# 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:720737

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, 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 dimenzonirati glavni nosač, sekundarni nosač konstrukcije i vjetrovne spregove te izraditi radioničke nacrte 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


**1. TEHNIČKI OPIS ..... 1**

1.1 KONSTRUKTIVNI SUSTAV KROVA ..... 1
1.2 STATIČKA ANALIZA SUSTAVA ..... 1
1.3 OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA ..... 1
*1.3.1 Glavni nosivi elementi rešetke ..... 1*
*1.3.2 Podrožnice ..... 2*
*1.3.3 Spreg ..... 2*
*1.3.4 Spojevi ..... 2*
1.4 MATERIJALI ..... 2
*1.4.1 Drveni materijali ..... 2*
*1.4.2 Metalni elementi ..... 3*
1.5 ZAŠTITA ..... 3
*1.5.1 Zaštita drvenih elemenata ..... 3*
*1.5.2 Zaštita metalnih elemenata ..... 3*
1.6 MONTAŽA I TRANSPORT ..... 3

**2. ANALIZA OPTEREĆENJA ..... 4**

2.1 STALNO OPTEREĆENJE ..... 4
*2.1.1 Krovna ploha ..... 4*
2.2 PROMJENJIVO OPTEREĆENJE ..... 4
*2.2.1 Opterećenje snijegom ..... 4*
*2.2.2 Opterećenje vjetrom ..... 6*

**3. STATIČKI PRORAČUN ..... 12**

3.1 OPTEREĆENJA ČVOROVA I PRIKAZ REZNIH SILA ..... 12
*3.1.1 1. proračunska kombinacija (odizanje) ..... 12*
*3.1.2 2. proračunska kombinacija (pritisak) ..... 13*
3.2 KONTROLA PROGIBA ..... 14
*3.2.1 Stalno opterećenje (G) ..... 14*
*3.2.2 Promjenjivo opterećenje - snijeg (Q) ..... 14*
*3.2.3 Promjenjivo opterećenje - vjetar (Q) ..... 15*

**4. DIMENZIONIRANJE ..... 16**

4.1 GORNJI POJAS ..... 17
4.2 DONJI POJAS ..... 20
4.3 DIJAGONALE ..... 22
4.4 VERTIKALE ..... 24
4.5 PODROŽNICE ..... 26

**5. STABILIZACIJA ..... 28**

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

**6. PRORAČUN SPAJALA ..... 32**

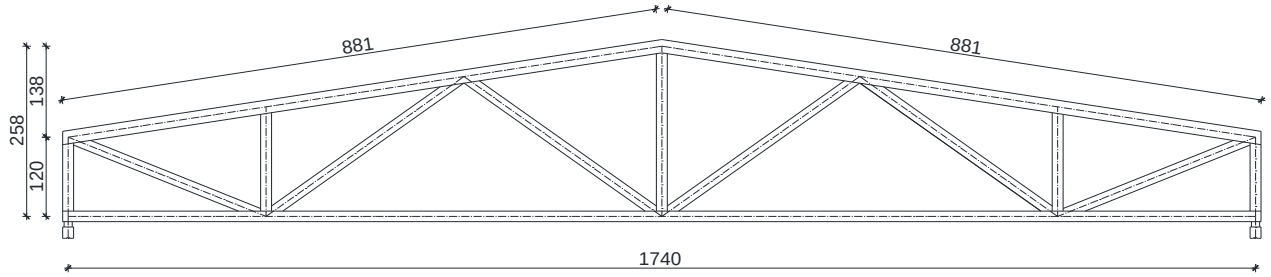
6.1 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE ..... 32
6.2 SPOJEVI REŠETKE ..... 34

**7. NACRTI ..... 41**

# 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 α = 9°. 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 propisanih 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$^3$. 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 predbušenja 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 Φ16mm (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 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:

$f_{m,k} = 35\ N/mm^2$
$f_{t,0,k} = 21\ N/mm^2$

$f_{c,0,k} = 25\ N/mm^2$
$f_{v,k} = 2{,}7\ N/mm^2$
$E_{o,mean} = 13000\ N/mm^2$
$G_{mean} = 810\ N/mm^2$

### 1.4.2 Metalni elementi

Za spajanje pojedinih elemenata upotrijebljeni su tijesno ugrađeni vijci Φ 16mm (M16) kl. čvrstoće 5,6, i glatki čavli Č 42x130 zabijani bez predbušenja. Materijal izrade vijaka ima vlačnu čvrstoću 500 N/mm$^2$, a čavala ima vlačnu čvrstoču 600 N/mm$^2$. U spojevima glavnog konstruktivnog nosača korišteni su utisnuti čelični limovi debljine t=2,0 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 0,25 kN/m$^2$
- vlastita težina je uključena u računalni program

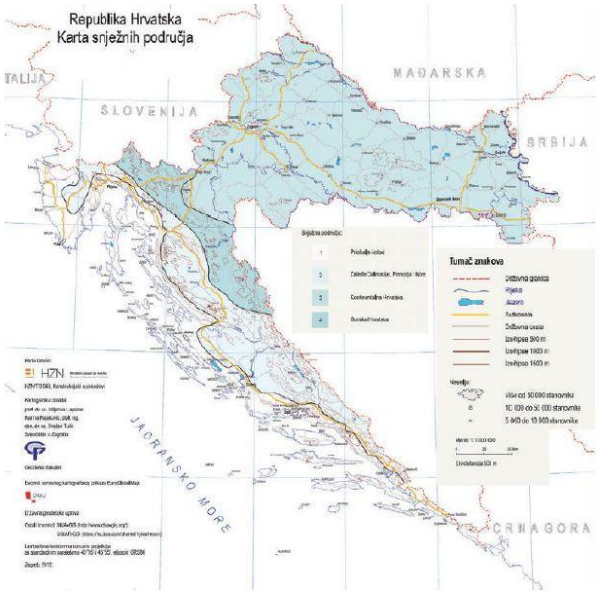
## 2.2 Promjenjivo opterećenje

### 2.2.1 Opterećenje snijegom

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

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

$s_k$ - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m$^2$
$s_k = 1{,}0\ kN/m2$ ⇔ za Osjek, do 100m nadmorske visine (karta i tablica ispod)




| Nadmorska visina do [m] | 1. područje – priobalje i otoci [kN/m$^2$] | 2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m$^2$] | 3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m$^2$] | 4. područje – gorska Hrvatska [kN/m$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 7,00 |
| 1 400 | 6,00 | 8,00 | | 8,00 |
| 1 500 | | 9,00 | | 9,00 |
| 1 600 | | 10,00 | | 10,00 |
| 1 700 | | 11,00 | | 11,00 |
| 1 800 | | 12,00 | | |

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

$$0° < \alpha = 9° \leq 30° \rightarrow \mu_i = 0{,}8$$

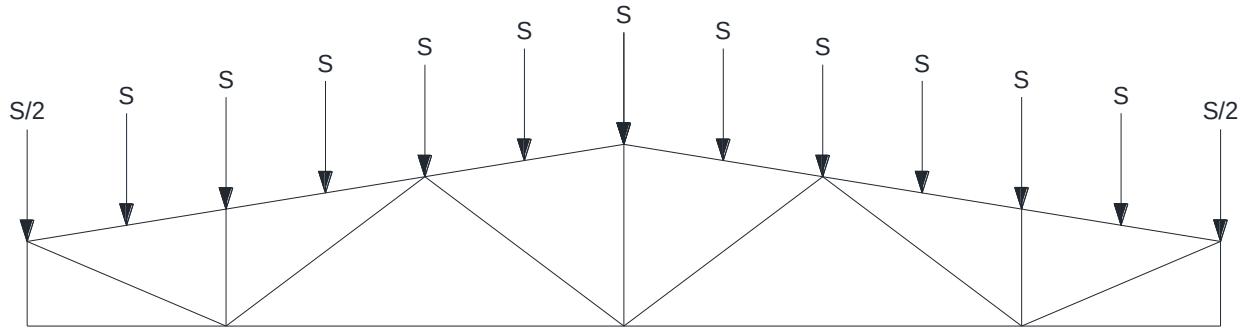
| Kut nagiba krova α | $0° \leq \alpha \leq 30°$ | $30° < \alpha < 60°$ | $\alpha \geq 60°$ |
|---|---|---|---|
| $\mu_1$ | 0,8 | 0,8 (60 – $\alpha$) / 30 | 0,0 |
| $\mu_2$ | 0,8 + 0,8 $\alpha$ / 30 | 1,6 | – |

$c_e$ - koeficijent izloženosti
$c_e$ = 1,0
$c_t$ - toplinski koeficijent
$c_t$ = 1,0
Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = 0{,}80 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 0{,}80(kN/m2)$$

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

$$S = 0{,}8\ (kN/m2) \cdot 5{,}10\ m \cdot 1{,}47\ m = 5{,}997\ kN$$



### 2.2.2 Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom okomito na krovnu ravninu.

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

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

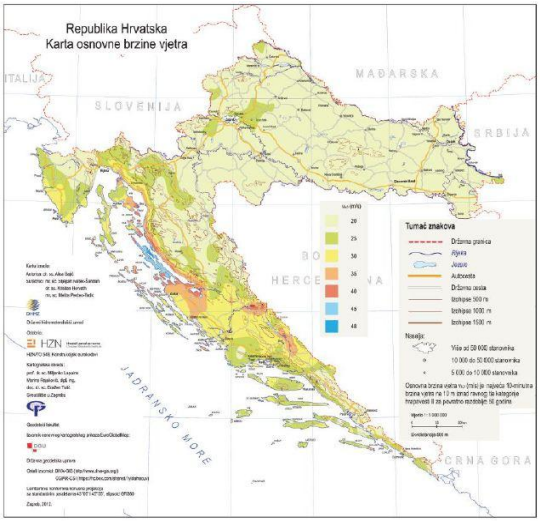
Određivanje osnovnog pritiska brzine vjetra pri udaru:

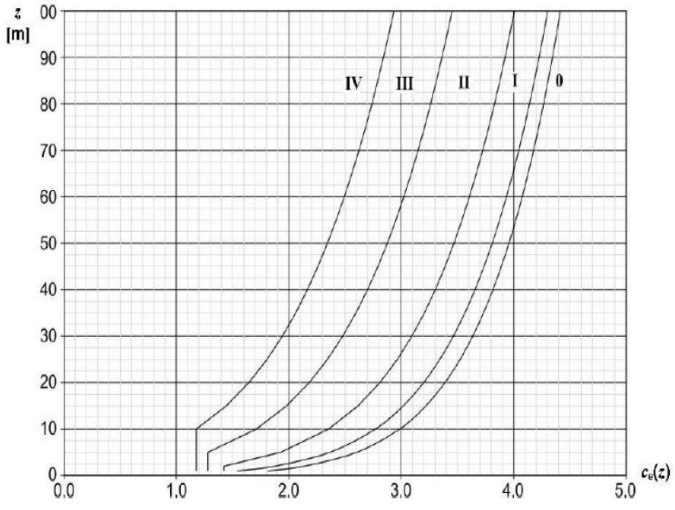
$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

$q_b$ - referentni pritisak srednje brzine vjetra

ρ - gustoća zraka , ρ = 1.25 kg/m$^3$

$v_b$ - osnovna brzina vjetra $v_b$ = 20 (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 → očitano iz gornje desne slike za h=10m (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).

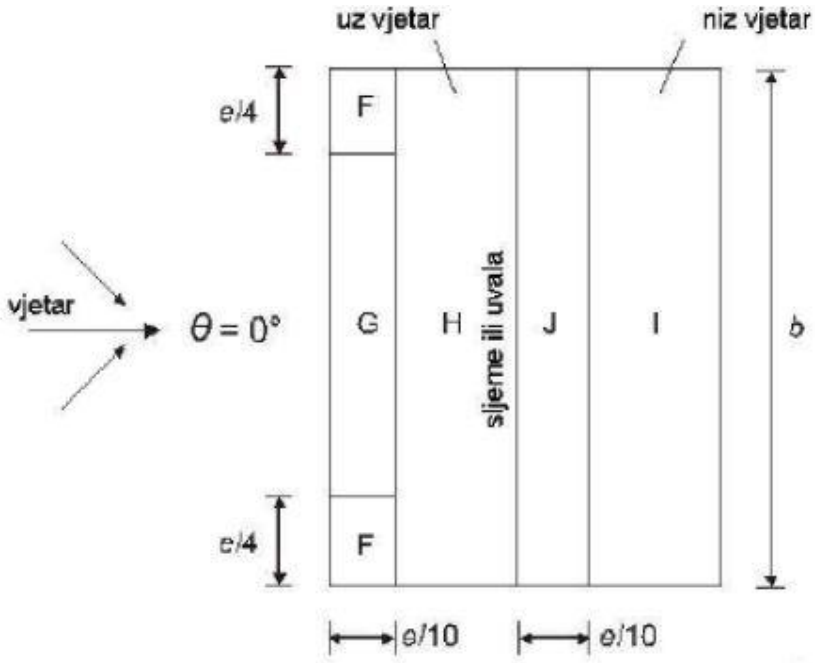
$$q_p(z) = 1{,}70 \cdot 0{,}25 = 0{,}425 \left(\frac{kN}{m^2}\right)$$

Unutarnji vjetar:

$c_{i1}$ = + 0,2
$c_{i2}$ = - 0,3

Nije moguća procjena vrijednost koeficijenta μ (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 (α=9°):




| Područje za smjer vjetra Φ = 0° | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

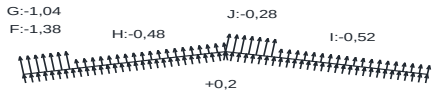
Kombinacije rezultantnih učinaka opterećenja vjetra (w) :

- 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$^2$) | predznak | w (kN/m$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

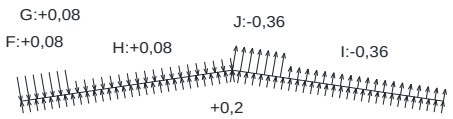


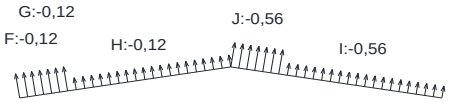




Kombinacija 2.

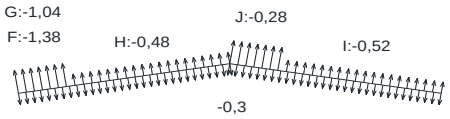
| područje | $c_{pe10}$ | $c_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m$^2$) | predznak | w (kN/m$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F | 0,08 | 0,2 | - | 0,12 | 0,425 | - | 0,051 |
| G | 0,08 | | - | 0,12 | | - | 0,051 |
| H | 0,08 | | - | 0,12 | | - | 0,051 |
| I | -0,36 | | - | 0,56 | | - |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

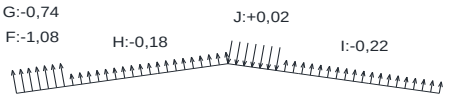


Kombinacija 3.

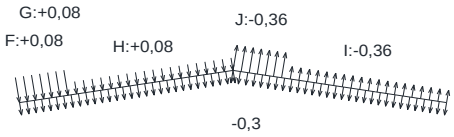
| područje | $c_{pe10}$ | $c_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m$^2$) | predznak | w (kN/m$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F | -1,38 | -0,3 | - | 1,08 | 0,425 | - | 0,459 |
| G | -1,04 | | - | 0,74 | | - | 0,315 |
| H | -0,48 | | - | 0,18 | | - | 0,077 |
| I | -0,52 | | - | 0,22 | |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

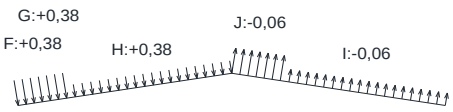



Kombinacija 4.

| područje | $c_{pe10}$ | $c_{pi}$ | predznak | koef. | $q_p(z)$ (kN/m$^2$) | predznak | w (kN/m$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |



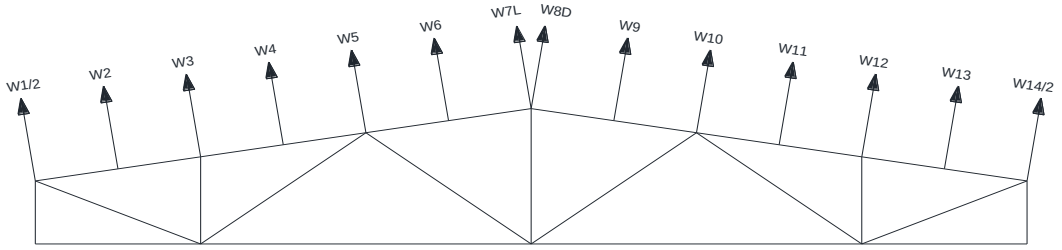




Mjerodavne kombinacije: Kombinacija 1. i Kombinacija 4.

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

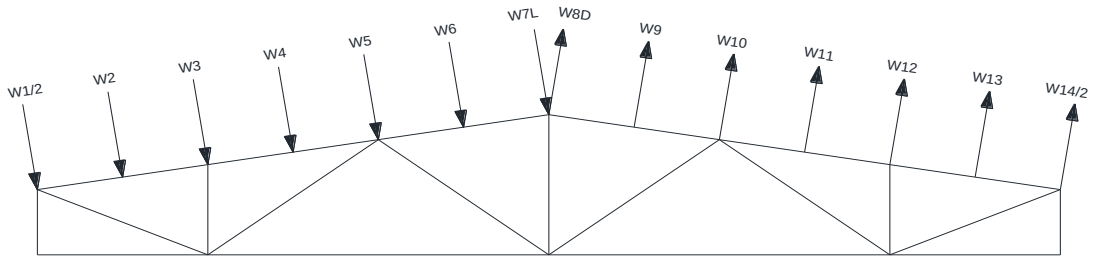
- Kombinacija 1.

| br. podrož. | pozicija | w (kN/m$^2$) | 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. podrož. | pozicija | w (kN/m$^2$) | n (m) | d´/6 (m) | sila (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 |



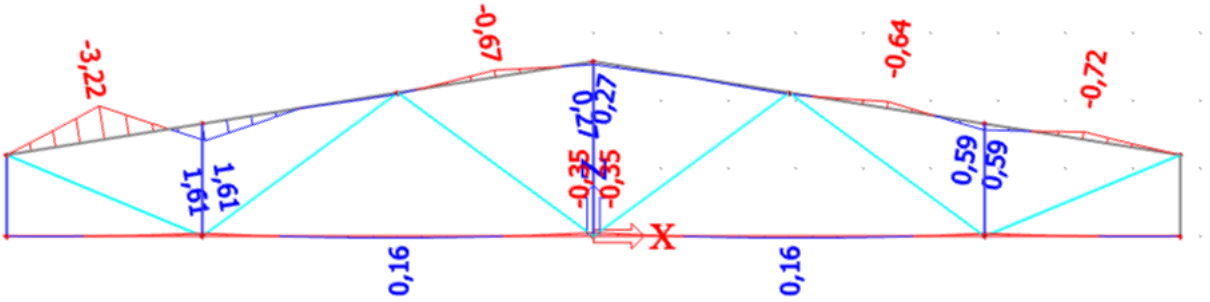
# 3. Statički proračun

## 3.1 Opterećenja čvorova i prikaz reznih sila

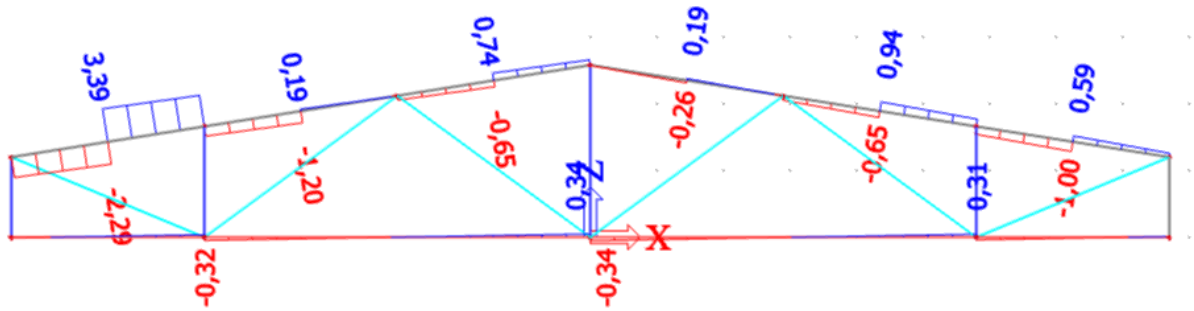
### 3.1.1 1. proračunska kombinacija (odizanje)

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

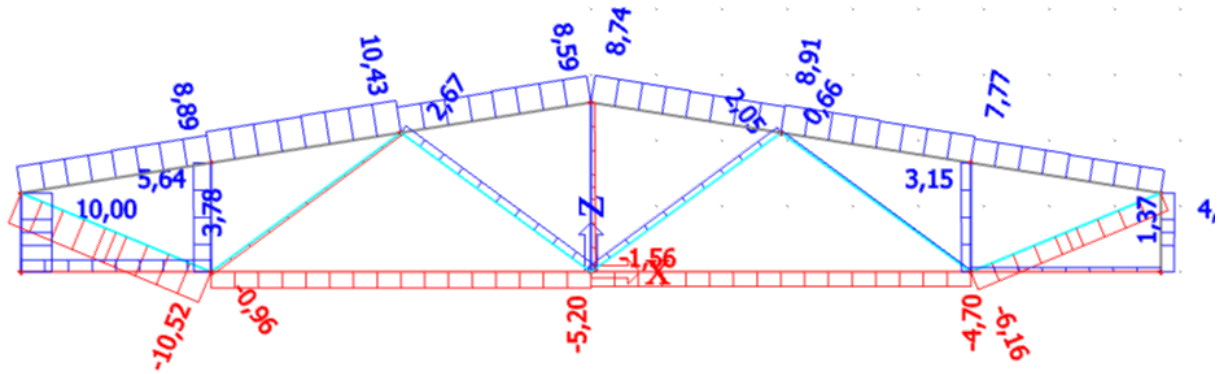
M




V



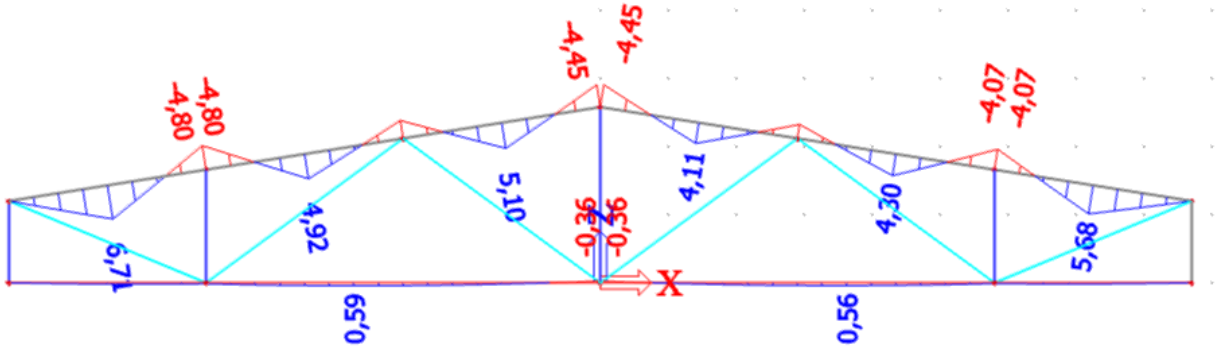

N



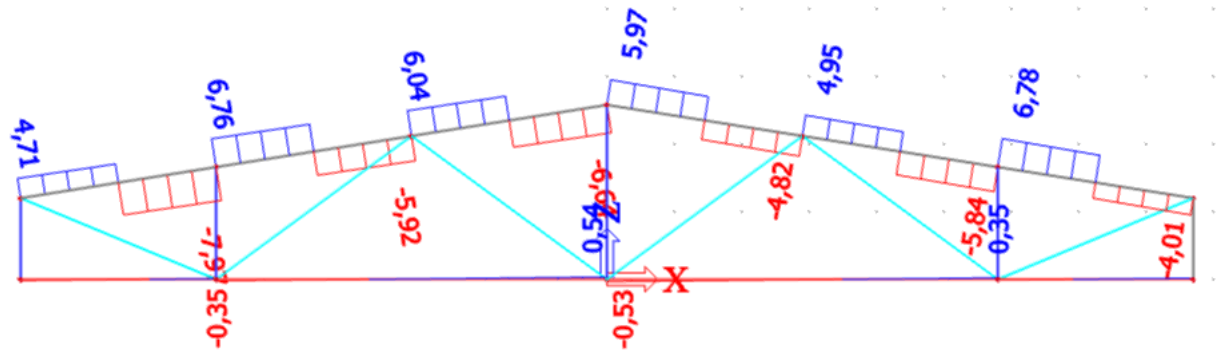
### 3.1.2 2. proračunska kombinacija (pritisak)

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

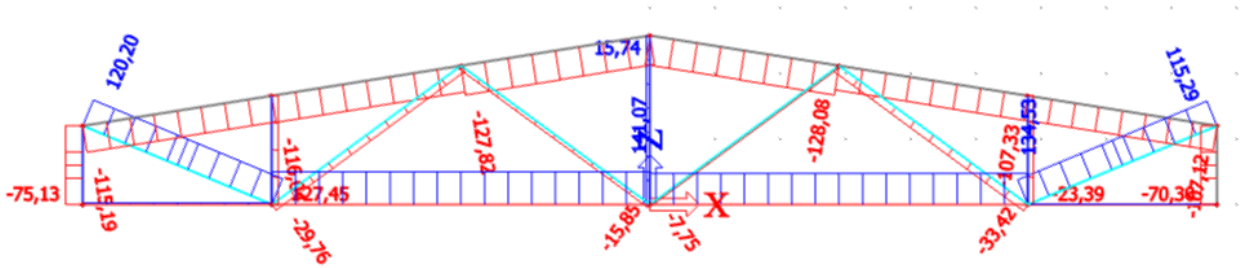
M




V




N



## 3.2 Kontrola progiba

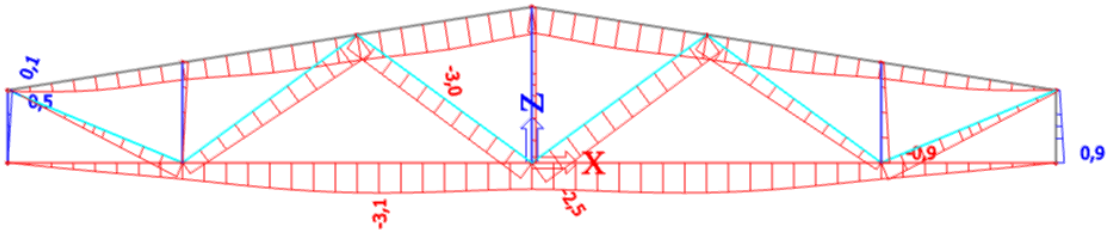
Kombinacije djelovanja za granična stanja uporabljivosti računaju se prema izrazu:

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

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)



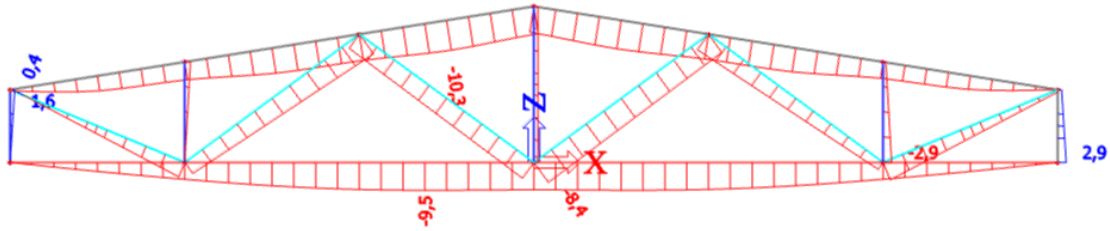

$u_{G,inst}$=0,31 cm

$u_{G,fin}= u_{G,inst}\cdot(1+k_{def,G})$

=0,31·(1+0,8)

=0,558 cm

### 3.2.2 Promjenjivo opterećenje - snijeg (Q)



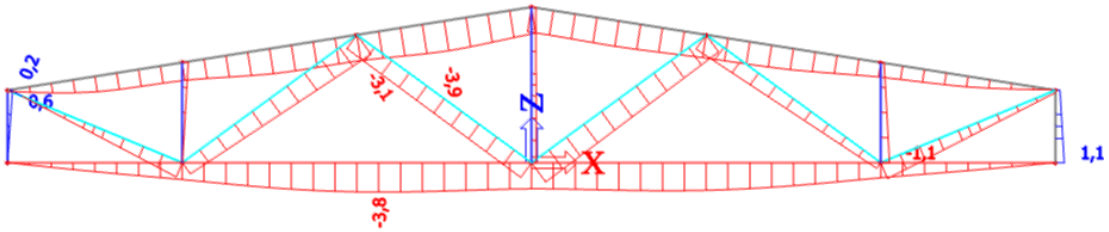

$u_{Q,inst}$=1,03 cm

$u_{Q,fin}= u_{Q,inst}\cdot(1+k_{def,P})$

=1,03·(1+0,5)

=1,545 cm

### 3.2.3 Promjenjivo opterećenje - vjetar (Q)




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

$U_{Q,fin}= u_{Q,inst}\cdot(1+k_{def,P})$

=0,38·(1+0,5)

=0,57 cm

Kontrola progiba za pojedinačna djelovanja:

1) a) snijeg

$U_{Q,inst} \leq \frac{l}{300}$

$1{,}03 \text{ cm} \leq \frac{1740}{300} = 5{,}8\ cm$

b) vjetar

$U_{Q,inst} \leq \frac{l}{300}$

$0{,}38 \text{ cm} \leq \frac{1740}{300} = 5{,}8\ cm$

2) a) snijeg

$u_{fin}= u_{G,fin} + u_{Q,fin.\ snije.}$

= 0,558 + 1,545

= 2,103 cm

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

b) vjetar

$u_{fin}= u_{G,fin} + u_{Q,fin.\ vjet.}$

=0,558 + 0,527

=1,128 cm

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

# 4. Dimenzioniranje

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:
$f_{m,k} = 35\ N/mm^2$
$f_{t,0,k} = 21\ N/mm^2$
$f_{c,0,k} = 25\ N/mm^2$
$f_{v,k} = 2{,}7\ N/mm^2$
$E_{o,mean} = 13000\ N/mm^2$
$G_{mean} = 810\ N/mm^2$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{0,mean} = \frac{2}{3} \cdot 13000 = 8666{,}67\ N/mm^2$$
$$G_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 810 = 540\ N/mm^2$$

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

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

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

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

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

## 4.1 Gornji pojas

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

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 20 = 360\ cm^2$$
$$I_y = \frac{18 \cdot 20^3}{12} = 12000{,}0\ cm^4$$
$$I_z = \frac{18^3 \cdot 20}{12} = 9720{,}0\ cm^4$$
$$W_y = \frac{18 \cdot 20^2}{6} = 1200{,}0\ cm^3$$

**Kombinacija opterećenja 1**

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

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

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

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

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

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

Posmik:

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

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

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

**Kombinacija opterećenja 2**

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

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

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

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

Koeficijent izvijanja za os z:

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

$$V_{z,d} = 7{,}97\ kN$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{7{,}97\ kN}{360\ cm^2} = 0{,}0332\,\frac{kN}{cm^2} = 0{,}332\,\frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0{,}332\ N/mm^2}{1{,}45\ N/mm^2} = 0{,}2284 < 1$$

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

## 4.2 Donji pojas

Pretpostavljeni poprečni presjek:
$b/h = 18/16\,cm$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 16 = 288\ cm^2$$
$$I_y = \frac{18 \cdot 16^3}{12} = 6144{,}0\ cm^4$$
$$I_z = \frac{18^3 \cdot 16}{12} = 7776{,}0\ cm^4$$
$$W_y = \frac{18 \cdot 16^2}{12} = 768{,}0\ cm^3$$

**Kombinacija opterećenja 1**

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

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

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

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

Koeficijent izvijanja za os y:

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

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

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

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

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

$$k_{c,y} = min\left\{\frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1{,}0\right\} = min\left\{\frac{1}{2{,}99 + \sqrt{2{,}99^2 - 2{,}15^2}}; 1{,}0\right\}$$
$$= min\{0{,}20; 1{,}0\} = 0{,}20$$

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

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

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**

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

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

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

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

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

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

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

## 4.3 Dijagonale

Pretpostavljeni poprečni presjek:
$b/h = 18/16cm$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 16 = 288\ cm^2$$
$$I_y = \frac{18 \cdot 16^3}{12} = 6144{,}0\ cm^4$$
$$I_z = \frac{18^3 \cdot 16}{12} = 7776{,}0\ cm^4$$
$$W_y = \frac{18 \cdot 16^2}{12} = 768{,}0\ cm^3$$

**Kombinacija opterećenja 1**

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

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

Koeficijent izvijanja za os y:

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

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

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

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

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

$$k_{c,y} = min\left\{\frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1{,}0\right\} = min\left\{\frac{1}{1{,}261 + \sqrt{1{,}261^2 - 1{,}162^2}}; 1{,}0\right\}$$
$$= min\{0{,}57; 1{,}0\} = 0{,}57$$

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

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

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**

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

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

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

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

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

## 4.4 Vertikale

Pretpostavljeni poprečni presjek:
$b/h = 18/16cm$

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 18 \cdot 16 = 288\ cm^2$$
$$I_y = \frac{18 \cdot 16^3}{12} = 6144{,}0\ cm^4$$
$$I_z = \frac{18^3 \cdot 16}{12} = 7776{,}0\ cm^4$$
$$W_y = \frac{18 \cdot 16^2}{12} = 768{,}0\ cm^3$$

**Kombinacija opterećenja 1**

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

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

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

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

**Kombinacija opterećenja 2**

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

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

Koeficijent izvijanja za os y:

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

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

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

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

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

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

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

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

Rezne sile:

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

Karakteristike poprečnog presjeka:

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

Proračunska naprezanja:

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

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

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

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:

$$A = 18 \cdot 20 = 360\ cm^2$$
$$W_y = \frac{18 \cdot 20^2}{6} = 1200\ cm^3$$
$$W_z = \frac{18^2 \cdot 20}{6} = 1080\ cm^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{15{,}47\ \cdot 10^6}{1200 \cdot 10^3} = 12{,}89\ N/mm^2$$
$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2{,}12 \cdot 10^6}{1080 \cdot 10^3} = 1{,}96\ N/mm^2$$
$$\tau_{z,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{12{,}14 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0{,}51\ N/mm^2$$
$$\tau_{y,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{1{,}66 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0{,}07\ N/mm^2$$

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

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{12{,}89}{1{,}0 \cdot 16{,}15} + 0{,}7 \cdot \frac{1{,}96}{16{,}15} = 0{,}7571 < 1{,}0$$
$$k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0{,}7 \cdot \frac{12{,}89}{1{,}0 \cdot 16{,}15} + \frac{1{,}96}{16{,}15} = 0{,}5831 < 1{,}0$$
$$\left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}51}{1{,}45}\right)^2 + \left(\frac{0{,}07}{1{,}45}\right)^2 = 0{,}1232 < 1{,}0$$

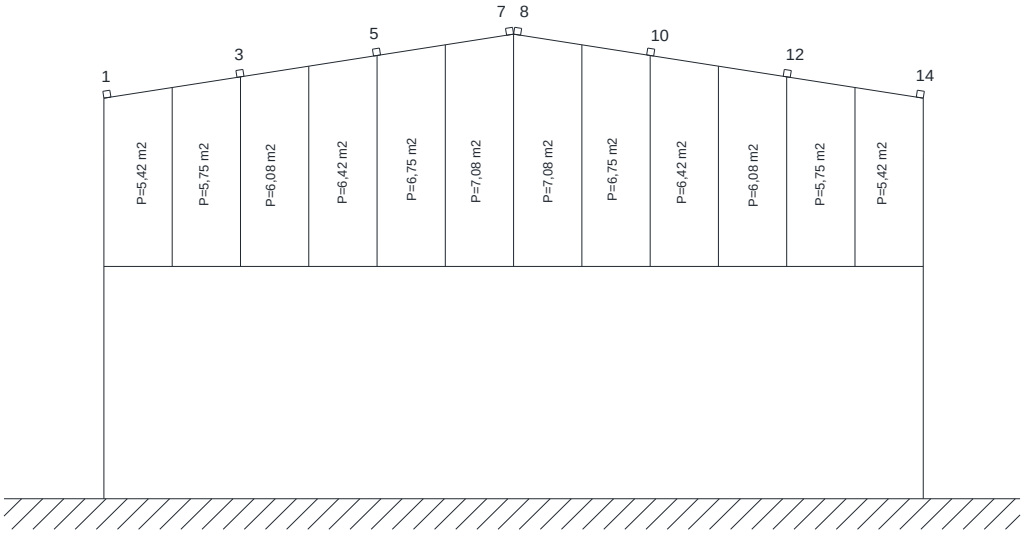
Poprečni presjek zadovoljava. Usvojeno b/h = 18/20 cm

# 5. Stabilizacija

Djelovanja su dobivena analizom vjetra na zabatini zid:
- Određivanje sila u podrožnicama u sustavu stabilizacije (u ravnini krovne plohe):

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

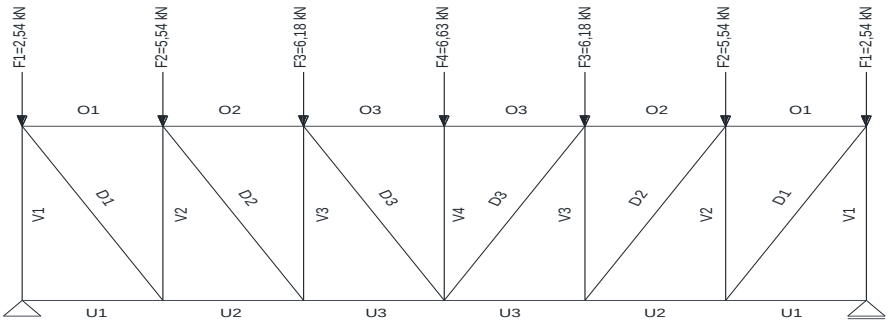
$C_{e1}$ = +0,8 (za područje D)
$C_{e2}$ = -0,5 (za podrucje E)
Unutarnji vjetar:
$C_{i1}$ = + 0,2
$C_{i2}$ = - 0,3



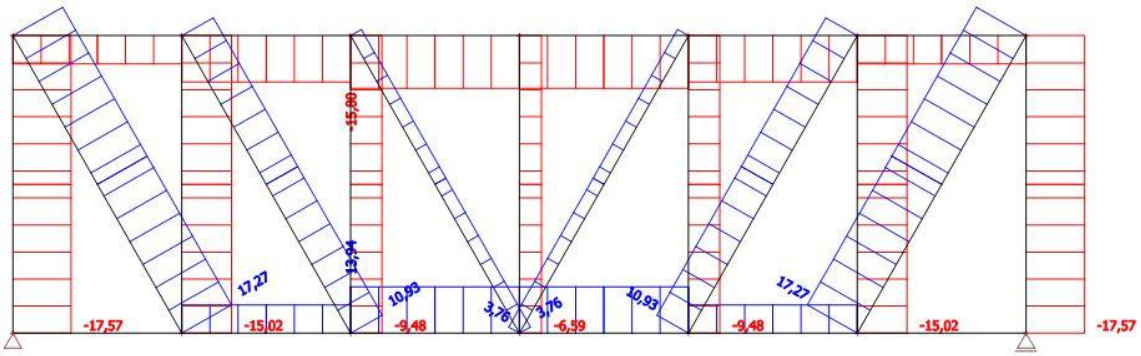

Djelovanje na zabatni zid (proračun i skica zabatnog zida za proračun) ($F_w = q_p \cdot \sum P$):

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

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




## 5.1 Statički proračun sprega




Sile u pojasevima $O_3(U_3)$ glavnog nosača:
$N_{O_3(U_3)d} = 15{,}80\ kN$
Sile u vertikalama (podrožnice):
$N_{V_1 d} = 17{,}57\ kN$
Sile u dijagonalama:

$$\tan\beta = \frac{\frac{17{,}4}{6}}{5{,}1} = 0{,}5686 \rightarrow \beta = 30{,}0°$$

$N_{D_1 d} = 17{,}27\ kN$

## 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).

$$\overline{h_1} = \frac{h_1}{6} = \frac{20}{6} = 3{,}333\ cm$$

$$\bar{A} = b_1 \cdot \overline{h_1} = 18 \cdot 3{,}333 = 60{,}00\ cm^2$$

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

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

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{cos\alpha} = \frac{17{,}4/6}{cos9°} = 2{,}936\ m$$

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

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

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

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

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

Dokaz nosivosti i stabilnosti

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

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

## 5.3 Dokaz za podrožnice (vertikale sprega)

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

Koeficijent izvijanja za os z:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 5.4 Dokaz za dijagonale

$\emptyset 12\ (M12) \quad A_{netto} = 1{,}131\ cm^2$

$$\sigma_{D_1 d} = \frac{N_{D_1 d}}{A_{netto}} = \frac{17{,}27 \cdot 10^3}{1{,}131 \cdot 10^2} = 152{,}79\ N/mm^2$$

S235

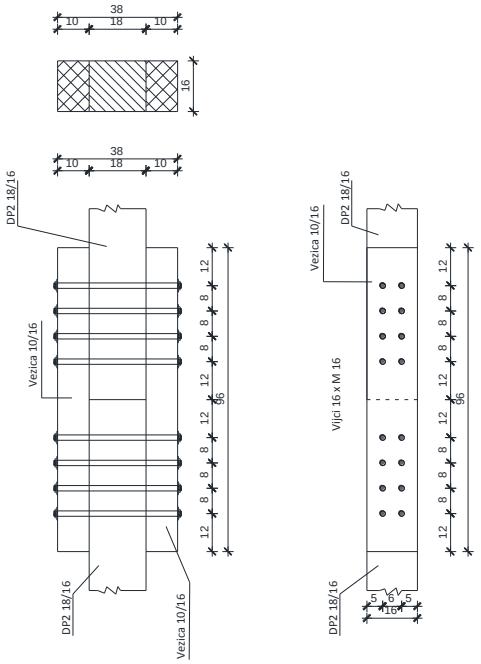
$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{235}{1{,}1} = 213{,}64\ N/mm^2$$

$$\frac{\sigma_{D_1 d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{152{,}79}{213{,}64} = 0{,}7152 < 1{,}0$$

## 6. Proračun spajala

### 6.1 Vlačni nastavak rešetke

Osnovni materijal: puno drvo, 2x10/16 cm
klasa čvrstoće C35
Djelovanja: stalno + promjenjivo srednjetrajno
$F_d$=131,15 kN
Uporabna klasa 2
Tijesno ugrađeni vijci Φ 16mm (M16) kl. čvrstoće 5,6




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

$k_{mod} = 0{,}80$

$\gamma_M = 1{,}3$ (drvo)

$\gamma_M = 1{,}1$ (vijci)

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

C35 $\rightarrow \rho_{k,1} = 400\ kg/m^3$

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

$$f_{h,1,k} = 0{,}082 \cdot (1 - 0{,}01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0{,}082 \cdot (1 - 0{,}01 \cdot 16) \cdot 400 = 27{,}552\ N/mm^2$$

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

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

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

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

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

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

Kontrola debljine elemenata:

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

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

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

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

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

Proračunska vrijednost nosivosti vijaka/rezu:

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

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

Potreban broj vijaka:

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

**Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:**

Paralelno sa vlakancima:

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

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

Okomito na vlakanca:

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

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

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

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

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

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

## 6.2 Spojevi rešetke

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

debljina drva b=18cm, uporabna klasa 2

Dvorezni spoj s utisnutim čeličnim limom (debljina t=2 mm)

Glatki čavli Č 46x130 (d=4,6 mm), bez predbušenja (t ≤ 0,5d), nasuprotno raspoređeni bez preklapanja.

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

- Provjera debljine elementa

$$\mathrm{b_{min}} = \max\begin{cases} 7\mathrm{d} \\ (13\mathrm{d} - 30) \cdot \dfrac{\rho_k}{400} \end{cases}$$

$$\mathrm{b_{min}} = \max\begin{cases} 7 \cdot 4{,}6 = 32{,}2\ \mathrm{mm} \\ (13 \cdot 4{,}6 - 30) \cdot \dfrac{400}{400} = 29{,}8\ \mathrm{mm} \end{cases}$$

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

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

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

- Dubina zabijanja čavla ($\mathrm{t_1}$)

Najmanja dubina zabijanja čavla:

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

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

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

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

- Razmaci zabijanih čavala (kut otklona sile u odnosu na vlakanca α = 0 °)

Paralelno sa vlakancima:

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

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

Okomito na vlakanca:

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

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

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

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

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

Od neopterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

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

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

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

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

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

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

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

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

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

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

$$\mathrm{M_{y,d}} = \frac{\mathrm{M_{y,k}}}{\gamma_\mathrm{M}} = \frac{9515{,}75}{1{,}1} = 8650{,}68\ \mathrm{Nmm}$$

-Odredivanje proračunske nosivosti jednog dvoreznog zabijanog čavla Č 46x130

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

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

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

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

minimalna odabrana vrijednost od predhodno izračunatih vrijednosti:

$R_{d,min} = 1505{,}99\ N \rightarrow$ Proračunska nosivost jednog <u>jednoreznog</u> zabijanog čavla Č46x130

Ukupna proračunska vrijednost nosivosti jednog <u>dvoreznog</u> zabijanog čavla Č46x130:

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

**Potreban broj čavala u spoju:**

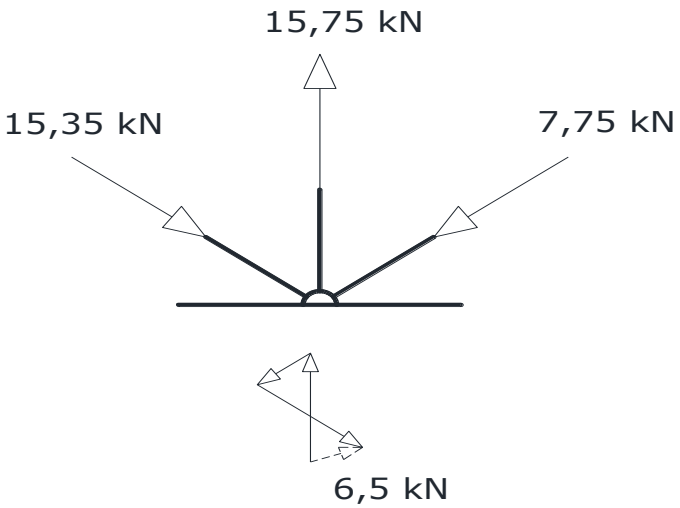
- nasuprotni raspored bez preklapanja

Spoj 1:

Donji pojas (DP1):

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

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




Vlačna vertikala (V3):

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

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

Tlačna dijagonala (D3):

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

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

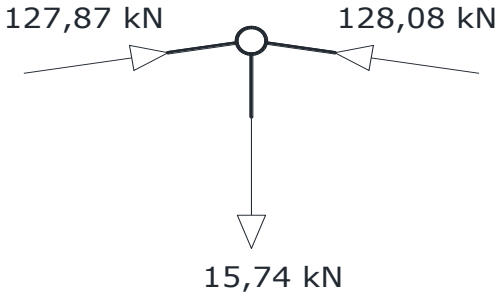
---

Spoj 2:

Vlačna vertikala (V3):

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

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




Gornji pojas (GP1):

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

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

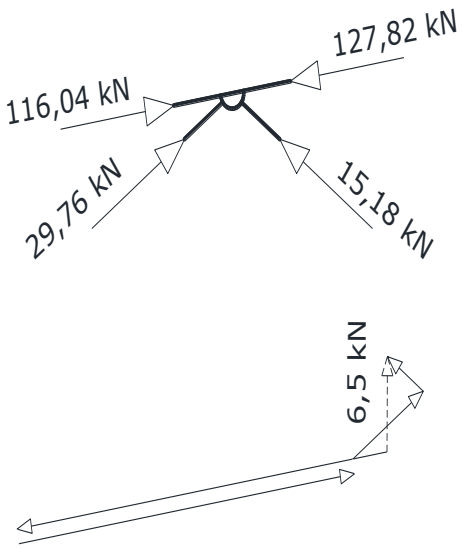
---

Spoj 3:

Gonji pojas (GP1):

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

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




Tlačna dijagonala (D3):

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

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

Tlačna dijagonala (D2):

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

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

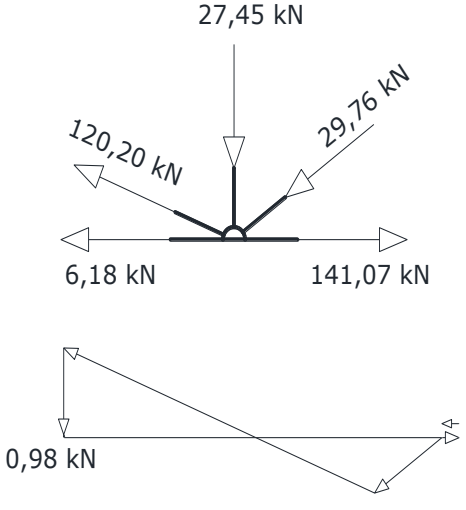
---

Spoj 4:

Donji pojas (DP1):

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

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




Vlačna dijagonala (D1):

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

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

Tlačna vertikala (V2):

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

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

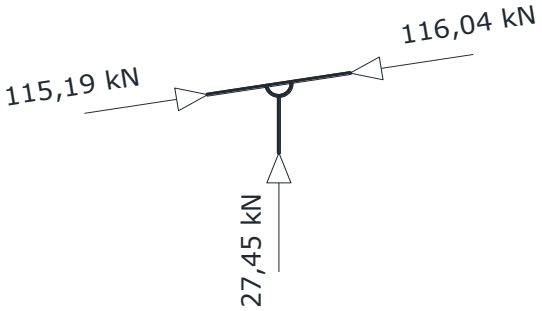
---

Spoj 5:

Tlačna vertikala (V2):

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

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




Gornji pojas (GP1):

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

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

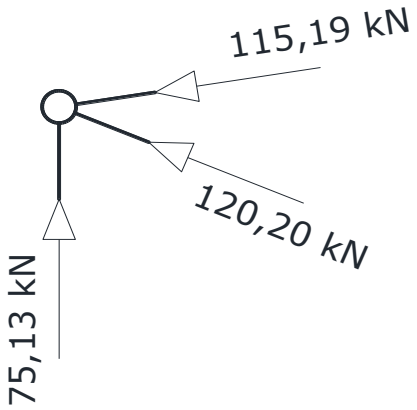
---

Spoj 6:

Tlačna vertikala (V1):

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

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




Gornji pojas (GP1):

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

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

Vlačna dijagonala (D1):

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

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

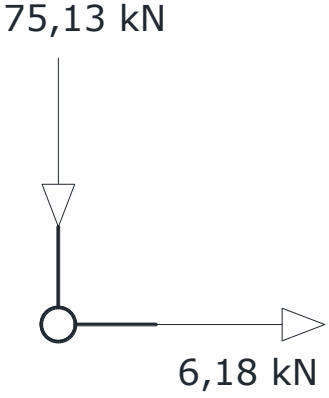
---

Spoj 7:

Tlačna vertikala (V1):

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

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



Donji pojas (DP1):

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

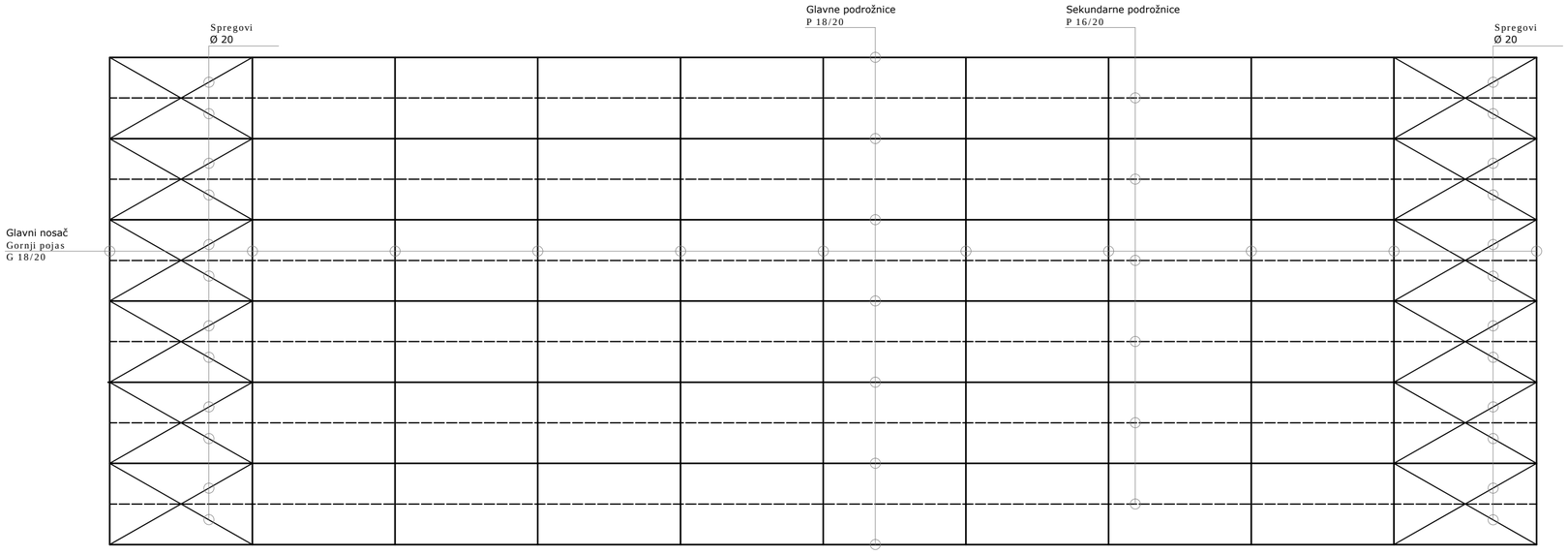
$$n = 6\ komada\ >\ n_{pot}$$

# 7. Nacrti

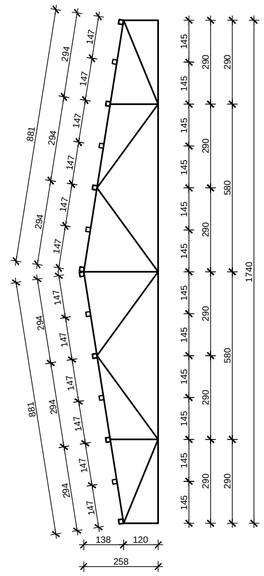
1. **Generalni plan pozicija (tlocrt glavnih nosača, podrožnica i spregova) M 1:150**
2. **Radionički nacrt glavnog nosača M1:25**
3. **Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača (vlačni nastavak) M 1:10**
4. **Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 1 i 2) M 1:10**
5. **Detalji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

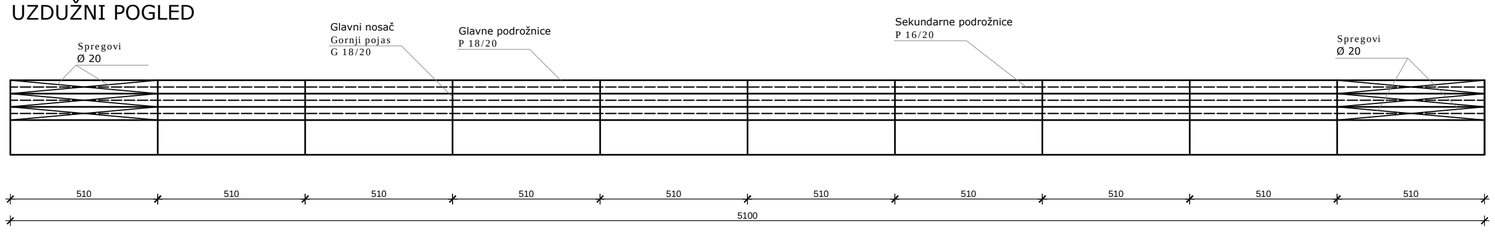
TLOCRTNI POGLED




BOČNI POGLED




UZDUŽNI POGLED

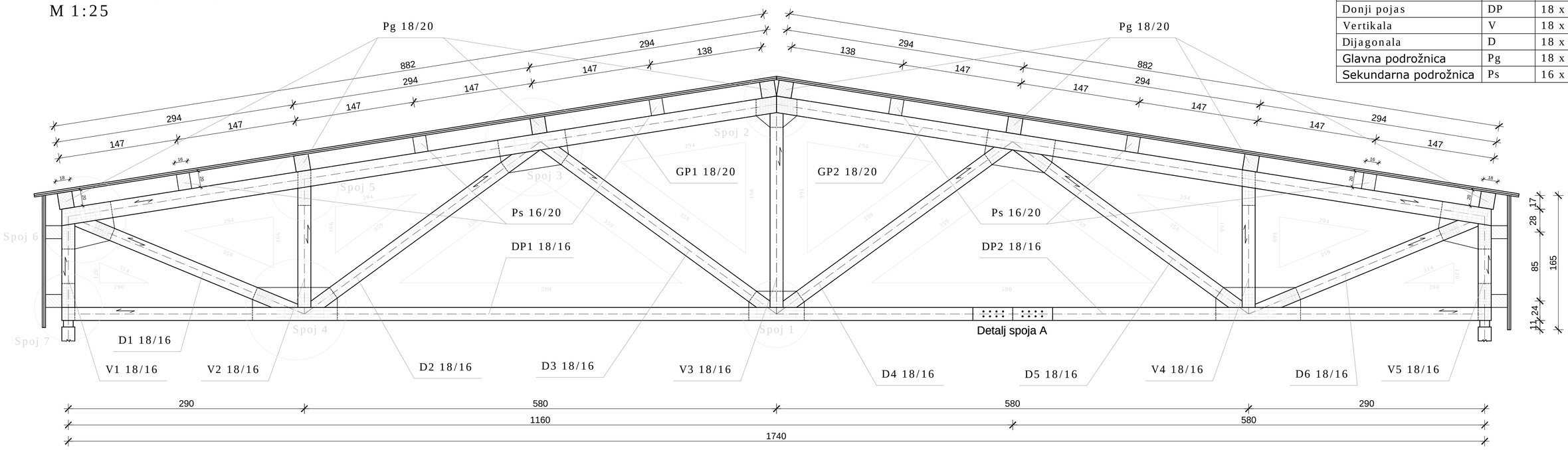



| | | | |
|---|---|---|---|
| | SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | | |
| Studij: | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež: Generalni plan pozicija (tlocrt glavnih nosača, podrožnica i spregova) | |
| Predmet: | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad | | |
| 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

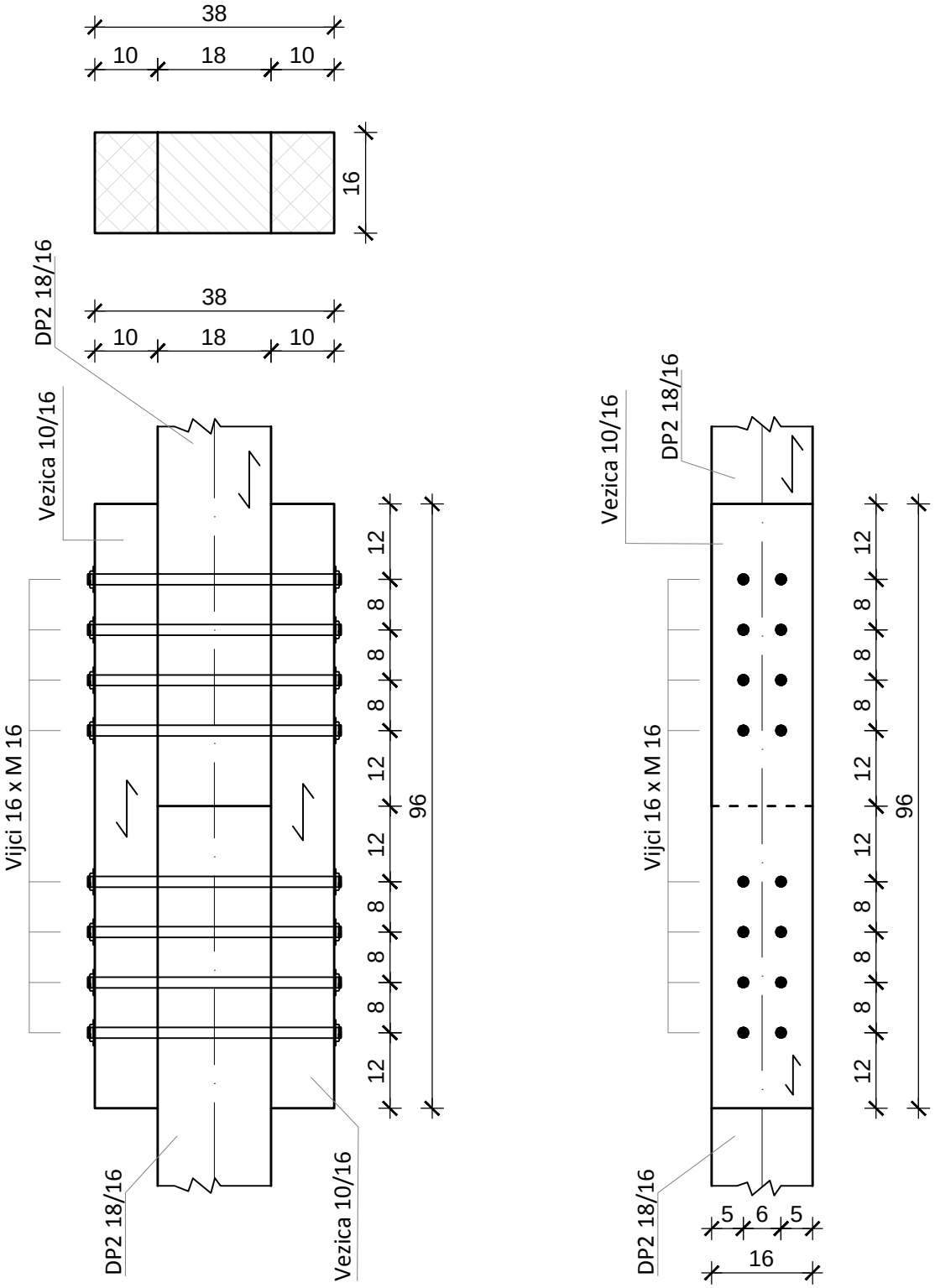
| Konstruktivni element | Oznaka | Dimenzije |
|---|---|---|
| Gornji pojas | GP | 18 x 20 |
| Donji pojas | DP | 18 x 16 |
| Vertikala | V | 18 x 16 |
| Dijagonala | D | 18 x 16 |
| Glavna podrožnica | Pg | 18 x 20 |
| Sekundarna podrožnica | Ps | 16 x 20 |




| | | | |
|---|---|---|---|
| | 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 | | |
| Izradio: | Romeo Plenković, 4121 | Mjerilo: 1:25 | |
| Datum: | kolovoz, 2017. | List: | 2 |

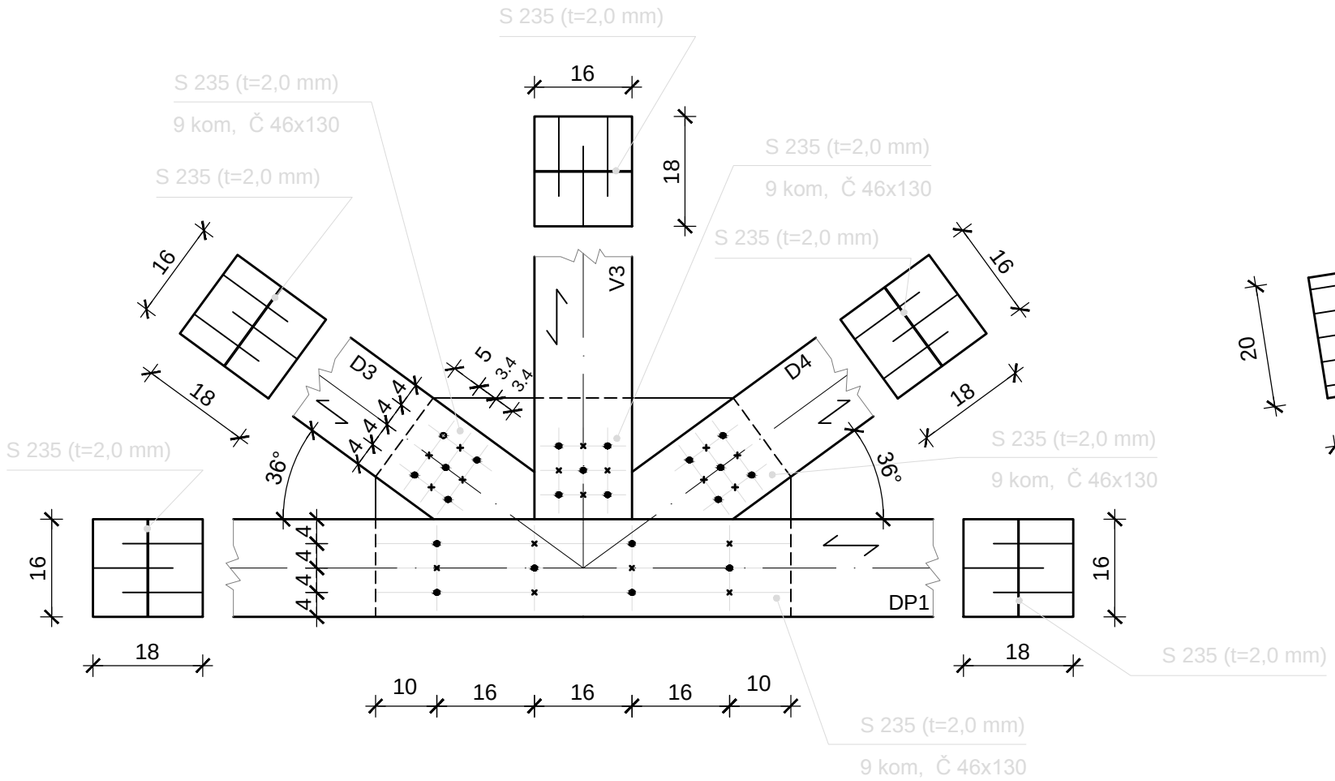
# Detalj spoja A
M 1:10

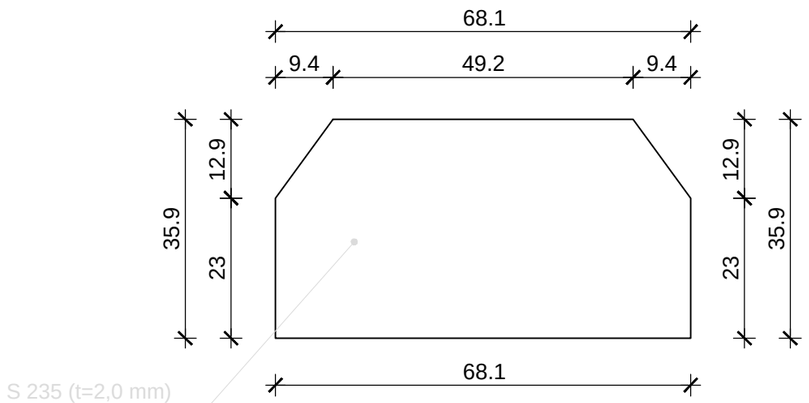
| Objašnjenje oznaka: | |
|---|---|
| Smijer rasprostiranja vlakanaca | ⟷ |
| Glava vijka | ● |
| Donji pojas | DP |



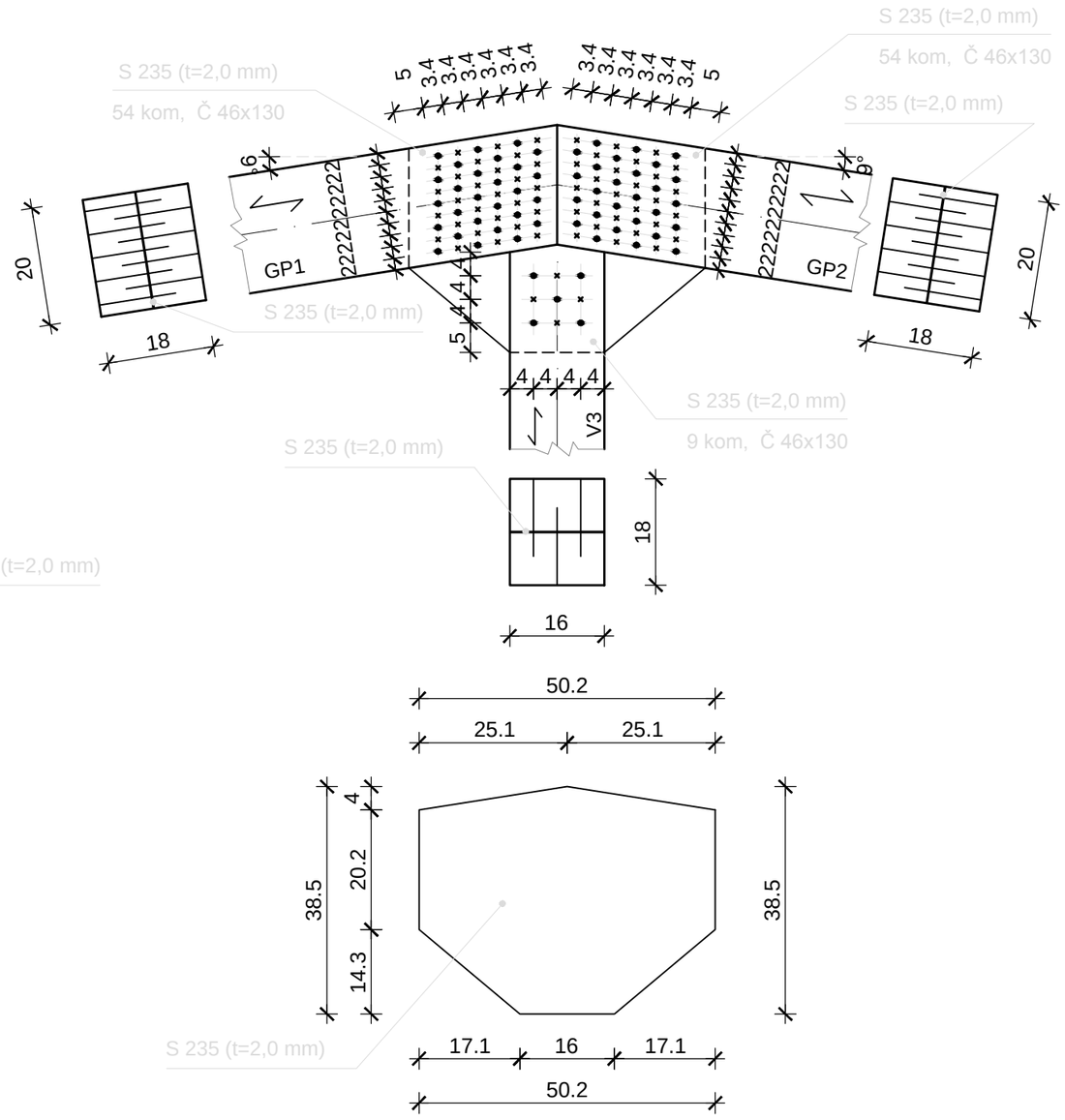

| | | | |
|---|---|---|---|
| | SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | | |
| Studij: | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež:<br>Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača (vlačni nastavak) | |
| Predmet: | Osnove drvenih konstrukcija, Završni 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 1
M 1:10



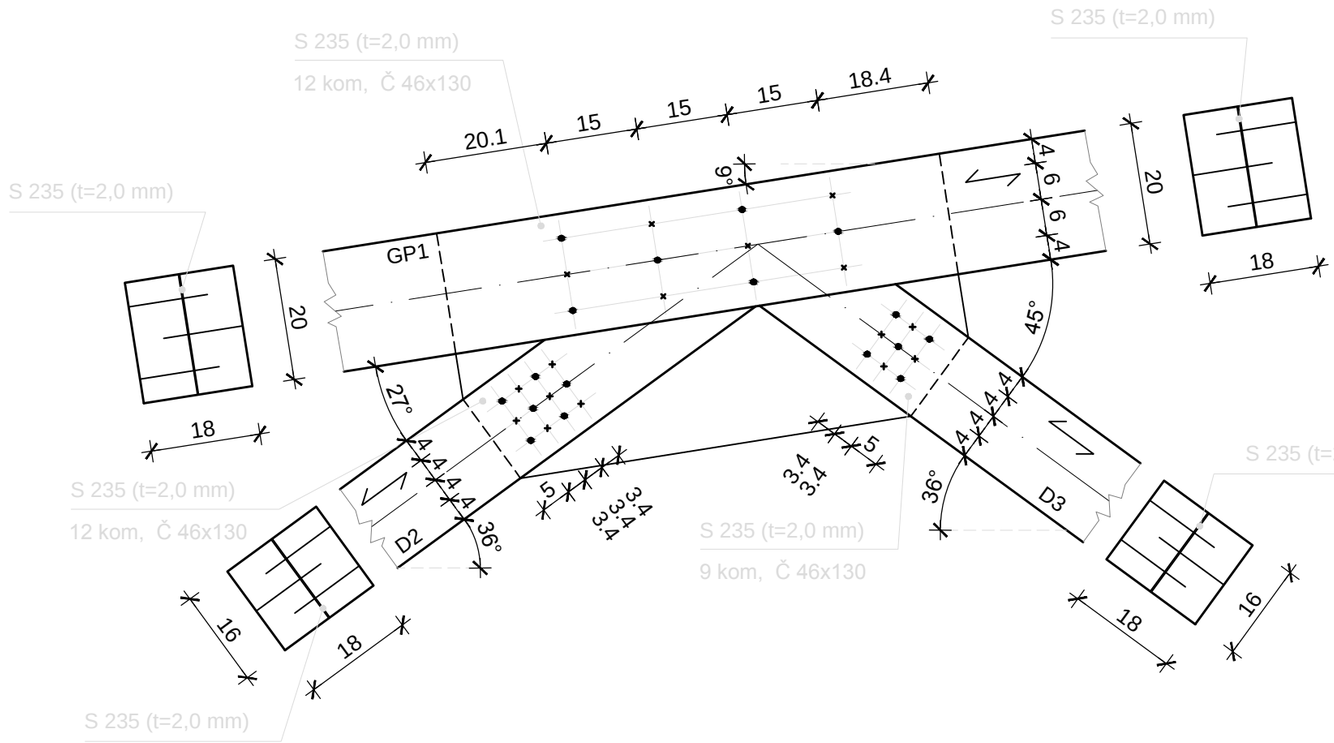

## Detalj spoja 2
M 1:10

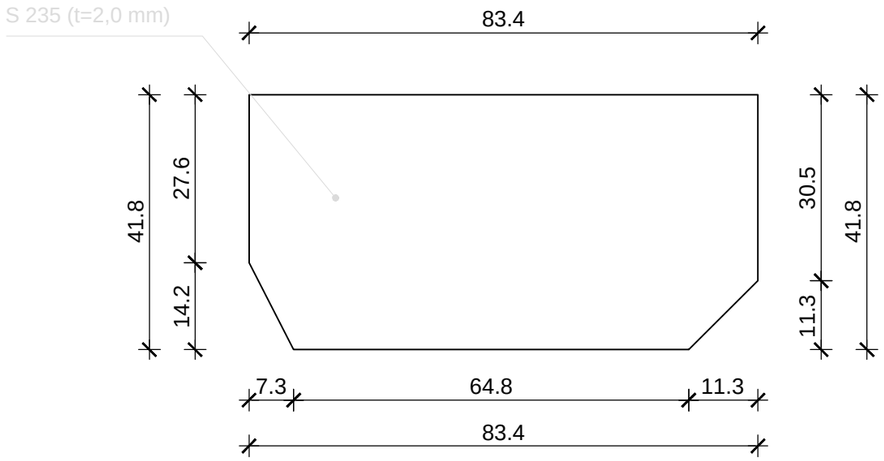


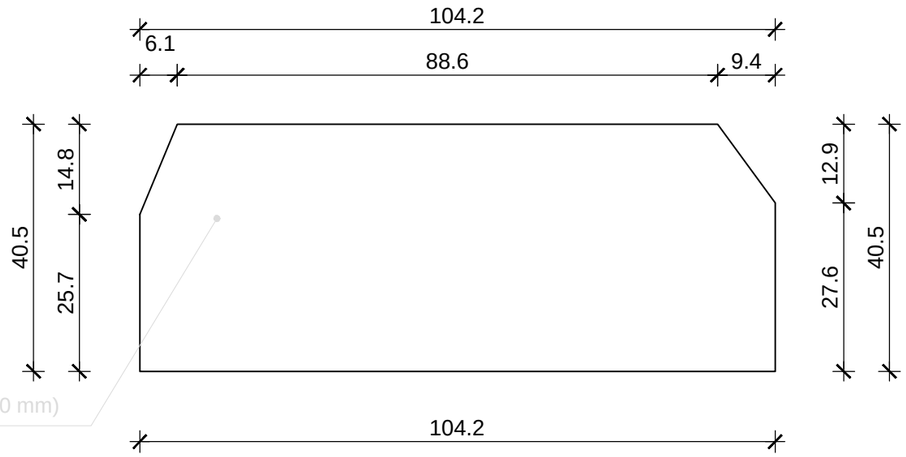

| Objašnjenje oznaka: | |
|---|---|
| Smijer rasprostiranja vlakanaca | ⟷ |
| Glava čavla (čavli zabijani sa vidljive strane) | ● |
| Vrh čavla (čavli zabijani sa suprotne strane) | × |
| Gornji pojas | GP |
| Donji pojas | DP |
| Vertikala | V |
| Dijagonala | D |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | | |
| Studij: | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež: | |
| Predmet: | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad | Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 1 i 2) | |
| Tema: | Proračun drvene rešetkaste konstrukcije | | |
| Mentor: | Doc. Dr. Sc. Neno Torić | | |
| Izradio: | Romeo Plenković, 4121 | Mjerilo: 1:10 | |
| Datum: | kolovoz, 2017. | List: | 4 |

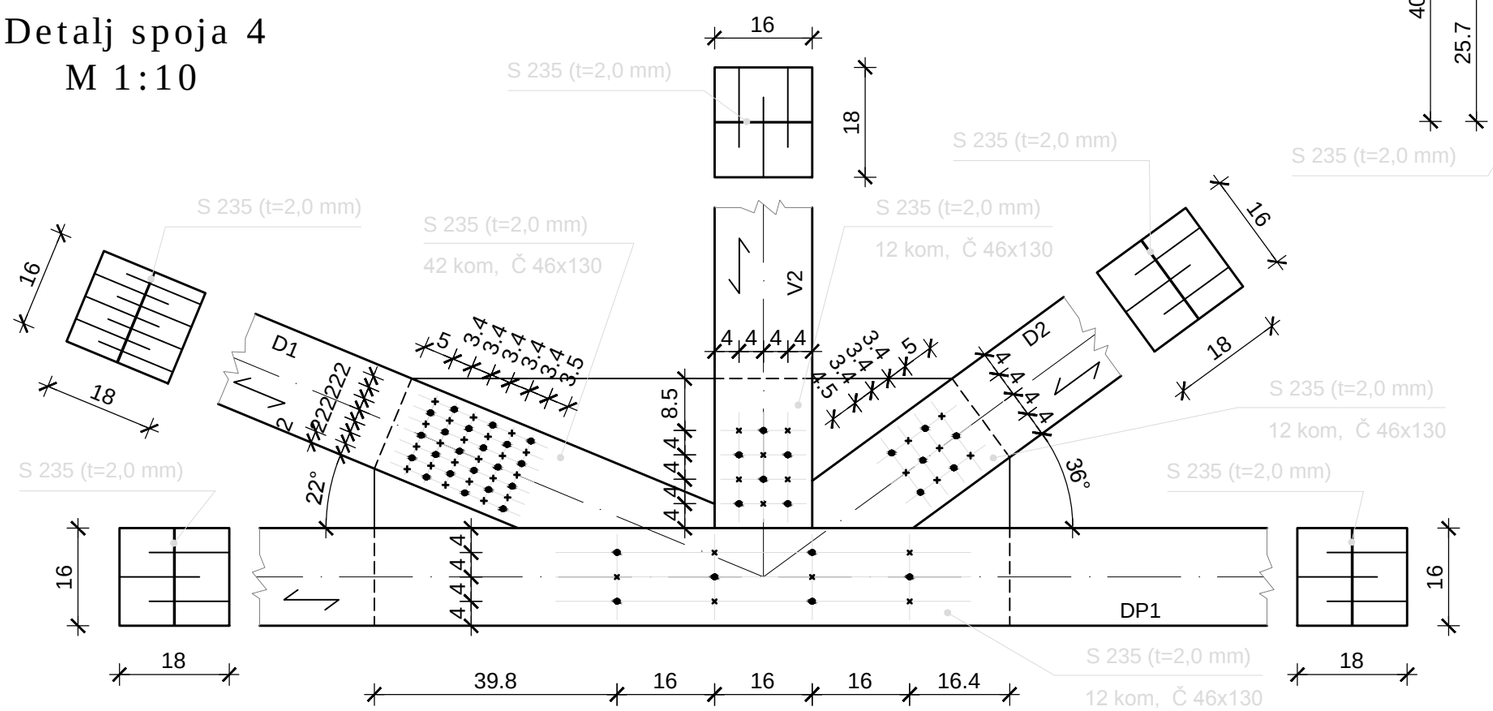
# Detalj spoja 3
M 1:10




# Detalj spoja 4
M 1:10

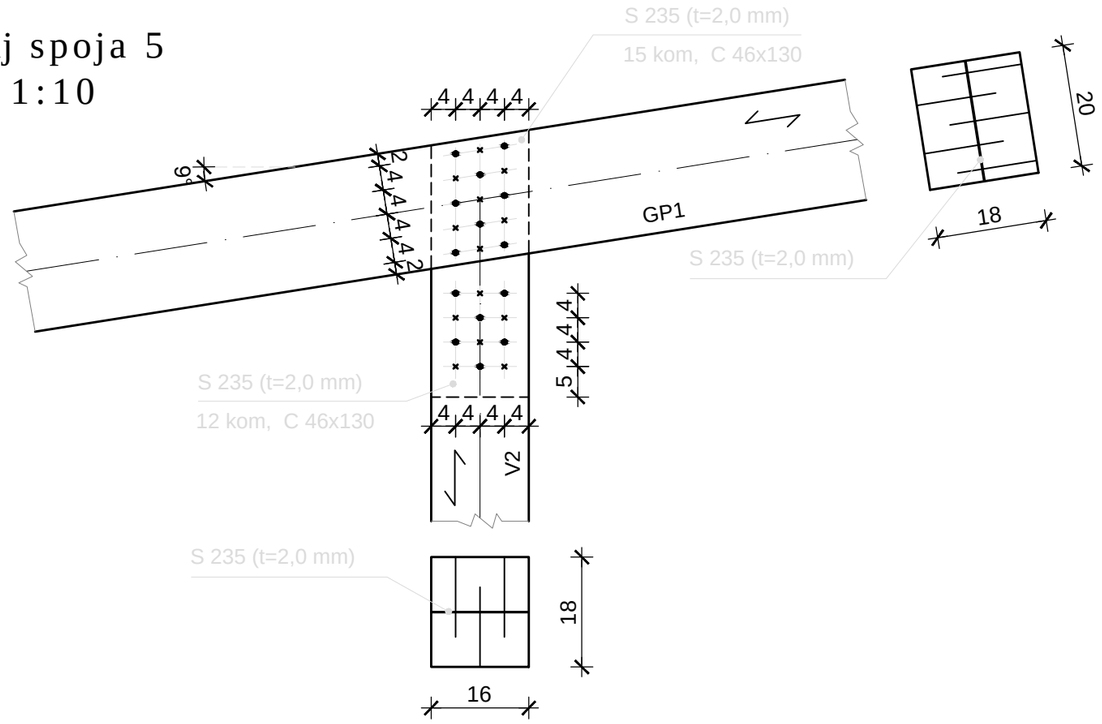


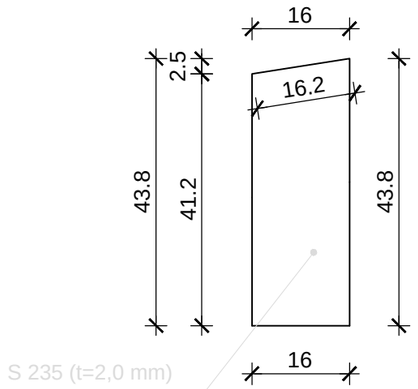

| Objašnjenje oznaka: | |
|---|---|
| Smijer rasprostiranja vlakanaca | ⟷ |
| Glava čavla (čavli zabijani sa vidljive strane) | ● |
| Vrh čavla (čavli zabijani sa suprotne strane) | × |
| Gornji pojas | GP |
| Donji pojas | DP |
| Vertikala | V |
| Dijagonala | D |

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

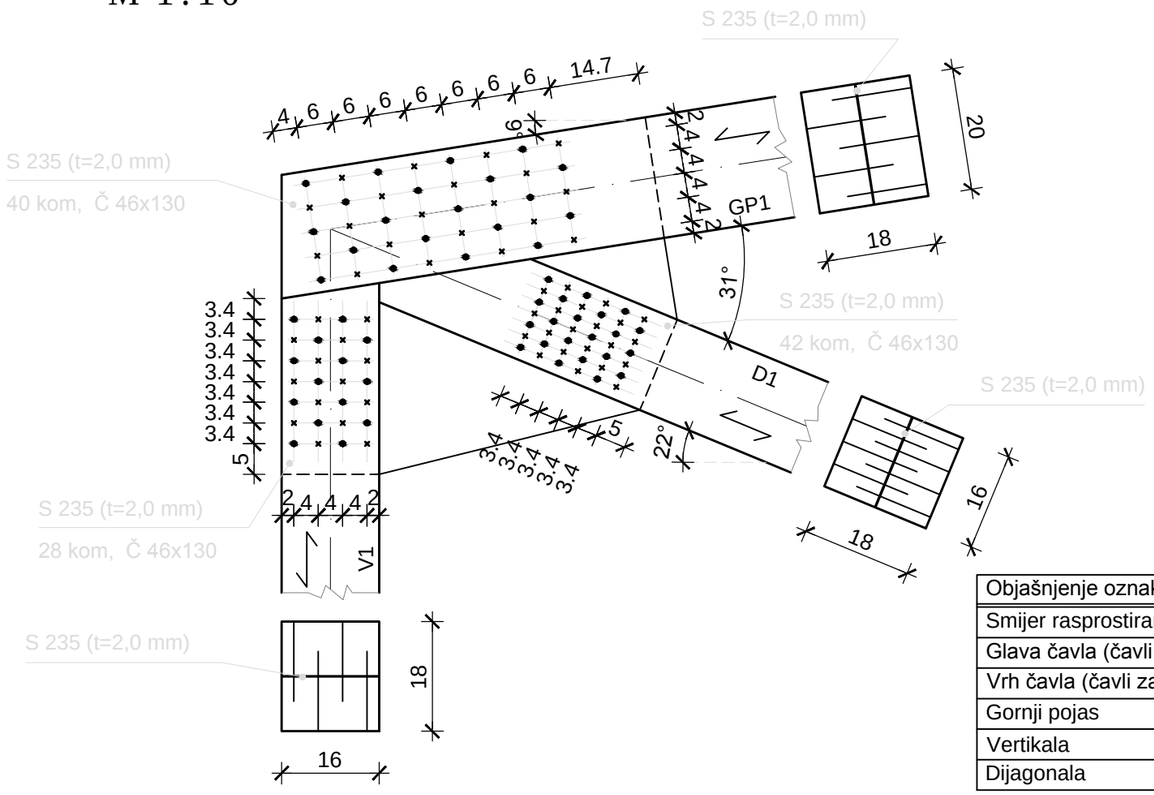
| | | | |
|---|---|---|---|
| Studij: | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež: Detalji spojeva elemenata drvenog rešetkastog nosača (spojevi 3 i 4) | |
| Predmet: | Osnove drvenih konstrukcija, Završni rad | | |
| Tema: | Proračun drvene rešetkaste konstrukcije | | |
| Mentor: | Doc.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

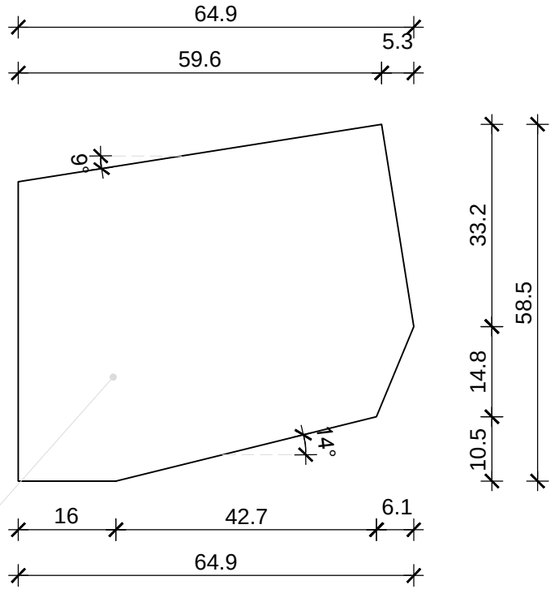
## Detalj spoja 5
M 1:10




## Detalj spoja 6
M 1:10

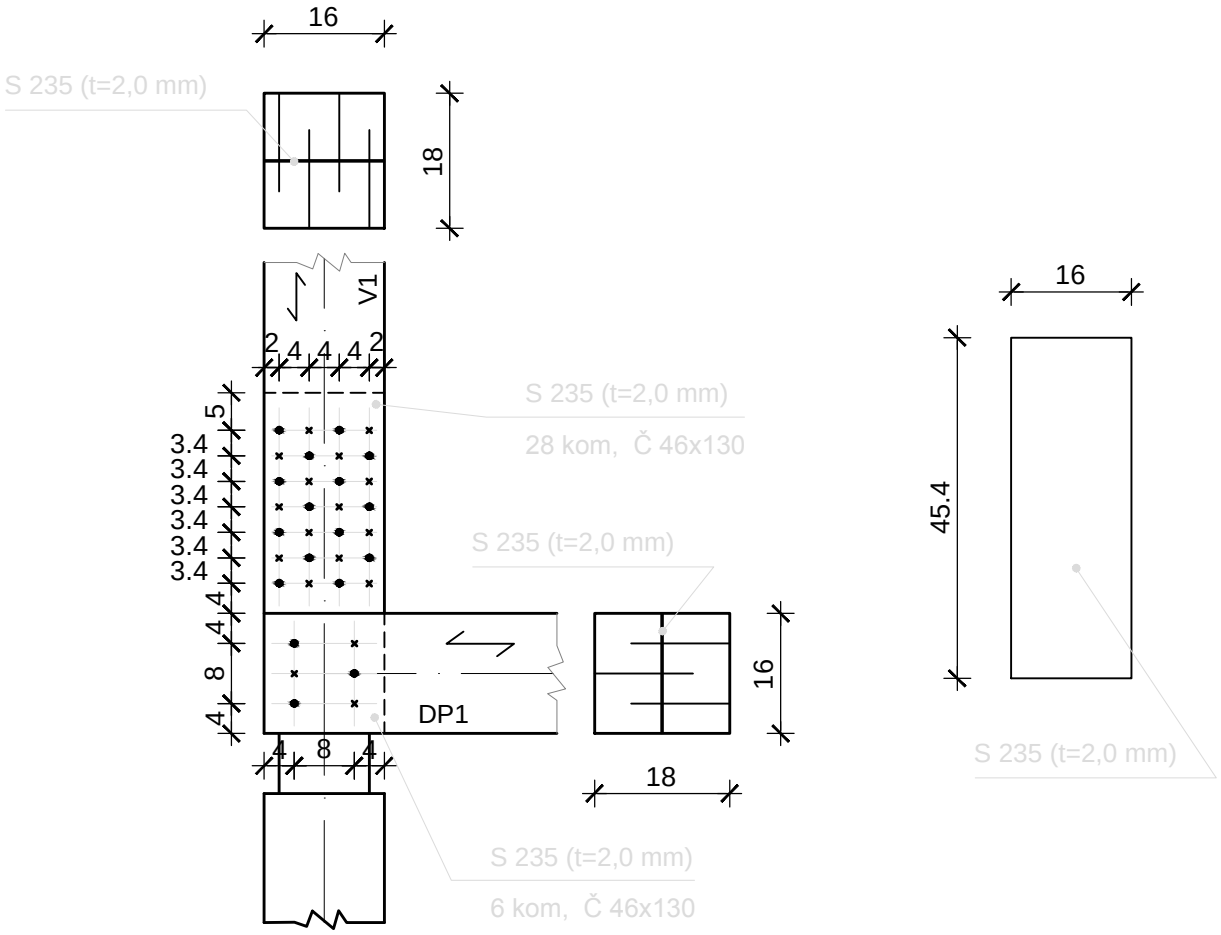



| Objašnjenje oznaka: | |
|---|---|
| Smijer rasprostiranja vlakanaca | ⇀ |
| Glava čavla (čavli zabijani sa vidljive strane) | ● |
| Vrh čavla (čavli zabijani sa suprotne strane) | × |
| Gornji pojas | GP |
| Vertikala | V |
| Dijagonala | D |

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

# Detalj spoja 7
M 1:10




| Objašnjenje oznaka: | |
|---|---|
| Smijer rasprostiranja vlakanaca | ⟿ |
| Glava čavla (čavli zabijani sa vidljive strane) | ● |
| Vrh čavla (čavli zabijani sa suprotne strane) | × |
| Donji pojas | DP |
| Vertikala | V |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | | |
| Studij: | Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva | Crtež:<br>Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača (spoj 7) | |
| 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: | 7 |