detalj 8 (jednostruki zasjek i tijesno ugrađeni vijci).....	84
9.	LITERATURA .....	85



## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1. Konstruktivni sustav krova

Konstruktivni sustav je drveni rešetkasti nosač raspona  $L = 18,4$  m. Visina nosača u tjemenu iznosi  $h = 3,17$  m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 19^\circ$ . Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku  $n=5,4$  m. Stabiliziranje konstrukcije predviđeno je horizontalnim spregom. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi  $54,0$  m.



## **1.2. Statička analiza sustava**

Proračun je izvršen prema EC 5. Konstrukcija je izložena djelovanju sljedećih opterećenja: vlastita težina, vjetar i snijeg. Predmetna građevina se nalazi na području Rijeke, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta III . Odgovarajući koeficijenti za vjetar i snijeg uzeti su prema tome iz propisanih tablica.

Za statički proračun upotrijebljena je kombinacija s najvećim utjecajem, dakle vlastita težina konstrukcije + djelovanje snijega + sendvič panel + djelovanje vjetra.

Proračun reznih sila je pomoću računalnog programa Scia Engineer, na način da su umetnuti zglobovi na mjestima spajanja vertikalna i dijagonala s gornjim i donjim pojasom. Ovakav model za proračun daje približan i dovoljno točan rezultat.

Izvršena je analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji djeluje okomito na glavni nosač i izbočava ga. Cilj ovog proračuna je prostorna stabilizacija konstrukcije.

## **1.3. Opis konstruktivnih elemenata**

### **1.3.1. Glavni nosači**

Glavni nosači predstavljaju 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. Oni su pravokutnog poprečnog presjeka.

### **1.3.2. Podrožnice**

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Elementi podrožnice koji imaju i funkciju vertikalna vjetrovnog sprega, kvadratnog su poprečnog presjeka dimenzija 18 cm x 20cm.

### **1.3.3. 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  $\emptyset 14$ .

## 1.4. Materijali

### 1.4.1. Drveni materijali

Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od drva klase C30. Karakteristične vrijednosti čvrstoća, modula i gustoće za ovu klasu:

$$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$$

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

$$E_{o,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 750 \text{ N/mm}^2$$

$$q = 380 \text{ kg/m}^3$$

### 1.4.2. Metalni elementi

Za spajanje pojedinih elemenata korišteni su čavli i tijesno ugrađeni vijci.

## 1.5. Zaštita

### 1.5.1. Zaštita drvenih elemenata

Zaštita nosivih elemenata se vrši fungicidnim premazima za zaštitu od prodora vode i nametnika. Zaštita se nanosi u tri sloja, s tim da se dva sloja nanose u tvornici prije transporta, a treći, završni, nakon dovršenja konstrukcije.

### 1.5.2. Zaštita metalnih elemenata

Spregovi koji su postavljeni u prvom i posljednjem pojasu su zaštićeni vatrootpornim premazima.

## **1.6. Montaža i transport**

Posebnu pažnju treba obratiti na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno s transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Glavni nosači se izrađuju na podu, zatim se pomoću dizalice podižu u vertikalni položaj i to tako da se podignu prvo glavni nosači povezani spregom, a nakon toga ostali. Konačno na već postavljenu konstrukciju postavlja se pokrov.

Nosači se trebaju transportirati u takvom položaju u kakvom će kasnije primiti opterećenje. Transport i montaži treba obaviti tako da se izbjegnu moguća oštećenja dijelova konstrukcije.

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. Glavna nosiva konstrukcija (okvir)

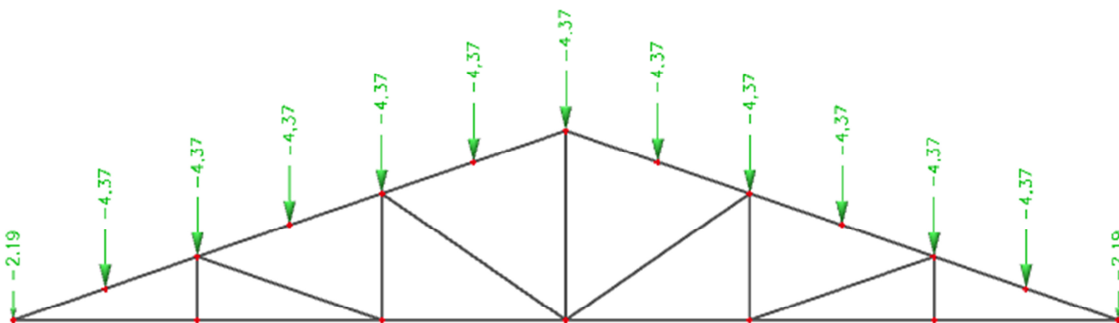
#### 2.1.1 Stalno opterećenje- krovna ploha

- Sendvič paneli.....	0.20 kN/m <sup>2</sup>
- Sekundarna konstrukcija i spregovi.....	0.20 kN/m <sup>2</sup>
- Instalacije.....	0.10 kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Vlastita težina automatski je uključena u računalni program

$$G_k = 0,5 \text{ kN/m}^2 * 5,4\text{m} * 1,62 = 4,374 \text{ kN}$$

$$G_k/2 = 2,187 \text{ kN}$$



#### 2.1.2 Promjenjivo opterećenje-djelovanje snijega

Opterećenje snijegom na krovu (po tlocrtnoj površini krova) određuje se po formuli:

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

$s_k$  – karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu  $kN/m^2$

$s_k = 0,5 kN/m^2$  za priobalje(Rijeka) do 100m nadmorske visine

#### DJELOVANJE SNIJEGA



## DJELOVANJE SNIJEGA

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	6,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

$\mu_i$  – koeficijent oblika za opterećenje snijegom, očitamo ga ovisno o obliku i nagib krova

Za nagib krova od  $0^\circ < \alpha = (19^\circ) < 30^\circ \rightarrow \mu_i = 0,8$

$c_e = 1,00$  (koeficijent izloženosti)

$c_t = 1,00$  (toplinski koeficijent)

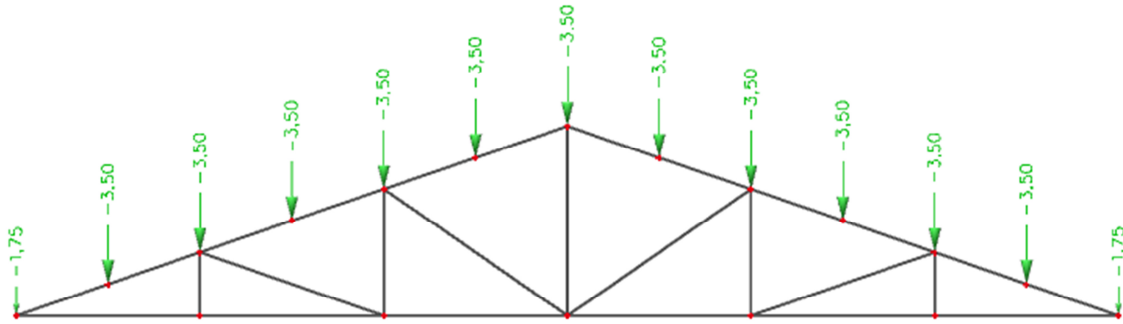
Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = 0,5 * 0,8 * 1,00 * 1,00 = 0,4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Raspodjela sila na glavni nosač:

$$S = s * n * a = 0,4 * 5,4 * 1,62 = 3,5 \text{ kN}$$

$$S/2 = 1,75 \text{ kN}$$



### 2.1.3 Promjenjivo opterećenje-djelovanje vjetra

Opterećenje vjetrom okomito je na površinu.

PRITISAK VJETRA:

- NA VANJSKE POVRŠINE:  $w_e = q_p(z_e) * C_{pe} \quad [kN/m^2]$
- NA UNUTARNJE POVRŠINE:  $w_i = q_p(z_i) * C_{pi} \quad [kN/m^2]$

- $q_p(z_e)$  - pritisak brzine vjetra pri udaru
- $z_e, z_i$  - referentne visine za vanjski i unutarnji pritisak
- $c_{pe}$  - vanjski koeficijent pritiska
- $c_{pi}$  - unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje osnovnog pritiska vjetra:

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

$q_b$  - osnovni pritisak brzine vjetra

$\rho$  - gustoća zraka,  $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$

$v_b$  - osnovna brzina vjetra

Osnovna brzina vjetra računa se prema izrazu:



$$v_B = C_{DIR} * C_{SEASON} * v_{B;0}$$

$c_{dir}$  - koeficijent smjera vjetra(uzima se 1.0)

$c_{season}$  - koeficijent ovisan o godišnjem dobu(uzima se 1.0)

$v_{b;0}$  - fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra (očitava se iz karte)

### DJELOVANJE VJETRA



$v_{b;0} = 25 \text{ m/s}$  za područje- Rijeka, do 100m nadmorske visine

$$v_B = C_{DIR} * C_{SEASON} * v_{B;0} = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

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

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2$$

$$q_b = 390,6 \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 0,39 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

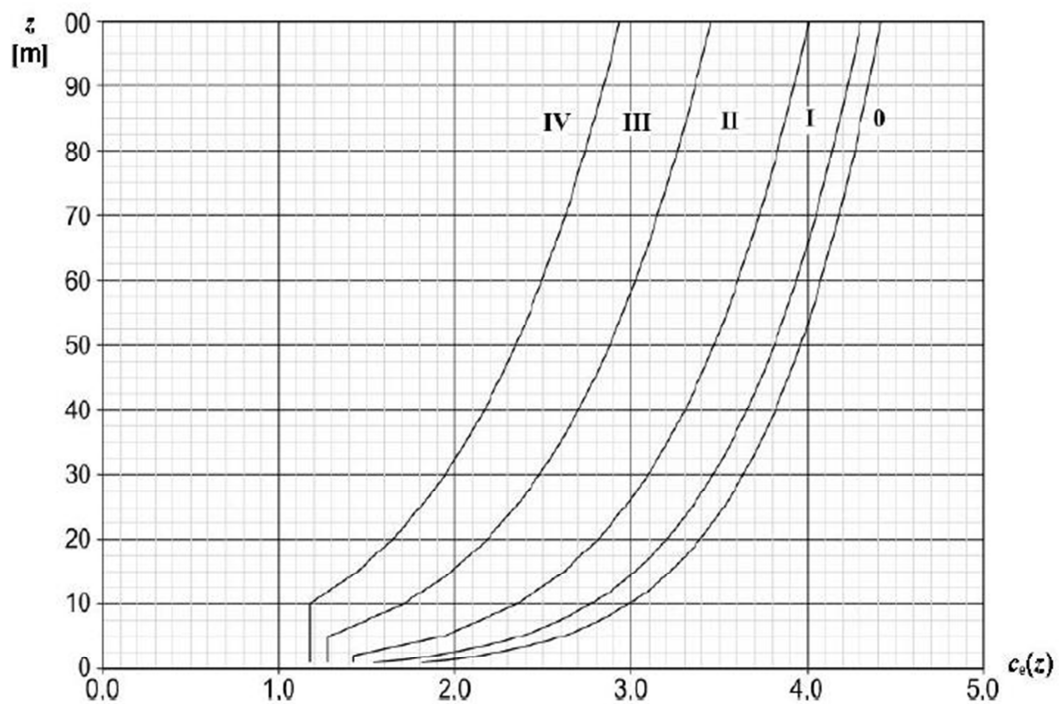
Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_p(z) = C_e \cdot q_b$$

Određivanje koeficijenta  $c_e(z_e)$  vrši se u odnosu na kategoriju terena, tj. izloženosti djelovanju vjetra.

Iz dijagrama, uzimajući u obzir visinu konstrukcije  $z = 10m$  i kategoriju terena III. , očitano je koeficijent  $c_e$  .

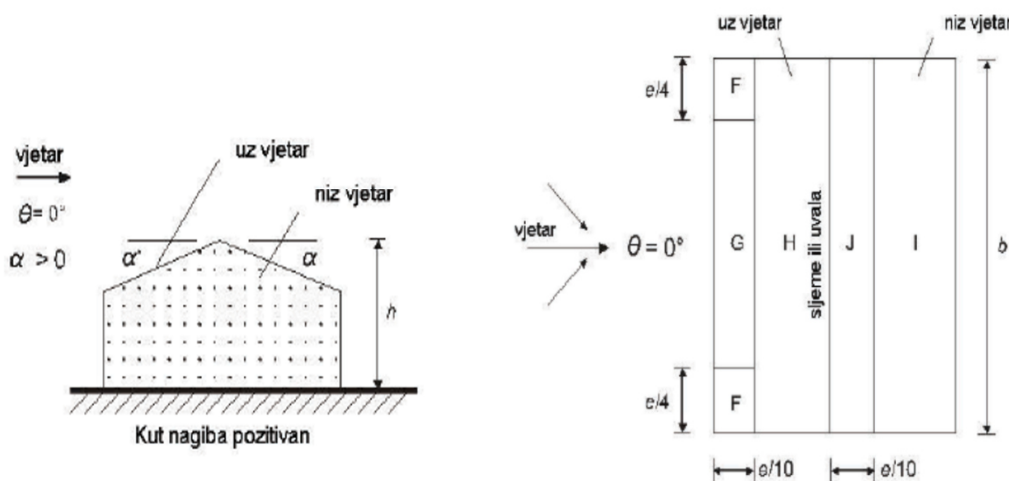
#### DJELOVANJE VJETRA



$c_e = 1,70$  (očitano)

$$q_p(z) = 1,70 \cdot 0,39 = 0,663 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

**Određivanje koeficijenta pritiska vjetra za krovna područja ( dvostrešni krov koji nije ravan)  $\alpha > 5^\circ$ .**



$$e = \min \{b, 2h\} = \min \{54\text{m}, 2 \cdot 10\text{ m}\} = \min \{54\text{m}, 20\text{m}\} = 20\text{m}$$

**DJELOVANJE VJETRA**

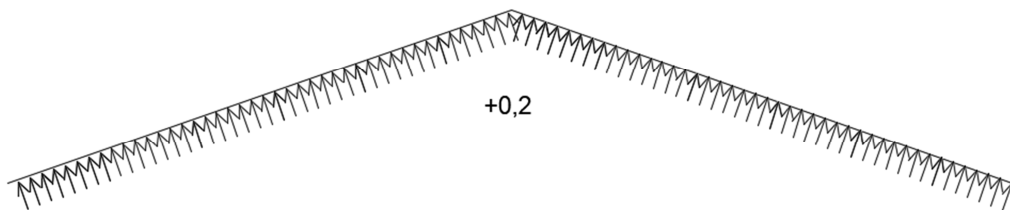
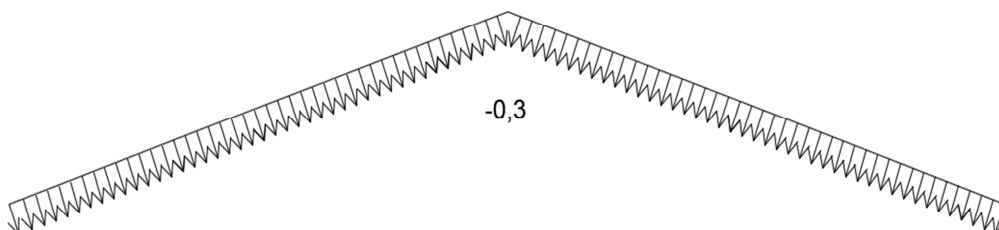
Nagib $\alpha$	Područje za smjer vjetra $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

$C_{pe10}$ 

	$H(15^\circ) = -0,3$
$F(15^\circ) = -0,9$	$\underline{H(30^\circ) = -0,2}$
$\underline{F(30^\circ) = -0,5}$	$H(19^\circ) = -0,27$
$F(19^\circ) = -0,79$	
	$I(15^\circ) = -0,4$
$G(15^\circ) = -0,8$	$\underline{I(30^\circ) = -0,4}$
$\underline{G(30^\circ) = -0,5}$	$I(19^\circ) = -0,4$
$G(19^\circ) = -0,72$	
	$J(15^\circ) = -1,0$
	$\underline{J(30^\circ) = -0,5}$
	$J(19^\circ) = -0,87$

 $C_{pe10}$ 

	$H(15^\circ) = 0,2$
$F(15^\circ) = 0,2$	$\underline{H(30^\circ) = 0,4}$
$\underline{F(30^\circ) = 0,7}$	$H(19^\circ) = 0,25$
$F(19^\circ) = 0,33$	
	$I(15^\circ) = 0,0$
$G(15^\circ) = 0,2$	$\underline{I(30^\circ) = 0,0}$
$\underline{G(30^\circ) = 0,7}$	$I(19^\circ) = 0,0$
$G(19^\circ) = 0,33$	
	$J(15^\circ) = 0,0$
	$\underline{J(30^\circ) = 0,0}$
	$J(19^\circ) = 0,0$

**Unutarnji vjetar:** $C_{pi1} = +0,2$  $C_{pi2} = -0,3$ **Rezultirajuće djelovanje vjetra**

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

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

$$(C_{pe10} * C_{pi1}) * q_p(z)$$

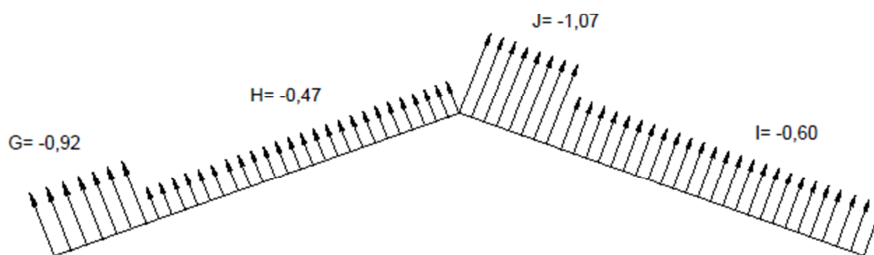
$$F: |0,79+0,2| \cdot 0,663 = 0,66 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$G: |0,72+0,2| \cdot 0,663 = 0,61 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H: |0,27+0,2| \cdot 0,663 = 0,31 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$I: |0,4+0,2| \cdot 0,663 = 0,40 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$J: |0,87+0,2| \cdot 0,663 = 0,71 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi2} = -0,3$ ), pritisak:**

$$(C_{pe10} * C_{pi2}) * q_p(z)$$

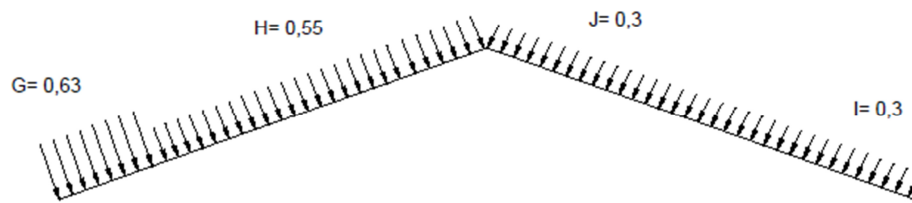
$$F: |0,33+0,3| \cdot 0,663 = 0,42 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$G: |0,33+0,3| \cdot 0,663 = 0,42 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H: |0,25+0,3| \cdot 0,663 = 0,36 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$I: |0,00+0,3| \cdot 0,663 = 0,20 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$J: |0,00+0,3| \cdot 0,663 = 0,20 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



**Vjetar W3 negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ ), odizanje:**

$$(C_{pe10} * C_{pi2}) * q_p(z)$$

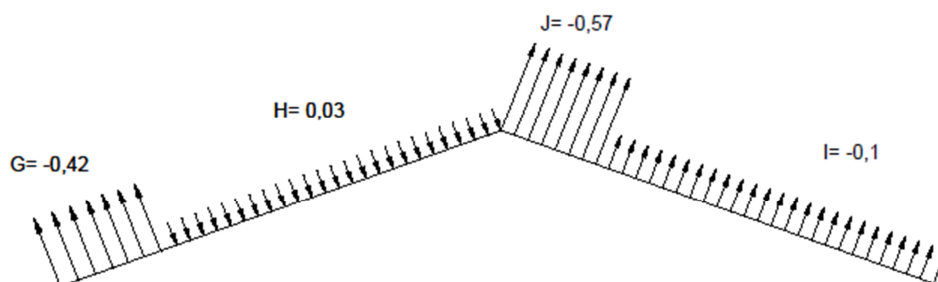
$$F: |0,79 - 0,3| \cdot 0,663 = 0,32 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$G: |0,72 - 0,3| \cdot 0,663 = 0,28 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H: |0,27 - 0,3| \cdot 0,663 = 0,02 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$I: |0,4 - 0,3| \cdot 0,663 = 0,07 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$J: |0,87 - 0,3| \cdot 0,663 = 0,38 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



**Vjetar W4 pozitivni unutarnji pritisak ( $c_{pil} = +0,2$ ), pritisak:**

**$(C_{pe10} * C_{pil}) * q_p(z)$**

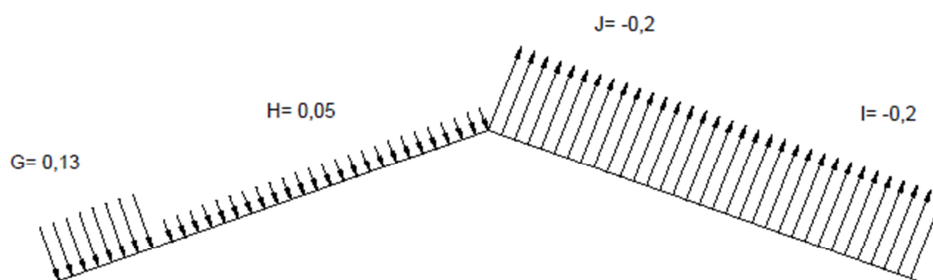
F:  $|0,33-0,2| \cdot 0,663 = 0,09 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

G:  $|0,33-0,2| \cdot 0,663 = 0,09 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

H:  $|0,25-0,2| \cdot 0,663 = 0,03 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

I:  $|0,00-0,2| \cdot 0,663 = 0,13 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

J:  $|0,00-0,2| \cdot 0,663 = 0,13 \text{ (kN/m}^2\text{)}$



Mjerodavne kombinacije su W1 (za odizanje) i W2 (za pritisak).

**Sile vjetra W1 u čvorovima:**

$$F_1 = 0,61 * 5,4 * 0,81 = 2,66 \text{ (kN)}$$

$$F_2 = 0,61 * 5,4 * 0,81 + 0,61 * 5,4 * 0,49 + 0,31 * 5,4 * 0,32 = 4,81 \text{ (kN)}$$

$$F_3 = F_4 = F_5 = F_6 = 0,31 * 5,4 * 1,62 = 2,71 \text{ (kN)}$$

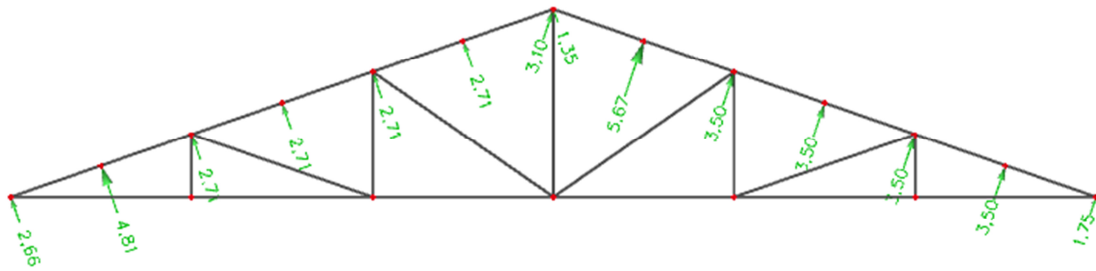
$$F_7 = 0,31 * 5,4 * 0,81 = 1,35 \text{ (kN)}$$

$$F_8 = 0,71 * 5,4 * 0,81 = 3,1 \text{ (kN)}$$

$$F_9 = 0,71 * 5,4 * 0,81 + 0,71 * 5,4 * 0,49 + 0,4 * 5,4 * 0,32 = 5,67 \text{ (kN)}$$

$$F_{10} = F_{11} = F_{12} = F_{13} = 0,4 * 5,4 * 1,62 = 3,5 \text{ (kN)}$$

$$F_{14} = 0,4 * 5,4 * 0,81 = 1,75 \text{ (kN)}$$



### Sile vjetra W2 u čvorovima:

$$F_1 = 0,42 * 5,4 * 0,81 = 1,79 \text{ (kN)}$$

$$F_2 = 0,42 * 5,4 * 0,81 + 0,42 * 5,4 * 0,49 + 0,36 * 5,4 * 0,32 = 3,51 \text{ (kN)}$$

$$F_3 = F_4 = F_5 = F_6 = 0,36 * 5,4 * 1,62 = 3,24 \text{ (kN)}$$

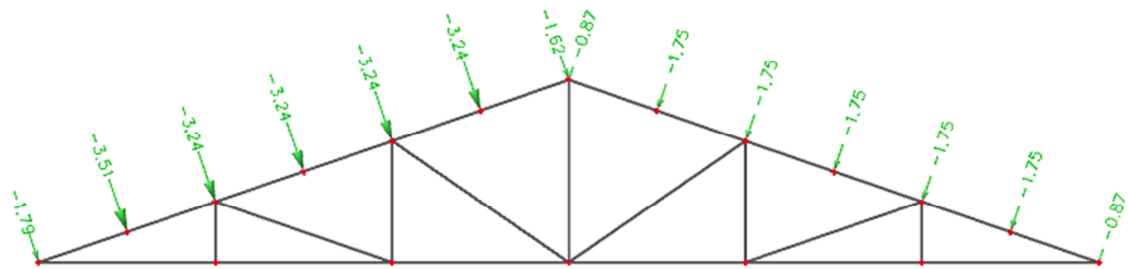
$$F_7 = 0,36 * 5,4 * 0,81 = 1,62 \text{ (kN)}$$

$$F_8 = 0,2 * 5,4 * 0,81 = 0,87 \text{ (kN)}$$

$$F_9 = 0,2 * 5,4 * 0,81 + 0,2 * 5,4 * 0,49 + 0,2 * 5,4 * 0,32 = 1,75 \text{ (kN)}$$

$$F_{10} = F_{11} = F_{12} = F_{13} = 0,2 * 5,4 * 1,62 = 1,75 \text{ (kN)}$$

$$F_{14} = 0,2 * 5,4 * 0,81 = 0,87 \text{ (kN)}$$

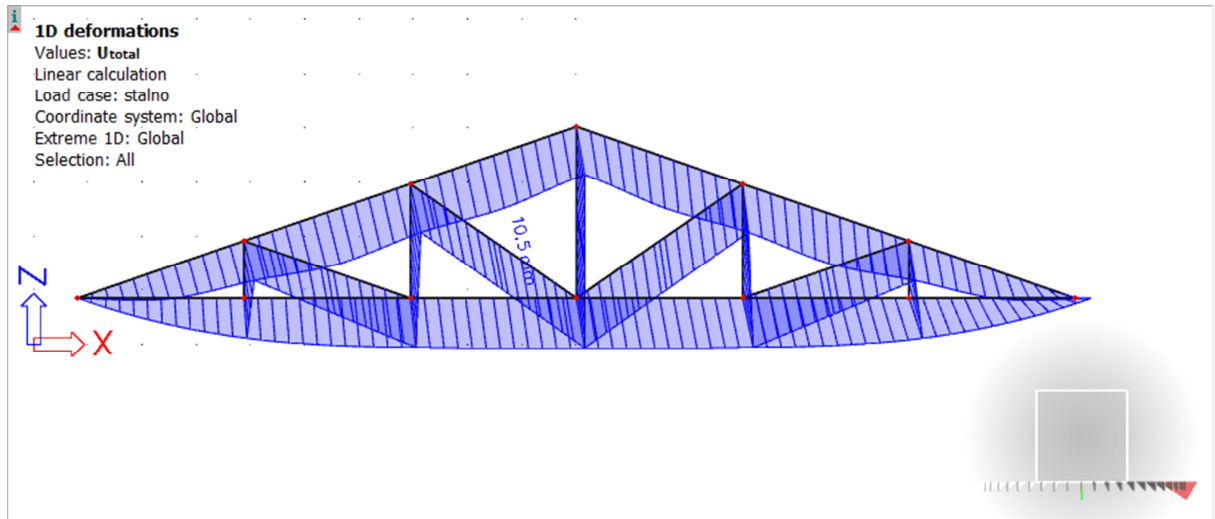




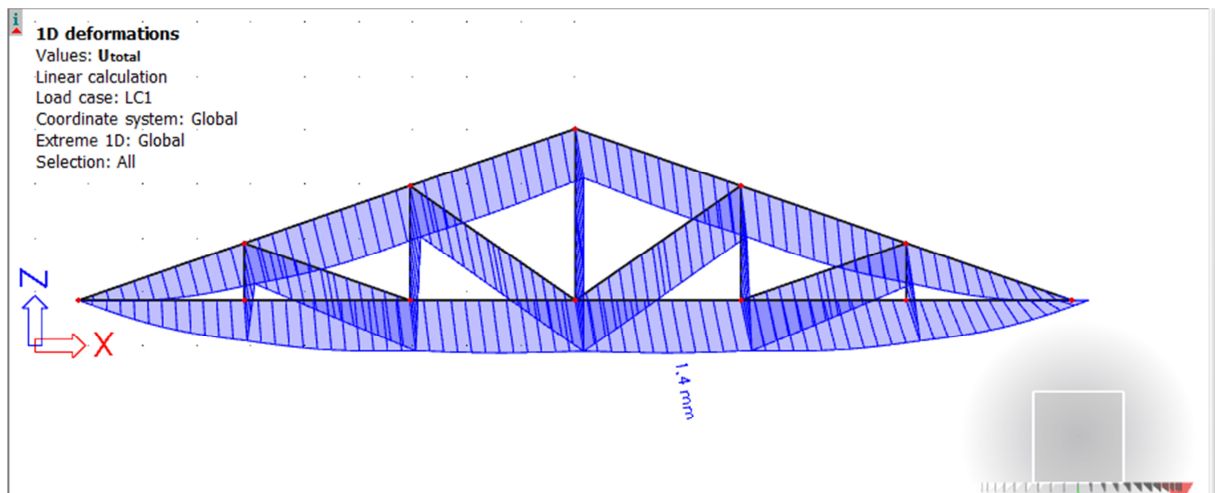
### 3. STATIČKI PRORAČUN

#### 3.1. KONTROLA PROGIBA

Stalno opterećenje



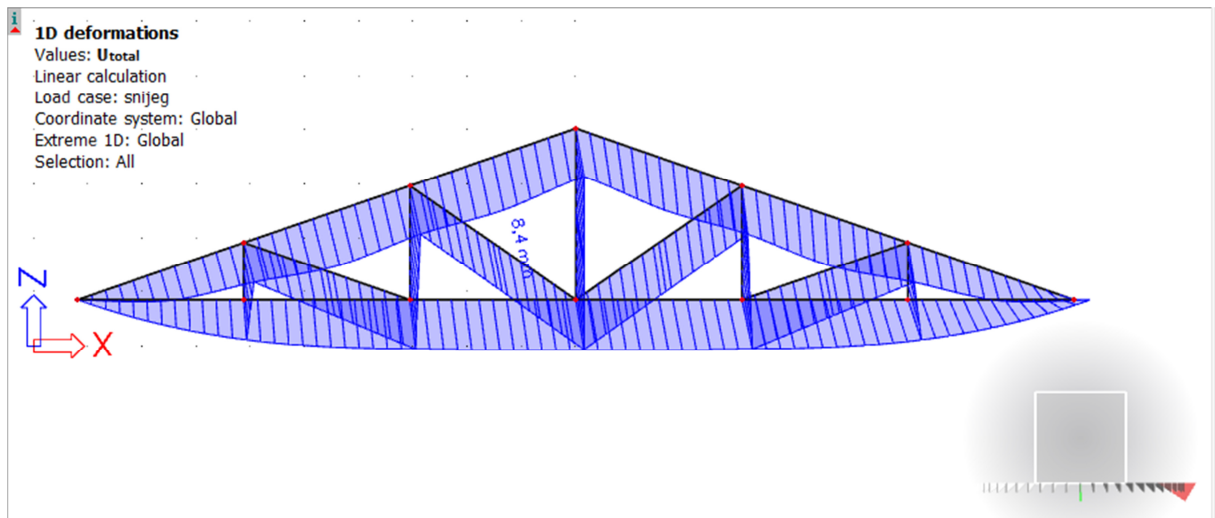
Vlastita težina



$$w_{G,inst} = 1,4\text{mm} + 10,5\text{mm} = 11,9\text{ mm}$$

$$\begin{aligned} w_{G,fin} &= w_{G,inst}(1+k_{def,G}) \\ &= 11,9 * (1+0,6) \\ &= 19,04\text{ mm} \end{aligned}$$

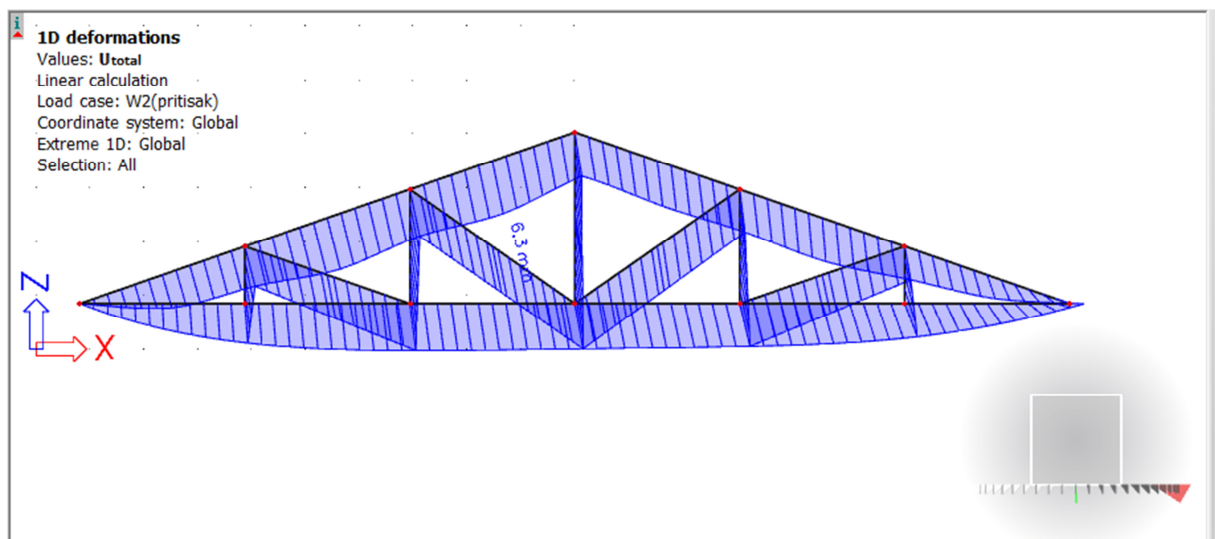
## Promjenjivo opterećenje-snijeg



$$w_{S,inst}=8,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} w_{S,fin} &= w_{S,inst}(1+\psi_2 \cdot k_{def,P}) \\ &= 8,4 \text{ mm} \cdot (1+0 \cdot 0,6) \\ &= 8,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

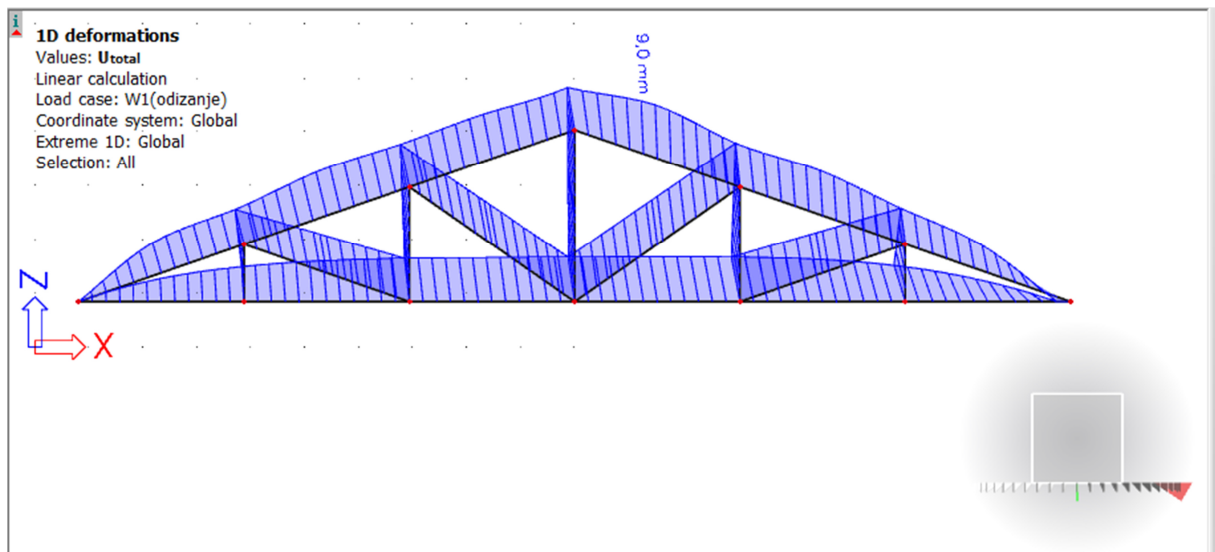
## Promjenjivo opterećenje- vjetar W2 (pritiskajući)



$$W_{W2,inst}=6,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} W_{w2,fin} &= W_{W2,inst}(\psi_0 + \psi_2 \cdot k_{def}) \\ &= 6,3 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) \\ &= 3,78 \text{ mm} \end{aligned}$$

## Promjenjivo opterećenje- vjetar W1 (odizanje)



$$W_{W1,inst} = 9,0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} W_{w1,fin} &= W_{W1,inst}(\psi_0 + \psi_2 \cdot k_{def}) \\ &= 9,0 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) \\ &= 5,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

## 1) Trenutni progibi

$$W_{inst,G,Q} < \frac{l}{300}$$

$$\frac{l}{300} = \frac{18,4}{300} = 61,3 \text{ mm}$$

$$W_{G,inst} = 11,9 \text{ mm} < 61,3 \text{ mm}$$

$$W_{Q1,inst} = W_{S,inst} + W_{W2,inst} = 8,4 + 6,3 = 14,7 \text{ mm} < 61,3 \text{ mm}$$

$$W_{Q2,inst} = 9,0 \text{ mm} < 61,3 \text{ mm}$$

## 2) Konačni progibi

$$W_{fin,netto} = W_{fin} - w_0 < \frac{l}{250}$$

$$\frac{l}{250} = \frac{18,4}{250} = 73,6 \text{ mm}$$

$$w_{G,fin} = 19,04 \text{ mm} < 73,6 \text{ mm}$$

$$w_{S,fin} = 8,4 \text{ mm} < 73,6 \text{ mm}$$

$$w_{w2,fin} = 3,78 \text{ mm} < 73,6 \text{ mm}$$

GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA:

GORNJI POJAS : 180x220

DONJI POJAS : 180x180

VERTIKALE : 180x100

DIJAGONALE : 180x100

### 3.2. DIJAGRAMI UZDUŽNIH SILA ZA SVA OPTEREĆENJA

Stalno opterećenje

#### 1D internal forces

Values: N

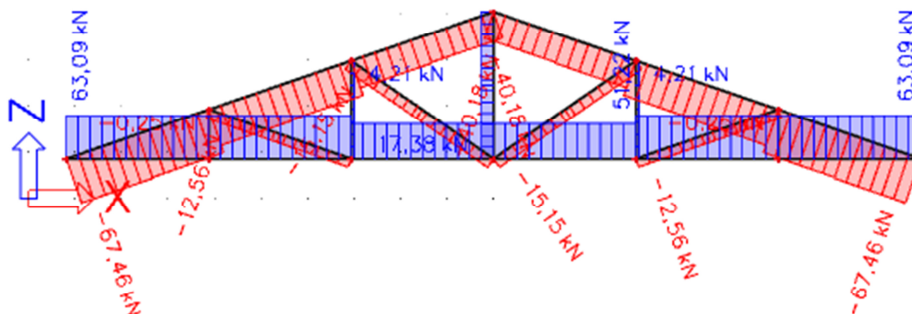
Linear calculation

Load case: stalno

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



Promjenjivo opterećenje – snijeg

**1D internal forces**

Values: **N**

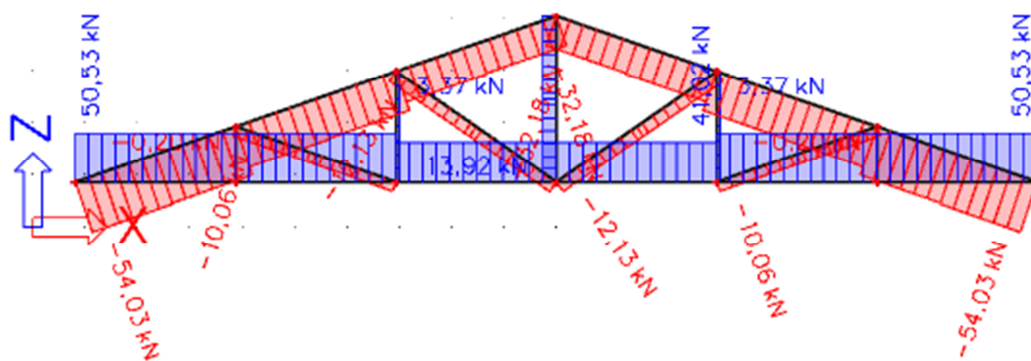
Linear calculation

Load case: snijeg

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



Promjenjivo opterećenje- vjetar W1(odizanje)

**1D internal forces**

Values: **N**

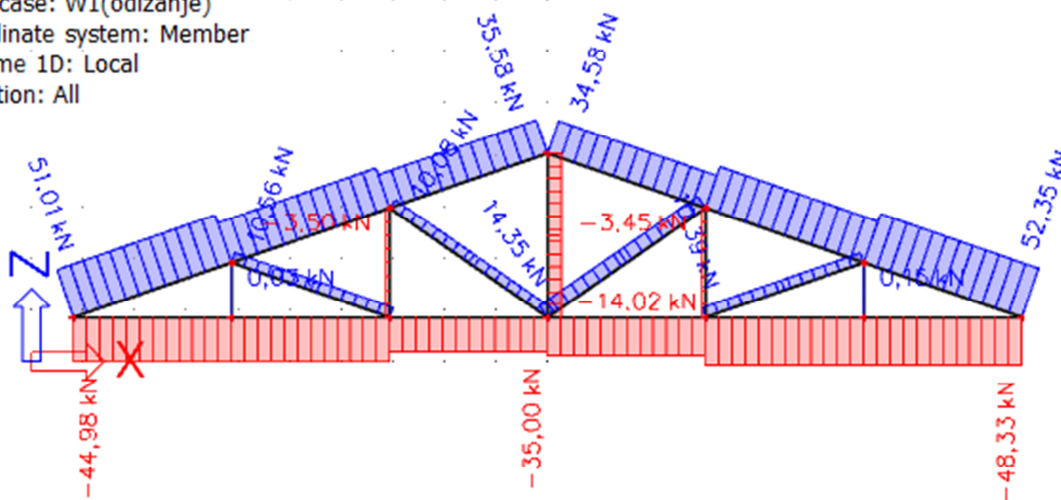
Linear calculation

Load case: W1(odizanje)

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



Promjenjivo opterećenje- vjetar W2(pritisak)

**1D internal forces**

Values: **N**

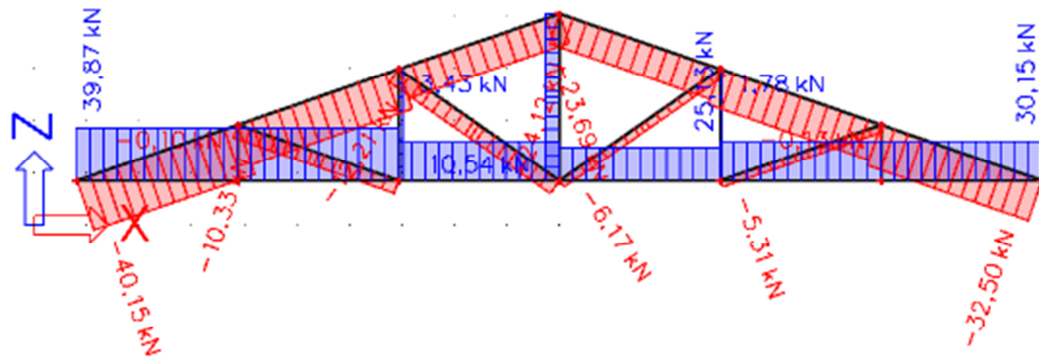
Linear calculation

Load case: W2(pritisak)

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



## 4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJA DJELOVANJA (GSN)

### 4.1. KOMBINACIJA $1,35 \cdot G + 0,9 \cdot 1,5 \cdot (S + W_2)$

#### 1D internal forces

Values:  $M_y$

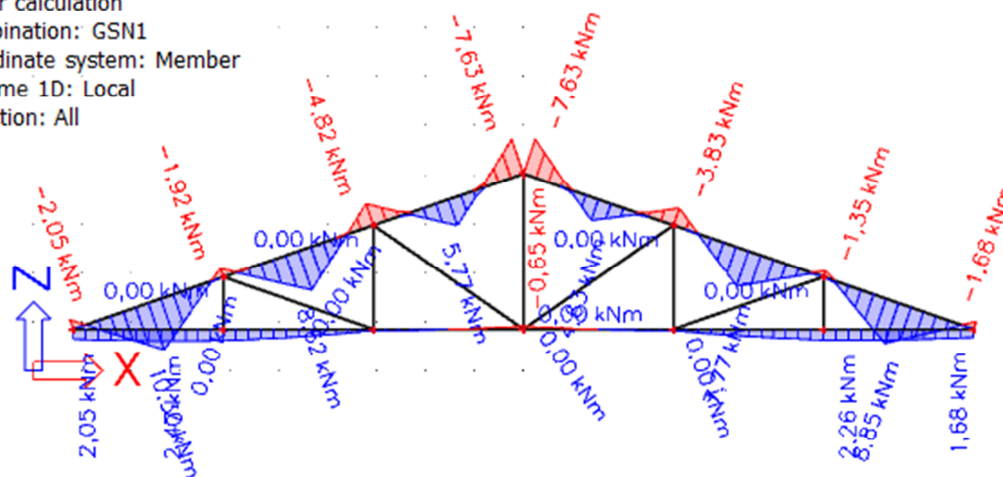
Linear calculation

Combination: GSN1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



*Momentni dijagram kombinacije 1*

#### 1D internal forces

Values:  $V_z$

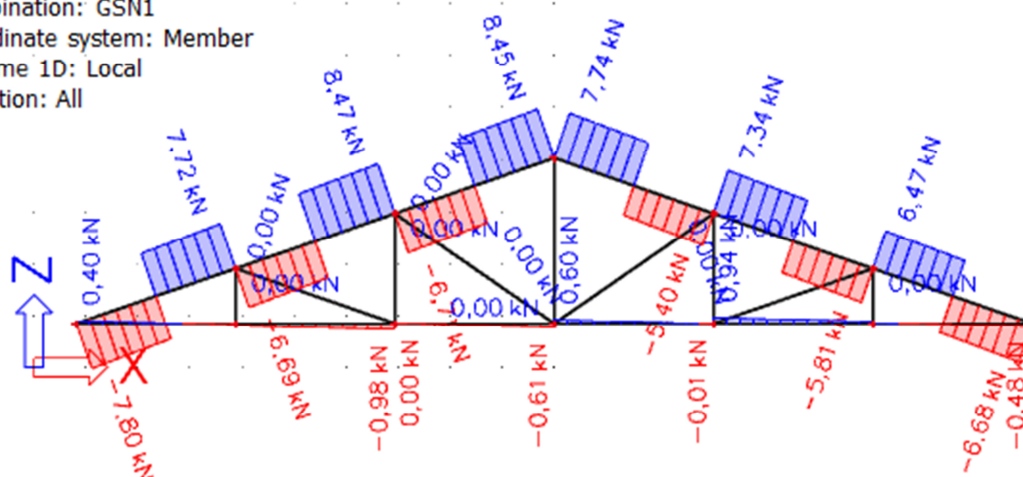
Linear calculation

Combination: GSN1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

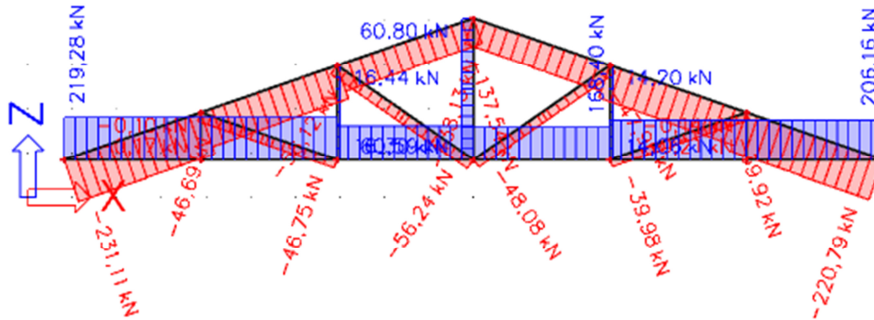
Selection: All



*Dijagram poprečnih sila kombinacije 1*

**1D internal forces**

Values: **N**  
 Linear calculation  
 Combination: GSN1  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Local  
 Selection: All

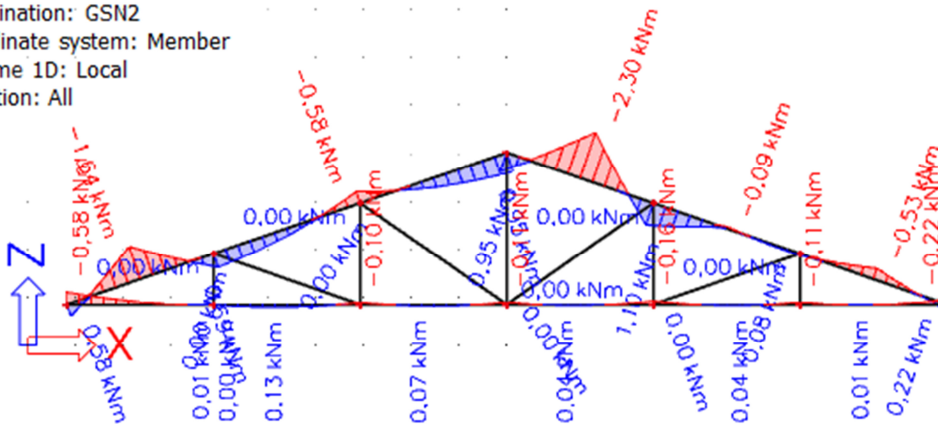


*Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1*

**4.2. KOMBINACIJA 1,00\*G+\*1,5\*W1**

**1D internal forces**

Values: **M<sub>y</sub>**  
 Linear calculation  
 Combination: GSN2  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Local  
 Selection: All



*Momentni dijagram kombinacije 2*



**1D internal forces**

Values:  $V_z$

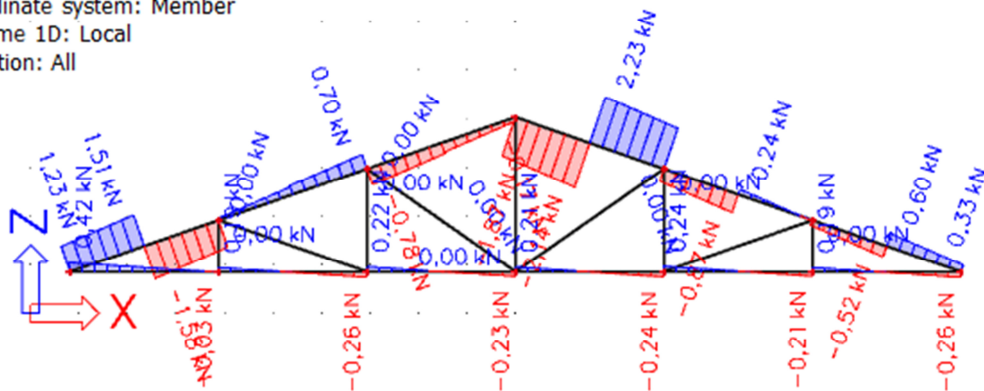
Linear calculation

Combination: GSN2

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



*Dijagram poprečnih sila kombinacije 2*

**1D internal forces**

Values:  $N$

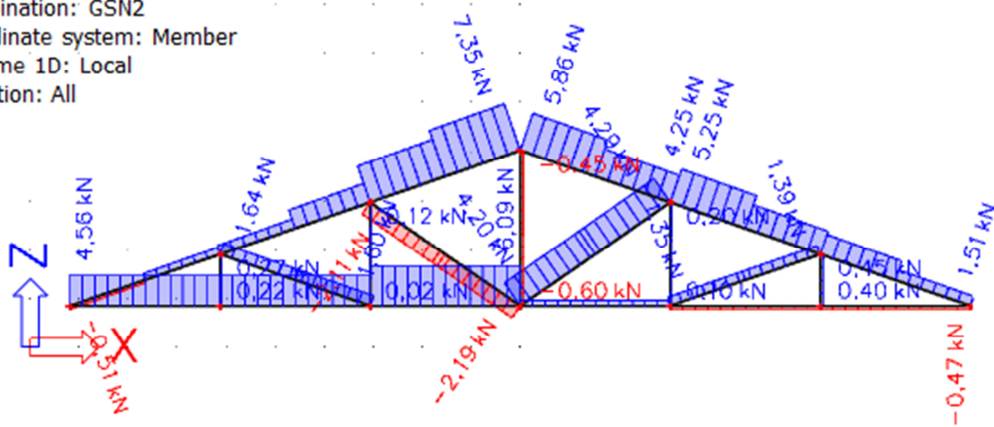
Linear calculation

Combination: GSN2

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All

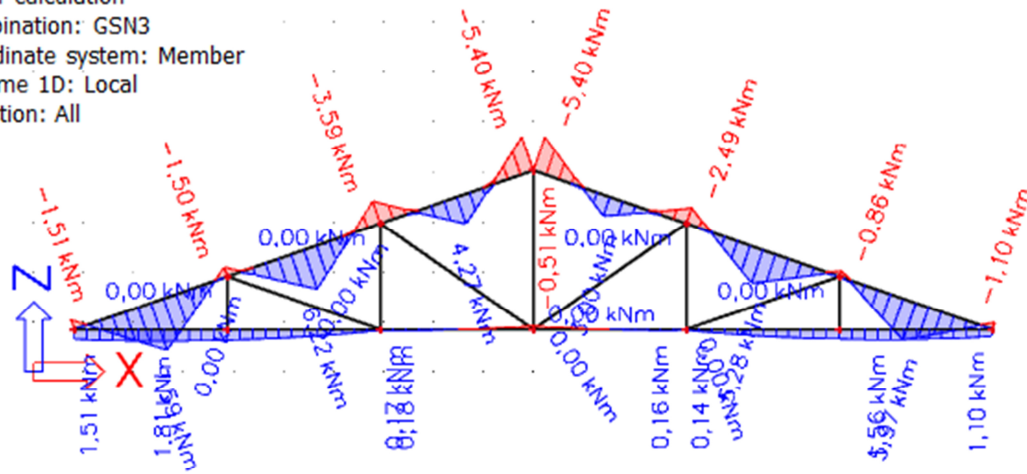


*Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2*

### 4.3. KOMBINACIJA 1,35\*G+\*1,5\*W2

**1D internal forces**

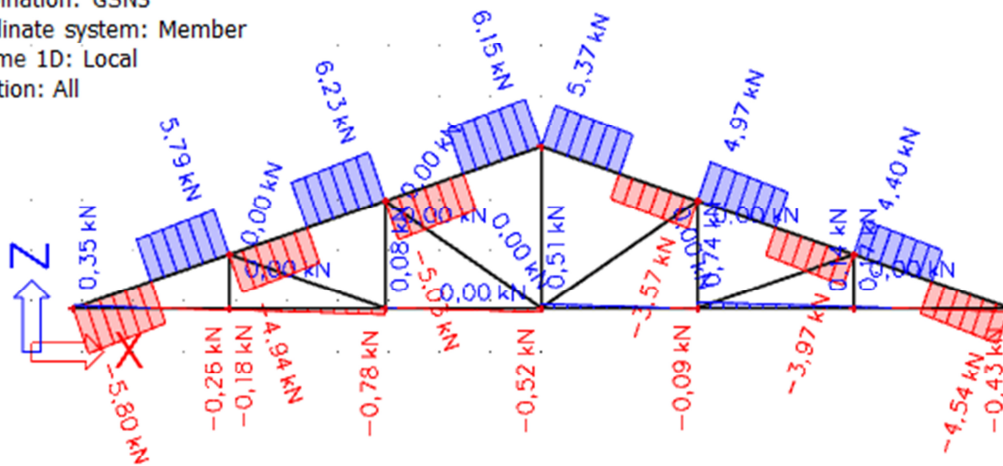
Values:  $M_y$   
 Linear calculation  
 Combination: GSN3  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Local  
 Selection: All



Momentni dijagram kombinacije 3

**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
 Linear calculation  
 Combination: GSN3  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Local  
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

**1D internal forces**

Values: **N**

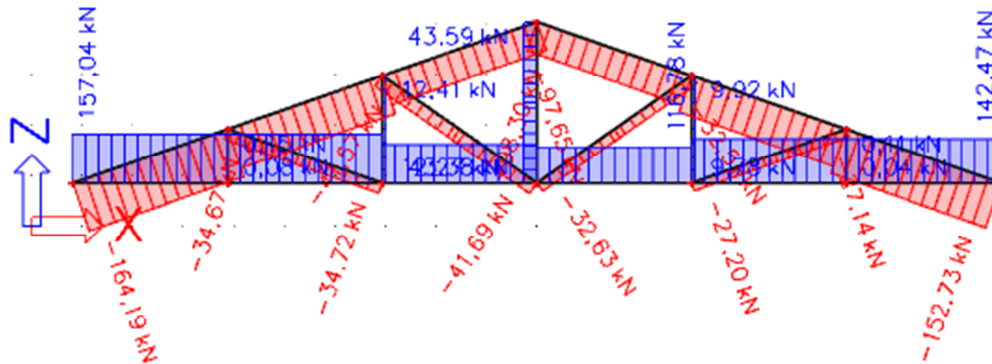
Linear calculation

Combination: GSN3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



*Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3*

**4.4. KOMBINACIJA 1,35\*G+\*1,5\*S**

**1D internal forces**

Values: **M<sub>y</sub>**

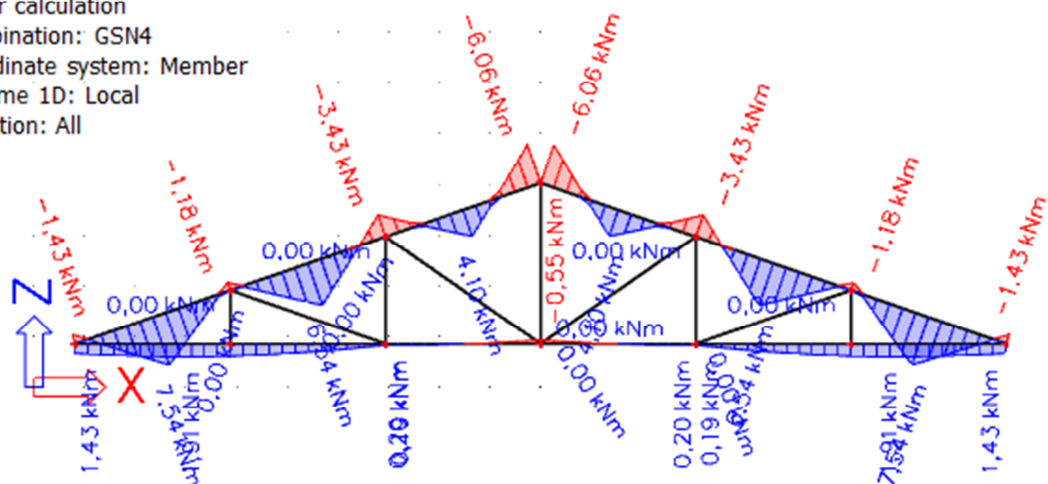
Linear calculation

Combination: GSN4

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



*Momentni dijagram kombinacije 4*

**1D internal forces**

Values: **V<sub>z</sub>**

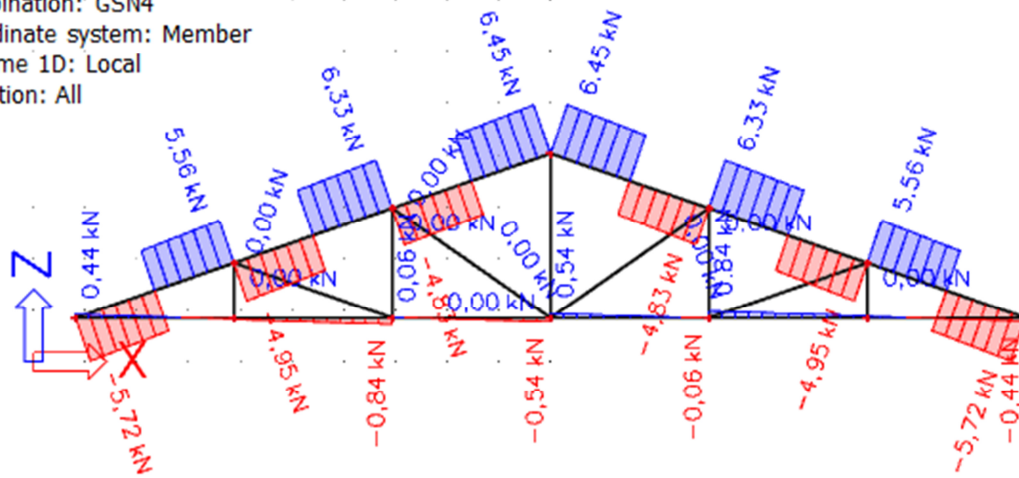
Linear calculation

Combination: GSN4

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



*Dijagram poprečnih sila kombinacije 4*

**1D internal forces**

Values: **N**

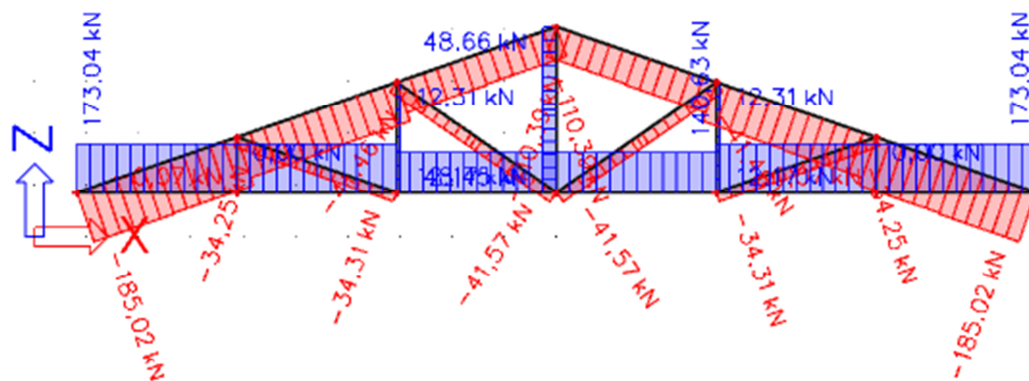
Linear calculation

Combination: GSN4

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



*Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4*

## 5. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH NOSAČA

### 5.1. Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

Materijal izrade: C30

$$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$$

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

$$E_{o,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 750 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{o,mean} = \frac{2}{3} \cdot 12000 = 8000 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

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

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

$\gamma_M = 1,3$  - parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo i materijale na bazi drva

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 20,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 12,46 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 15,92 \text{ N/mm}^2$$

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

## 5.2. Gornji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:

Geometrijske karakteristike presjeka:

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

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

Kombinacija opterećenja 1

$$N_{c,d} = -231,11 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 10,3 \text{ kNm}$$

$$N_{c,d} = -19,38 \text{ kN} \text{ iz sprega}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{250,49 \text{ kN}}{396 \text{ cm}^2} = 6,33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{10,3 \cdot 10^6}{\frac{180 \cdot 220^2}{6}} = 7,09 \frac{N}{mm^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos \alpha} = \frac{3,067}{\cos 19^\circ} = 3,2 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{3200}{0,289 \cdot 180} = 61,5$$

$$k_c = 0,65$$

$$k_{crit} = \frac{l_{ef,z} \cdot h}{b^2} = \frac{3200 \cdot 220}{180^2} = 21,7 \leq 140$$

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

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

$$\frac{7,09}{1,0 \cdot 20,77} + \frac{6,33}{0,65 \cdot 15,92} = 0,95 < 1$$

$$\boxed{0,96 < 1} \text{ ZADOVOLJAVA}$$

Posmik:

$$\boxed{V_d = 8,47kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{8,47kN}{396 \text{ cm}^2} = 0,32 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\boxed{\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,32 \text{ N/mm}^2}{2,77 \text{ N/mm}^2} = 0,12 < 1 \text{ ZADOVOLJAVA}}$$

Poprečni presjek b/h=18/22 cm zadovoljava s iskoristivosti od 96%.

### 5.3. Donji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:

Geometrijske karakteristike presjeka:

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

$$\boxed{A = 18 \cdot 18 = 324 \text{ cm}^2}$$

Kombinacija opterećenja 1

$$\boxed{N_{t,d} = 219,28kN}$$

$$\boxed{M_{y,d} = 2,47 \text{ kNm}}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{219,28 \text{ kN}}{0,80 \cdot 324 \text{ cm}^2} = 0,846 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 8,46 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,47 \cdot 10^6}{\frac{180 \cdot 180^2}{6}} = 2,54 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,z} = 18400 \text{ mm}$$

$$k_{crit} = \frac{l_{ef,z} \cdot h}{b^2} = \frac{18400 \cdot 180}{180^2} = 102,22 \leq 140$$

$$\boxed{k_{crit} = 1,0}$$

Dokaz stabilnosti:

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

$$\frac{2,54}{1,0 \cdot 20,77} + \frac{8,46}{12,46} = 0,8 < 1$$

$$\boxed{0,80 < 1} \text{ ZADOVOLJAVA}$$

Poprečni presjek b/h=18/18 cm zadovoljava s iskoristivosti od 80%.

#### 5.4. Dijagonale

Pretpostavljeni poprečni presjek:

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$\boxed{b/h = 18/10 \text{ cm}}$$

$$\boxed{A = 18 \cdot 10 = 180 \text{ cm}^2}$$

Kombinacija opterećenja 1

$$\boxed{N_{c,d} = -56,24 \text{ kN}}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{56,24 \text{ kN}}{180 \text{ cm}^2} = 0,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 3,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef,z}}{0,289 \cdot h} = \frac{3726}{0,289 \cdot 100} = 128,9$$

$$\boxed{k_c=0,2}$$

Dokaz:

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

$$\frac{3,1}{0,2 \cdot 15,92} = 0,97 < 1 \text{ ZADOVOLJAVA}$$

Poprečni presjek b/h=18/10cm zadovoljava s iskoristivosti od 97%.



## 5.5. Vertikale

Pretpostavljeni poprečni presjek:

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$\boxed{b/h = 18/10\text{cm}}$$

$$\boxed{A = 18 \cdot 10 = 180\text{ cm}^2}$$

Kombinacija opterećenja 1

$$N_{t,d} = 60,80\text{kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = 1,5 \cdot \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = 1,5 \cdot \frac{60,80\text{ kN}}{0,8 \cdot 180\text{ cm}^2} = 0,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 6,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{6,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{12,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,51 < 1 \text{ ZADOVOLJAVA}$$

Poprečni presjek b/h=18/10cm zadovoljava s iskoristivosti od 51%.

## 5.6. Podrožnice

### 5.6.1. Van sustava stabilizacije b/h=18/18cm

Djelovanja:

$$q_{G,k} = g_k \cdot e = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,24\text{ m} = 1,62\text{ kN/m}$$

$$q_{Q,k,W} = w_2 \cdot e = 0,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,24\text{ m} = 1,36\text{ kN/m}$$

$$q_{Q,k,S} = s \cdot e = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,24\text{ m} = 1,3\text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_{z,d} &= 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \cos \alpha + 1,5 \cdot 0,9 \cdot (q_{Q,k,W} + q_{Q,k,S} \cdot \cos \alpha) \\ &= 1,35 \cdot 1,62 \cdot \cos 19^\circ + 1,5 \cdot 0,9 \cdot (1,36 + 1,3 \cdot \cos 19^\circ) = 4,38\text{kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{y,d} &= 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \sin \alpha + 1,5 \cdot q_{Q,k,S} \cdot \sin \alpha \\ &= 1,35 \cdot 1,62 \cdot \sin 19^\circ + 1,5 \cdot 1,3 \cdot \sin 19^\circ = 1,35\text{kN/m} \end{aligned}$$

Rezne sile:

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{4,38 \cdot 5,4^2}{8} = 15,97 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{1,35 \cdot 5,4^2}{8} = 4,92 \text{ kNm}$$

$$V_{z,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l}{2} = \frac{4,38 \cdot 5,4}{2} = 11,83 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l}{2} = \frac{1,35 \cdot 5,4}{2} = 3,65 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 18 \cdot 18 = 324 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 18^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{18 \cdot 18^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

Proračunska naprežanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{15,97 \cdot 10^6}{972 \cdot 10^3} = 16,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{4,92 \cdot 10^6}{972 \cdot 10^3} = 5,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{11,83 \cdot 10^3}{324 \cdot 10^2} = 0,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{3,65 \cdot 10^3}{324 \cdot 10^2} = 0,17 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{crit} = \frac{l_{ef,z} \cdot h}{b^2} = \frac{540 \cdot 18}{18^2} = 30 \leq 140$$

$$k_{crit} = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{16,43}{1,0 \cdot 20,77} + 0,7 \cdot \frac{5,05}{20,77} = 0,96 < 1,0$$

$$k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{16,43}{1,0 \cdot 20,77} + \frac{5,05}{20,77} = 0,80 < 1,0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0,17}{2,77}\right)^2 + \left(\frac{0,55}{2,77}\right)^2 = 0,04 < 1,0$$

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

### 5.6.2. U sustavu stabilizacije b/h=18/20 cm.

Zamjenjujuće djelovanje (stabilizacija) :

$$F_d = \frac{N_d \cdot (1 - k_c)}{60}$$

Pri čemu je srednja vrijednost tlačne sile u gornjem pojasu :

$$N_d = \frac{\Sigma \text{Ngornji pojas}}{n} = \frac{2208,57}{12} = 184,05 \text{ kN/m}$$

$$l_{ef} = 19,46 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{19,46 \cdot 100}{0,289 \cdot 18} = 374,09$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{374,09}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23,0}{8000}} = 6,38$$

$\beta_c = 0,2$  za puno drvo i grede

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (6,38 - 0,3) + 6,38^2] = 21,46$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = \frac{1}{21,46 + \sqrt{21,46^2 - 6,38^2}} = 0,0238$$

$$F_d = \frac{N_d \cdot (1 - k_c)}{60} = \frac{184,05 \cdot (1 - 0,0238)}{60} = 2,99 \text{ kN}$$

Ove podrošnice preuzimaju opterećenja sa krovne plohe i sile stabilizacije glavnih nosača (dvoosno savijanje i tlak).

Geometrijske karakteristike:

$$A = 18 \cdot 20 = 360 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 20^2}{6} = 1200 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{20 \cdot 18^2}{6} = 1080 \text{ cm}^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{c,0,d} = n \cdot \frac{F_d}{A} = \frac{11}{2} \cdot \frac{2,99 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{15,97 \cdot 10^6}{1200 \cdot 10^3} = 13,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{4,92 \cdot 10^6}{1080 \cdot 10^3} = 4,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{5,4 \cdot 100}{0,289 \cdot 18} = 103,81$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{103,81}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23,0}{8000}} = 1,77$$

$\beta_c = 0,2$  za puno drvo i grede

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,77 - 0,3) + 1,77^2] = 2,21$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = \frac{1}{2,21 + \sqrt{2,21^2 - 1,77^2}} = 0,283$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{5400 \cdot 180}{200^2} = 24,3 < 140$$

$$k_{crit} = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

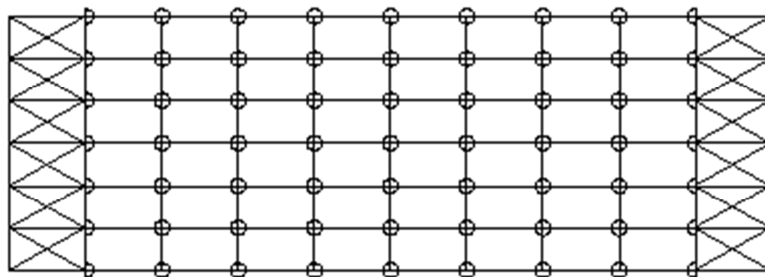
Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,46}{0,283 \cdot 15,92} + \frac{13,31}{1,0 \cdot 20,77} + 0,7 \cdot \frac{4,56}{20,77} = 0,90 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,46}{0,283 \cdot 15,92} + 0,7 \cdot \frac{13,31}{1,0 \cdot 20,77} + \frac{4,56}{20,77} = 0,77 < 1,0$$

### Spojevi glavni nosači-podrožnice

U sustavu stabilizacije (ne odnosi se na vertikalne sprega)



Ovi spojevi prenose tlačno/vlačnu silu  $n \cdot F_d = 5,5 \cdot 2,99 = 16,45$  kN i reakcije podrožnica od opterećenja krovne plohe.

Dokaz nosivosti i stabilnosti elemenata sprega

Zamjenjujuće djelovanje od izbočavanja:

$$k_1 = \min \left[ 1; \sqrt{\frac{15}{l}} \right] = \min \{ 1; 0,88 \} = 0,88$$

$$q_d = k_1 \times \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l} = 0,88 \cdot \frac{5,5 \cdot 184,05}{30 \cdot 19,464} = 1,53 \text{ kN/m}$$

Djelovanje vjetra (na jedan spreg):

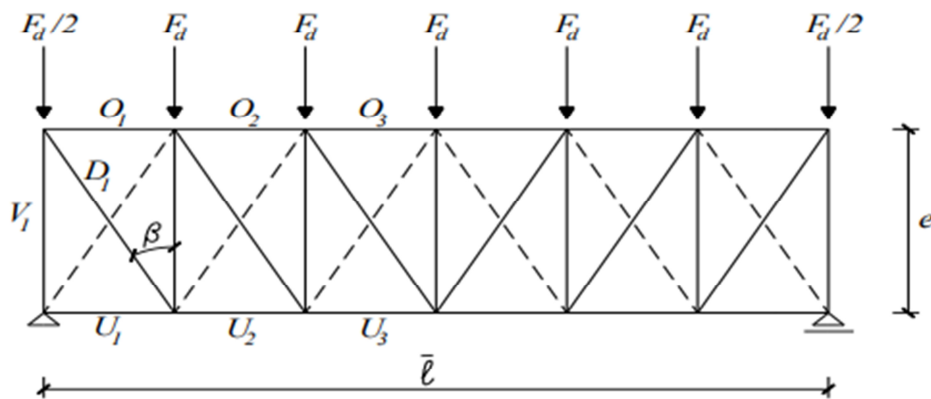
$$q_{w,1,d} = \frac{q_{w,d}}{2} = \frac{1,36}{2} = 0,68 \text{ kN/m}$$

Ukupno djelovanje:

$$q_{TOT,d} = q_d + q_{w,1,d} = 1,53 + 0,68 = 2,21 \text{ kN/m}$$

Ukupno u čvorovima:

$$Fd = q_{TOT,d} \cdot a' = 2,21 \cdot 3,24 = 7,16 \text{ kN}$$



Sile u pojasevima O3 (U3) glavnog nosača

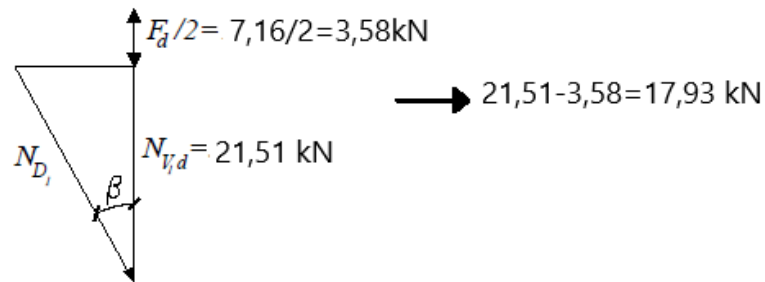
$$N_{O3(U3)d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot l'^2}{8 \cdot e} = \frac{2,21 \cdot 19,464^2}{8 \cdot 5,4} = 19,38 \text{ kN}$$

Sile u vertikalama (podrožnice)

$$N_{V1d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot l'}{2} = \frac{2,21 \cdot 19,464}{2} = 21,51 \text{ kN}$$

Sile u dijagonalama

$$\text{tg} \beta = \frac{3,24}{5,4} = 0,6 \rightarrow \beta = 31^\circ$$



$$N_{D1d} = \frac{17,93}{\cos\beta} = 20,92 \text{ kN}$$

### Dokaz za glavne nosače (pojasevi sprega)

Ispuna sprega spojena je na glavne nosače u ravnini ili neposredno ispod gornjeg pojasa nosača. Pretpostavlja se približno jednolika raspodjela naprezanja od uvođenja sile ispune sprega u glavni nosač na  $1/6$  njegove visine (sudjelujuća visina).

$$h'_1 = \frac{h_1}{6} = \frac{22}{6} = 3,67 \text{ cm}$$

$$A' = b_1 \cdot h'_1 = 18 \cdot 3,67 = 66,06 \text{ cm}^2$$

Proračunsko naprezanje od  $N_{O3(U3)d}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{O3(U3)d}}{A'} = \frac{19,38 \cdot 10^3}{66,06 \cdot 10^2} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{10,3 \cdot 10^6}{\frac{180 \cdot 220^2}{6}} = 7,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{3,24 \cdot 100}{0,289 \cdot 18} = 62,28$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{62,28}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23,0}{8000}} = 1,06$$

$\beta_c = 0,2$  za puno drvo i grede

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,06 - 0,3) + 1,06^2] = 1,14$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = \frac{1}{1,14 + \sqrt{1,14^2 - 1,06^2}} = 0,641$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{3240 \cdot 220}{180^2} = 22 < 140$$

$$k_{crit} = 1$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{2,93}{0,641 \cdot 15,92} + \frac{7,09}{1,0 \cdot 20,77} = 0,63 < 1,0$$

**Dokaz za podrožnice (vertikale sprega)**

$$\sigma_{c,0,v1,d} = \frac{N_{V1d}}{A} = \frac{21,51 \cdot 10^3}{180 \cdot 200} = 0,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{5,4 \cdot 100}{0,289 \cdot 18} = 103,81$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{103,81}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{23,0}{8000}} = 1,77$$

$\beta_c = 0,2$  za puno drvo i grede

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,77 - 0,3) + 1,77^2] = 2,21$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = \frac{1}{2,21 + \sqrt{2,21^2 - 1,77^2}} = 0,283$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{5400 \cdot 180}{200^2} = 24,3 < 140$$

$$k_{crit} = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{15,97 \cdot 10^6}{1200 \cdot 10^3} = 13,31 \text{ N/mm}^2$$



$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{4,92 \cdot 10^6}{1080 \cdot 10^3} = 4,56 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,v1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,46 + 0,5}{0,283 \cdot 15,92} + \frac{13,31}{1,0 \cdot 20,77} + 0,7 \cdot \frac{4,56}{20,77}$$

$$= 1,0 \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,v1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,46 + 0,5}{0,283 \cdot 15,92} + 0,7 \cdot \frac{13,31}{1,0 \cdot 20,77} + \frac{4,56}{20,77}$$

$$= 0,88 \leq 1,0$$

Dokaz za dijagonale

Pretpostavljeno:  $\emptyset 14$

$$A_{netto} = 0,8 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} = 0,8 \cdot \frac{14^2 \pi}{4} = 123,15 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{D1,d} = \frac{N_{D1d}}{A_{netto}} = \frac{20,92 \cdot 10^3}{123,15} = 169,87 \text{ N/mm}^2$$

S235

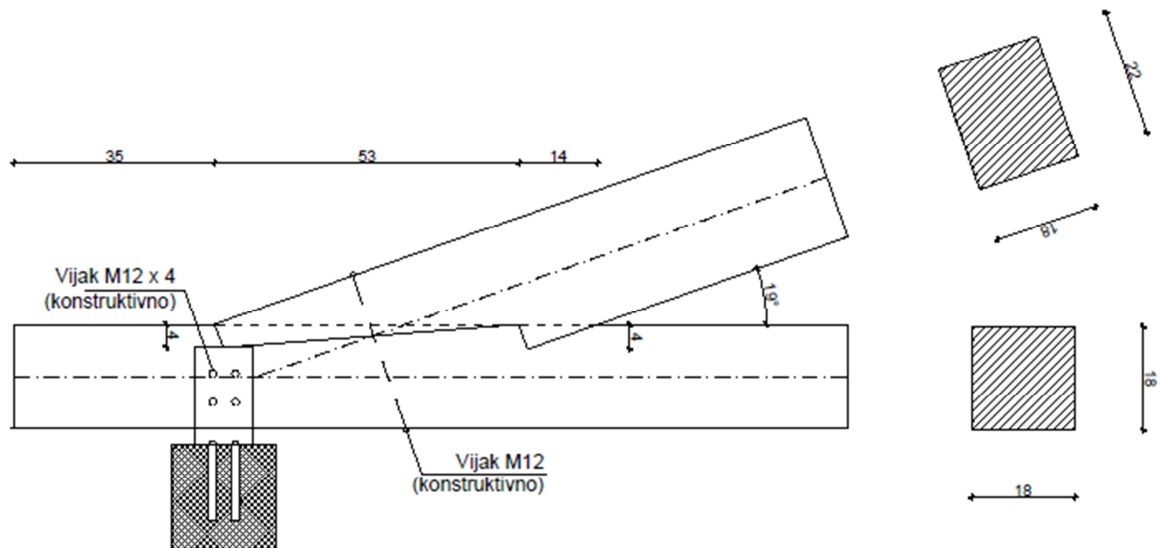
$$\sigma_{R,d} = \frac{fy, k}{\gamma M} = \frac{235}{1,1} = 213,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{D1d}}{\sigma_{Rd}} = \frac{169,87}{213,6} = 0,80 < 1,0$$

Usvojeno:  $\emptyset 14$

## 6. PRORAČUN SPAJALA

### 6.1. DETALJ 1- DVOSTRUKI ZASJEK



$$\frac{b}{h} = \frac{18}{18} \text{ cm}$$

$$N_d = 231,11 \text{ kN}$$

$$t_{v,max} = \frac{18}{4} = 4,5 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 4 \text{ cm} < 4,5 \text{ cm}$$

$$t_{v,2} = 4 \text{ cm} < 4,5 \text{ cm}$$

Prednji zasjek

$$R_{1,d} = f_{c,a,d} \cdot A_1$$

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

$$a = \frac{\gamma}{2} = \frac{19}{2} = 9,5^\circ$$

$$f_{c,a,d} = \frac{15,92}{\sqrt{\left(\frac{15,92}{2 \cdot 1,87} \cdot \sin^2 9,5\right)^2 + \left(\frac{15,92}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin 9,5 \cdot \cos 9,5\right)^2 + \cos^4 9,5}}$$

$$f_{c,a,d} = 17,66 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos a} = \frac{18 \cdot 4}{\cos 9,5} = 73 \text{ cm}^2$$

$$R_{1,d} = 17,66 \cdot 73 \cdot 10^2 = 128918 \text{ N}$$

$$\overline{R_{1,d}} = \frac{R_{1,d}}{\cos a} = \frac{128918}{\cos 9,5} = 133845,8$$

Stražnji zasjek

$$R_{2,d} = f_{c,a,d} \cdot A_2$$

$$a = \gamma = 19^\circ$$

$$f_{c,a,d} = \frac{15,92}{\sqrt{\left(\frac{15,92}{2 \cdot 1,87} \cdot \sin^2 19\right)^2 + \left(\frac{15,92}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin 19 \cdot \cos 19\right)^2 + \cos^4 19}}$$

$$f_{c,a,d} = 14,17 \text{ N/mm}^2$$

$$A_2 = \frac{b_2 \cdot t_{v,2}}{\cos a} = \frac{18 \cdot 4}{\cos 19} = 76,15 \text{ cm}^2$$

$$R_{2,d} = 14,17 \cdot 76,15 \cdot 10^2 = 107904,6 \text{ N}$$

$$\overline{R_{2,d}} = R_{2,d} = 107904,6 \text{ N}$$

$$R_{tot,d} = \overline{R_{1,d}} + \overline{R_{2,d}} = 130710,6 + 107904,6 = 238615,15 \text{ N}$$

$$R_{tot,d} = 238,6 \text{ kN} > N_d = 231,11 \text{ kN}$$

Dokaz:

$$\frac{N_d}{R_{tot,d}} = 0,96 < 1,0 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

Posmična naprezanja:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} < 1,0$$

$$\tau_d = \frac{F_{0,d}}{A}$$

$$F_{0,d} = N_{2,d} * \cos\alpha = 231,11 * \cos 19^\circ = 218,5 \text{ kN}$$

$$l_{v,1} = \min\{l_v; (8t_{v,1})\}$$

$$8t_{v,1} = 8 * 4 = 32 \text{ cm}$$

$$\text{Odabrano: } l_{v,1} = 35 \text{ cm}$$

$$l_{v,2} = \min\{l_{1-2}; (8t_{v,2})\}$$

$$\frac{22}{a} = \sin 19^\circ \quad a = 67,6 \text{ cm}$$

$$\frac{5}{b} = \tan 19^\circ \quad b = 14,5 \text{ cm}$$

$$\frac{c}{5} = \tan 9,5^\circ \quad b = 0,84 \text{ cm}$$

$$l_{1-2} = 67,6 - 14,5 - 0,84 = 53 \text{ cm} > 8t_{v,2} = 8 * 4 = 32 \text{ cm}$$

$$l_{v,tot} = 35 + 53 = 88 \text{ cm}$$

$$A = 18 * 88 = 1584 \text{ cm}^2$$

$$\tau_d = \frac{F_{0,d}}{A} = \frac{218,5 * 10^3}{1584 * 10^2} = 1,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,38}{2,77} = 0,5 < 1,0 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

Kontrola netto presjeka:

$$N_{1,t,d} = 219,28 \text{ kN}$$

$$M_{1,t,d} = 2,05 \text{ kNm}$$

$$A_{n,1} = 18 * 14 = 252 \text{ cm}^2$$

$$W_{n,1} = \frac{18 * 14^2}{6} = 588 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{1,t,0,d} = \frac{N_{1,t,d}}{A_{n,1}} = \frac{219,28 \text{ kN}}{252 \text{ cm}^2} = 8,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{1,m,y,d} = \frac{M_{1,t,d}}{W_{n,1}} = \frac{2,05 \cdot 10^6}{588 \cdot 10^3} = 3,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz:

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

$$\frac{3,5}{20,77} + \frac{8,7}{12,46} = 0,92 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

Kontrola na ležaju:

$$R_d = 231,11 \cdot \sin 19^\circ = 75,24 \text{ kN}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A_{ef} = 18 \cdot 18 = 324 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{A_{ef}} = \frac{75,24 \text{ kN}}{324 \text{ cm}^2} = 2,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

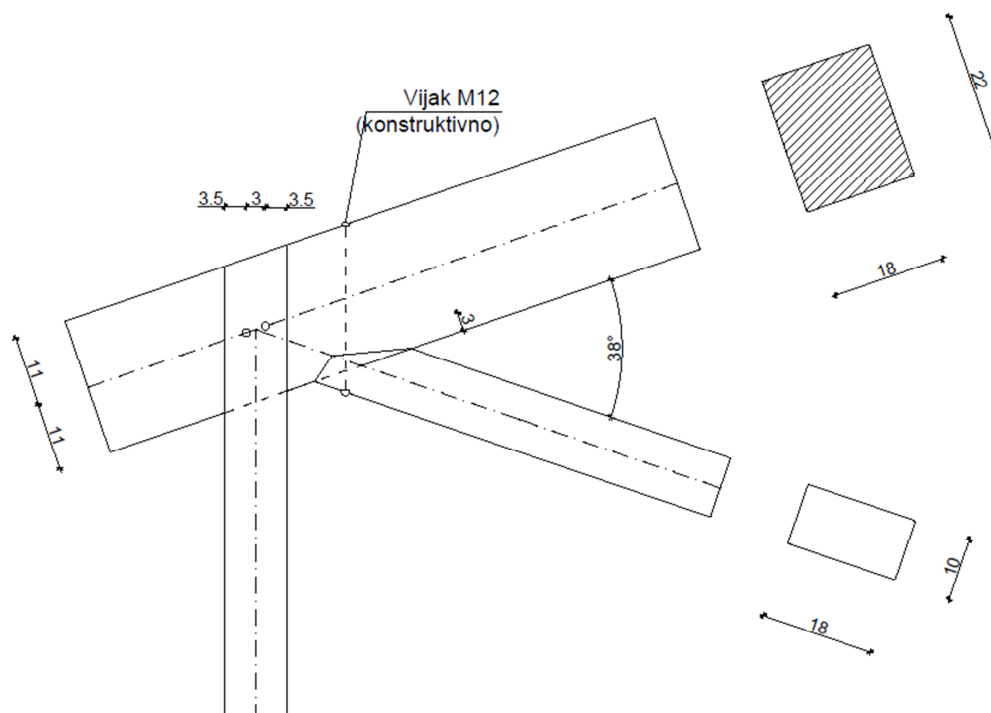
$$k_{c,90} = 1,5$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} < 1$$

$$\frac{2,3}{1,5 \cdot 1,87} = 0,82 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

## 6.2. DETALJ 2-ZASJEK I ČAVLANI SPOJ



### JEDNOSTRUKI ZASJEK-SPOJ DIJAGONALE D1

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{22} \text{ cm (gornji pojas)}, \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm (dijagonala)}$$

$$t_{v,max} = \frac{22}{6} = 3,7 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 3 \text{ cm} < 3,7 \text{ cm}$$

$$\gamma = 38^\circ$$

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} < 1$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{A}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos \alpha$$

$$a = \frac{\gamma}{2} = \frac{38}{2} = 19^\circ$$

$$F_{c,0,d} = 46,75 \text{ kN}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos a = 46,75 * \cos 19^\circ = 44,2 \text{ kN}$$

$$\bar{A} = \frac{18 * 3}{\cos 19^\circ} = 57,11 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{\bar{A}} = \frac{46,75 * 10^3}{57,11 * 10^2} = 8,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$f_{c,a,d} = \frac{15,92}{\sqrt{\left(\frac{15,92}{2 * 1,87} * \sin^2 19\right)^2 + \left(\frac{15,92}{2 * 2,77} * \sin 19 * \cos 19\right)^2 + \cos^4 19}}$$

$$f_{c,a,d} = 11,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} = \frac{8,2}{11,91} = 0,69 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

SPOJ VERTIKALE V1-ČAVLANI SPOJ

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{22} \text{ cm (gornji pojas)}, \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm (vertikala)}$$

$$N_d = 0,09 \text{ kN (vlak)}$$

$$\text{Čavli Na 6,0/180 – bušeni} \quad f_{u,k} = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Puno drvo C30 2x10/18} \quad \rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (drvo)}$$

$$\gamma_m = 1,1 \text{ (čavli)}$$

Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od čavla:

$$f_{h,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) \cdot 380 = 29,29 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična vrijednost momenta tečenja okruglog čavla promjera  $d=6\text{mm}$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 6^{2,6} = 18987,4 \text{ Nmm}$$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu

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

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 18987,4 \cdot 29,29 \cdot 6} = 2583,3 \text{ N}$$

Minimalna dubina zabijanja u zadnje drvo

$$t_{1,REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} \cdot d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1,15 \cdot (\sqrt{2} + 2) \cdot \sqrt{\frac{18987,4}{29,29 \cdot 6}}$$

$$t_{1,REQ} = 40,8 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm}$$

Proračunska vrijednost nosivosti po rezu

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2583,3}{1,1} = 2113,6 \text{ N}$$

Potreban broj čavala

$$n = \frac{Nd}{Rd} = \frac{0,09}{2,114} = 0,04$$

ODABRANO: 4 ČAVLA



## Konstruktivni zahtjevi

Okomito na vlakanca:

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

$$a_{2,REQ} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

$$a_{1,t} = (7 + 5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$$

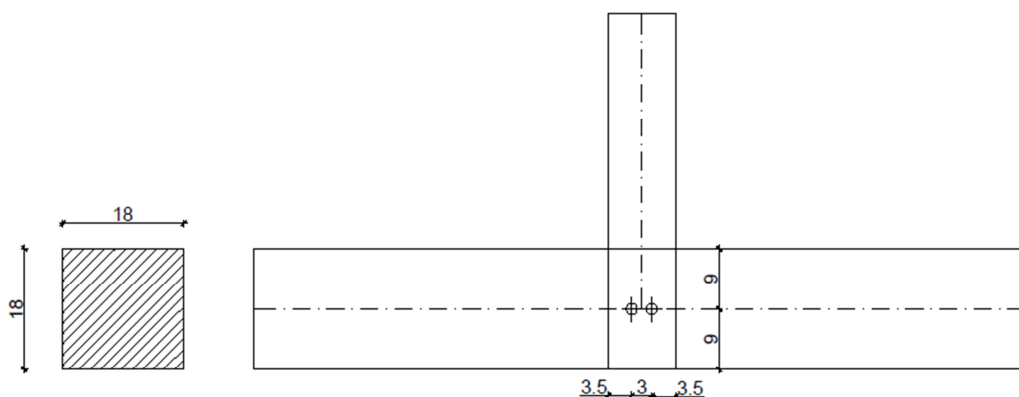
$$a_{1,t} = (7 + 5 \cdot \cos 0) \cdot 6 = 78 \text{ mm} \leq 110 \text{ mm}$$

Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

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

$$a_{1,REQ} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm} \leq 35 \text{ mm}$$

### 6.3. DETALJ 3-ČAVLANI SPOJ



$$\frac{b}{h} = \frac{18}{18} \text{ cm}(\text{donji pojas}), \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm}(\text{vertikala})$$

$$N_d = 0,09 \text{ kN}$$

$$\text{Čavli Na } 6,0/180 - \text{bušeni} \quad f_{u,k} = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Puno drvo C30 } 2 \times 10/18 \quad \rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (drvo)}$$

$$\gamma_m = 1,1 \text{ (čavli)}$$

Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od čavla:

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

$$f_{h,k,1} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) \cdot 380 = 29,29 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična vrijednost momenta tečenja okruglog čavla promjera  $d=6\text{mm}$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 6^{2,6} = 18987,4 \text{ Nmm}$$

$$\beta = 1,0$$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu

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

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 18987,4 \cdot 29,29 \cdot 6} = 2583,3 \text{ N}$$

Minimalna dubina zabijanja u zadnje drvo

$$t_{1,REQ} = 1,15 * \left( \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} * 2 + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} * d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1,15 * (\sqrt{2} + 2) * \sqrt{\frac{18987,4}{29,29 * 6}}$$

$$t_{1,REQ} = 40,8mm < t_1 = 100mm$$

#### UVJET ZADOVOLJAVA

Proračunska vrijednost nosivosti po rezu

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2583,3}{1,1} = 2113,6N$$

Potreban broj čavala

$$n = \frac{Nd}{Rd} = \frac{0,09}{2,114} = 0,04$$

ODABRANO: 4 ČAVLA

Konstruktivni zahtjevi

Okomito na vlakanca:

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

$$a_{2,REQ} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

$$a_{1,t} = (7 + 5 * \cos\alpha) * d$$

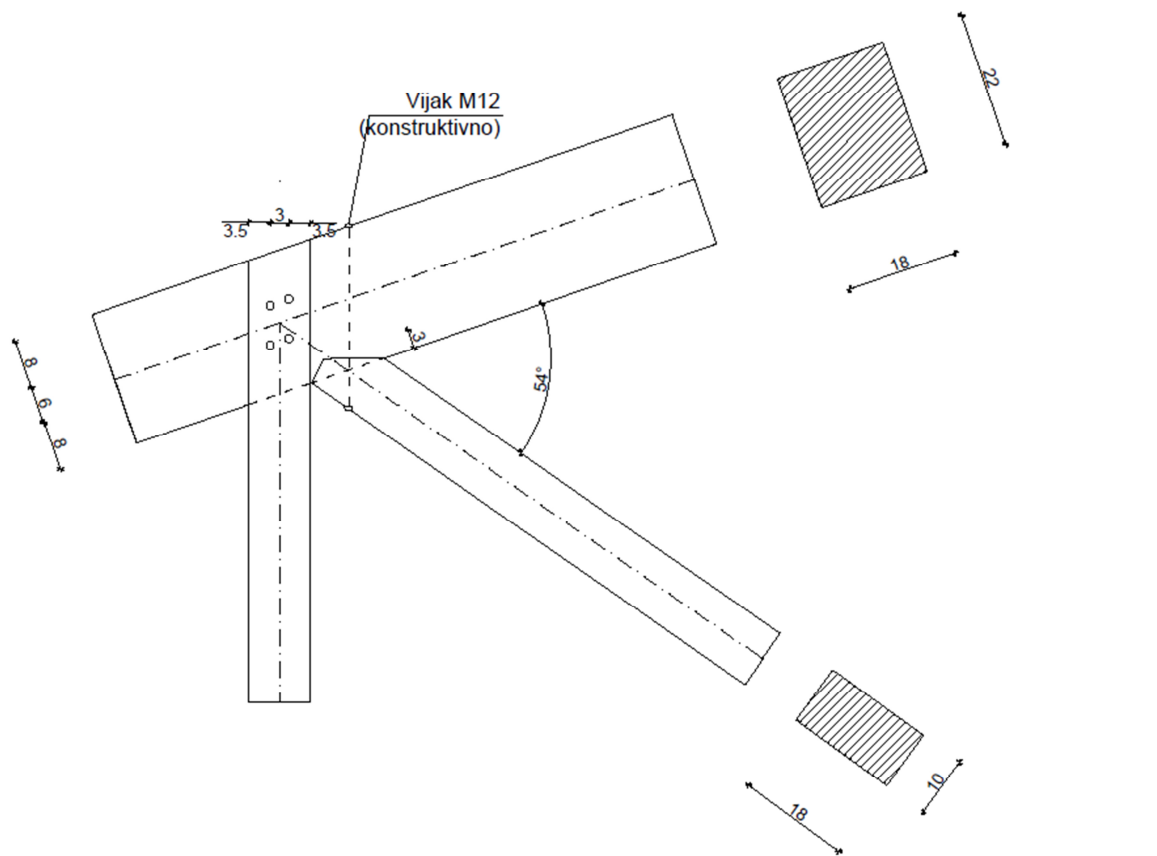
$$a_{1,t} = (7 + 5 * \cos 0) * 6 = 78mm \leq 90mm$$

Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{1,REQ} = 3 * 6 = 18mm \leq 35mm$$

### 6.4. DETALJ 4-ZASJEK I ČAVLANI SPOJ



#### JEDNOSTRUKI ZASJEK-SPOJ DIJAGONALE D2

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{22} \text{ cm (gornji pojas)}, \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm (dijagonala)}$$

$$t_{v,max} = \frac{22}{6} = 3,7 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 3 \text{ cm} < 3,7 \text{ cm}$$

$$\gamma = 54^{\circ}$$

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} < 1$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{A}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos \alpha$$

$$a = \frac{\gamma}{2} = \frac{54}{2} = 27^\circ$$

$$F_{c,0,d} = 56,24 \text{ kN}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos a = 56,24 * \cos 27^\circ = 50,11 \text{ kN}$$

$$\bar{A} = \frac{18 * 3}{\cos 27^\circ} = 60,6 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{\bar{A}} = \frac{50,11 * 10^3}{60,6 * 10^2} = 8,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$f_{c,a,d} = \frac{15,92}{\sqrt{\left(\frac{15,92}{2 * 1,87} * \sin^2 27\right)^2 + \left(\frac{15,92}{2 * 2,77} * \sin 27 * \cos 27\right)^2 + \cos^4 27}}$$

$$f_{c,a,d} = 9,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} = \frac{8,3}{9,6} = 0,86 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

#### SPOJ VERTIKALE V2-ČAVLANI SPOJ

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{22} \text{ cm (gornji pojas)}, \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm (vertikala)}$$

$$N_d = 16,44 \text{ kN}$$

$$\text{Čavli Na 6,0/180 – bušeni} \quad f_{u,k} = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Puno drvo C30 2x10/18} \quad \rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (drvo)}$$

$$\gamma_m = 1,1 \text{ (čavli)}$$

Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od čavla:

$$f_{h,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) \cdot 380 = 29,29 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična vrijednost momenta tečenja okruglog čavla promjera  $d=6\text{mm}$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 6^{2,6} = 18987,4 \text{ Nmm}$$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu

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

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 18987,4 \cdot 29,29 \cdot 6} = 2583,3 \text{ N}$$

Minimalna dubina zabijanja u zadnje drvo

$$t_{1,REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} \cdot d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1,15 \cdot (\sqrt{2} + 2) \cdot \sqrt{\frac{18987,4}{29,29 \cdot 6}}$$

$$t_{1,REQ} = 40,8 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm}$$

Proračunska vrijednost nosivosti po rezu

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2583,3}{1,1} = 2113,6 \text{ N}$$

Potreban broj čavala

$$n = \frac{Nd}{Rd} = \frac{16,44}{2,114} = 7,77 \sim 8 \text{ čavala}$$

Dokaz

$$\frac{N_d}{n * R_d} = \frac{16,44}{8 * 2,114} = 0,97 < 1,0 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

Konstruktivni zahtjevi

Paralelno s vlakancima:

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

$$a_{1,REQ} = (3 + 2 * \cos 0) * 6 = 30\text{mm} \leq 60\text{mm}$$

Okomito na vlakanca:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{2,REQ} = 3 * 6 = 18 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

$$a_{1,t} = (7 + 5 * \cos\alpha) * d$$

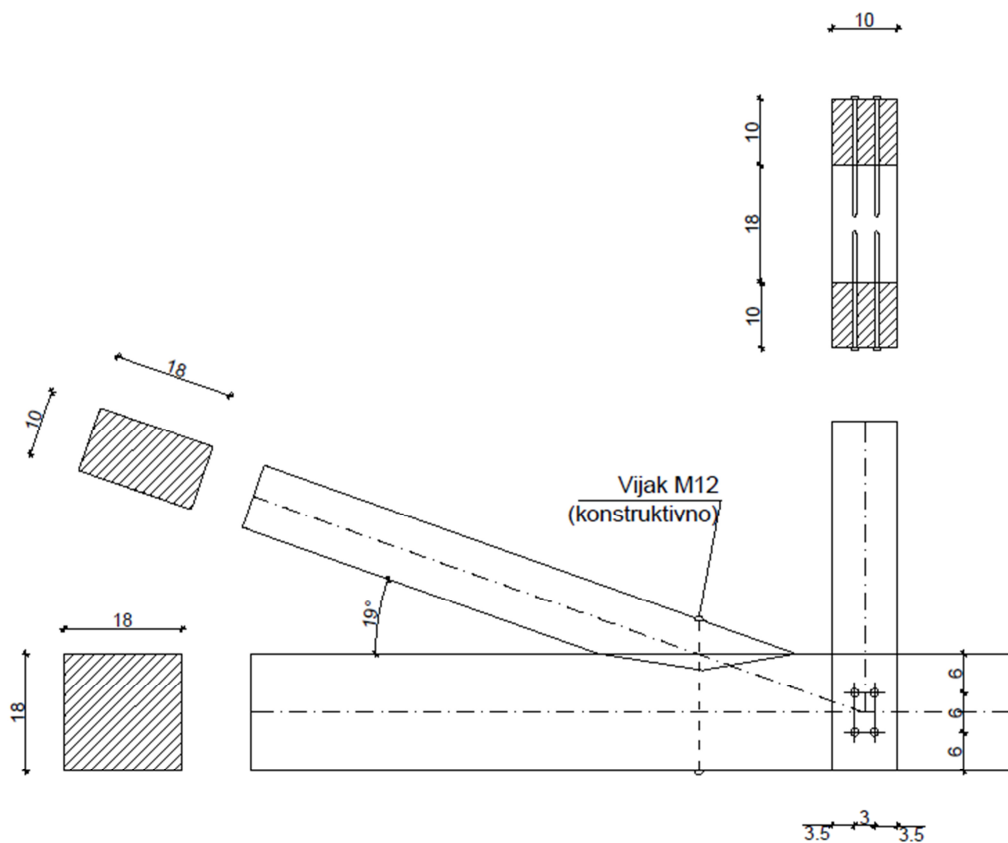
$$a_{1,t} = (7 + 5 * \cos 0) * 6 = 78\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{1,REQ} = 3 * 6 = 18\text{mm} \leq 35\text{mm}$$

## 6.5. DETALJ 5-ZASJEK I ČAVLANI SPOJ



### JEDNOSTRUKI ZASJEK-SPOJ DIJAGONALE D1

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{18} \text{ cm}(\text{donji pojas}), \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm}(\text{dijagonala})$$

$$t_{v,max} = \frac{18}{6} = 3 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 2,5 \text{ cm} < 3 \text{ cm}$$

$$\gamma = 19^\circ$$

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} < 1$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{A}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos \alpha$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{19}{2} = 9,5^\circ$$

$$F_{c,0,d} = 46,75 \text{ kN}$$



$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos a = 46,75 * \cos 9,5^\circ = 46,11 \text{ kN}$$

$$\bar{A} = \frac{18 * 2,5}{\cos 9,5^\circ} = 45,63 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{\bar{A}} = \frac{46,11 * 10^3}{45,63 * 10^2} = 10,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$f_{c,a,d} = \frac{15,92}{\sqrt{\left(\frac{15,92}{2 * 1,87} * \sin^2 9,5\right)^2 + \left(\frac{15,92}{2 * 2,77} * \sin 9,5 * \cos 9,5\right)^2 + \cos^4 9,5}}$$

$$f_{c,a,d} = 14,66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} = \frac{10,11}{14,66} = 0,69 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

#### SPOJ VERTIKALE V2-ČAVLANI SPOJ

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{18} \text{ cm}(\text{donji pojas}), \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm}(\text{vertikala})$$

$$N_d = 16,44 \text{ kN}$$

$$\text{Čavli Na 6,0/180 – bušeni} \quad f_{u,k} = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Puno drvo C30 } 2 \times 10/18 \quad \rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ (drvo)}$$

$$\gamma_m = 1,1 \text{ (čavli)}$$

Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od čavla:

$$f_{h,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) \cdot 380 = 29,29 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična vrijednost momenta tečenja okruglog čavla promjera  $d=6\text{mm}$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 6^{2,6} = 18987,4 \text{ Nmm}$$

Karakteristična vrijednost nosivosti po rezu

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

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 18987,4 \cdot 29,29 \cdot 6} = 2583,3 \text{ N}$$

Minimalna dubina zabijanja u zadnje drvo

$$t_{1,REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} \cdot d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1,15 \cdot (\sqrt{2} + 2) \cdot \sqrt{\frac{18987,4}{29,29 \cdot 6}}$$

$$t_{1,REQ} = 40,8 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm}$$

Proračunska vrijednost nosivosti po rezu

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2583,3}{1,1} = 2113,6 \text{ N}$$

Potreban broj čavala

$$n = \frac{Nd}{Rd} = \frac{16,44}{2,114} = 7,77 \sim 8 \text{ čavala}$$

Dokaz

$$\frac{Nd}{n \cdot R_d} = \frac{16,44}{8 \cdot 2,114} = 0,97 < 1,0 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

## Konstruktivni zahtjevi

Paralelno s vlakancima:

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

$$a_{1,REQ} = (3 + 2 * \cos 0) * 6 = 30\text{mm} \leq 60\text{mm}$$

Okomito na vlakanca:

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

$$a_{2,REQ} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

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

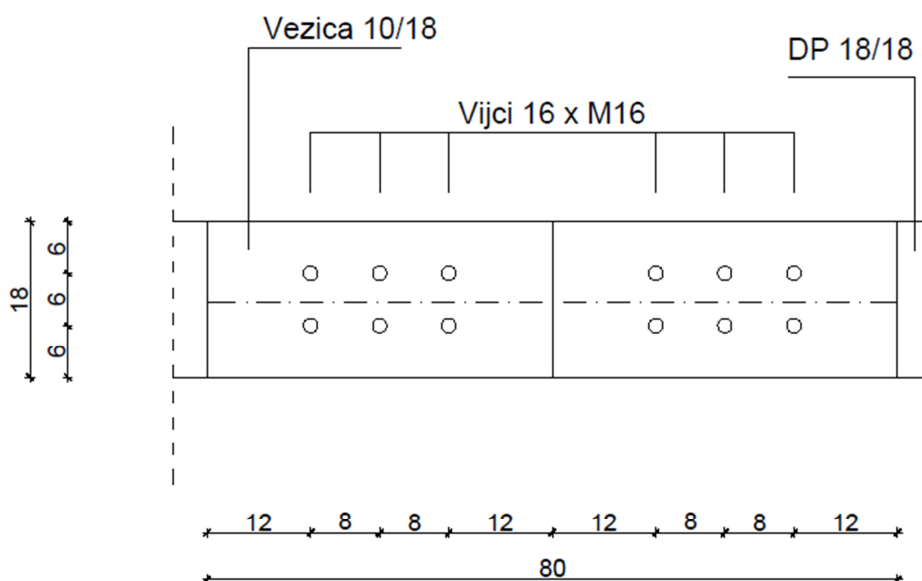
$$a_{1,REQ} = (3 + 2 * \cos 0) * 6 = 30\text{mm} \leq 60\text{mm}$$

Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{1,REQ} = 3 * 6 = 18\text{mm} \leq 35\text{mm}$$

## 6.6. DETALJ 6-VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



OSNOVNI MATERIJAL: puno drvo, 2x10/18

KLASA ČVRSTOĆE: C30 ( $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ )

$F_d = 168,4 \text{ kN}$

TIJESNO UGRAĐENI VIJCI  $\varnothing 16 \text{ mm}$  – kl. čvrstoće 5,6

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 1  $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0.9$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti: - drvo  $\gamma_M = 1.3$

- vijci  $\gamma_M = 1.1$

- Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od vijka:

$$f_{h,0,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k,1} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot 10) \cdot 380 = 28.04 \text{ N/mm}^2$$

- Karakteristična vrijednost momenata tečenja okruglog vijka promjera  $d=16 \text{ mm}$ :

$$M_{y,k} = 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2.6}$$

$$f_{u,k} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0.3 \cdot 500 \cdot 16^{2.6} = 202676,42 \text{ Nmm}$$

- Određivanje karakteristične nosivosti jednog jednoreznog vijka promjera  $d=16 \text{ mm}$

$$\beta = 1$$

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

$$R_k = \sqrt{2 \cdot 202676,42 \cdot 28,04 \cdot 16} = 19069,01 \text{ N}$$

- Tražene debljine elementa za punu nosivost:

$$t_{1,REQ} = 1.15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} \cdot d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1.15 \cdot (2 + 2) \cdot \sqrt{\frac{202627,42}{28.04 \cdot 16}} = 97,76 \text{ mm}$$

$$t_{1,REQ} = 97,76 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm}$$

#### ZADOVOLJAVA

- Proračunska vrijednost nosivosti vijaka po rezu:

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{19,07}{1,1} = 15,6 \text{ kN}$$

- Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{168,4}{2 \cdot 15,6} = 5,4 \approx 6 \text{ vijaka}$$

*ODABRANO : 6 vijaka*

- Konstruktivni zahtjevi-minimalni razmaci:

Paralelno s vlakancima:

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

$$a_{1,REQ} = (3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 16 = 80 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm}$$

Okomito na vlakanca:

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

$$a_{2,REQ} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

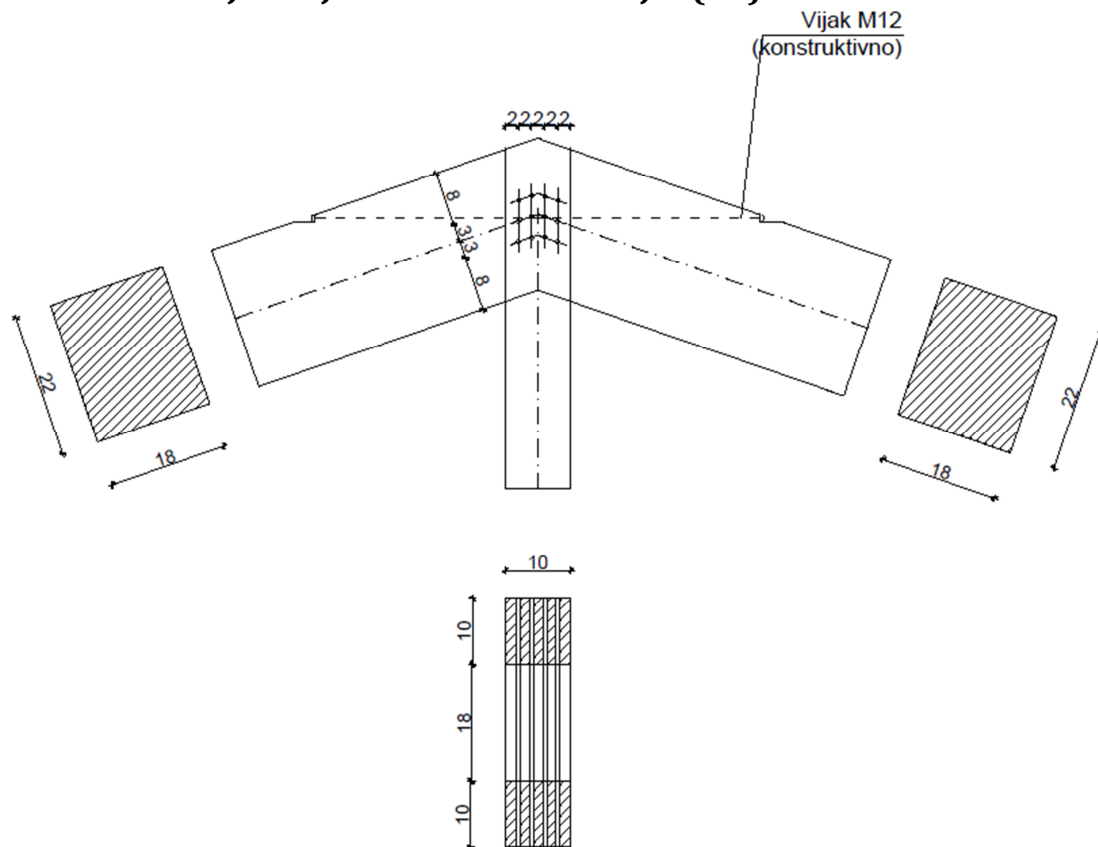
$$a_{1,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot 16 = 112 \text{ mm} \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right\} \rightarrow \text{odabrano : } 120 \text{ mm}$$

Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

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

$$a_{2,c} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \rightarrow \text{odabrano : } 60 \text{ mm}$$

### 6.7. DETALJ 7- TIJESNO UGRAĐENI VIJCI (V3)



$$\frac{b}{h} = \frac{18}{22} \text{ cm (gornji pojas)}, \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm (vertikala)}$$

$$N_d = 60,80 \text{ kN}$$

TIJESNO UGRAĐENI VIJCI       $\varnothing 6 \text{ mm} - \text{kl. čvrstoće } 10,9$

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 1  $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0.9$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti: - drvo  $\gamma_M = 1.3$

- vijci  $\gamma_M = 1.1$

- Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od vijka:

$$f_{h,0,k,1} = 0,082 * (1 - 0,01 * 6) * \rho_k$$

$$f_{h,0,k,1} = 0,082 * (1 - 0,01 * 6) * 380 = 29,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Karakteristična vrijednost momenata popuštanja okruglog vijka promjera  $d=12 \text{ mm}$ :

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

$$f_{u,k} = 1000 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 * 1000 * 6^{2,6} = 31646 Nmm$$

- Određivanje karakteristične nosivosti po rezu :

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

$$R_k = \sqrt{2 * 31646 * 29,3 * 6} = 3336 N$$

Tražene debljine elementa za punu nosivost:

$$t_{1,REQ} = 1,15 * \left( \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} * 2 + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} * d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1,15 * (\sqrt{2} + 2) * \sqrt{\frac{31646}{29,3 * 6}}$$

$$t_{1,REQ} = 42,7 mm < t_1 = 100 mm$$

## ZADOVOLJAVA

Proračunska vrijednost nosivosti vijaka po rezu:

$$R_d = k_{mod} * \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{3,336}{1,1} = 2,73 kN$$

- Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{Nd}{Rd} = \frac{60,80}{2 * 2,73} = 11,1 \sim 12 \text{ vijaka}$$

Konstruktivni zahtjevi-minimalni razmaci:

Paralelno s vlakancima:

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

$$a_{1,REQ} = (3 + 2 * \cos 0) * 6 = 30mm \leq 30mm$$

Okomito na vlakanca:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{2,REQ} = 3 * 6 = 18mm \leq 20mm$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

$$a_{1,REQ} = \max\{80, 7 * d\}$$

$$a_{1,REQ} = \max\{80, 42\} = 80mm < 80mm$$

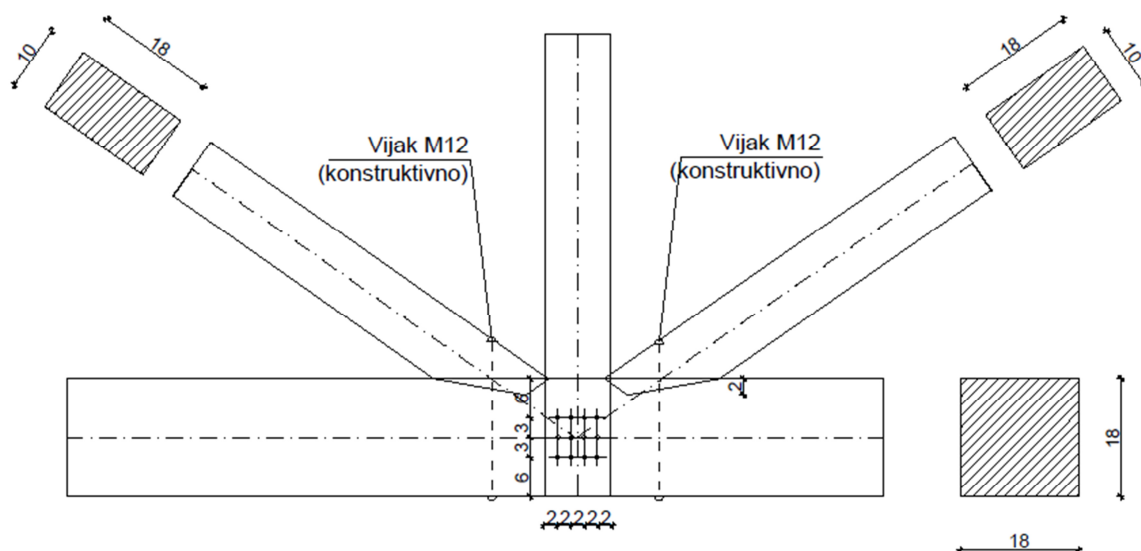
Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{2,REQ} = 3 * 6 = 18mm \leq 20mm$$



### 6.8. DETALJ 8-ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI



#### JEDNOSTRUKI ZASJEK-SPOJ DIJAGONALE D2

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{18} \text{ cm}(\text{donji pojas}), \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm}(\text{dijagonala})$$

$$t_{v,max} = \frac{18}{6} = 3 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 2,5 \text{ cm} < 3 \text{ cm}$$

$$\gamma = 35^\circ$$

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} < 1$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{\bar{A}}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos \alpha$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{35}{2} = 17,5^\circ$$

$$F_{c,0,d} = 56,24 \text{ kN}$$

$$F_{c,a,d} = F_{c,0,d} * \cos \alpha = 56,24 * \cos 17,5^\circ = 53,64 \text{ kN}$$

$$\bar{A} = \frac{18 * 2,5}{\cos 17,5^\circ} = 47,2 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{\bar{A}} = \frac{53,64 * 10^3}{47,2 * 10^2} = 11,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$f_{c,a,d} = \frac{15,92}{\sqrt{\left(\frac{15,92}{2 * 1,87} * \sin^2 17,5\right)^2 + \left(\frac{15,92}{2 * 2,77} * \sin 17,5 * \cos 17,5\right)^2 + \cos^4 17,5}}$$

$$f_{c,a,d} = 12,3 \frac{N}{mm^2}$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} = \frac{11,36}{12,3} = 0,92 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

#### SPOJ VERTIKALE V3-TIJESNO UGRAĐENI VIJCI

$$\frac{b}{h} = \frac{18}{18} \text{ cm}(\text{donji pojas}), \quad \frac{b}{h} = \frac{18}{10} \text{ cm}(\text{vertikala})$$

$$N_d = 60,80 \text{ kN}$$

TIJESNO UGRAĐENI VIJCI  $\varnothing 6 \text{ mm} - \text{kl. čvrstoće } 10,9$

Kratkotrajno opterećenje / uporabna klasa 1  $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0.9$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti: - drvo  $\gamma_M = 1.3$

- vijci  $\gamma_M = 1.1$

- Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C30 po omotaču rupe od vijka:

$$f_{h,0,k,1} = 0,082 * (1 - 0,01 * 6) * \rho_k$$

$$f_{h,0,k,1} = 0,082 * (1 - 0,01 * 6) * 380 = 29,3 \frac{N}{mm^2}$$

- Karakteristična vrijednost momenata popuštanja okruglog vijka promjera  $d=12 \text{ mm}$ :

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

$$f_{u,k} = 1000 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{y,k} = 0,3 * 1000 * 6^{2,6} = 31646 \text{ Nmm}$$

- Određivanje karakteristične nosivosti po rezu :

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

$$R_k = \sqrt{2 * 31646 * 29,3 * 6} = 3336N$$

Tražene debljine elementa za punu nosivost:

$$t_{1,REQ} = 1,15 * \left( \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} * 2 + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} * d}}$$

$$t_{1,REQ} = 1,15 * (\sqrt{2} + 2) * \sqrt{\frac{31646}{29,3 * 6}}$$

$$t_{1,REQ} = 42,7mm < t_1 = 100mm$$

ZADOVOLJAVA

Proračunska vrijednost nosivosti vijaka po rezu:

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{3,336}{1,1} = 2,73kN$$

- Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{Nd}{Rd} = \frac{60,80}{2 * 2,73} = 11,1 \sim 12 \text{ vijaka}$$

Konstruktivni zahtjevi-minimalni razmaci:

Paralelno s vlakancima:

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

$$a_{1,REQ} = (3 + 2 * \cos 0) * 6 = 30mm \leq 30mm$$

Okomito na vlakanca:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{2,REQ} = 3 * 6 = 18mm \leq 20mm$$

Paralelno s vlakancima od opterećenog kraja:

$$a_{1,REQ} = \max\{80, 7 * d\}$$

$$a_{1,REQ} = \max\{80, 42\} = 42mm < 60mm$$

Okomito na vlakanca od neopterećenog kraja:

$$a_{2,REQ} = 3 * d$$

$$a_{2,REQ} = 3 * 6 = 18mm \leq 20mm$$

## 7. PROVJERA OTPORNOSTI NA POŽAR

Kombinacija za izvanrednu proračunsku situaciju:

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} * G_{k,j} + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,1} * Q_{k,i} \right\}$$

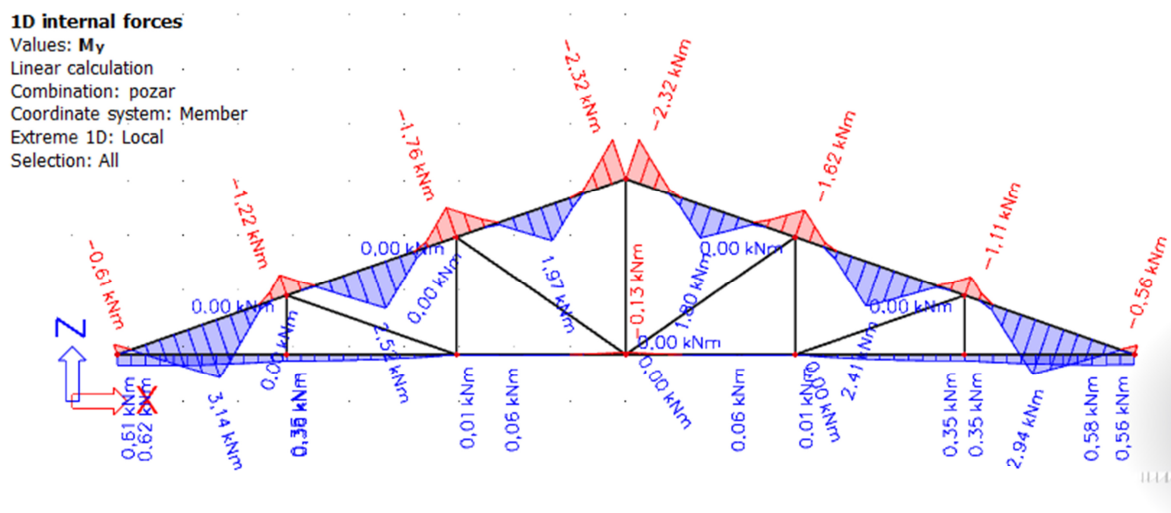
$$\gamma_{G,A,j} = 1,0$$

Spregovi koji su postavljeni u prvom i posljednjem pojasu zadržavaju svoju nosivost i svojstva poprečnog presjeka nakon požara od 30 minuta, oni su zaštićeni vatrootpornim premazima.

### 7.1. KRITIČNA IZVANREDNA KOMBINACIJA

$$c_{ft} = 1,00 * G(\text{reduciranih presjeka}) + 0,20 * W2$$

Dijagrami unutarnjih sila na glavnom nosaču za kritičnu kombinaciju



Momentni dijagram kombinacije

**1D internal forces**Values: **Vz**

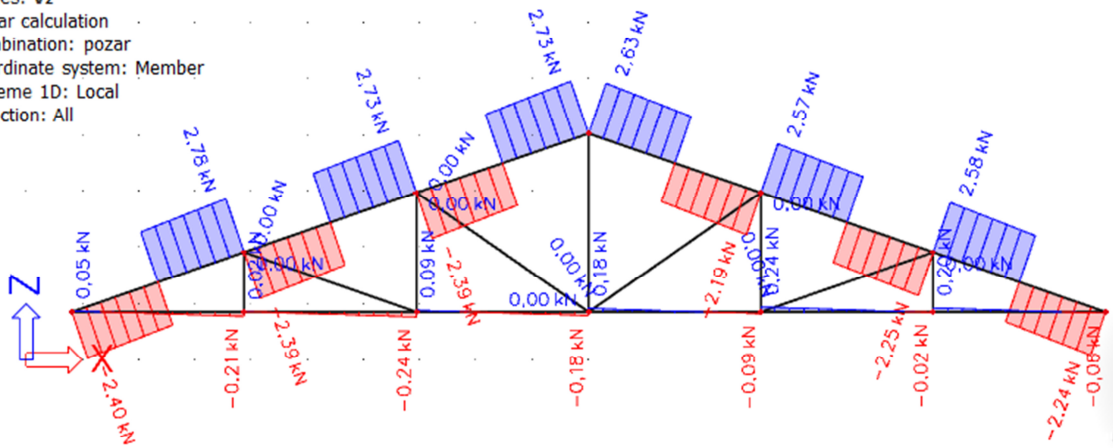
Linear calculation

Combination: požar

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All

*Dijagram poprečnih sila kombinacije***1D internal forces**Values: **N**

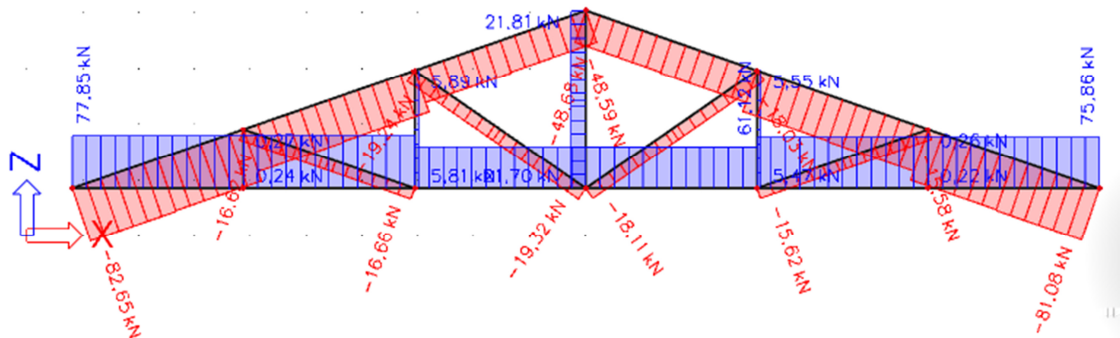
Linear calculation

Combination: požar

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All

*Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju***GORNJI POJAS  $b/h = 18/22\text{cm}$** 

$$N_{d,fi} = 82,65\text{kN (tlak)}$$

$$M_{d,fi} = 3,14\text{kNm}$$

**GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA**

Tražena klasa F30  $\rightarrow t_f = 30\text{ min}$ ;  $t_f \rightarrow$  potrebno vrijeme vatrootpornosti u min

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

Cjelovito drvo klase C30  $\rightarrow \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$\rho_k > 290 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$

Gubitak presjeka:

$$d_{(tf)} = \beta_n * t_f = 0,7 * 30 = 21,0 \text{ mm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30min požara:

$$b_{(tf)} = b - 2 * d_{(tf)} = 18 - 2 * 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_{(tf)} = h - 2 * d_{(tf)} = 22 - 2 * 2,1 = 17,8 \text{ cm}$$

Ostatak poprečnog presjeka

„opseg“ – zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$$u_r = 2 * b_{(tf)} + 2 * h_{(tf)} = 2 * 13,8 + 2 * 17,8 = 63,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$$A_r = b_{(tf)} * h_{(tf)} = 13,8 * 17,8 = 245,64 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b_{(tf)} * h_{(tf)}^2}{6} = \frac{13,8 * 17,8^2}{6} = 728,73 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{82,64 * 10^3}{245,64 * 10^2} = 3,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{3,14 * 10^6}{728,73 * 10^3} = 4,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} * G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} * 0,75 = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}}$$

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

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

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (za puno drvo, prijelaz na 20% fraktilu)}$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{63,2 * 10^{-2}}{245,64 * 10^{-4}} = 0,79$$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{63,2 * 10^{-2}}{245,64 * 10^{-4}} = 0,87$$

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

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{63,2 * 10^{-2}}{245,64 * 10^{-4}} = 0,92$$

$$f_{c,d,fi} = 0,79 * 1,25 * \frac{23}{1,0} = 22,71 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{m,d,fi} = 0,87 * 1,25 * \frac{30}{1,0} = 32,63 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{d,fi} = 0,92 * 1,25 * \frac{8000}{1,0} = 9200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{d,fi} = 0,92 * 1,25 * \frac{\frac{2}{3} * 625}{1,0} = 479,17 \frac{N}{mm^2}$$

Dokaz stabilnosti:

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef}}{0,289 \cdot b} = \frac{3240}{0,289 \cdot 138} = 81,24$$

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{81,24}{\pi} * \sqrt{\frac{22,71}{9200}} = 1,28$$

$\beta_c = 0.2$  za puno drvo i grede

$$k_{z,fi} = 0.5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.2 \cdot (1,28 - 0,3) + 1,28^2]$$

$$= 1,42$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,c,z,fi}^2}} = \frac{1}{1,42 + \sqrt{1,42^2 - 1,28^2}} = 0,49$$

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

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{324 \text{ cm} \cdot 17,8 \text{ cm}}{13,8^2 \text{ cm}^2} = 30,28 < 140 \Rightarrow k_{m,fi} = 1,0$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} * f_{c,0,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{3,36}{0,49 * 22,71} + \frac{4,31}{1,0 \cdot 32,63} = 0,43 < 1,0$$

ZADOVOLJAVA

**DONJI POJAS  $b/h = 18/18\text{cm}$**

$$N_{d,fi} = 77,85\text{kN}(\text{vlak})$$

$$M_{d,fi} = 0,61\text{kNm}$$

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA

Tražena klasa F30  $\rightarrow t_f = 30 \text{ min}$ ;  $t_f \rightarrow$  *potrebno vrijeme vatrootpornosti u min*

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe



Cjelovito drvo klase C30  $\rightarrow \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$\rho_k > 290 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$

Gubitak presjeka:

$$d_{(tf)} = \beta_n * t_f = 0,7 * 30 = 21,0 \text{ mm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30min požara:

$$b_{(tf)} = b - 2 * d_{(tf)} = 18 - 2 * 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_{(tf)} = h - 2 * d_{(tf)} = 18 - 2 * 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

Ostatak poprečnog presjeka

„opseg“ – zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$$u_r = 2 * b_{(tf)} + 2 * h_{(tf)} = 2 * 13,8 + 2 * 13,8 = 55,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$$A_r = b_{(tf)} * h_{(tf)} = 13,8 * 13,8 = 190,44 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b_{(tf)} * h_{(tf)}^2}{6} = \frac{13,8 * 13,8^2}{6} = 438 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{t,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{r,netto}} = \frac{77,85 * 10^3}{0,8 * 190,44 * 10^2} = 5,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{0,61 * 10^6}{438 * 10^3} = 1,39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} * G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} * 0,75 = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}}$$

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

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

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (za puno drvo, prijelaz na 20% fraktilu)}$$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{55,2 * 10^{-2}}{190,44 * 10^{-4}} = 0,86$$

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

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{55,2 * 10^{-2}}{190,44 * 10^{-4}} = 0,91$$

$$f_{m,d,fi} = 0,86 * 1,25 * \frac{30}{1,0} = 32,25 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod} * k_{fi} * \frac{f_{t,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,91 * 1,25 * \frac{18 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 20,48 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{d,fi} = 0,92 * 1,25 * \frac{8000}{1,0} = 9200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{d,fi} = 0,92 * 1,25 * \frac{\frac{2}{3} * 625}{1,0} = 479,17 \frac{N}{mm^2}$$

$$l_{ef,z} = \frac{l}{2} = \frac{18,4}{2} = 9,2 \text{ m- pridržanje na sredini donjeg pojasa}$$

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

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{920 \cdot 13,8}{13,8^2} = 66,67 < 140 \Rightarrow k_{m,fi} = 1,0$$

DOKAZ:

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

$$\frac{1,39}{1,0 \cdot 32,25} + \frac{5,11}{20,48} = 0,29 < 1$$

ZADOVOLJAVA

**DIJAGONALE  $b/h = 18/10cm$** 

$$N_{d,fi} = 19,32kN(\text{tlak})$$

**GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA**

Tražena klasa F30  $\rightarrow t_f = 30 \text{ min}$ ;  $t_f \rightarrow$  *potrebno vrijeme vatrootpornosti u min*

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

Cjelovito drvo klase C30  $\rightarrow \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$\rho_k > 290 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$

Gubitak presjeka:

$$d_{(t_f)} = \beta_n * t_f = 0,7 * 30 = 21,0 \text{ mm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30min požara:

$$b_{(t_f)} = b - 2 * d_{(t_f)} = 18 - 2 * 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_{(t_f)} = h - 2 * d_{(t_f)} = 10 - 2 * 2,1 = 5,8 \text{ cm}$$

Ostatak poprečnog presjeka

„opseg“ – zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$$u_r = 2 * b_{(t_f)} + 2 * h_{(t_f)} = 2 * 13,8 + 2 * 5,8 = 39,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$$A_r = b_{(t_f)} * h_{(t_f)} = 13,8 * 5,8 = 80,04 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{19,32 \cdot 10^3}{80,04 \cdot 10^2} = 2,41 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 0,75 = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

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

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

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

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

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (za puno drvo, prijelaz na 20% fraktilu)}$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{39,2 \cdot 10^{-2}}{80,04 \cdot 10^{-4}} = 0,61$$

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

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{39,2 \cdot 10^{-2}}{80,04 \cdot 10^{-4}} = 0,85$$

$$f_{c,d,fi} = 0,61 \cdot 1,25 \cdot \frac{23}{1,0} = 17,54 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$E_{d,fi} = 0,85 \cdot 1,25 \cdot \frac{8000}{1,0} = 8500 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$G_{d,fi} = 0,85 \cdot 1,25 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 625}{1,0} = 442,71 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Dokaz stabilnosti:

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef}}{0,289 \cdot b} = \frac{3244}{0,289 \cdot 58} = 193,5$$

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{193,5}{\pi} * \sqrt{\frac{17,54}{8500}} = 2,7$$

$\beta_c = 0.2$  za puno drvo i grede

$$k_{z,fi} = 0.5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.2 \cdot (2,7 - 0,3) + 2,7^2] = 4,3$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,c,z,fi}^2}} = \frac{1}{4,3 + \sqrt{4,3^2 - 2,7^2}} = 0,14$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} * f_{c,0,fi}} = \frac{2,41}{0,14 * 17,54} = 0,98 < 1,0$$

ZADOVOLJAVA

**VERTIKALE  $b/h = 18/10\text{cm}$** 

$$N_{d,fi} = 21,81\text{kN}(\text{vlak})$$

**GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA**

Tražena klasa F30  $\rightarrow t_f = 30\text{ min}$ ;  $t_f \rightarrow$  *potrebno vrijeme vatrootpornosti u min*

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

$$\text{Cjelovito drvo klase C30} \rightarrow \rho_k = 380\text{ kg/m}^3$$

$$\rho_k > 290\text{kg/m}^3 \rightarrow \beta_n = 0,7\text{ mm/min}$$

Gubitak presjeka:

$$d_{(t_f)} = \beta_n * t_f = 0,7 * 30 = 21,0\text{mm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30min požara:

$$b_{(t_f)} = b - 2 * d_{(t_f)} = 18 - 2 * 2,1 = 13,8\text{cm}$$

$$h_{(t_f)} = h - 2 * d_{(t_f)} = 10 - 2 * 2,1 = 5,8\text{cm}$$

Ostatak poprečnog presjeka

„opseg“ – zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$$u_r = 2 * b_{(t_f)} + 2 * h_{(t_f)} = 2 * 13,8 + 2 * 5,8 = 39,2\text{cm}$$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$$A_r = b_{(t_f)} * h_{(t_f)} = 13,8 * 5,8 = 80,04\text{cm}^2$$

$$\sigma_{t,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{r,netto}} = \frac{21,81 \cdot 10^3}{0,8 * 80,04 \cdot 10^2} = 3,41 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 30\text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 18\text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8\text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,625\text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} \cdot G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 0,75 = 0,625\text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}}$$

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

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

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (za puno drvo, prijelaz na 20% fraktilu)}$$

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

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{39,2 * 10^{-2}}{80,04 * 10^{-4}} = 0,85$$

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod} * k_{fi} * \frac{f_{t,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,85 * 1,25 * \frac{18 \frac{N}{mm^2}}{1,0} = 19,13 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{d,fi} = 0,85 * 1,25 * \frac{8000}{1,0} = 8500 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{d,fi} = 0,85 * 1,25 * \frac{\frac{2}{3} * 625}{1,0} = 442,71 \frac{N}{mm^2}$$

DOKAZ:

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

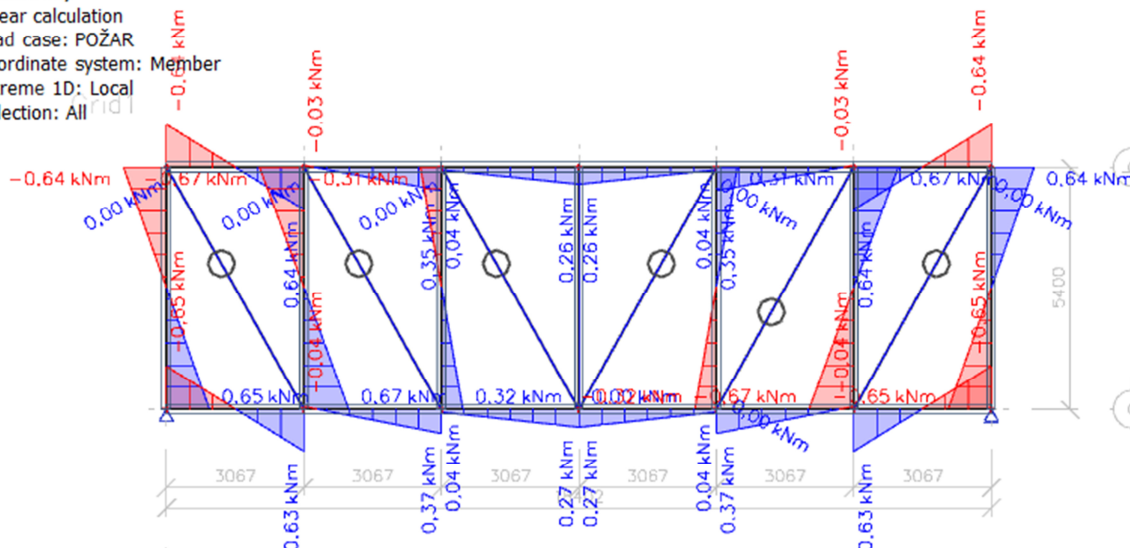
$$\frac{3,41}{19,13} = 0,18 < 1$$

ZADOVOLJAVA

**PODROŽNICE  $b/h = 18/20\text{cm}$**

**1D internal forces**

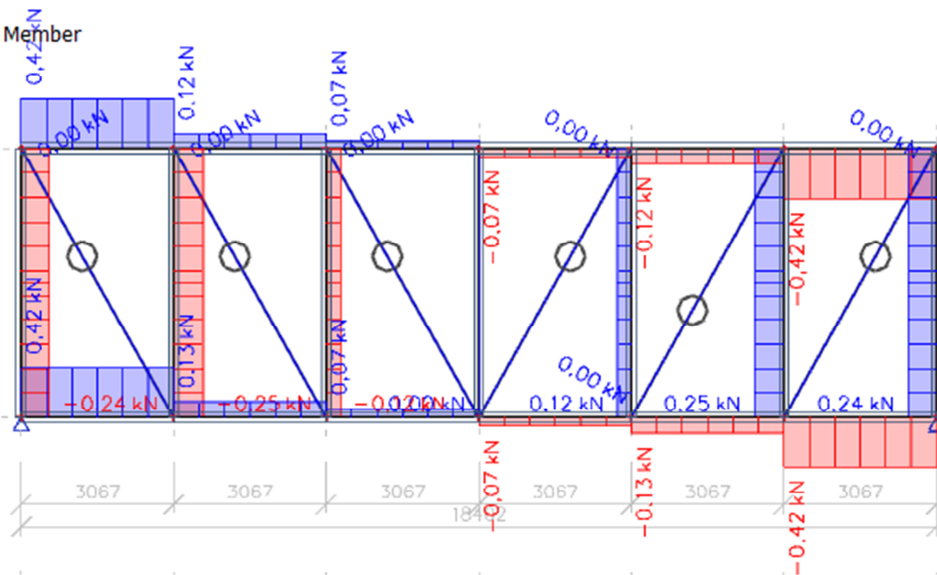
Values:  $M_y$   
 Linear calculation  
 Load case: POŽAR  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Local  
 Selection: All



*Momentni dijagram*

**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
 Linear calculation  
 Load case: POŽAR  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Local  
 Selection: All



*Dijagram poprečnih sila*



**1D internal forces**Values: **N**

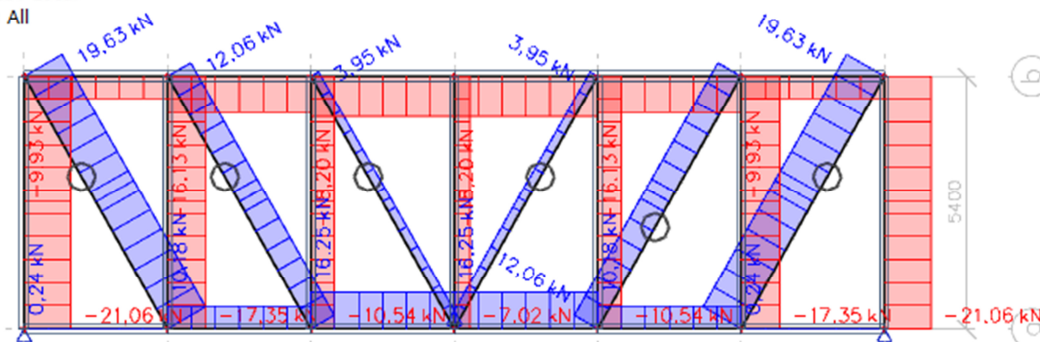
Linear calculation

Load case: POŽAR

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Local

Selection: All



Dijagram uzdužnih sila

$$N_{d,fi} = 21,06 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{d,fi} = 0,64 \text{ kNm}$$

## GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA

Tražena klasa F30  $\rightarrow t_f = 30 \text{ min}$ ;  $t_f \rightarrow$  potrebno vrijeme vatrootpornosti u min

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

Cjelovito drvo klase C30  $\rightarrow \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$\rho_k > 290 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$

Gubitak presjeka:

$$d_{(t_f)} = \beta_n * t_f = 0,7 * 30 = 21,0 \text{ mm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30min požara:

$$b_{(t_f)} = b - 2 * d_{(t_f)} = 18 - 2 * 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_{(t_f)} = h - 2 * d_{(t_f)} = 20 - 2 * 2,1 = 15,8 \text{ cm}$$

Ostatak poprečnog presjeka

„opseg“ – zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$$u_r = 2 * b_{(t_f)} + 2 * h_{(t_f)} = 2 * 13,8 + 2 * 15,8 = 59,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$$A_r = b_{(tf)} * h_{(tf)} = 13,8 * 15,8 = 218,04 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b_{(tf)} * h_{(tf)}^2}{6} = \frac{13,8 * 15,8^2}{6} = 574,17 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_r} = \frac{21,06 * 10^3}{218,04 * 10^2} = 0,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{0,64 * 10^6}{574,17 * 10^3} = 1,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

$$G_{05} = \frac{5}{6} * G_{\text{mean}} = \frac{5}{6} * 0,75 = 0,625 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}}$$

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

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

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (za puno drvo, prijelaz na 20% fraktilu)}$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{59,2 * 10^{-2}}{218,04 * 10^{-4}} = 0,78$$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{59,2 * 10^{-2}}{218,04 * 10^{-4}} = 0,86$$

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

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{333} * \frac{59,2 \cdot 10^{-2}}{218,04 \cdot 10^{-4}} = 0,92$$

$$f_{c,d,fi} = 0,78 * 1,25 * \frac{23}{1,0} = 22,43 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{m,d,fi} = 0,86 * 1,25 * \frac{30}{1,0} = 32,25 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{d,fi} = 0,92 * 1,25 * \frac{8000}{1,0} = 9200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{d,fi} = 0,92 * 1,25 * \frac{\frac{2}{3} * 625}{1,0} = 479,17 \frac{N}{mm^2}$$

Dokaz stabilnosti:

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,d,fi}}{E_{d,fi}}}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{ef}}{0,289 \cdot b} = \frac{5400}{0,289 \cdot 138} = 135,4$$

$$\lambda_{rel,c,z,fi} = \frac{135,4}{\pi} * \sqrt{\frac{22,43}{9200}} = 2,13$$

$\beta_c = 0.2$  za puno drvo i grede

$$k_{z,fi} = 0.5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.2 \cdot (2,13 - 0,3) + 2,13^2] = 2,95$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,c,z,fi}^2}} = \frac{1}{2,95 + \sqrt{2,95^2 - 2,13^2}} = 0.2$$

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

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{540 \text{ cm} \cdot 15,8 \text{ cm}}{13,8^2 \text{ cm}^2} = 44,8 < 140 \Rightarrow k_{m,fi} = 1,0$$

Dokaz:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} * f_{c,0,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,y,d,fi}} = \frac{0,97}{0,2 * 22,43} + \frac{1,11}{1,0 \cdot 32,25} = 0,25 < 1,0$$

ZADOVOLJAVA

## **8. NACRTI**

**8.1. Generalni plan pozicija**

**8.2. Radionički nacrt glavnog nosača**

**8.3. Detalj 1 (dvostruki zasjek)**

**8.4. Detalj 2 (jednostruki zasjek i čavlani spoj)**

**8.5. Detalj 3 (čavlani spoj)**

**8.6. Detalj 4 (jednostruki zasjek i čavlani spoj)**

**8.7. Detalj 5 (jednostruki zasjek i čavlani spoj)**

**8.8. Detalj 6 (vlačni nastavak rešetke)**

**8.9. Detalj 7 (tijesno ugrađeni vijci)**

**8.10. Detalj 8 (jednostruki zasjek i tijesno ugrađeni vijci)**

## 9. LITERATURA

<http://gradst.unist.hr/ustroj-fakulteta/katedre/metalne-i-drvene-konstrukcije/preddiplomski-sveucilisni-studij-gra%C4%91evinarstvo/osnove-drvenih-konstrukcija>

<file:///C:/Users/HP/Downloads/5%20PROJEKTIRANJE%20DRVENIH%20KONSTRUKCIJA%20EC5.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Downloads/6%20SPAJALA.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Downloads/7%20CAVLI,%20VIJCI,%20TRNOVI,%20VIJCI%20ZA%20DRVO%20EC5.pdf>

[file:///C:/Users/HP/Downloads/10%20VATROOTPORNOST%20DK%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/10%20VATROOTPORNOST%20DK%20(1).pdf)

<file:///C:/Users/HP/Downloads/8%20PROSTORNA%20STABILIZACIJA%20EC5.pdf>

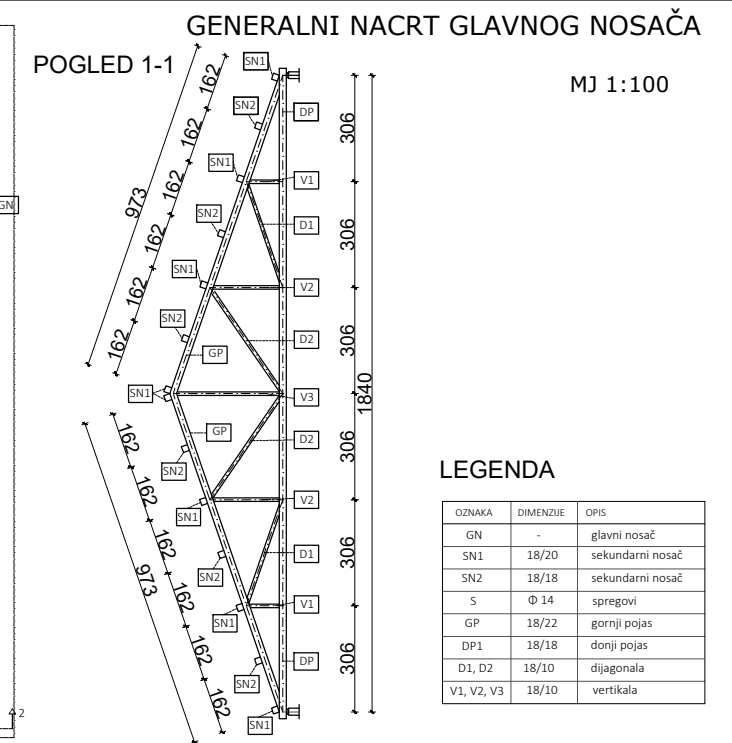
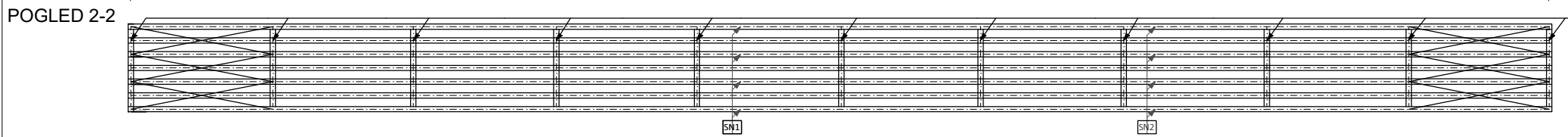
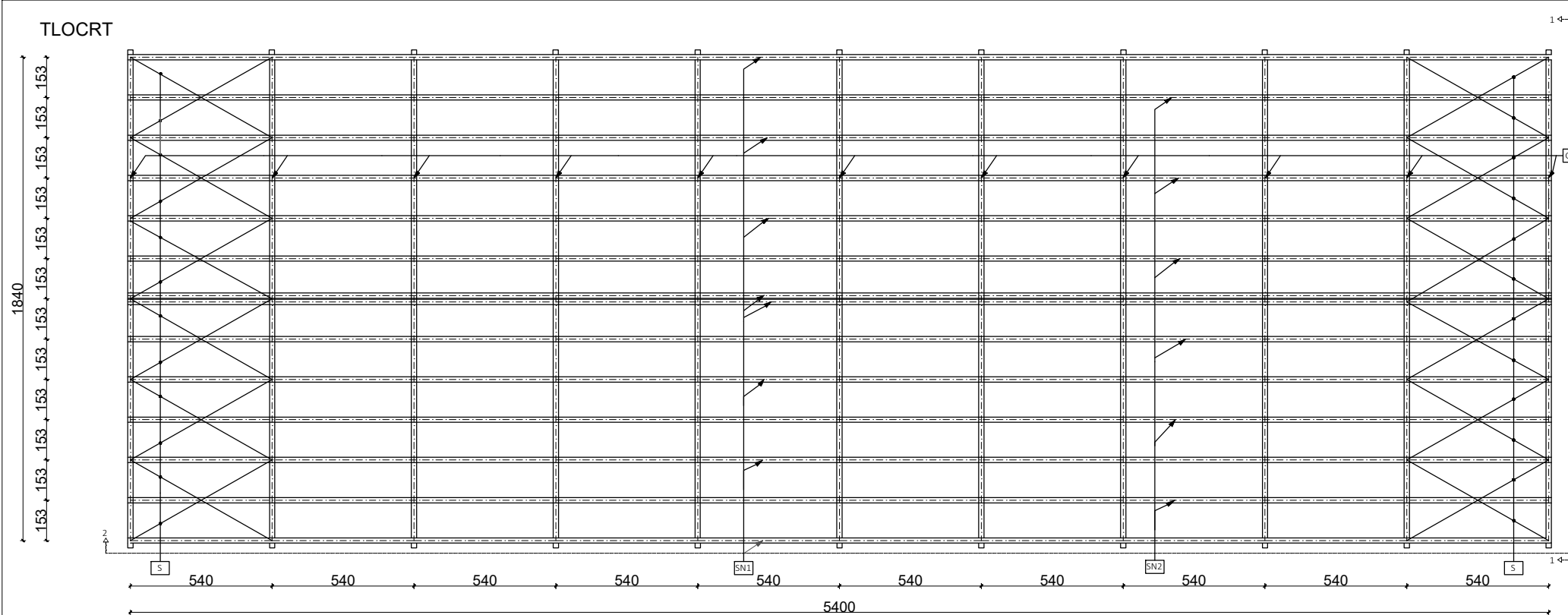
[file:///C:/Users/HP/Downloads/3.%20ANALIZA%20OPTERE%C4%86ENJA%20-%20primjeri%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/3.%20ANALIZA%20OPTERE%C4%86ENJA%20-%20primjeri%20(1).pdf)

[file:///C:/Users/HP/Downloads/1.%20DRVENI%20STUP%20U%20PO%C5%BDARU%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/1.%20DRVENI%20STUP%20U%20PO%C5%BDARU%20(2).pdf)

[file:///C:/Users/HP/Downloads/10.%20JEDNOSTRUKI%20ZASJEK%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/10.%20JEDNOSTRUKI%20ZASJEK%20(1).pdf)

[file:///C:/Users/HP/Downloads/11.%20DVOSTRUKI%20ZASJEK%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/11.%20DVOSTRUKI%20ZASJEK%20(1).pdf)

[file:///C:/Users/HP/Downloads/2.%20TIJESNO%20UGRA%C4%90ENI%20VIJCI%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/2.%20TIJESNO%20UGRA%C4%90ENI%20VIJCI%20(1).pdf)

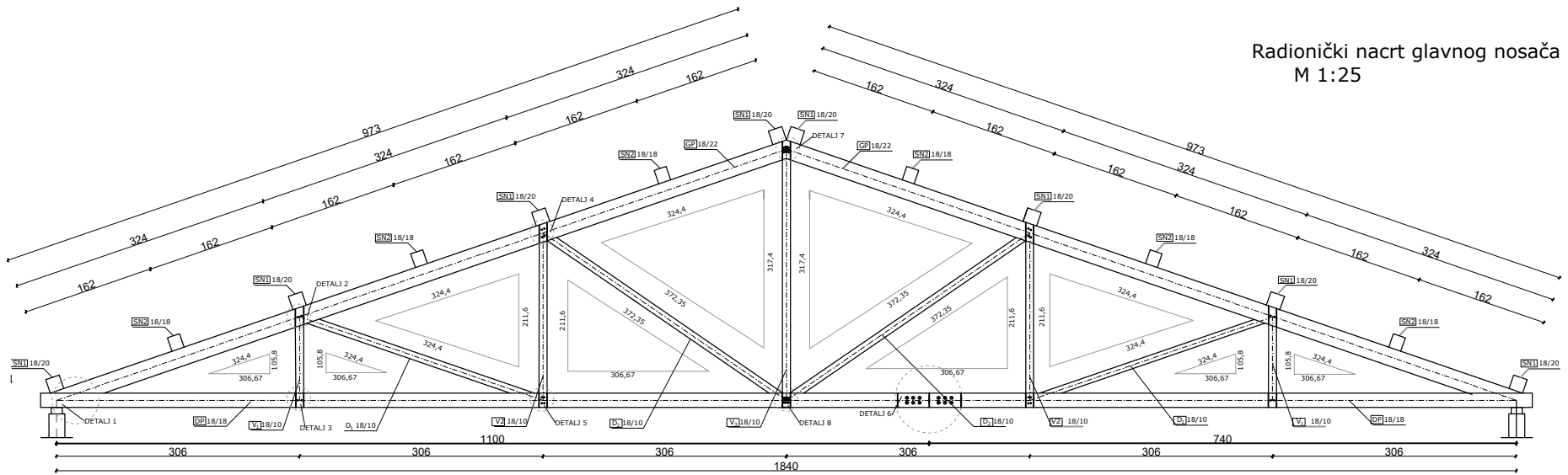


**LEGENDA**

OZNAKA	DIMENZJE	OPIS
GN	-	glavni nosač
SN1	18/20	sekundarni nosač
SN2	18/18	sekundarni nosač
S	Ø 14	spregovi
GP	18/22	gornji pojas
DP1	18/18	donji pojas
D1, D2	18/10	dijagonala
V1, V2, V3	18/10	vertikala

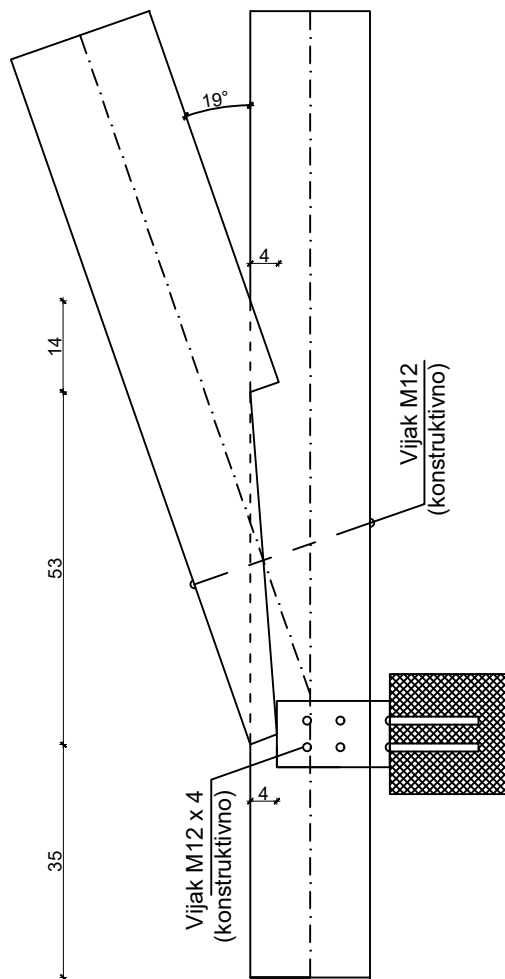
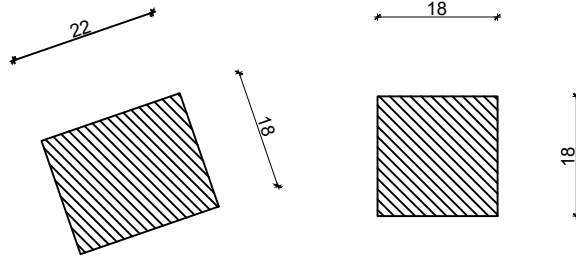
OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA		
PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA		
STUDENTICA: SLAVICA GELO		
PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić		
SADRŽAJ LISTA	GENERALNI PLAN POZICIJA	M 1:100
DATUM	17.6.2021.	PRILOG 1

Radionički nacrt glavnog nosača  
M 1:25



	OSNOVNE DRVENIH KONSTRUKCIJA	
	PREDMETNAJ: PREDLAGATI DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG PROJEKTA	
	STUDENTICA: SLAVKA GELJO	
	PREDMETNI NASTAVNIK: Dr.sc. Nenjo Torić	
SADRŽAJLISTA		M 1:25
RADIONIČKI NACRT		PRIDIOG 2
DATUM: 17.6.2021.		

# DETALJ 1 MJ 1:10



## OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA

STUDENTICA: SLAVICA GELO

PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić

SADRŽAJ LISTA DVOSTRUKI ZASJEK

M 1:10

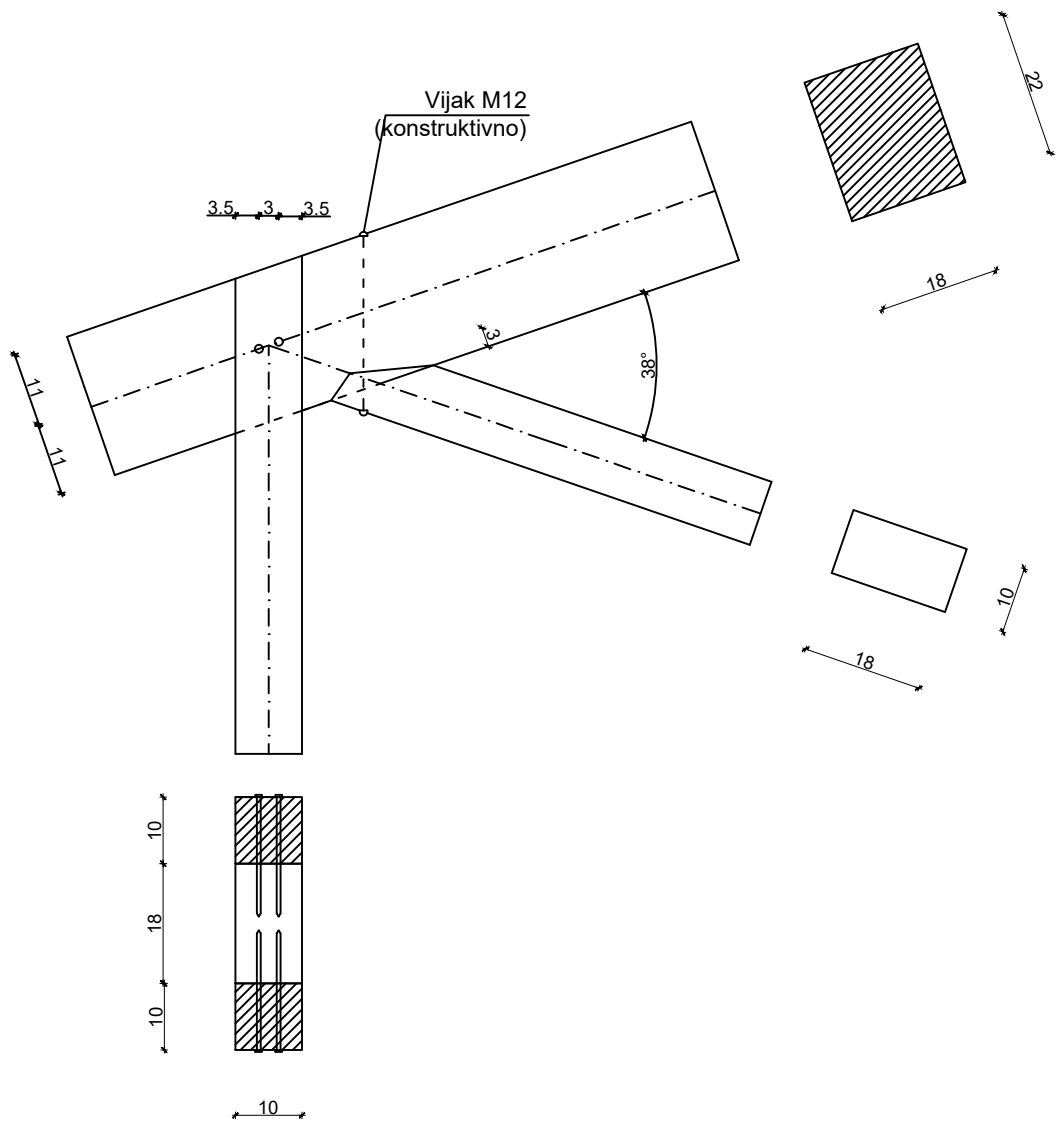
DATUM 17.6.2021.

PRILOG

3



## DETALJ 2 MJ 1:10



### OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA

STUDENTICA: SLAVICA GELO

PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić

SADRŽAJ LISTA JEDNOSTRUKI ZASJEK (D1) I ČAVLANI SPOJ (V1)

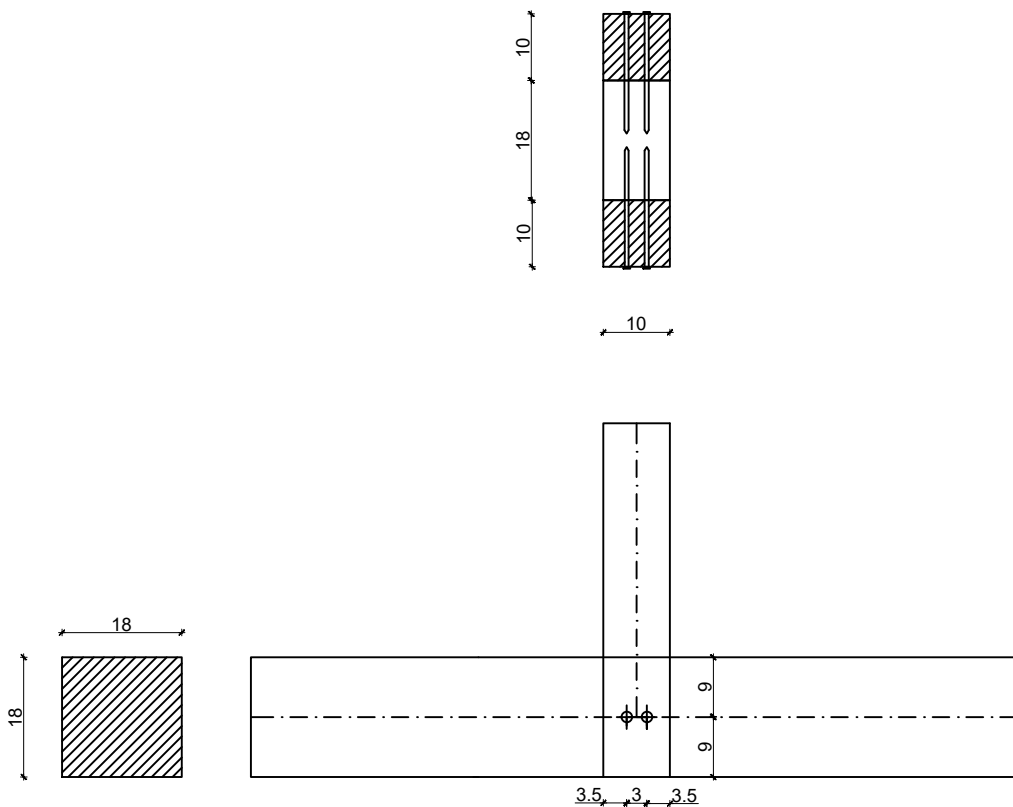
M 1:10

DATUM 17.6.2021.

PRILOG

4

# DETALJ 3 MJ 1:10



## OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA

STUDENTICA: SLAVICA GELO

PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić

SADRŽAJ LISTA ČAVLANI SPOJ (V1)

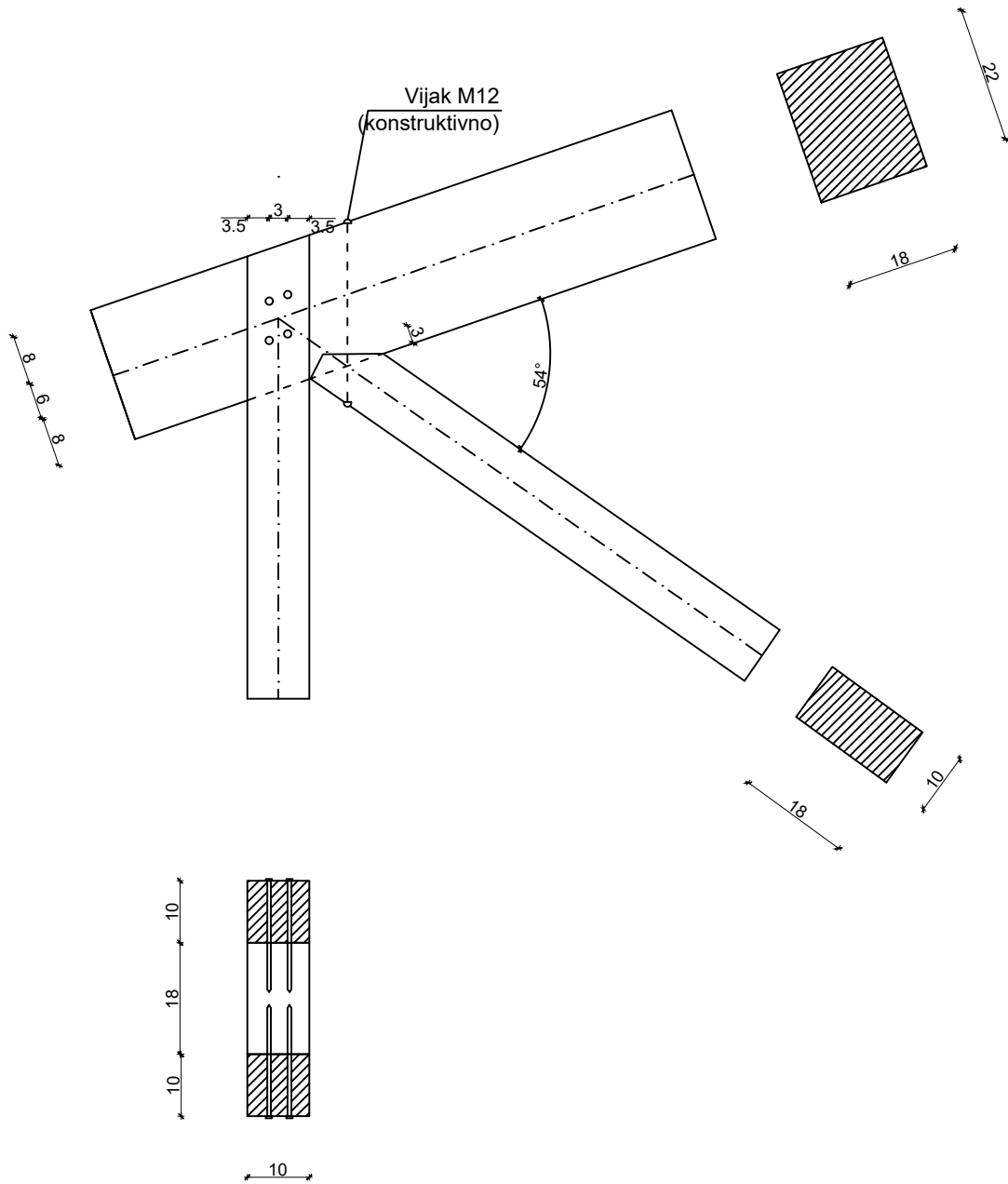
M 1:10

DATUM 17.6.2021.

PRILOG

5

# DETALJ 4 MJ 1:10



## OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA

STUDENTICA: SLAVICA GELO

PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić

SADRŽAJ LISTA JEDNOSTRUKI ZASJEK (D2) I ČAVLANI SPOJ (V2)

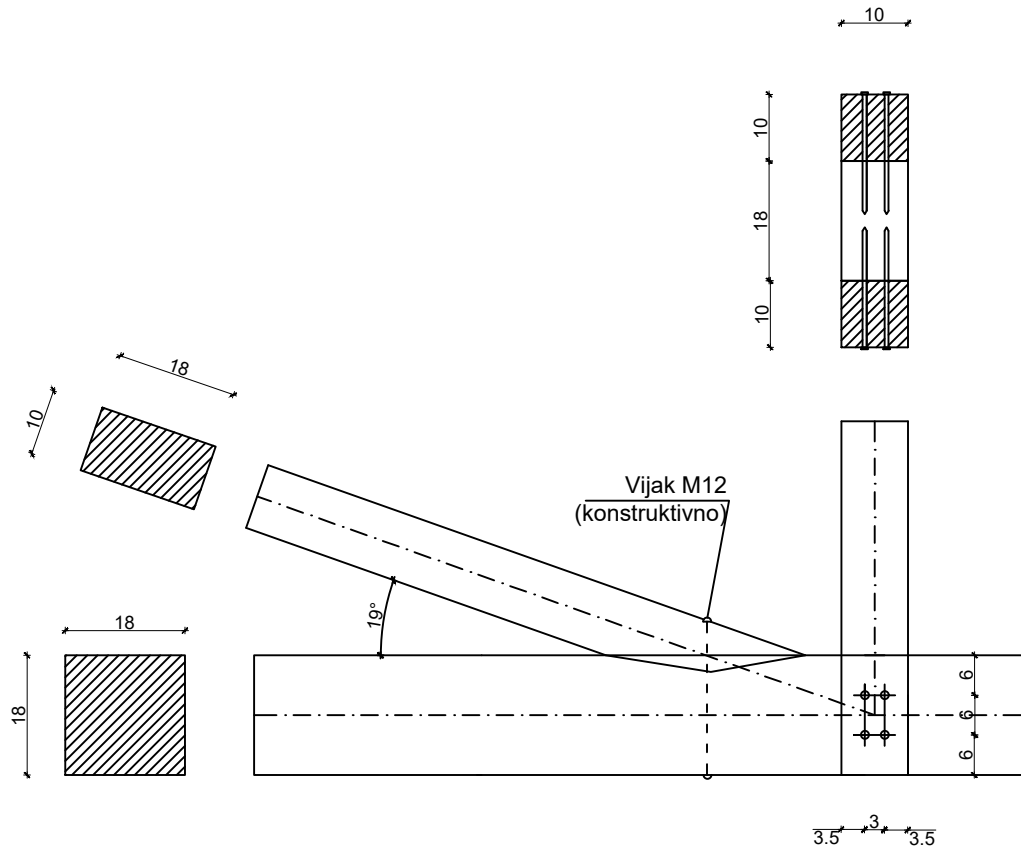
M 1:10

DATUM 17.6.2021.

PRILOG 6



# DETALJ 5 MJ 1:10



## OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA

STUDENTICA: SLAVICA GELO

PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić

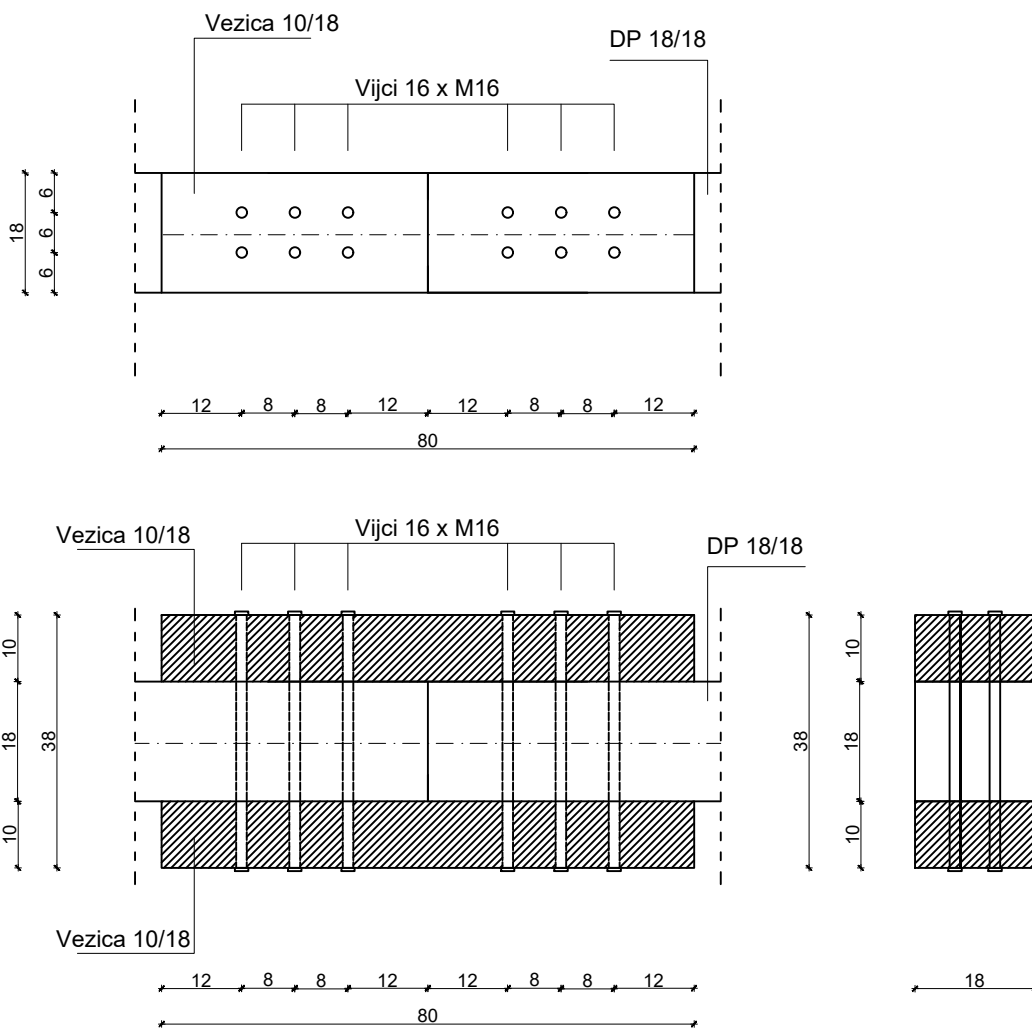
SADRŽAJ LISTA JEDNOSTRUKI ZASJEK (D1) I ČAVLANI SPOJ (V2)

M 1:10

DATUM 17.6.2021.

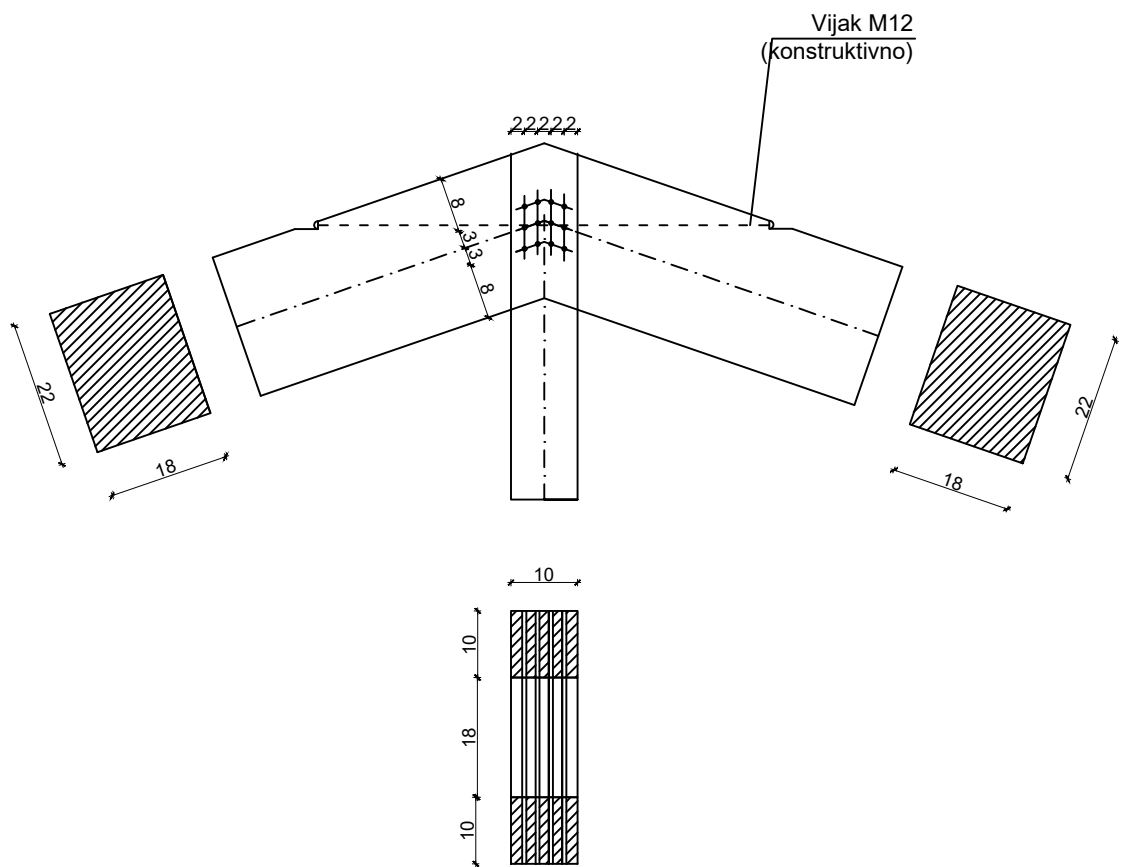
PRILOG 7

# DETALJ 6 MJ 1:10



	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA	
	PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA	
	STUDENTICA: SLAVICA GELO	
	PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić	
SADRŽAJ LISTA	VLAČNI NASTAVAK REŠETKE	M 1:10
DATUM	17.6.2021.	PRILOG 8

# DETALJ 7 MJ 1:10



## OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA

PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA

STUDENTICA: SLAVICA GELO

PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić

SADRŽAJ LISTA TIJESNO UGRAĐENI VIJCI (V3)

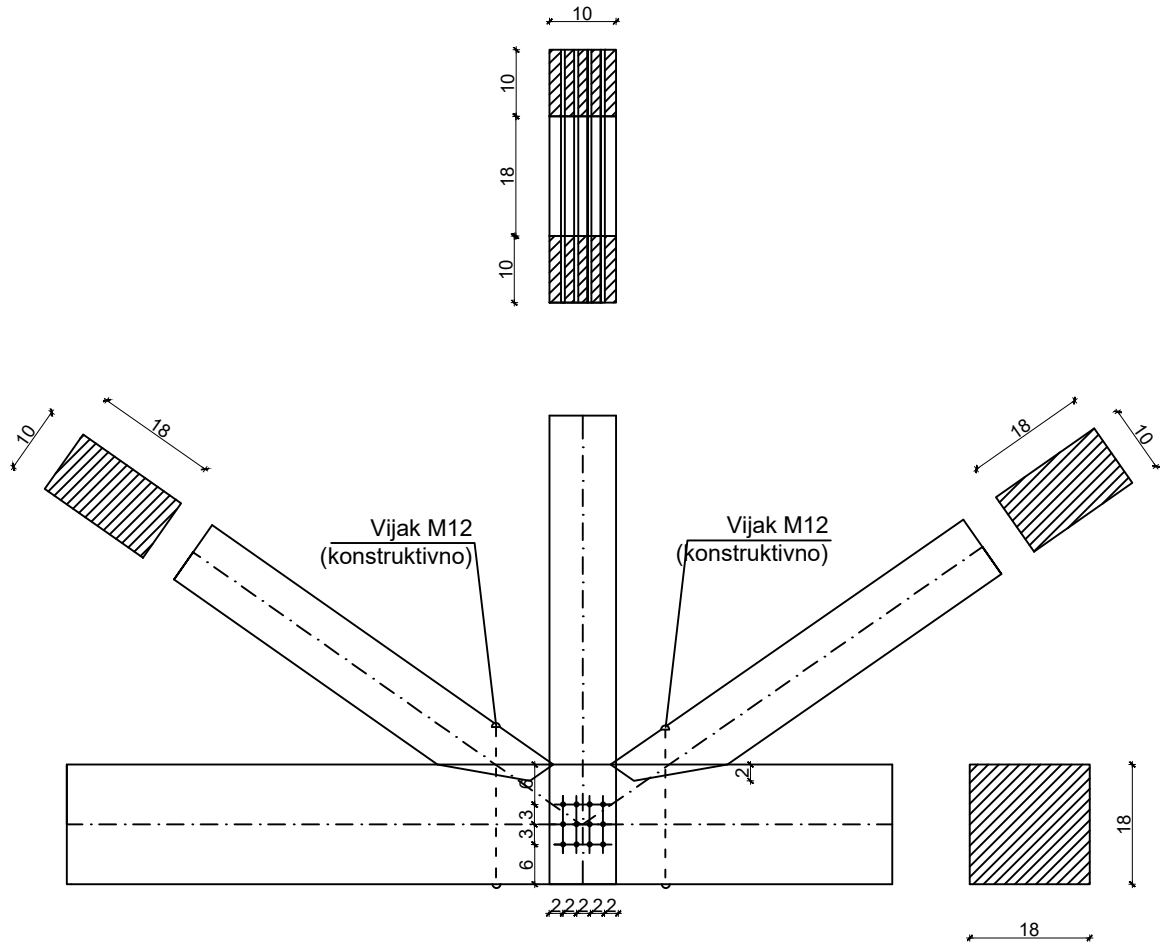
M 1:10


DATUM 17.6.2021.

PRILOG

9

# DETALJ 8 MJ 1:10



	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA	
	PROGRAM: PRORAČUN DRVENE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA	
	STUDENTICA: SLAVICA GELO	
	PREDMETNI NASTAVNIK : Dr.sc. Neno Torić	
SADRŽAJ LISTA	JEDNOSTRUKI ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI	M 1:10
DATUM	17.6.2021.	PRILOG 10