

# Proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta raspona 20.0 x 51.0 m

---

**Marušić, Gabrijela**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:819640>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-05**



*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**

**Gabrijela Marušić**

**Split, 2022.**

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

**PRORAČUN DRVENE  
KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG KROVIŠTA  
RASPONA 20.0 x 51.0 m**

**Završni rad**

**Split, 2022.**

# Proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta raspona 20.0 x 51.0m

## *Sažetak:*

U završnom radu, izvršen je proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta, dimenzija 20.0 x 51.0 m. Konstrukcija se nalazi u gradu Zagrebu i na nju djeluju stalna i promjenjiva opterećenja. Dimenzionirani su konstruktivni elementi prema graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju uporabljivosti, izrađeni su nacrti, detalji spojeva konstrukcije te je dokazana vatrootpornost konstrukcije i vatrootpornost spojeva u trajanju 30 minuta.

## *Ključne riječi:*

Drvena konstrukcija, konstruktivni elementi, dimenzioniranje, spojevi, vatrootpornost, vatrootpornost spojeva

## Calculation of the Wooden Roof Truss with Layout 20.0 x 51.0 m

## *Abstract:*

In this thesis, the calculation of wooden construction roof truss, with dimensions 20.0 x 51.0 m, was carried out. The structure is located in the city of Zagreb and is subject to constant and variable loads. Constructive elements were dimensioned according to the limit state of load-bearing capacity and limit state of serviceability. Drawings and details of structural joints were made, and the fire resistance of the structure and the fire resistance of the joints for a duration of 30 minutes was proven.

## *Keywords:*

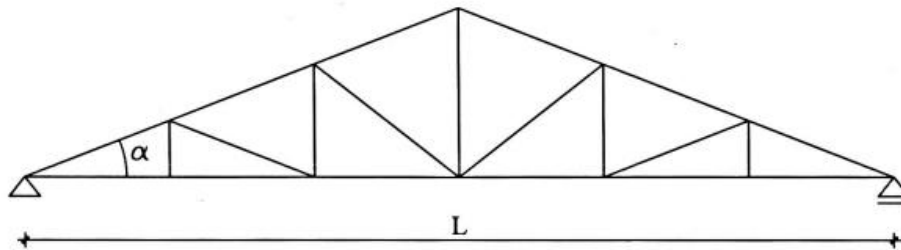
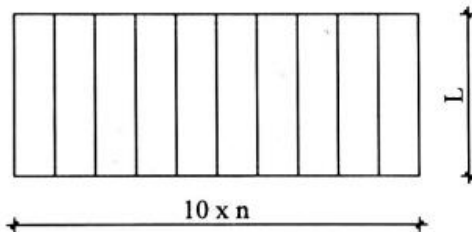
Wooden construction, structural elements, dimensioning, joints, fire resistance, fire resistance of joints

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KOLEGIJ: OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA****ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Treba konstruirati i dimenzionirati nosivi sustav krovne konstrukcije prema skici.

**POPREČNI PRESJEK**

Treba konstruirati i dimenzionirati nosivi sustav krovne konstrukcije prema skici.

**POPREČNI PRESJEK****TLOCRT****ZADANI PODACI**

- Raspon rešetke:	L = 20 m
- Razmak okvira:	n = 5.1 m
- Nagib krovne plohe:	17°
- Materijal izrade:	C24
- Uporabna klasa:	2
- Lokacija objekta:	Zagreb
- Kat. zemljišta:	0

STUDENT/ICA: **Gabrijela Marušić**

Potrebno je izvršiti dimenzioniranje nosive konstrukcije na slici odnosno izvršiti kontrolu graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti konstrukcije prema EC5. Potrebno je napraviti dodatnu analizu nosive konstrukcije kako slijedi:

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

**SADRŽAJ**

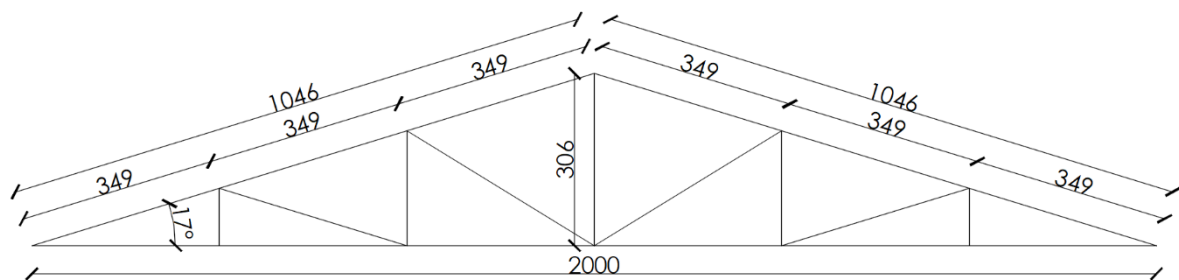
<b>1. TEHNIČKI OPIS</b>	<b>3</b>
1.1. KONSTRUKTIVNI SUSTAV KROVA	3
1.2. STATIČKA ANALIZA SUSTAVA	3
1.3. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA	4
1.3.1. Glavni nosači	4
1.3.2. Podrožnice	4
1.3.3. Spreg	4
1.4. MATERIJALI	4
1.4.1 Drveni elementi	4
1.4.2 Metalni elementi	5
1.5. ZAŠTITA	5
1.5.1. Zaštita drvenih elemenata	5
1.5.2. Zaštita metalnih elemenata	5
1.6. MONTAŽA I TRANSPORT	5
<b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA</b>	<b>6</b>
2.1. STALNO OPTEREĆENJE	6
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	6
2.2.1. Opterećenje snijegom	6
2.2.2. Opterećenje vjetrom	7
<b>3. STATIČKI PRORAČUN</b>	<b>13</b>
3.1. OPTEREĆENJA ČVOROVA I PRIKAZ REZNIH SILA	13
3.1.1. Stalno opterećenje	13
3.1.2. Dodatno stalno opterećenje	14
3.1.3. Opterećenje snijegom	15
3.1.4. Opterećenje vjetrom pritiskajućim	16
3.1.5. Opterećenje vjetrom odižućim	17
3.2. GSN – PRORAČUNSKE KOMBINACIJE	18
3.2.1. 1. Proračunska kombinacija	18
3.2.2. 2. Proračunska kombinacija	19
3.2.3. 3. Proračunska kombinacija	12
3.2.4. 4. Proračunska kombinacija	21
3.3. GSU – KONTROLA PROGIBA	22
<b>4. DIMENZIONIRANJE</b>	<b>26</b>
4.1. GORNJI POJAS	27
4.2. DONJI POJAS	29
4.3. DIJAGONALE	32
4.4. VERTIKALE	33
4.5. PODROŽNICE	35
4.5.1. Podrožnice unutar sustava stabilizacije	36
4.5.2. Podrožnice van sustava stabilizacije	38
4.6. SPREGOVI	39

<b>5. PRORAČUN SPAJALA</b>	<b>41</b>
5.1. DETALJ 1	41
5.2. DETALJ 2	46
5.3. DETALJ 3	48
5.4. DETALJ 4	51
5.5. DETALJ 5	54
5.6. DETALJ 6	57
5.7. DETALJ 7	60
5.8. DETALJ 8	63
<b>6. VATROOTPORNOST</b>	<b>65</b>
6.1. GORNJI POJAS	66
6.2. DONJI POJAS	69
6.3. DIJAGONALE	72
6.4. VERTIKALE	74
6.5. PODROŽNICE	76
<b>7. VATROOTPORNOST SPOJEVA</b>	<b>80</b>
7.1. VATROOTPORNOST – DETALJ 1	80
7.2. VATROOTPORNOST – DETALJ 2	82
7.3. VATROOTPORNOST – DETALJ 3	83
7.4. VATROOTPORNOST – DETALJ 4	85
7.5. VATROOTPORNOST – DETALJ 5	87
7.6. VATROOTPORNOST – DETALJ 6	89
7.7. VATROOTPORNOST – DETALJ 7	90
7.8. VATROOTPORNOST – DETALJ 8	92
<b>8. NACRTI</b>	<b>93</b>
<b>9. LITERATURA</b>	<b>94</b>

## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1 Konstruktivni sustav krova

Konstruktivni sustav je drveni rešetkasti nosač raspona  $L = 20.00$  m. Visina nosača u tjemenu iznosi  $h = 3.06$  m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 17^\circ$ . Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku  $n = 5.10$  m. Stabiliziranje konstrukcije predviđeno je horizontalnim spregom. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi  $51.00$  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 Zagreba, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta 0.

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 + djelovanje vjetra i vlastita težina konstrukcije + djelovanje vjetra.

Proračun reznih sila je pomoću računalnog programa Scia Engineer 21.0 Legacy, na način da su umetnuti zglobovi na mjestima spajanja vertikala 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 vertikala vjetrovnog sprega, pravokutnog su poprečnog presjeka i nalaze se na razmaku 3,49 m.

#### 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 M 20.

### 1.4 Materijali

#### 1.4.1 Drveni materijali

Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od punog drva klase C 24, uporabne klase 2. Karakteristične vrijednosti čvrstoća, modula i gustoće za ovu klasu:

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

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

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

$$E_{0,\text{mean}} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = 350 \text{ kg/m}^3$$

### 1.4.2 Metalni elementi

Za spajanje pojedinih elemenata upotrijebljeni su trnovi T20 izvedeni od čelika S355 i vijaka M10 Klase 5.6. i M12 Klase 8.8. Pokrov je izveden od sendvič panela (aluminij).

## 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

Ugrađuju se samo pocinčani metalni elementi i spajala.

## 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.

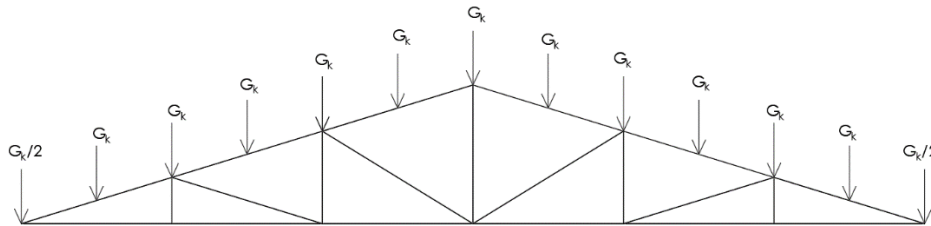
## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. STALNO OPTEREĆENJE

VLASTITA TEŽINA

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k = g_k \cdot n \cdot a = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,10 \text{ m} \cdot 1,74 \text{ m} = 4,44 \text{ kN}$$



### 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

#### 2.2.1. OPTEREĆENJE SNIJEGOM

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

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

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

$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (za Zagreb, do 100m nadmorske visine)

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

$$15^\circ < \alpha = 17^\circ \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$$

$c_e \Rightarrow$  koeficijent izloženosti

$$c_e = 1,0$$

$c_t \Rightarrow$  toplinski koeficijent

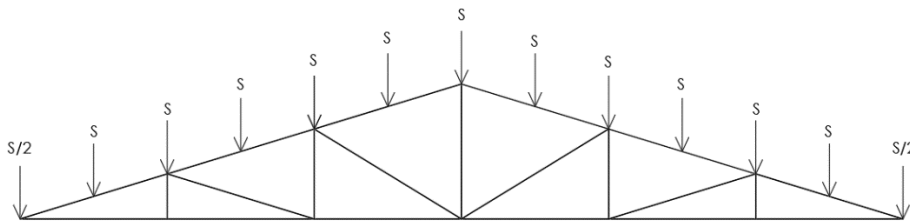
$$c_t = 1,0$$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,80 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$S = s \cdot n \cdot a$$

$$S = 0,8 \text{ (kN/m}^2\text{)} \cdot 5,10 \text{ m} \cdot 1,74 \text{ m} = 7,11 \text{ kN}$$



### 2.2.2. OPTEREĆENJE VJETROM

Opterećenje vjetrom okomito na površinu.

$w_e = q_p(z) \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$  (kN/m<sup>2</sup>) - pritisak vjetra na vanjske površine

$w_i = q_p(z) \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi}$  (kN/m<sup>2</sup>) - pritisak vjetra na unutrašnje površine

$c_e(z_e), c_i(z_i) \Rightarrow$  koeficijenti izloženosti koji uzimaju u obzir neravnine terena

Određivanje osnovnog pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

$q_b$  - referentni pritisak srednje brzine vjetra

$\rho$  - gustoća zraka,  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$v_b$  - osnovna brzina vjetra  $v_b = 25 \text{ (m/s)}$

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (25 \text{ m/s})^2 = 390,625 \text{ N/m}^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

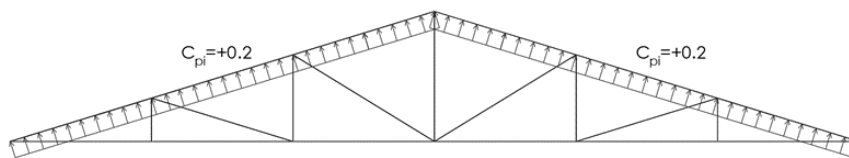
$$q_p(z) = C_e \cdot q_b$$

$C_e = 3,00$  (očitano za zadanu visinu od 10 m)

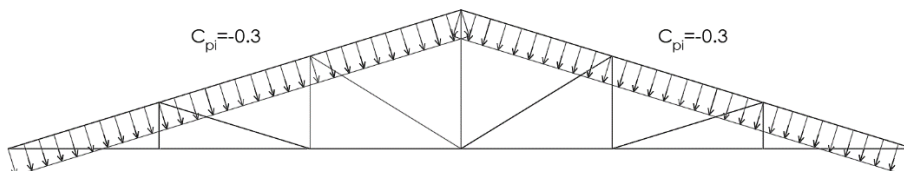
$$q_p(z) = 3,00 \cdot 0,39 = 1,17 \text{ kN/m}^2$$

Unutarnji vjetar:

1.  $C_{pi} = + 0,2$



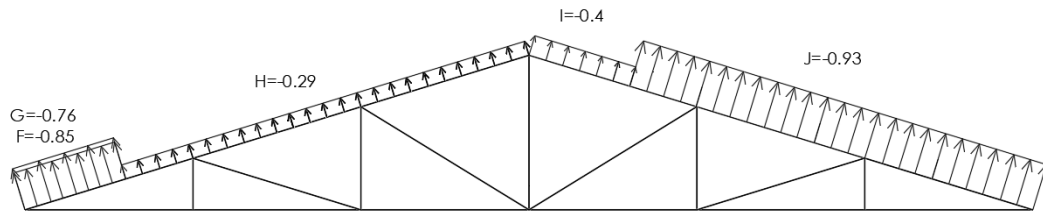
2.  $C_{pi} = - 0,3$



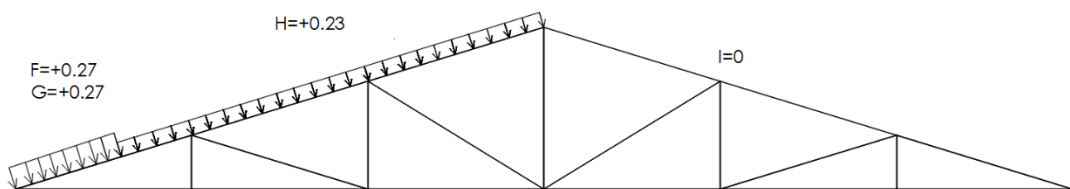
Vanjski vjetar:

1.  $C_{pe,10}$  (za negativni vanjski vjetar)

$F(15^\circ) = -0,9$	$G(15^\circ) = -0,8$	$H(15^\circ) = -0,3$	$I(15^\circ) = -0,4$	$J(15^\circ) = -1,0$
$F(30^\circ) = -0,5$	$G(30^\circ) = -0,5$	$H(30^\circ) = -0,2$	$I(30^\circ) = -0,4$	$J(30^\circ) = -0,5$
$F(17^\circ) = -0,85$	$G(17^\circ) = -0,76$	$H(17^\circ) = -0,29$	$I(17^\circ) = -0,4$	$J(17^\circ) = -0,93$

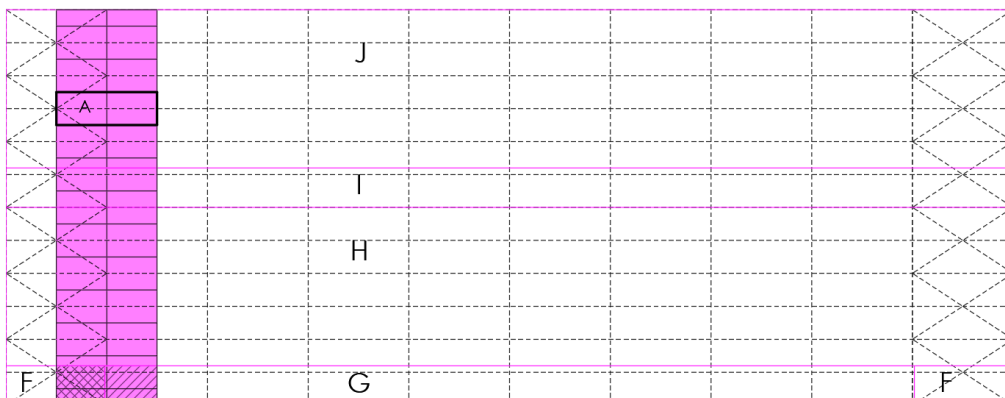
2.  $C_{pe,10}$  (za pozitivni vanjski vjetar)

$F(15^\circ) = +0,2$	$G(15^\circ) = +0,2$	$H(15^\circ) = +0,2$	$I(15^\circ) = 0$	$J(15^\circ) = 0$
$F(30^\circ) = +0,7$	$G(30^\circ) = +0,7$	$H(30^\circ) = +0,4$	$I(30^\circ) = 0$	$J(30^\circ) = 0$
$F(17^\circ) = +0,27$	$G(17^\circ) = +0,27$	$H(17^\circ) = +0,23$	$I(17^\circ) = 0$	$J(17^\circ) = 0$



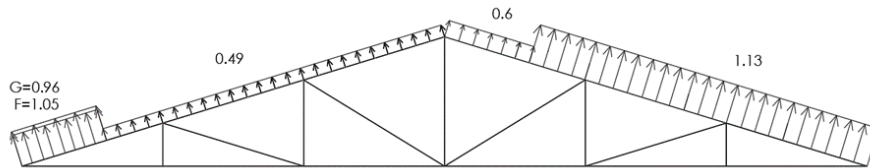
Uzimaju se nepovoljniji koeficijenti!

Na slici je označen najopterećeniji nosač te površina koju on nosi, slovom A označena je jedinična površina koju obuhvaća jedna podrožnica



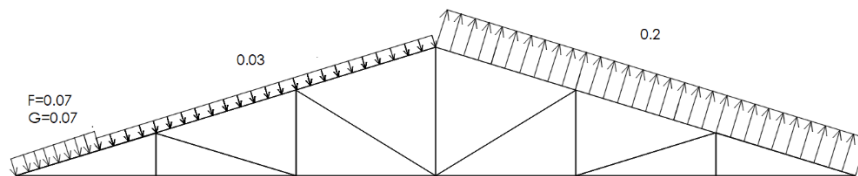
Kombinacija 1:  $q_b \cdot (c_{pi1} + c_{pe1}) \rightarrow \text{MAX. ODIZANJE}$

(Unutarnji pozitivni + Vanjski negativni)



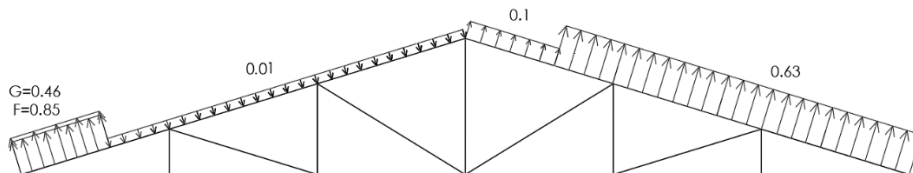
Kombinacija 2:  $q_b \cdot (c_{pi1} + c_{pe2})$

(Unutarnji pozitivni + Vanjski pozitivni)



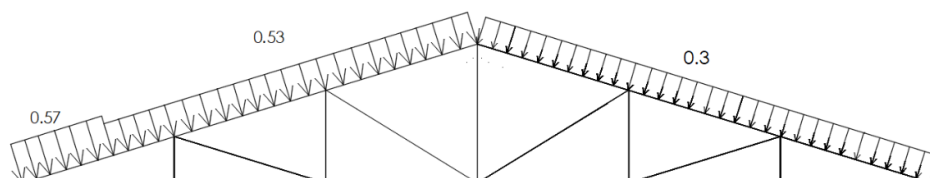
Kombinacija 3:  $q_b \cdot (c_{pi2} + c_{pe1})$

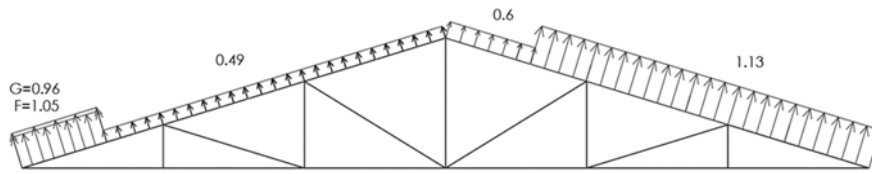
(Unutarnji negativni + Vanjski negativni)



Kombinacija 4:  $q_b \cdot (c_{pi2} + c_{pe2}) \rightarrow \text{MAX. PRITISAK}$

(Unutarnji negativni + Vanjski pozitivni)



KOMBINACIJA 1:  $q_b \cdot (c_{pi1} + c_{pe1}) \Rightarrow$  ODIZANJE

$$W = A \cdot q_b \cdot (c_{pi} + c_{pe})$$

$$W_1 = (2,13 \text{ m}^2 \cdot 1,05 + 2,31 \text{ m}^2 \cdot 0,96) \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 5,211 \text{ kN}$$

$$W_2 = (2,99 \text{ m}^2 \cdot 1,05 + 3,23 \text{ m}^2 \cdot 0,96 + 2,66 \text{ m}^2 \cdot 0,49) \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 8,826 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_4 = W_5 = W_6 = 8,89 \text{ m}^2 \cdot 0,49 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 5,097 \text{ kN}$$

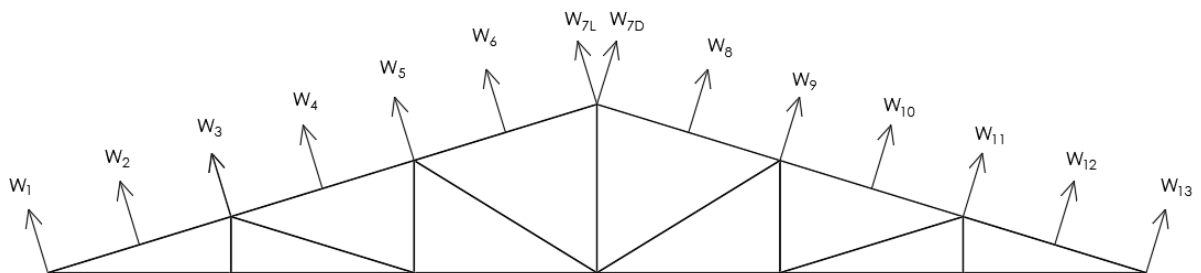
$$W_{7L} = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 0,49 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 2,548 \text{ kN}$$

$$W_{7D} = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 0,6 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 3,117 \text{ kN}$$

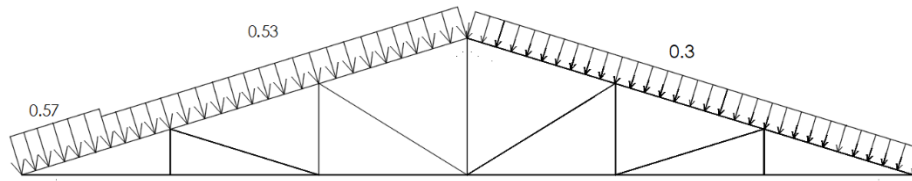
$$W_8 = (6,22 \text{ m}^2 \cdot 0,6 + 2,67 \text{ m}^2 \cdot 1,13) \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 7,896 \text{ kN}$$

$$W_9 = W_{10} = W_{11} = W_{12} = 8,89 \text{ m}^2 \cdot 1,13 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 11,753 \text{ kN}$$

$$W_{13} = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 1,13 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 5,877 \text{ kN}$$





KOMBINACIJA 4:  $q_b \cdot (c_{pi2} + c_{pe2}) \Rightarrow$  PRITISAK

$$W = A \cdot q_b \cdot (c_{pi} + c_{pe})$$

$$W_1 = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 0,57 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 2,964 \text{ kN}$$

$$W_2 = (6,22 \text{ m}^2 \cdot 0,57 + 2,67 \text{ m}^2 \cdot 0,53) \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 5,804 \text{ kN}$$

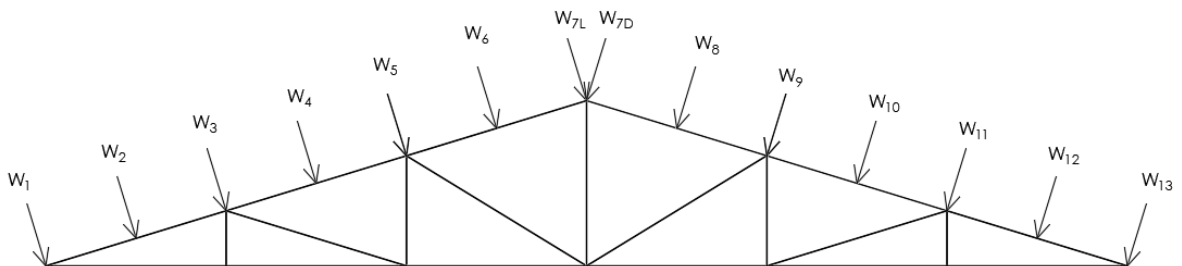
$$W_3 = W_4 = W_5 = W_6 = 8,89 \text{ m}^2 \cdot 0,53 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 5,512 \text{ kN}$$

$$W_{7L} = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 0,58 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 2,756 \text{ kN}$$

$$W_{7D} = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 0,3 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 1,560 \text{ kN}$$

$$W_8 = W_9 = W_{10} = W_{11} = W_{12} = 8,89 \text{ m}^2 \cdot 0,3 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 3,120 \text{ kN}$$

$$W_{13} = 4,44 \text{ m}^2 \cdot 0,3 \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 = 1,560 \text{ kN}$$

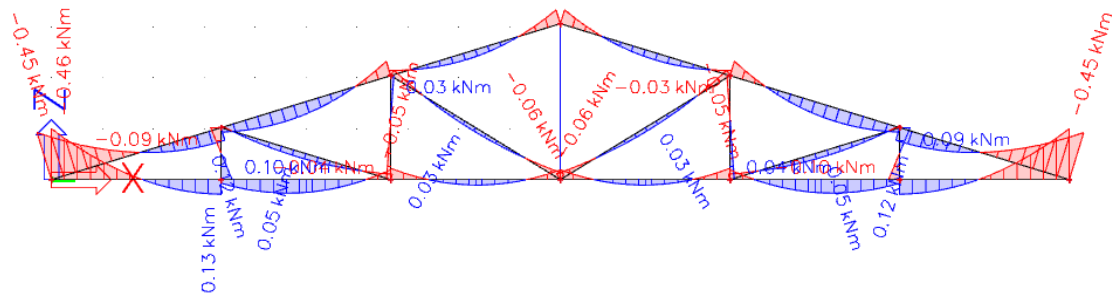


### 3. STATIČKI PRORAČUN

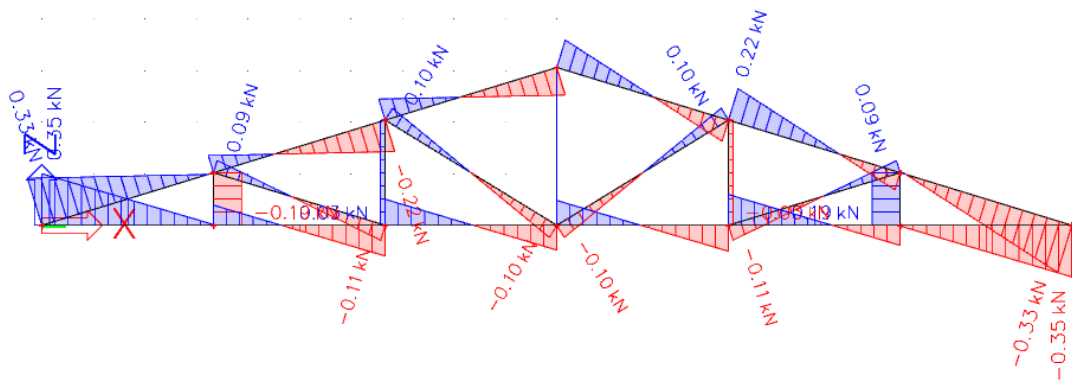
#### 3.1. OPTEREĆENJA ČVOROVA I PRIKAZ REZNIH SILA

##### 3.1.1. VLASTITA TEŽINA (G0)

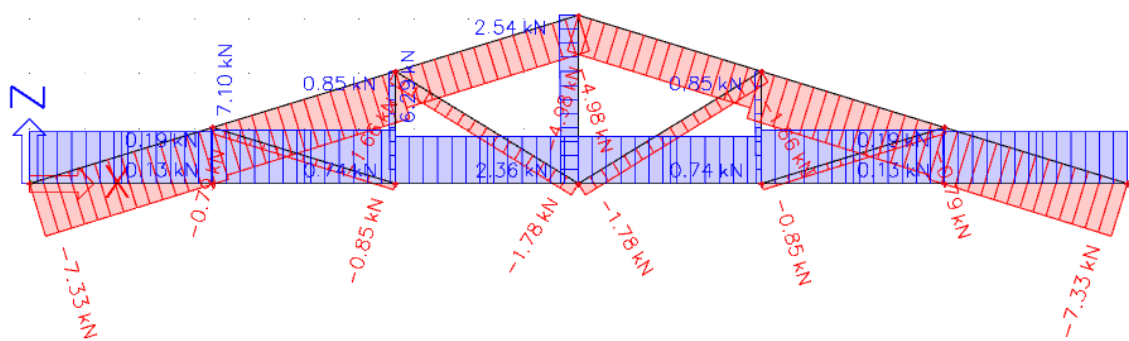
M – DIJAGRAM



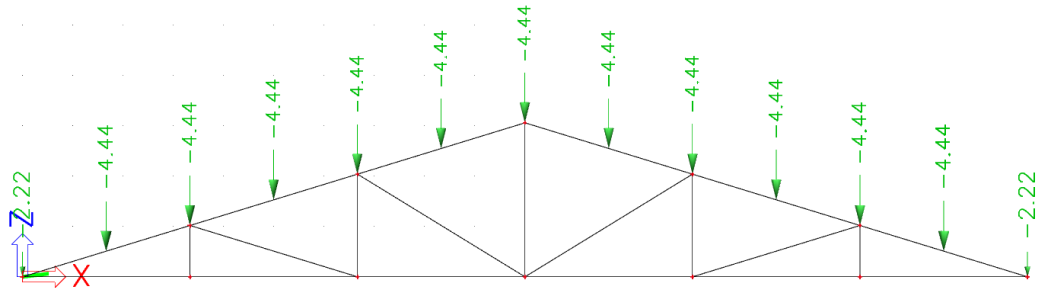
V – DIJAGRAM



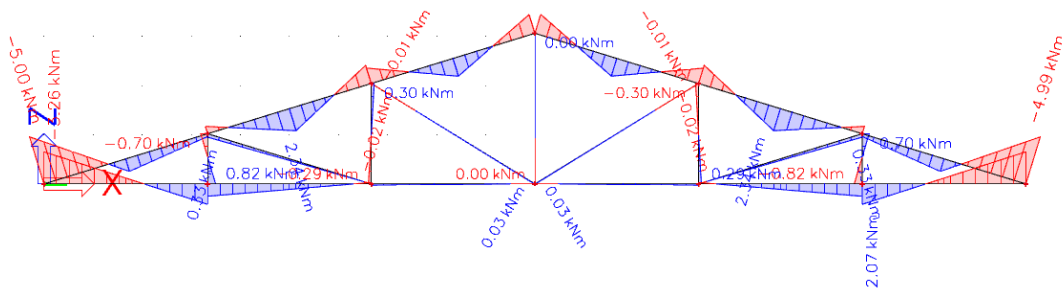
N – DIJAGRAM



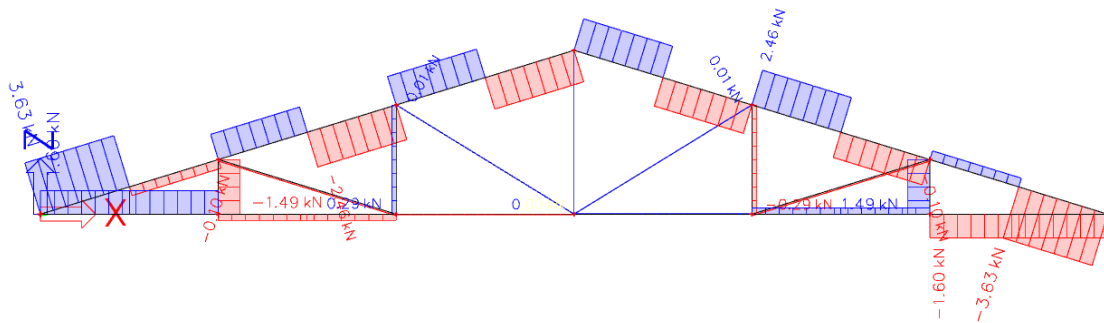
### 3.1.2. DODATNO STALNO OPTEREĆENJE (G1)



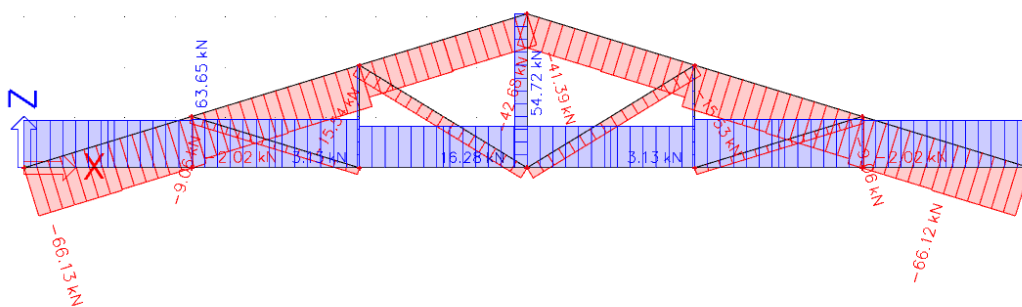
M – DIJAGRAM



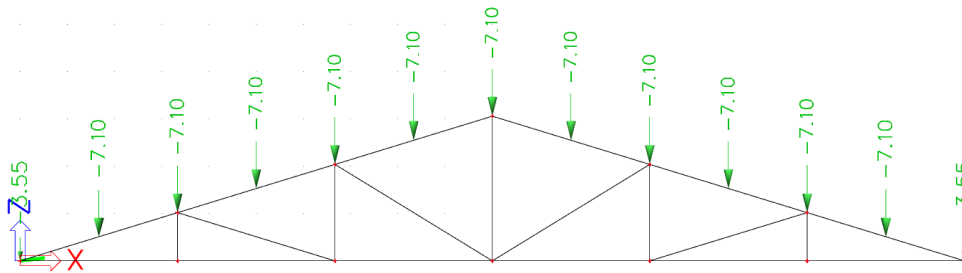
V – DIJAGRAM



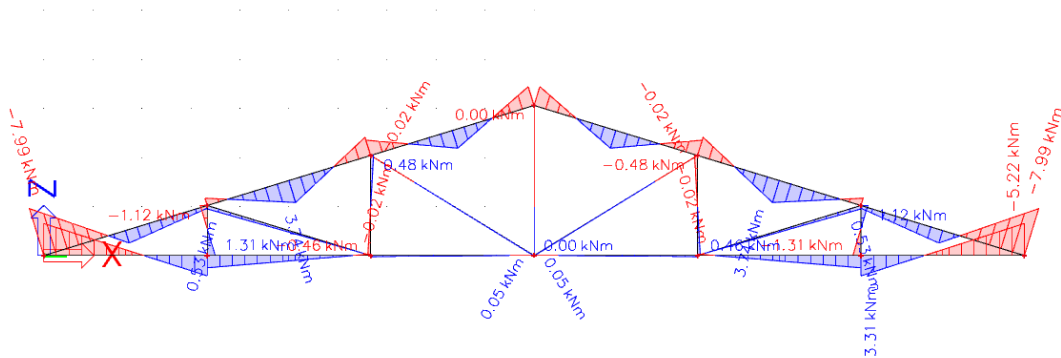
N – DIJAGRAM



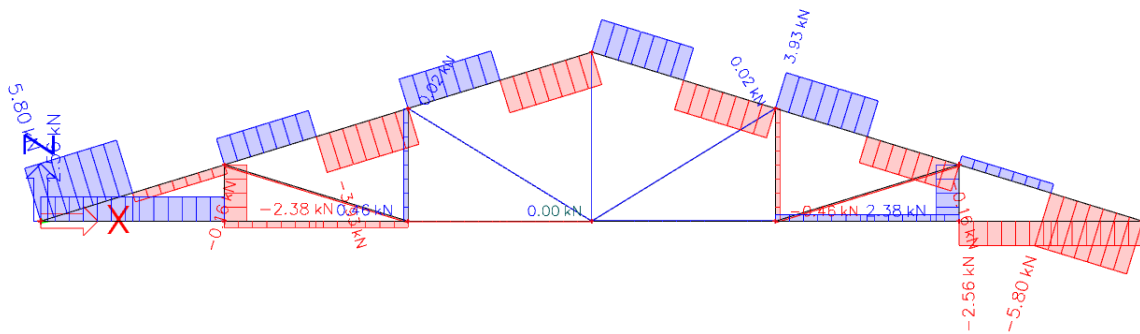
### 3.1.3. OPTEREĆENJE SNIJEGOM (S)



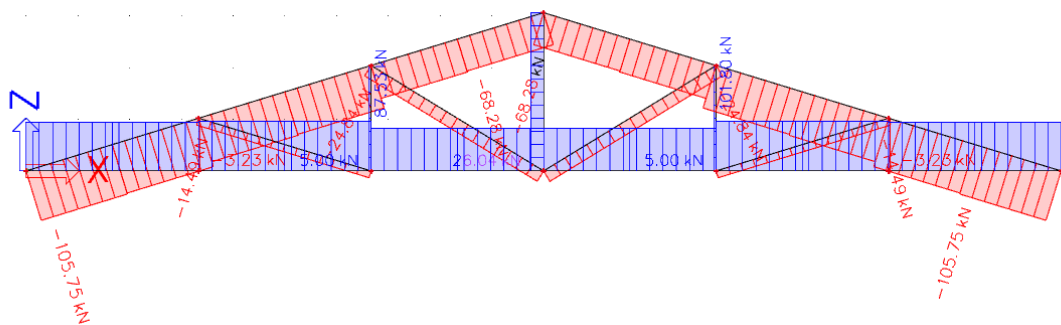
M – DIJAGRAM



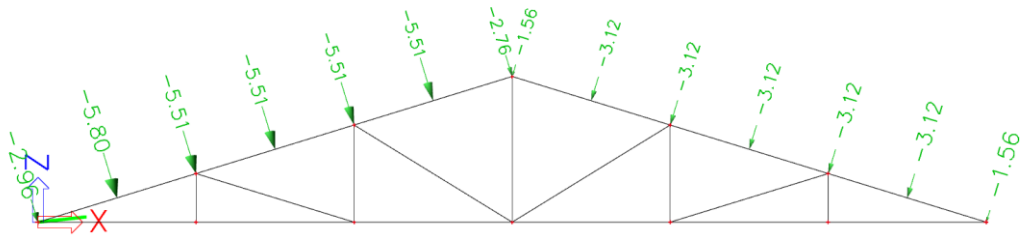
V – DIJAGRAM



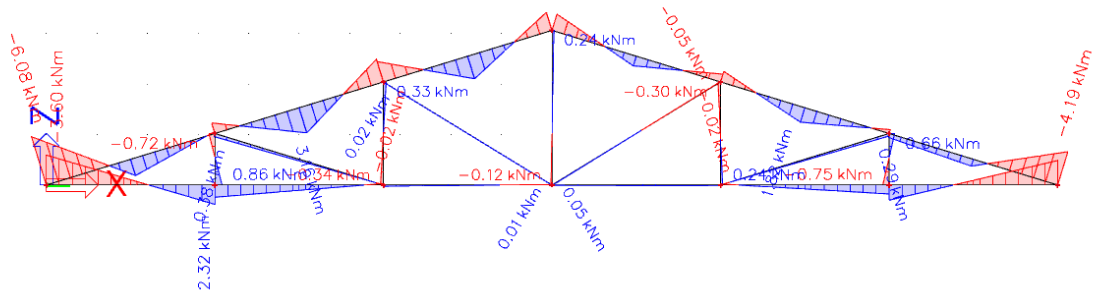
N – DIJAGRAM



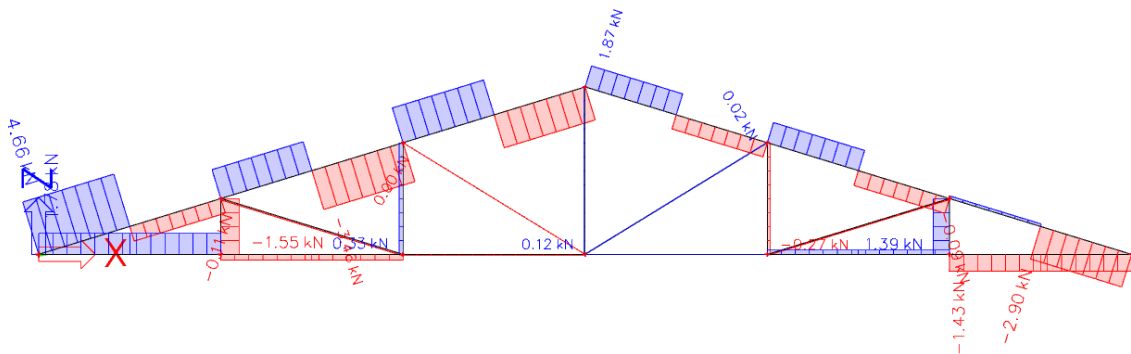
### 3.1.4. OPTEREĆENJE VJETROM (W1) – PRITISKAJUĆIM



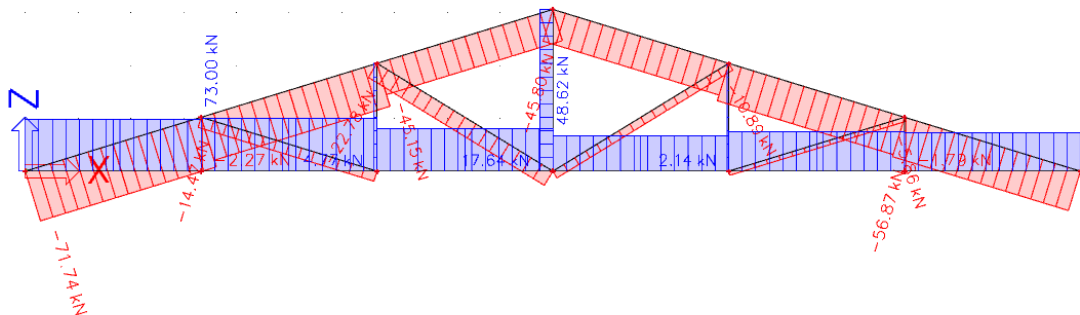
M – DIJAGRAM



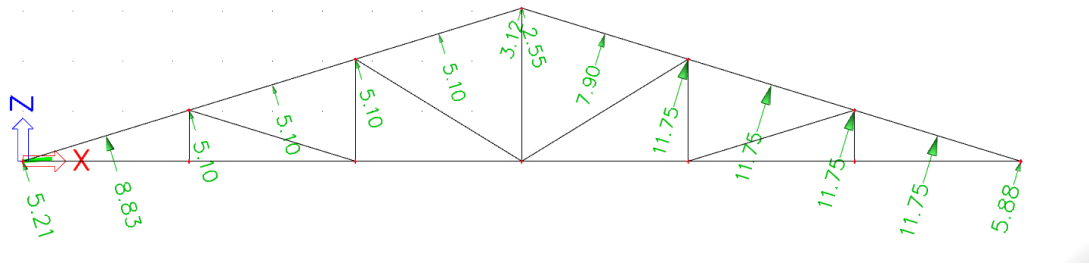
V – DIJAGRAM



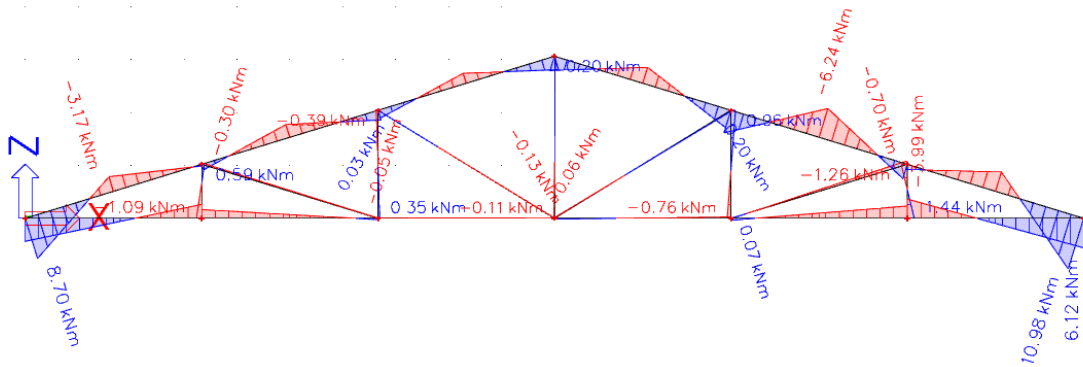
N – DIJAGRAM



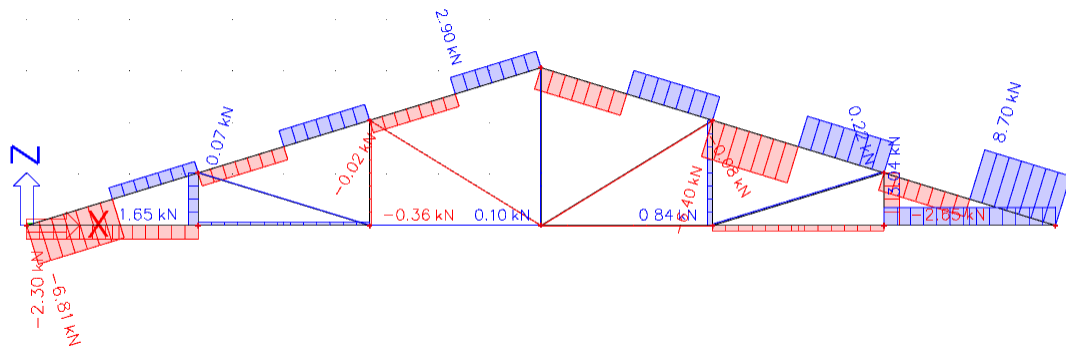
### 3.1.5. OPTEREĆENJE VJETROM (W2) – ODIŽUĆIM



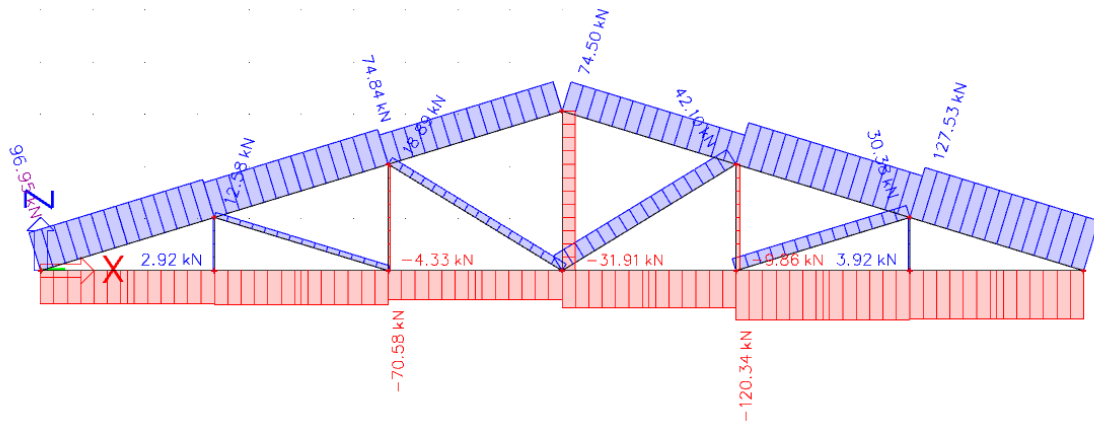
M – DIJAGRAM



V – DIJAGRAM



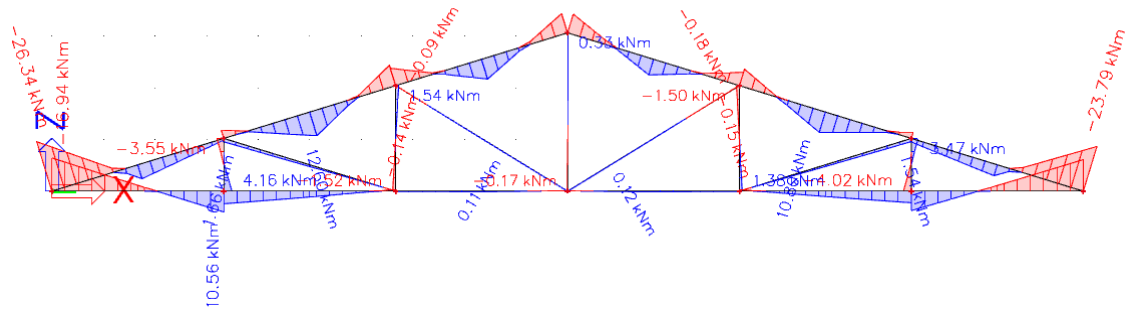
N – DIJAGRAM



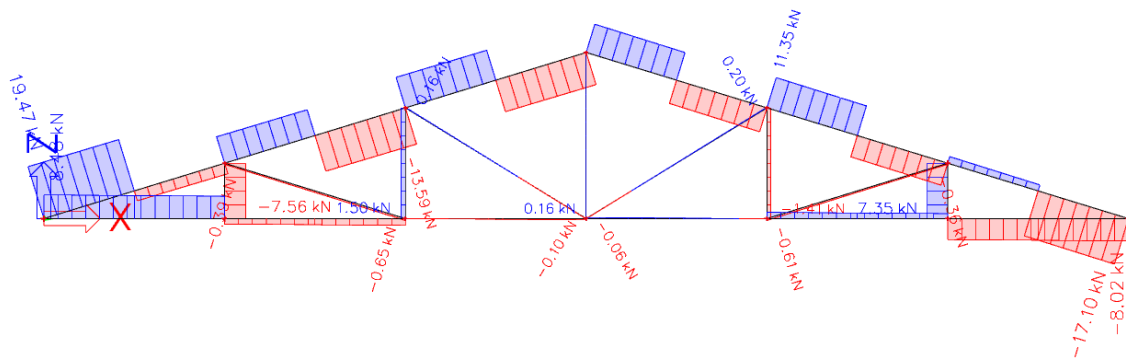
## 3.2. GSN – KOMBINACIJE OPTEREĆENJA

### 3.2.1. 1. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA: $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$

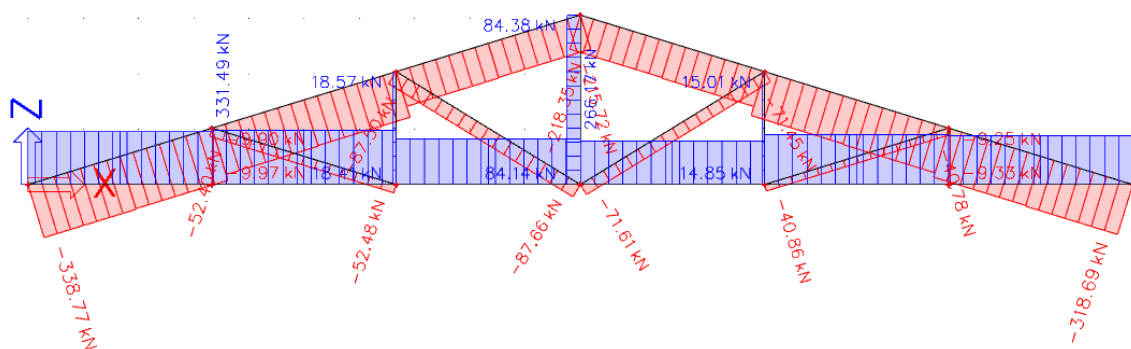
M – DIJAGRAM



V – DIJAGRAM

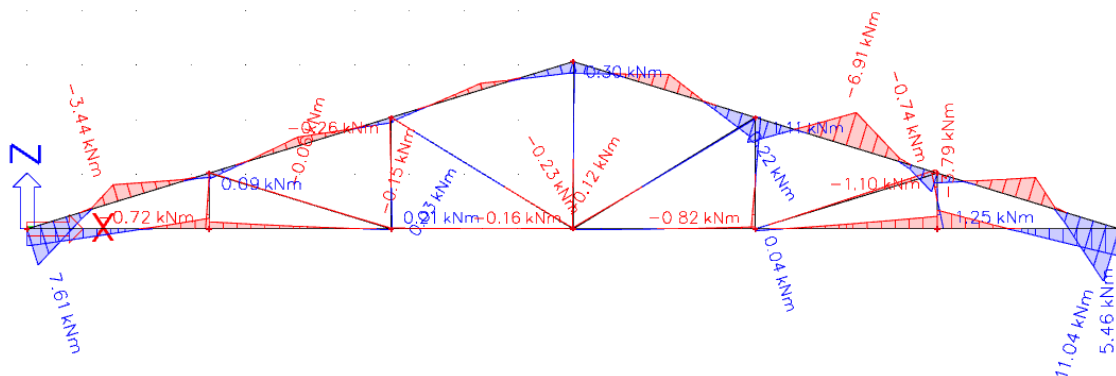


N – DIJAGRAM

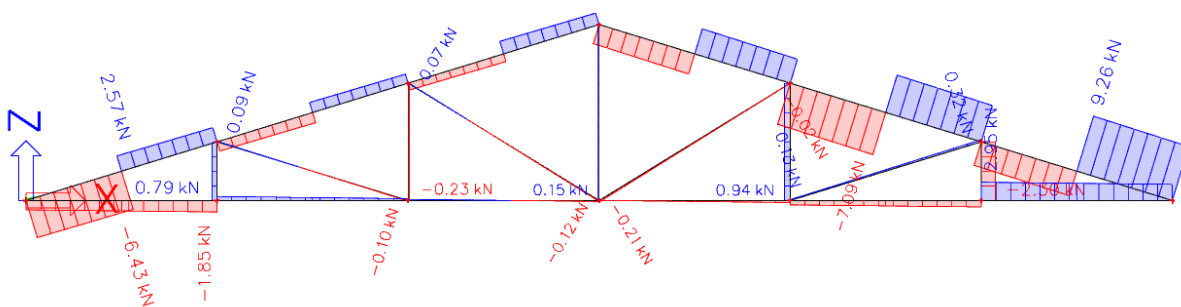


3.2.2. 2. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA:  $1,0 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_2$

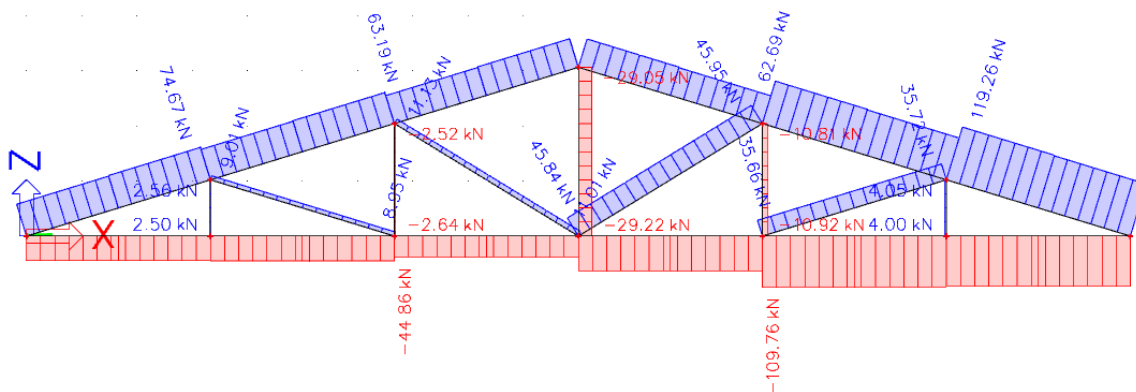
M - DIJAGRAM



V – DIJAGRAM



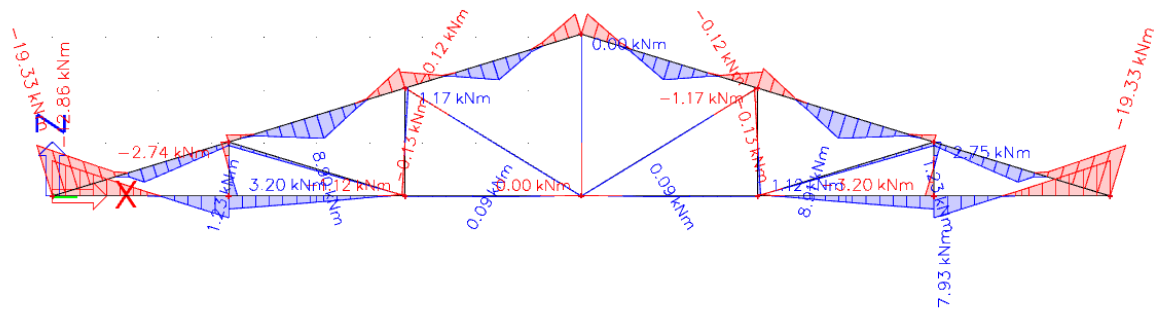
N – DIJAGRAM



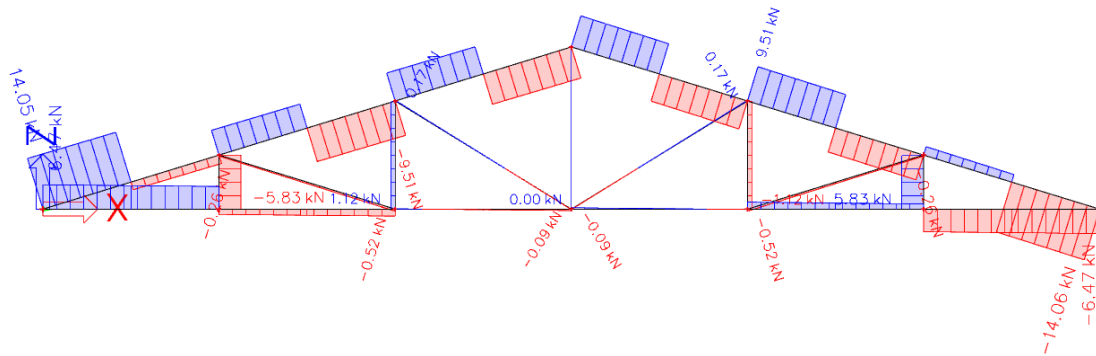


3.2.3. 3. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA :  $1,35 \cdot (G0 + G1) + 1,5 \cdot S$

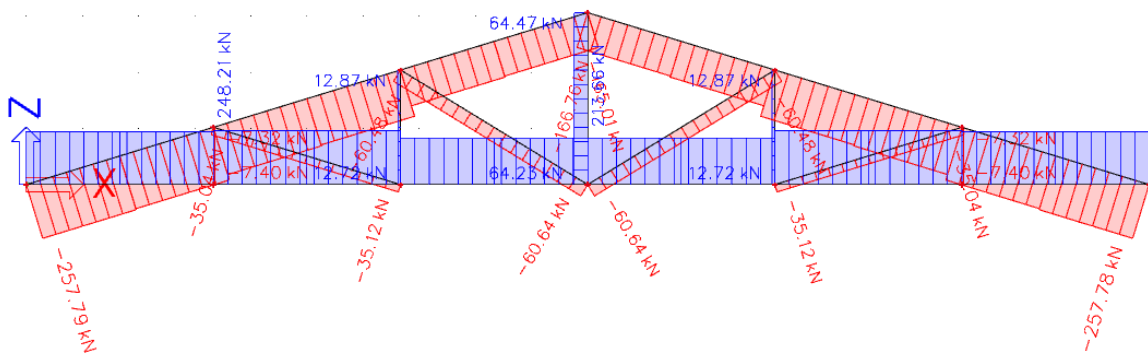
M – DIJAGRAM



V – DIJAGRAM

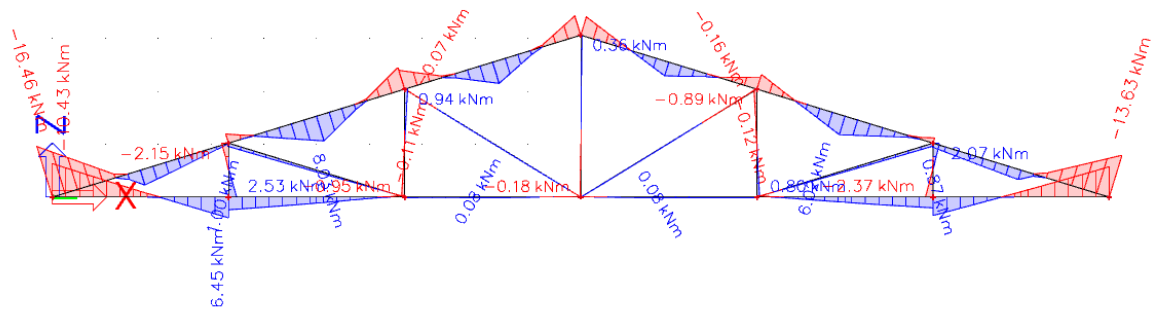


N – DIJAGRAM

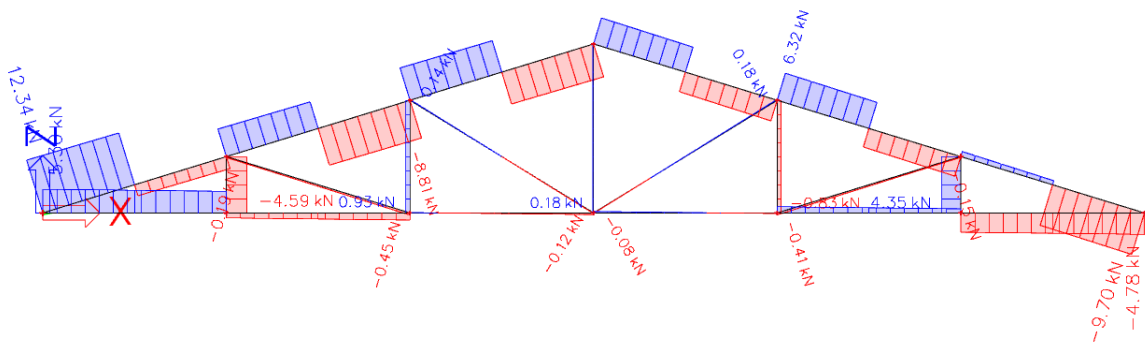


3.2.4. 4. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA :  $1,35 \cdot (G0 + G1) + 1,5 \cdot W1$

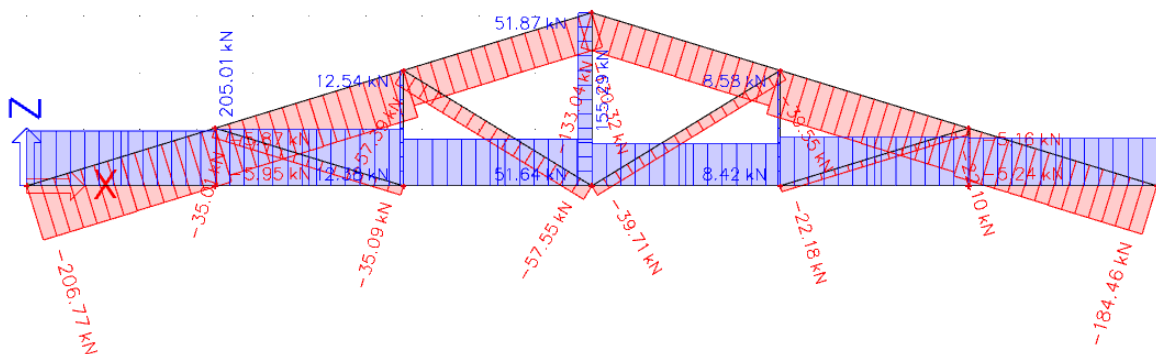
M – DIJAGRAM



V – DIJAGRAM

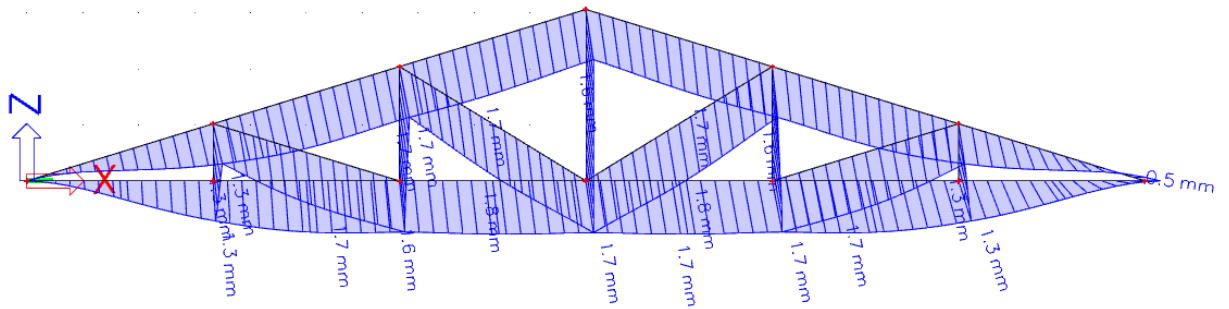


N – DIJAGRAM

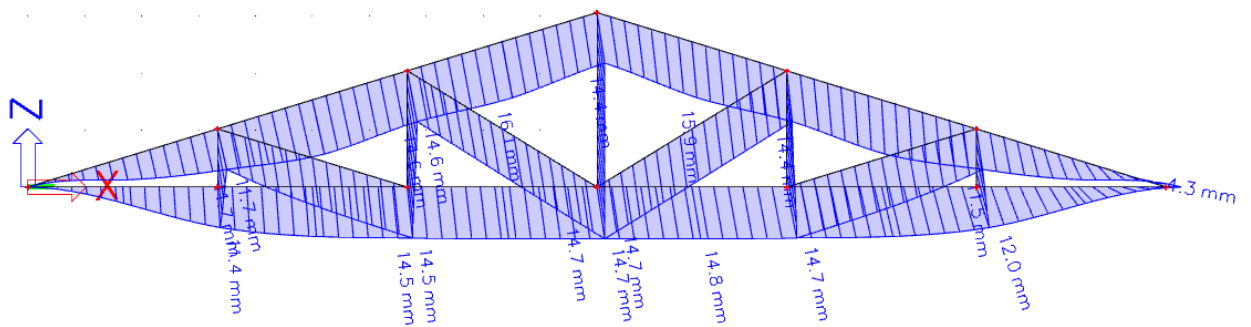


### 3.3. GSU – KONTROLA PROGIBA I INICIJALNI PROFILI

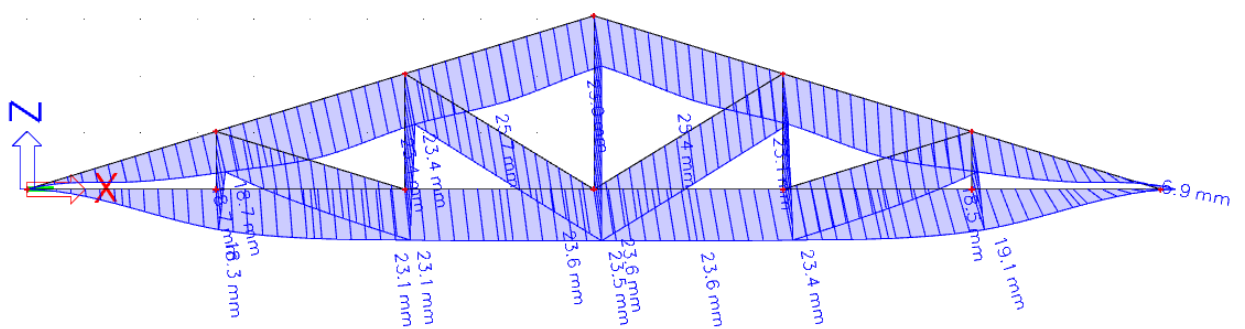
#### 1. VLASTITA TEŽINA



#### 2. DODATNO STALNO



#### 3. SNIJEG







## 2. Kombinacija

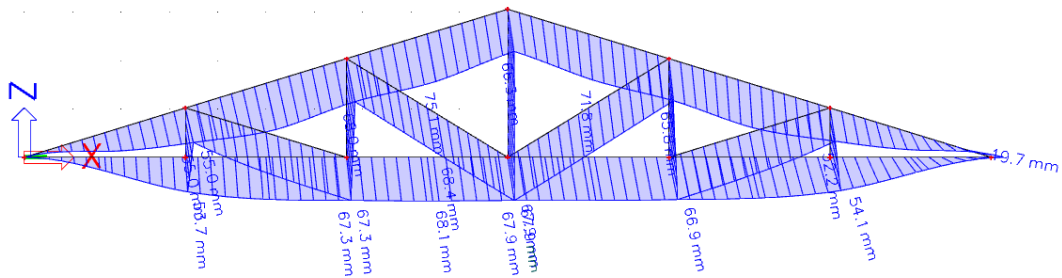
### Stalno djelovanje

$$W_{G,fin} = (W_{G0,inst} + W_{G1,inst}) * (1 + k_{def})$$

### Prevladavajuće promjenjivo djelovanje

$$W_{W2,fin} = W_{W2,inst} * (1 + \Psi_2 * k_{def})$$

$$W_{fin} = W_{G,fin} + W_{W2,fin}$$



### INICIJALNI PROFILI :

Gornji pojas: b/h=14/18 cm

Donji pojas: b/h=14/18 cm

Dijagonale: b/h=14/10 cm

Vertikale: b/h=14/10 cm

#### 4. DIMENZIONIRANJE

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

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

$$E_{o,05} = 7.4 \text{ kN/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:  $f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0.90$

Parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo  $\gamma_M = 1.3$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0.90 \cdot \frac{24 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{1.3} = 16.62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0.90 \cdot \frac{14 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{1.3} = 9.69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0.90 \cdot \frac{21 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{1.3} = 14.54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0.90 \cdot \frac{4 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{1.3} = 2.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### 4.1. Gornji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = 14/18 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = b \cdot h = 14 \cdot 18 = 252 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{14 \cdot 18^2}{6} = 756 \text{ cm}^3$$

1. Kombinacija:  $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$

$$M_{G1,Ed} = 26.33 \text{ kNm}$$

$$N_{G1,c,o,d} = -338.78 - \mathbf{47.68 \text{ kN}}$$
 (tlačna sila iz gornjeg pojasa u spregu) = -386.46 kN

$$V_{G1,v,d} = 19.47 \text{ kN}$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{G1,c,o,d} = \frac{N_{G1,c,o,d}}{A_{G1}} = \frac{386.46 \cdot 10^3}{252 \cdot 10^2} = 15.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{G1,m,d} = \frac{M_{G1,d}}{W_{G1}} = \frac{26.33 \cdot 10^6}{756 \cdot 10^3} = 34.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{G1,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{G1,v,d}}{A_{G1}} = 1.5 \cdot \frac{19.47 \cdot 10^3}{252 \cdot 10^2} = 1.16 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$\text{Budući da je } \frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{349 \cdot 18}{14^2} = 32.05 < 140 \text{ uzimamo } k_{crit} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 3.49 \text{ (m)} \rightarrow \text{izračunamo } k_c = 0.398$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{G1,c,o,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{G1,m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{15.33}{0.398 \cdot 14.54} + \frac{34.38}{1 \cdot 16.62} = 4.72 > 1$$

Potrebno je povećati poprečni presjek, **novi odabrani presjek je 24/30 cm.**



Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{G1,c,o,d} = \frac{N_{G1,c,o,d}}{A_{G1}} = \frac{386.46 \cdot 10^3}{720 \cdot 10^2} = 5.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{G1,m,d} = \frac{M_{G1,d}}{W_{G1}} = \frac{26.33 \cdot 10^6}{3600 \cdot 10^3} = 7.31 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{G1,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{G1,v,d}}{A_{G1}} = 1.5 \cdot \frac{19.47 \cdot 10^3}{720 \cdot 10^2} = 0.41 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$\text{Budući da je } \frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{349 \cdot 28}{26^2} = 14.46 < 140 \text{ uzimamo } k_{crit} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 3.49 \text{ (m) izračunamo } k_c = 0.790$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{G1,c,o,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{G1,m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{5.37}{0.790 \cdot 14.54} + \frac{7.31}{1 \cdot 16.62} = 0.907 < 1$$

**Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 90.7%**

Dokaz nosivosti i stabilnosti na poprečnu silu:

$$\frac{\tau_{G1,d}}{f_{v,d}} = \frac{0.41}{2.77} = 0.148 < 1 \rightarrow \text{iskorištenost } 14.8 \%$$

## 4.2. Donji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = 14/18 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = b \cdot h = 14 \cdot 18 = 252 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{14 \cdot 18^2}{6} = 756 \text{ cm}^3$$

1. Kombinacija opterećenja:  $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$  (pritisak)

$$M_{G2,Ed} = 16.94 \text{ kNm}$$

$$N_{G2,t,o,d} = 331.50 \text{ kN}$$

$$V_{G2,v,d} = 8.48 \text{ kN}$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{G2,t,o,d} = \frac{N_{G2,t,o,d}}{0.8 \cdot A_{G2}} = \frac{331.50 \cdot 10^3}{0.8 \cdot 252 \cdot 10^2} = 16.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{G2,m,d} = \frac{M_{G2,m,d}}{W_{G2}} = \frac{16.94 \cdot 10^6}{756 \cdot 10^3} = 22.41 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{G1,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{G1,v,d}}{A_{G1}} = 1.5 \cdot \frac{8.48 \cdot 10^3}{252 \cdot 10^2} = 0.34 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi: Budući da je  $\frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{1000 \cdot 18}{14^2} = 32.05 < 140$  uzimamo  $k_{crit} = 1.0$  ( $l_{eff} = 10$  m jer je donji pojas pridržan po sredini raspona )

Dokaz nosivosti i stabilnosti za vlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{G2,t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{G2,m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{16.14}{9.69} + \frac{22.41}{1 \cdot 16.62} = 3.01$$

2. Kombinacija opterećenja:  $1,0 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_2$  (odizanje)

$$M_{G2,Ed} = 5.46 \text{ kNm}$$

$$N_{G2,c,o,d} = -109.75 \text{ kN}$$

$$V_{G2,v,d} = 2.95 \text{ kN}$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{G1,c,o,d} = \frac{N_{G1,c,o,d}}{A_{G1}} = \frac{109.75 \cdot 10^3}{252 \cdot 10^2} = 4.36 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{G1m,d} = \frac{M_{G1,d}}{W_{G1}} = \frac{5.46 \cdot 10^6}{756 \cdot 10^3} = 7.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{G1,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{G1,v,d}}{A_{G1}} = 1.5 \cdot \frac{2.46 \cdot 10^3}{252 \cdot 10^2} = 0.15 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$\text{Budući da je } \frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{1000 \cdot 18}{14^2} = 91.84 < 140 \text{ uzimamo } k_{crit} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 10 \text{ (m)} \rightarrow \text{izračunamo } k_c = 0.081$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{G1,c,o,d}}{k_c \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{G1m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{4.36}{0.081 \cdot 14.54} + \frac{7.22}{1 \cdot 16.62} = 4.31$$

Potrebno je povećati poprečni presjek, **novi odabrani presjek je 24/30 cm.**

1. Kombinacija opterećenja:  $1,35 \cdot (G0 + G1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W1)$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{G2,t,o,d} = \frac{N_{G2,t,o,d}}{0.8 \cdot A_{G2}} = \frac{331.50 \cdot 10^3}{0.8 \cdot 720 \cdot 10^2} = 5.76 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{G2,m,y,d} = \frac{M_{G2,m,y,d}}{W_{G2}} = \frac{16.94 \cdot 10^6}{3600 \cdot 10^3} = 4.71 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{G1,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{G1,v,d}}{A_{G1}} = 1.5 \cdot \frac{8.48 \cdot 10^3}{728 \cdot 10^2} = 0.177 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za vlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{G2,t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{G2,m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{5.76}{9.69} + \frac{4.71}{1 \cdot 16.62} = 0.878 < 1$$

2. Kombinacija opterećenja:  $1,0 \cdot (G0 + G1) + 1,5 \cdot W2$  (odizanje)

$$M_{G2,Ed} = 5.46 \text{ kNm}$$

$$N_{G2,c,o,d} = -109.75 \text{ kN}$$

$$V_{G2,v,d} = 2.95 \text{ kN}$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{G1,c,o,d} = \frac{N_{G1,t,o,d}}{A_{G1}} = \frac{109.75 \cdot 10^3}{720 \cdot 10^2} = 1.52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{G1,M,y,d} = \frac{M_{G1,y,d}}{W_{G1}} = \frac{5.46 \cdot 10^6}{3600 \cdot 10^3} = 1.52 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{G1,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{G1,v,d}}{A_{G1}} = 1.5 \cdot \frac{2.46 \cdot 10^3}{720 \cdot 10^2} = 0.05 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$\text{Budući da je } \frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{1000 \cdot 30}{24^2} = 52.08 < 140 \text{ uzimamo } k_{crit} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 10 \text{ (m)} \rightarrow \text{izračunamo } k_c = 0.155$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{G1,c,o,d}}{k_c \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{G1,m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1.52}{0.155 \cdot 14.54} + \frac{1.52}{1 \cdot 16.62} = 0.766$$

**Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 87.8%** (kod 1. kombinacije)

Dokaz nosivosti i stabilnosti na poprečnu silu:

$$\frac{\tau_{G1,d}}{f_{v,d}} = \frac{0.151}{2.77} = 0.055 < 1$$

### 4.3. Dijagonale

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b/h = 10/14 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 10 \cdot 14 = 140 \text{ cm}^2$$

1. Kombinacija opterećenja:  $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$

$$N_{c,d} = -87,66 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-87,66 \cdot 10^3 \text{ N}}{140 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 6,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 3,91 \text{ (m) izračunamo } k_c = 0,173$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{6,26}{0,173 \cdot 14,54} = 2,5$$

Poprečni presjek ne zadovoljava, **novi odabrani presjek b/h = 24/12 cm.**

1. Kombinacija opterećenja:  $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$

$$N_{c,d} = -87,66 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-87,66 \cdot 10^3 \text{ N}}{12 \cdot 24 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 3,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 3,91 \text{ (m) izračunamo } k_c = 0,244$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,04}{0,244 \cdot 14,54} = 0,857 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je **85.7%**

#### 4.4. Vertikale

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b \cdot h = 10/14 \text{ cm}$$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 10 \cdot 14 = 140 \text{ cm}^2$$

1. Kombinacija opterećenja:  $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$

$$N_{t,d} = 84,38 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{84,38 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,8 \cdot 140 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 7,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{7,53}{9,69} = 0,777 < 1$$

2. Kombinacija opterećenja:  $1,0 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_2$

$$N_{c,d} = -29,05 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-29,05 \cdot 10^3 \text{ N}}{140 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 2,075 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 3,06 \text{ (m) izračunamo } k_c = 0,277$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,075}{0,277 \cdot 14,54} = 0,515 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 77.7% (za 1. kombinaciju)

Poprečni presjek povećavamo zbog ugradbe, **b/h= 12/24 cm:**

1. Kombinacija opterećenja:  $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W_1)$

$$N_{t,d} = 84,38 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{84,38 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,8 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 3,66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3,66}{9,69} = 0,378 < 1$$

2. Kombinacija opterećenja:  $1,0 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_2$

$$N_{c,d} = -29,05 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-29,05 \cdot 10^3 \text{ N}}{12 \cdot 24 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 1,01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

Za  $l_{ef} = 3,06$  (m) izračunamo  $k_c = 0,380$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1,01}{0,380 \cdot 14,54} = 0,183 < 1$$

**Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 37,8 %**

#### 4.5. Podrožnice

-Unutar sustava stabilizacije:

Pretpostavljeni poprečni presjek:

$$b \cdot h = 14/16 \text{ cm}$$

Karakteristične vrijednosti poprečnog presjeka:

$$W_y = 597.33 \text{ cm}^3 \quad W_z = 522.67 \text{ cm}^3$$

-Van sustava stabilizacije:

Pretpostavljeni poprečni presjek:

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

Karakteristične vrijednosti poprečnog presjeka:

$$W_y = 512 \text{ cm}^3 \quad W_z = 384 \text{ cm}^3$$

Vrijednosti raspodjeljenog opterećenja po podrožnici:  $x = 1.74 \text{ (m)}$

$$s = 0.8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.74 \text{ m} = 1.39 \text{ kN/m}'$$

$$g = g_{\text{stalno}} \cdot x = 0.5 \cdot 1.74 = 0.87 \text{ kN/m}'$$

$$w = 1.18 \text{ kN/m}'$$

KOMBINACIJA: 1.35 G + 1.5 (S+W)

$$E_{y,d} = g_d \cdot \sin 17^\circ \cdot 1.35 + (s_d \cdot \sin 17^\circ + w) \cdot 1.5 = 2.49 \text{ kN/m}'$$

$$E_{z,d} = g_d \cdot \cos 17^\circ \cdot 1.35 + s_d \cdot \cos 17^\circ \cdot 1.5 = 1.50 \text{ kN/m}'$$

Vrijednosti reznih sila:

$$M_{y,d} = 8.48 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 5.00 \text{ kNm}$$

$$T_{y,d} = 3.92 \text{ kN}$$

$$T_{z,d} = 6.65 \text{ kN}$$

$$N_{c,0,d} = 48.21 \text{ kN} \rightarrow \text{očitano}$$

Koeficijent redukcije dvoodnog savijanja:  $k_{\text{red}} = 0.9$  - za pravokutne presjeke

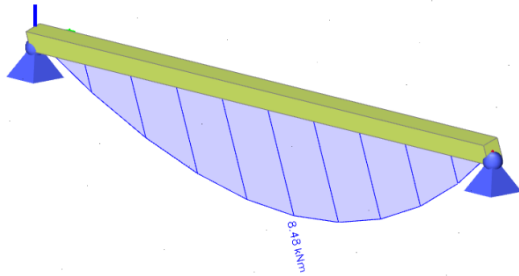
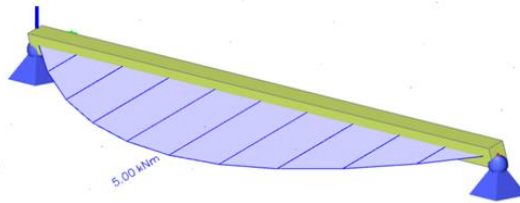
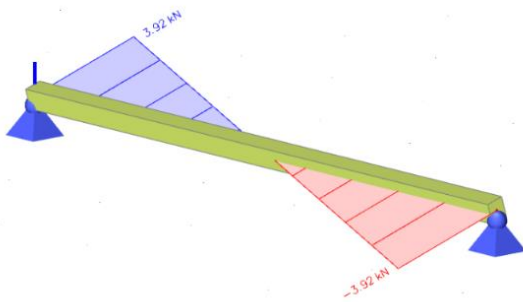
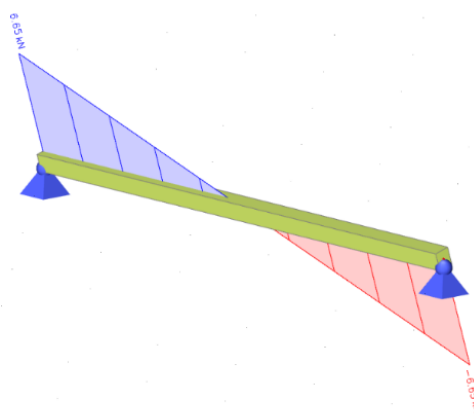
Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$k_{\text{crit}} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko slabije osi:

Za  $l_{ef} = 5.1 \text{ (m)}$  izračunamo  $k_c = 0.197$



$M_{y,d}$  $M_{z,d}$  $T_{y,d}$  $T_{z,d}$ 

#### 4.5.1. Podrožnice unutar sustava stabilizacije

Proračun naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W} = \frac{8.48 \cdot 10^3}{597.33} = 14.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W} = \frac{5.00 \cdot 10^3}{522.67} = 9.57 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A} = \frac{48.21 \cdot 10^3}{140 \cdot 160} = 2.15 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{y,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{3.92 \cdot 10^3}{140 \cdot 160} = 0.26 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{z,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{6.65 \cdot 10^3}{140 \cdot 160} = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti na tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{14.20}{16.62} + 0.9 \cdot \frac{9.57}{16.62} + \frac{2.15}{0.197 \cdot 14.54} = 2.12$$

Poprečni presjek ne zadovoljava, **novi pretpostavljeni presjek je 18/22cm.**

Koeficijent redukcije dvoosnog savijanja:  $k_{red}=0.9$  - za pravokutne presjeka

Koeficijent izbočavanja oko osi:  $k_{crit}=1.0$

Proračun naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W} = \frac{8.48 \cdot 10^6}{1452 \cdot 10^3} = 5.84 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W} = \frac{5.00 \cdot 10^6}{1188 \cdot 10^3} = 4.21 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A} = \frac{47.35 \cdot 10^3}{22 \cdot 18 \cdot 10^2} = 1.12 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{y,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{3.92 \cdot 10^3}{22 \cdot 18 \cdot 10^2} = 0.10 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{z,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{6.65 \cdot 10^3}{22 \cdot 18 \cdot 10^2} = 0.17 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti na tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{5.84}{16.62} + 0.9 \cdot \frac{4.21}{16.62} + \frac{1.12}{0.315 \cdot 14.54} = 0.824$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 82.4%

Dokaz nosivosti i stabilnosti za poprečnu silu:

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0.10}{2.77}\right)^2 + \left(\frac{0.17}{2.77}\right)^2 = 0.005 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 0.5 %

**Usvojen poprečni presjek: b/h=18/22 cm**

#### 4.5.2 Podrožnice van sustava stabilizacije

Proračun naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W} = \frac{8.48 \cdot 10^6}{512 \cdot 10^3} = 16.56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W} = \frac{5.00 \cdot 10^6}{384 \cdot 10^3} = 13.02 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{y,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{3.92 \cdot 10^3}{12 \cdot 16 \cdot 10^2} = 0.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{z,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{6.65 \cdot 10^3}{12 \cdot 16 \cdot 10^2} = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti na moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{16.56}{16.62} + 0.9 \cdot \frac{13.02}{16.62} = 1.70$$

Poprečni presjek ne zadovoljava, **novi predpostavljeni presjek je 14/22cm.**

Koeficijent redukcije dvoosnog savijanja:  $k_{red}=0.9$  - za pravokutne presjeke

Koeficijent izbočavanja oko osi:  $k_{crit}= 1.0$

Proračun naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W} = \frac{8.48 \cdot 10^6}{1129.33 \cdot 10^3} = 7.51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W} = \frac{5.00 \cdot 10^6}{968.67 \cdot 10^3} = 6.69 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{y,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{3.92 \cdot 10^3}{22 \cdot 14 \cdot 10^2} = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1.5 \cdot \frac{T_{z,d}}{A} = 1.5 \cdot \frac{6.65 \cdot 10^3}{22 \cdot 14 \cdot 10^2} = 0.22 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti na moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{7.51}{16.62} + 0.9 \cdot \frac{6.69}{16.62} = 0.841$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 84.1%

Dokaz nosivosti i stabilnosti za poprečnu silu:

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0.13}{2.77}\right)^2 + \left(\frac{0.22}{2.77}\right)^2 = 0.0085 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 0.85 %

**Usvojen poprečni presjek: b/h=14/22 cm**

**4.6. Spreгови**

$$F_d = N_d \frac{1 - kc}{30} = 272.55 \cdot \frac{1 - 0.794}{30} = 1.87 \text{ kN}$$

$$\Sigma N_{\text{Gornji pojas}} = 1635.27 \text{ (kN)}$$

$$N_d = \Sigma N_{\text{Gornji pojas}} / 6 = 272.55 \text{ (kN)}$$

$$k_c = 0.794$$

$$q_w = C_{pe,10} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{2} = -0.8 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{1}{2} = 2 \text{ (kN/m)}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{10 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 0.5 \quad (C_{pe,10} = -0.8)$$

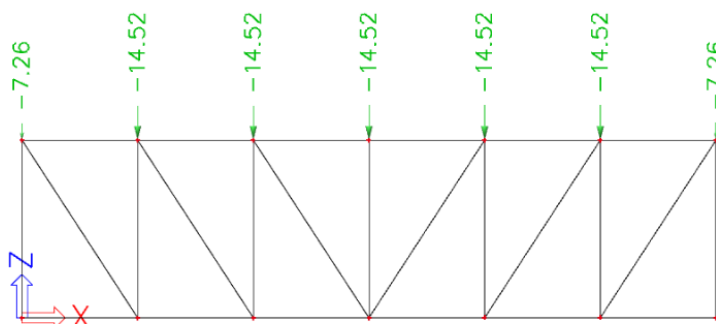
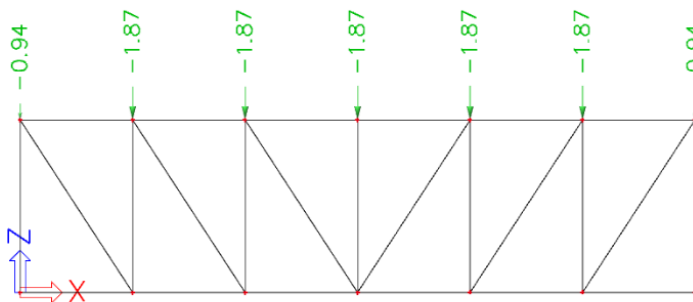
$$q_d = k_1 \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l} = 0.866 \cdot \frac{5.5 \cdot 272.55}{30 \cdot 20} = 2.16 \text{ (kN/m)}$$

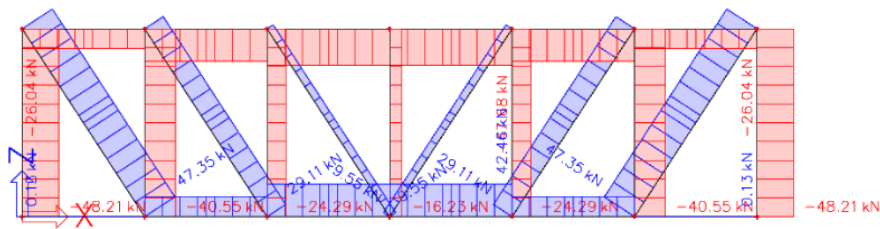
$$n = 11/2 = 5.5$$

$$k_1 = \min \left[ 1; \sqrt{\frac{15}{l}} \right] = 0.866$$

$$q_{tot,d} = q_d + q_w = 2 + 2.16 = 4.16 \text{ (kN/m)}$$

$$Q_d = (q_d + q_w) \cdot 3.49 = 14.52 \text{ kN}$$





### Dokaz za dijagonale

$$N_{D1,d} = 47.35 \text{ (kN)}$$

$$\varnothing 20 \text{ (M20)} \quad A_{netto} = 3,142 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{D1,d} = \frac{N_{D1,d}}{A_{netto}} = \frac{47.35 \cdot 10^3}{3,142 \cdot 10^2} = 150.70 \text{ N/mm}^2$$

S235

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti na vlačnu silu:

$$\frac{\sigma_{D1,d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{150.70}{188.00} = 0,802 < 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava, iskorištenost je 80.2 %

Pozicija	Konačne dimenzije
Gornji pojas	b/h=24/30cm
Donji pojas	b/h=24/30cm
Dijagonale	b/h=12/24cm
Vertikle	b/h=12/24cm
Podrožnice unutar sustava stabilizacije	b/h=18/22cm
Podrožnice van sustava stabilizacije	b/h=14/22cm
Spregovi	Ø20mm

## 5. PRORAČUN SPAJALA

### 5.1. PRORAČUN VLAČNOG NASTAVKA DONJEG POJASA

Osnovni materijal: puno drvo, 24/30 cm, klasa čvrstoće C 24, Uporabna klasa 2

Vezice: 2x10/30, klasa čvrstoće C 24

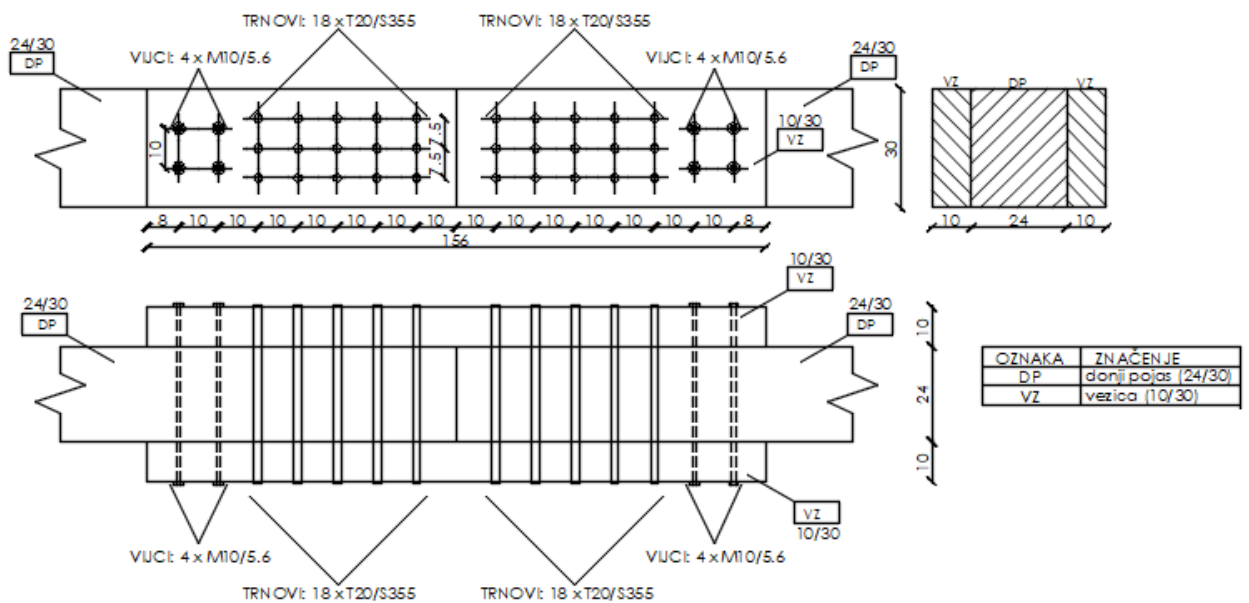
Djelovanja: stalno + promjenjivo kratkotrajno  $F_d=266.20$  kN

Trnovi T20/S335

Vijci M10/klasa 5.6

$$k_{mod} = 0.90$$

$$\gamma_M = 1.3 \text{ (drvo)}; \gamma_M = 1.1 \text{ (vijci)}$$



Vezice

$$A = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 30 = 600 \text{ cm}^2$$

$$A_{netto} = A - 2 \cdot 4 \cdot b \cdot d = 600 - 2 \cdot 4 \cdot 20 \cdot 1 = 440 \text{ cm}^2$$

Dokaz

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} f_{t,0,d}} = \frac{6.36}{9.69} = 0.66 < 1$$

Osiguranje vezice

- Proračunska vrijednost vlačne sile

$$F_{t,d} = \frac{F_d \cdot t}{2 \cdot n \cdot a}$$

$$F_d = \frac{N_d}{2} = \frac{266.20}{2} = 133.10 \text{ kN}$$

$$F_{t,d} = \frac{133.10 \cdot 10^3 \cdot 100}{2 \cdot 4 \cdot 100} = 16637.50 \text{ N}$$

- Karakteristična vrijednost vlačne nosivosti vijka

$$M10 A_{netto} = 1.41 \text{ cm}^2$$

$$\text{KLASA 5.6} - f_{u,k} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ax,k} = A_{netto} \cdot f_{u,k} = 1.41 \cdot 10^2 \cdot 500 = 7050 \text{ N}$$

- Karakteristična vrijednost vlačne nosivosti vijka na kontaktu pločica – drvo

$$f_{c,90,k} = 2.8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{pločica } \phi 58 - 14/6 (A = 2500 \text{ mm}^2)$$

$$R_{c,90,k} = 3 \cdot f_{c,90,k} \cdot A = 3 \cdot 2.8 \cdot 2500 = 21000 \text{ N} > R_{ax,k}$$

- Proračunska vrijednosti nosivosti

$$R_{ax,d} = k_{mod} \frac{R_{ax,k}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{7050}{1.1} = 5768.18 \text{ N}$$

- Potreban broj vijaka za osiguranje vezice

$$n = \frac{F_{t,d}}{R_{ax,d}} = \frac{16637.50}{5768.18} = 2.88 \rightarrow \text{odabrano } n = 4$$

- Smanjenje zbog većeg broja vijaka u nizu (2 vijaka u nizu – u smjeru sile;  $a_1 = 100 \text{ mm}$ )

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

$$n_{ef} = \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 20}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min\{2; 1.57\} = 1.57$$

Efektivan broj rezova

$$\frac{F_{t,d}}{R_{ax,d,tot}} = \frac{16637.50}{2 \cdot 1.57 \cdot 5768.18} = 0.92 < 1.0$$

Trnovi

- Karakteristične vrijednosti tlačne čvrstoće po plaštu rupe i momenta popuštanja

$$f_{h,o,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 350 = 22.96 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 20^{2,6} = 369291.59 \text{ Nmm}$$

- Karakteristična vrijednost nosivosti trna po rezu

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{25.83}{25.83} = 1,0$$

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,0}{1 + 1,0}} \cdot \sqrt{2 \cdot 369291.59 \cdot 22.96 \cdot 20} = 18416.23 \text{ N}$$

- Tražene debljine elementa za punu nosivost

$$t_{v,REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{1,0}{1 + 1,0}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{369291.59}{22.96 \cdot 20}} = 111.35 \text{ mm}$$

$$t_{v,REQ} = 111.35 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{reducirati nosivost}$$

$$t_{n,REQ} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1 + \beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,o,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1 + 1,0}} \right) \cdot \sqrt{\frac{369291.59}{22.96 \cdot 20}}$$

$$= 92.24 \text{ mm}$$

$$t_{2,REQ} = 92.24 \text{ mm} < t_2 = 240 \text{ mm}$$



$$\text{Reducirana nosivost } R_{k,red} = \frac{t_1}{t_{v,REQ}} \cdot R_k = \frac{100}{111.35} \cdot 18416.23 = 16539.05N$$

Proračunska vrijednost nosivosti trna po rezu:

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1$$

$$R_d = 0.9 \cdot \frac{16539.05}{1.1} = 13531.95N$$

Potreban broj trnova:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{266.20}{2 \cdot 13.53} = 9.84 \quad \text{ODABRANO : 15 trnova}$$

Smanjenje zbog većeg broja trnova u nizu (5 trnova u nizu – u smjeru sile;  $a_1 = 100$  mm)

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

$$n_{ef} = \min \left\{ 5; 5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 20}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min\{5; 3.58\} = 3.58$$

Efektivan broj rezova

$$\frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{266.20 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 3.58 \cdot 13531.95} = 0.92 < 1.0$$

$$(R_{d,TOT} = 3reda \cdot 2reza \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

## Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci

Paralelno sa vlakancima:

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

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

Okomito na vlakanca:

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

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

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{1,t} = \min(7d; 80 \text{ mm}) = \min(7 \cdot 20; 80) = 80 \text{ mm}$$

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

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

## 5.2 DETALJ 2 – DVOSTRUKI ZASJEK

$$b/h = 24/30 \text{ cm}$$

$$N_d = -386.46 \text{ kN}$$

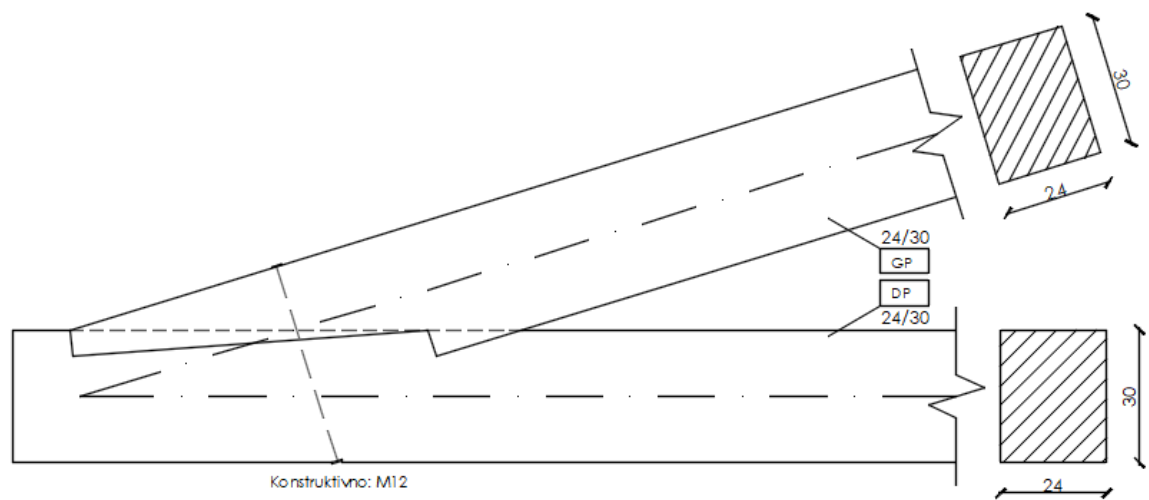
$$t_{v,\max} = \frac{h}{4} = \frac{30}{4} = 7.5 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 7 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$$

$$t_{v,2} = 6 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$$

$$\gamma = 17^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO



## PREDNJI ZASJEK

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

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{17^\circ}{2} = 8,5^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 \cdot 1,73} \cdot \sin^2(8,5^\circ)\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin(8,5^\circ) \cdot \cos(8,5^\circ)\right)^2 + \cos^4(8,5^\circ)}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 13,79 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{24 \cdot 7}{\cos(8,5^\circ)} = 169,87 \text{ cm}^2$$

$$R_{1,d} = 13,79 \cdot 10^{-1} \cdot 145,60 = 234,25 \text{ kN}$$

$$\overline{R}_{1,d} = \frac{R_{1,d}}{\cos \alpha} = 236,85 \text{ kN}$$

## STRAŽNJI ZASJEK

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

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

$$\alpha = \gamma = 17^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 \cdot 1,73} \cdot \sin^2(17^\circ)\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin(17^\circ) \cdot \cos(17^\circ)\right)^2 + \cos^4(17^\circ)}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 11,92 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_2 \cdot t_{v,2}}{\cos \alpha} = \frac{24 \cdot 6}{\cos(17^\circ)} = 150,58 \text{ cm}^2$$

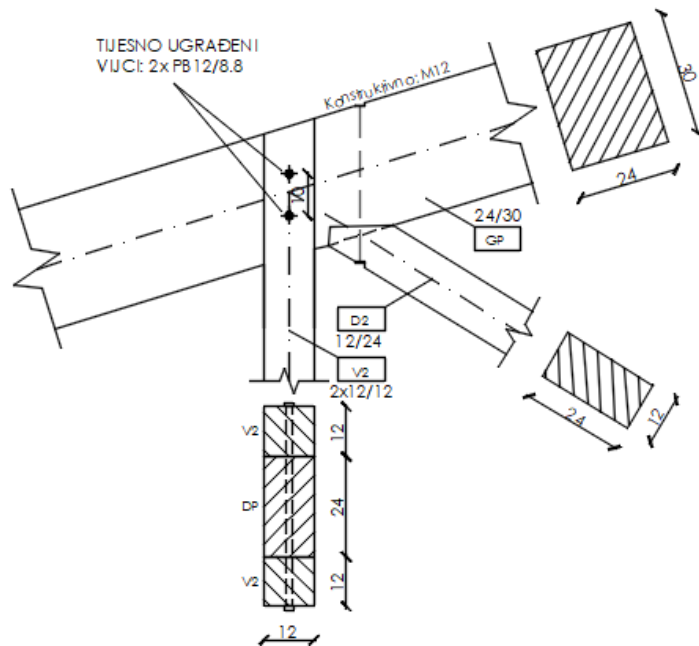
$$R_{1,d} = 11,92 \cdot 10^{-1} \cdot 150,58 = 179,49 \text{ kN}$$

$$\overline{R}_{2,d} = R_{2,d} = 179,49 \text{ kN}$$

$$R_{tot,d} = \overline{R}_{1,d} + \overline{R}_{2,d} = 236,85 + 179,49 = 416,34 \text{ kN}$$

$$\text{DOKAZ: } \frac{386,46}{416,34} = 0,928 < 1 \rightarrow \text{Iskorištenost } 92,8\%$$

## 5.3 DETALJ 3 – ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI



Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 48^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{48^\circ}{2} = 24^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 \cdot 1,73} \cdot \sin^2(24^\circ)\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin(24^\circ) \cdot \cos(24^\circ)\right)^2 + \cos^4(24^\circ)}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 9,96 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{24 \cdot 4}{\cos(24^\circ)} = 105,09 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{87,50 \cdot \cos(24^\circ)}{105,09} \cdot 10 = 7,61 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{7,61}{9,96} = 0,764 < 1 \rightarrow \text{Iskorištenost: } 76,4\%$$

Spoj štapa – tijesno ugrađeni vijci

Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 18,57 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

$$\alpha = 73^\circ$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,53 \cdot \sin^2(73^\circ) + \cos^2(73^\circ)} = 17,01 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 12^{2,6} = 153490,85 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} = R_k = \sqrt{2 \cdot 153490,85 \cdot 17,01 \cdot 12} = 7915,88 \text{ N}$$

$$\beta = \frac{f_{h,\alpha,k}}{f_{h,0,k}} = \frac{17,01}{25,26} = 0,673$$

Kontrola debljine elemenata – bočna drva:

$$t_{REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{0,673}{1+0,673}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{153490,85}{17,01 \cdot 12}} = 103,07 \text{ mm}$$

$$t_{REQ} = 103,07 \text{ mm} < t_1 = 120 \text{ mm}$$

Srednje drvo – nije potrebno kontrolirati!

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1$$

$$R_d = 0,9 \cdot \frac{7,916}{1,1} = 6,48 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{18,57}{2 \cdot 6,48} = 1,43 \quad \text{ODABRANO : 2 vijka}$$

Smanjenje zbog većeg broja vijaka u nizu (4 vijaka – u smjeru sile;  $a_1 = 100$  mm)

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 12}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - 73}{90} + 2 \cdot \frac{73}{90}$$

$$n_{ef} = 1,96$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{18,57}{1 \cdot 2 \cdot 1,96 \cdot 5,76} = 0,822 < 1,0 \quad \Leftrightarrow (R_{d,TOT} = 1red \cdot 2reza \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:

Međusobno – paralelno sa vlakancima (bočna drva):

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 73^\circ) \cdot 12 = 43,02 \text{ mm}$$

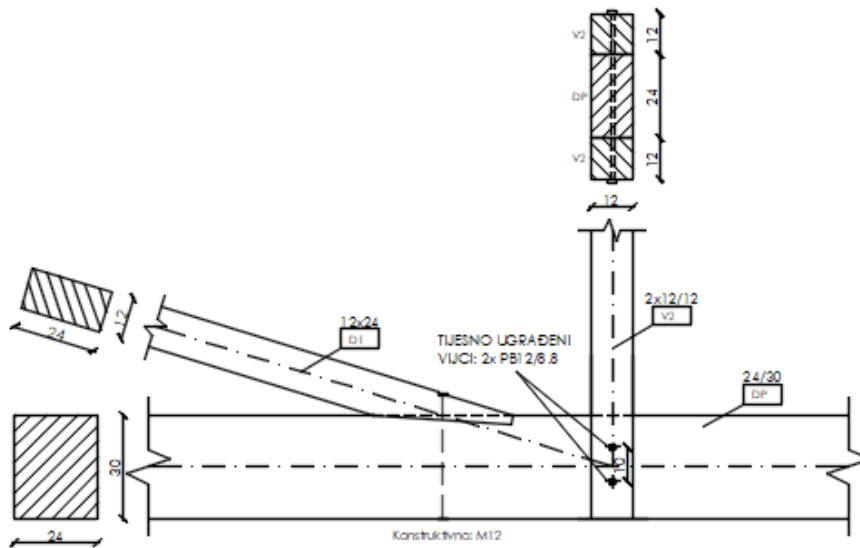
Paralelno sa vlakancima od opterećenog kraja (bočna drva):

$$a_{1,t,req} = t \cdot d = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}$$

Međusobno – od opterećenog i neopterećenog kraja (okomito s vlakancima):

$$a_{2,req} = a_{2,t,req} = a_{2,c,req} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm}$$

## 5.4 DETALJ 4 – ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI



Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 17^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{17^\circ}{2} = 8,5^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 \cdot 1,73} \cdot \sin^2(8,5^\circ)\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin(8,5^\circ) \cdot \cos(8,5^\circ)\right)^2 + \cos^4(8,5^\circ)}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 13,79 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{24 \cdot 3}{\cos(8,5^\circ)} = 72,80 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{52,48 \cdot \cos(8,5^\circ)}{72,80} \cdot 10 = 7,13 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{7,13}{9,96} = 0,716 < 1 \rightarrow \text{Iskorištenost: } 71,6\%$$



Spoj štapa – tijesno ugrađeni vijci

Donji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikala: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 18,57 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,53 \cdot \sin^2(90^\circ) + \cos^2(90^\circ)} = 16,51 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 12^{2,6} = 153490,85 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} = R_k = \sqrt{2 \cdot 153490,85 \cdot 16,51 \cdot 12} = 7798,67 \text{ N}$$

$$\beta = \frac{f_{h,\alpha,k}}{f_{h,0,k}} = \frac{16,51}{25,26} = 0,654$$

Kontrola debljine elemenata – bočna drva:

$$t_{REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{0,654}{1+0,654}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{153490,85}{16,51 \cdot 12}} =$$

$$104,27 \text{ mm}$$

$$t_{REQ} = 104,27 \text{ mm} < t_1 = 120 \text{ mm}$$

Srednje drvo – nije potrebno kontrolirati!

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1$$

$$R_d = 0,9 \cdot \frac{7,799}{1,1} = 6,38 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{18,41}{2 \cdot 6,38} = 1,44 \quad \text{ODABRANO : 2 vijka}$$

Smanjenje zbog većeg broja vijaka u nizu (4 vijaka – u smjeru sile;  $a_1 = 100$  mm)

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ 2; 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 12}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - 90}{90} + 2 \cdot \frac{90}{90}$$

$$n_{ef} = 2$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{18,41}{1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 6,38} = 0,721 < 1,0 \quad \Leftrightarrow (R_{d,TOT} = 1red \cdot 2reza \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:

Međusobno – paralelno sa vlakancima (bočna drva):

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 90^\circ) \cdot 12 = 36 \text{ mm}$$

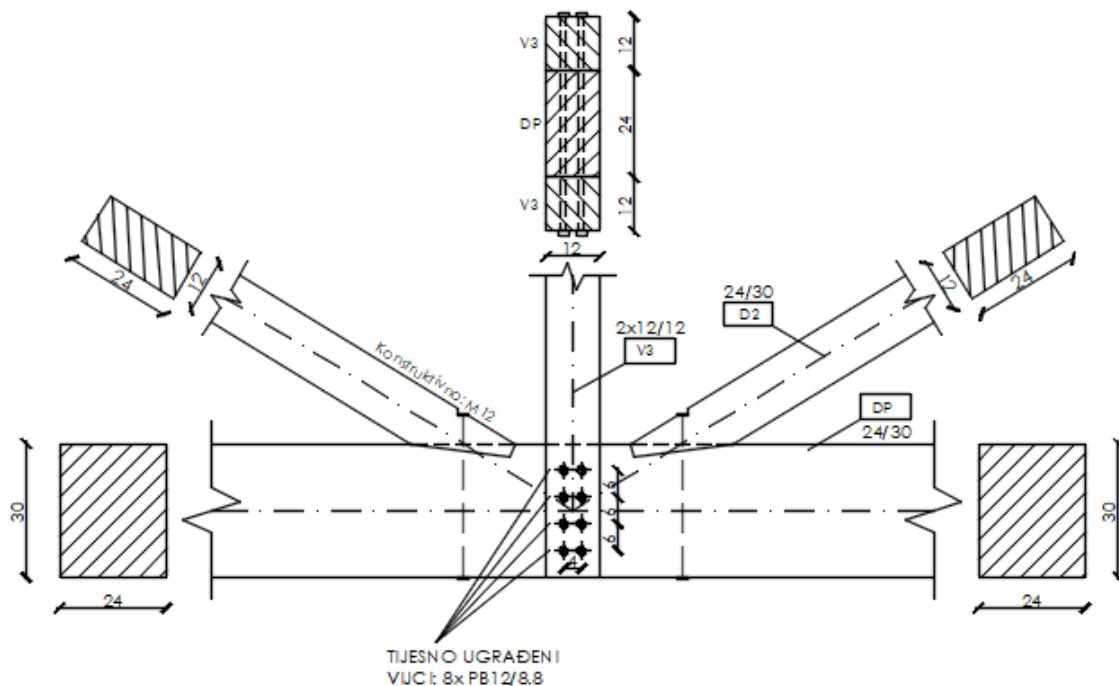
Pralelno sa vlakancima od opterećenog kraja (bočna drva):

$$a_{1,t,req} = t \cdot d = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}$$

Međusobno – od opterećenog i neopterećenog kraja (okomito s vlakancima):

$$a_{2,req} = a_{2,t,req} = a_{2,c,req} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm}$$

## 5.5 DETALJ 5 – ZASJEK I SPOJ DRVO-ČELIK S TIJESNO UGRAĐENIM VIJCIMA



Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,\max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 31^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

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

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{31^\circ}{2} = 15,5^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 \cdot 1,73} \sin^2(15,5^\circ)\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 \cdot 2,77} \sin(15,5^\circ) \cdot \cos(15,5^\circ)\right)^2 + \cos^4(15,5^\circ)}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 12,25 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{24 \cdot 3}{\cos(15,5^\circ)} = 72,80 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{87,66 \cdot \cos(15,5^\circ)}{72,80} \cdot 10 = 11,60 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{11,60}{12,25} = 0,947 < 1 \rightarrow \text{Iskorištenost: } 94,7\%$$

Spoj – tijesno ugrađeni vijci

Donji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikala: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 84,14 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,53 \cdot \sin^2(90^\circ) + \cos^2(90^\circ)} = 16,51 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 12^{2,6} = 153490,85 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} = R_k = \sqrt{2 \cdot 153490,85 \cdot 16,51 \cdot 12} = 7798,67 \text{ N}$$

$$\beta = \frac{f_{h,\alpha,k}}{f_{h,0,k}} = \frac{16,51}{25,26} = 0,654$$

Kontrola debljine elemenata – bočna drva:

$$t_{REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{0,654}{1+0,654}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{153490,85}{16,51 \cdot 12}} = 104,27 \text{ mm}$$

$$t_{REQ} = 104,27 \text{ mm} < t_1 = 120 \text{ mm}$$

Srednje drvo – nije potrebno kontrolirati!

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1$$

$$R_d = 0,9 \cdot \frac{7,799}{1,1} = 6,38 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka – vertikala:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{84,14}{2 \cdot 6,38} = 6,59 \quad \text{ODABRANO : 8 vijaka}$$

Smanjenje zbog većeg broja vijaka u nizu (4 vijaka – u smjeru sile;  $a_1 = 100$  mm)

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ 4; 4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{10 \cdot 20}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - 90}{90} + n \cdot \frac{90}{90}$$

$$n_{ef} = 4$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{84,14}{2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6,38} = 0,824 < 1,0 \quad \Leftrightarrow (R_{d,TOT} = 2reda \cdot 2reza \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:

Međusobno – paralelno sa vlakancima (bočna drva):

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 90^\circ) \cdot 12 = 36 \text{ mm}$$

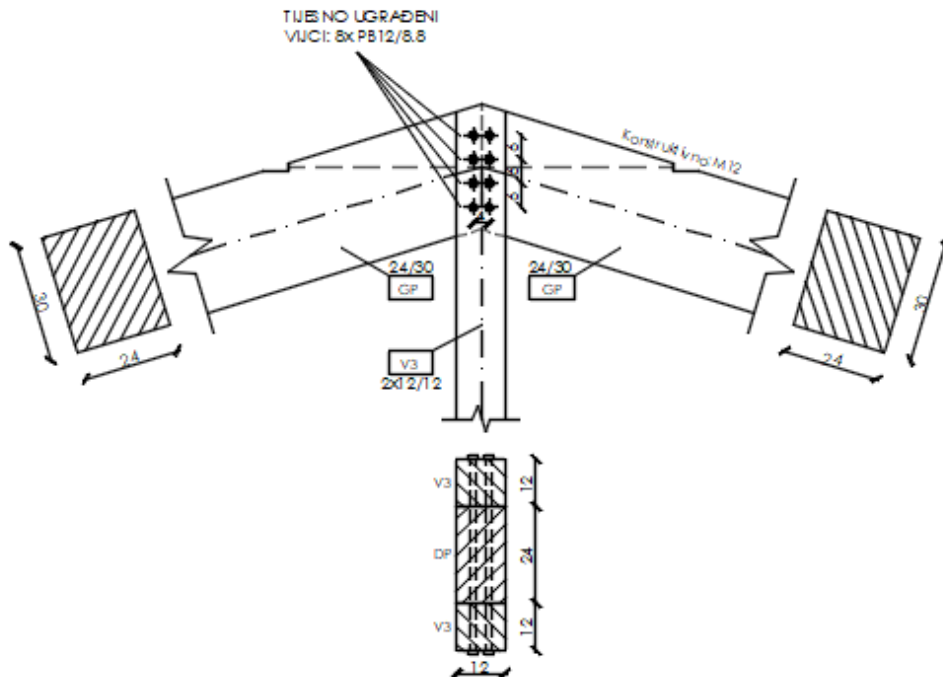
Pravno sa vlakancima od opterećenog kraja (bočna drva):

$$a_{1,t,req} = t \cdot d = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}$$

Međusobno – od opterećenog i neopterećenog kraja (okomito s vlakancima):

$$a_{2,req} = a_{2,t,req} = a_{2,c,req} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm}$$

### 5.6. DETALJ 6 – TIJESNO UGRAĐENI VIJCI



Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikala: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 84,38 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

$\alpha = 73^\circ$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,53 \cdot \sin^2(73^\circ) + \cos^2(73^\circ)} = 17,01 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 12^{2,6} = 153490,85 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} = R_k = \sqrt{2 \cdot 153490,85 \cdot 17,01 \cdot 12} = 7915,88 \text{ N}$$

$$\beta = \frac{f_{h,\alpha,k}}{f_{h,0,k}} = \frac{17,01}{25,26} = 0,673$$

Kontrola debljine elemenata – bočna drva:

$$t_{REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{0,673}{1+0,673}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{153490,85}{17,01 \cdot 12}} =$$

$$103,07 \text{ mm}$$

$$t_{REQ} = 103,07 \text{ mm} < t_1 = 120 \text{ mm}$$

Srednje drvo – nije potrebno kontrolirati!

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1$$

$$R_d = 0,9 \cdot \frac{7,916}{1,1} = 6,48 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka – vertikala:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{84,38}{2 \cdot 6,48} = 6,51 \quad \text{ODABRANO : 8 vijaka}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{n_{rezoza} \cdot n_{vijaka} \cdot R_d} = \frac{18,57}{2 \cdot 2 \cdot 5,76} = 0,716$$

Smanjenje zbog većeg broja vijaka u nizu (4 vijaka – u smjeru sile;  $a_1 = 100 \text{ mm}$ )

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$$

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ 4; 4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80}{10 \cdot 12}} \right\} \right] \cdot \frac{90 - 73}{90} + 4 \cdot \frac{73}{90}$$

$$n_{ef} = 3,84$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{84,38}{2 \cdot 2 \cdot 3,84 \cdot 6,38} = 0,861 < 1,0 \quad \Rightarrow (R_{d,TOT} = 2 \cdot reda \cdot 2 \cdot reza \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:

Međusobno – paralelno sa vlakancima (bočna drva):

$$a_{1,req} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 73^\circ) \cdot 12 = 43,02 \text{ mm}$$

Pralelno sa vlakancima od opterećenog kraja (bočna drva):

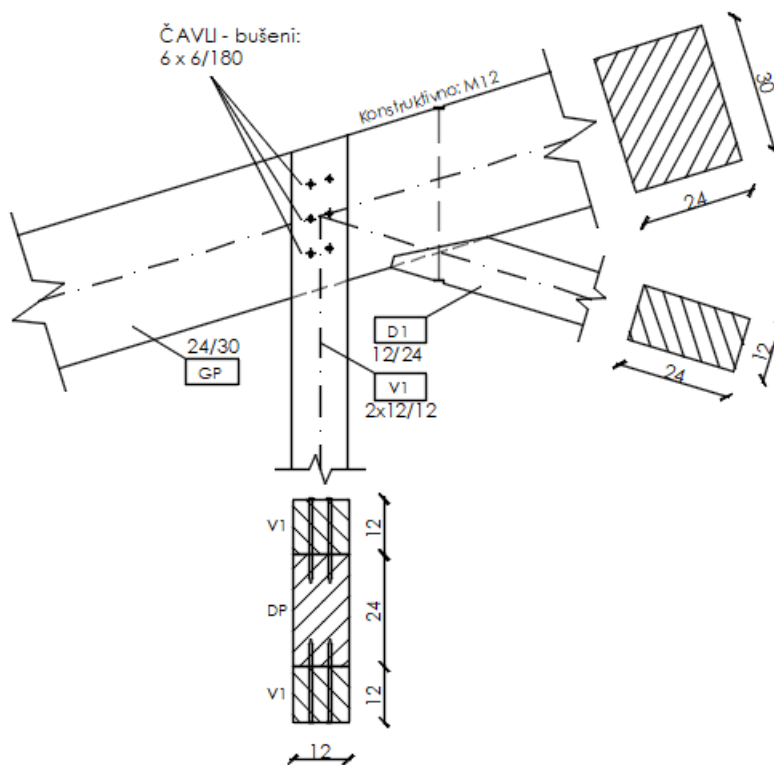
$$a_{1,t,req} = t \cdot d = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}$$

Međusobno – od opterećenog i neopterećenog kraja (okomito s vlakancima):

$$a_{2,req} = a_{2,t,req} = a_{2,c,req} = 3 \cdot d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm}$$



## 5.7. DETALJ 7 – ZASJEK I ČAVLANI SPOJ



Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 34^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{34^\circ}{2} = 17^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{14,54}{\sqrt{\left(\frac{14,54}{2 \cdot 1,73} \cdot \sin^2(17^\circ)\right)^2 + \left(\frac{14,54}{2 \cdot 2,77} \cdot \sin(17^\circ) \cdot \cos(17^\circ)\right)^2 + \cos^4(17^\circ)}}$$

$$f_{c,\alpha,d} = 11,92 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_2 \cdot t_{v,2}}{\cos \alpha} = \frac{24 \cdot 2}{\cos(17^\circ)} = 50,19 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{52,40 \cdot \cos(17^\circ)}{50,19} \cdot 10 = 10,37 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{10,38}{11,92} = 0,870 < 1 \rightarrow \text{Iskorištenost: } 87,0\%$$

Spoj štapa – tijesno ugrađeni vijci

Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 9,90 kN

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

$$\alpha = 73^\circ$$

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

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 6^{2,6} = 18987,41 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} = R_k = \sqrt{2 \cdot 18987,41 \cdot 26,98 \cdot 6} = 2479,39 \text{ N}$$

Kontrola debljine elemenata – bočna drva:

$$t_{REQ} = 9 \cdot d = 54 \text{ mm} < t_1 = 120 \text{ mm}$$

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1$$

$$R_d = 0,9 \cdot \frac{2,497}{1,1} = 2,04 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka – vertikalna:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{9,90}{2,04} = 4,85 \quad \text{ODABRANO : 6 čavala}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{n \cdot R_d} = \frac{9,90}{6 \cdot 2,04} = 0,809 < 1$$

Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci

Međusobno – paralelno sa vlakancima:

$$a_1 = (5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 38,77 \text{ mm}$$

Međusobno – Okomito na vlakanca:

$$a_2 = 5 \cdot d = 30 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{1,t} = (7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 50,77 \text{ mm}$$

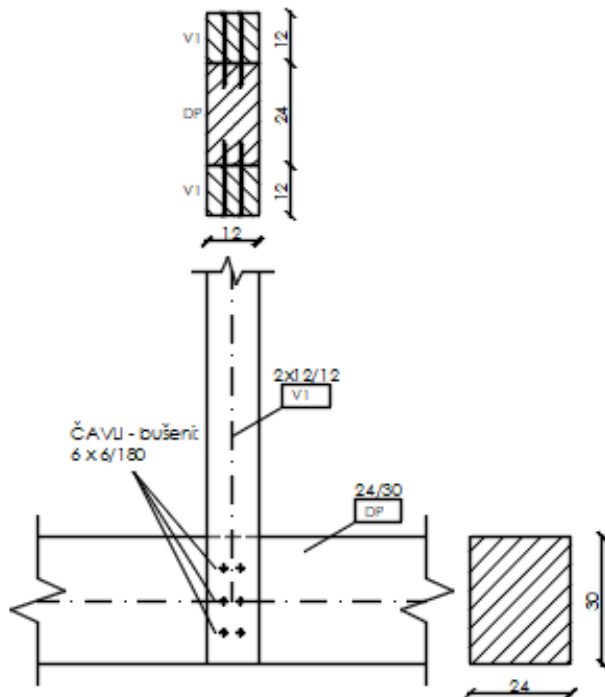
Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

$$a_{2,c} = 5 \cdot d = 5 \cdot 6 = 30 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja (okomito s vlakancima):

$$a_{2,t} = (5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d = 41,47 \text{ mm}$$

## 5.8. DETALJ 8 – ČAVLANI SPOJ



Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikala: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 9,97 kN

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

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

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 6^{2,6} = 18987,41 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} = R_k = \sqrt{2 \cdot 18987,41 \cdot 26,98 \cdot 6} = 2479,39 \text{ N}$$

Kontrola debljine elemenata – bočna drva:

$$t_{REQ} = 9 \cdot d = 54 \text{ mm} < t_1 = 120 \text{ mm}$$

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_{k,tot}}{\gamma_M} ; \gamma_M = 1,1 \Rightarrow R_d = 0,9 \cdot \frac{2,497}{1,1} = 2,04 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka – vertikala:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{9,97}{2,04} = 4,89 \quad \text{ODABRANO : 6 čavala}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{n \cdot R_d} = \frac{9,97}{6 \cdot 2,04} = 0,814 < 1$$

Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci

Međusobno – paralelno sa vlakancima:

$$a_1 = (5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 30 \text{ mm}$$

Međusobno – Okomito na vlakanca:

$$a_2 = 5 \cdot d = 30 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{1,t} = (7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 42 \text{ mm}$$

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

$$a_{2,c} = 5 \cdot d = 5 \cdot 6 = 30 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja (okomito s vlakancima):

$$a_{2,t} = (5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d = 42 \text{ mm}$$

## 6. VATROOTPORNOST

- proračun nosivosti konstrukcije uslijed djelovanja požara u trajanju od 30 min po EC5

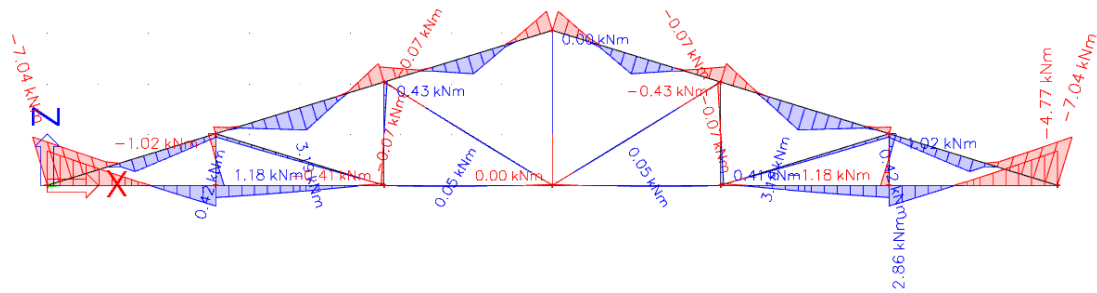
$$E_{dA} = E \left\{ \sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$\gamma_{GA,j} = 1.0 ; \psi_{1,1} = 0.2$$

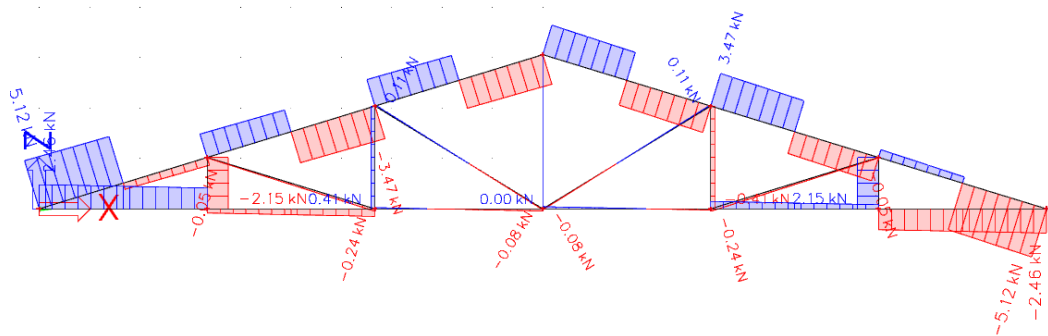
Spregovi koji su postavljeni u prvom i posljednjem pojasu zadržavaju svoju nosivost i svojstva poprečnog presjeka nakon požara od 30 minuta, oni su zaštićeni vatrootpornim premazima.

Dijagrami reznih sila za najkritičniju kombinaciju: 1,0 G + 0,2 W2

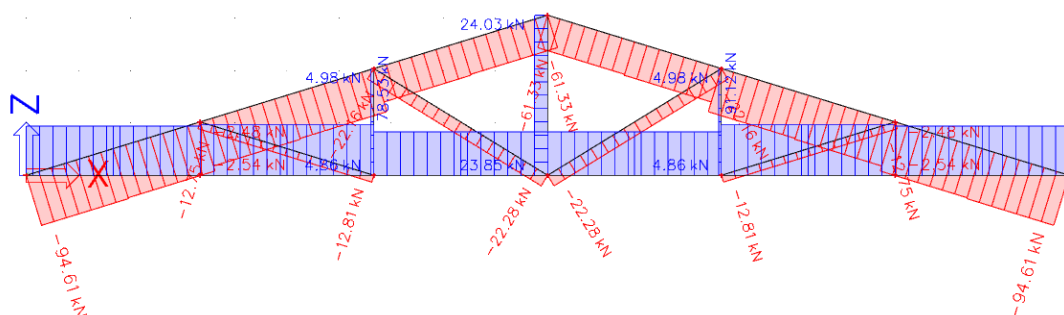
M – dijagram



V – dijagram



N – dijagram



6.1. GORNJI POJAS:  $b/h = 24/30$  cm

$$N_{d,fi} = -94,61 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = 7,04 \text{ kNm}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Tražena klasa F30  $\Rightarrow t_f = 30$  min (potrebno vrijeme otpornosti u minutama)

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

$$\text{Cjelovito drvo klase C24} \Rightarrow \rho = 350 \text{ kg/m}^3$$

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

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 24 - 2 \cdot 2,1 = 19,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 30 - 2 \cdot 2,1 = 25,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg

$$u_r = 2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 2 \cdot 19,8 + 2 \cdot 25,8 = 91,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 19,8 \cdot 25,8 = 510,84 \text{ cm}^2$$

Reducirani moment otpora:

$$W_{y,r} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{19,8 \cdot 25,8^2}{6} = 2196,612 \text{ cm}^3$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{N_{c,o,d,fi}}{A_r} = \frac{94,61 \cdot 10^3}{510,84 \cdot 10^2} = 1,85 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,r}} = \frac{7,04 \cdot 10^6}{2196,612 \cdot 10^3} = 3,20 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = 5/6 \cdot G_{\text{mean}} = 5/6 \cdot 690 = 575 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

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

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

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

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

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

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{91,2 \cdot 10^{-2}}{510,84 \cdot 10^{-4}} = 0,857$$

Za savojnu čvrstoću

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{91,2 \cdot 10^{-2}}{510,84 \cdot 10^{-4}} = 0,911$$

Za vlačnu čvrstoću te za E i G module

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{91,2 \cdot 10^{-2}}{510,84 \cdot 10^{-4}} = 0,940$$



$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,911 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 27,33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,857 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 22,50 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,940 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400}{1,0} = 8695 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,940 \cdot 1,25 \cdot \frac{575}{1,0} = 675,62 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$\text{Budući da je } \frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{349 \cdot 25,5}{19,8^2} = 22,97 < 140 \text{ uzimamo } k_{crit} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 3.49 \text{ (m) izračunamo } k_c = 0.6604$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,85}{0.6604 \cdot 15,00} + \frac{3,20}{1 \cdot 27,33} = 0,304 < 1$$

→ zadovoljava!

6.2. DONJI POJAS:  $b/h = 24/30$  cm

$$N_{d,fi} = +91,12 \text{ kN}$$

$$M_{d,fi} = 4,77 \text{ kNm}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Tražena klasa F30  $\Rightarrow t_f = 30$  min (potrebno vrijeme otpornosti u minutama)

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

$$\text{Cjelovito drvo klase C24} \Rightarrow \rho = 350 \text{ kg/m}^3$$

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

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 24 - 2 \cdot 2,1 = 19,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 30 - 2 \cdot 2,1 = 25,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg

$$u_r = 2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 2 \cdot 19,8 + 2 \cdot 25,8 = 91,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 19,8 \cdot 25,8 = 510,84 \text{ cm}^2$$

Reducirani moment otpora:

$$W_{y,r} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{19,8 \cdot 25,8^2}{6} = 2196,612 \text{ cm}^3$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{N_{c,o,d,fi}}{A_r} = \frac{91,12 \cdot 10^3}{510,84 \cdot 10^2} = 1,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,r}} = \frac{4,77 \cdot 10^6}{2196,612 \cdot 10^3} = 2,17 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = 5/6 \cdot G_{\text{mean}} = 5/6 \cdot 690 = 575 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

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

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

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

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

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

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{91,2 \cdot 10^{-2}}{510,84 \cdot 10^{-4}} = 0,857$$

Za savojnu čvrstoću

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{91,2 \cdot 10^{-2}}{510,84 \cdot 10^{-4}} = 0,911$$

Za vlačnu čvrstoću te za E i G module

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{91,2 \cdot 10^{-2}}{510,84 \cdot 10^{-4}} = 0,940$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,911 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 27,33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,940 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 16,45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,940 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400}{1,0} = 8695 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,940 \cdot 1,25 \cdot \frac{575}{1,0} = 675,62 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za vlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,78}{16,45} + \frac{2,17}{1 \cdot 27,33} = 0,188 < 1 \rightarrow \text{zadovoljava!}$$

### 6.3. DIJAGONALE: $b/h = 12/24$ cm

$$N_{d,fi} = -22,28 \text{ kN}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Tražena klasa F30  $\Rightarrow t_f = 30$  min (potrebno vrijeme otpornosti u minutama)

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

Cjelovito drvo klase C24  $\Rightarrow \rho = 350 \text{ kg/m}^3$

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

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 12 - 2 \cdot 2,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 24 - 2 \cdot 2,1 = 19,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg

$$u_r = 2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 2 \cdot 7,8 + 2 \cdot 19,8 = 55,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 7,8 \cdot 19,8 = 154,44 \text{ cm}^2$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{N_{c,o,d,fi}}{A_r} = \frac{22,28 \cdot 10^3}{154,44 \cdot 10^2} = 1,44 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = 5/6 \cdot G_{\text{mean}} = 5/6 \cdot 690 = 575 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenata modifikacije:

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

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

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

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

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

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{55,2 \cdot 10^{-2}}{154,44 \cdot 10^{-4}} = 0,714$$

Za vlačnu čvrstoću te za E i G module

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{55,2 \cdot 10^{-2}}{154,44 \cdot 10^{-4}} = 0,881$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,714 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 18,74 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,893 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400}{1,0} = 8260,25 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,893 \cdot 1,25 \cdot \frac{575}{1,0} = 641,84 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

Za  $l_{ef} = 3,91$  (m) izračunamo  $k_c = 0,134$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1,44}{0,134 \cdot 18,74} = 0,573 < 1 \rightarrow \text{zadovoljava!}$$

6.4. VERTIKALE: b/h = 2 x 12/12 cm

$$N_{d,fi} = +24,03 \text{ kN}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Tražena klasa F30  $\Rightarrow t_f = 30 \text{ min}$  (potrebno vrijeme otpornosti u minutama)

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

$$\text{Cjelovito drvo klase C24} \Rightarrow \rho = 350 \text{ kg/m}^3$$

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

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 12 - 2 \cdot 2,1 = 7,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 12 - 2 \cdot 2,1 = 7,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg

$$u_r = (2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi}) \cdot 2 = (2 \cdot 7,8 + 2 \cdot 7,8) \cdot 2 = 62,4 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} \cdot 2 = 7,8 \cdot 7,8 \cdot 2 = 121,68 \text{ cm}^2$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{t,o,d,fi} = \frac{N_{t,o,d,fi}}{A_r} = \frac{24,03 \cdot 10^3}{121,68 \cdot 10^2} = 1,97 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = 5/6 \cdot G_{\text{mean}} = 5/6 \cdot 690 = 575 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenata modifikacije:

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

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

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

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

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

Za vlačnu čvrstoću te za E i G module

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{62,4 \cdot 10^{-2}}{121,68 \cdot 10^{-4}} = 0,845$$

$$f_{t,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,845 \cdot 1,25 \cdot \frac{14}{1,0} = 14,79 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,845 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400}{1,0} = 7816,25 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,845 \cdot 1,25 \cdot \frac{575}{1,0} = 607,34 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za vlačnu silu:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1,97}{14,79} = 0,133 < 1 \rightarrow \text{zadovoljava!}$$



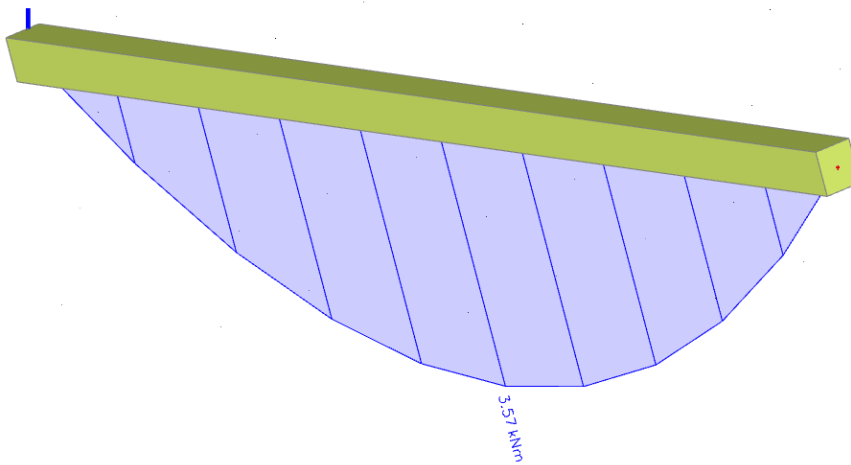
6.5. PODROŽNICE:  $b/h = 18/22$  cmKOMBINACIJA:  $1.0 \cdot G + 0.2 \cdot S$ 

$$E_{y,d} = g_d \cdot \sin 17^\circ \cdot 1.0 + s_d \cdot \sin 17^\circ \cdot 0.2 = 0,336 \text{ kN/m'}$$

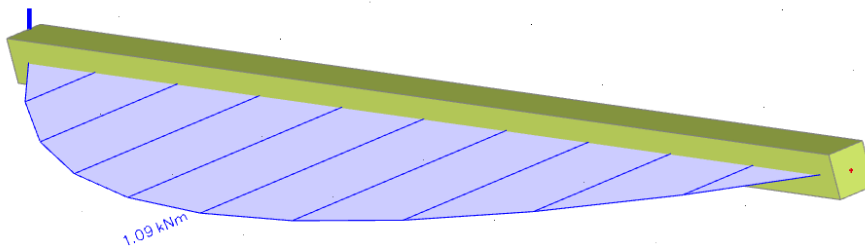
$$E_{z,d} = g_d \cdot \cos 17^\circ \cdot 1.0 + s_d \cdot \cos 17^\circ \cdot 0.2 = 1,098 \text{ kN/m'}$$

Dijagrami reznih sila za kritičnu kombinaciju

My



Mz



$$N_{d,fi} = -48,21 \text{ kN}$$

$$M_{d,y,fi} = 3,57 \text{ kNm}$$

$$M_{d,z,fi} = 1,09 \text{ kNm}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Tražena klasa F30  $\Rightarrow t_f = 30$  min (potrebno vrijeme otpornosti u minutama)

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

Cjelovito drvo klase C24  $\Rightarrow \rho = 350 \text{ kg/m}^3$

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

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 18 - 2 \cdot 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 22 - 2 \cdot 2,1 = 17,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg

$$u_r = 2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 2 \cdot 13,8 + 2 \cdot 17,8 = 63,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 13,8 \cdot 17,8 = 245,64 \text{ cm}^2$$

Reducirani moment otpora:

$$W_{y,r} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{13,8 \cdot 17,8^2}{6} = 728,73 \text{ cm}^3$$

$$W_{z,r} = \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^2}{6} = \frac{17,8 \cdot 13,8^2}{6} = 564,97 \text{ cm}^3$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{N_{c,o,d,fi}}{A_r} = \frac{48,21 \cdot 10^3}{245,64 \cdot 10^2} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,r}} = \frac{3,57 \cdot 10^6}{728,73 \cdot 10^3} = 4,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d,fi} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,r}} = \frac{1,09 \cdot 10^6}{564,97 \cdot 10^3} = 1,93 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{05} = 5/6 \cdot G_{\text{mean}} = 5/6 \cdot 690 = 575 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

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

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

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

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

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

Za tlačnu čvrstoću paralelno s vlakancima:

$$k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{63,2 \cdot 10^{-2}}{245,64 \cdot 10^{-4}} = 0,794$$

Za savojnu čvrstoću

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{63,2 \cdot 10^{-2}}{245,64 \cdot 10^{-4}} = 0,871$$

Za vlačnu čvrstoću te za E i G module

$$k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{63,2 \cdot 10^{-2}}{245,64 \cdot 10^{-4}} = 0,914$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,871 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,0} = 26,13 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,794 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 20,84 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,914 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400}{1,0} = 8454,5 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,914 \cdot 1,25 \cdot \frac{575}{1,0} = 656,94 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent redukcije dvoodnog savijanja:  $k_{red}=0.9$  - za pravokutne presjeke

Koeficijent izbočavanja oko osi:

$$\text{Budući da je } \frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{510 \cdot 17,8}{13,8^2} = 47,67 < 140 \text{ uzimamo } k_{crit} = 1.0$$

Koeficijent izvijanja oko osi:

$$\text{Za } l_{ef} = 5,10 \text{ (m) izračunamo } k_c = 0.192$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti za tlačnu silu i moment savijanja:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4,90}{26,13} + 0,9 \cdot \frac{1,93}{26,13} + \frac{1,96}{0,192 \cdot 20,84} = 0,744$$

→ zadovoljava

## 7. VATROOTPORNOST SPOJEVA

### 7.1. VATROOTPORNOST – DETALJ 1 (VLAČNI NASTAVKA DONJEG POJASA)

Osnovni materijal: puno drvo, 24/30 cm, klasa čvrstoće C 24, Uporabna klasa 2

Vezice: 2x10/30, klasa čvrstoće C 24

Kombinacija djelovanja: 1,0 G “+“ 0,2 W2 (izvanredno požar)  $\Rightarrow F_d=78,53$  kN

Trnovi T20/S335  $\Rightarrow$  15 kom

Vijci M10/klasa 5.6  $\Rightarrow$  4 kom

Osiguranje vezice – vijci:

- Proračunska vrijednost vlačne sile

$$F_{t,d} = \frac{F_d \cdot t}{2 \cdot n \cdot a}$$

$$F_d = \frac{N_d}{2} = \frac{78,53}{2} = 36,77 \text{ kN}$$

$$F_{t,d} = \frac{36,77 \cdot 10^3 \cdot 100}{2 \cdot 4 \cdot 100} = 4596,26 \text{ N}$$

- Karakteristična vrijednosti nosivosti :  $R_{ax,k} = 7050 \text{ N}$

- Proračunska nosivost uslijed požara:

$$R_{ax,d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{m,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_m} \right)$$

gdje je:

k – parametar  $\Rightarrow$  0,08

$\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow$  0,6

$\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow$  1,0

$k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow$  0,9

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow$  1,1

$k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow$  1,25

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow$  1,0

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,08} \cdot \ln\left(\frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1}\right) = 11,68 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,08 \cdot 24,55} = 0,403$$

$$R_{ax,d,fi} = 0,403 \cdot \frac{1,25 \cdot 7050}{1,0} = 3551,44$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_{t,d}}{R_{ax,d,fi} \cdot n} = \frac{4596,26}{3551,44 \cdot 4} = 0,324 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Trnovi

Karakteristična vrijednost nosivosti trna po rezu:  $R_k = 13531,95N$

Proračunska nosivost uslijed požara:

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{m,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_m}\right)$$

gdje je:

$k$  – parametar  $\Rightarrow$  trnovi 0,04

$\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow$  0,6

$\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow$  1,0

$k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow$  0,9

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow$  1,1

$k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow$  1,25

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow$  1,0

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,04} \cdot \ln\left(\frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1}\right) = 20,73 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,04 \cdot 20,73} = 0,436$$

$$R_{d,fi} = 0,436 \cdot \frac{1,25 \cdot 16539,05N}{1,0} = 9013,78 N$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{78,53 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 3,58 \cdot 9013,78} = 0,406 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

$$(R_{d,TOT} = 3reda \cdot 2reza \cdot n_{ef} \cdot R_d)$$

7.2. VATROOTPORNOST – DETALJ 2 (DVOSTRUKI ZASJEK)

$$b/h = 24/30 \text{ cm}$$

$$N_d = -94,61 \text{ kN}$$

$$t_{v,\max} = \frac{h}{4} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ cm}$$

$$t_{v,1} = 7 \text{ cm} < 7,5 \text{ cm}$$

$$t_{v,2} = 6 \text{ cm} < 7,5 \text{ cm}$$

$$\gamma = 17^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,857 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 22,50 \text{ N/mm}^2$$

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

PREDNJI ZASJEK

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{17^\circ}{2} = 8,5^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = 19,60 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_{1,ef} \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{19,8 \cdot 7}{\cos (8,5^\circ)} = 104,14 \text{ cm}^2$$

$$R_{1,d} = 13,79 \cdot 10^{-1} \cdot 104,14 = 204,10 \text{ kN}$$

$$\overline{R}_{1,d} = \frac{R_{1,d}}{\cos \alpha} = 206,37 \text{ kN}$$

STRAŽNJI ZASJEK

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

$$\alpha = \gamma = 17^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = 14,98 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_2 \cdot t_{v,2}}{\cos \alpha} = \frac{19,8 \cdot 6}{\cos (17^\circ)} = 124,23 \text{ cm}^2$$

$$R_{1,d} = 14,98 \cdot 10^{-1} \cdot 124,23 = 186,09 \text{ kN}$$

$$\overline{R}_{2,d} = R_{2,d} = 186,09 \text{ kN}$$

$$R_{tot,d} = \overline{R}_{1,d} + \overline{R}_{2,d} = 206,37 + 186,09 = 392,46 \text{ kN}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{94,61}{392,46} = 0,241 < 1 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

7.3. DETALJ 3 – ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI

Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,\max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 48^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,857 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 22,50 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{48^\circ}{2} = 24^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d,fi} = 12,17 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{19,8 \cdot 4}{\cos(24^\circ)} = 89,69 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{22,16 \cdot \cos(24^\circ)}{89,69} \cdot 10 = 2,26 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz : } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{2,26}{12,17} = 0,186 \rightarrow \text{zadovoljava}$$



Spoj štapa – tijesno ugrađeni vijci

Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 4,98 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

$\alpha = 73^\circ$

$R_k = 7,916 \text{ kN}$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_M} \right)$$

gdje je:

k – parametar  $\Rightarrow$  vijci >12mm (0,065)

$\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow$  0,6

$\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow$  1,0

$k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow$  1,0

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow$  1,1

$k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow$  1,25

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow$  1,0

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,065} \cdot \ln \left( \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1} \right) = 12,76 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,065 \cdot 12,76} = 0,436$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}} = 0,436 \cdot \frac{1,25 \cdot 7,916}{1,0} = 4,317 \text{ N}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{n_{rezova} \cdot n_{vijaka} \cdot R_d} = \frac{4,98}{2 \cdot 2 \cdot 4,317} = 0,288 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

7.4. VATROOTPORNOST – DETALJ 4 (ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI)

Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,\max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 48^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,857 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 22,50 \text{ N/mm}^2$$

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

$$f_{c,\alpha,d} = 19,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{17^\circ}{2} = 8,5^\circ$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{19,8 \cdot 3}{\cos(8,5^\circ)} = 60,06 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{12,81 \cdot \cos(8,5^\circ)}{60,06} \cdot 10 = 2,11 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{2,11}{19,60} = 0,108 < 1 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Spoj štapa – tijesno ugrađeni vijci

Donji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikala: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 4,86 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

Karakteristična vrijednost otpornosti:  $R_k = 7798,67 \text{ N}$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_m} \right)$$

gdje je:

$k$  – parametar  $\Rightarrow$  vijci >12mm (0,065)

$\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow$  0,6

$\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow$  1,0

$k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow$  1,0

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow$  1,1

$k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow$  1,25

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow$  1,0

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,065} \cdot \ln \left( \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1} \right) = 12,76 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,065 \cdot 12,76} = 0,436$$

Proračunska vrijednost otpornosti u slučaju požara:  $R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}} = 0,436 \cdot \frac{1,25 \cdot 7,799}{1,0} =$

4,25

Dokaz:  $\frac{F_d}{n_{rezova} \cdot n_{vijaka} \cdot R_d} = \frac{4,86}{2 \cdot 2 \cdot 4,25} = 0,286 \rightarrow \text{zadovoljava}$

7.5. VATROOTPORNOST – DETALJ 5 (ZASJEK I TIJESNO UGRAĐENI VIJCI)

Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,\max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 31^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,857 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 22,50 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{31^\circ}{2} = 15,5^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d,fi} = 15,73 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_1 \cdot t_{v,1}}{\cos \alpha} = \frac{19,8 \cdot 3}{\cos(15,5^\circ)} = 61,64 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{22,28 \cdot \cos(15,5^\circ)}{61,64} \cdot 10 = 3,48 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{3,48}{15,75} = 0,221 < 1 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

## Spoj – tijesno ugrađeni vijci

Donji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 22,80 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

Karakteristična vrijednost otpornosti:  $R_k = 7798,67 \text{ N}$ 

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_M} \right)$$

gdje je:

k – parametar  $\Rightarrow$  vijci >12mm (0,065) $\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow$  0,6 $\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow$  1,0 $k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow$  1,0 $\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow$  1,1 $k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow$  1,25 $\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow$  1,0

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,065} \cdot \ln \left( \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1} \right) = 12,76 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,065 \cdot 12,76} = 0,436$$

Proračunska vrijednost otpornosti u slučaju požara:  $R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}} = 0,436 \cdot \frac{1,25 \cdot 7,799}{1,0} =$ 

4,25

Dokaz:  $\frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{22,80}{2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4,25} = 0,328 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$ 

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

7.6. VATROOTPORNOST – DETALJ 6 (TIJESNO UGRAĐENI VIJCI)

Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 24,03 kN

Tijesno ugrađeni vijci PBØ12 – 8.8

$$\alpha = 73^\circ$$

Karakteristična vrijednost otpornosti:  $R_k = 7,916 \text{ kN}$ 

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_M} \right)$$

gdje je:

k – parametar  $\Rightarrow$  vijci >12mm (0,065) $\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow$  0,6 $\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow$  1,0 $k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow$  1,0 $\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow$  1,1 $k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow$  1,25 $\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow$  1,0

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,065} \cdot \ln \left( \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1} \right) = 12,76 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,065 \cdot 12,76} = 0,436$$

Proračunska vrijednost otpornosti uslijed požara:

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}} = 0,436 \cdot \frac{1,25 \cdot 7,916}{1,0} = 4,317$$

$$\text{Dokaz: } \frac{F_d}{R_{d,TOT}} = \frac{24,03}{2 \cdot 2 \cdot 3,84 \cdot 4,32} = 0,362 < 1,0$$

$$(R_{d,TOT} = 2reda \cdot 2reza \cdot n_{ef} \cdot R_d) \quad ; \quad n_{ef} = 3,84$$

7.7. DETALJ 7 – ZASJEK I ČAVLANI SPOJ

Spoj štapa – jednostruki zasjek

$$t_{v,\max} = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 34^\circ$$

Osiguranje M 12 – KONSTRUKTIVNO

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,857 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,0} = 22,50 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\alpha = \frac{\gamma}{2} = \frac{34^\circ}{2} = 17^\circ$$

$$f_{c,\alpha,d} = 14,98 \text{ N/mm}^2$$

$$A_1 = \frac{b_2 \cdot t_{v,2}}{\cos \alpha} = \frac{19,8 \cdot 2}{\cos(17^\circ)} = 41,41 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{1,d} = \frac{N_{c,d} \cdot \cos \alpha}{A_1} = \frac{12,75 \cdot \cos(17^\circ)}{41,41} \cdot 10 = 2,94 \text{ N/mm}$$

$$\text{Dokaz: } \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{2,94}{14,98} = 0,196 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

## Spoj štapa – čavlani spoj

Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 2,28 kN

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

$$\alpha = 73^\circ$$

- Karakteristična vrijednosti nosivosti

$$R_k = 2479,39 \text{ N}$$

- Proračunska nosivost uslijed požara:

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{m,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_m} \right)$$

gdje je:

k – parametar  $\Rightarrow 0,08$  $\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow 0,6$  $\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow 1,0$  $k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow 0,9$  $\gamma_{M}$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow 1,1$  $k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow 1,25$  $\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow 1,0$ 

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,08} \cdot \ln \left( \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1} \right) = 11,68 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,08 \cdot 24,55} = 0,403$$

$$R_{d,fi} = 0,403 \cdot \frac{1,25 \cdot 2479,39}{1,0} = 1248,99 \text{ N}$$

$$\text{Dokaz : } \frac{F_{t,d}}{R_{d,fi} \cdot n} = \frac{2,28}{1,249 \cdot 6} = 0,304 \rightarrow \text{zadovoljava}$$



7.8. DETALJ 8 – ČAVLANI SPOJ

Gornji pojas: C24; b/h = 24/30 cm

Vertikalna: C24; b/h = 2 x 12/12

Proračunsko opterećenje: 2,54 kN

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

- Karakteristična vrijednosti nosivosti

$$R_k = 2479,39 \text{ N}$$

- Proračunska nosivost uslijed požara:

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{k_{fi} \cdot R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{m,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_m} \right)$$

gdje je:

k – parametar  $\Rightarrow 0,08$  $\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji  $\Rightarrow 0,6$  $\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi  $\Rightarrow 1,0$  $k_{mod}$  – faktor izmjene  $\Rightarrow 0,9$  $\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj  $\Rightarrow 1,1$  $k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom  $\Rightarrow 1,25$  $\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru  $\Rightarrow 1,0$ 

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{0,08} \cdot \ln \left( \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0}{1,25 \cdot 1,1} \right) = 11,68 \text{ min}$$

$$\eta = e^{-0,08 \cdot 24,55} = 0,403$$

$$R_{d,fi} = 0,403 \cdot \frac{1,25 \cdot 2479,39}{1,0} = 1248,99 \text{ N}$$

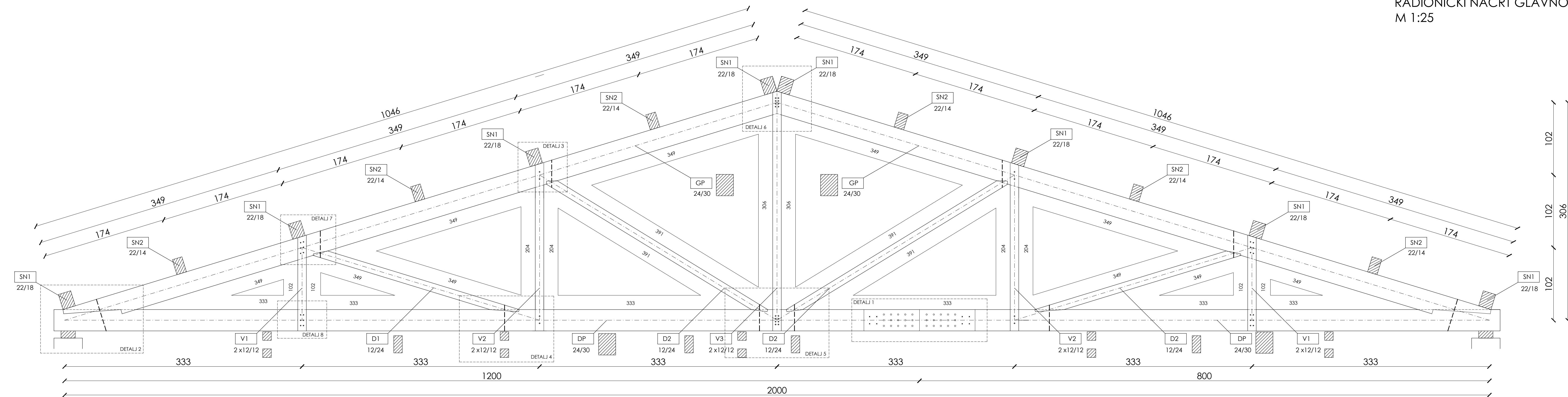
$$\text{Dokaz : } \frac{F_{t,d}}{R_{d,fi} \cdot n} = \frac{2,54}{1,249 \cdot 6} = 0,338 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

## **8. NACRTI**

1. GENERALNI PLAN POZICIJA (M 1:100)
2. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA (M 1:25)
3. DETALJ 1 (M 1:10)
4. DETALJ 2 (M 1:10)
5. DETALJ 3 (M 1:10)
6. DETALJ 4 (M 1:10)
7. DETALJ 5 (M 1:10)
8. DETALJ 6 (M 1:10)
9. DETALJ 7 (M 1:10)
10. DETALJ 8 (M 1:10)



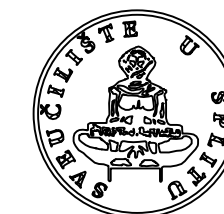
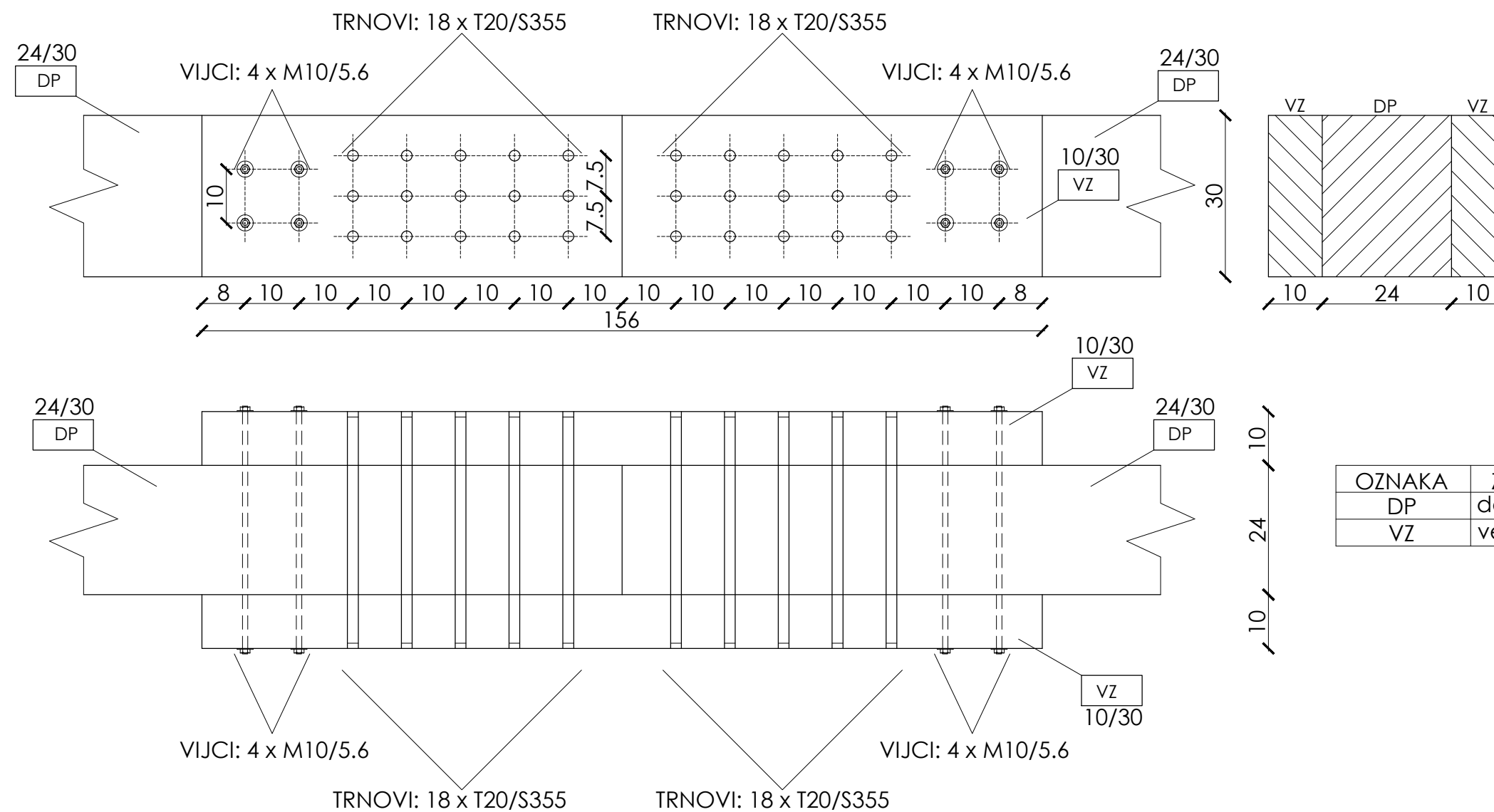
RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA  
M 1:25



 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	<b>ZAVRŠNI RAD</b>		
	PROGRAM: PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA		
	STUDENTI:	PREDMETNI NASTAVNIK:	Izv.prof.dr.sc. Neno Torić
	Gabrijela Marušić	ASISTENT:	mag.ing. oedif. Marko Goreta
SADRŽAJ:	RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA	MJERILO: 1:25	PRILOG: 2
DATUM:	21.07.2022.		

# DETALJ 1

## M 1:10

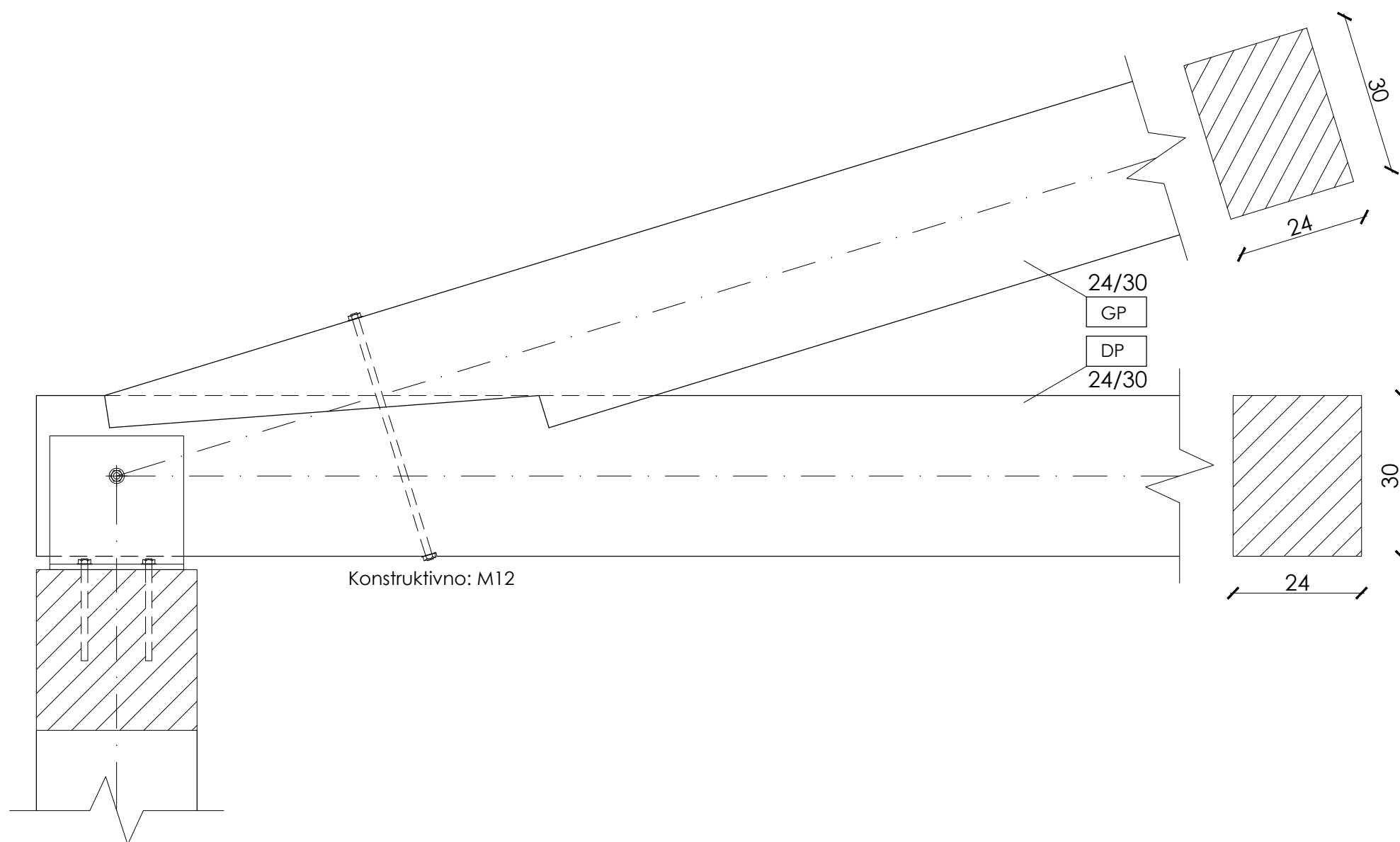


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
 ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

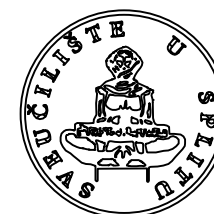
### ZAVRŠNI RAD

PROGRAM: PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA		
STUDENTI:  Gabrijela Marušić	PREDMETNI NASTAVNIK	Izv.prof.dr.sc. Neno Torić
	ASISTENT	mag. ing. aedif. Marko Goreta
SADRŽAJ: DETALJ 1	MJERILO	1:10
DATUM: 21.07.2022.	PRIOLOG:	3

DETALJ 2  
M 1:10



OZNAKA	ZNAČENJE
GP	gornji pojas (24/30)
DP	donji pojas (24/30)



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

**ZAVRŠNI RAD**

PROGRAM: PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA

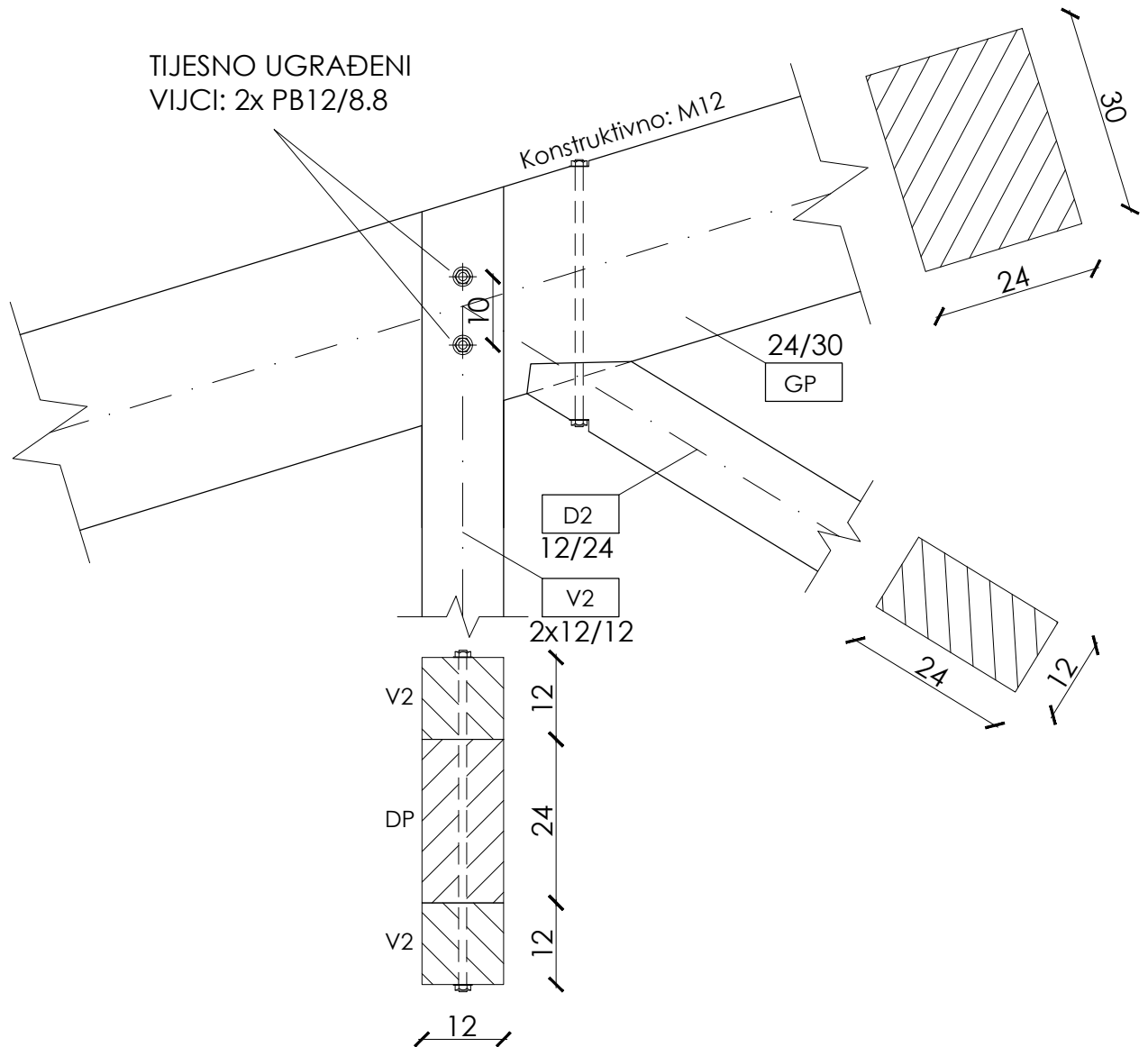
STUDENTI: Gabrijela Marušić  
 PREDMETNI NASTAVNIK: Izv.prof.dr.sc. Neno Torić  
 ASISTENT: mag. ing. aedif. Marko Goreta

SADRŽAJ: DETALJ 2  
 MJERILO: 1:10

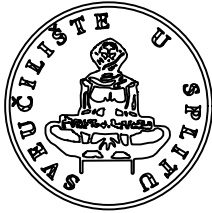
DATUM: 21.07.2022.  
 PRILOG: 4

# DETALJ 3

## M 1:10



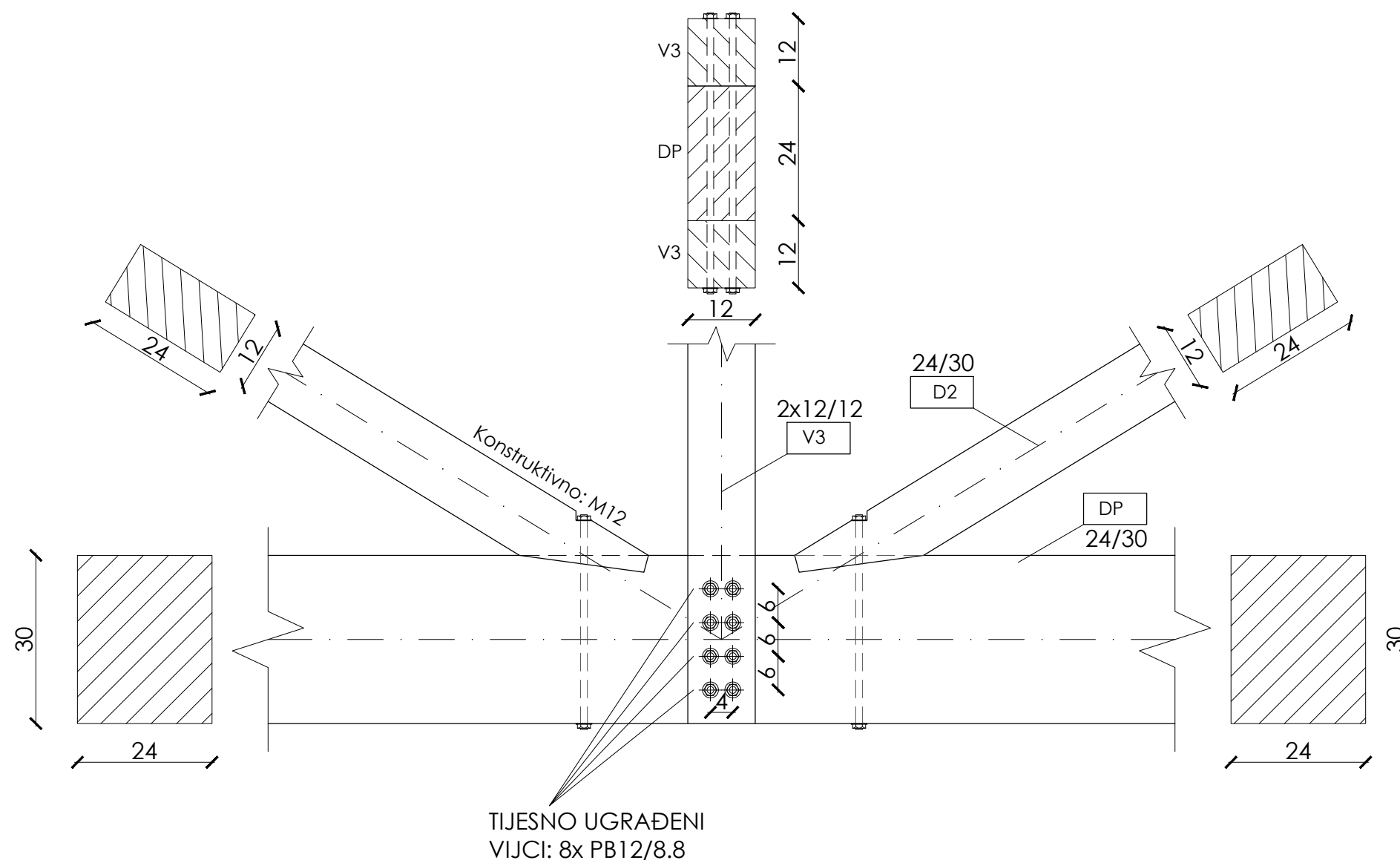
OZNAKA	ZNAČENJE
GP	gornji pojas (24/30)
V2	vertikala (2x12/12)
D2	dijagonala (12/24)

<b>ZAVRŠNI RAD</b>			
 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		PROGRAM:	
		PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA	
STUDENTI:  Gabrijela Marušić		PREDMETNI NASTAVNIK	Izv.prof.dr.sc. Neno Torić
		ASISTENT	mag. ing. aedif. Marko Goreta
SADRŽAJ:		MJERILO	1:10
DETALJ 3		PRILOG:	<b>5</b>
DATUM:		21.07.2022.	





DETALJ 5  
M 1:10



OZNAKA	ZNAČENJE
DP	donji pojas (24/30)
V3	vertikala (2x12/12)
D2	dijagonala (12/24)



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

ZAVRŠNI RAD

PROGRAM: PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA

STUDENTI: Gabrijela Marušić

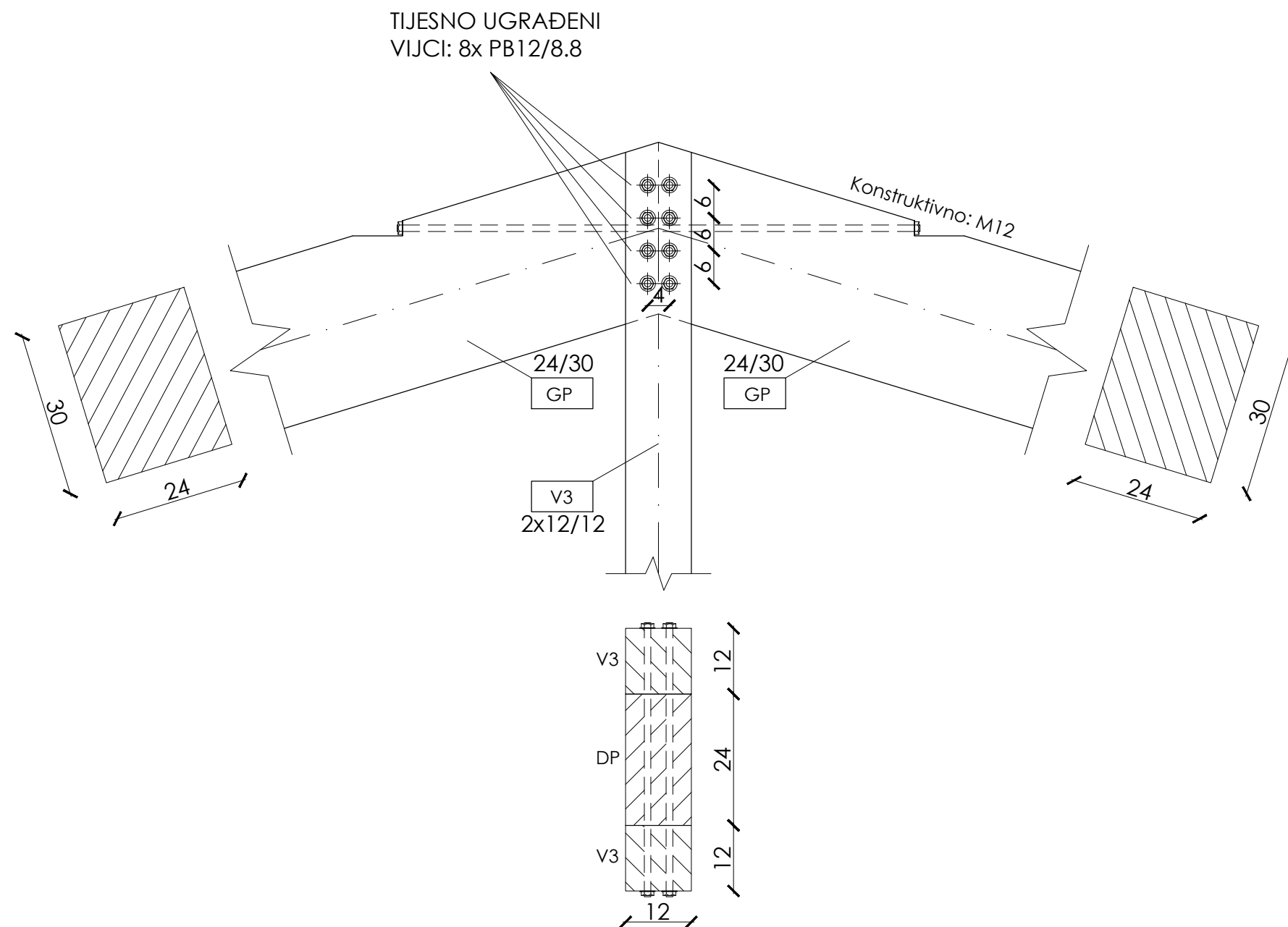
PREDMETNI NASTAVNIK	Izv.prof.dr.sc. Neno Torić
ASISTENT	mag. ing. aedif. Marko Goreta

SADRŽAJ: DETALJ 5

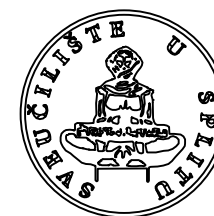
MJERILO	1:10
PRILOG:	7

DATUM: 21.07.2022

DETALJ 6  
M 1:10



OZNAKA	ZNAČENJE
GP	gornji pojas (24/30)
V3	vertikala (2x12/12)



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

ZAVRŠNI RAD

PROGRAM: PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA

STUDENTI: Gabrijela Marušić

PREDMETNI NASTAVNIK: Izv.prof.dr.sc. Neno Torić

ASISTENT: mag. ing. aedif. Marko Goreta

SADRŽAJ: DETALJ 6

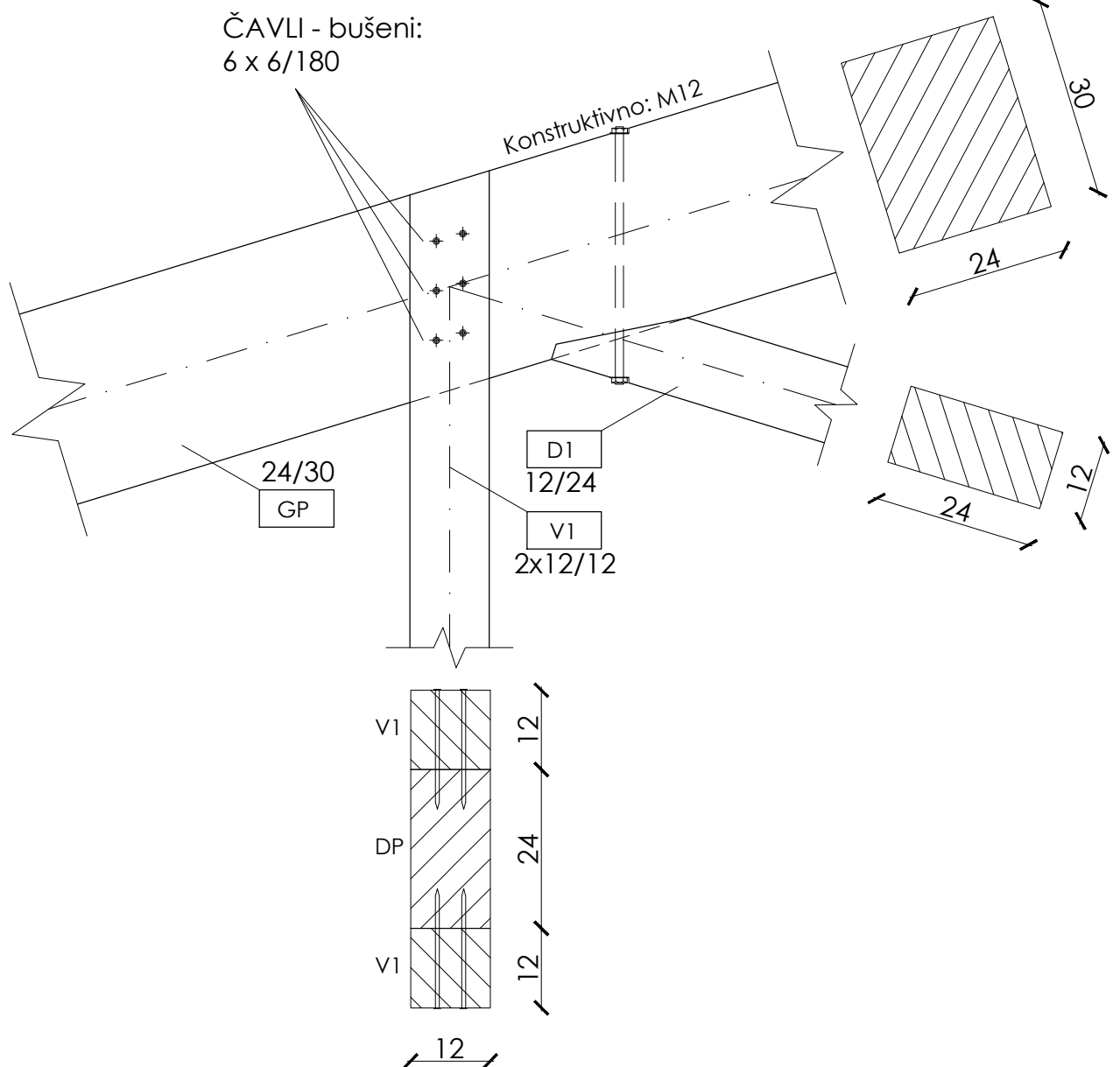
MJERILO: 1:10

DATUM: 21.07.2022.

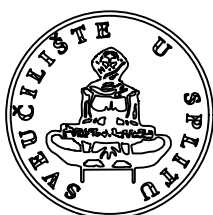
PRILOG: 8

# DETALJ 7

## M 1:10



OZNAKA	ZNAČENJE
GP	gornji pojas (24/30)
V1	vertikala (2x12/12)
D1	dijagonala (12/24)



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

### ZAVRŠNI RAD

PROGRAM:

PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA

STUDENTI:

Gabrijela Marušić

PREDMETNI  
NASTAVNIK

Izv.prof.dr.sc. Neno Torić

ASISTENT

mag. ing. aedif. Marko Goreta

SADRŽAJ:

DETALJ 7

MJERILO

1:10

PRILOG:

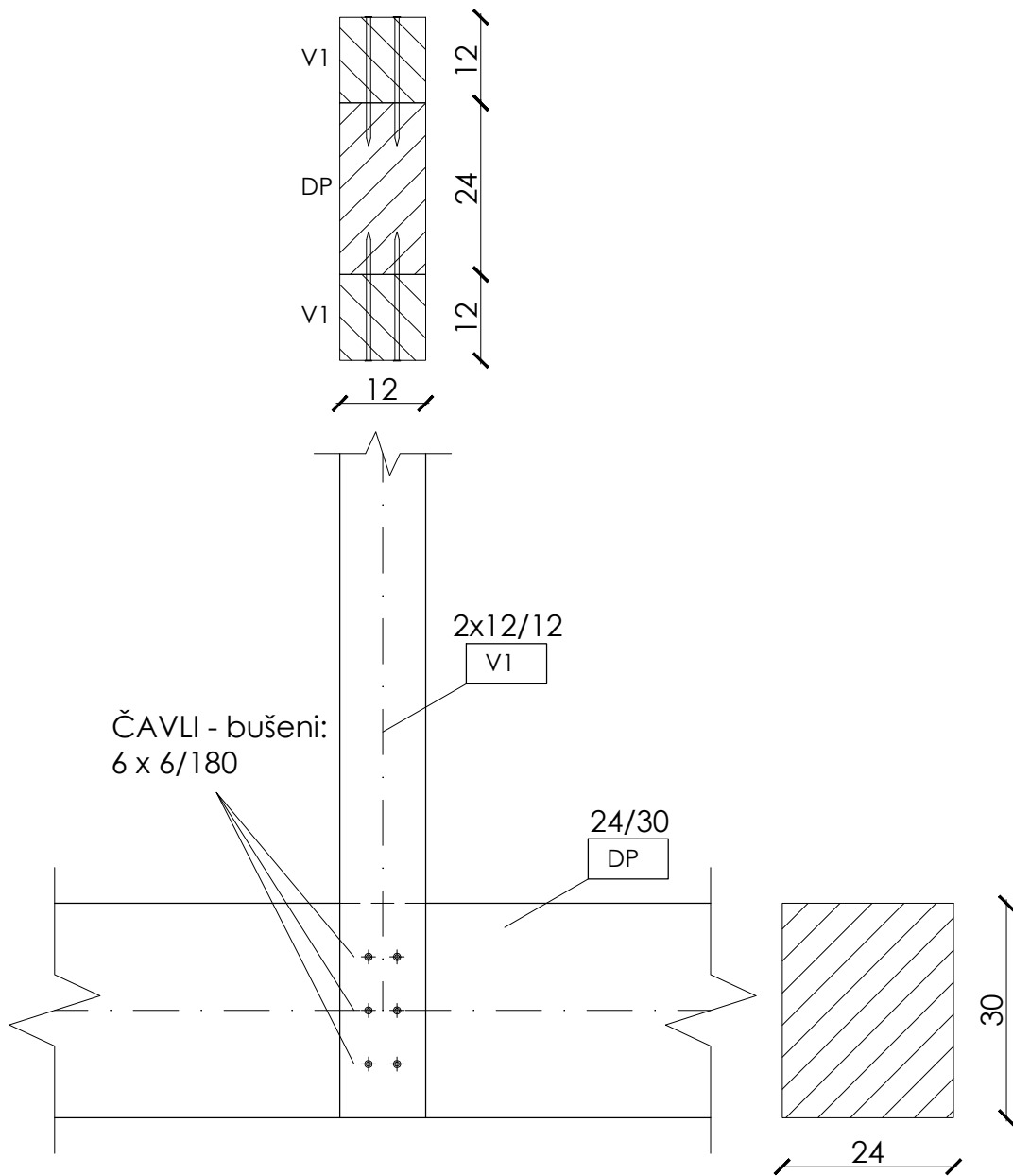
9

DATUM:

21.07.2022.

# DETALJ 8

## M 1:10



OZNAKA	ZNAČENJE
DP	donji pojas (24/30)
V1	vertikala (2x12/12)

ZAVRŠNI RAD				
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	PROGRAM:			
	PRORAČUN DRVENOG KROVIŠTA			
	STUDENTI:		PREDMETNI NASTAVNIK	Izv.prof.dr.sc. Neno Torić
	Marino Brčić Gabrijela Marušić		ASISTENT	mag. ing. aedif. Marko Goreta
SADRŽAJ:		MJERILO	1:10	
DETALJ 8		PRILOG:	10	
DATUM:		21.07.2022.		

## **9. LITERATURA**

1. pred. Neno Torić, izv. prof. dr. sc, Predavanja iz predmeta Drvenih konstrukcija, 2021.

(<http://cigla.gradst.hr/moodle26/mod/folder/view.php?id=3410>)

2. pred. Neno Torić, izv. prof. dr. sc; Marko Goreta mag. ing.aedif., Vježbe iz predmeta Drvenih konstrukcija, 2021.

(<http://cigla.gradst.hr/moodle26/mod/folder/view.php?id=3410>)

3. Norma HRN EN 1995-1-1, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1:  
Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade

4. Norma HRN EN 1995-1-2, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-2:  
Proračun konstrukcija na djelovanje požara

5.A. Bjelanović, V. Rajčić: DRVENE KONSTRUKCIJE PREMA EUROPSKIM  
NORMAMA