

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: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema:

Proračun drvene rešetkaste konstrukcije

Opis zadatka:

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

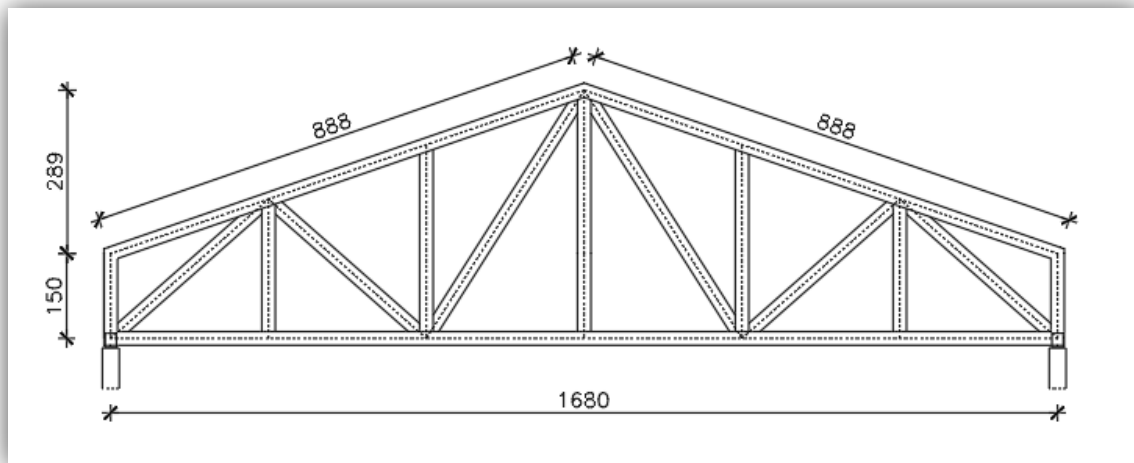
SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 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 $L = 16,8$ 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), $b/h = 14/18 \text{ cm}$.
- Donji pojas (DP), $b/h = 14/16 \text{ cm}$.
- Vertikale (V), $b/h = 14/16 \text{ cm}$.
- Dijagonale (D), $b/h = 14/16 \text{ cm}$.

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 grada spada u klasu uporabljivosti 2, koju određuje sadržaj prosječne vlažnosti drva od 12% do 20%. Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula za ovu klasu:

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

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

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

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

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

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

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 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/m²
- vlastita težina je uključena u računalni program

2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

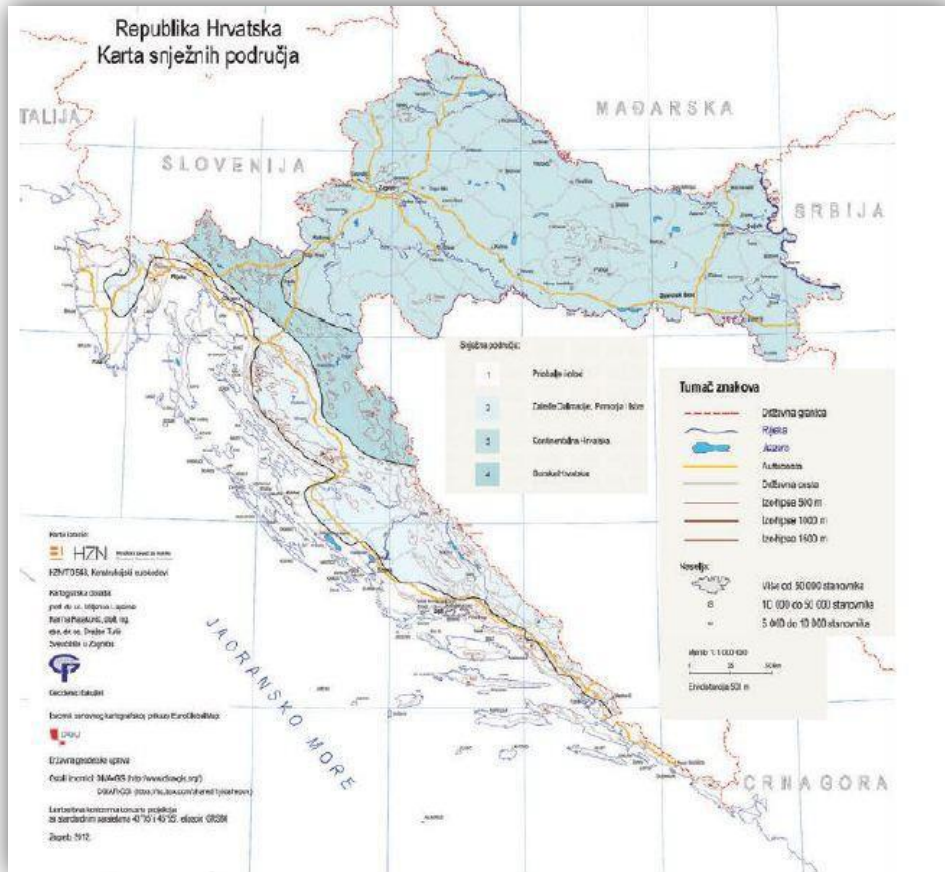
2.2.1 OPTEREĆENJE SNIJEGOM

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/m²

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



| Nadmorska visina do [m] | 1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²] | 2. područje – zaljeđe 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 | 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 | | |

μ_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 α | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| μ_1 | 0,8 | $0,8 (60 - \alpha) / 30$ | 0,0 |
| μ_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 :

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

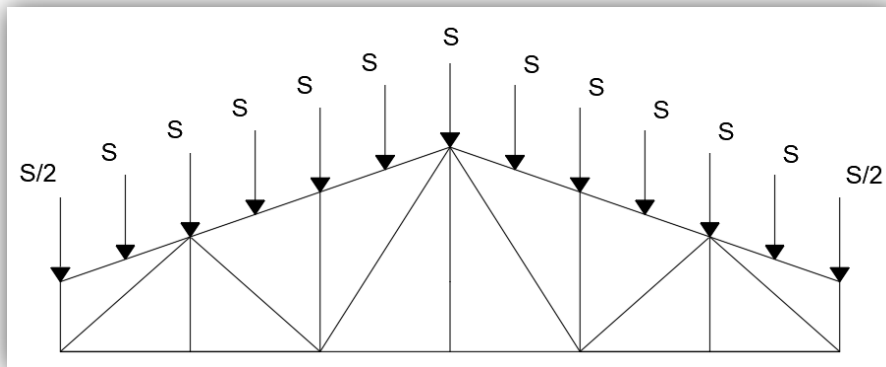
$$s = 0,5 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0$$

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

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

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

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



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:

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

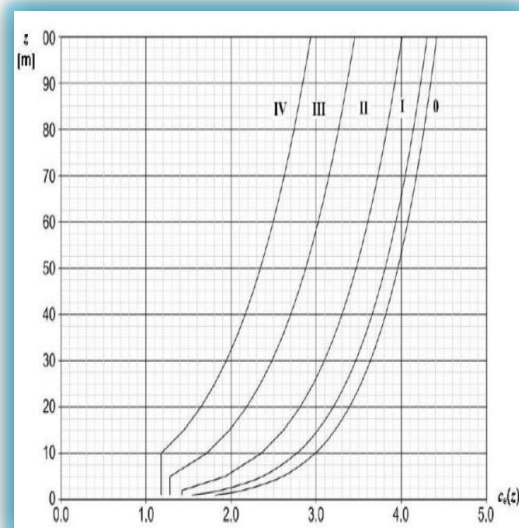
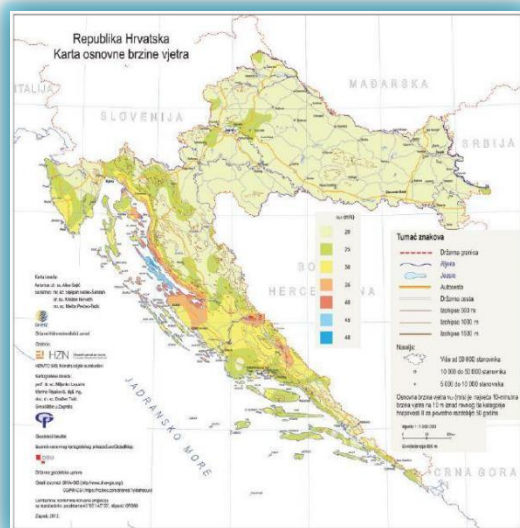
q_b – referentni pritisak srednje brzine vjetra

ρ – 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).

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

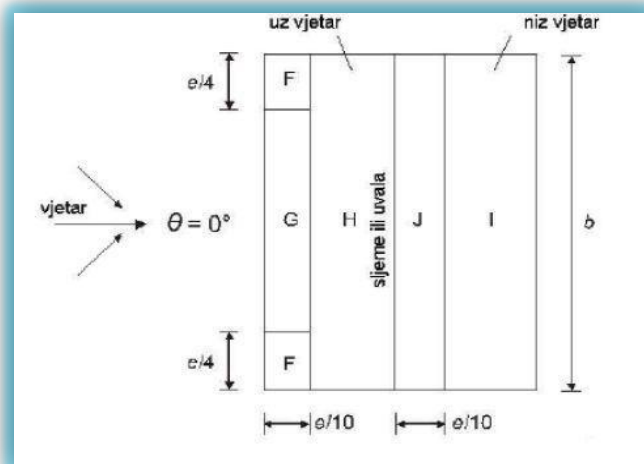
Unutarnji vjetar:

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

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

Nije moguća procjena vrijednost koeficijenta 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 ($\alpha=19^\circ$):



| 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) :

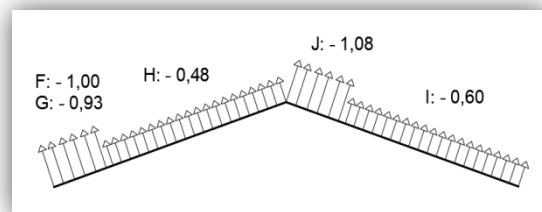
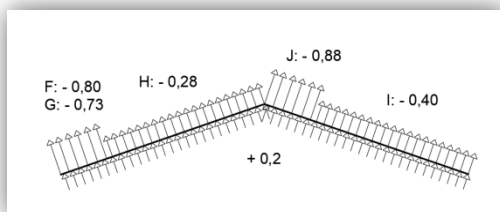
-očitan koeficijenti vanjskog pritiska (c_{pe}) za pojedina područja dvostrešnog krova

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

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

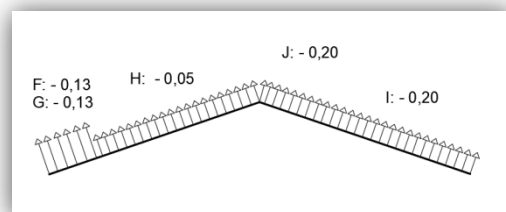
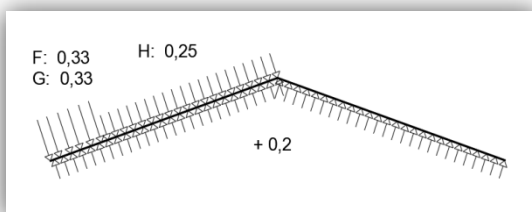
KOMBINACIJA 1.

| PODRUČJE | c_{pe10} | c_{pi} | PREDZNAK | KOEFICIJENT | q_p | PREDZNAK | w (kN/m ²) |
|----------|------------|----------|----------|-------------|-------|----------|--------------------------|
| 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 |



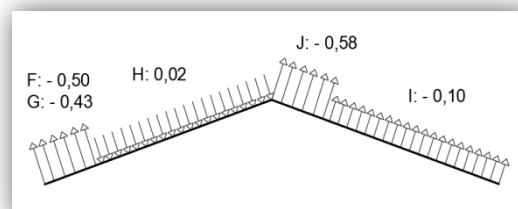
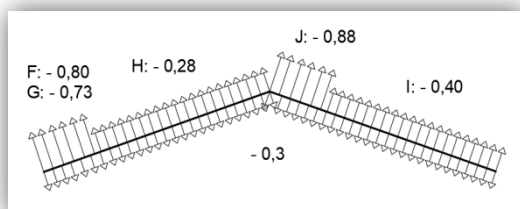
KOMBINACIJA 2.

| PODRUČJE | c_{pe10} | c_{pi} | PREDZNAK | KOEFICIJENT | q_p | PREDZNAK | w (kN/m ²) |
|----------|------------|----------|----------|-------------|-------|----------|--------------------------|
| 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 |



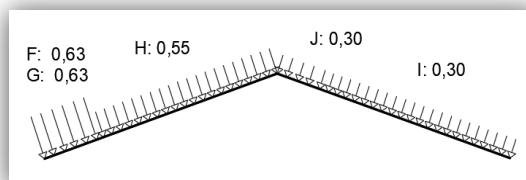
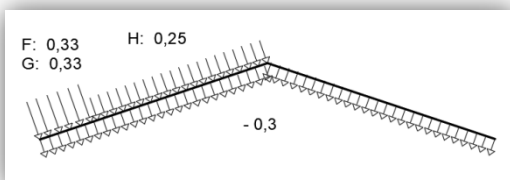
KOMBINACIJA 3.

| PODRUČJE | cpe10 | cpi | PREDZNAK | KOEFICIJENT | q _p | PREDZNAK | w (kN/m ²) |
|----------|-------|------|----------|-------------|----------------|----------|------------------------|
| 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 _p | PREDZNAK | w (kN/m ²) |
|----------|-------|------|----------|-------------|----------------|----------|------------------------|
| 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 |

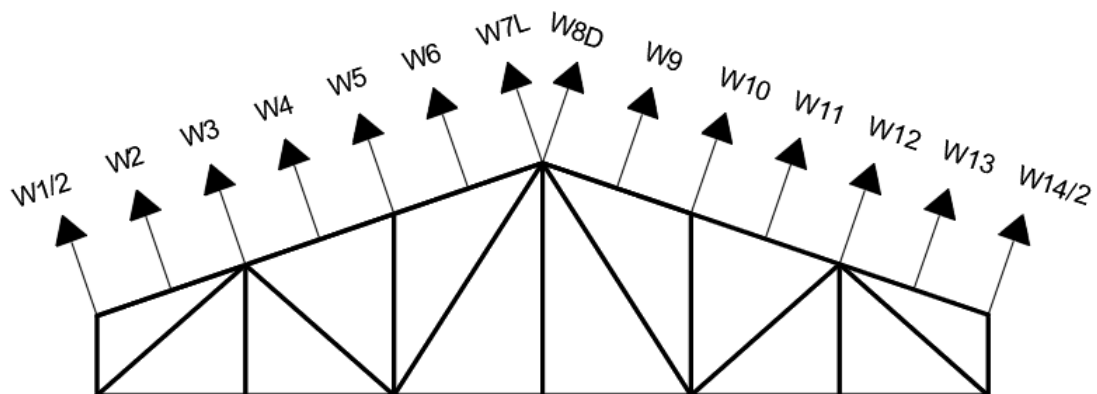


Mjerodavne kombinacije: **KOMBINACIJA 1.** i **KOMBINACIJA 4.**

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

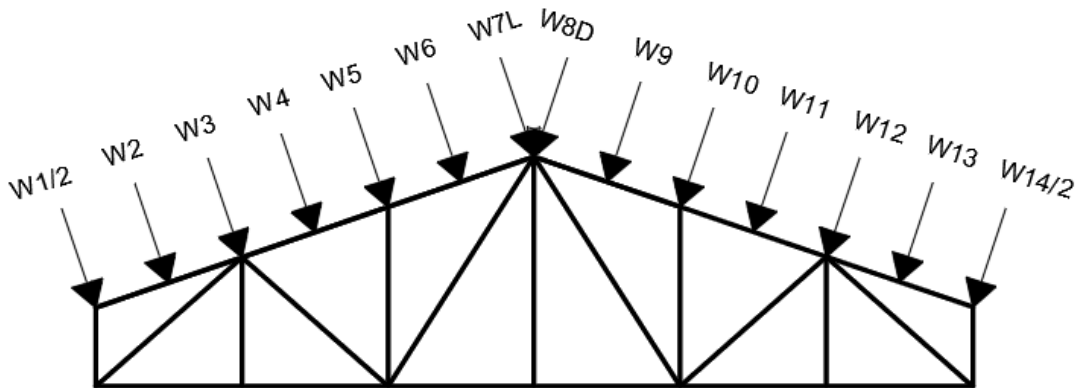
KOMBINACIJA 1.

| BROJ PODROŽNICA | POZICIJA | w (kN/m ²) | 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 ²) | 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 |



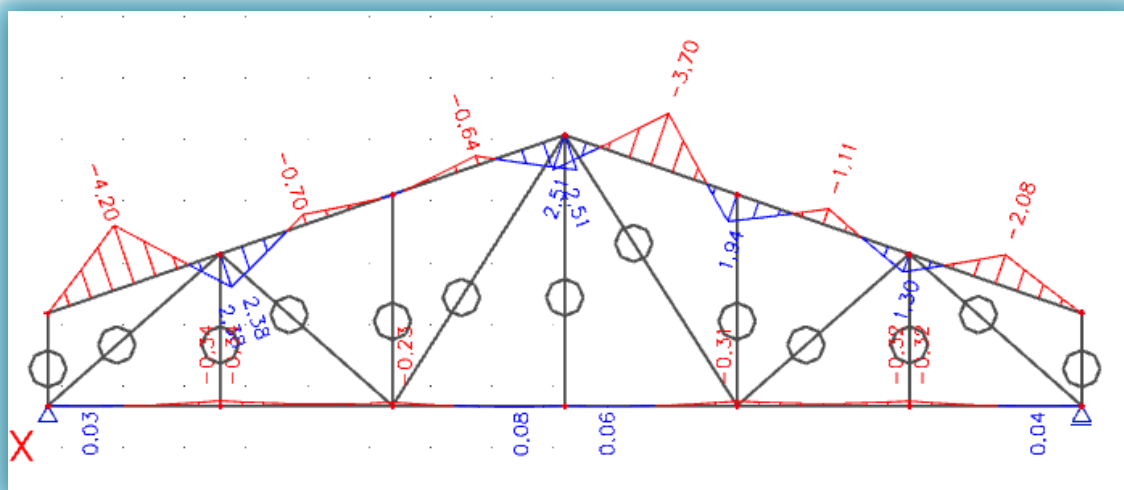
3. STATIČKI PRORAČUN

3.1 OPTEREĆENJE ČVOROVA I PRIKAZ REZNIH SILA

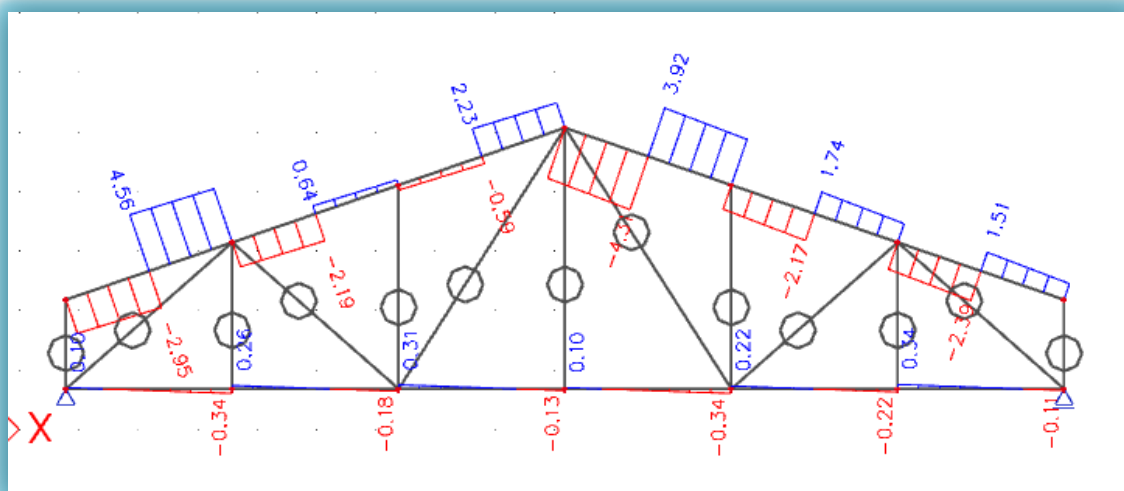
3.1.1. 1. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA (ODIZANJE)

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

M



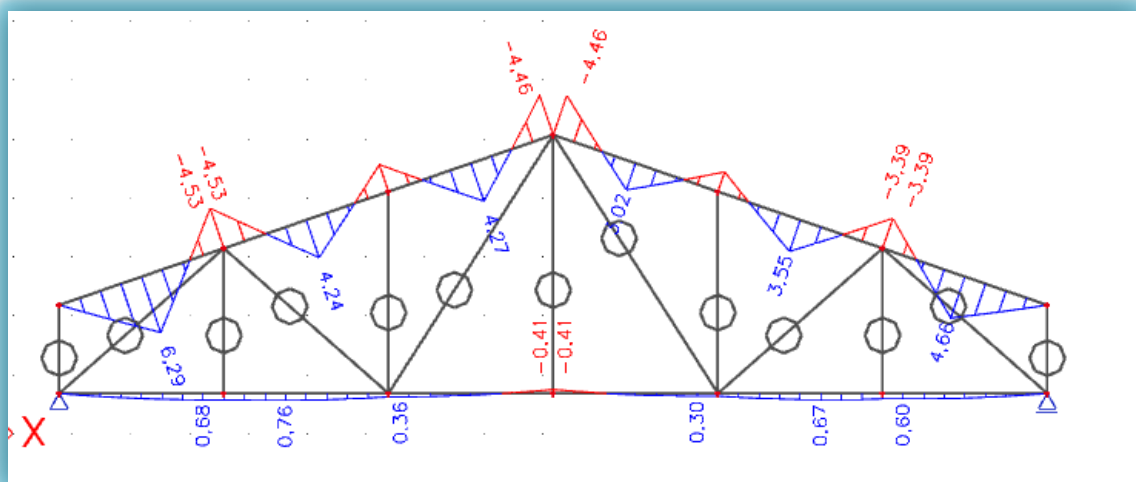
V



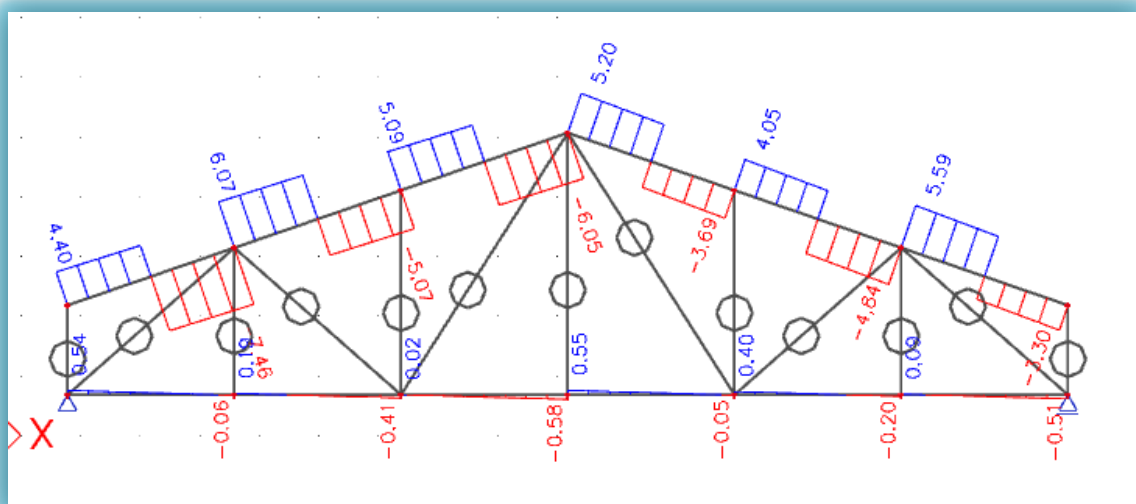
3.1.2. 2. PRORAČUNSKA KOMBINACIJA (PRITISAK)

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

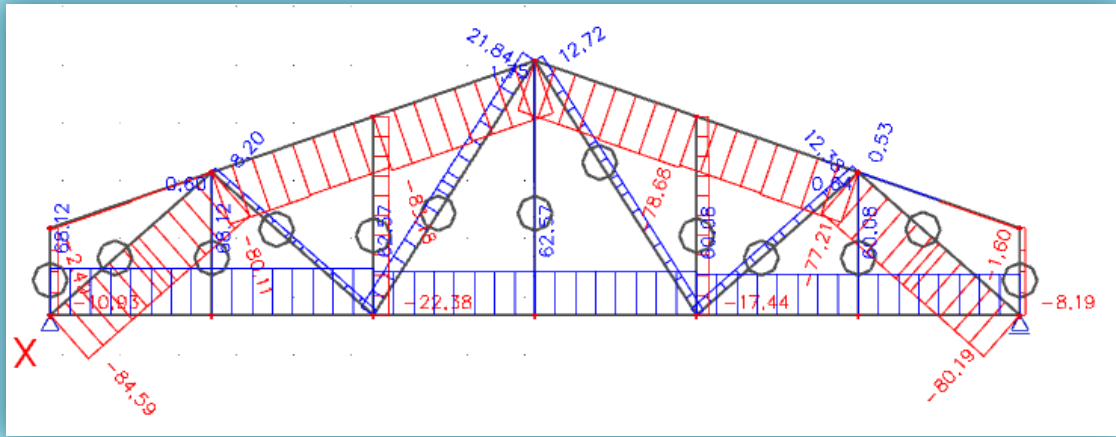
M



V



N



3.2 KONTROLA PROGIBA

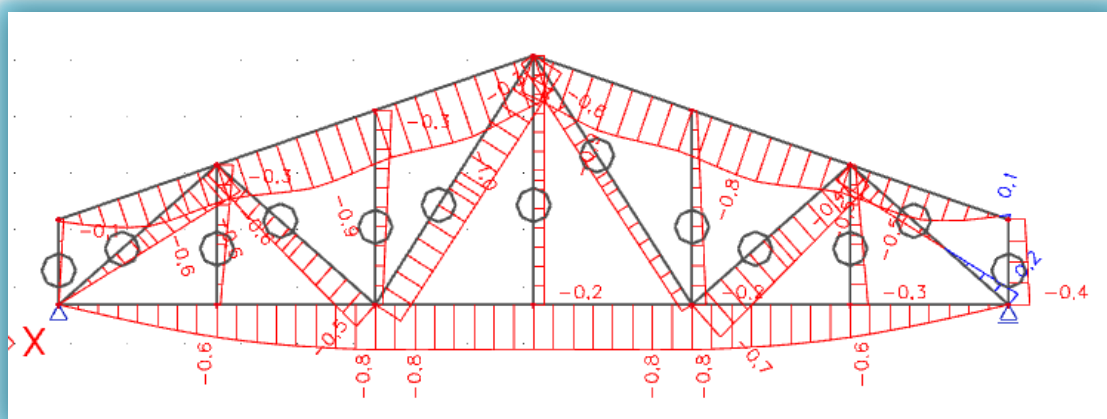
Kombinacije djelovanja za granična stanja uporabljivosti računaju se prema izrazu:

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

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)



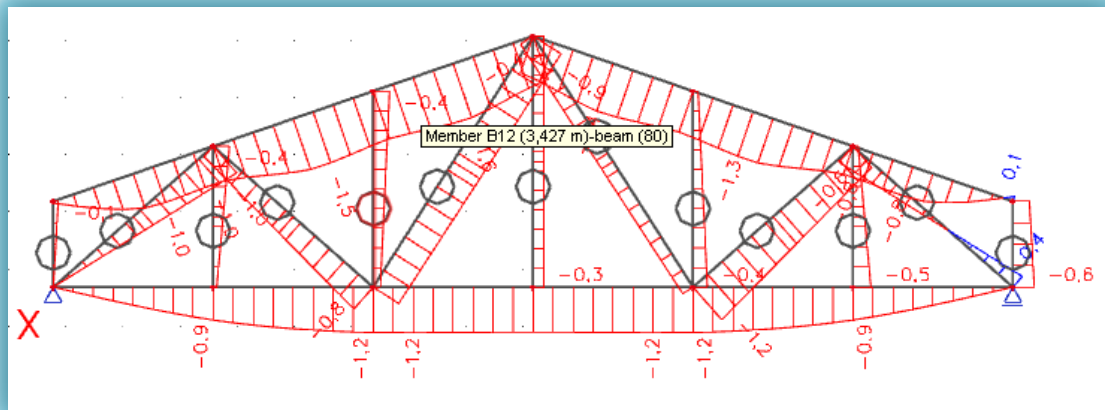
$$U_{G,inst.} = 0,10 \text{ cm}$$

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

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

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

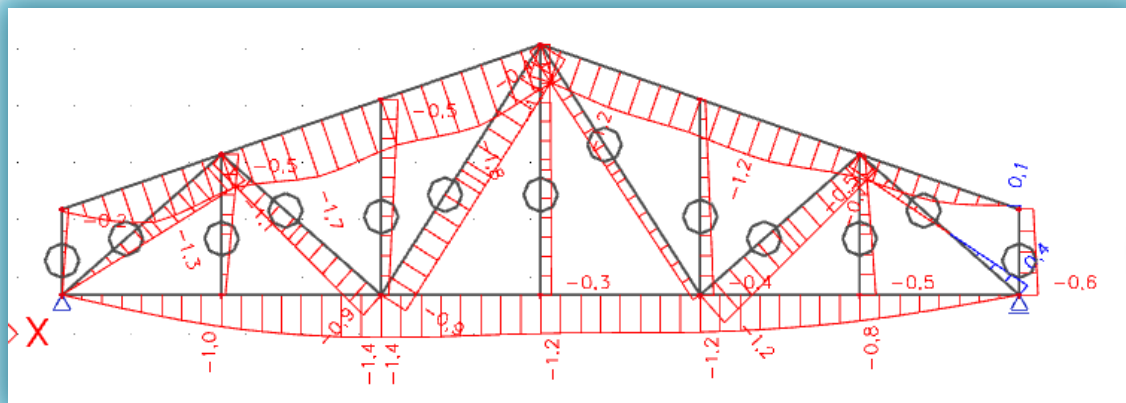
3.2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - SNIJEG (Q)



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

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

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:

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

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

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

$\beta_c = 0,2$ (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):

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

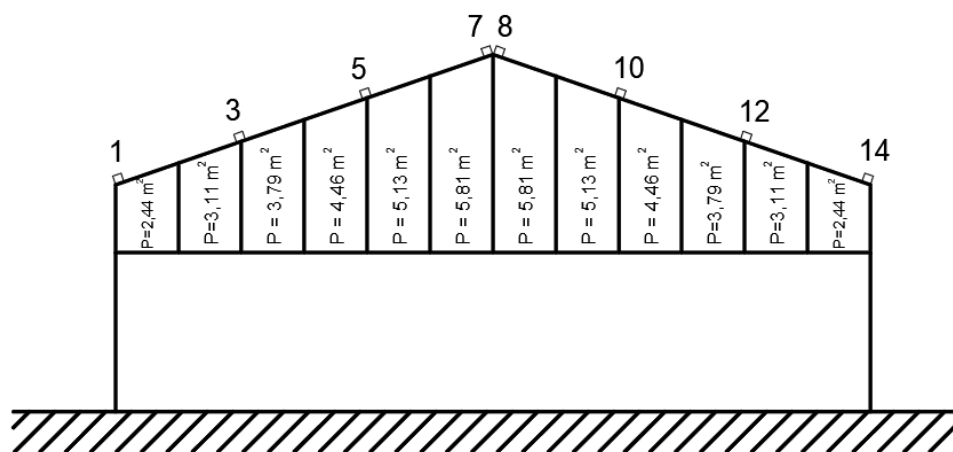
$C_{e1} = + 0,8$ (za područje D)

$C_{e2} = - 0,5$ (za područje E)

Unutarnji vjetar:

$C_{i1} = + 0,2$

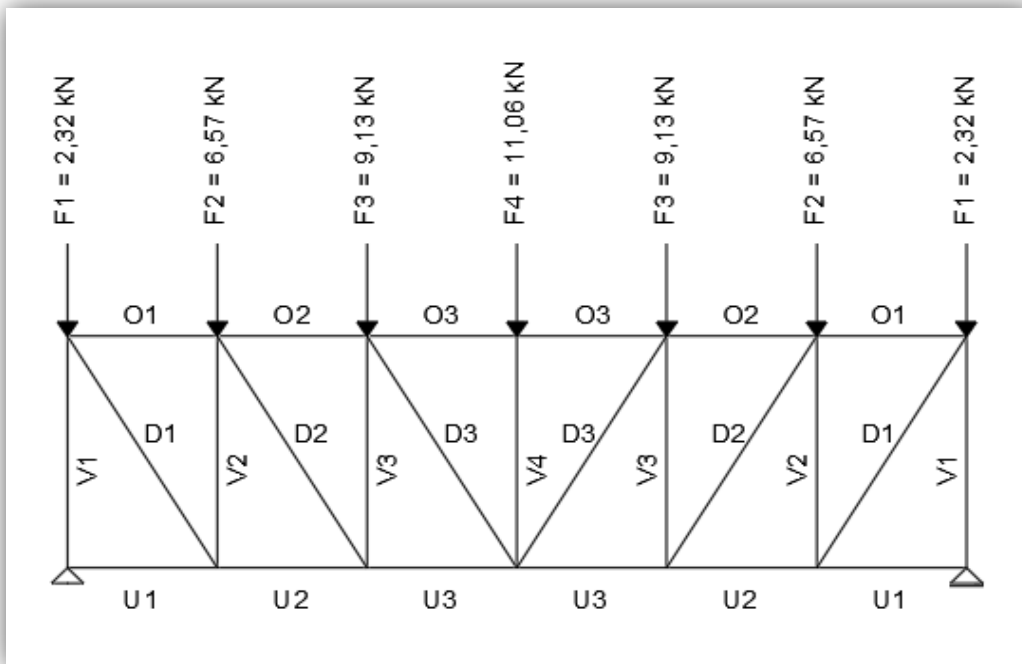
$C_{i2} = - 0,3$



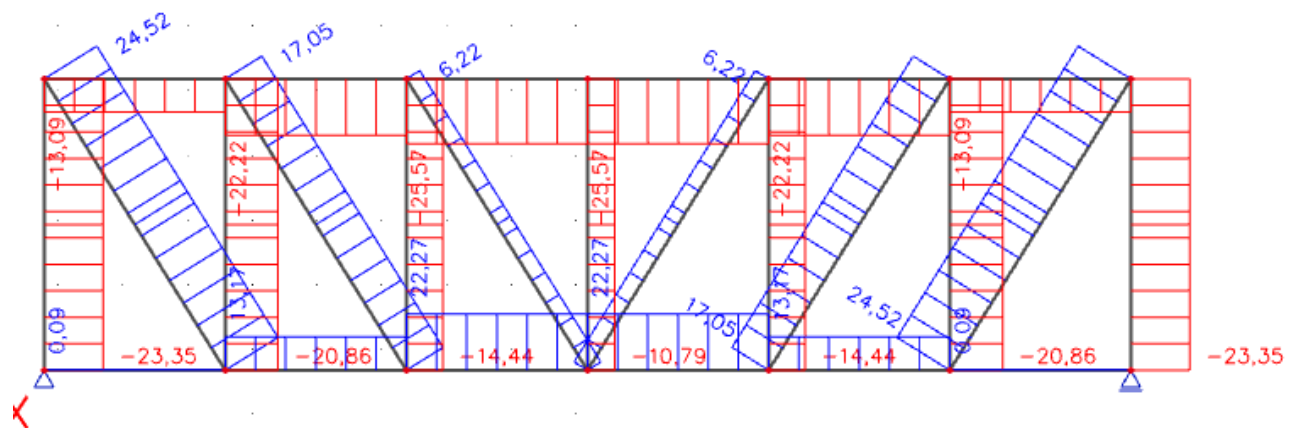
Djelovanje na zabatni zid (proračun i skica zabatnog zida za proračun) ($F_w = q_p \cdot \Sigma P$):

| 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 | | | | | 0,952 | 0,952 | | | |
| 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 O₃(U₃) glavnog nosača:

$$N_{O_3}(u_3)d = 25,57 \text{ kN}$$

Sile u vertikalama (podrožnice):

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

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

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

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 $N_{os}(u_s)d$

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

Koeficijent izvijanja za os z:

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

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

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

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

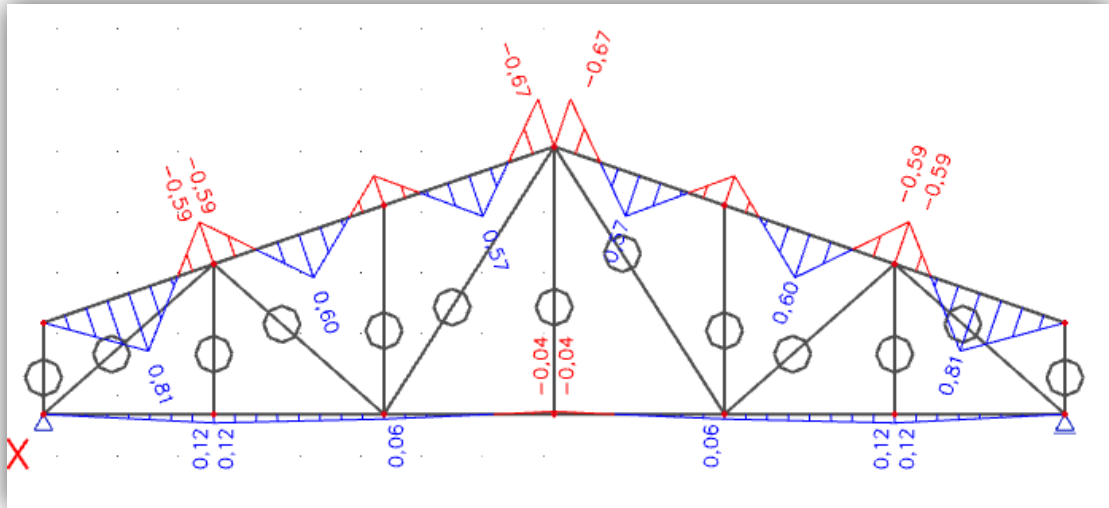
$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,09 - 0,3) + 1,09^2] = 1,17$$

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

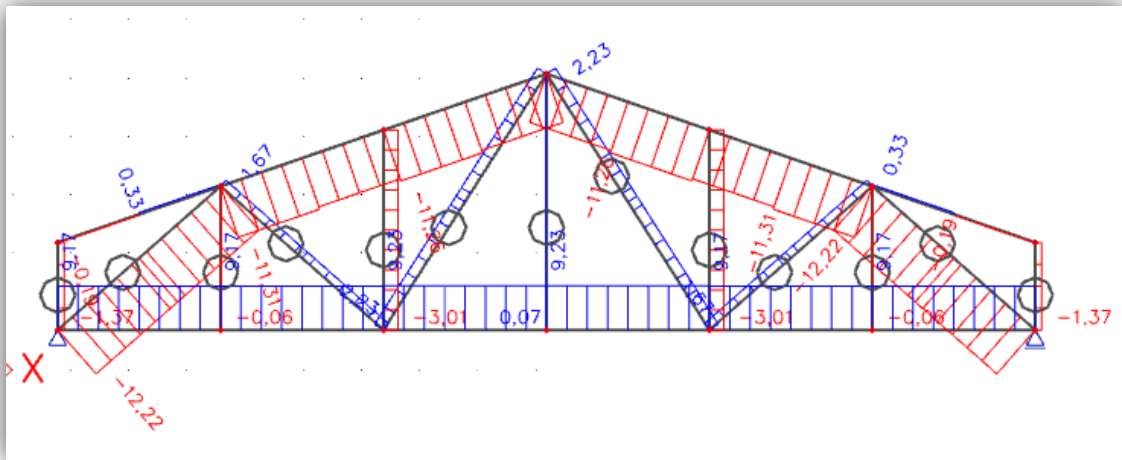
$$= \min \{ 0,63; 1,0 \} = 0,63$$

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)

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

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:

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

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

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

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

5.4. DOKAZ ZA DIJAGONALE

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

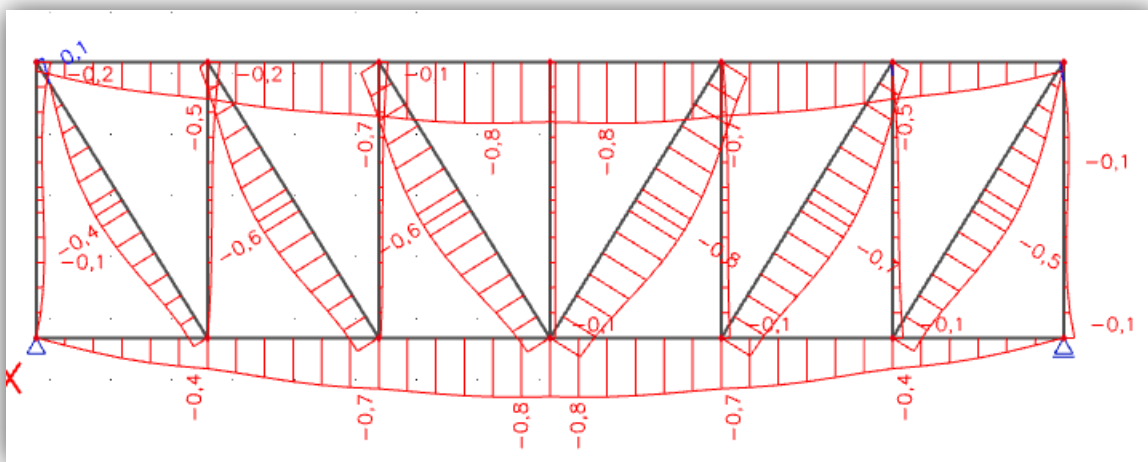
$$\sigma_{D1d} = \frac{N_{D1d}}{A_{\text{netto}}} = \frac{24,52 \cdot 10^3}{1,54 \cdot 10^2} = 159,22 \text{ N/mm}^2$$

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



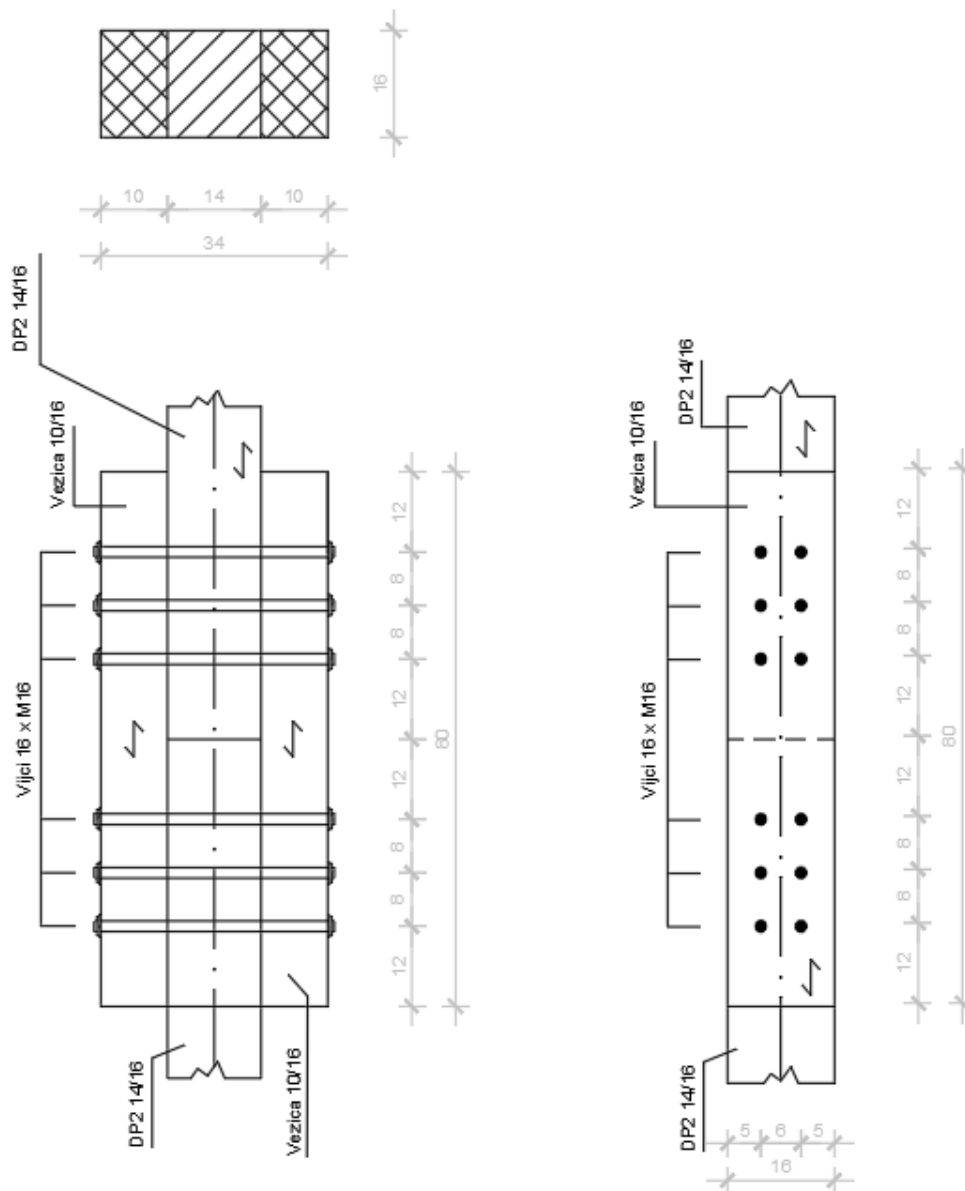
$$U_{Q,\text{inst.}} = 0,08 \text{ cm}$$

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

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

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 Φ 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

Dvoredni 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

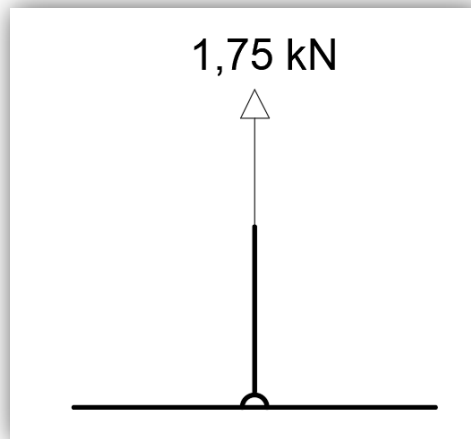
Ukupna proračunska vrijednost nosivosti jednog dvoreznog zabijanog čavla Č46x130:

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

Potreban broj čavala u spoju:

-nasuprotni raspored bez preklapanja

SPOJ 1



Donji pojas (DP1):

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

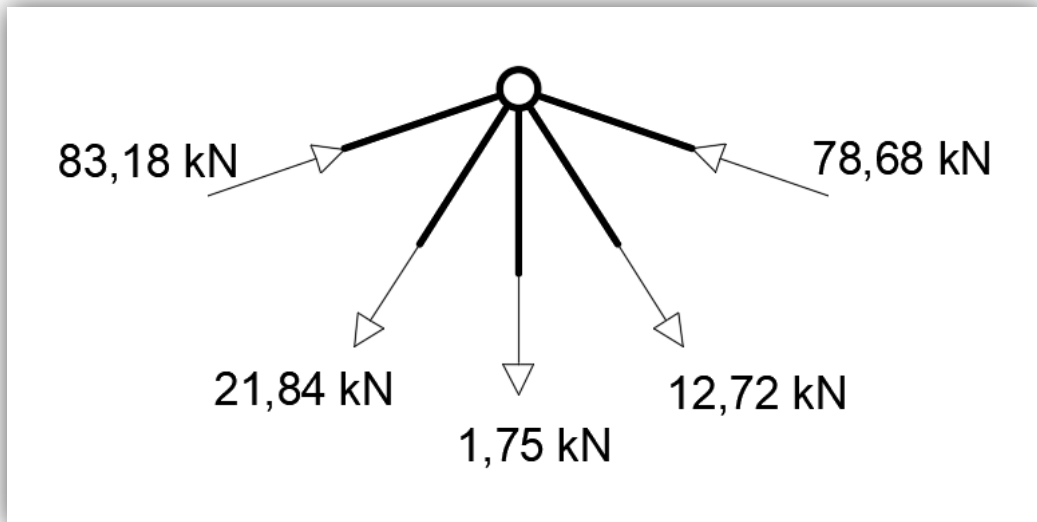
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

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):

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

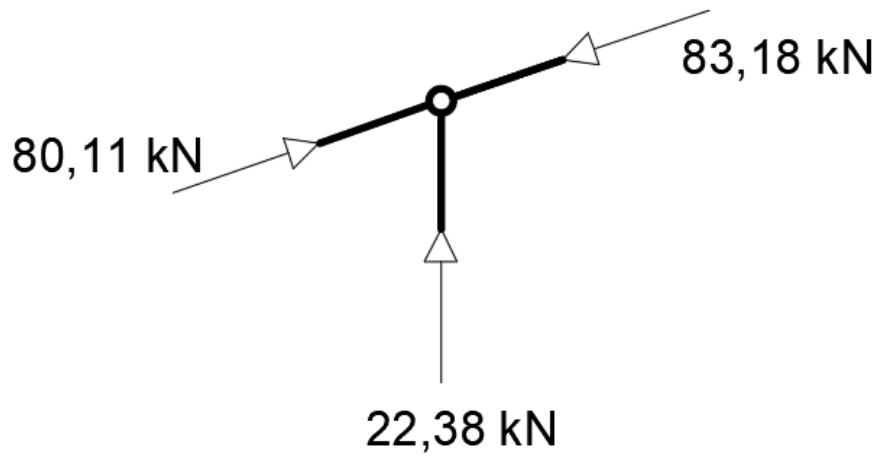
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

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):

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

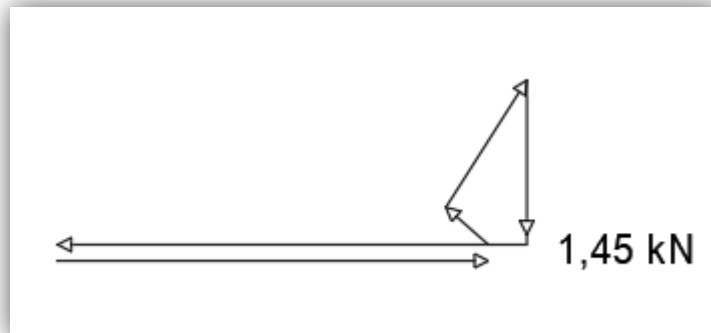
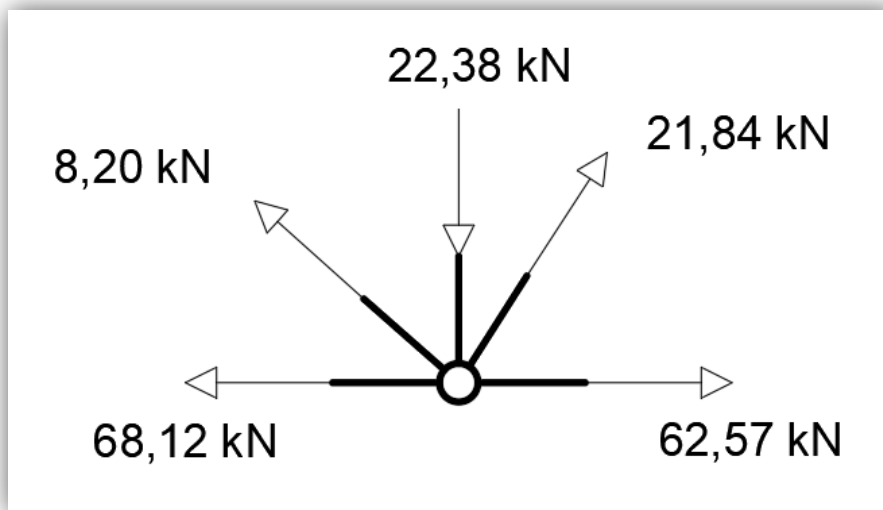
$$n = 9 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

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):

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

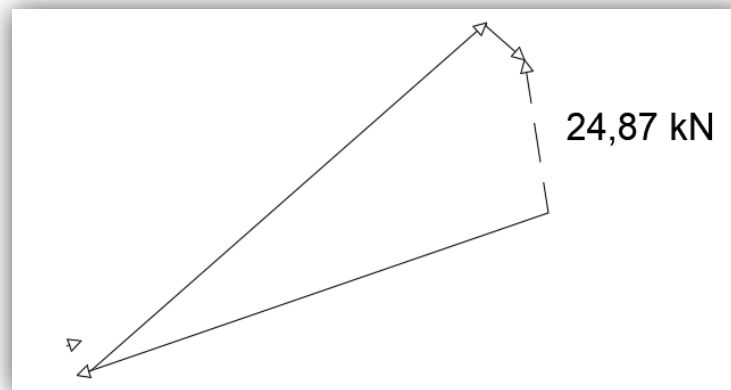
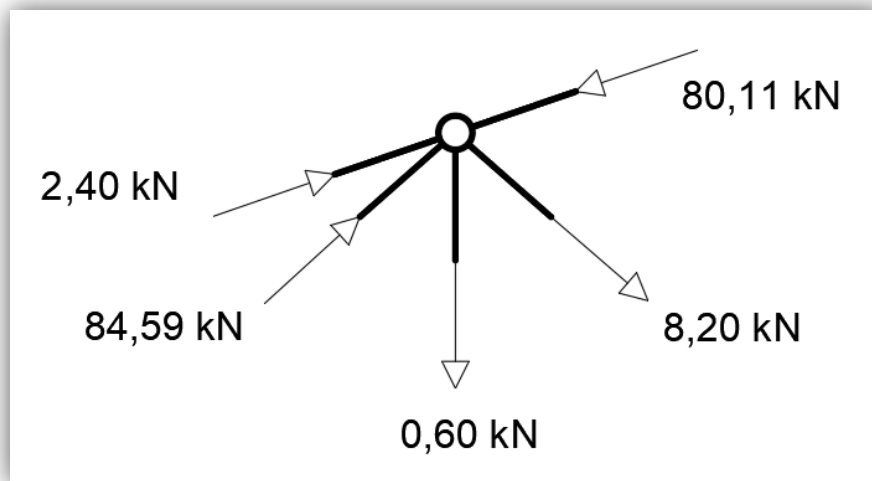
$$n = 12 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

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):

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

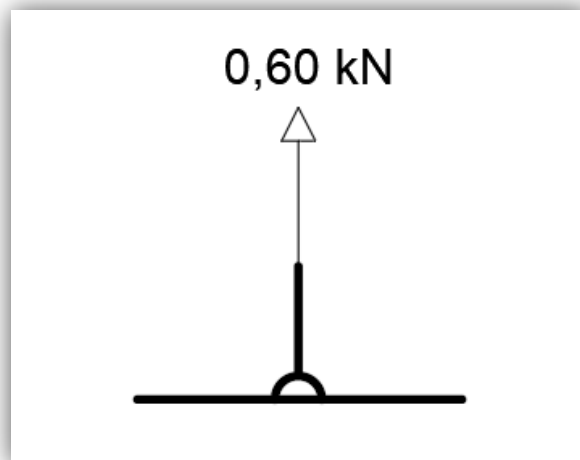
$$n = 9 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

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):

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

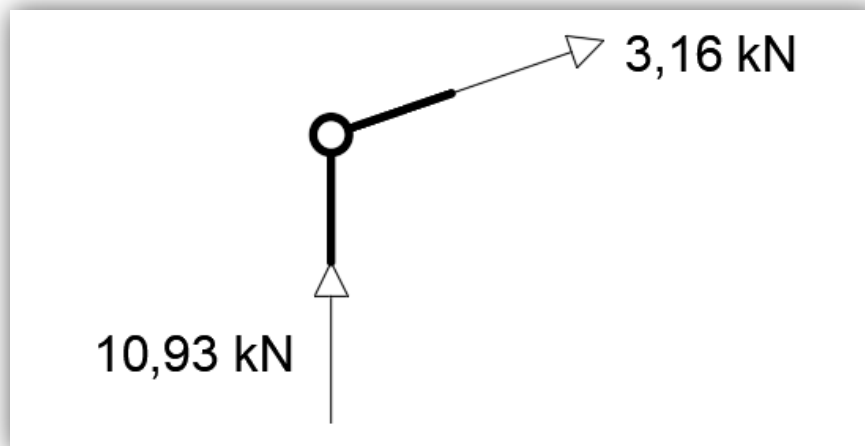
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

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):

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

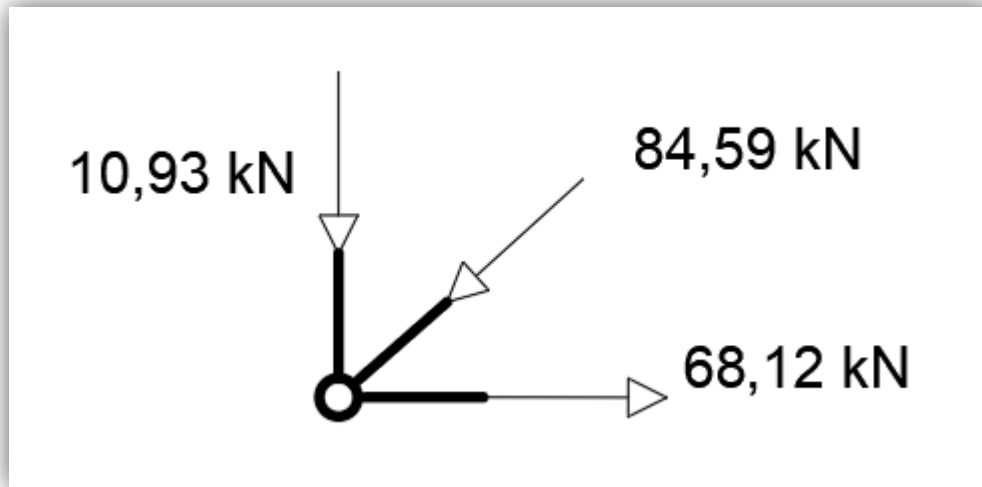
$$n = 6 \text{ komada} > n_{\text{pot}}$$

Tlačna vertikala (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

