

# Proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta

---

**Kutleša, Tomislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*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:123:676936>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-11**



*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**

**Kutleša Tomislav**

**1607**

**Split, 2019.**

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

**Proračun drvene konstrukcije rešetkastog krovišta**

**Završni rad**

**Split, 2019.**

***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

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

Split, Matice hrvatske 15

<u>STUDIJ:</u>	<b>STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA</b>
<u>KANDIDAT:</u>	<b>Tomislav Kutleša</b>
<u>BROJ INDEKSA:</u>	<b>1607</b>
<u>KATEDRA:</u>	<b>Katedra za metalne i drvene konstrukcije</b>
<u>PREDMET:</u>	<b>Osnove drvenih konstrukcija</b>

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

**Tema:**

Proračun drvene rešetkaste konstrukcije

**Opis zadatka:**

Potrebno je proračunati drvenu rešetkastu konstrukciju na temelju zadanih dimenzija glavnog nosača konstrukcije, lokacije zadane konstrukcije i zadanih svojstava drva. Navedeno obuhvaća dimenzioniranje svih elemenata glavnog rešetkastog nosača, sekundarne konstrukcije (podrožnica), prostorne stabilizacije (spregova) i dimenzioniranje pripadajućih spojeva.

U Splitu, rujan, 2019.

Voditelj završnog rada: **dr. sc. Neno Torić**

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

# PRORAČUN DRVENE REŠETKASTE KONSTRUKCIJE

---

ZAVRŠNI RAD

TOMISLAV KUTLEŠA

akademska godina 2018./2019.

MENTOR: DOC.DR.SC. NENO TORIĆ

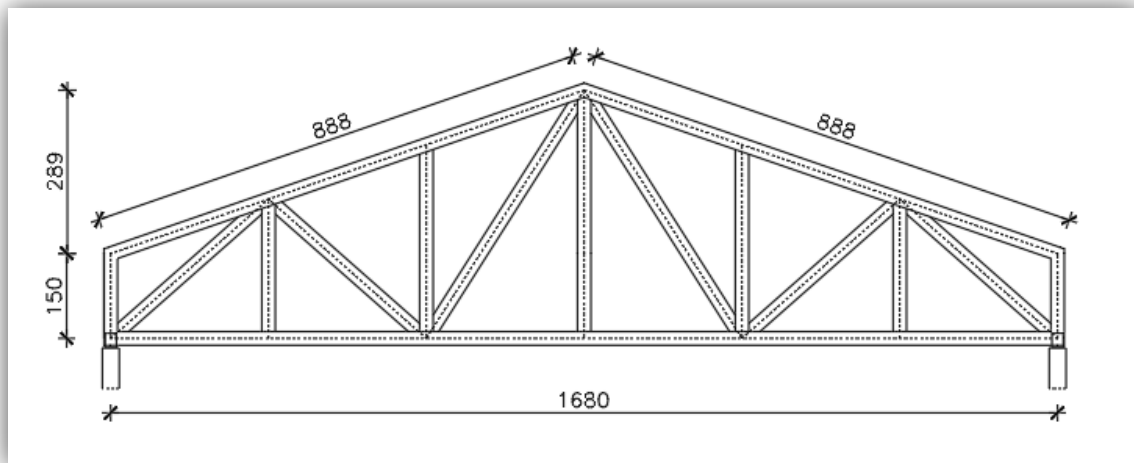
# SADRŽAJ

<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 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
<b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>	<b>4</b>
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
<b>3. STATIČKI PRORAČUN .....</b>	<b>12</b>
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
<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  $L = 16,8$  m. Visina nosača u tjemenu iznosi  $h = 4,39$  m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 19^\circ$ . Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku  $l = 4,5$  m. Stabiliziranje konstrukcije predviđeno je horizontalnim spregom. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi 45,0 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 Splita, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta II. 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. Konstruktivni elementi**

### **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 C24 karakteristične vrijednosti gustoće  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ .

Glavni nosivi elementi rešetke sa pripadajućim dimenzijama su:

- Gornji pojas (GP),      b/h = 14/18 cm.
- Donji pojas (DP),      b/h = 14/16 cm.
- Vertikale (V),      b/h = 14/16 cm.
- Dijagonale (D),      b/h = 14/16 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 2,96 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  $2,96/2 = 1,48 \text{ m}$ .

### **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 14.

### **1.3.4 Spojevi**

Detalji veza u čvorovima glavnog rešetkastog nosača izvedeni su primjenom suvremenih rješenja s utisnutim čeličnim limom debljine  $t=2,0 \text{ mm}$  (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 donjem pojasu izveden je vlačni nastavak (u nacrtu detalj A) pomoću vezica od punog drva dimenzija 2x10/16 cm duljine 96 cm s tijesno ugrađenim vijcima  $\phi 16 \text{ mm}$  (M16) kl. čvrstoće 5,6 s predbušenjem. 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 C24 karakteristične vrijednosti gustoće  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ . Puno drvo ili piljena građa spada u klasu uporabljivosti 2, koju određuje sadržaj prosječne vlažnosti drva od 12% do 20%. Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula za ovu klasu:

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

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

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

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

$$E_{o,mean} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

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

### **1.4.2 Metalni elementi**

Za spajanje pojedinih elemenata upotrijebljeni su glatki čavli Č 46x130 zabijani bez predbušnja. Materijal izrade 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 materijala

### **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 0,25kN/m<sup>2</sup>
- vlastita težina je uključena u računalni program

### 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

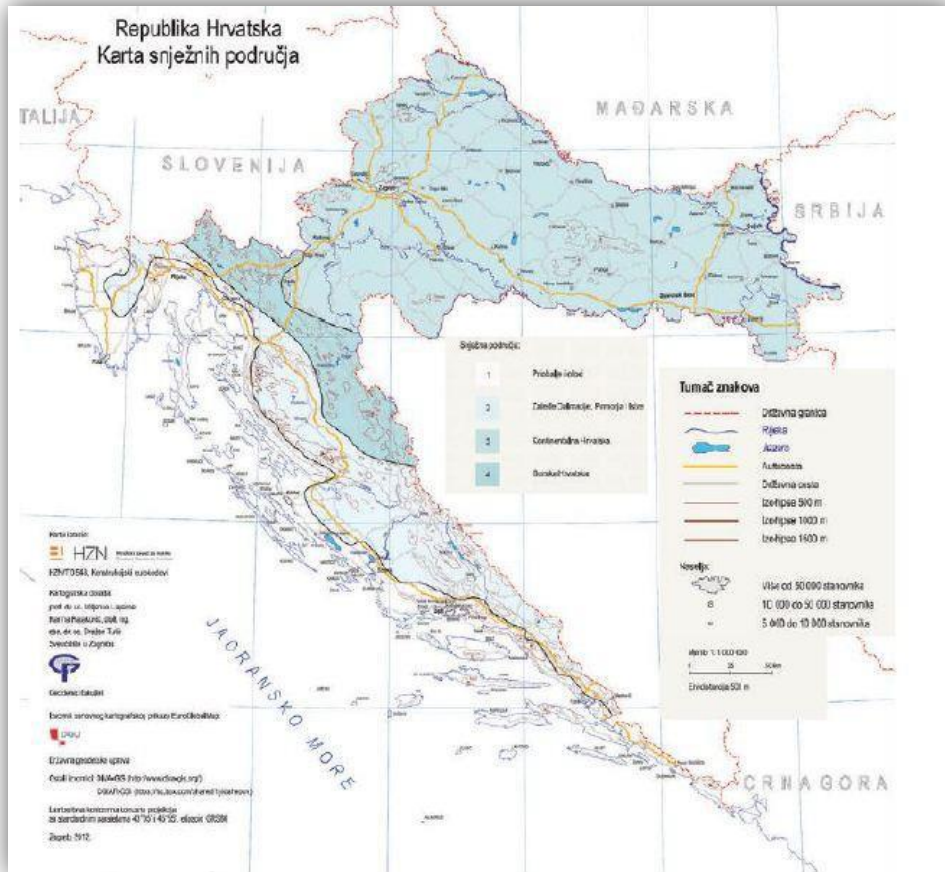
#### 2.2.1 OPTEREĆENJE SNIJEGOM

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

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

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

$s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$  - za Split, do 100 m nadmorske visine (karta i tablica ispod)



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

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

$$0^\circ < \alpha = 19^\circ < 30^\circ \rightarrow \mu_i = 0,8$$

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 :

$$S = S_k * \mu_i * c_e * c_t$$

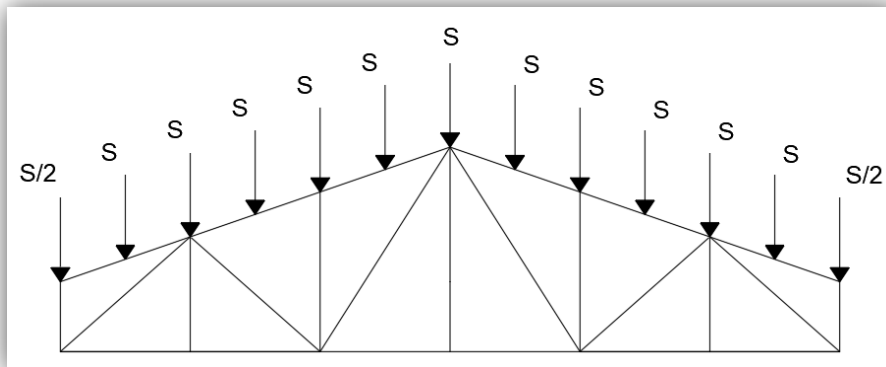
$$s = 0,5 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0$$

$$s = 0,4 \text{ [ kN/m}^2 \text{ ]}$$

$$S = s \times n \times a$$

$$S = 0,4 \text{ [ kN/m}^2 \text{ ]} \times 4,5 \text{ [ m ]} \times 1,48 \text{ [ m ]}$$

$$S = 2,66 \text{ [ kN ]}$$



## 2.2.2 OPTEREĆENJE VJETROM

Opterećenje vjetrom okomito na krovnu ravninu:

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

$$w_i = q_p(z) \cdot c_i \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad - \text{ pritisak vjetra na unutarnje površine}$$

Određivanje osnovnog pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

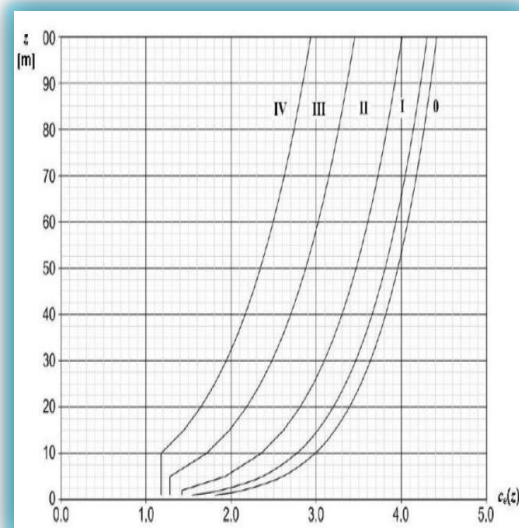
$q_b$  – referentni pritisak srednje brzine vjetra

$\rho$  – gustoća zraka

$$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

$v_b$  – osnovna brzina vjetra

$$v_b = 30 \text{ m/s} \quad (\text{donja lijeva slika})$$



$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2$$

$$q_b = 562,5 \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = 0,56 \left( \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

$c_e=1,70$  → očitano iz gornje desne slike za  $h = 10$  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).

$$q_p = 1,70 \cdot 0,56 = 0,952 \text{ [ kN/m}^2 \text{ ]}$$

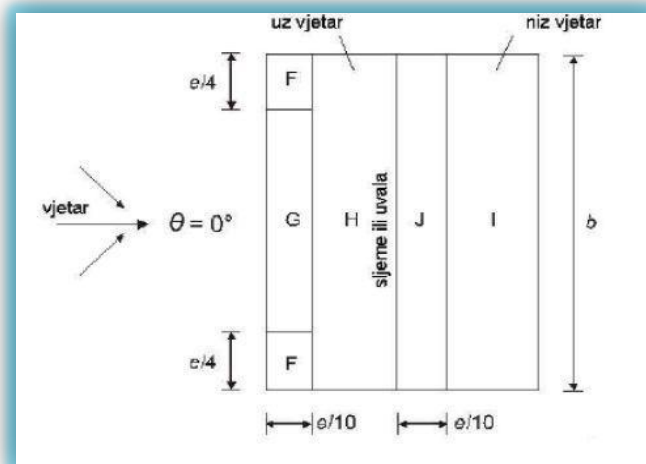
Unutarnji vjetar:

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

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

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 ( $\alpha=19^\circ$ ):



PODRUČJE ZA SMJER VJETRA $\phi=0^\circ$										
NAGIB ALFA	F		G		H		I		J	
	cpe10	cpe1	cpe10	cpe1	cpe10	cpe1	cpe10	cpe1	cpe10	cpe1
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		
19°	- 0,8	- 1,88	- 0,73	- 1,5	- 0,28	- 0,4	- 0,88	- 1,25		
	+ 0,33		+ 0,33		+ 0,25	+ 0,0	+ 0,0			
30°	- 0,5	- 1,5	- 0,5	- 1,5	- 0,2	- 0,4	- 0,5			
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,4	+ 0,0	+ 0,0			

Kombinacije rezultatnih učinaka opterećenja vjetra ( $w$ ) :

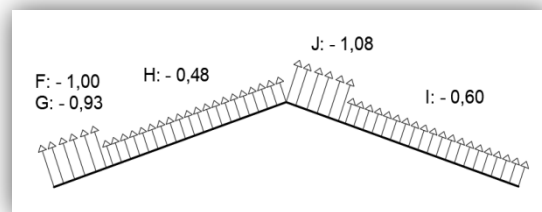
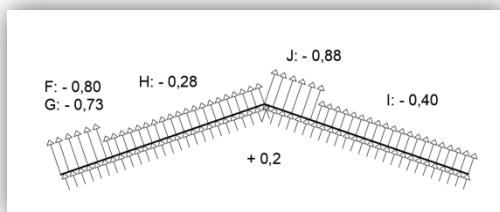
-očitan koeficijenti vanjskog pritiska ( $c_{pe}$ ) za pojedina područja dvostrešnog krova

Kombinirana s koeficijentima unutarnjeg pritiska ( $c_{pi}$ ) ( $c_{pe}$  "+"  $c_{pi}$ )

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

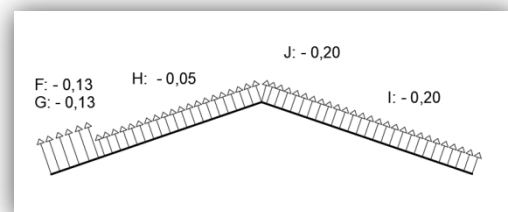
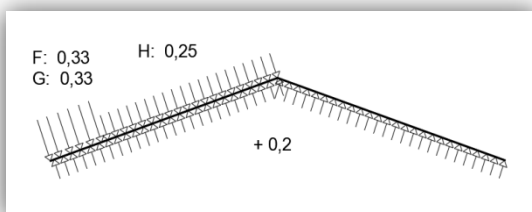
### KOMBINACIJA 1.

PODRUČJE	$c_{pe10}$	$c_{pi}$	PREDZNAK	KOEFICIJENT	$q_p$	PREDZNAK	$w$ (kN/m <sup>2</sup> )
F	-0,80	0,2	-	1	0,952	-	0,952
G	-0,73		-	0,93		-	0,885
H	-0,28		-	0,48		-	0,457
I	-0,40		-	0,6		-	0,571
J	-0,88		-	1,08		-	1,028



### KOMBINACIJA 2.

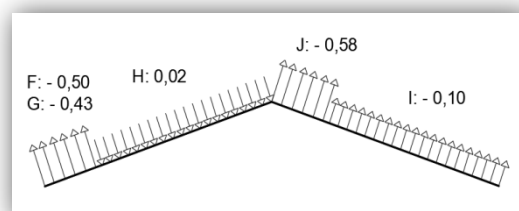
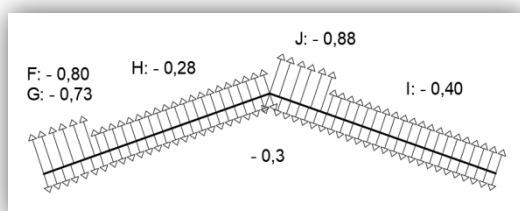
PODRUČJE	$c_{pe10}$	$c_{pi}$	PREDZNAK	KOEFICIJENT	$q_p$	PREDZNAK	$w$ (kN/m <sup>2</sup> )
F	0,33	0,2	-	0,13	0,952	-	0,124
G	0,33		-	0,13		-	0,124
H	0,25		-	0,05		-	0,048
I	0,00		-	0,20		-	0,190
J	0,00		-	0,20		-	0,190





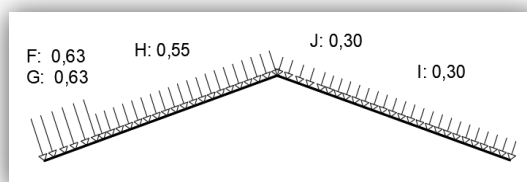
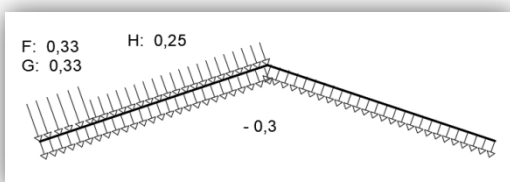
KOMBINACIJA 3.

PODRUČJE	cpe10	cpi	PREDZNAK	KOEFICIJENT	q <sub>p</sub>	PREDZNAK	w (kN/m <sup>2</sup> )
F	-0,80	-0,3	-	0,5	0,952	-	0,476
G	-0,73		-	0,43		-	0,409
H	-0,28		+	0,02		+	0,019
I	-0,40		-	0,1		-	0,095
J	-0,88		-	0,58		-	0,552



KOMBINACIJA 4.

PODRUČJE	cpe10	cpi	PREDZNAK	KOEFICIJENT	q <sub>p</sub>	PREDZNAK	w (kN/m <sup>2</sup> )
F	0,33	-0,3	+	0,63	0,952	+	0,600
G	0,33		+	0,63		+	0,600
H	0,25		+	0,55		+	0,524
I	0,00		+	0,30		+	0,286
J	0,00		+	0,30		+	0,286

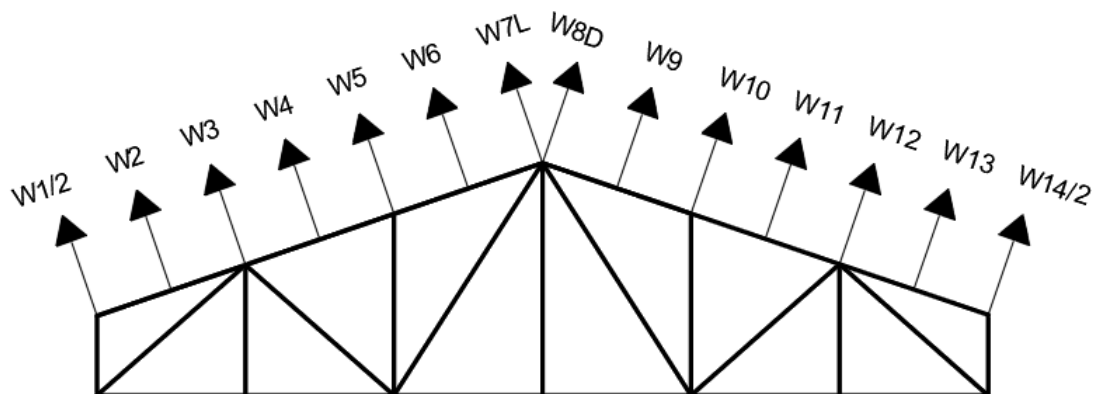


Mjerodavne kombinacije: **KOMBINACIJA 1.** i **KOMBINACIJA 4.**

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

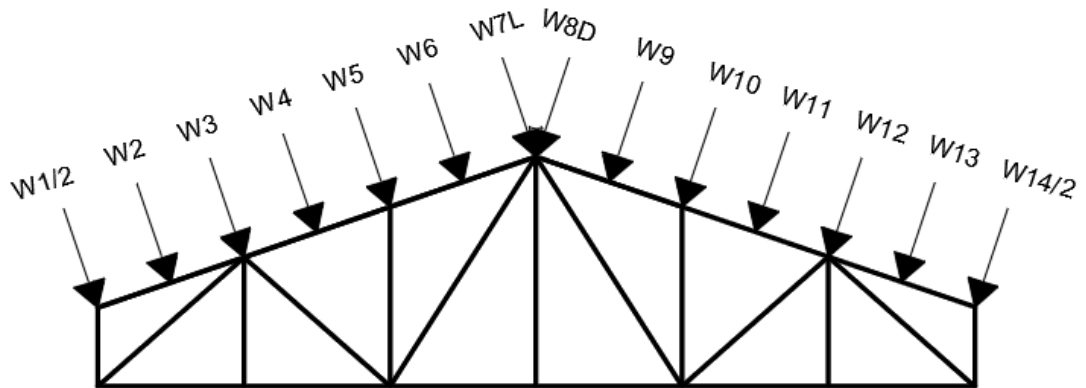
### KOMBINACIJA 1.

BROJ PODROŽNICA	POZICIJA	w (kN/m <sup>2</sup> )	n (m)	d'/6 (m)	SILA W (kN)
1	G	0,952	4,50	1,40	3,00
2	G	0,952	4,50	1,40	6,00
3	H	0,457	4,50	1,40	2,88
4	H	0,457	4,50	1,40	2,88
5	H	0,457	4,50	1,40	2,88
6	H	0,457	4,50	1,40	2,88
7	H	0,457	4,50	1,40	1,44
8	J	1,028	4,50	1,40	3,24
9	J	1,028	4,50	1,40	6,48
10	I	0,571	4,50	1,40	3,60
11	I	0,571	4,50	1,40	3,60
12	I	0,571	4,50	1,40	3,60
13	I	0,571	4,50	1,40	3,60
14	I	0,571	4,50	1,40	1,80



#### KOMBINACIJA 4.

BROJ PODROŽNICA	POZICIJA	w (kN/m <sup>2</sup> )	n (m)	d'/6 (m)	SILA W (kN)
1	G	0,600	4,50	1,40	1,89
2	G	0,600	4,50	1,40	3,78
3	H	0,524	4,50	1,40	3,30
4	H	0,524	4,50	1,40	3,30
5	H	0,524	4,50	1,40	3,30
6	H	0,524	4,50	1,40	3,30
7	H	0,524	4,50	1,40	1,65
8	J	0,286	4,50	1,40	0,90
9	J	0,286	4,50	1,40	1,80
10	I	0,286	4,50	1,40	1,80
11	I	0,286	4,50	1,40	1,80
12	I	0,286	4,50	1,40	1,80
13	I	0,286	4,50	1,40	1,80
14	I	0,286	4,50	1,40	0,90



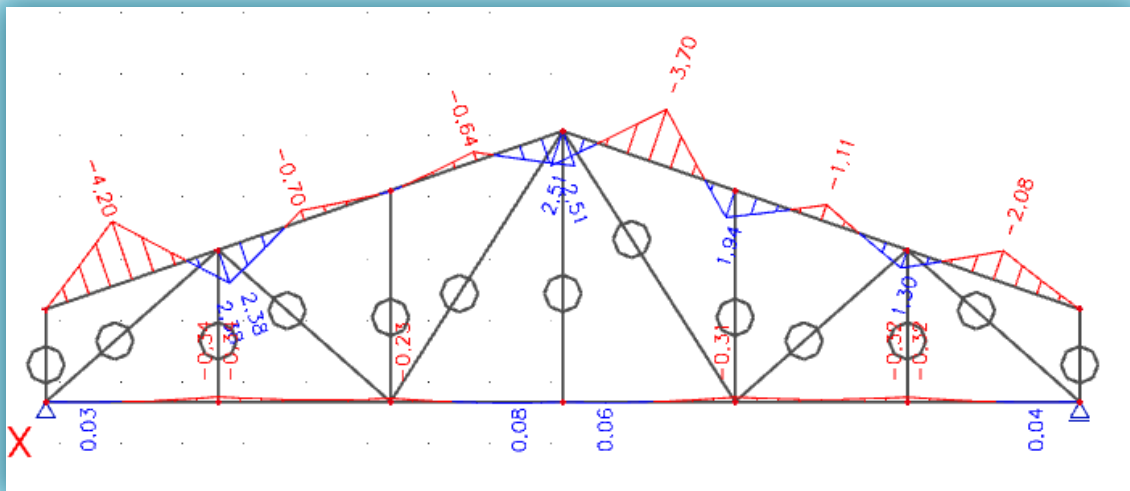
### 3. STATIČKI PRORAČUN

#### 3.1 OPTEREĆENJE ČVOROVA I PRIKAZ REZNIH SILA

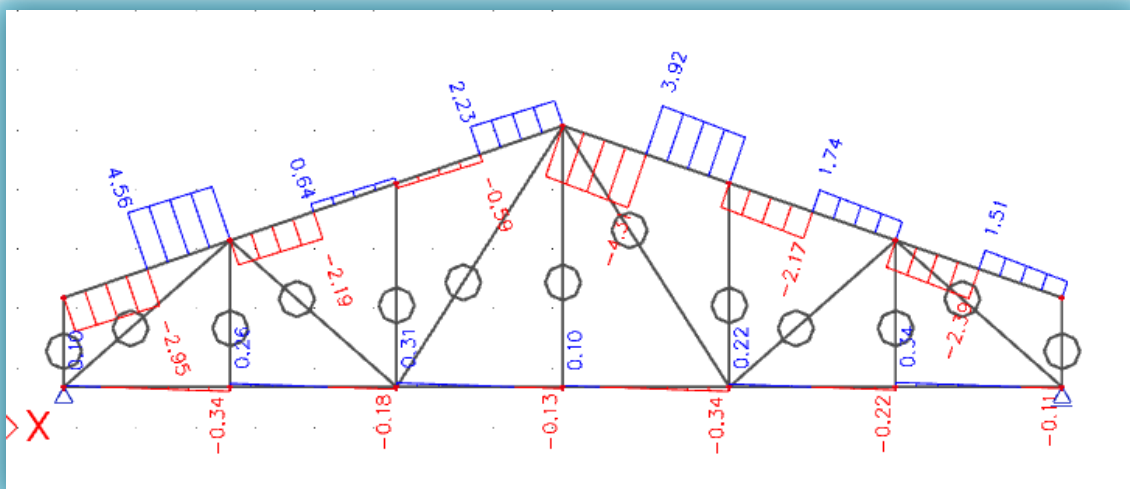
##### 3.1.1. 1. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA ( ODIZANJE )

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

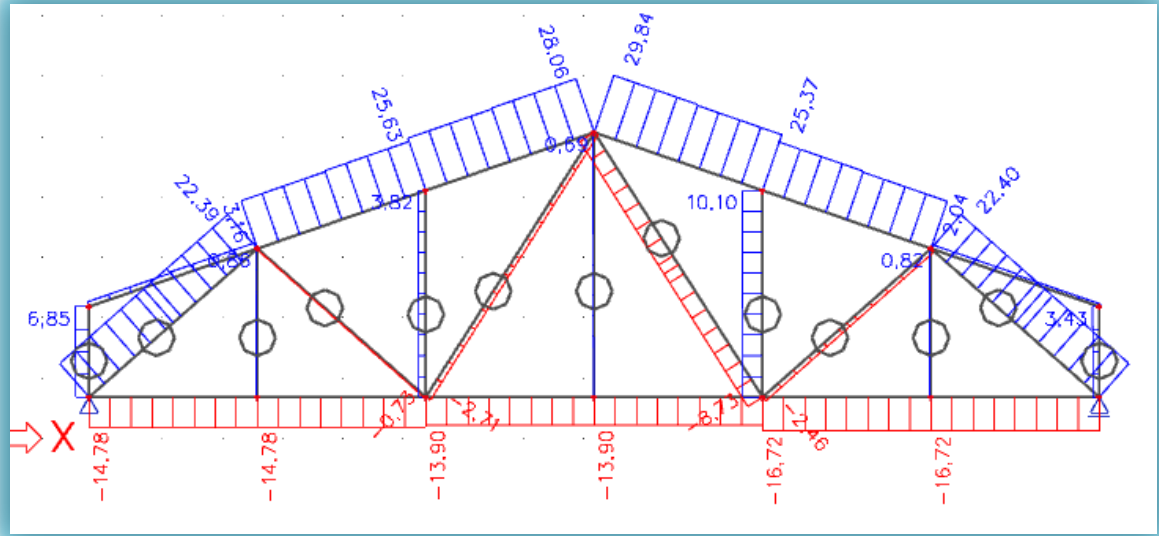
**M**



**V**



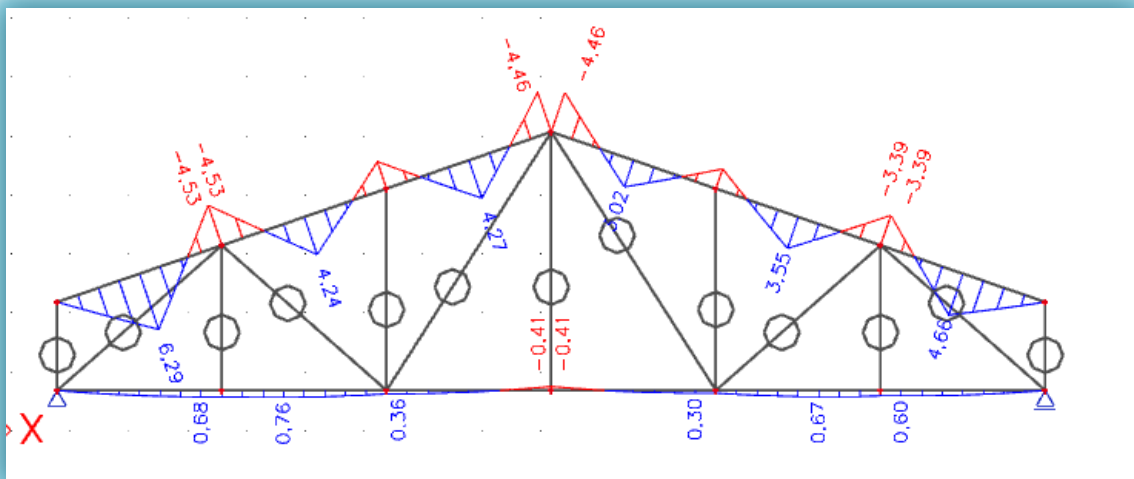
**N**



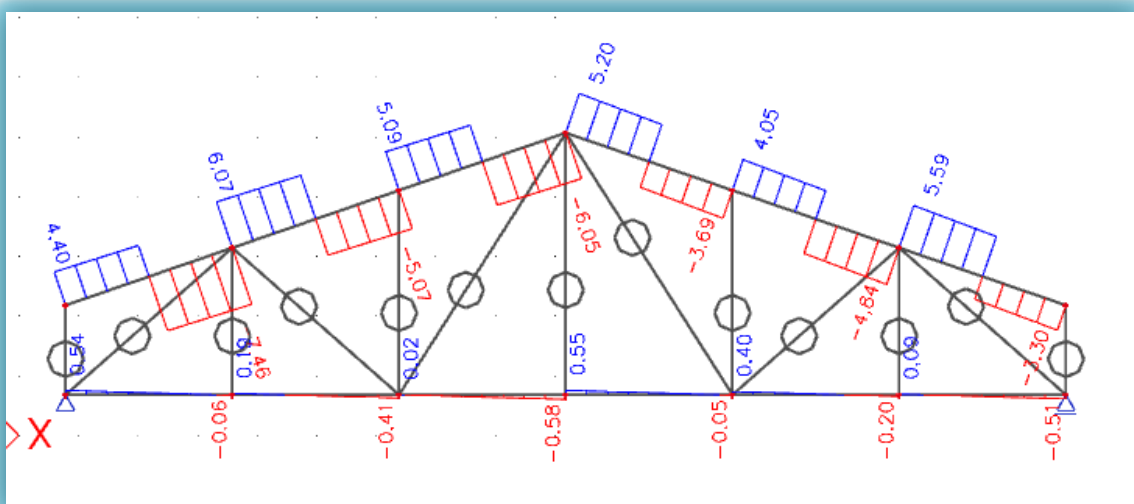
### 3.1.2. 2. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA ( PRITISAK )

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

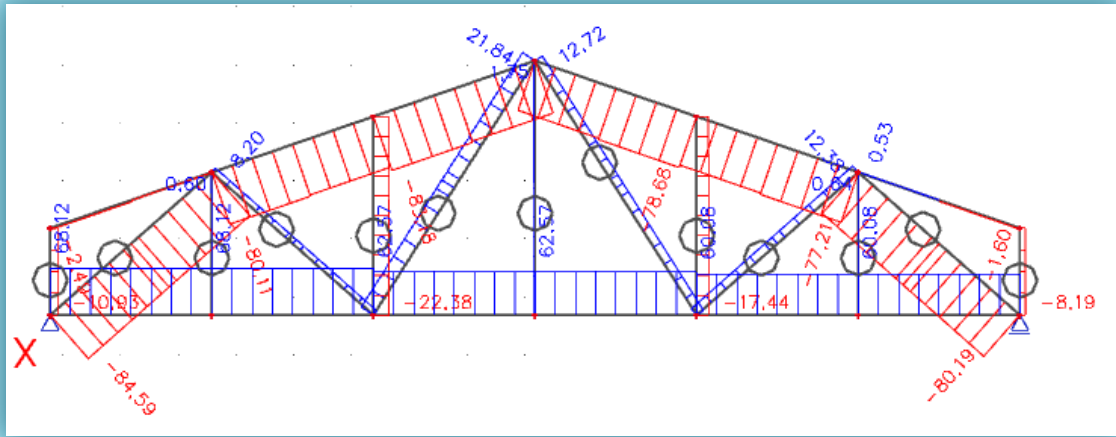
**M**



**V**



N



## 3.2 KONTROLA PROGIBA

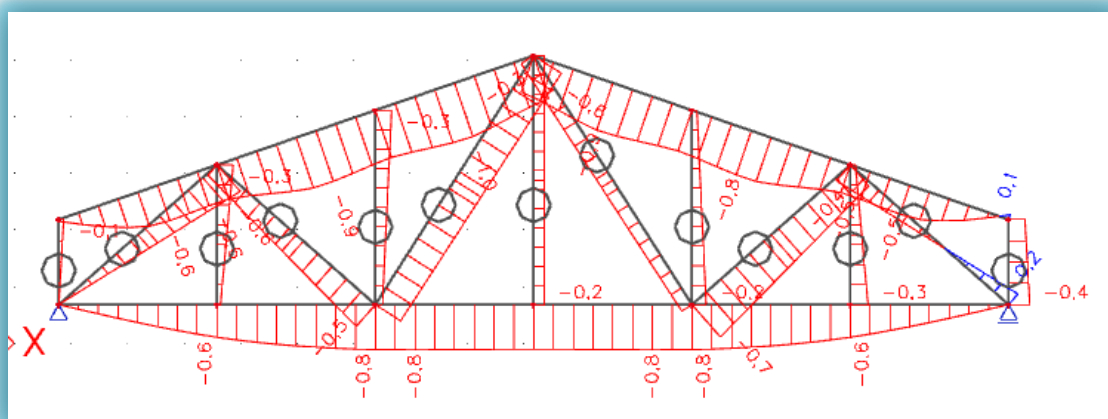
Kombinacije djelovanja za granična stanja uporabljivosti računaju se prema izrazu:

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

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. Finalne deformacije se uspoređuju sa graničnim vrijednostima koje su definirane u odnosu na raspon slobodno oslonjene grede duljine  $L$ .

### 3.2.1. STALNO OPTEREĆENJE (G)



$$U_{G,inst.} = 0,10 \text{ cm}$$

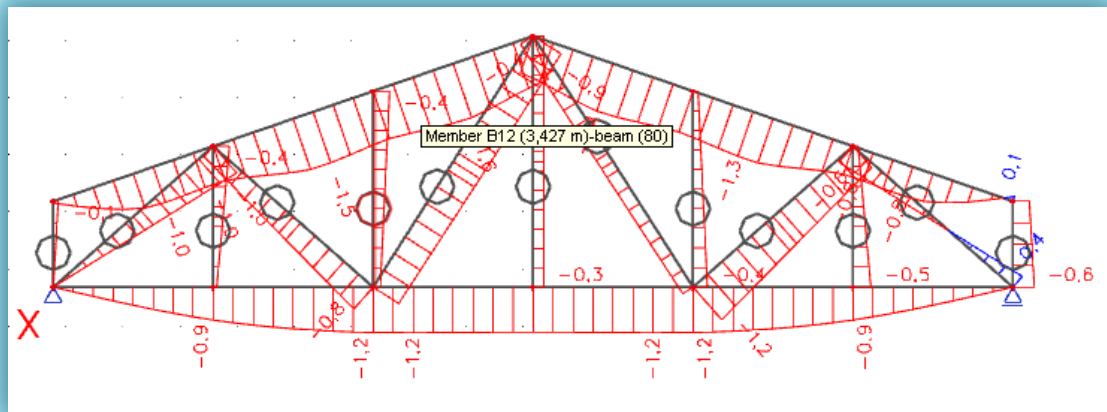
$$U_{G,FIN} = U_{G,inst.} \cdot (1 + k_{def,G})$$

$$= 0,10 \cdot (1 + 0,8)$$

$$= 0,18 \text{ cm}$$



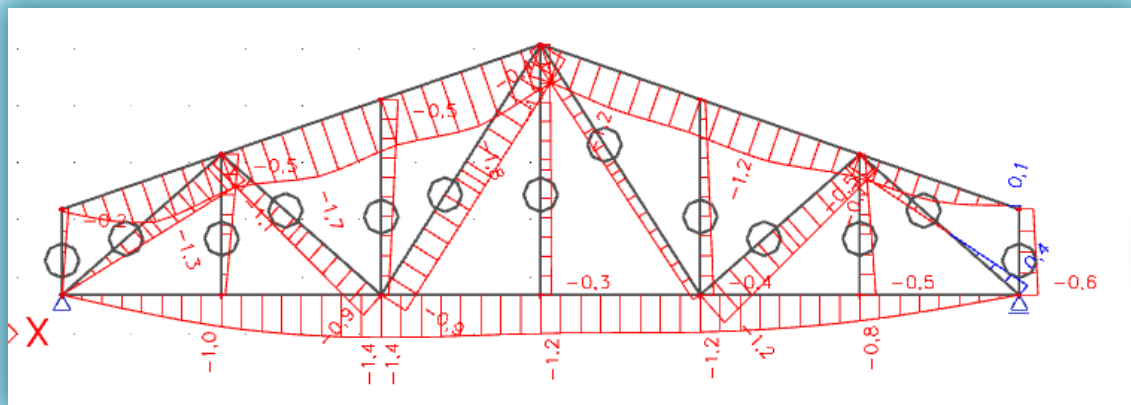
### 3.2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - SNIJEG ( Q )



$$U_{Q,inst.} = 0,16 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} U_{Q,FIN} &= U_{G,inst.} \cdot (1 + k_{def,G}) \\ &= 0,16 \cdot (1 + 0,5) \\ &= 0,24 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 3.2.3. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - VJETAR ( Q )



$$U_{Q,inst.} = 0,18 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} U_{Q,FIN} &= U_{Q,inst.} \cdot (1 + k_{def,G}) \\ &= 0,18 \cdot (1 + 0,5) \\ &= 0,27 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kontrola progiba za pojedinačna djelovanja:

1) a) snijeg

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

$$0,16 \text{ cm} \leq \frac{1680}{300} = 5,6 \text{ cm}$$

b) vjetar

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

$$0,18 \text{ cm} \leq \frac{1680}{300} = 5,6 \text{ cm}$$

2) a) snijeg

$$U_{fin} = U_{G,fin} + U_{Q,fin.snije.}$$

$$= 0,18 + 0,24$$

$$= 0,42 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = 0,42 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{1680}{200} = 8,4 \text{ cm}$$

b) vjetar

$$U_{fin} = U_{G,fin} + U_{Q,fin.vjet.}$$

$$= 0,18 + 0,27$$

$$= 0,354 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = 0,45 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{1680}{200} = 8,4 \text{ cm}$$

## 4. DIMENZIONIRANJE

### **Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:**

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

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

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

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

$$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

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

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{0,mean} = \frac{2}{3} \cdot 11\,000 = 7\,333,33 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 690 = 460 \text{ N/mm}^2$$

### **Proračunske vrijednosti čvrstoća:**

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

Uporabna klasa 2, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

Uporabna klasa 2, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

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

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

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

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

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

#### 4.1. GORNJI POJAS

Pretpostavljeni poprečni presjek:

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

Geometrijske karakteristike presjeka:

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

$$I_y = \frac{14 \cdot 18^3}{12} = 6804,0 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{14^3 \cdot 18}{12} = 4116,0 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 18^2}{6} = 756,0 \text{ cm}^3$$

##### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{t,d} = 29,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 4,20 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{29,84 \text{ kN}}{0,8 \cdot 252 \text{ cm}^2} = 0,1480 \text{ kN/cm}^2 = 1,480 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{4,20 \cdot 100 \text{ kNcm}}{756,0 \text{ cm}^3} = 0,5555 \text{ kN/cm}^2 = 5,555 \text{ N/mm}^2$$

Za savijene štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine  $b$ ,  $k_{crit} = 1,0$  ako je:

$$l_{ef,z} = 2,96 \text{ m}$$

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{296 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm}}{14^2 \text{ cm}^2} = 27,18 < 140 \rightarrow k_{crit} = 1,0$$

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

$$\frac{5,555}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{1,480}{9,69} = 0,3342 + 0,1527 = 0,4869 < 1$$

Posmik:

$$V_{z,d} = 4,56 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{4,56 \text{ kN}}{252 \text{ cm}^2} = 0,0271 \text{ kN/cm}^2 = 0,271 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,271 \text{ N/mm}^2}{2,77 \text{ N/mm}^2} = 0,0978 < 1$$

### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{c,d} = - 84,59 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 6,29 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{- 84,59 \text{ kN}}{252 \text{ cm}^2} = - 0,3357 \text{ kN/cm}^2 = - 3,357 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{6,29 \cdot 100 \text{ kNcm}}{756,0 \text{ cm}^3} = 0,8320 \text{ kN/cm}^2 = 8,320 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = 2,96 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{2,96 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{4116,0 \text{ cm}^4}{252 \text{ cm}^2}}} = 73,24$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{73,24}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,33 \text{ N/mm}^2}} = 1,25$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,25 - 0,3) + 1,25^2] = 1,38$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,38 + \sqrt{1,38^2 - 1,25^2}}; 1 \right\}$$

$$= \min \{ 0,51; 1,0 \} = 0,51$$

Dokaz stabilnosti za os y:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$
$$\frac{8,320}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{3,357}{0,51 \cdot 14,54} = 0,9533 < 1$$

Posmik:

$$V_{z,d} = 7,46 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{7,46 \text{ kN}}{252 \text{ cm}^2} = 0,0444 \text{ kN/cm}^2 = 0,444 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,444 \text{ N/mm}^2}{2,77 \text{ N/mm}^2} = 0,1603 < 1$$

**Poprečni presjek zadovoljava.**

**Usvojeno b/h = 14/18 cm**

## 4.2. DONJI POJAS

Pretpostavljeni poprečni presjek:

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

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 14 \cdot 16 = 224 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{14 \cdot 16^3}{12} = 4778,67 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{14^3 \cdot 16}{12} = 3658,67 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 16^2}{6} = 597,33 \text{ cm}^3$$

### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{c,d} = -16,72 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0,34 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-16,72 \text{ kN}}{224 \text{ cm}^2} = -0,0746 \text{ kN/cm}^2 = -0,746 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,34 \cdot 100 \text{ kNcm}}{597,33 \text{ cm}^3} = 0,0569 \text{ kN/cm}^2 = 0,569 \text{ N/mm}^2$$

Kombinacija izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = 8,40 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{8,40 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{4778,67 \text{ cm}^4}{224 \text{ cm}^2}}} = 181,87$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{181,87}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,33 \text{ N/mm}^2}} = 3,10$$

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

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (3,10 - 0,3) + 3,10^2] = 5,59$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{5,59 + \sqrt{5,59^2 - 3,10^2}}; 1 \right\}$$

$$= \min \{ 0,10; 1,0 \} = 0,10$$

Za savijene štapove pravokutnog poprečnog presjeka širine  $b$ ,  $k_{crit} = 1,0$  ako je:

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{840 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm}}{14^2 \text{ cm}^2} = 68,57 < 140 \rightarrow k_{crit} = 1,0$$

Dokaz stabilnosti za os  $y$ :

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} < 1$$
$$\frac{0,569}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{0,746}{0,10 \cdot 14,54} = 0,5473 < 1$$

### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{t,d} = 68,12 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0,76 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{68,12 \text{ kN}}{0,80 \cdot 224 \text{ cm}^2} = 0,380 \text{ kN/cm}^2 = 3,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,76 \cdot 100 \text{ kNcm}}{597,33 \text{ cm}^3} = 0,127 \text{ kN/cm}^2 = 1,27 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1$$
$$\frac{1,27}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{3,80}{9,69} = 0,4686 < 1$$

**Poprečni presjek zadovoljava.**

**Usvojeno  $b/h = 14/16 \text{ cm}$ .**



### 4.3. DIJAGONALE

Pretpostavljeni poprečni presjek:

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

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 14 \cdot 16 = 224 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{14 \cdot 16^3}{12} = 4778,67 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{14^3 \cdot 16}{12} = 3658,67 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 16^2}{6} = 597,33 \text{ cm}^3$$

#### Kombinacija opterećenja 1

$$N_{t,d} = 22,40 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{22,40 \text{ kN}}{0,80 \cdot 224 \text{ cm}^2} = 0,1250 \text{ kN/cm}^2 = 1,250 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\frac{1,250}{9,69} = 0,1290 < 1$$

#### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{c,d} = - 84,59 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{- 84,59 \text{ kN}}{224 \text{ cm}^2} = 0,3776 \text{ kN/cm}^2 = 3,776 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = 3,729 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{3,729 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{4778,67 \text{ cm}^4}{224 \text{ cm}^2}}} = 80,74$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,74}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,33 \text{ N/mm}^2}} = 1,38$$

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

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,38 - 0,3) + 1,38^2] = 1,56$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}} ; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,56 + \sqrt{1,56^2 - 1,38^2}} ; 1 \right\}$$
$$= \min \{ 0,44 ; 1,0 \} = 0,44$$

Dokaz stabilnosti za os y:

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

$$\frac{3,776}{0,44 \cdot 14,54} = 0,5902 < 1$$

**Poprečni presjek zadovoljava.**

**Usvojeno b/h = 14/16 cm.**

#### 4.4. VERTIKALE

Pretpostavljeni poprečni presjek:

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

Geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 14 \cdot 16 = 224 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{14 \cdot 16^3}{12} = 4778,67 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{14^3 \cdot 16}{12} = 3658,67 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 16^2}{6} = 597,33 \text{ cm}^3$$

##### Kombinacija opterećenja 1

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

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{10,10 \text{ kN}}{0,80 \cdot 224 \text{ cm}^2} = 0,0564 \text{ kN/cm}^2 = 0,564 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\frac{0,564}{9,69} = 0,0582 < 1$$

##### Kombinacija opterećenja 2

$$N_{c,d} = - 22,38 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{- 22,38 \text{ kN}}{224 \text{ cm}^2} = - 0,0999 \text{ kN/cm}^2 = - 0,999 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = 3,427 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{3,427 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{4778,67 \text{ cm}^4}{224 \text{ cm}^2}}} = 74,20$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{74,20}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,33 \text{ N/mm}^2}} = 1,26$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,26 - 0,3) + 1,26^2] = 1,39$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,39 + \sqrt{1,39^2 - 1,26^2}}; 1 \right\}$$
$$= \min \{ 0,51; 1,0 \} = 0,51$$

Dokaz stabilnosti za os y:

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

$$\frac{0,999}{0,51 \cdot 12,92} = 0,1502 < 1$$

**Poprečni presjek zadovoljava.**

**Usvojeno b/h = 14/16 cm.**

#### 4.5. PODROŽNICE

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

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

Djelovanja:

$$q_{G,k} = g_k \cdot e = 0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,96 \text{ m} = 0,70 \text{ kN/m}$$

$$q_{Q,k,W} = w_2 \cdot e = 0,6 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,96 \text{ m} = 1,68 \text{ kN/m}$$

$$q_{Q,k,S} = s \cdot e = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,96 \text{ m} = 1,12 \text{ kN/m}$$

$$q_{z,d} = 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \cos\alpha + 1,50 \cdot 0,9 \cdot (q_{Q,k,W} + q_{Q,k,S} \cdot \cos\alpha)$$

$$q_{z,d} = 1,35 \cdot 0,70 \cdot \cos 19^\circ + 1,50 \cdot 0,9 \cdot (1,68 + 1,12 \cdot \cos 19^\circ) = 4,59 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \sin\alpha + 1,50 \cdot 0,9 \cdot q_{Q,k,S} \cdot \sin\alpha$$

$$q_{y,d} = 1,35 \cdot 0,70 \cdot \sin 19^\circ + 1,50 \cdot 0,9 \cdot 1,12 \cdot \sin 19^\circ = 0,80 \text{ kN/m}$$

Rezne sile:

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{4,59 \cdot 4,5^2}{8} = 11,62 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,80 \cdot 4,5^2}{8} = 2,03 \text{ kNm}$$

$$V_{z,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l}{2} = \frac{4,59 \cdot 4,5}{2} = 10,33 \text{ kNm}$$

$$V_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l}{2} = \frac{0,80 \cdot 4,5}{2} = 1,80 \text{ kNm}$$

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 16 \cdot 20 = 320 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{16 \cdot 20^2}{6} = 1066,67 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{16^2 \cdot 20}{6} = 853,33 \text{ cm}^3$$

Proračunska naprežanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{11,62 \cdot 10^6}{1066,67 \cdot 10^3} = 10,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,03 \cdot 10^6}{853,33 \cdot 10^3} = 2,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{10,33 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^2} = 0,323 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,80 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^2} = 0,056 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{450 \cdot 20}{16^2} = 35,16 < 140 \rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{10,89}{1,0 \cdot 14,77} + 0,7 \cdot \frac{2,38}{14,77} = 0,8501 < 1,0$$

$$k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{10,89}{1,0 \cdot 14,77} + \frac{2,38}{14,77} = 0,6772 < 1,0$$

$$\left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 = \left( \frac{0,323}{2,46} \right)^2 + \left( \frac{0,056}{2,46} \right)^2 = 0,0177 < 1,0$$

**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 podrožnice van sustava stabilizacije!

Karakteristike poprečnog presjeka:

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

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

$$W_z = \frac{18^2 \cdot 20}{6} = 1080,0 \text{ cm}^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{11,62 \cdot 10^6}{1200,0 \cdot 10^3} = 9,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,03 \cdot 10^6}{1080,0 \cdot 10^3} = 1,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{10,33 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,80 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,075 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{l_{eff} \cdot h}{b^2} = \frac{450 \cdot 20}{18^2} = 27,78 < 140 \rightarrow k_{crit} = 1,0$$

Dokaz stabilnosti i nosivosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{9,68}{1,0 \cdot 14,77} + 0,7 \cdot \frac{1,88}{14,77} = 0,7445 < 1,0$$

$$k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{9,68}{1,0 \cdot 14,77} + \frac{1,88}{14,77} = 0,5860 < 1,0$$

$$\left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 = \left( \frac{0,43}{2,46} \right)^2 + \left( \frac{0,075}{2,46} \right)^2 = 0,0315 < 1,0$$

**Poprečni presjek zadovoljava.**

**Usvojeno  $b/h = 18/20$  cm.**

## 5. STABILIZACIJA

Djelovanja su dobivena analizom vjetra na zabatni zid:

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

$$F = q_p \cdot P; q_p = (c_p \text{ „+“ } c_i) \cdot q_b$$

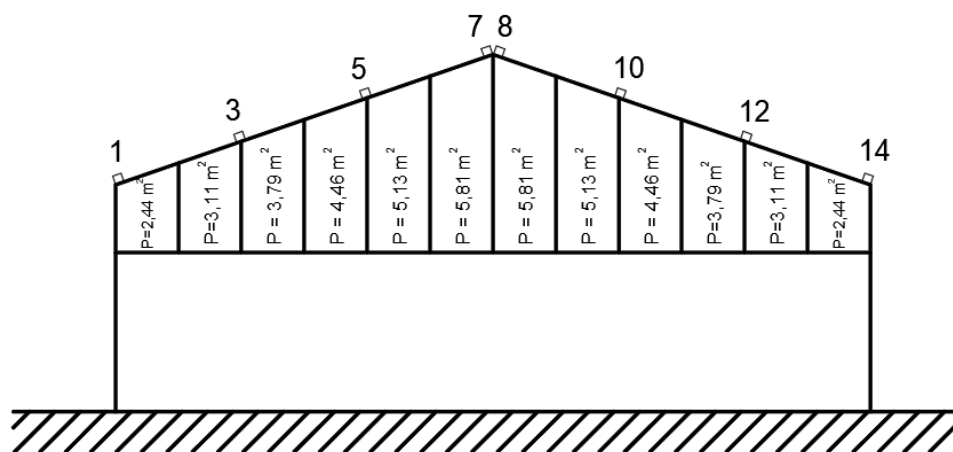
$C_{e1} = + 0,8$  ( za područje D)

$C_{e2} = - 0,5$  ( za područje E)

Unutarnji vjetar:

$C_{i1} = + 0,2$

$C_{i2} = - 0,3$

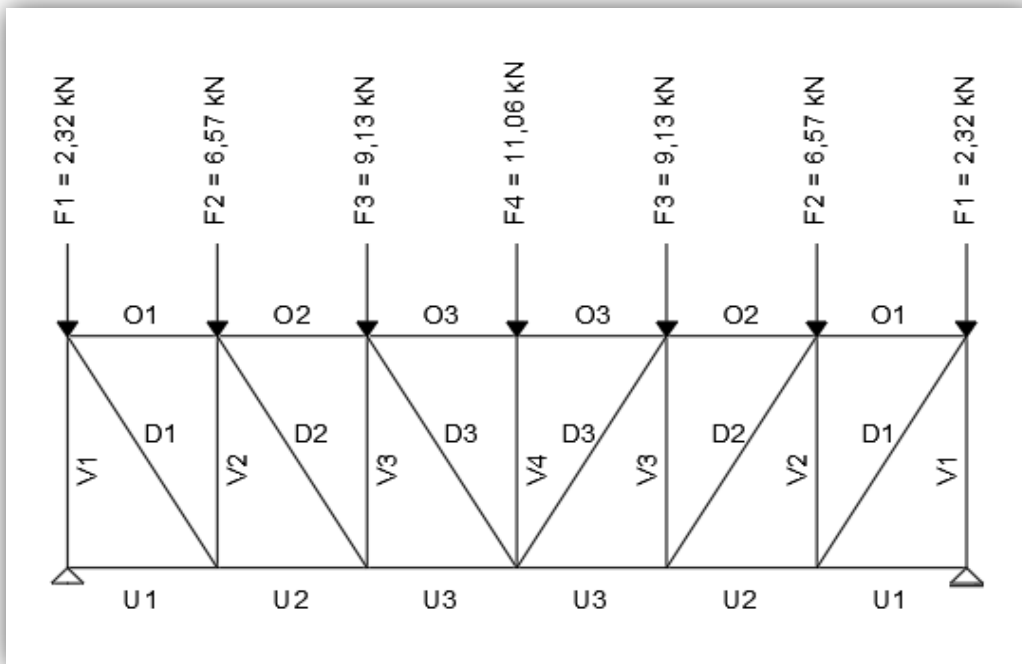


Djelovanje na zabatni zid (proračun i skica zabatnog zida za proračun) ( $F_w = q_p \cdot \Sigma P$ ):

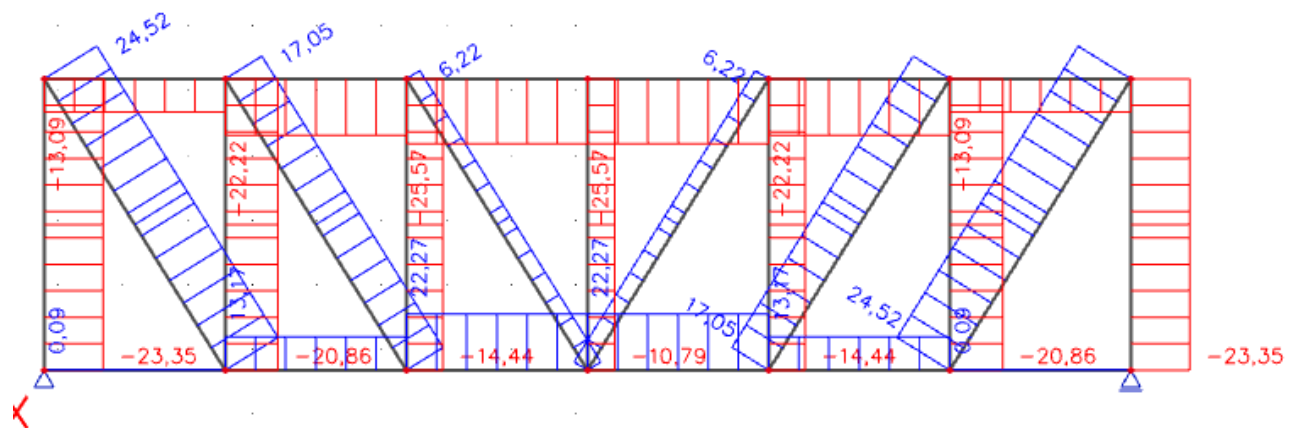
BR.PODROŽNICE	POVRŠINA	$\Sigma P (m^2)$	$q_p (kN/m^2)$	$F_w (kN)$					
1	2,44	2,44	0,952	2,32					
3	3,11	6,90		0,952	6,57				
	3,79								
5	4,46	9,59			0,952	9,13			
	5,13								
7	5,81	5,81				0,952	11,06		
8	5,81	5,81							
10	5,13	9,59					0,952	9,13	
	4,46								
12	3,79	6,90						0,952	6,57
	3,11								
14	2,44	2,44							0,952



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:

$$N_{O_3(U_3)d} = 25,57 \text{ kN}$$

Sile u vertikalama (podrožnice):

$$N_{V1d} = 23,35 \text{ kN}$$

Sile u dijagonalama:  $\tan \beta = \frac{16,8}{4,5} = 0,62222 \rightarrow \beta = 31,89^\circ$

$$N_{D1d} = 24,52 \text{ kN}$$

## 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).

$$h_1 = \frac{h_1}{6} = \frac{18}{6} = 3,0 \text{ cm}$$

$$A = b \cdot h_1 = 16,0 \cdot 3,0 = 48,00 \text{ cm}^2$$

Proračunsko naprezanje od  $N_{os}(u_s)d$

$$\sigma_{c,0,d,\text{stabilizacija}} = \frac{N_{os}(u_s)d}{A} = \frac{25,57 \cdot 10^3}{48,00 \cdot 10^2} = 5,327 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos \alpha} = \frac{16,8/6}{\cos 19^\circ} = 2,961 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{2,961 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{6144,0 \text{ cm}^4}{288 \text{ cm}^2}}} = 64,11$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{64,11}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,3 \text{ N/mm}^2}} = 1,09$$

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

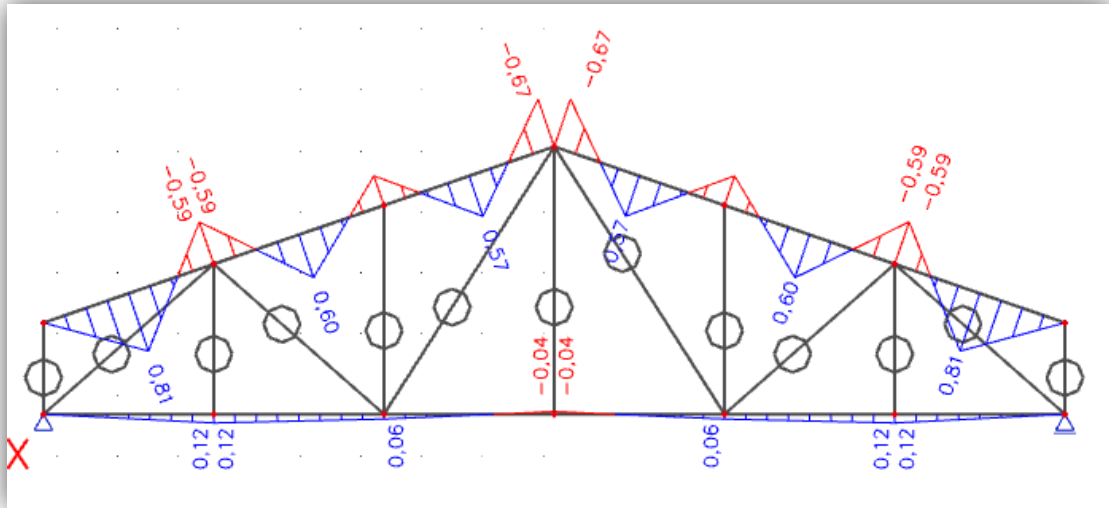
$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,09 - 0,3) + 1,09^2] = 1,17$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,17 + \sqrt{1,17^2 - 1,09^2}}; 1 \right\}$$

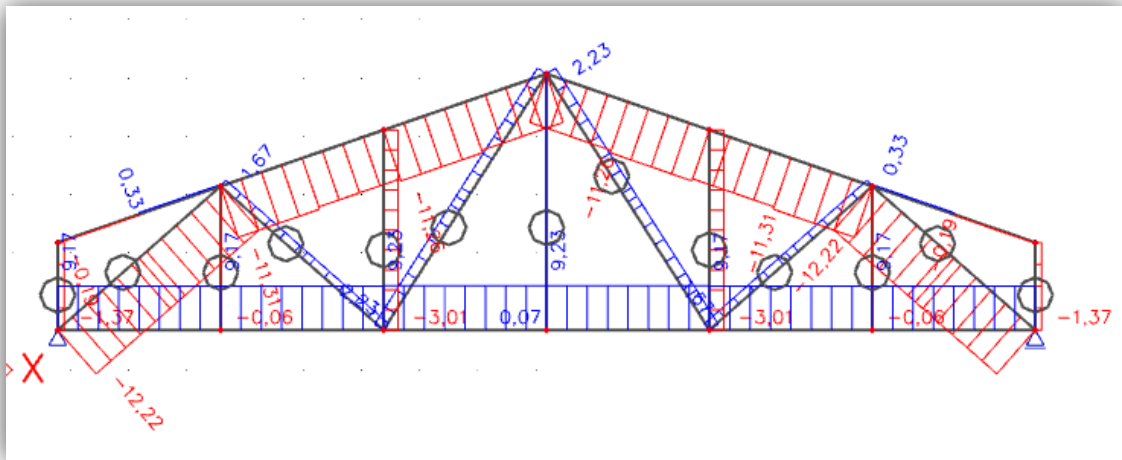
$$= \min \{ 0,63; 1,0 \} = 0,63$$

Stalno opterećenje:

**M**



**N**



$$N_{c,d} = -11,31 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 0,81 \text{ kNm}$$

$$\Sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A_{netto}} = \frac{-11,31 \text{ kN}}{0,8 \cdot 288 \text{ cm}^2} = 0,0491 \text{ kN/cm}^2 = 0,491 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,81 \cdot 100 \text{ kNcm}}{864,0 \text{ cm}^3} = 0,0938 \text{ kN/cm}^2 = 0,938 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = 2,96 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{2,96 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{6144,0 \text{ cm}^4}{288 \text{ cm}^2}}} = 64,09$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{64,09}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,33 \text{ N/mm}^2}} = 1,09$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,09 - 0,3) + 1,09^2] = 1,17$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,17 + \sqrt{1,17^2 - 1,09^2}}; 1 \right\}$$

$$= \min \{ 0,63; 1,0 \} = 0,63$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

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

$$\frac{5,327}{0,63 \cdot 14,54} + \frac{0,938}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{0,491}{0,63 \cdot 14,54} = 0,6915 < 1$$

### 5.3. DOKAZ ZA PODROŽNICE ( vertikalne sprega )

$$\sigma_{c,0,V1,d, stabilizacija} = \frac{N_{V1d}}{A} = \frac{23,35 \cdot 10^3}{360 \cdot 10^2} = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = 4,5 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{4,5 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{9720 \text{ cm}^4}{360 \text{ cm}^2}}} = 86,60$$

$$\lambda_{rel,c,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86,60}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7333,33 \text{ N/mm}^2}} = 1,48$$

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

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,48 - 0,3) + 1,48^2] = 1,71$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}} ; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,71 + \sqrt{1,71^2 - 1,48^2}} ; 1 \right\}$$

$$= \min \{ 0,39 ; 1,0 \} = 0,39$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,V1d, stabilizacija}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} < 1$$

$$\frac{0,65}{0,39 \cdot 14,54} + \frac{10,89}{1,0 \cdot 16,62} + 0,7 \cdot \frac{2,38}{16,62} = 0,8701 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,V1d, stabilizacija}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} < 1$$

$$\frac{0,65}{0,39 \cdot 14,54} + 0,7 \cdot \frac{10,89}{1,0 \cdot 16,62} + \frac{2,38}{16,62} = 0,7165 < 1$$

## 5.4. DOKAZ ZA DIJAGONALE

$$\emptyset 14 \text{ (M12)} A_{\text{netto}} = 1,54 \text{ cm}^2$$

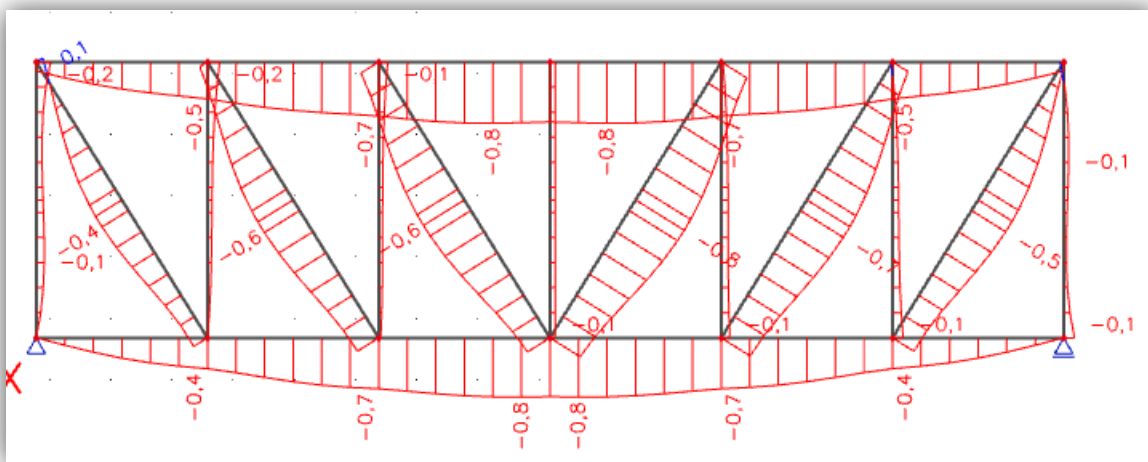
$$\sigma_{D1d} = \frac{N_{D1d}}{A_{\text{netto}}} = \frac{24,52 \cdot 10^3}{1,54 \cdot 10^2} = 159,22 \text{ N/mm}^2$$

S235

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

$$\frac{\sigma_{D1d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{159,22}{213,64} = 0,75 < 1$$

## KONTROLA PROGIBA



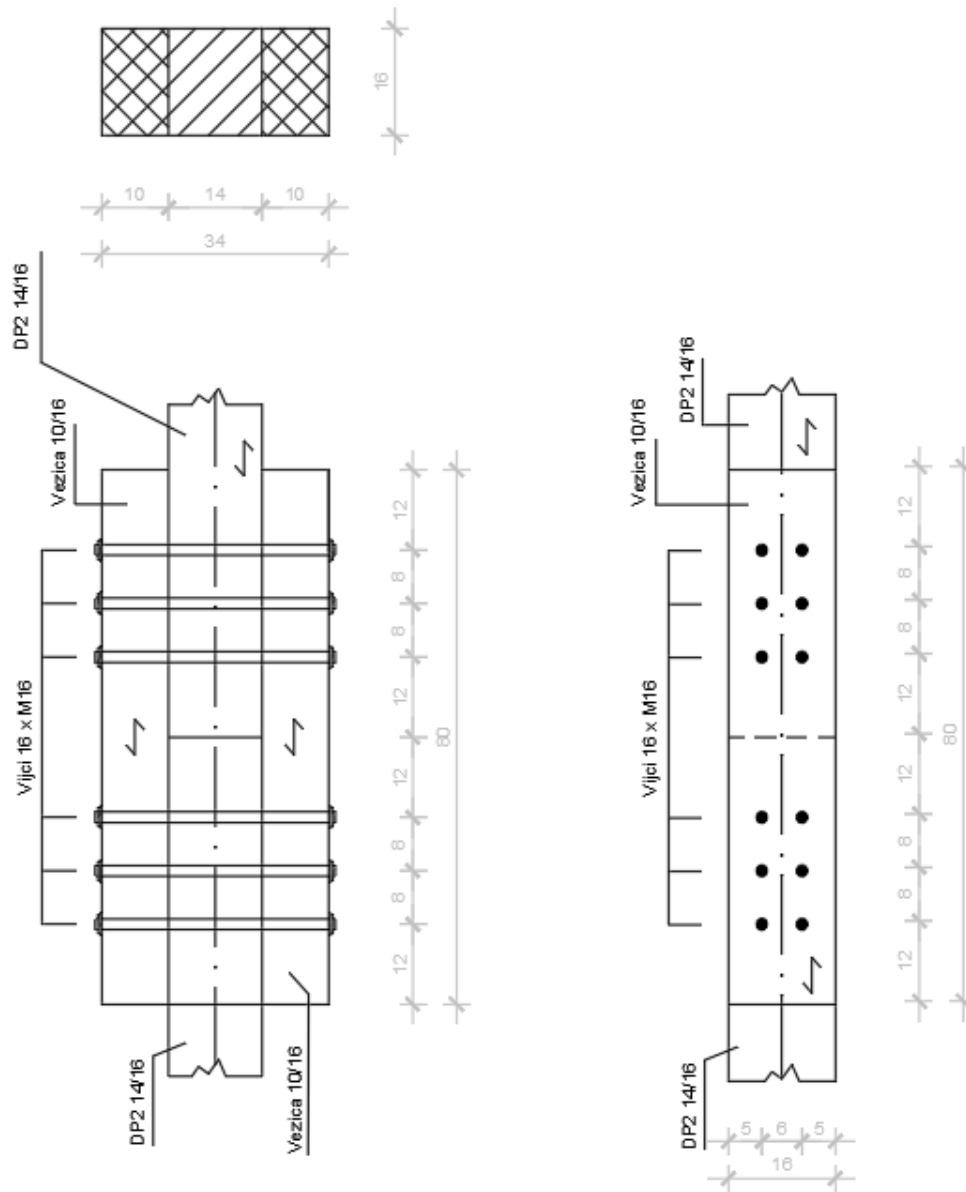
$$U_{Q,\text{inst.}} = 0,08 \text{ cm}$$

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

$$0,08 \text{ cm} \leq \frac{1680}{300} = 5,6 \text{ cm}$$

## 6. PRORAČUN SPAJALA

### 6.1. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Osnovni materijal: puno drvo, 2x10/16

klasa čvrstoće C24

Djelovanja: stalno + promjenjivo srednjetrojno

$$F_d = 62,57 \text{ kN}$$

Uporabna klasa II

Tijesno ugrađeni vijci  $\Phi$  16 mm (M16) kl.čvrstoće 5,6

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

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

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

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

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

$$C24 \rightarrow \rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3$$

- Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C24 po omotaču rupe od vijka

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,108 \text{ N/mm}^2$$

- Proračunska vrijednost momenta tečenja okruglog vijka promjera  $d = 16 \text{ mm}$

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

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

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{24,11}{24,11} = 1,0$$

- Određivanje proračunske nosivosti jednog jednoreznog vijka M16 promjera  $d = 16 \text{ mm}$

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,0}{1 + 1,0}} \cdot \sqrt{2 \cdot 202676 \cdot 24,11 \cdot 16} = 12504,74 \text{ N}$$

Kontrola debljine elemenata:

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

$$\text{Bočna drva: } t_{1,REQ} = 1,15 \cdot \left( \sqrt{\frac{1,0}{1+1,0}} \cdot 2 + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{202676}{24,11 \cdot 16}} = 90,00 \text{ mm}$$

$$t_{1,REQ} = 90,00 \text{ mm} < t_1 = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Srednje drvo: } t_{2,REQ} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{H,2,k} \cdot d}} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1+1}} \right) \cdot \sqrt{\frac{202676}{24,11 \cdot 16}} = 74,56 \text{ mm}$$

$$t_{2,REQ} = 74,56 \text{ mm} < t_2 = 140 \text{ mm}$$



Proračunska vrijednost nosivosti vijaka/rezu:

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

$$R_d = 0,8 \cdot \frac{12,505}{1,1} = 9,09 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{62,57}{2 \cdot 9,09} = 3,44$$

**ODABRANO: 6 VIJAKA**

**Konstruktivni zahtjevi – minimalni razmaci:**

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

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

Okomito na vlakanca:  $a_{2,req} = 3 \cdot d$

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

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 C24 ( $\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3$ )

debljina drva  $b = 14 \text{ cm}$ , uporabna klasa 2

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

Glatki čavli Č46x130 ( $d = 4,6 \text{ mm}$ ), 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

$$b_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right.$$
$$b_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot 4,6 = 32,2 \text{ mm} \\ (13 \cdot 4,6 - 30) \cdot \frac{350}{350} = 29,8 \text{ mm} \end{array} \right.$$

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

$$b_{\min} < b_1 \rightarrow b_1 = \frac{140 - 2}{2} = 69 \text{ mm}$$

Vrijedi:  $b_{\min} < b_1 \rightarrow 32,2 \text{ mm} < 69 \text{ mm}$

-Dubina zabijanja čavla ( $t_1$ )

Najmanja dubina zabijanja čavla:

$$t_1 = l - (b_1 + t) = 130 - (69 + 2) = 59 \text{ mm}$$

$$t_{1,\min} = 8 \cdot d = 36,8 \text{ mm}$$

$$t_1 > t_{1,\min} \rightarrow 59 \text{ mm} > 36,8 \text{ mm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

$$t_1 = \min\{t_1 = b_1 = 69 \text{ mm} ; t_1 = 39 \text{ mm}\}$$

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

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

Paralelno sa vlakancima:

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

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

Okomito na vlakanca:

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

$$a_{2,req} = 0,7 \cdot 5 \cdot 4,6 = 3,5 \cdot 4,6 = 16,1 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm}$$

Od opterećenog kraja ( paralelno s vlakancima):

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

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

Od neopterećenog kraja ( paralelno s vlakancima):

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

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

Od neopterećenog ruba ( okomito na vlakanca):

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

$$a_{4,c} = 0,7 \cdot 5 \cdot 4,6 = 3,5 \cdot 4,6 = 16,1 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm}$$

-Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće drva klase C24 po omotaču rupe od čavla

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 4,6^{-0,3} = 18,16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{18,16}{1,3} = 12,57 \text{ N/mm}^2$$

-Proračunska vrijednost momenta tečenja okruglog čavla promjera  $d = 4,6 \text{ mm}$

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

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

-Određivanje proračunske nosivosti jednog dvoreznog zabijanog čavla Č 46x130

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = 12,57 \cdot 39 \cdot 4,6 = 2255,06 \text{ N}$$

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

$$1,1 \cdot 12,57 \cdot 39 \cdot 4,6 \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 8650,68}{12,57 \cdot 4,6 \cdot 39^2}} - 1 \right] = 1357,06 \text{ N}$$

$$R_d = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 8650,68 \cdot 12,57 \cdot 4,6} = 1500,30 \text{ N}$$

minimalna odabrana vrijednost od prethodno izračunatih vrijednosti:

$R_{d,\min} = 1357,06 \text{ N} \rightarrow$  Proračunska vrijednost jednog jednoreznog zabijenog čavla Č46x130

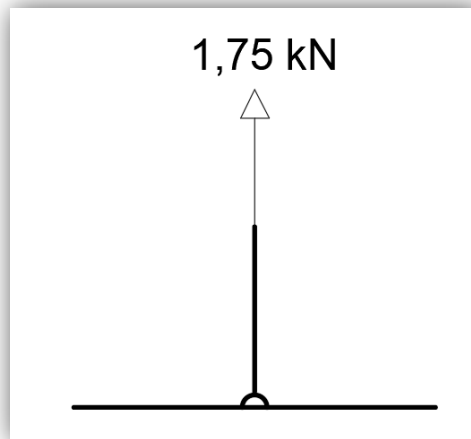
Ukupna proračunska vrijednost nosivosti jednog dvoreznog zabijanog čavla Č46x130:

$$\sum R_d = 2 \cdot R_{d,\min} = 2 \cdot 1357,06 = 2714,12 \text{ N}$$

## Potreban broj čavala u spoju:

-nasuprotni raspored bez preklapanja

### SPOJ 1



#### Donji pojas (DP1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{1,75 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,32$$

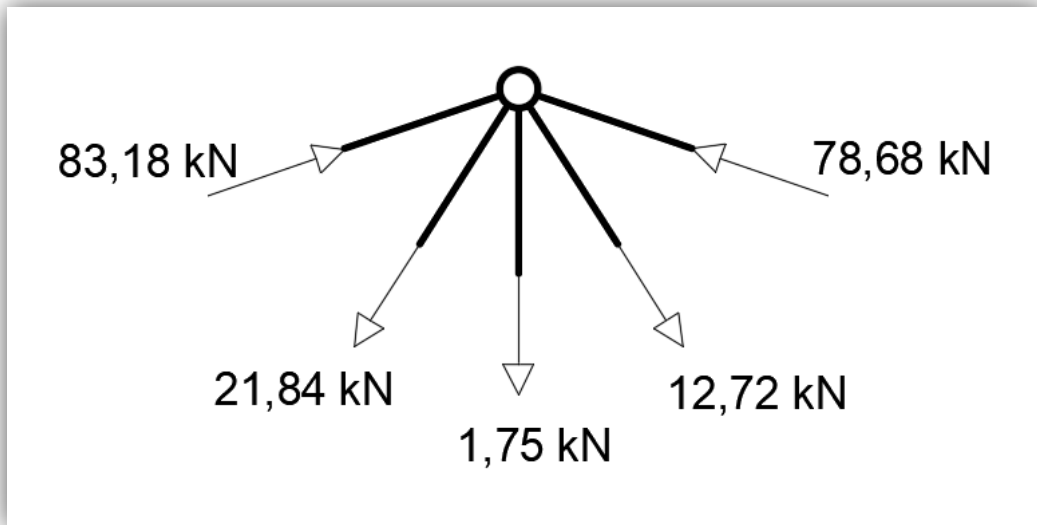
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

#### Vlačna vertikala (V4):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{1,75 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,32$$

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

## SPOJ 2



### Gornji pojas (GP1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{83,18 \cdot 10^3}{2714,12} = 30,65$$

$$n = 36 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

### Vlačna vertikalna (V4):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{1,75 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,32$$

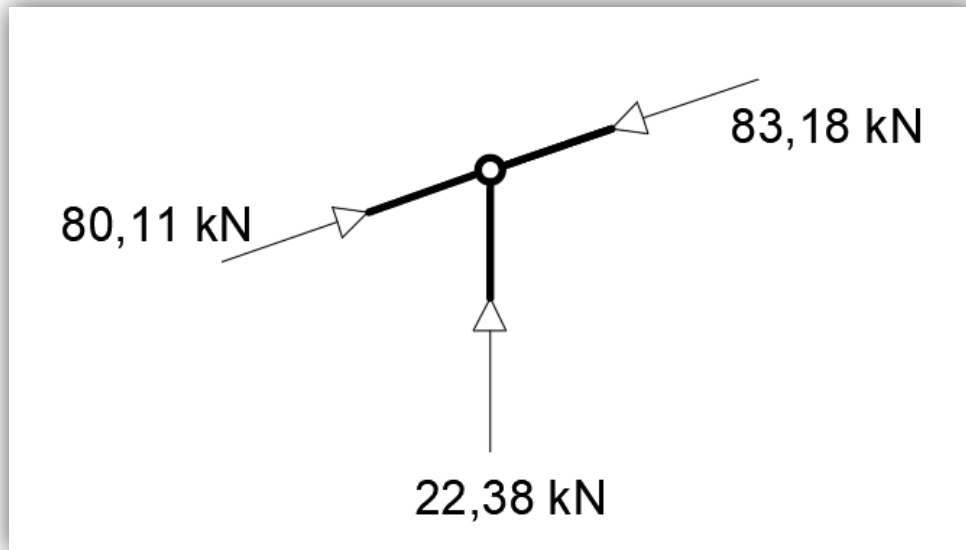
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

### Vlačna dijagonala (D3):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{21,84 \cdot 10^3}{2714,12} = 8,05$$

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

### SPOJ 3



**Gornji pojas (GP1):**

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{22,38 \cdot 10^3}{2714,12} = 8,25$$

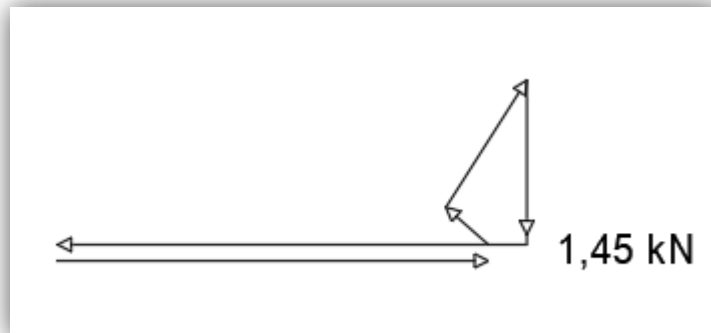
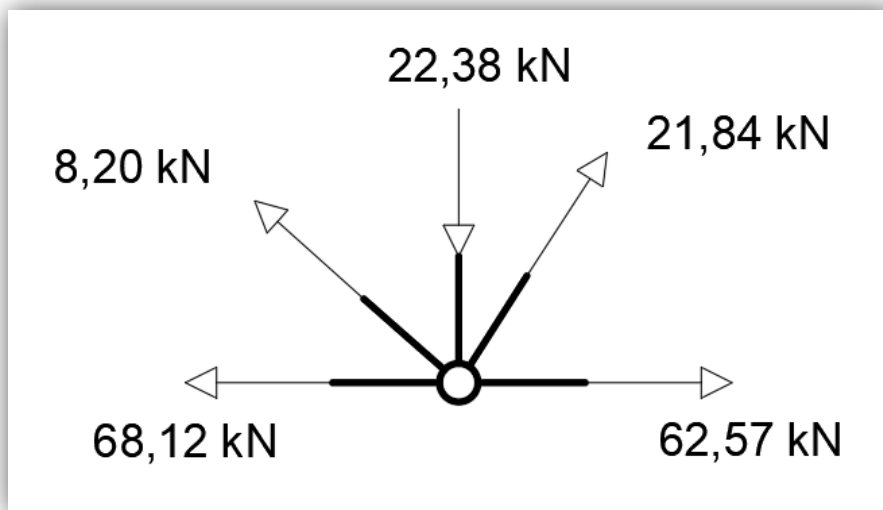
$$n = 9 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

**Vlačna vertikalna (V3):**

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{22,38 \cdot 10^3}{2714,12} = 8,25$$

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

## SPOJ 4



### Donji pojas (DP1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{1,45 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,53$$

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

### Tlačna vertikalna (V3):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{22,38 \cdot 10^3}{2714,12} = 8,25$$

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

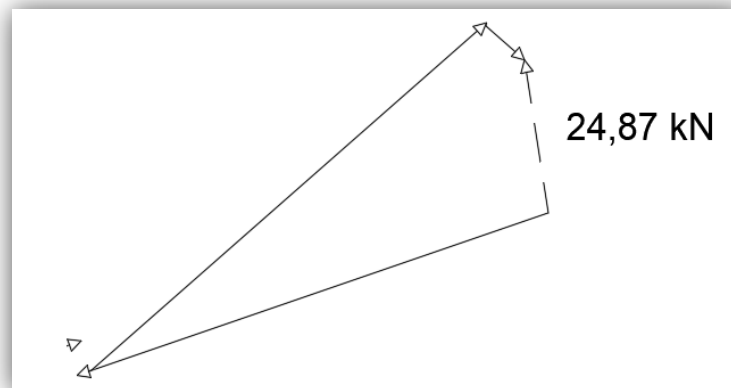
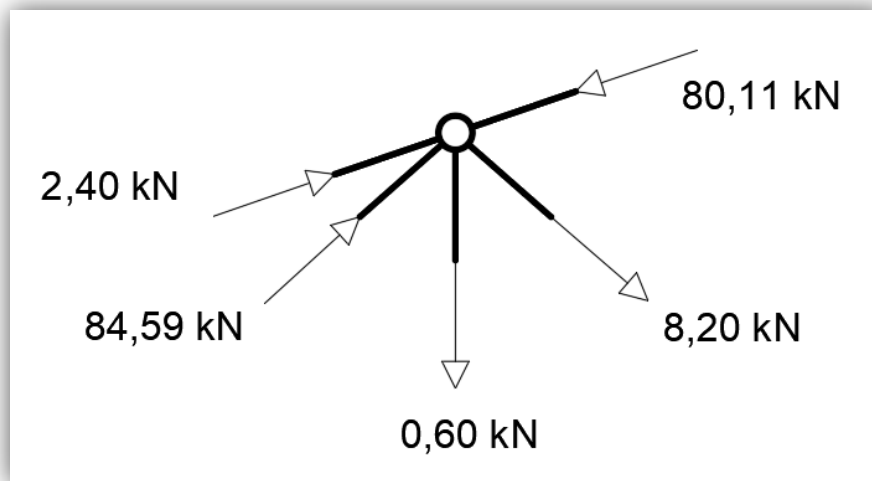
### Vlačna dijagonala (D2):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{8,20 \cdot 10^3}{2714,12} = 3,02$$

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



## SPOJ 5



### Gornji pojas (GP1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{24,87 \cdot 10^3}{2714,12} = 9,16$$

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

### Vlačna vertikalna (V2):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{0,6 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,22$$

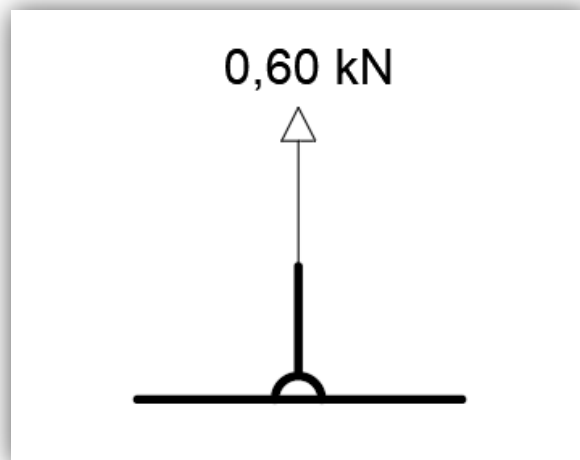
$$n = 9 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

### Tlačna dijagonala (D1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{84,59 \cdot 10^3}{2714,12} = 31,17$$

$$n = 35 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

## SPOJ 6



**Donji pojas (DP1):**

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{0,60 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,22$$

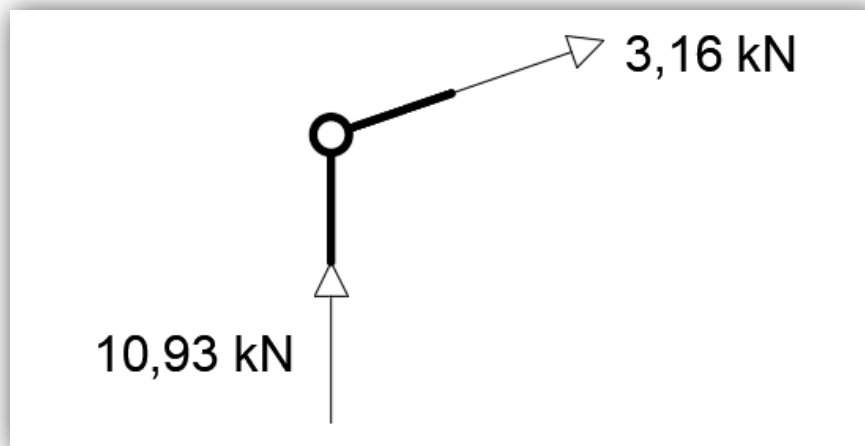
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

**Vlačna vertikal (V2):**

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{0,60 \cdot 10^3}{2714,12} = 0,22$$

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

## SPOJ 7



### Gornji pojas (GP1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{3,16 \cdot 10^3}{2714,12} = 1,16$$

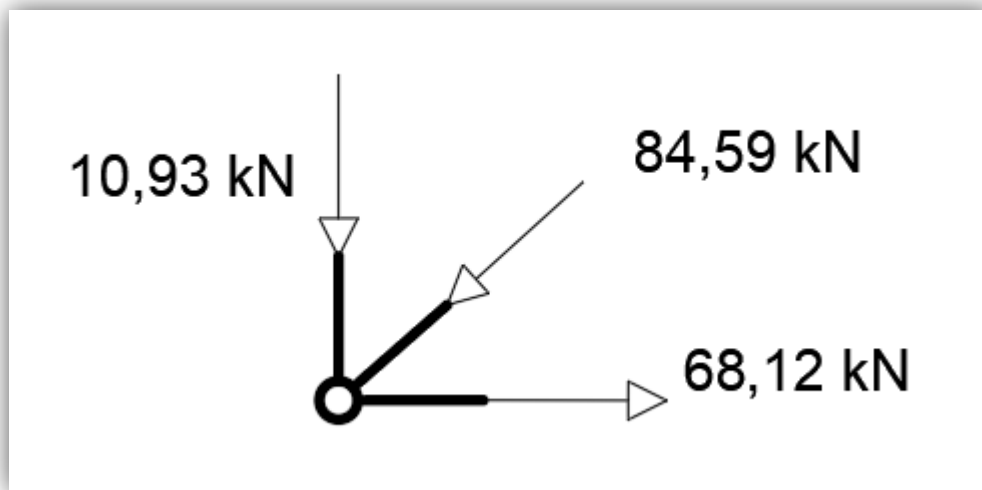
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

### Tlačna vertikal (V1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{10,93 \cdot 10^3}{2714,12} = 4,03$$

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

## SPOJ 8



### Donji pojas (DP1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{68,12 \cdot 10^3}{2714,12} = 25,10$$

$$n = 27 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

### Tlačna vertikalna (V1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{10,93 \cdot 10^3}{2714,12} = 4,03$$

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

### Tlačna dijagonala (D1):

$$n_{\text{pot}} \geq \frac{F_{0,d}}{\sum R_d} = \frac{84,59 \cdot 10^3}{2714,12} = 31,17$$

$$n = 35 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

## **7. NACRTI**

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

**2. Radionički nacrt glavnog nosača M 1:25**

**2. Detalj spoja A ( vlačni nastavak ) M 1:10**

**4. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 1 ) M 1:10**

**5. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 2 ) M 1:10**

**6. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 3 ) M 1:10**

**7. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 4 ) M 1:10**

**8. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 5 ) M 1:10**

**9. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 6 ) M 1:10**

**10. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 7 ) M 1:10**

**11. Detalj spoja elementa drvenog rešetkastog nosača ( spoj 8 ) M 1:10**

