

# Proračun drvene rešetkaste konstrukcije

---

**Plenković, Romeo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:720737>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



*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**

**Romeo Plenković**

**Split, 2017.**

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

## **Proračun drvene rešetkaste konstrukcije**

**Završni rad**

**Split, 2017.**

***Sažetak:***

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

***Ključne riječi:***

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

## **Designing of wooden roof truss**

***Abstract:***

Based on given data of truss structure it is needed to design the main structure, secondary structure, wind bracings and make drawings of the main structure and details of joins

***Keywords:***

wood, supporting structure, main structure, secondary structure, grid structure, wind bracings, wooden beam, designing, joins

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

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: Romeo Plenković**

**BROJ INDEKSA: 4121**

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

**PREDMET: Osnove drvenih konstrukcija**

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun drvene rešetkaste konstrukcije

Opis zadatka: Dimenzioniranje drvene rešetkaste konstrukcije na temelju zadanih dimenzija glavnog nosača konstrukcije, lokacije zadane konstrukcije i zadanih svojstava drva. Proračun obuhvaća dimenzioniranje svih elemenata glavnog rešetkastog nosača, sekundarne konstrukcije (podrožnica), prostorne stabilizacije (spregova) i dimenzioniranje pripadajućih spojeva.

U Splitu, kolovoz, 2017.

Voditelj Završnog rada: dr. sc. Neno Torić

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

# PRORAČUN DRVENE REŠETKASTE KONSTRUKCIJE

---

ZAVRŠNI RAD

ROMEO PLENKOVIĆ  
akademska godina 2016./2017.

MENTOR: DOC.DR.SC. NENO TORIĆ

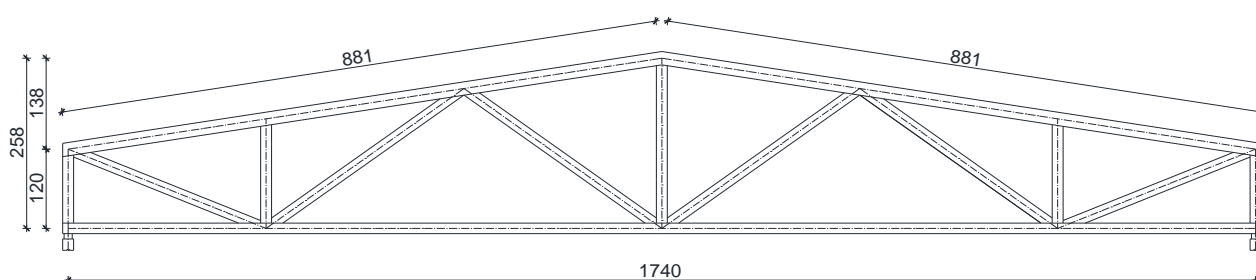
# SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 KONSTRUKTIVNI SUSTAV KROVA .....                             | 1         |
| 1.2 STATIČKA ANALIZA SUSTAVA .....                               | 1         |
| 1.3 OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA .....                          | 1         |
| 1.3.1 <i>Glavni nosivi elementi rešetke</i> .....                | 1         |
| 1.3.2 <i>Podrožnice</i> .....                                    | 2         |
| 1.3.3 <i>Spreg</i> .....   | 2         |
| 1.3.4 <i>Spojevi</i> .....                                       | 2         |
| 1.4 MATERIJALI.....  | 2         |
| 1.4.1 <i>Drveni materijali</i> .....                             | 2         |
| 1.4.2 <i>Metalni elementi</i> .....                              | 3         |
| 1.5 ZAŠTITA.....   | 3         |
| 1.5.1 <i>Zaštita drvenih elemenata</i> .....                     | 3         |
| 1.5.2 <i>Zaštita metalnih elemenata</i> .....                    | 3         |
| 1.6 MONTAŽA I TRANSPORT.....                                     | 3         |
| <b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>                              | <b>4</b>  |
| 2.1 STALNO OPTEREĆENJE .....                                     | 4         |
| 2.1.1 <i>Krovna ploha</i> .....                                  | 4         |
| 2.2 PROMJENJIVO OPTEREĆENJE .....                                | 4         |
| 2.2.1 <i>Opterećenje snijegom</i> .....                          | 4         |
| 2.2.2 <i>Opterećenje vjetrom</i> .....                           | 6         |
| <b>3. STATIČKI PRORAČUN .....</b>                                | <b>12</b> |
| 3.1 OPTEREĆENJA ČVOROVA I PRIKAZ REZNIH SILA .....               | 12        |
| 3.1.1 <i>1. proračunska kombinacija (odizanje)</i> .....         | 12        |
| 3.1.2 <i>2. proračunska kombinacija (pritisak)</i> .....         | 13        |
| 3.2 KONTROLA PROGIBA .....                                       | 14        |
| 3.2.1 <i>Stalno opterećenje (G)</i> .....                        | 14        |
| 3.2.2 <i>Promjenjivo opterećenje - snijeg (Q)</i> .....          | 14        |
| 3.2.3 <i>Promjenjivo opterećenje - vjetar (Q)</i> .....          | 15        |
| <b>4. DIMENZIONIRANJE .....</b>                                  | <b>16</b> |
| 4.1 GORNJI POJAS.....  | 17        |
| 4.2 DONJI POJAS .....  | 20        |
| 4.3 DIJAGONALE.....  | 22        |
| 4.4 VERTIKALE .....  | 24        |
| 4.5 PODROŽNICE .....   | 26        |
| <b>5. STABILIZACIJA.....</b>                                     | <b>28</b> |
| 5.1 STATIČKI PRORAČUN SPREGA .....                               | 29        |
| 5.2 DOKAZ ZA GORNJI POJAS GLAVNOG NOSAČA (POJASEVI SPREGA) ..... | 30        |
| 5.3 DOKAZ ZA PODROŽNICE (VERTIKALE SPREGA) .....                 | 31        |
| 5.4 DOKAZ ZA DIJAGONALE.....                                     | 32        |
| <b>6. PRORAČUN SPAJALA.....</b>                                  | <b>32</b> |
| 6.1 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE .....                                | 32        |
| 6.2 SPOJEVI REŠETKE .....  | 34        |
| <b>7. NACRTI .....</b>   | <b>41</b> |

## 1. Tehnički opis

### 1.1 Konstruktivni sustav krova

Konstruktivni sustav je drveni rešetkasti nosač raspona  $L = 17,4$  m. Visina nosača u tjemenu iznosi  $h = 2,58$  m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 9^\circ$ . Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku  $l = 5,1$  m. Stabiliziranje konstrukcije predviđeno je horizontalnim spregom. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi  $51,0$  m.



### 1.2 Statička analiza sustava

Proračun je izvršen prema EC1 i EC 5. Konstrukcija je izložena djelovanju pokrovne konstrukcije vjetra i snijega. Predmetna građevina se nalazi na području Osijeka, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta III. Odgovarajući koeficijenti za vjetar i snijeg uzeti su prema tome iz popisanih tablica.

Za statički proračun upotrijebljena je kombinacija s najvećim utjecajem, dakle djelovanje snijega + djelovanje vanjskog vjetra + težina pokrova i djelovanje unutarnjeg vjetra + težina pokrova. U program je uključena i vlastita težina konstrukcije.

Proračun reznih sila je pomoću računalnog programa Scia Engineer, na način da su umetnuti zglobovi na mjestima spajanja vertikala i dijagonala s gornjim i donjim pojasom.

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 nosivi elementi rešetke

Glavni nosivi elementi rešetke predstavljaju nosivi dio konstrukcije i prenose vertikalna opterećenja sa krovne plohe na nosive zidove i dalje na temeljno tlo. Dimenzionirani su da prime utjecaj opterećenja od snijega i vjetra i pokrovne konstrukcije. Oni su pravokutnog poprečnog presjeka izrađeni od piljene drvene građe klase C35 karakteristične vrijednosti gustoće  $\rho_k = 400$  kg/m<sup>3</sup>. Glavni nosivi elementi rešetke sa pripadajućim dimenzijama su:



- Gornji pojas (GP), b/h = 18/20 cm.
- Donji pojas (DP), b/h = 18/16 cm.
- Vertikale (V), b/h = 18/16 cm.
- Dijagonale (D), b/h = 18/16 cm.

### 1.3.2 Podrožnice

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavnu nosivu rešetku. Elementi podrožnice koji imaju i funkciju vertikala vjetrovnog sprega (Glavna podrožnica, u nacrtima oznaka Pg), pravokutnog su poprečnog presjeka dimenzija 18 cm x 20 cm i nalaze se na razmaku 2,94 m, a podrožnice koje imaju funkciju smanjenja razmaka oslanjanja krovnih panela (Sekundarna podrožnica, u nacrtima oznaka Ps) su pravokutnog su poprečnog presjeka dimenzija 16 cm x 20 cm i nalaze na polovici razmaka između glavnih podrožnica  $2,94/2 = 1,47$  m.

### 1.3.3 Spreg

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila, za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja i za prostornu stabilizaciju čitave konstrukcije. Horizontalne spregove tvore glavni nosači kao pojasevi, glavne podrožnice kao vertikale i dijagonale koje su izvedene od čelika S235 okruglog poprečnog presjeka M 12.

### 1.3.4 Spojevi

Detalji veza u čvorovima glavnog rešetkastog nosača izvedeni su primjenom suvremenih rješenja s utisnutim čeličnim limom debljine  $t=2,0$  mm (kvaliteta čelika S235) i glatkim čavlima Č 46x130 zabijanim u obostranom nasuprotnom rasporedu bez prebušenja rupa u limu i presjeku od piljene drvene građe. Proračun navedenih spojeva izrađen je za lijevu stranu konstrukcije, gledano od sredine, koja je najopterećenija i primjenjuje se za desnu stranu (simetrično). Zbog duljine konstruktivnog elementa, u doljnjem pojasu izveden je vlačni nastavak (u nacrtu detalj spoja A) pomoću vezica od punog drva dimenzija  $2x 10/16$  cm duljine 96 cm sa tijesno ugrađenim vijcima  $\Phi 16$ mm (M16) kl. čvrstoće 5,6 s pred bušenjem. Vrijednosti unutrašnjih sila u čvorovima priključenih elemenata posljedica su za dimenzioniranje mjerodavnih proračunskih kombinacija u kojima su promjenjivi utjecaji kratkotrajnog razdoblja trajanja.

## 1.4 Materijali

### 1.4.1 Drveni materijali

Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od piljene drvene građe klase C35 karakteristične vrijednosti gustoće  $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$ . Puno drvo ili piljena grada spada u klasu uporabljivosti 1 koju određuje sadržaj prosječne vlažnosti drva do 12%. Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula za ovu klasu:

$$f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$$

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

$$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{o,mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 810 \text{ N/mm}^2$$

#### **1.4.2 Metalni elementi**

Za spajanje pojedinih elemenata upotrijebljeni su tijesno ugrađeni vijci  $\Phi$  16mm (M16) kl. čvrstoće 5,6, i glatki čavli Č 42x130 zabijani bez predbušnja. Materijal izrade vijaka ima vlačnu čvrstoću  $500 \text{ N/mm}^2$ , a čavala ima vlačnu čvrstoću  $600 \text{ N/mm}^2$ . U spojevima glavnog konstruktivnog nosača korišteni su utisnuti čelični limovi debljine  $t=2,0 \text{ mm}$  kvalitete čelika S235. Pokrov je izveden od sendvič panela.

#### **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

#### 2.1.1 Krovna ploha

- sendvič paneli
- vlastita težina je uključena u računalni program

0,25 kN/m<sup>2</sup>

### 2.2 Promjenjivo opterećenje

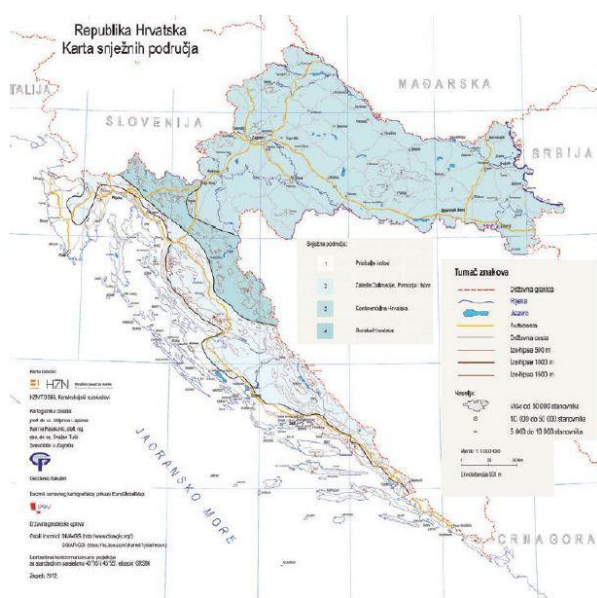
#### 2.2.1 Opterećenje snijegom

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

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

$s_k$  - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m<sup>2</sup>

$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 \Leftrightarrow$  za Osjek, do 100m nadmorske visine (karta i tablica ispod)



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

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

$$0^\circ < \alpha = 9^\circ \leq 30^\circ \rightarrow \mu_i = 0,8$$

| Kut nagiba krova $\alpha$ | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| $\mu_1$                   | 0,8                                 | 0,8 (60 - $\alpha$ ) / 30      | 0,0                    |
| $\mu_2$                   | 0,8 + 0,8 $\alpha$ / 30             | 1,6                            | –                      |

$c_e$  - koeficijent izloženosti

$c_e = 1,0$

$c_t$  - toplinski koeficijent

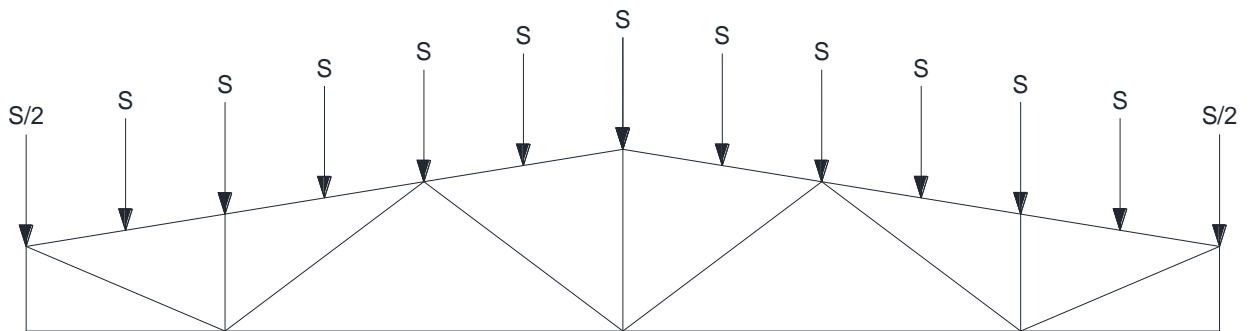
$c_t = 1,0$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

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

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

$$S = 0,8 (kN/m^2) \cdot 5,10 m \cdot 1,47 m = 5,997 kN$$



## 2.2.2 Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom okomito na krovnu ravninu.

$w_e = q_p(z) \cdot c_e$  ( $kN/m^2$ ) - pritisak vjetra na vanjske površine

$w_i = q_p(z) \cdot c_i$  ( $kN/m^2$ ) - pritisak vjetra na unutrašnje površine

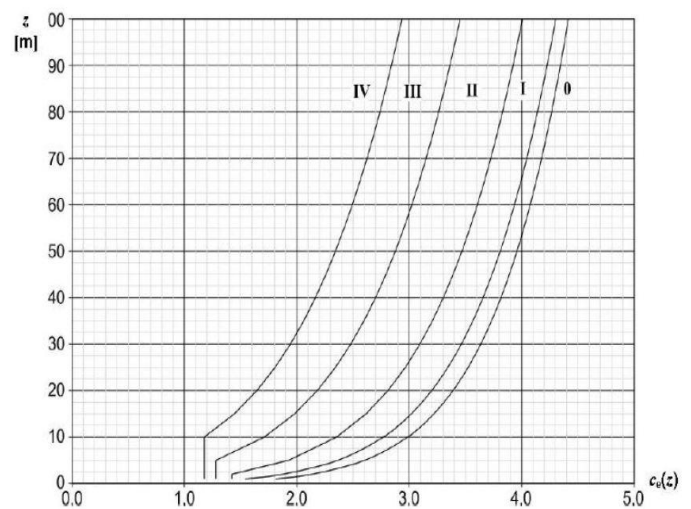
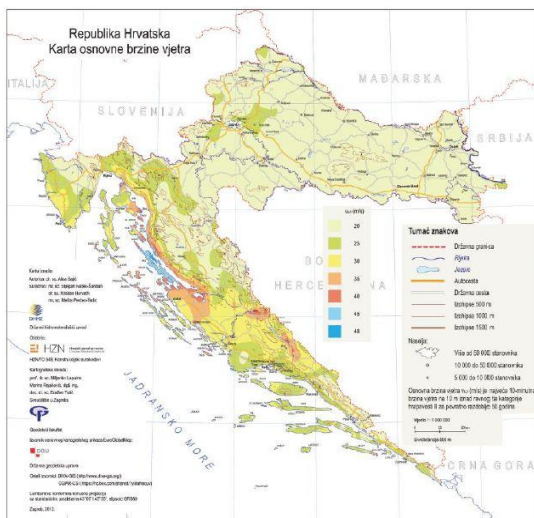
Određivanje osnovnog pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

$q_b$  - referentni pritisak srednje brzine vjetra

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

$v_b$  - osnovna brzina vjetra  $v_b = 20 \text{ (m/s)}$  (donja lijeva slika)



$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2$$

$$q_b = 250 \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 0,25 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

$c_e = 1,70 \rightarrow$  očitano iz gornje desne slike za  $h=10\text{m}$  (visina od tla do najviše točke) i liniju III. (područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja sa izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke npr. sela, predgrađa, stalna šuma).

$$q_p(z) = 1,70 \cdot 0,25 = 0,425 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

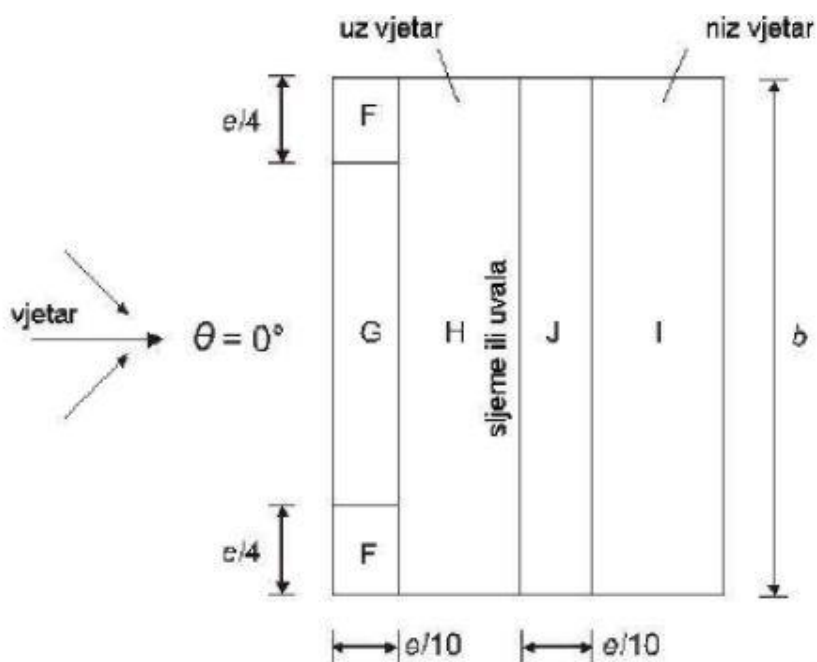
Unutarnji vjetar:

$$c_{i1} = + 0,2$$

$$c_{i2} = - 0,3$$

Nije moguća procjena vrijednost koeficijenta  $\mu$  (koef. koji uzima u obzir otvore na objektu), pa se za koeficijente  $c_{pi1}$  i  $c_{pi2}$  uzimaju nepovoljne vrijednosti  $+0,2$  i  $-0,3$ .

Linearna interpolacija vrijednosti vanjskog pritiska za područja dvostrešnog krova nagiba ( $\alpha=9^\circ$ ):



| Područje za smjer vjetra $\Phi = 0^\circ$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nagib Alfa                                | F     |       | G     |       | H     |       | I     |       | J     |       |
|   | cpe10 | cpe1  | cpe10 | cpe1  | cpe10 | cpe1  | cpe10 | cpe1  | cpe10 | cpe1  |
| 5   | -1,7  | -2,5  | -1,2  | -2,0  | -0,6  | -1,2  | -0,6  |       | 0,2   |       |
|   | 0,0   |       | 0,0   |       | 0,0   |       |       |       | -0,6  |       |
| 9   | -1,38 | -2,30 | -1,04 | -1,80 | -0,48 | -0,72 | -0,52 | -0,52 | -0,28 | -0,48 |
|   | 0,08  |       | 0,08  |       | 0,08  |       | -0,36 |       | -0,36 | -0,36 |
| 15  | -0,9  | -2,0  | -0,8  | -1,5  | -0,3  |       | -0,4  |       | -1,0  | -1,5  |
|   | 0,2   |       | 0,2   |       | 0,2   |       | 0,0   |       | 0,0   | 0,0   |

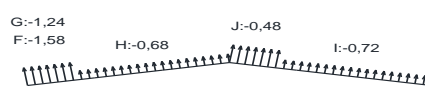
Kombinacije rezultantnih učinaka opterećenja vjetra ( $w$ ) :

- očitani koeficijenti vanjskog pritiska ( $c_{pe}$ ) za pojedina područja dvostrešnog krova kombinirana sa koeficijentima unutarnjeg pritiska ( $c_{pi}$ ) ( $c_{pe} + c_{pi}$ )

- rezultantno djelovanje vjetra ( $w$ ) dobiveno izrazom  $w = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi})$

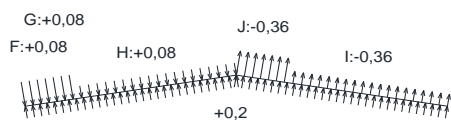
Kombinacija 1.

| područje | $c_{pe10}$ | $c_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m <sup>2</sup> ) | predznak | $w$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------|------------|----------|----------|-------|-------------------------------|----------|--------------------------|
| F        | -1,38      | 0,2      | -        | 1,58  | 0,425                         | -        | 0,672                    |
| G        | -1,04      |          | -        | 1,24  |                               | -        | 0,527                    |
| H        | -0,48      |          | -        | 0,68  |                               | -        | 0,289                    |
| I        | -0,52      |          | -        | 0,72  |                               | -        | 0,306                    |
| J        | -0,28      |          | -        | 0,48  |                               | -        | 0,204                    |



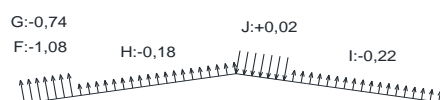
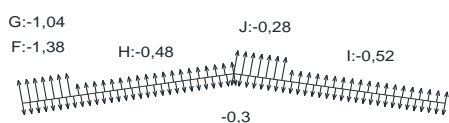
Kombinacija 2.

| područje | $c_{pe10}$ | $c_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m <sup>2</sup> ) | predznak | $w$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------|------------|----------|----------|-------|-------------------------------|----------|--------------------------|
| F        | 0,08       | 0,2      | -        | 0,12  | 0,425                         | -        | 0,051                    |
| G        | 0,08       |          | -        | 0,12  |                               | -        | 0,051                    |
| H        | 0,08       |          | -        | 0,12  |                               | -        | 0,051                    |
| I        | -0,36      |          | -        | 0,56  |                               | -        | 0,238                    |
| J        | -0,36      |          | -        | 0,56  |                               | -        | 0,238                    |



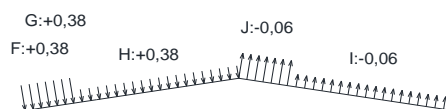
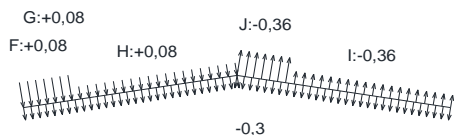
**Kombinacija 3.**

| područje | $C_{pe10}$ | $C_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m <sup>2</sup> ) | predznak | w (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------|------------|----------|----------|-------|-------------------------------|----------|------------------------|
| F        | -1,38      | -0,3     | -        | 1,08  | 0,425                         | -        | 0,459                  |
| G        | -1,04      |          | -        | 0,74  |                               | -        | 0,315                  |
| H        | -0,48      |          | -        | 0,18  |                               | -        | 0,077                  |
| I        | -0,52      |          | -        | 0,22  |                               | -        | 0,094                  |
| J        | -0,28      |          | +        | 0,02  |                               | +        | 0,009                  |



**Kombinacija 4.**

| područje | $C_{pe10}$ | $C_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m <sup>2</sup> ) | predznak | w (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------|------------|----------|----------|-------|-------------------------------|----------|------------------------|
| F        | 0,08       | -0,3     | +        | 0,38  | 0,425                         | +        | 0,162                  |
| G        | 0,08       |          | +        | 0,38  |                               | +        | 0,162                  |
| H        | 0,08       |          | +        | 0,38  |                               | +        | 0,162                  |
| I        | -0,36      |          | -        | 0,06  |                               | -        | 0,026                  |
| J        | -0,36      |          | -        | 0,06  |                               | -        | 0,026                  |



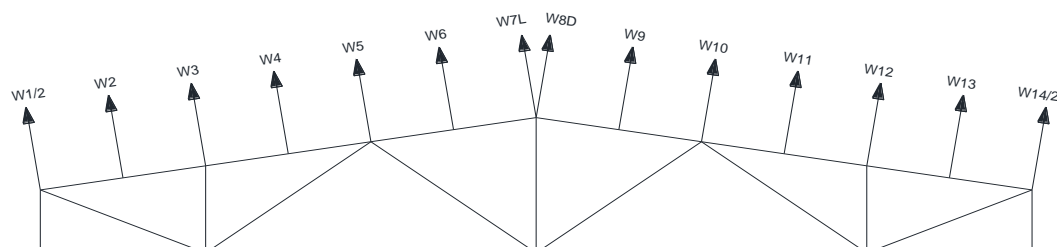
Mjerodavne kombinacije: Kombinacija 1. i Kombinacija 4.



Izračun sila na glavni nosač dobiven iz mjerodavnih kombinacija i utjecajne površine na pojedini čvor:

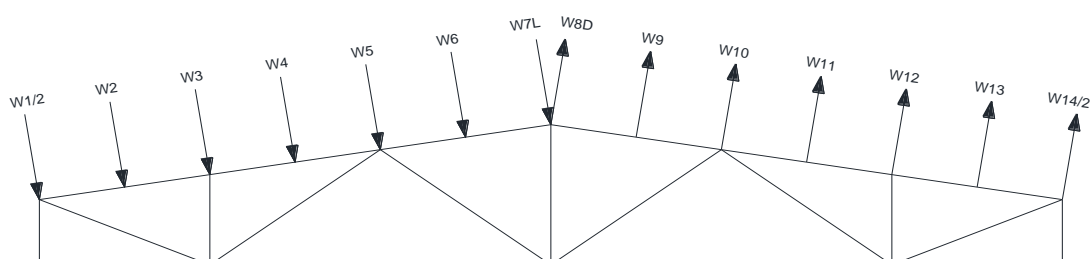
- Kombinacija 1.

| br. področž. | pozicija | w (kN/m <sup>2</sup> ) | n (m) | d'/6 (m) | sila (W) (kN) |
|--------------|----------|------------------------|-------|----------|---------------|
| 1            | G        | 0,672                  | 5,1   | 1,47     | 2,51          |
| 2            | G        | 0,672                  | 5,1   | 1,47     | 5,02          |
| 3            | H        | 0,289                  | 5,1   | 1,47     | 2,16          |
| 4            | H        | 0,289                  | 5,1   | 1,47     | 2,16          |
| 5            | H        | 0,289                  | 5,1   | 1,47     | 2,16          |
| 6            | H        | 0,289                  | 5,1   | 1,47     | 2,16          |
| 7            | H        | 0,289                  | 5,1   | 1,47     | 1,08          |
| 8            | J        | 0,204                  | 5,1   | 1,47     | 0,76          |
| 9            | J        | 0,204                  | 5,1   | 1,47     | 1,53          |
| 10           | I        | 0,306                  | 5,1   | 1,47     | 2,29          |
| 11           | I        | 0,306                  | 5,1   | 1,47     | 2,29          |
| 12           | I        | 0,306                  | 5,1   | 1,47     | 2,29          |
| 13           | I        | 0,306                  | 5,1   | 1,47     | 2,29          |
| 14           | I        | 0,306                  | 5,1   | 1,47     | 1,14          |



- Kombinacija 4.

| br. področ. | pozicija | w (kN/m <sup>2</sup> ) | n (m) | d'/6 (m) | silna (W) (kN) |
|-------------|----------|------------------------|-------|----------|----------------|
| 1           | G        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 0,60           |
| 2           | G        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 1,21           |
| 3           | H        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 1,21           |
| 4           | H        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 1,21           |
| 5           | H        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 1,21           |
| 6           | H        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 1,21           |
| 7           | H        | 0,162                  | 5,1   | 1,47     | 0,60           |
| 8           | J        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,10           |
| 9           | J        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,19           |
| 10          | I        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,19           |
| 11          | I        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,19           |
| 12          | I        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,19           |
| 13          | I        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,19           |
| 14          | I        | 0,026                  | 5,1   | 1,47     | 0,10           |

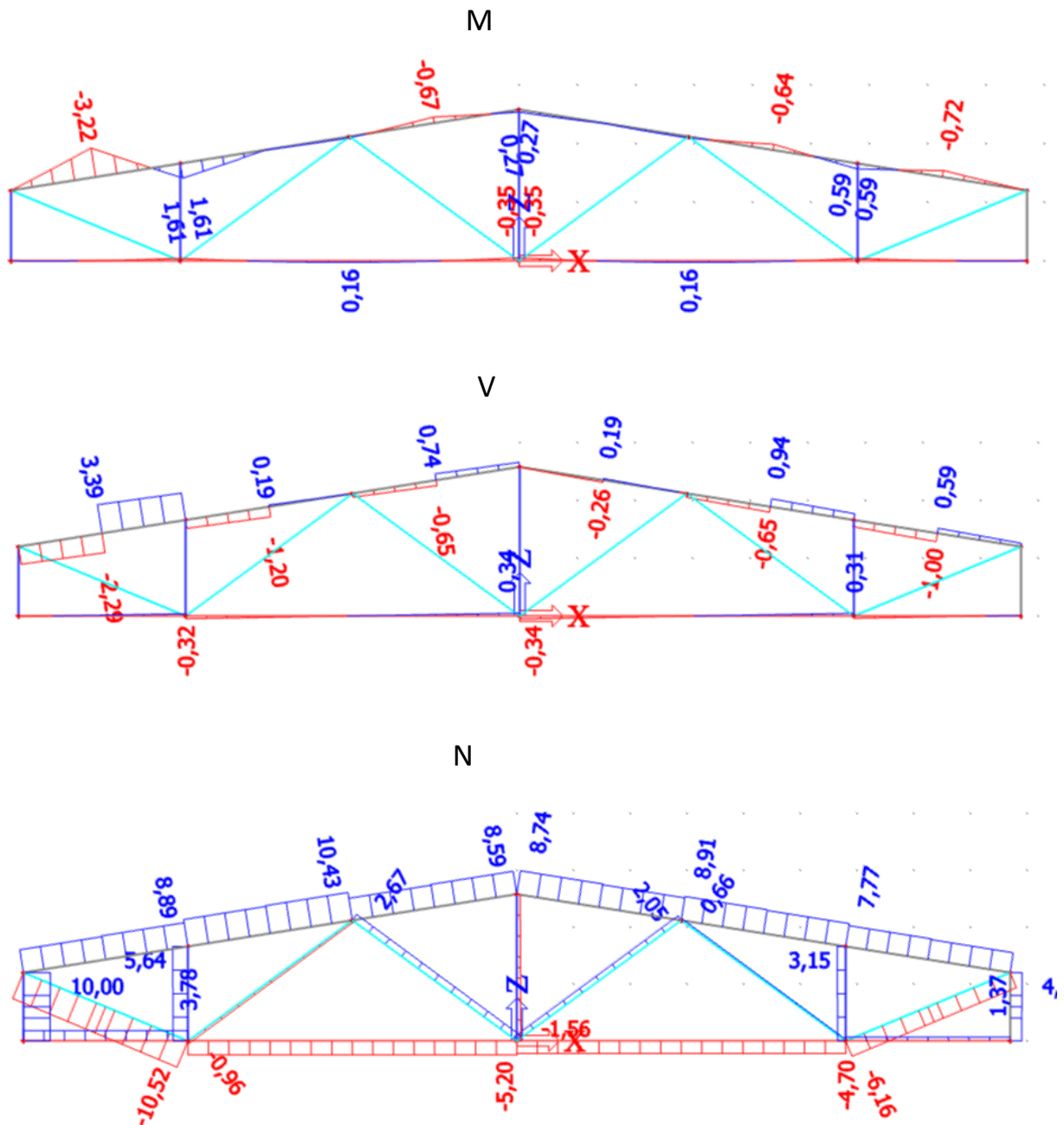


### 3. Statički proračun

#### 3.1 Opterećenja čvorova i prikaz reznih sila

##### 3.1.1 1. proračunska kombinacija (odizanje)

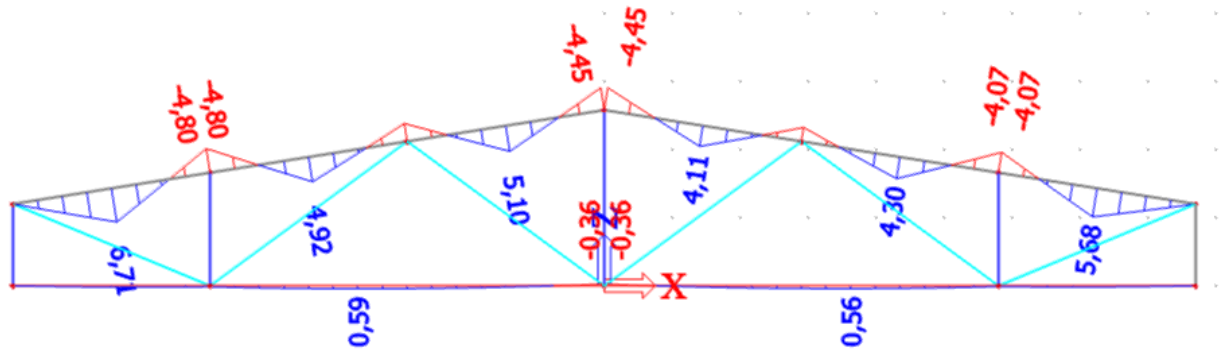
$$1,0 \cdot G + 1,50 \cdot W_1$$



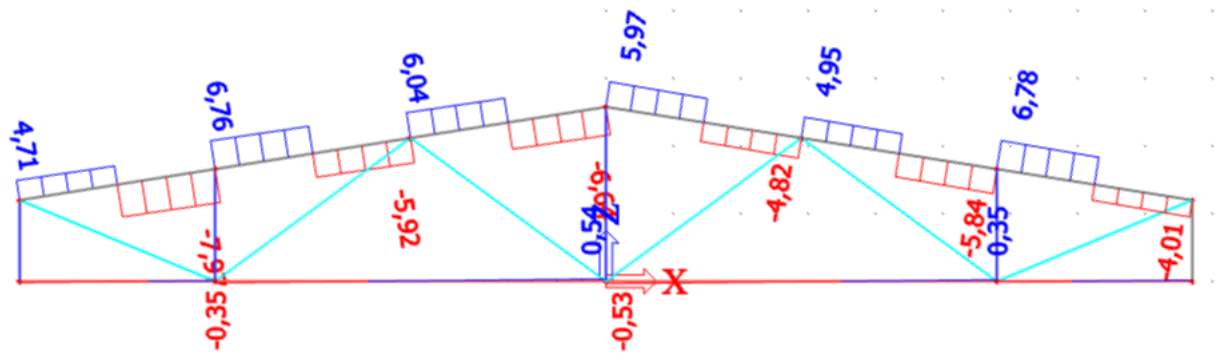
### 3.1.2 2. proračunska kombinacija (pritisak)

$$1,35 \cdot G + 0,90 \cdot (1,50 \cdot S_k + 1,50 \cdot W_2)$$

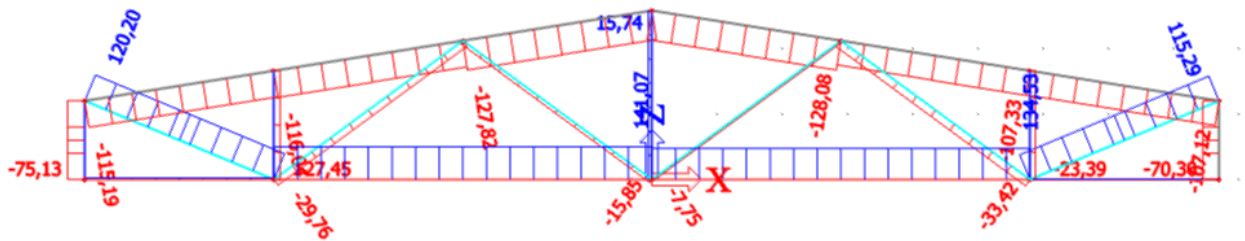
M



V



N



### 3.2 Kontrola progiba

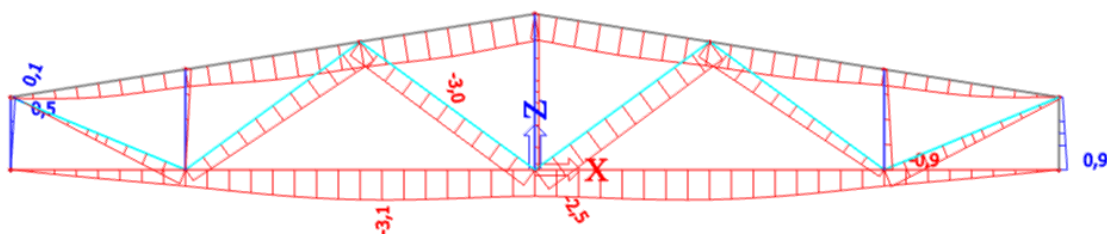
Kombinacije djelovanja za granična stanja uporabljivosti računaju se prema izrazu:

$$\gamma_{G,i} \cdot G_{k,1} + \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,1}$$

Gdje su  $\gamma_{G,i}$ ,  $\gamma_{Q,i}$  parcijalni koeficijenti sigurnosti za djelovanja.

Početna vrijednost deformacije  $u_{inst}$  proračunava se za svako djelovanje pojedinačno pri čemu su parcijalni koeficijenti za djelovanja  $\gamma_{G,i} = 1,0$  i  $\gamma_{Q,i} = 1,0$ . Za glavne nosive elemente konstrukcije izračunava se vrijednost konačne deformacije  $u_{fin}$  koja se dobije zbrojem svih pojedinačnih vrijednosti deformacija ( $u_{i,fin} = u_{i,inst} \cdot (1 + k_{def,i})$ ), a  $k_{def}$  je koeficijent deformacije koji uzima u obzir porast deformacija tijekom vremena. Finalna deformacije se uspoređuju sa graničnim vrijednostima koje su definirane u odnosu na raspon slobodno oslonjene grede duljine L.

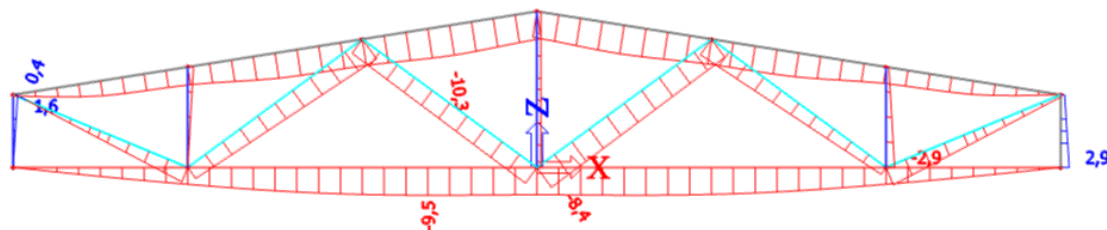
#### 3.2.1 Stalno opterećenje (G)



$$u_{G,inst} = 0,31 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} u_{G,fin} &= u_{G,inst} \cdot (1 + k_{def,G}) \\ &= 0,31 \cdot (1 + 0,8) \\ &= 0,558 \text{ cm} \end{aligned}$$

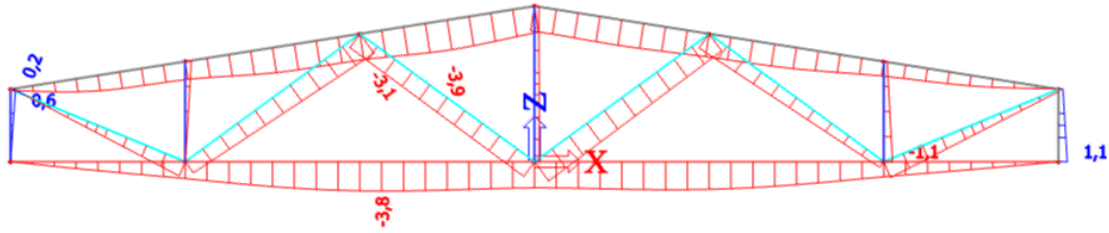
#### 3.2.2 Promjenjivo opterećenje - snijeg (Q)



$$u_{Q,inst} = 1,03 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} u_{Q,fin} &= u_{Q,inst} \cdot (1 + k_{def,P}) \\ &= 1,03 \cdot (1 + 0,5) \\ &= 1,545 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 3.2.3 Promjenjivo opterećenje - vjetar (Q)



$$U_{Q,inst}=0,38 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} U_{Q,fin} &= u_{Q,inst} \cdot (1+k_{def,P}) \\ &= 0,38 \cdot (1+0,5) \\ &= 0,57 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kontrola progiba za pojedinačna djelovanja:

1) a) snijeg

$$\begin{aligned} U_{Q,inst} &\leq \frac{l}{300} \\ 1,03 \text{ cm} &\leq \frac{1740}{300} = 5,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

b) vjetar

$$\begin{aligned} U_{Q,inst} &\leq \frac{l}{300} \\ 0,38 \text{ cm} &\leq \frac{1740}{300} = 5,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

2) a) snijeg

$$\begin{aligned} u_{fin} &= u_{G,fin} + u_{Q,fin. snije.} \\ &= 0,558 + 1,545 \\ &= 2,103 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$u_{fin} = 2,103 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{1740}{200} = 8,7 \text{ cm}$$

b) vjetar

$$\begin{aligned} u_{fin} &= u_{G,fin} + u_{Q,fin. vjet.} \\ &= 0,558 + 0,527 \\ &= 1,128 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$u_{fin} = 1,128 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{17400}{200} = 8,7 \text{ cm}$$

## 4. Dimenzioniranje

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$$

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

$$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 810 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{0,mean} = \frac{2}{3} \cdot 13000 = 8666,67 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 810 = 540 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća:

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

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

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

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

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 18,85 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 11,31 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 13,46 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,7 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.1 Gornji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:  
 $b/h = 18/20 \text{ cm}$

Geometrijske karakteristike presjeka:

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

$$I_y = \frac{18 \cdot 20^3}{12} = 12000,0 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{18^3 \cdot 20}{12} = 9720,0 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 20^2}{6} = 1200,0 \text{ cm}^3$$

##### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{t,d} = 10,43 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 3,22 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{10,43 \text{ kN}}{0,80 \cdot 360 \text{ cm}^2} = 0,0362 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,362 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{3,22 \cdot 100 \text{ kNcm}}{1200,0 \text{ cm}^3} = 0,2683 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,683 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$\frac{2,683}{18,85} + \frac{0,362}{11,31} = 0,1744 < 1$$

Posmik:

$$V_{z,d} = 3,39 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{3,39 \text{ kN}}{360 \text{ cm}^2} = 0,0141 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,141 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,141 \text{ N/mm}^2}{1,45 \text{ N/mm}^2} = 0,0972 < 1$$



## Kombinacija opterećenja 2

$$N_{c,d} = -128,08 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 6,71 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-128,08 \text{ kN}}{360 \text{ cm}^2} = -0,3558 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = -3,558 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{6,71 \cdot 100 \text{ kNcm}}{1200,0 \text{ cm}^3} = 0,5592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 5,592 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = 2,936 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{2,936 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{9720,0 \text{ cm}^4}{360 \text{ cm}^2}}} = 56,51$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{56,51}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8666,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,966$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,966 - 0,3) + 0,966^2] = 1,033$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,033 + \sqrt{1,033^2 - 0,966^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,71; 1,0\} = 0,71$$

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

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{293,6 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}}{18^2 \text{ cm}^2} = 18,12 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz stabilnosti za os y:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$
$$\frac{5,592}{1,0 \cdot 18,85} + \frac{3,558}{0,8 \cdot 13,46} = 0,6666 < 1$$

Posmik:

$$V_{z,d} = 7,97 \text{ kN}$$
$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{7,97 \text{ kN}}{360 \text{ cm}^2} = 0,0332 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,332 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$
$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,332 \text{ N/mm}^2}{1,45 \text{ N/mm}^2} = 0,2284 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 18/20 cm

## 4.2 Donji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:  
 $b/h = 18/16 \text{ cm}$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 16 = 288 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{18 \cdot 16^3}{12} = 6144,0 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{18^3 \cdot 16}{12} = 7776,0 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 16^2}{12} = 768,0 \text{ cm}^3$$

### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{c,d} = -5,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0,35 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-5,2 \text{ kN}}{288 \text{ cm}^2} = -0,0181 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = -0,181 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,35 \cdot 100 \text{ kNcm}}{768,0 \text{ cm}^3} = 0,0456 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,456 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = 5,8 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{5,8 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{6144,0 \text{ cm}^4}{288 \text{ cm}^2}}} = 125,57$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{125,57}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8666,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 2,15$$

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

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,15 - 0,3) + 2,15^2] = 2,99$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{2,99 + \sqrt{2,99^2 - 2,15^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,20; 1,0\} = 0,20$$

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

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{583,3 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm}}{18^2 \text{ cm}^2} = 28,64 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz stabilnosti za os  $y$ :

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

$$\frac{0,456}{1,0 \cdot 18,85} + \frac{0,181}{0,20 \cdot 13,46} = 0,0922 < 1$$

#### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{t,d} = 141,07 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0,59 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{141,07 \text{ kN}}{0,80 \cdot 288 \text{ cm}^2} = 0,6123 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 6,123 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,59 \cdot 100 \text{ kNcm}}{768,0 \text{ cm}^3} = 0,0768 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,768 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$\frac{0,768}{18,85} + \frac{6,123}{11,31} = 0,5822 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno  $b/h = 18/16 \text{ cm}$

### 4.3 Dijagonale

Pretpostavljeni poprečni presjek:  
 $b/h = 18/16\text{cm}$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 16 = 288 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{18 \cdot 16^3}{12} = 6144,0 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{18^3 \cdot 16}{12} = 7776,0 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 16^2}{12} = 768,0 \text{ cm}^3$$

#### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{c,d} = -10,52 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-10,52 \text{ kN}}{288 \text{ cm}^2} = -0,0365 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = -0,365 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = 3,139 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{3,139 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{6144,0 \text{ cm}^4}{288 \text{ cm}^2}}} = 67,961$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{67,961}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8666,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,162$$

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

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,162 - 0,3) + 1,162^2] = 1,261$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,261 + \sqrt{1,261^2 - 1,162^2}}; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,57; 1,0\} = 0,57$$

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

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{313,9 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm}}{18^2 \text{ cm}^2} = 15,50 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz stabilnosti za os  $y$ :

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

$$\frac{0,365}{0,57 \cdot 13,46} = 0,0475 < 1$$

#### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{t,d} = 120,2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = 1,5 \cdot \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = 1,5 \cdot \frac{120,2 \text{ kN}}{0,80 \cdot 288 \text{ cm}^2} = 0,7826 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 7,826 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$\frac{7,826}{11,31} = 0,6921 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno  $b/h = 18/16 \text{ cm}$

#### 4.4 Vertikale

Pretpostavljeni poprečni presjek:  
 $b/h = 18/16\text{cm}$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 16 = 288 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{18 \cdot 16^3}{12} = 6144,0 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{18^3 \cdot 16}{12} = 7776,0 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{18 \cdot 16^2}{12} = 768,0 \text{ cm}^3$$

##### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{t,d} = 10,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{10,00 \text{ kN}}{0,80 \cdot 288 \text{ cm}^2} = 0,0651 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,651 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$\frac{0,651}{11,31} = 0,0576 < 1$$

##### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{c,d} = -75,13, \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-75,13 \text{ kN}}{288 \text{ cm}^2} = -0,2609 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = -2,609 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = 1,20 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{1,20 * 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{6144,0 \text{ cm}^4}{288 \text{ cm}^2}}} = 25,981$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{25,981}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8666,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,444$$

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

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,444 - 0,3) + 0,444^2] \\ = 0,61$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,444^2}}; 1,0 \right\} \\ = \min\{0,97; 1,0\} = 0,97$$

Dokaz stabilnosti za os y:

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

$$\frac{2,609}{0,97 \cdot 13,46} = 0,2007 < 1$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 18/16 cm



#### 4.5 Podrožnice

Najveće opterećenje za stabilizaciju uzrokuje kombinacija koja uključuje stalno opterećenje i vjetar  $w_2$ .

Van sustava stabilizacije  $b/h = 16/20$  cm

Djelovanja

$$\begin{aligned} q_{G,k} &= g_k \cdot e = 0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,94 \text{ m} = 0,735 \text{ kN/m} \\ q_{Q,k,W} &= w_2 \cdot e = 0,162 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,94 \text{ m} = 0,472 \text{ kN/m} \\ q_{Q,k,S} &= s \cdot e = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,94 \text{ m} = 2,352 \text{ kN/m} \\ q_{z,d} &= 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \cos \alpha + 1,50 \cdot 0,9 \cdot (q_{Q,k,W} + q_{Q,k,S} \cdot \cos \alpha) = 4,76 \text{ kN/m} \\ q_{y,d} &= 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \sin \alpha + 1,50 \cdot 0,9 \cdot q_{Q,k,S} \cdot \sin \alpha = 0,65 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Rezne sile:

$$\begin{aligned} M_{y,d} &= \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{4,76 \cdot 5,1^2}{8} = 15,47 \text{ kNm} \\ M_{z,d} &= \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,65 \cdot 5,1^2}{8} = 2,12 \text{ kNm} \\ V_{z,d} &= \frac{q_{z,d} \cdot l}{2} = \frac{4,76 \cdot 5,1}{2} = 12,14 \text{ kN} \\ V_{y,d} &= \frac{q_{y,d} \cdot l}{2} = \frac{0,65 \cdot 5,1}{2} = 1,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$\begin{aligned} A &= 16 \cdot 20 = 320 \text{ cm}^2 \\ W_y &= \frac{16 \cdot 20^2}{6} = 1066,67 \text{ cm}^3 \\ W_z &= \frac{20^2 \cdot 16}{6} = 853,33 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Proračunska naprezanja:

$$\begin{aligned} \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{15,47 \cdot 10^6}{1066,67 \cdot 10^3} = 14,51 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,12 \cdot 10^6}{853,33 \cdot 10^3} = 2,48 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{z,d} &= 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{12,14 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^2} = 0,57 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{y,d} &= 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,66 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^2} = 0,08 \text{ N/mm}^2 \\ \frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} &= \frac{510 \cdot 20}{16^2} = 39,84 < 140 \rightarrow k_m = 1,0 \end{aligned}$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} &= \frac{14,51}{1,0 \cdot 18,85} + 0,7 \cdot \frac{2,48}{18,85} = 0,8620 < 1,0 \\ k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} &= 0,7 \cdot \frac{14,51}{1,0 \cdot 18,85} + \frac{2,48}{18,85} = 0,6706 < 1,0 \\ \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 &= \left( \frac{0,57}{1,45} \right)^2 + \left( \frac{0,08}{1,45} \right)^2 = 0,1560 < 1,0 \end{aligned}$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno  $b/h = 16/20$  cm

U sustavu stabilizacije  $b/h = 18/20$  cm

Djelovanja i rezne sile su jednaka vrijednostima za podroznice van sustava stabilizacije!

Karakteristike poprečnog presjeka:

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

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

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

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{15,47 \cdot 10^6}{1200 \cdot 10^3} = 12,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,12 \cdot 10^6}{1080 \cdot 10^3} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{12,14 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,66 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{510 \cdot 20}{18^2} = 31,48 < 140 \rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{12,89}{1,0 \cdot 16,15} + 0,7 \cdot \frac{1,96}{16,15} = 0,7571 < 1,0$$

$$k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{12,89}{1,0 \cdot 16,15} + \frac{1,96}{16,15} = 0,5831 < 1,0$$

$$\left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0,51}{1,45}\right)^2 + \left(\frac{0,07}{1,45}\right)^2 = 0,1232 < 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno  $b/h = 18/20$  cm

## 5. Stabilizacija

Djelovanja su dobivena analizom vjetra na zabatini zid:

- Određivanje sila u podrožnicama u sustavu stabilizacije (u ravnini krovne plohe):

$$F = q_p \cdot P; \quad q_p = (c_p + c_i) \cdot q_b$$

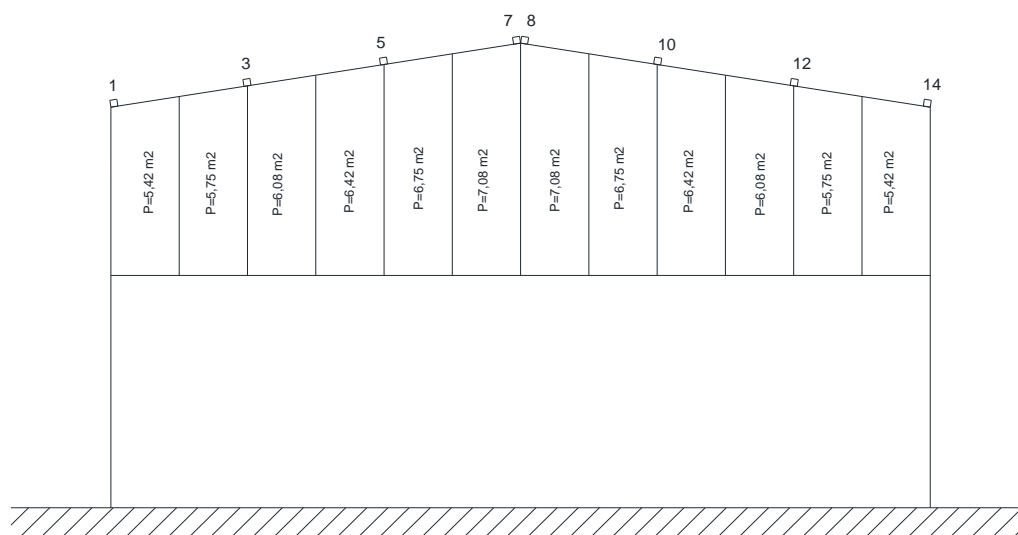
$C_{e1} = +0,8$  (za područje D)

$C_{e2} = -0,5$  (za područje E)

Unutarnji vjetar:

$C_{i1} = +0,2$

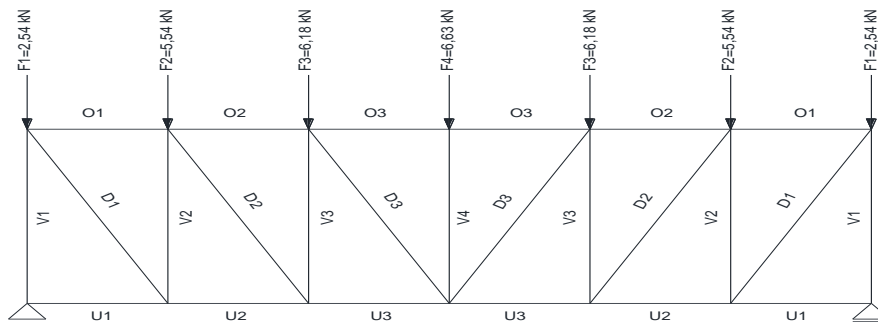
$C_{i2} = -0,3$



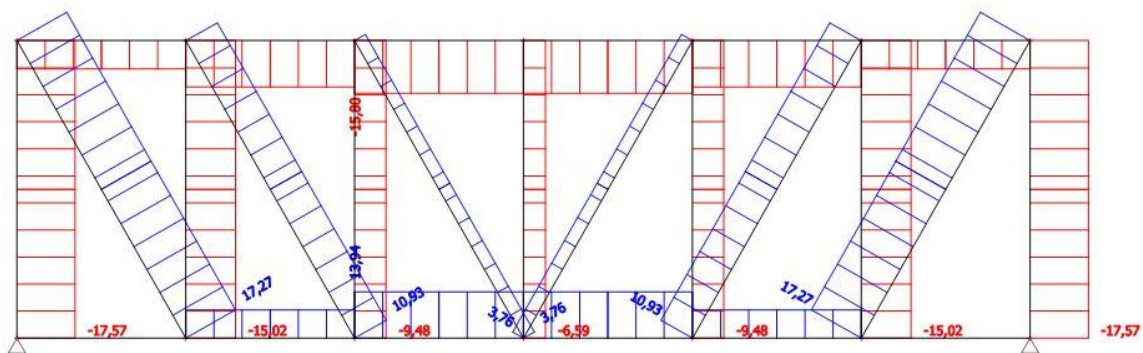
Djelovanje na zabatni zid (proračun i skica zabatnog zida za proračun) ( $F_w = q_p \cdot \sum P$ ):

| br. Področ. | Površina | $\sum P$ (m <sup>2</sup> ) | $q_p$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $F_w$ (kN) |       |       |       |       |       |       |      |
|-------------|----------|----------------------------|----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1           | 5,42     | 5,42                       | 0,468                      | 2,54       |       |       |       |       |       |       |      |
| 3           | 5,75     | 11,83                      |                            | 0,468      | 5,54  |       |       |       |       |       |      |
|             | 6,08     |                            |                            |            |       |       |       |       |       |       |      |
| 5           | 6,45     | 13,2                       |                            |            | 0,468 | 6,18  |       |       |       |       |      |
|             | 6,75     |                            |                            |            |       |       |       |       |       |       |      |
| 7           | 7,08     | 7,08                       |                            |            |       | 0,468 | 6,63  |       |       |       |      |
| 8           | 7,08     | 7,08                       |                            |            |       |       | 0,468 | 6,63  |       |       |      |
| 10          | 6,75     | 13,2                       |                            |            |       |       |       | 0,468 | 6,18  |       |      |
|             | 6,45     |                            |                            |            |       |       |       |       |       |       |      |
| 12          | 6,08     | 11,83                      |                            |            |       |       |       |       | 0,468 | 5,54  |      |
|             | 5,75     |                            |                            |            |       |       |       |       |       |       |      |
| 14          | 5,42     | 5,42                       |                            |            |       |       |       |       |       | 0,468 | 2,54 |

Oznake: O – glavni nosač, V – vertikalna (podrožnica), D – dijagonala sprega (zatega)



### 5.1 Statički proračun sprega



Sile u pojasevima O<sub>3</sub>(U<sub>3</sub>) glavnog nosača:

$$N_{O_3(U_3)d} = 15,80 \text{ kN}$$

Sile u vertikalama (podrožnice):

$$N_{V_1d} = 17,57 \text{ kN}$$

Sile u dijagonalama:

$$\tan \beta = \frac{17,4}{6} = 0,5686 \rightarrow \beta = 30,0^\circ$$

$$N_{D_1d} = 17,27 \text{ kN}$$

## 5.2 Dokaz za gornji pojas glavnog nosača (pojasevi sprega)

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

$$\bar{h}_1 = \frac{h_1}{6} = \frac{20}{6} = 3,333 \text{ cm}$$

$$\bar{A} = b_1 \cdot \bar{h}_1 = 18 \cdot 3,333 = 60,00 \text{ cm}^2$$

Proračunsko naprezanje od  $N_{O_3(U_3)d}$

$$\sigma_{c,0,d, \text{stabilizacija}} = \frac{N_{O_3(U_3)d}}{\bar{A}} = \frac{15,80 \cdot 10^3}{60,00 \cdot 10^2} = 2,633 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos \alpha} = \frac{17,4/6}{\cos 9^\circ} = 2,936 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{2,936 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{12000,0 \text{ cm}^4}{360 \text{ cm}^2}}} = 50,85$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{50,85}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,0 \text{ N/mm}^2}{8666,67 \text{ N/mm}^2}} = 0,869$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,869 - 0,3) + 0,869^2] = 0,93$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{0,93 + \sqrt{0,93^2 - 0,869^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,78; 1,0\} = 0,78$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

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

$$\frac{2,633}{0,78 \cdot 12,38} + \frac{5,592}{1,0 \cdot 18,85} + \frac{3,558}{0,8 \cdot 13,46} = 0,9167 < 1$$

### 5.3 Dokaz za podrožnice (vertikale sprega)

$$\sigma_{c,0,V_1,d, stabilizacija} = \frac{N_{V_1,d}}{A} = \frac{17,57 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os z:

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

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{5,1 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{9720,0 \text{ cm}^4}{360 \text{ cm}^2}}} = 98,15$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{98,15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,0 \text{ N/mm}^2}{8666,67 \text{ N/mm}^2}} = 1,68$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,68 - 0,3) + 1,68^2] = 2,05$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{2,05 + \sqrt{2,05^2 - 1,68^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,31; 1,0\} = 0,31$$

Komentar: Proračun je na strani sigurnosti jer je kod  $\sigma_{c,0,V_1,d}$  uzeta sila u prvoj podrožnici – vertikali sprega.

Dokaz nosivosti i stabilnosti

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

$$\frac{0,49}{0,31 \cdot 13,46} + \frac{14,51}{1,0 \cdot 18,85} + 0,7 \cdot \frac{2,48}{18,85} = 0,8737 < 1,0$$

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

$$\frac{0,49}{0,31 \cdot 13,46} + 0,7 \cdot \frac{14,51}{1,0 \cdot 18,85} + \frac{2,48}{18,85} = 0,6996 < 1,0$$



- Proračunska vrijednost momenta tečenja okruglog vijka promjera  $d=16$  mm

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676 \text{ Nmm}$$

- Odnos čvrstoća pritisaka po omotaču rupe (svi elementi veze istog su materijala  $\beta=1$ )

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{27,55}{27,55} = 1,0$$

- Određivanje proračunske nosivosti jednog jednoreznog vijka M16 promjera  $d=16$  mm

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,0}{1 + 1,0}} \cdot \sqrt{2 \cdot 202676 \cdot 27,55 \cdot 16} = 13367,09 \text{ N}$$

Kontrola debljine elemenata:

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

$$\text{Bočna drva: } t_{1,REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{1,0}{1+1,0}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{202676}{27,55 \cdot 16}} = 84,19 \text{ mm}$$

$$t_{1,REQ} = 84,19 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Srednje drvo: } t_{2,REQ} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{H,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1+1,0}} \right) \cdot \sqrt{\frac{202676}{27,55 \cdot 16}} = 69,74 \text{ mm}$$

$$t_{2,REQ} = 69,74 \text{ mm} < t_2 = 180 \text{ mm}$$

Proračunska vrijednost nosivosti vijaka/rezu:

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

$$R_d = 0,8 \cdot \frac{13,367}{1,1} = 9,72 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{131,15}{2 \cdot 9,72} = 6,74 \quad \text{ODABRANO : 8 vijaka}$$



### Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:

Paralelno sa vlakancima:

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

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

Okomito na vlakanca:

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

$$a_{2,req} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} < 60 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{1,t} = \min(7d; 80 \text{ mm}) = \min(7 \cdot 16; 80) = 112 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

$$a_{2,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

## 6.2 Spojevi rešetke

Osnovni materijal: puno drvo, klasa čvrstoće C35 ( $\rho_{k,1} = 400 \text{ kg/m}^3$ ),

debljina drva  $b=18\text{cm}$ , uporabna klasa 2

Dvorezni spoj s utisnutim čeličnim limom (debljina  $t=2 \text{ mm}$ )

Glatki čavli Č 46x130 ( $d=4,6 \text{ mm}$ ), bez predbušenja ( $t \leq 0,5d$ ), nasuprotno raspoređeni bez preklapanja.

### Provjera dubine zabijanja čavla ( $t_1$ ) i debljine najtanjeg elementa u vezi ( $b_1$ )

- Provjera debljine elementa

$$b_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right.$$

$$b_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot 4,6 = 32,2 \text{ mm} \\ (13 \cdot 4,6 - 30) \cdot \frac{400}{400} = 29,8 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Odabrano:  $b_{\min} = 32,2 \text{ mm}$

$$b_{\min} < b_1 \rightarrow b_1 = \frac{180 - 2}{2} = 89 \text{ mm}$$

Vrijedi:  $b_{\min} < b_1 \rightarrow 32,2 \text{ mm} < 89 \text{ mm}$

- Dubina zabijanja čavla ( $t_1$ )

Najmanja dubina zabijanja čavla:

$$t_1 = l - (b_1 + t) = 130 - (89 + 2) = 39 \text{ mm}$$
$$t_{1,\min} = 8 \cdot d = 33,6 \text{ mm}$$

$t_1 > t_{1,\min} \rightarrow 39 \text{ mm} > 33,6 \text{ mm} \rightarrow$  zadovoljava

$$t_1 = \min \begin{cases} t_1 = b_1 = 89 \text{ mm} \\ t_1 = 39 \text{ mm} \end{cases}$$

Odabrano:  $t_1 = 39 \text{ mm} \approx 40 \text{ mm}$

- Razmaci zabijanih čavala (kut otklona sile u odnosu na vlakanca  $\alpha = 0^\circ$ )

Paralelno sa vlakancima:

$$a_{1,req} = 0,7 \cdot (5 + 5 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d = 7 \cdot d =$$

$$a_{1,req} = 0,7 \cdot (5 + 5 \cdot \cos 0) \cdot 4,6 = 7 \cdot 4,6 = 32,2 \text{ mm} \leq 34 \text{ mm}$$

Okomito na vlakanca:

$$a_{2,req} = 0,7 \cdot 5 \cdot d = 3,5 \cdot d =$$

$$a_{2,req} = 0,7 \cdot 5 \cdot 4,6 = 3,5 \cdot 4,6 = 14,7 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{3,t} = 0,7 \cdot (10 + 5 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d = 10,5 \cdot d =$$

$$a_{3,t} = 0,7 \cdot (10 + 5 \cdot \cos 0) \cdot 4,6 = 10,5 \cdot 4,6 = 48,3 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

Od neopterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{3,c} = 0,7 \cdot 10 \cdot d = 7 \cdot d =$$

$$a_{3,c} = 0,7 \cdot 10 \cdot 4,6 = 7 \cdot 4,6 = 32,2 \text{ mm} \leq 34 \text{ mm}$$

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

$$a_{4,c} = 0,7 \cdot 5 \cdot d = 3,5 \cdot d =$$

$$a_{4,c} = 0,7 \cdot 5 \cdot 4,6 = 3,5 \cdot 4,6 = 14,7 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

- Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C35 po omotaču rupe od čavla

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 400 \cdot 4,6^{-0,3} = 20,75 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{20,75}{1,3} = 14,37 \text{ N/mm}^2$$

- Proračunska vrijednost momenta tečenja okruglog čavla promjera d=4,6 mm

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4,6^{2,6} = 9515,75 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{9515,75}{1,1} = 8650,68 \text{ Nmm}$$

-Određivanje proračunske nosivosti jednog dvoreznog zabijanog čavla Č 46x130

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = 14,37 \cdot 39 \cdot 4,6 = 2577,98 \text{ N}$$

$$R_d = 1,1 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] =$$

$$= 1,1 \cdot 14,37 \cdot 39 \cdot 4,6 \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 8650,68}{14,37 \cdot 4,6 \cdot 39^2}} - 1 \right] = 1505,99 \text{ N}$$

$$R_d = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 8650,68 \cdot 14,37 \cdot 4,6} = 1604,13 \text{ N}$$

minimalna odabrana vrijednost od predhodno izračunatih vrijednosti:

$$R_{d,min} = 1505,99 \text{ N} \rightarrow \text{Proračunska nosivost jednog } \underline{\text{jednoreznog}} \text{ zabijanog čavla Č46x130}$$

Ukupna proračunska vrijednost nosivosti jednog dvoreznog zabijanog čavla Č46x130:

$$\sum R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 2 \cdot 1505,99 = 3011,98 \text{ N}$$

**Potreban broj čavala u spoju:**

- nasuprotni raspored bez preklapanja

**Spoj 1:**

Donji pojas (DP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{6,5 \cdot 10^3}{3011,98} = 2,15$$

$$n = 12 \text{ komada} > n_{pot}$$

Vlačna vertikala (V3):

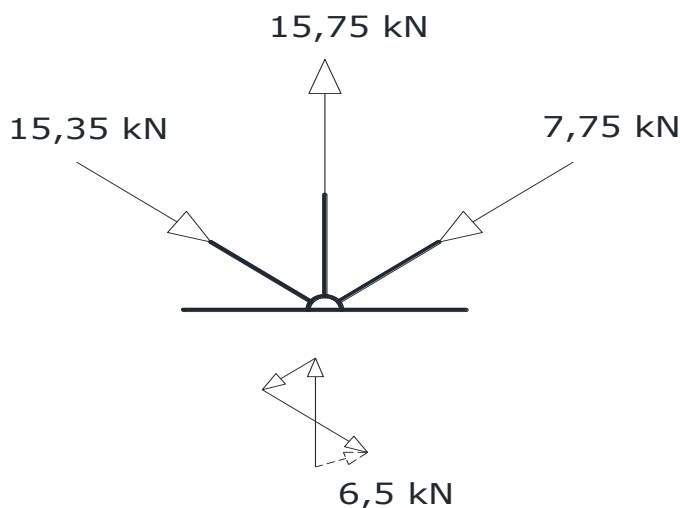
$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{15,74 \cdot 10^3}{3011,98} = 5,23$$

$$n = 9 \text{ komada} > n_{pot}$$

Tlačna dijagonala (D3):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{15,85 \cdot 10^3}{3011,98} = 5,26$$

$$n = 9 \text{ komada} > n_{pot}$$



**Spoj 2:**

Vlačna vertikala (V3):

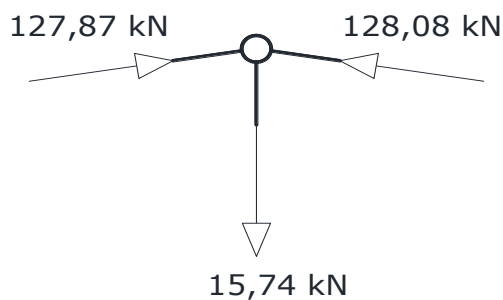
$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{15,74 \cdot 10^3}{3011,98} = 5,23$$

$$n = 8 \text{ komada} > n_{pot}$$

Gornji pojas (GP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{128,08 \cdot 10^3}{3011,98} = 42,52$$

$$n = 46 \text{ komada} > n_{pot}$$



Spoj 3:

Gonji pojas (GP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{6,5 \cdot 10^3}{3011,98} = 2,16$$

$$n = 12 \text{ komada} > n_{pot}$$

Tlačna dijagonala (D3):

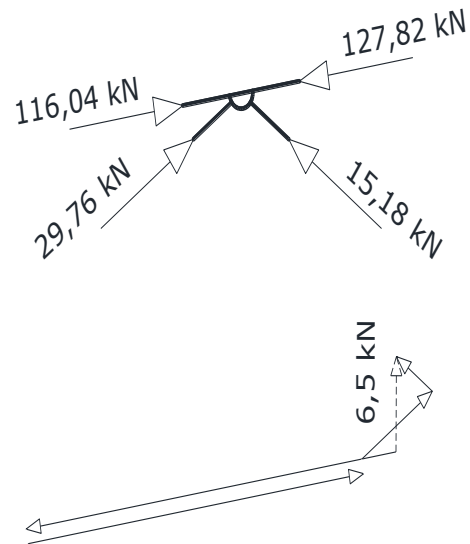
$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{15,18 \cdot 10^3}{3011,98} = 5,04$$

$$n = 9 \text{ komada} > n_{pot}$$

Tlačna dijagonala (D2):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{29,76 \cdot 10^3}{3011,98} = 9,88$$

$$n = 12 \text{ komada} > n_{pot}$$



Spoj 4:

Donji pojas (DP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{0,98 \cdot 10^3}{3011,98} = 0,33$$

$$n = 12 \text{ komada} > n_{pot}$$

Vlačna dijagonala (D1):

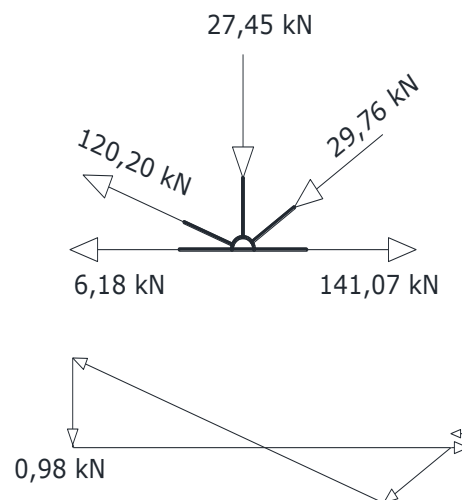
$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{120,20 \cdot 10^3}{3011,98} = 39,91$$

$$n = 42 \text{ komada} > n_{pot}$$

Tlačna vertikala (V2):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{27,45 \cdot 10^3}{3011,98} = 9,11$$

$$n = 12 \text{ komada} > n_{pot}$$



Spoj 5:

Tlačna vertikala (V2):

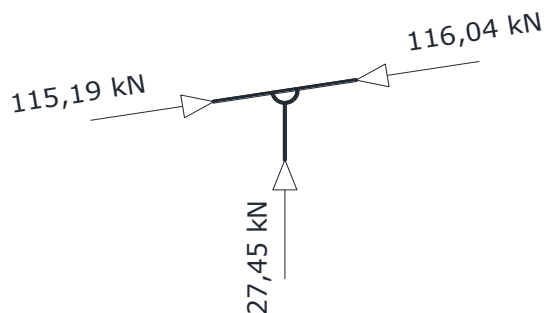
$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{27,45 \cdot 10^3}{3011,98} = 9,11$$

$$n = 12 \text{ komada} > n_{pot}$$

Gornji pojas (GP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{27,45 \cdot 10^3}{3011,98} = 9,11$$

$$n = 15 \text{ komada} > n_{pot}$$



Spoj 6:

Tlačna vertikala (V1):

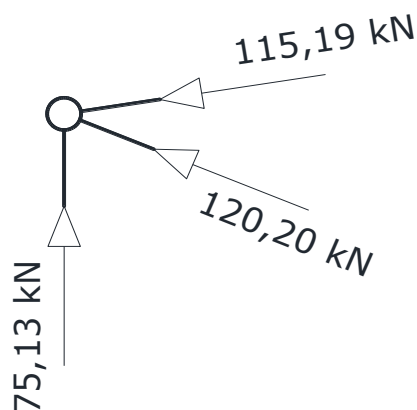
$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{75,13 \cdot 10^3}{3011,98} = 24,94$$

$$n = 28 \text{ komada} > n_{pot}$$

Gornji pojas (GP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{115,19 \cdot 10^3}{3011,98} = 38,24$$

$$n = 40 \text{ komada} > n_{pot}$$



Vlačna dijagonala (D1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{120,20 \cdot 10^3}{3011,98} = 39,91$$

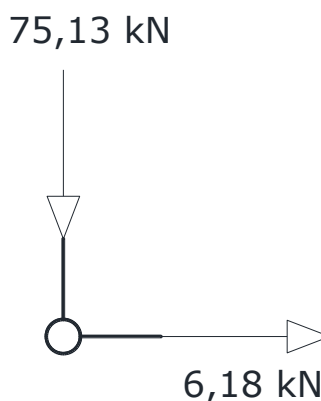
$$n = 42 \text{ komada} > n_{pot}$$

Spoj 7:

Tlačna vertikala (V1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{75,13 \cdot 10^3}{3011,98} = 24,94$$

$$n = 28 \text{ komada} > n_{pot}$$



Donji pojas (DP1):

$$n_{pot} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{6,18 \cdot 10^3}{3011,98} = 2,05$$

$$n = 6 \text{ komada} > n_{pot}$$

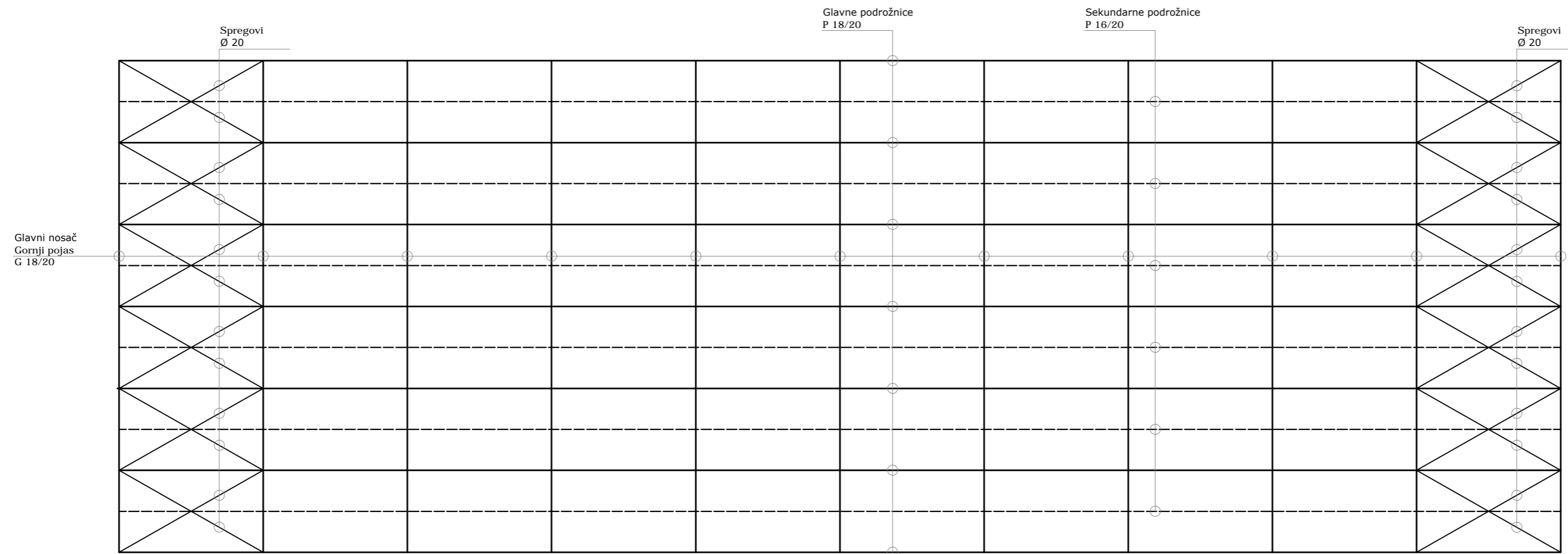
## **7. Nacrti**

- 1. Generalni plan pozicija (tlocrt glavnih nosača, podrožnica i spregova) M 1:150**
- 2. Radionički nacrt glavnog nosača M1:25**
- 3. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača (vlačni nastavak) M 1:10**
- 4. Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 1 i 2) M 1:10**
- 5. Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 3 i 4) M 1:10**
- 6. Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 5 i 6) M 1:10**
- 7. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača (spoj 7) M 1:10**

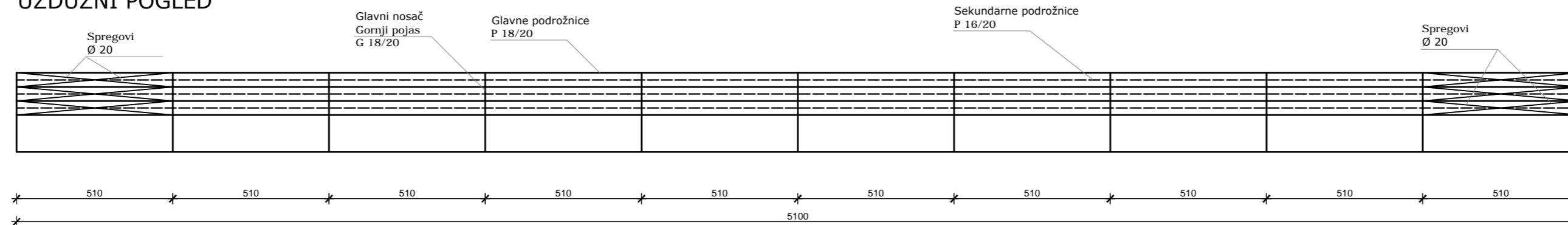


Generalni plan pozicija (tlocrt glavnih nosača, podrožnica i spregova)  
M 1:150

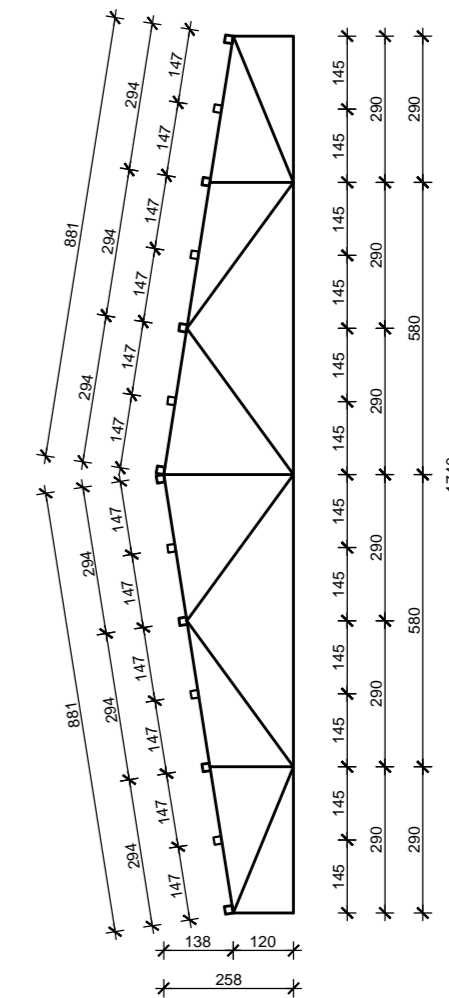
TLOCRTNI POGLED




UZDUŽNI POGLED

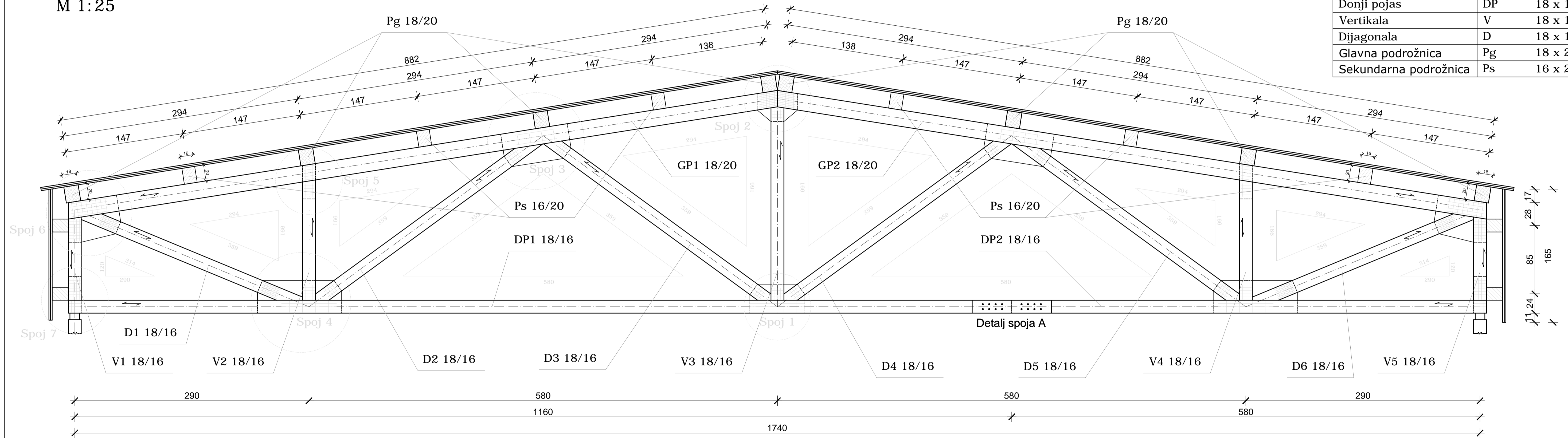


BOČNI POGLED




|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE |   |  |
|   | Studij:  | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež:   |
|   | Predmet:   | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad        | Generalni plan pozicija<br>(tlocrt glavnih nosača,<br>podrožnica i spregova) |
|   | Tema:  | Proračun drvene rešetkaste konstrukcije         |  |
|   | Mentor:  | Doc. Dr. Sc. Neno Torić                         |  |
| Izradio:  | Romeo Plenković, 4121  | Mjerilo: 1:150                                  |  |
| Datum:  | kolovoz, 2017.   | List: 1   |  |

Radionički nacrt glavnog nosača  
M 1:25



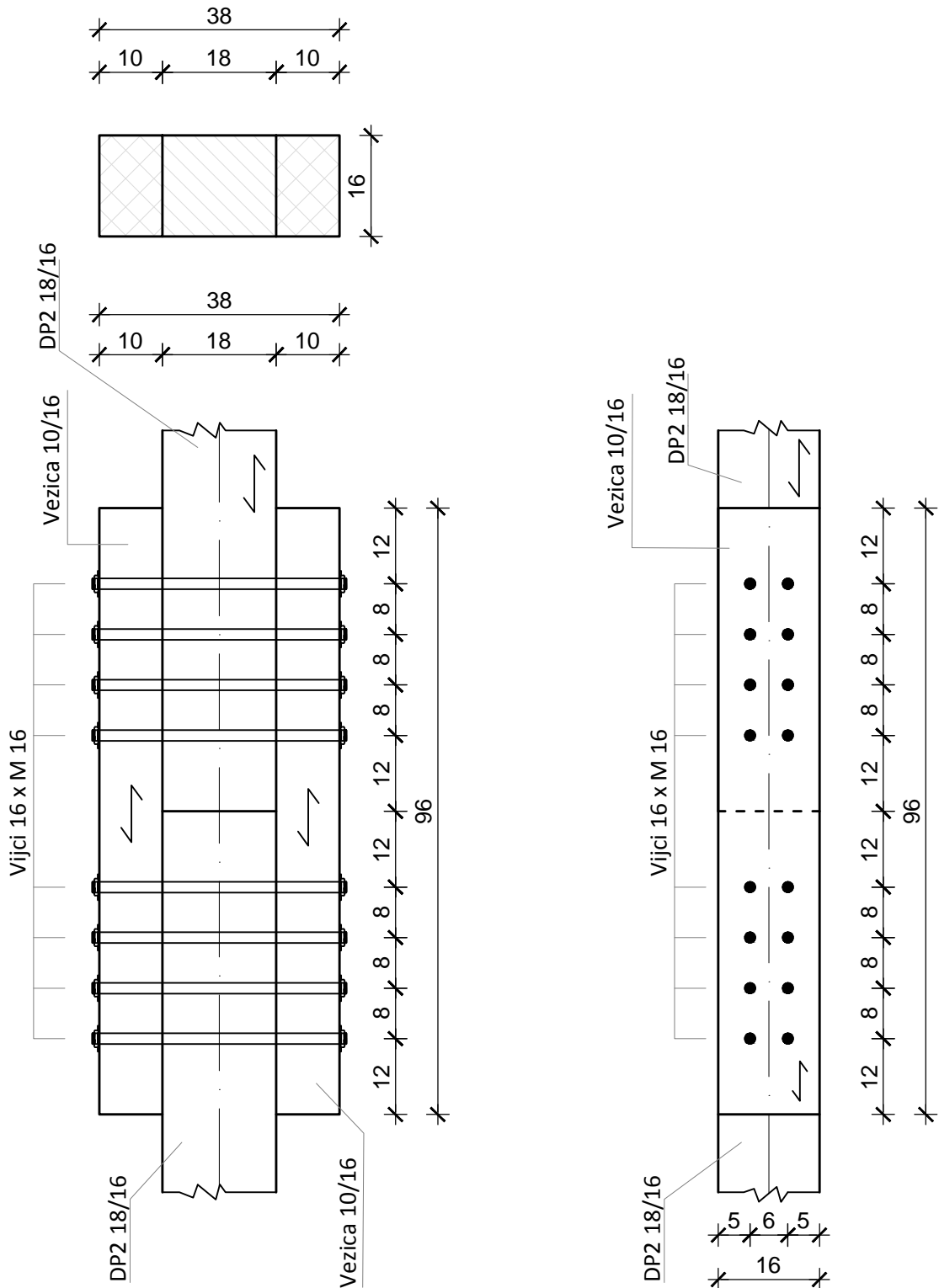
| Konstruktivni element | Oznaka | Dimenzije |
|-----------------------|--------|-----------|
| Gornji pojas          | GP     | 18 x 20   |
| Donji pojas           | DP     | 18 x 16   |
| Vertikala             | V      | 18 x 16   |
| Dijagonala            | D      | 18 x 16   |
| Glavna podrožnica     | Pg     | 18 x 20   |
| Sekundarna podrožnica | Ps     | 16 x 20   |

|  |   |          |                                 |
|--|---|----------|---------------------------------|
|  SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE |   |          |                                 |
| Studij:  | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež:   | Radionički nacrt glavnog nosača |
| Predmet:   | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad        |          |                                 |
| Tema:  | Proračun drvene rešetkaste konstrukcije         |          |                                 |
| Mentor:  | Doc. Dr. Sc. Neno Torić                         | Mjerilo: | 1:25                            |
| Izradio:   | Romeo Plenković, 4121                           | Datum:   | kolovoz, 2017.                  |
|  |   | List:    | 2                               |

# Detalj spoja A

## M 1:10

| Objašnjenje oznaka:             |    |
|---------------------------------|----|
| Smijer rasprostiranja vlakanaca |    |
| Glava vijka                     |    |
| Donji pojas                     | DP |

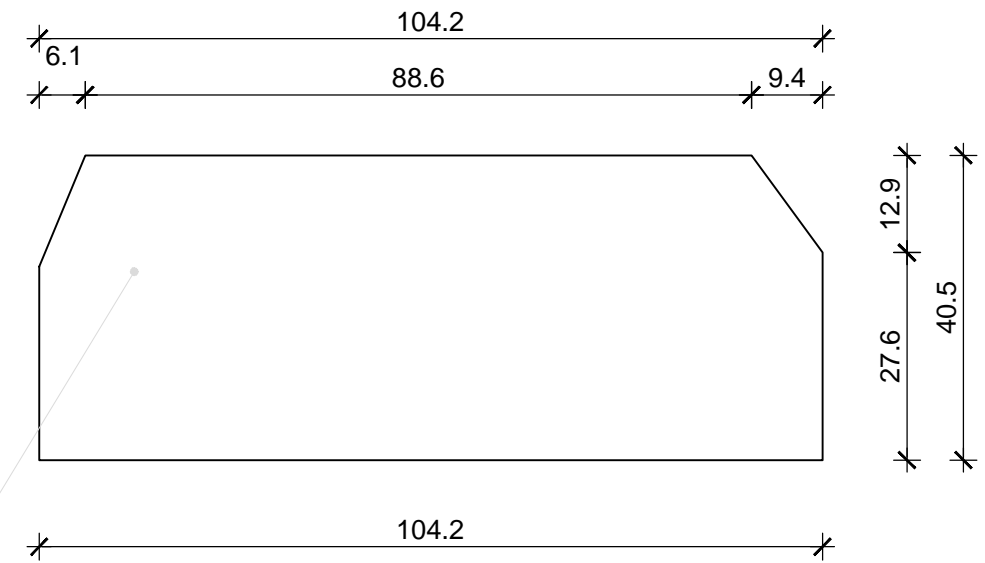
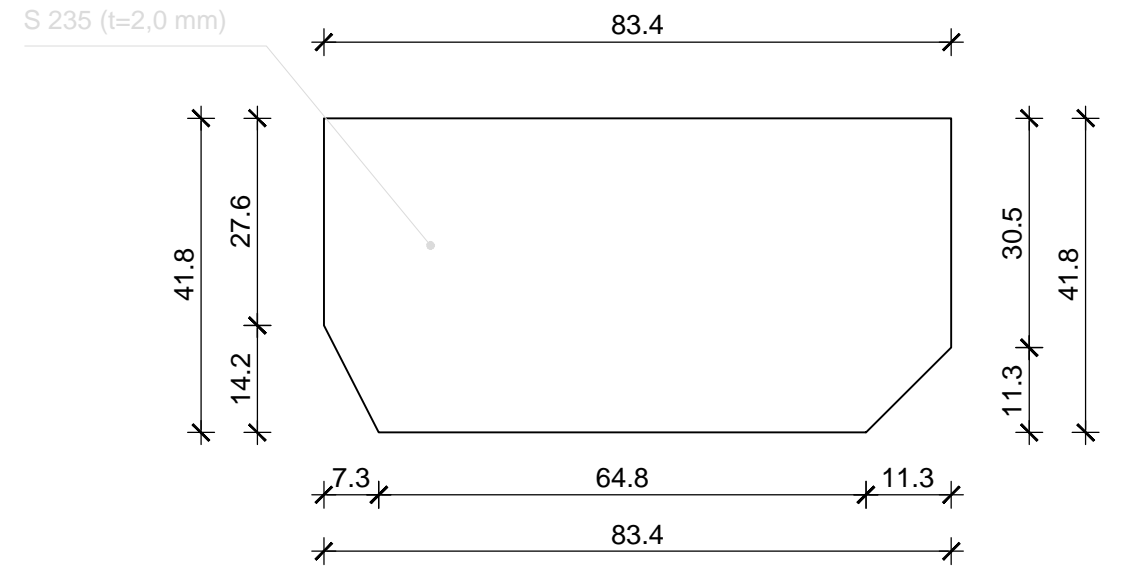
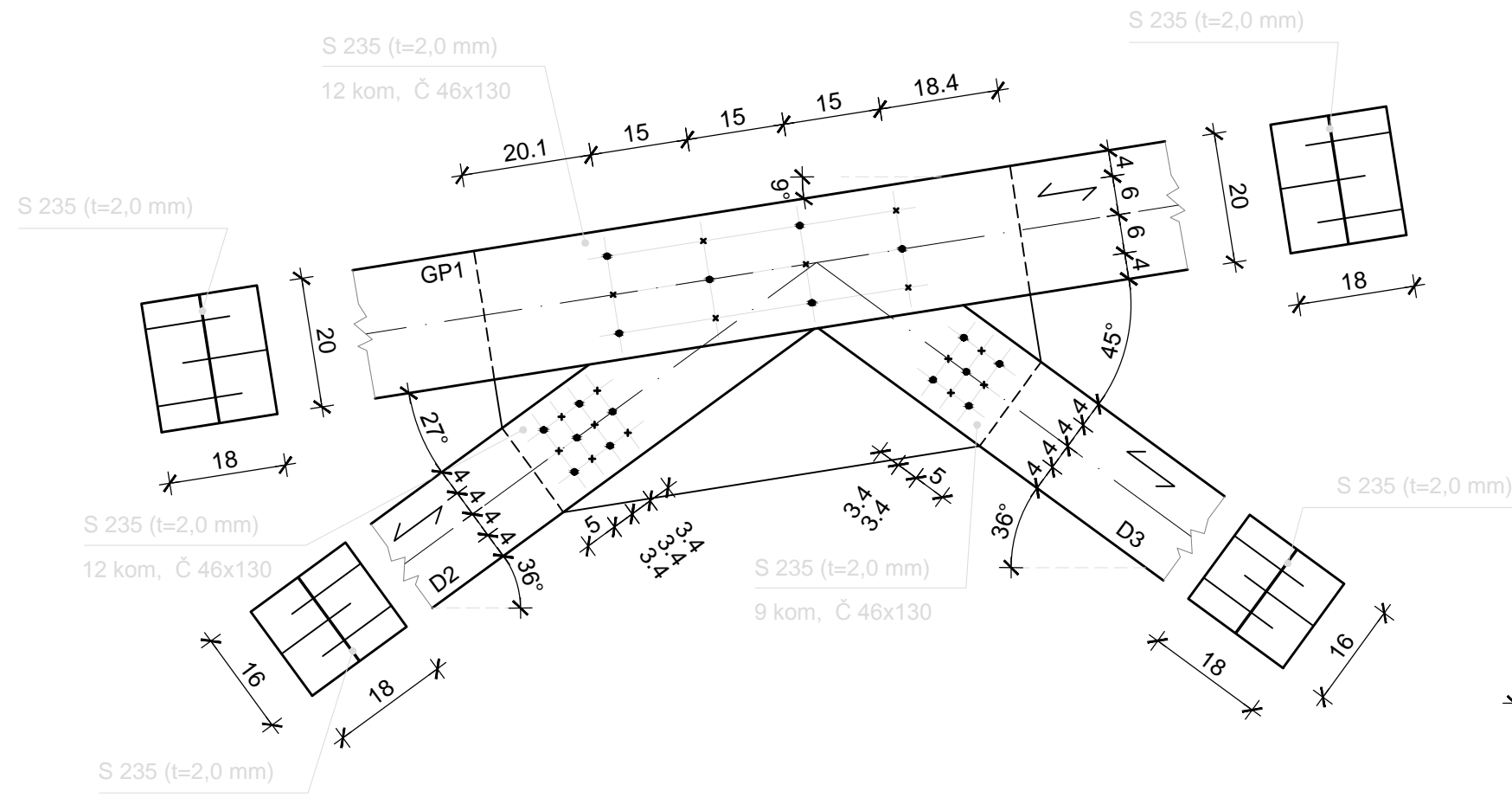


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

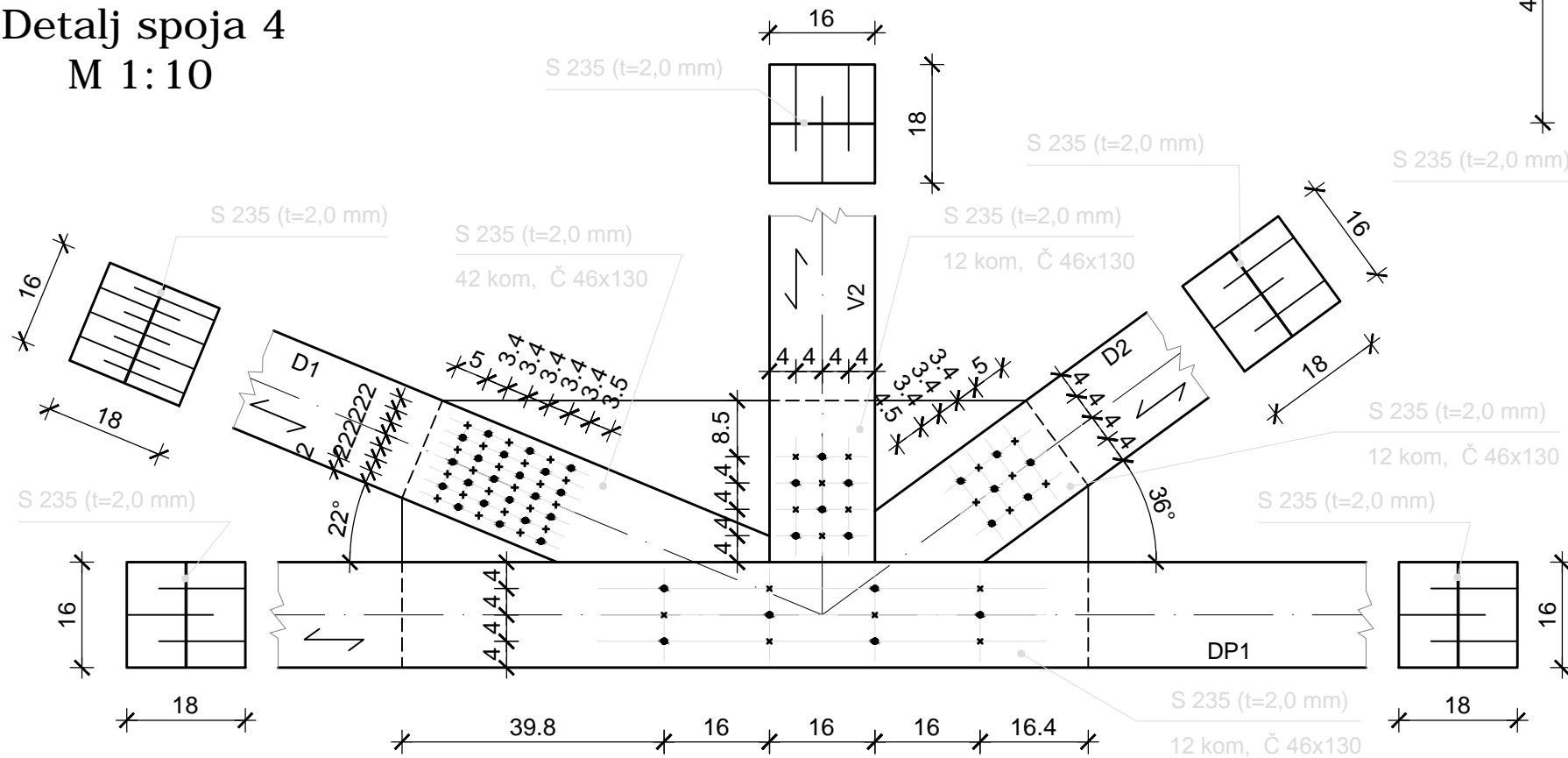
|          |   |  |
|----------|---|--|
| Studij:  | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež:<br>Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača (vlačni nastavak) |
| Predmet: | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad        |  |
| Tema:    | Proračun drvene rešetkaste konstrukcije         |  |
| Mentor:  | Doc. Dr. Sc. Neno Torić                         |  |
| Izradio: | Romeo Plenković, 4121                           | Mjerilo: 1:10  |
| Datum:   | kolovoz, 2017.                                  | List: 3  |




### Detalj spoja 3 M 1:10



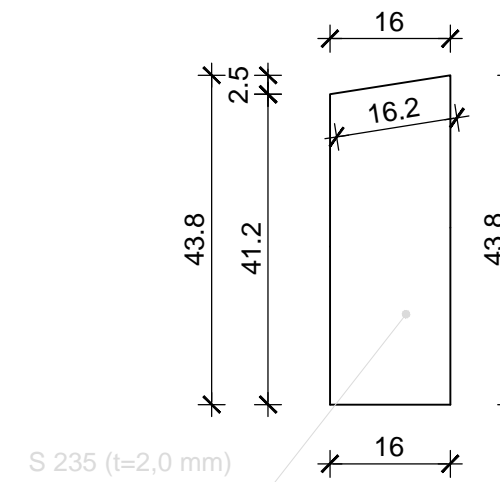
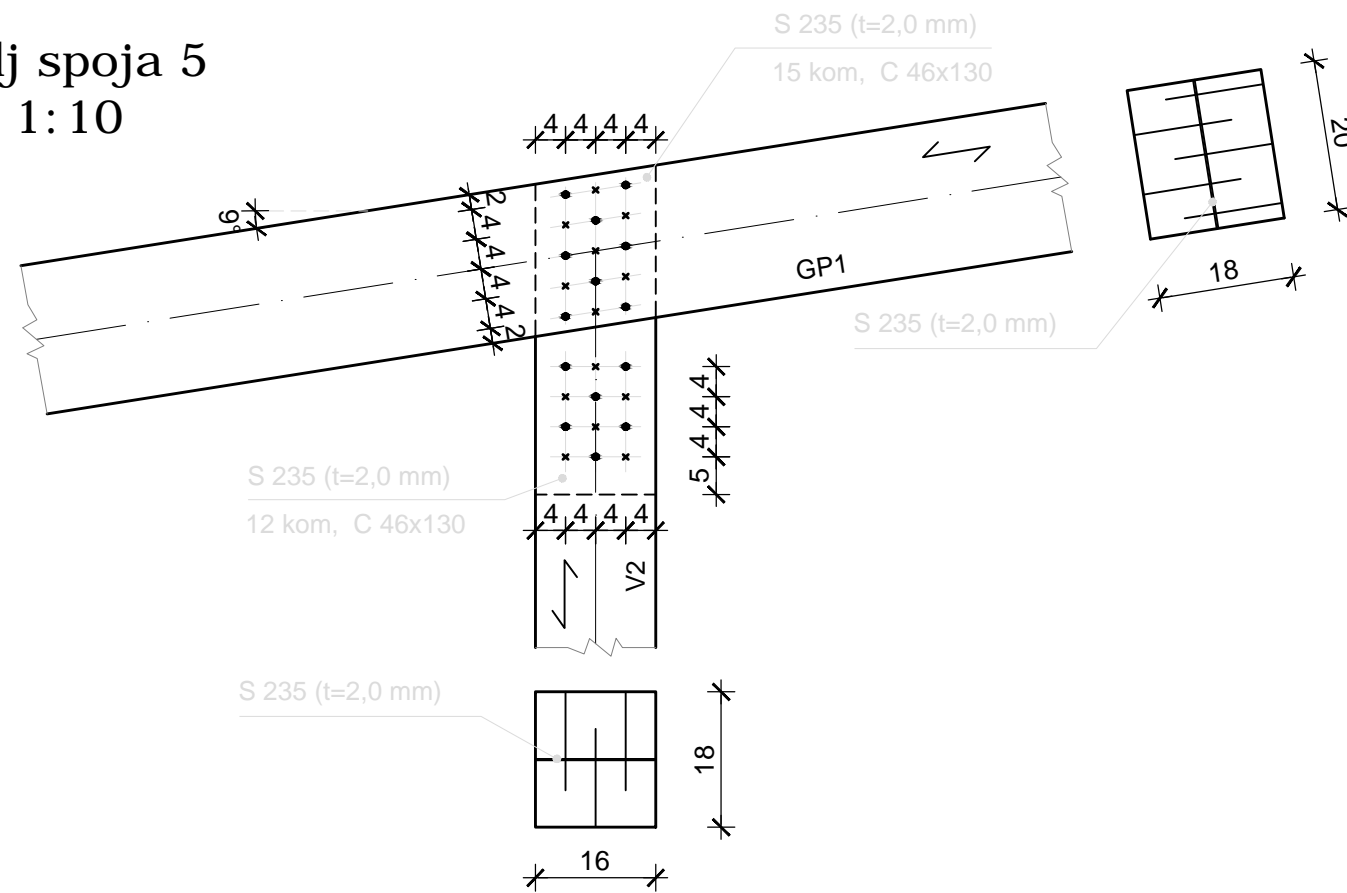
### Detalj spoja 4 M 1:10



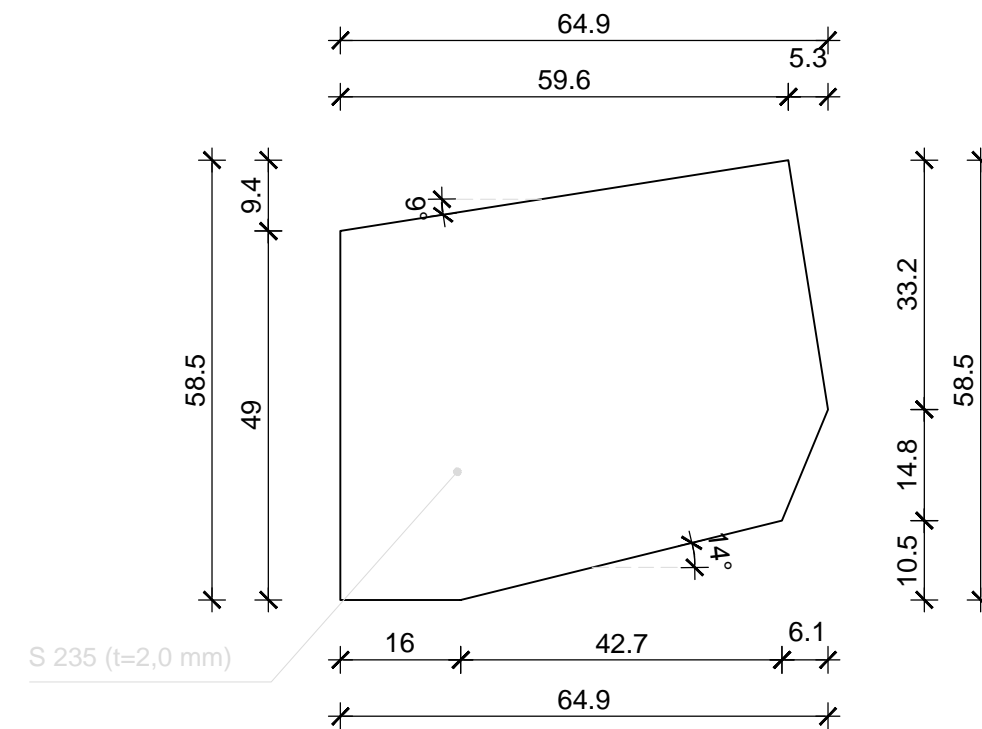
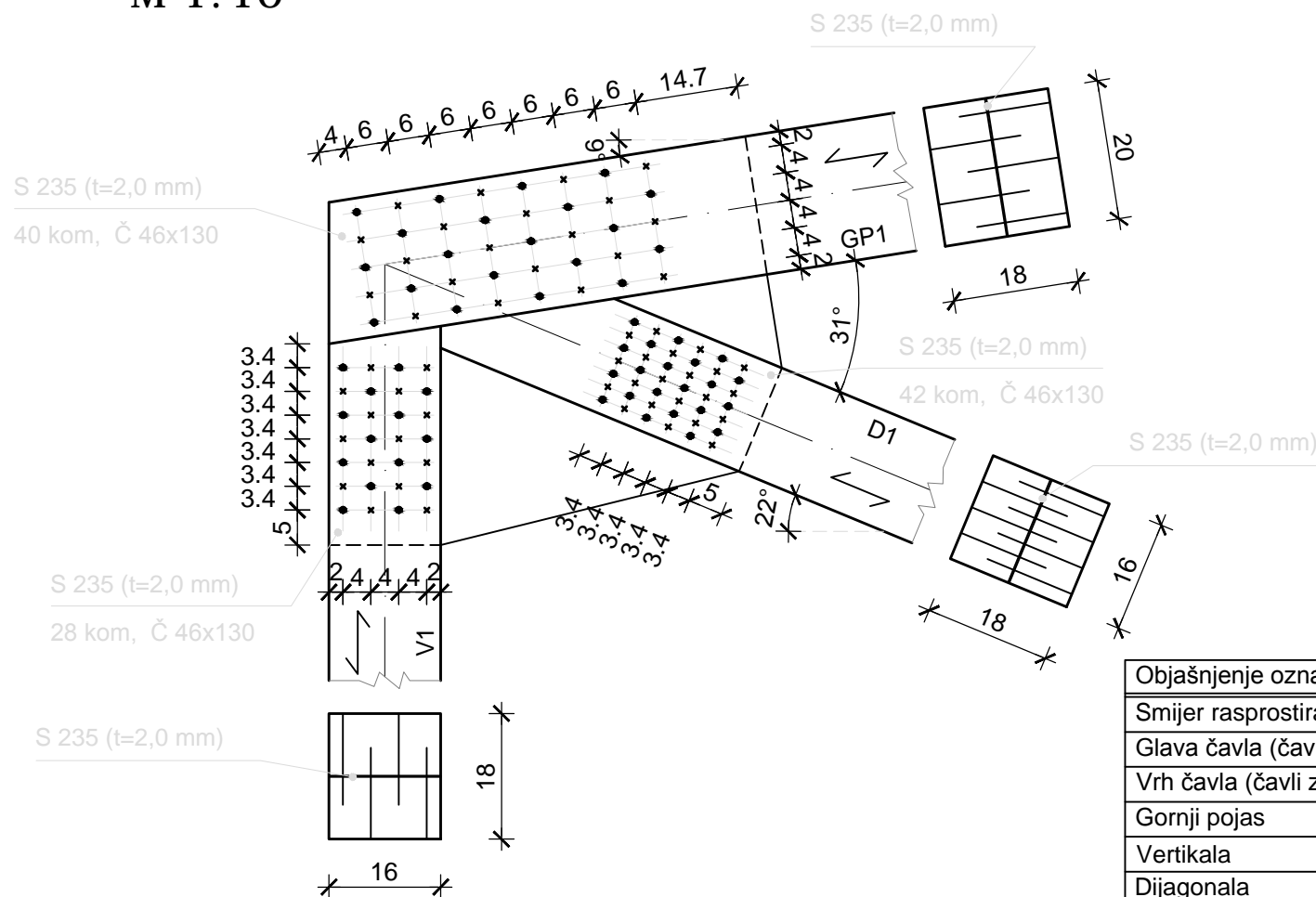
| Objašnjenje oznaka:                             |    |
|---|----|
| Smijer rasprostiranja vlaknaca                  | ↔  |
| Glava čavla (čavli zabijani sa vidljive strane) | ●  |
| Vrh čavla (čavli zabijani sa suprotne strane)   | ×  |
| Gornji pojas                                    | GP |
| Donji pojas                                     | DP |
| Vertikala                                       | V  |
| Dijagonala                                      | D  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  |  |
|   | Studij: Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva<br>Predmet: Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad<br>Tema: Proračun drvene rešetkaste konstrukcije<br>Mentor: Doc. Dr. Sc. Neno Torić<br>Izradio: Romeo Plenković, 4121<br>Datum: kolovoz, 2017. | Crtež:<br>Detalji spojeva elemenata<br>drvenog rešetkastog<br>nosača (spojevi 3 i 4)<br>Mjerilo: 1:10<br>List: 5 |

## Detalj spoja 5 M 1:10



## Detalj spoja 6 M 1:10



| Objašnjenje oznaka:                             |    |
|---|----|
| Smijer rasprostiranja vlaknaca                  | ←  |
| Glava čavla (čavli zabijani sa vidljive strane) | ●  |
| Vrh čavla (čavli zabijani sa suprotne strane)   | x  |
| Gornji pojas                                    | GP |
| Vertikala                                       | V  |
| Dijagonala                                      | D  |

| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE |  |  |
|--|--|--|
| Studij:  | Prediplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež:<br>Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 5 i 6) |
| Predmet:   | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad       |  |
| Tema:  | Proračun drvene rešetkaste konstrukcije        | Mjerilo: 1:10  |
| Mentor:  | Doc. Dr. Sc. Neno Torić                        |  |
| Izradio:   | Romeo Plenković, 4121                          | List: 6  |
| Datum:   | kolovoz, 2017.                                 |  |

