

# Analiza statičkih opterećenja rešetkaste konstrukcije

---

**Radošević, Valentina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:692113>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Stručni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ANALIZA STATIČKIH OPTEREĆENJA REŠETKASTE  
KONSTRUKCIJE**

Rijeka, rujan 2023.

Valentina Radošević

0069066292

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Stručni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ANALIZA STATIČKIH OPTEREĆENJA REŠETKASTE  
KONSTRUKCIJE**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Sanjin Krščanski

Rijeka, rujan 2023.

Valentina Radošević

0069066292

Rijeka, 12. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za tehničku mehaniku**  
Predmet: **Mehanika I**  
Grana: **2.15.06 tehnička mehanika (mekanika krutih i deformabilnih tijela)**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Valentina Radošević (0069066292)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij strojarstva**

Zadatak: **Analiza statičkih opterećenja rešetkaste konstrukcije / Analysis of static loads of a truss structure**

### Opis zadatka:

U zadatku je potrebno izvršiti proračun statike rešetkastog nosača zadanog i opterećenog prema predlošku. Potrebno je odrediti opterećenja nosača, sile u elementima, reakcije na mjestima oslanjanja nosača te provjeriti dimenzije nosača. Završni rad treba sadržavati: uvod, pregled teoretske podloge proračuna, pregled zadane geometrije problema, definiranje opterećenja, proračun sila, dimenzioniranje nosača, zaključak te popis korištene literature.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.




Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

  
Doc. dr. sc. Sanjin Krščanski

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
Prof. dr. sc. Robert Basan

## **IZJAVA**

Sukladno članku 7. pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih prijediplomskih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci od travnja 2023. godine, izjavljujem da sam samostalno izradila završni rad pod naslovom „Analiza statičkih opterećenja rešetkaste konstrukcije“ uz mentorstvo izv. prof. dr. sc. Sanjina Krščanskog.

Rijeka, rujan 2023.

Valentina Radošević

0069066292

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru, izv. prof. dr. sc. Sanjinu Krščanskom na pomoći i konzultacijama za vrijeme pisanja završnog rada.

Zahvaljujem svojim roditeljima i obitelji koji su mi bili najveća potpora za vrijeme studiranja i bez kojih ne bih mogla završiti studij.

Valentina Radošević

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. NOSAČI .....	2
2.1. Rešetkasti nosači .....	2
2.2. Statički određeni rešetkasti nosači.....	2
3. AKSIJALNO OPTEREĆENJE .....	4
3.1. Unutarnje sile .....	4
3.1.1. Dimenzioniranje .....	5
4. IZVIJANJE .....	6
4.1. Kritična sila izvijanja štapa u elastičnom području.....	6
4.2. Kritično naprezanje štapa u elastičnom području.....	8
4.3. Izvijanje štapa u plastičnom području.....	8
4.4. Dimenzioniranje .....	9
5. PRORAČUN REŠETKASTOG NOSAČA.....	11
5.1. Howe tip rešetke .....	12
5.1.1. Zadani podaci .....	12
5.1.2. Duljine štapova.....	13
5.1.3. Reakcije u osloncima .....	13
5.1.4. Unutarnje sile u štapovima.....	14
5.1.5. Provjera dimenzija.....	23
5.2. Pratt tip rešetke.....	27
5.2.1. Zadani podaci .....	27
5.2.2. Duljine štapova.....	28
5.2.3. Reakcije u osloncima .....	28
5.2.4. Unutarnje sile u štapovima.....	29
5.2.5. Provjera dimenzija.....	37
5.3. Warren tip rešetke .....	40
5.3.1. Zadani podaci .....	40
5.3.2. Duljine štapova.....	40
5.3.3. Reakcije u osloncima .....	41
5.3.4. Unutarnje sile u štapovima.....	41
5.3.5. Provjera dimenzija.....	50
6. ZAKLJUČAK.....	53
LITERATURA.....	54
POPIS SLIKA .....	55
POPIS TABLICA.....	57
Sažetak .....	58

## 1. UVOD

U završnom radu napraviti će se izračun triju rešetkastih konstrukcija Howe, Pratt i Warren opterećenih istim opterećenjima. Potrebno je odrediti opterećenje nosača, sile u elementima, reakcije na mjestima oslanjanja nosača te provjeriti dimenzije nosača.

Kroz teorijski dio opisati će se nosači, aksijalno opterećenje te dimenzioniranje. Proračun svih triju rešetkastih konstrukcija sadrži izračun duljina svih štapova izračunatih pomoću zadane duljine jednog od štapova. Analitički su određene reakcije u osloncima te sile u štapovima rešetkaste konstrukcije metodom čvorova. Za aksijalno opterećene štapove bilo je potrebno zadovoljiti kriterij čvrstoće te provjeriti njihove dimenzije. Također za kraj je izvršena kontrola stabilnosti tlačno opterećenih štapova i izračunata masa rešetkaste konstrukcije.



## 2. NOSAČI

Nosači su tijela vezana za nepokretnu ravninu opterećena silama. Njihova veza može biti pomični ili nepomični oslonac te uklještenje.

Nosače dijelimo:

- a) s obzirom na os nosača i njegovo opterećenje na ravninske i prostorne
- b) s obzirom na poziciju djelovanja vanjskog djelovanja na rešetkaste i gredne

### 2.1. Rešetkasti nosači

Rešetkasti nosač, odnosno rešetkastu konstrukciju čine štapovi spojeni čvorovima koji oblikuju nepromijenjen sustav. Pretpostavka nam je da su ti štapovi opterećeni vlačnom ili tlačnom aksijalnom silom pri čemu zanemarujemo vlastitu težinu štapova i momente savijanja. Za vanjske sile se pretpostavlja da djeluju u čvorovima rešetke. Kada sile ne djeluju na samome čvoru tada ih je potrebno reducirati u čvorove.

### 2.2. Statički određeni rešetkasti nosači

Kada su štapovi spojeni tako da čine trokut tada je to nepromjenjiv sustav. Nepromjenjivost je uvjetovana ovisnošću štapova  $s$  i broja čvorova  $n$ .

Statički određena rešetka:

$$s = 2n - 3 \quad (2.1.)$$

Statički neodređena rešetka:

$$s > 2n - 3 \quad (2.2.)$$

Rešetka je mehanizam:

$$s < 2n - 3 \quad (2.3.)$$

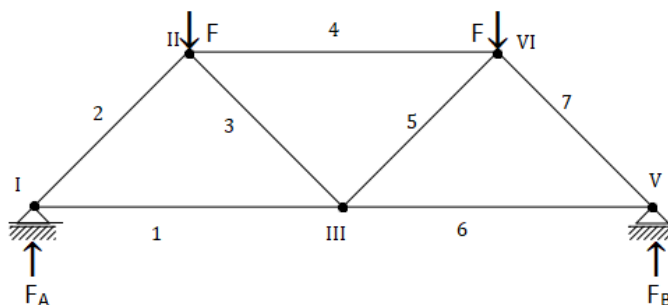
Za primjer možemo uzeti rešetkasti nosač prikazan na slici 2.1., koji se sastoji od 7 štapova i 5 čvorova. Uzmemo li te podatke i uvrstimo u ih u izraz 2.1., dobivamo:

$$s = 2n - 3$$

$$7 = 2 \cdot 5 - 3$$

$$7 = 7$$

Vidimo da je ta jednakost zadovoljena te možemo zaključiti da je rešetkasti nosač prikazan na slici 2.1. statički određen.



Slika 2.1.: Rešetkasti nosač

U završnom radu radi se o tri tipa rešetkastih nosača, Howe slika 5.1., Pratt slika 5.2. i Warren slika 5.3..

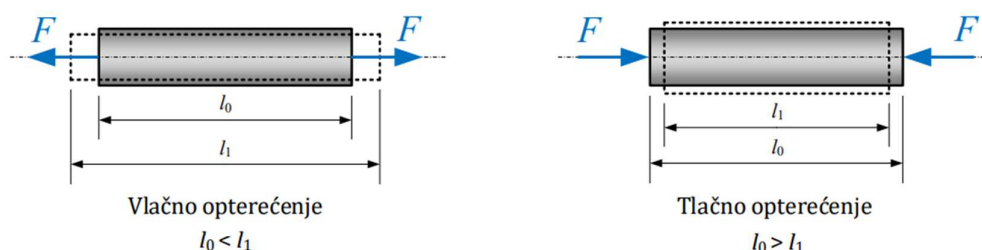
Howe tip rešetkaste konstrukcije čine dijagonalni elementi nagnuti prema sredini. Pri njegovoj izgradnji čelik nije ekonomičan kako je i vidljivo iz proračuna jer se za njega koristi najveći profil. Zbog njegove složene konstrukcije potrebno mu je dulje vrijeme izgradnje što je slučaj i kod Pratt tipa rešetkaste konstrukcije.

Pratt tip rešetkaste konstrukcije čine dijagonalni elementi koji se za razliku od Howe tipa spuštaju prema sredini. Pri njegovoj izgradnji koriste se lakši i tanji čelik ili željezo, što se također vidi kasnije prema podacima dobivenim u proračunu, bio nam je potreban manji profil.

Za kraj imamo Warren tip rešetke koji se sastoji od niza jednakostraničnih ili jednakokračnih trokuta. Pri izgradnji koristi se teži čelik ili željezo kako bi trokuti izdržali pritisak. Duž cijele njegove konstrukcije dijagonale grede čine „v“. Warren tip rešetke se danas najviše koristi jer njegov raspon ide od 50 do 110 m, te može podnijeti velika opterećenja, a njegova izgradnja je vrlo brza i jednostavna.

### 3. AKSIJALNO OPTEREĆENJE

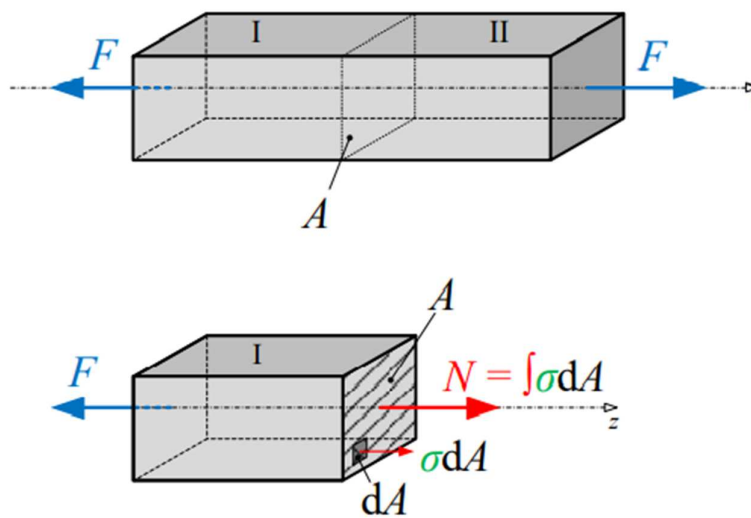
Aksijalno opterećenje nosača nastaje zbog utjecaja koncentriranih sila, težine nosača, kontinuirano raspoređenog opterećenja na poprečnom presjeku, promjena u temperaturi i dr. Kod aksijalnog opterećenja vanjska sila ili rezultanta vanjskih sila leži na uzdužnoj osi nosača. Aksijalno opterećenje može biti vlačno ili tlačno, ovisno o smjeru djelovanja kao što je prikazano na slici 3.1.



Slika 3.1.: Aksijalno opterećenje [1]

#### 3.1. Unutarnje sile

Pri djelovanju vanjskih sila na tijelo dolazi do njegove deformacije što uzrokuje pojavu unutrašnjih sila. Unutrašnje sile koje nastaju kao rezultat otpora tijela deformiranju, suprotnog su smjera smjeru djelovanja vanjskih sila, te one postoje dok postoji vanjsko opterećenje.



Slika 3.2.: Unutarnje sile aksijalno opterećenog tijela [2]

## 3.1.1. Dimenzioniranje

Kroz proračun moramo zadovoljiti i neke od kriterija kao što su vrsta materijala, funkcionalnost, vijek trajanja i sigurnost.

U proračunu se koristimo dopuštenim naprezanjima kako bi konstrukcija bila funkcionalna te zadovoljila sigurnost. Kako bi izbjegli deformacije materijala i njegov lom, kroz proračun moramo voditi računa da nam naprezanja ne budu veća od dopuštenog naprezanja.

- Dopušteno naprezanje:

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_v}{f_v} \quad (3.1)$$

$\sigma_v$  – granica plastičnosti

$f_v$  – faktor sigurnosti

Kod aksijalnog opterećenja uz uvjet da smo uzeli u obzir dopušteno naprezanje i dimenzioniranje, možemo izračunati sljedeće:

- Površinu poprečnog presjeka nosača:

$$A \geq \frac{F_{max}}{\sigma_{dop}} \quad (3.2)$$

$F_{max}$  – vanjska sila

$\sigma_{dop}$  – dopušteno naprezanje

- Stvarna naprezanja:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad (3.3)$$

$F_{max}$  – vanjska sila

$A$  – površina poprečnog presjeka nosača

- Maksimalno opterećenje:

$$F_{max} \leq \sigma_{dop} \cdot A \quad (3.4)$$

$\sigma_{dop}$  – dopušteno naprezanje

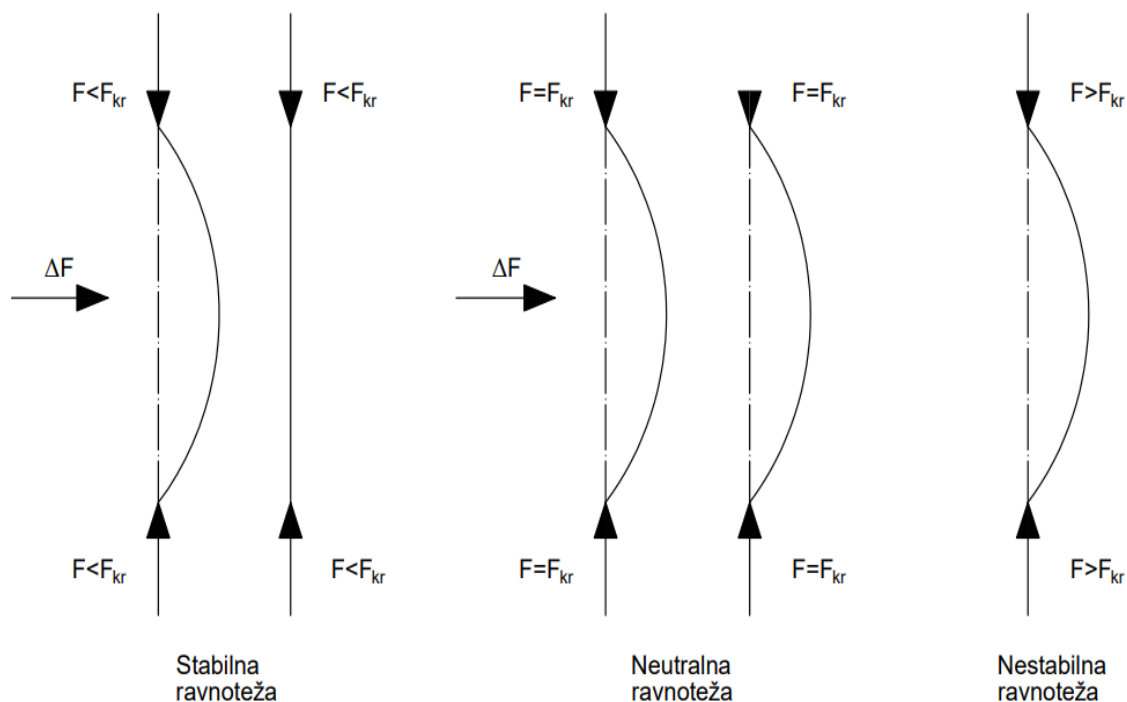
$A$  – površina poprečnog presjeka nosača

## 4. IZVIJANJE

Pri projektiranju konstrukcijskih elemenata, odnosno cijele konstrukcije potrebno je osigurati njezinu čvrstoću, krutost i stabilnost kako bi osigurali njezinu funkcionalnost. Aksijalna sila može uzrokovati i savijanje, odnosno izvijanje štapa. Tada tijelo gubi svoju stabilnost, a sila koja ju uzrokuje naziva se kritična sila izvijanja.

### 4.1. Kritična sila izvijanja štapa u elastičnom području

Tri su vrste ravnoteže elastičnog štapa, sva tri su prikazana na slici 4.1. Prvi slučaj je kada sila  $F$  kojom djelujemo na tijelo manja od kritične sile izvijanja  $F_{kr}$  i nekom poprečnom silom  $\Delta F$ , tada će se to tijelo izviti. Vratiti li se to tijelo u svoj prvobitni oblik nakon djelovanja poprečne sile radi se o stabilnoj elastičnoj ravnoteži. Drugi slučaj je kada su sila  $F$  i kritična sila  $F_{kr}$  kojom djelujemo na tijelo jednake. Kada tijelo i nakon prestanka djelovanja poprečne sile  $\Delta F$  ostane u izvijenom stanju tada govorimo o neutralnoj elastičnoj ravnoteži. Treći slučaj je kada je sila  $F$  kojom djelujemo na tijelo veća od kritične sile  $F_{kr}$ . Tada se tijelo odmah izvije dok se ne uravnoteži ili ne dođe do loma i to se zove nestabilna elastična ravnoteža. U praksi uvijek moramo težiti stabilnoj ravnoteži, izbjegavati neutralnu i nestabilnu.



Slika 4.1.: Ravnoteža elastičnog tijela

S obzirom na način kojim učvršćeni krajevi štapova nekoliko je formula kritične sile

- štap na oba kraja vezan zglobom, Eulerova kritična sila:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l^2} \quad (4.1)$$

- štap na jednom kraju ukliješten, a na drugom zglobno vezan:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(0,7 \cdot l)^2} \quad (4.2)$$

gdje je:

$$0,7 \cdot l = l_0$$

- štap ukliješten na oba kraja:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{\left(\frac{l}{2}\right)^2} \quad (4.3)$$

- konzolni štap (na jednom kraju štap je ukliješten, a na drugom slobodan):

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(2l)^2} \quad (4.4)$$

$E$  – modul elastičnosti

$I_{min}$  – minimalni aksijalni moment inercije poprečnog presjeka štapa

$l$  – duljina štapa

$l_0$  – slobodna duljina izvijanja štapa

- kritično naprezanje štapa može se izračunati kao:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{A} \quad (4.5)$$

gdje je:

$F_{kr}$  – kritična sila izvijanja

$A$  – površina poprečnog presjeka štapa

#### 4.2. Kritično naprezanje štapa u elastičnom području

- kritično naprezanje prije izvijanja štapa:

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l^2 \cdot A} \quad (4.6)$$

Izraz (4.6) vrijedi samo kada je štap zglobno vezan za oba kraja.

Eulerov izraz kritičnog naprezanja:

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad (4.7)$$

gdje je:

$$\lambda^2 = \frac{l_0}{i_{min}} \quad \text{– vitkost štapa}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad \text{– minimalni polumjer inercije poprečnog presjeka štapa}$$

#### 4.3. Izvijanje štapa u plastičnom području

Najčešće se koristi Tetmajerov izraz kritičnog naprezanja kod izvijanja štapa u plastičnom području:

Pravac:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{A} = a - b\lambda \quad (4.8)$$

Parabola:

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{A} = a - b\lambda + c\lambda^2 \quad (4.9)$$

gdje je:

$a, b, c$  – koeficijenti dobiveni eksperimentalnim putem

Tetmajerov izraz kritičnog naprezanja za neke od materijala prikazani su u tablici (tablica 4.1.)

Tablica 4.1. Tetmajerovi izrazi

Materijal	Tetmajerov izraz $\sigma_{kr}$ (MPa)
Čelik 0360	$310-1,14\lambda$
Čelik 0560	$470-2,3\lambda$
Sivi lijev	$776-12\lambda+0,053\lambda^2$
Drvo	$40-0.203\lambda$

#### 4.4. Dimenzioniranje

Dimenzioniranje pri aksijalnom tlačnom opterećenju, kada postoji mogućnost gubitka stabilnosti radi se prema Eulerovom ili Tetmajerovom izrazu, ovisno o vitkosti štapa.

Dijagram (slika 4.2.) prikazuje tri područja:

1. područje:  $\lambda < \lambda_T$ , izvijanje se ne uzima u obzir, štapovi se proračunavaju na tlačnu čvrstoću
2. područje:  $\lambda_T < \lambda < \lambda_p$ , štapovi se proračunavaju pomoću Tetmajerova ili nekog drugog emipirijskog izraza
3. područje:  $\lambda > \lambda_p$ , proračunavanje na izvijanje štapova se vrši pomoću Eulerova izraza, gdje mora biti zadovoljen uvjet:

$$\sigma = \frac{F_{kr}}{A} \leq \sigma_{kr,dop} = \frac{\sigma_{kr}}{f_{kr}}$$

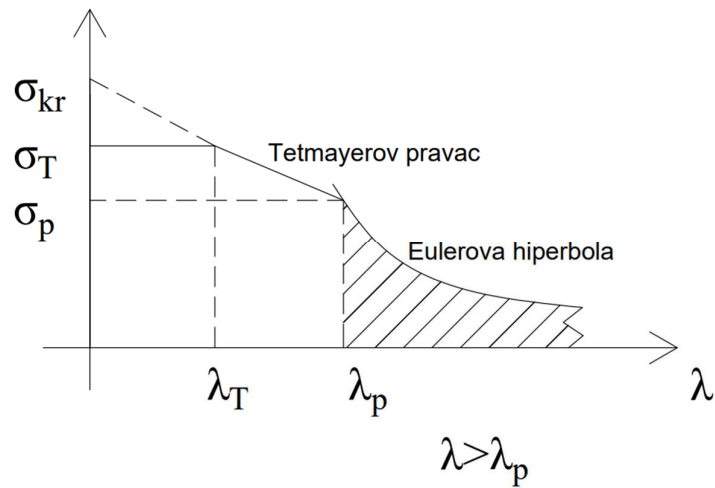
gdje je:

$\sigma_{kr,dop}$  – dopušteno kritično naprezanje izvijanja

$F$  – tlačno opterećenje štapa

$f_{kr} \geq 1$  faktor sigurnosti protiv izvijanja

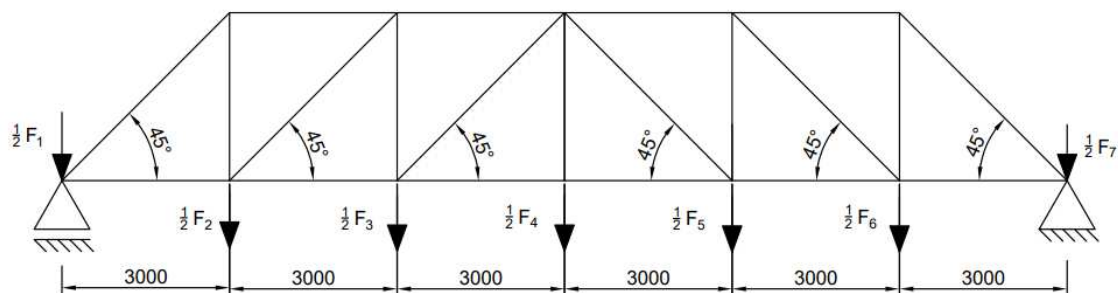




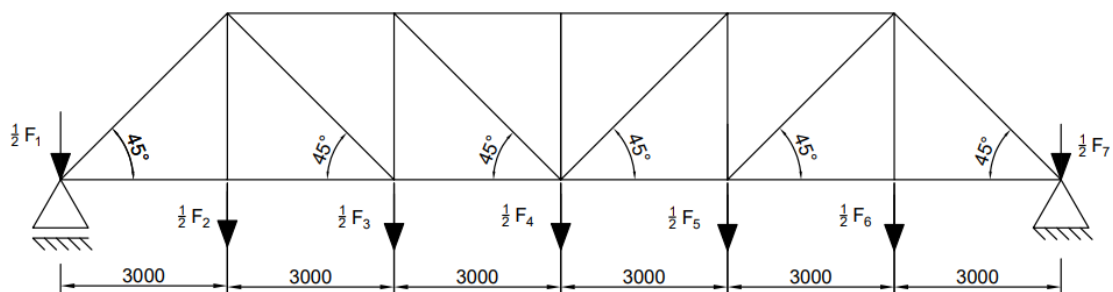
Slika 4.2.: Ovisnost kritičnog naprežanja o vitkosti štapa

## 5. PRORAČUN REŠETKASTOG NOSAČA

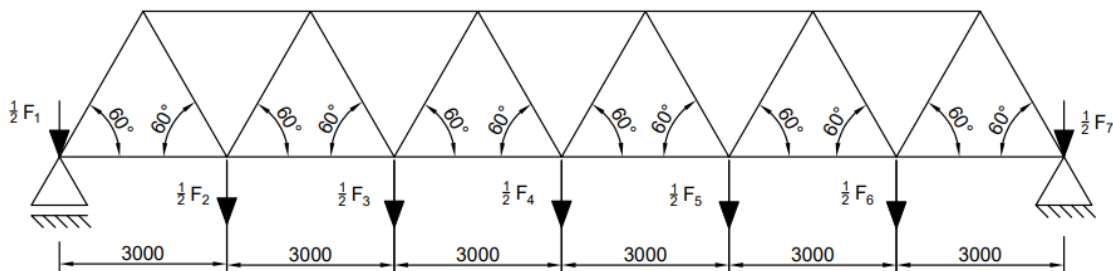
U ovom poglavlju će biti izvršen proračun tri različite konstrukcije nosivih tipova rešetke mosta. Tri varijante rešetkastih nosača za koje će se izvršiti proračun su tipa Howe, Pratt i Warren (slike 5.1., 5.2., i 5.3.)



Slika 5.1.: Howe tip rešetke



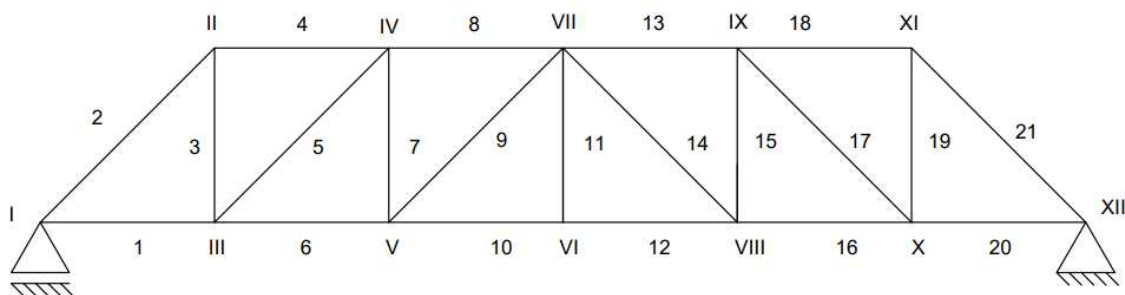
Slika 5.2.: Pratt tip rešetke



Slika 5.3.: Warren tip rešetke

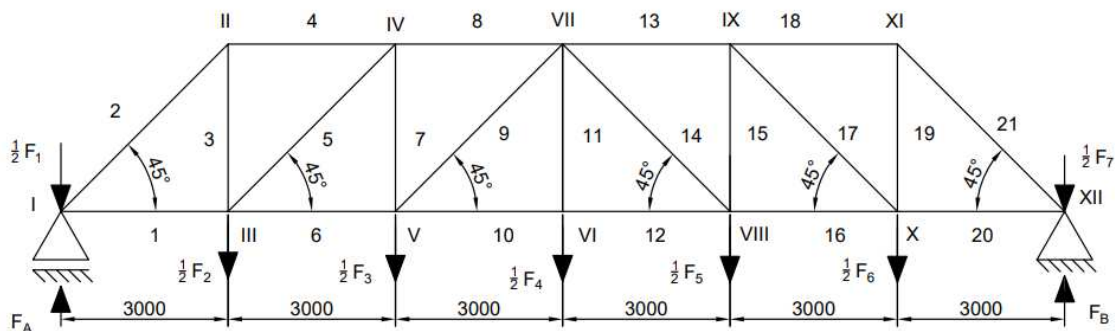
### 5.1 Howe tip rešetke

Howe tip rešetkastog nosača sastoji se od 21 zrcalno simetričnih štapova. Slika 5.4. prikazuje kako su nosači oslonjeni s jedne strane na pomični, a s druge na nepomični oslonac.



Slika 5.4.: Howe rešetka sa oznakama štapova i čvorova

#### 5.1.1. Zadani podaci



Slika 5.5.: Howe rešetka s opterećenjima

Za Howe rešetku opterećenu kao na slici 5.5. zadani podaci su:

$$F_1 = 60,067 \text{ kN}$$

$$F_5 = 5,71 \text{ kN}$$

$$F_2 = 23,32 \text{ kN}$$

$$F_6 = 65,255 \text{ kN}$$

$$F_3 = 154,9 \text{ kN}$$

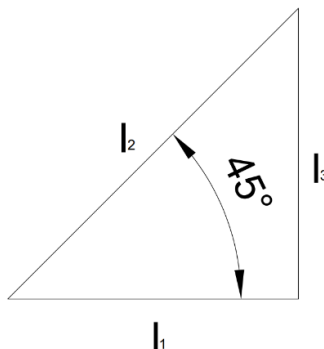
$$F_7 = 114,536 \text{ kN}$$

$$F_4 = 6,152 \text{ kN}$$

$$l_1 = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

## 5.1.2. Duljine štapova

Rešetkasta konstrukcija se sastoji od 21 štapa. Prema slici 5.6. izračunat ćemo duljine štapova.



Slika 5.6.: Štap  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$

Duljina štapa  $l_2$ :

$$\cos 45^\circ = \frac{l_1}{l_2} \rightarrow l_2 = \frac{l_1}{\cos 45^\circ} = \frac{3000}{\cos 45^\circ} = 4242,64 = 4243 \text{ mm}$$

$$l_2 = 4243 \text{ mm}$$

Duljina štapa  $l_3$ :

$$\sin 45^\circ = \frac{l_3}{l_2} \rightarrow l_3 = \sin 45^\circ \cdot l_2 = \sin 45^\circ \cdot 4243 = 3000 \text{ mm}$$

$$l_3 = 3000 \text{ mm}$$

S obzirom da je konstrukcija zrcalno simetrična vrijedi:

$$l_2 = l_5 = l_9 = l_{14} = l_{18} = l_{21} = 4243 \text{ mm},$$

$$l_3 = l_8 = l_{11} = l_{15} = l_{19} = 3000 \text{ mm},$$

$$l_1 = l_4 = l_6 = l_7 = l_{10} = l_{12} = l_{13} = l_{16} = l_{17} = l_{20} = 3000 \text{ mm}$$

## 5.1.3. Reakcije u osloncima

$\Sigma M_{\text{čvor XII}} = 0$  – pozitivno u smjeru kazaljke na satu

$$F_A \cdot 18000 - \frac{1}{2} F_1 \cdot 18000 - \frac{1}{2} F_2 \cdot 15000 - \frac{1}{2} F_3 \cdot 12000 - \frac{1}{2} F_4 \cdot 9000 - \frac{1}{2} F_5 \cdot 6000 - \frac{1}{2} F_6 \cdot 3000 = 0$$

$$F_A = \frac{9000 \cdot 60,067 + 7500 \cdot 23320 + 6000 \cdot 154900 + 4500 \cdot 6152 + 3000 \cdot 5710 + 1500 \cdot 65255}{18000}$$

$$F_A = 99311,08 \text{ N} = 99,311 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A - \frac{1}{2}F_1 - \frac{1}{2}F_2 - \frac{1}{2}F_3 - \frac{1}{2}F_4 - \frac{1}{2}F_5 - \frac{1}{2}F_6 - \frac{1}{2}F_7 + F_{BY} = 0$$

$$F_{BY} = \frac{1}{2}F_1 + \frac{1}{2}F_2 + \frac{1}{2}F_3 + \frac{1}{2}F_4 + \frac{1}{2}F_5 + \frac{1}{2}F_6 + \frac{1}{2}F_7 - F_A$$

$$F_{BY} = 0,5 \cdot 60067 + 0,5 \cdot 23320 + 0,5 \cdot 154900 + 0,5 \cdot 6152 + 0,5 \cdot 5710 + 0,5 \cdot 65255 + \\ + 0,5 \cdot 114536 - 99311,08$$

$$F_{BY} = F_B = 115658,92 \text{ N} = 115,659 \text{ kN}$$

#### 5.1.4. Unutarnje sile u štapovima

Unutarnje sile u štapovima izračunati ćemo iz ravnoteže sila u čvorovima rešetke. Za čvor I (slika 5.7.) tada imamo:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A - \frac{1}{2}F_1 + S_2 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_2 = \frac{0,5 \cdot 60067 - 99311,08}{\sin 45^\circ}$$

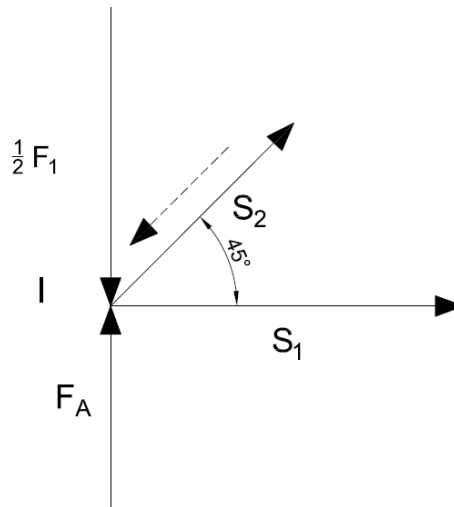
$$S_2 = -97973,3 \text{ N} = -97,97 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$S_1 + S_2 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_1 = 97973,3 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_1 = 69277,58 \text{ N} = 69,28 \text{ kN}$$



Slika 5.7.: Howe rešetka - čvor I

Iz ravnoteže čvora II (slika 5.8.) slijedi:

$$\sum F_x = 0$$

$$S_4 - S_2 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_4 = -97973,3 \cdot \cos 45^\circ$$

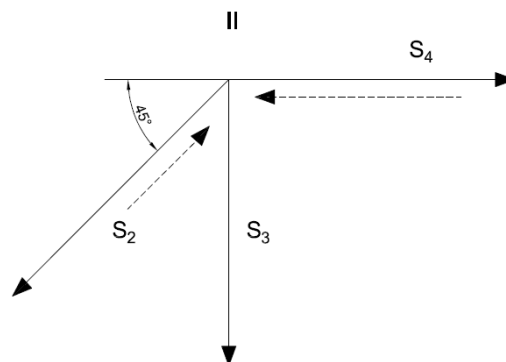
$$S_4 = -69277,58 \text{ N} = -69,28 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-S_3 - S_2 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_3 = -S_2 \cdot \sin 45^\circ$$

$$S_3 = 69277,58 \text{ N} = 69,28 \text{ kN}$$



Slika 5.8.: Howe rešetka – čvor II

Iz ravnoteže čvora III (slika 5.9.) slijedi:

$$\sum F_y = 0$$

$$S_3 + S_5 \cdot \sin 45^\circ - \frac{1}{2} F_2 = 0$$

$$S_5 = \frac{0,5 \cdot 23320 - 69277,58}{\sin 45^\circ}$$

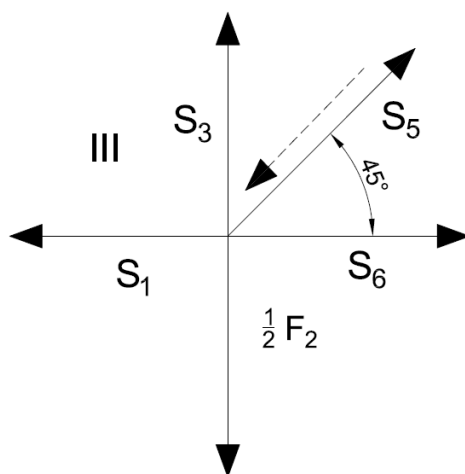
$$S_5 = -81483,56 \text{ N} = -81,48 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-S_1 + S_6 + S_5 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_6 = 69277,58 + 81483,56 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_6 = 126895,16 \text{ N} = 126,89 \text{ kN}$$



Slika 5.9.: Howe rešetka - čvor III

Iz ravnoteže čvora IV (slika 5.10.) slijedi:

$$\sum F_x = 0$$

$$-S_4 + S_8 - S_5 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_8 = -69277,58 - 81483,56 \cdot \cos 45^\circ$$

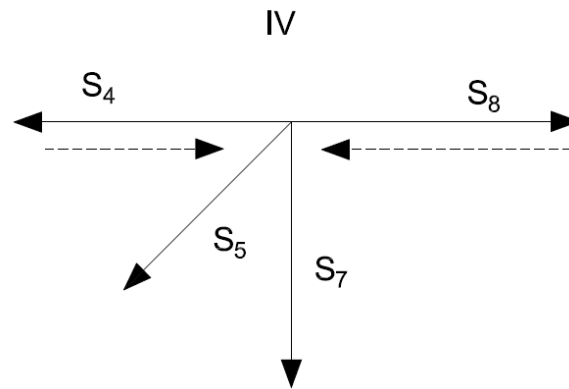
$$S_8 = -126895,16 \text{ N} = -126,89 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-S_7 - S_5 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_7 = 81483,56 \cdot \sin 45^\circ$$

$$S_7 = 57617,58 \text{ N} = 57,61 \text{ kN}$$



Slika 5.10.: Howe rešetka - čvor IV

Iz ravnoteže čvora V (slika 5.11.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_9 \cdot \sin 45^\circ + S_7 - \frac{1}{2} F_3 = 0$$

$$S_9 = \frac{-57617,58 + 0,5 \cdot 154900}{\sin 45^\circ}$$

$$S_9 = 28047,28 \text{ N} = 28,05 \text{ kN}$$

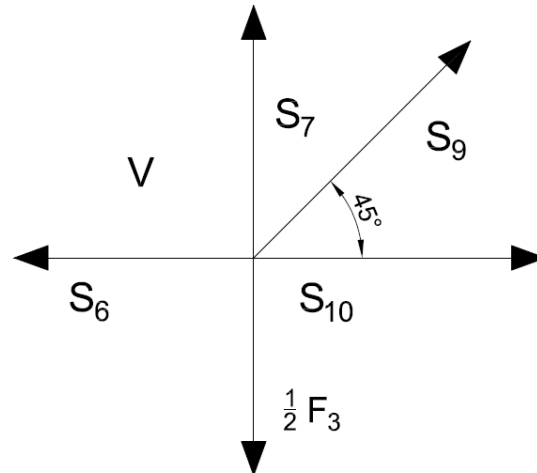
$$\sum F_X = 0$$

$$S_{10} - S_6 + S_9 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{10} = 126895,16 - 28047,28 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_{10} = 107062,74 \text{ N} = 107,06 \text{ kN}$$





Slika 5.11.: Howe rešetka - čvor V

Iz ravnoteže čvora VI (slika 5.12.) slijedi:

$$\sum F_x = 0$$

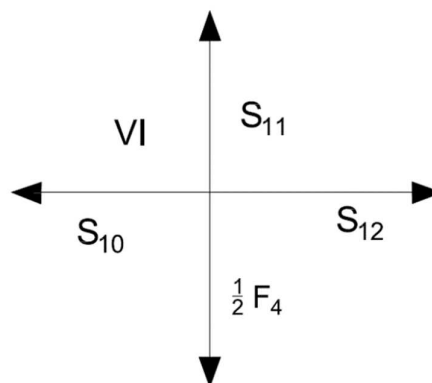
$$S_{10} = S_{12}$$

$$S_{12} = 107062,74 \text{ N} = 107,06 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$S_{11} = \frac{1}{2} F_4$$

$$S_{11} = 3076 \text{ N} = 3,08 \text{ kN}$$



Slika 5.12.: Howe rešetka - čvor VI

Iz ravnoteže čvora XII (slika 5.13.) slijedi:

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{20} - S_{21} \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{20} = 58390,92 \cdot \cos 45^\circ$$

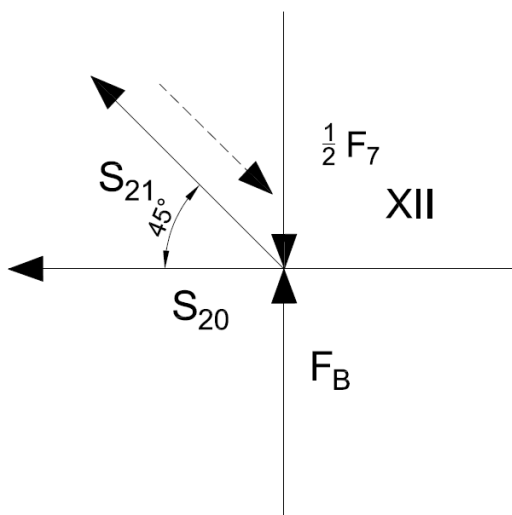
$$S_{20} = 58390,92 \text{ N} = 58,392 \text{ kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_B + S_{21} \cdot \sin 45^\circ - \frac{1}{2} F_7 = 0$$

$$S_{21} = \frac{0,5 \cdot 114536 - 155658,92}{\sin 45^\circ}$$

$$S_{21} = -82577,23 \text{ N} = -82,58 \text{ kN}$$



Slika 5.13.: Howe rešetka - čvor XII

Iz ravnoteže čvora XI (slika 5.14.) slijedi:

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{18} + S_{21} \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{18} = S_{21} \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_{18} = -82577,23 \cos 45^\circ$$

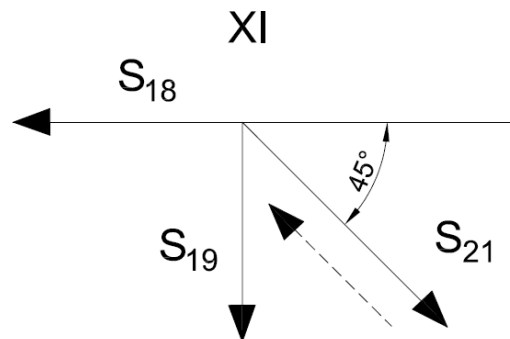
$$S_{18} = -58390,94 \text{ N} = -58,39 \text{ kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$-S_{19} - S_{21} \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_{19} = -S_{21} \cdot \sin 45^\circ$$

$$S_{19} = 58390,92 \text{ N} = 58,39 \text{ kN}$$



Slika 5.14.: Howe rešetka - čvor XI

Iz ravnoteže čvora X (slika 5.15.) slijedi:

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{17} \cdot \cos 45^\circ - S_{16} + S_{20} = 0$$

$$S_{16} = -S_{17} \cdot \sin 45^\circ + S_{20}$$

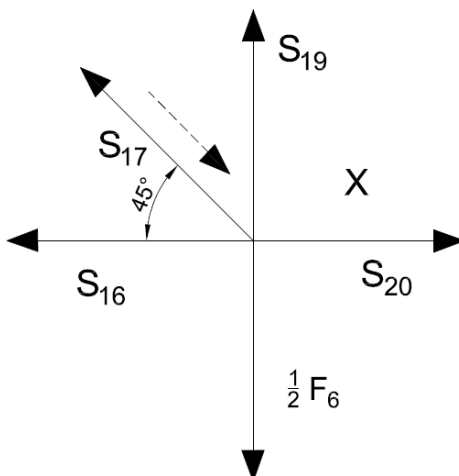
$$S_{16} = 84154,33 \text{ N} = 84,15 \text{ kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{17} \cdot \sin 45^\circ + S_{19} - \frac{1}{2} F_6 = 0$$

$$S_{17} = -\frac{0,5 \cdot F_6 - S_{19}}{\sin 45^\circ}$$

$$S_{17} = -36436,97 \text{ N} = -36,435 \text{ kN}$$



Slika 5.15.: Howe rešetka – čvor X

Iz ravnoteže čvora IX (slika 5.16.) sledi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-S_{17} \cdot \sin 45^\circ - S_{15} = 0$$

$$S_{15} = -S_{17} \cdot \sin 45^\circ$$

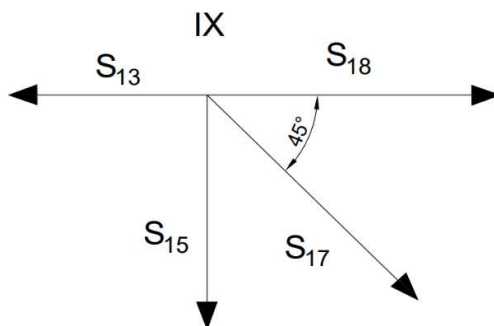
$$S_{15} = 25764,83 \text{ N} = 25,76 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$+S_{17} \cos 45^\circ - S_{13} + S_{18} = 0$$

$$S_{13} = S_{18} + S_{17} \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_{13} = -84154,33 \text{ N} = -84,154 \text{ kN}$$



Slika 5.16.: Howe rešetka - čvor IX

Iz ravnoteže čvora VIII (slika 5.17) slijedi:

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{16} - S_{14} \cos 45^\circ - S_{12} = 0$$

$$S_{12} = -S_{14} \cos 45^\circ + S_{16}$$

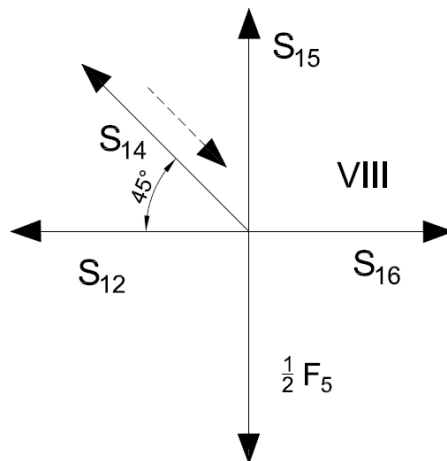
$$S_{12} = 107064,16 \text{ N} = 107,1 \text{ kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{15} - \frac{1}{2} F_5 + S_{14} \sin 45^\circ = 0$$

$$S_{14} = \frac{0,5 \cdot F_5 - S_{15}}{\sin 45^\circ}$$

$$S_{14} = -32399,4 \text{ N} = -32,39 \text{ kN}$$



Slika 5.17.: Howe rešetka - čvor VIII

Tablica 5.1. prikazuje sile dobivene u proračunu iznad za Howe tip rešetke.

Tablica 5.1.: Sile u štapovima Howe rešetke

Štap	Sile u štapovima [kN]	Opterećenje
$S_1$	69,28	vlak
$S_2$	-97,97	tlak
$S_3$	69,28	vlak
$S_4$	-69,28	tlak
$S_5$	-81,48	tlak
$S_6$	126,89	vlak
$S_7$	57,62	vlak
$S_8$	-126,89	tlak
$S_9$	28,05	vlak
$S_{10}$	107,06	vlak
$S_{11}$	3,08	vlak
$S_{12}$	107,06	vlak
$S_{13}$	-84,15	tlak
$S_{14}$	-32,39	tlak
$S_{15}$	25,76	vlak
$S_{16}$	84,15	vlak
$S_{17}$	-36,43	tlak
$S_{18}$	-58,39	tlak
$S_{19}$	58,39	vlak
$S_{20}$	58,39	vlak
$S_{21}$	-82,58	tlak

#### 5.1.5. Provjera dimenzija

##### Aksijalno opterećenje

U ovom dijelu provjeravamo aksijalno najopterećeniji štap te da li je zadovoljen kriterij čvrstoće.

Štapovi su izrađeni od čelika S235JR, te su ovo njegova mehanička svojstva [3]:

- modul elastičnosti:  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa
- zatezna čvrstoća:  $\sigma_M = 340$  MPa
- tehnička granica tečenja:  $\sigma_v = 235$  MPa

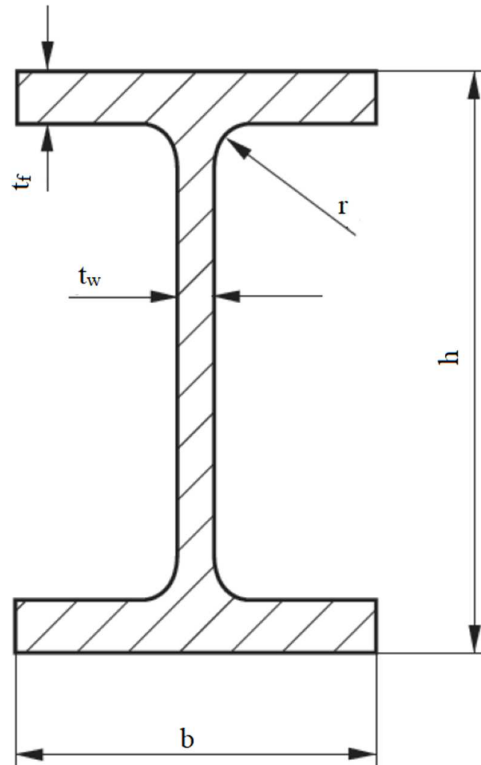
- poissonov koeficijet:  $\nu = 0,3$

- gustoća:  $\rho = 7,85 \text{ kg/m}^3$

- faktor sigurnosti:  $f_v = 2$

- dopušteno naprezanje:  $\sigma_{dop} = \frac{\sigma_v}{f_v} = \frac{235}{2} = 117,5 \approx 120 \text{ MPa}$

Koristi se HE 360A profil (slika 5.18.)



Slika 5.18.: HE profil

Dimenzije HE 360 A profila:

$$A = 142,8 \text{ cm}^2 = 14280 \text{ mm}^2$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,5 \text{ mm}$$

Geometrijske karakteristike [4]:

- minimalni moment inercije  $I_{min} = 7887 \text{ cm}^4$

- masa:  $m = 112 \text{ kg/m} = 1098,34 \text{ N/m}$

Štap  $S_6$  je najopterećeniji štap,  $S_6 = 126895,18 \text{ N}$

$$\sigma = \frac{S_6}{A} = \frac{126895,18}{14280} = 8,88 \text{ MPa}$$

Zadovoljen je kriterij čvrstoće:

$$\sigma = \frac{S_6}{A} \leq \sigma_{dop}$$

Izvijanje štapa

U ovome dijelu vršimo provjeru štapa na kojeg djeluje najveća tlačna aksijalna sila.

Najveća tlačna sila je  $S_8$ ,  $S_8 = 126895,18 \text{ N}$

$$l_8 = 3000 \text{ mm}$$

Kako bi konstrukcija ostala stabilna i štap se zadržao u elastičnom području potrebno je zadovoljiti:

$$S_8 \leq F_{kr}$$

S obzirom na da štap zglobno vezan za oba svoja kraja, koristimo izraz:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{min}}{l_8^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7887 \cdot 10^{-8}}{3^2} = 18163032,98 \text{ N}$$

Kritična sila premašuje silu  $S_8$  te je kriterij zadovoljen.

Za kraj treba provjeriti da li je izvijanje štapa u granicama elastičnog područja, dakle treba se zadovoljiti uvjet:

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_v}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{235}} = 93,91$$

$$\lambda = l_8 \cdot \sqrt{\frac{A}{I_{min}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{14280 \cdot 10^{-6}}{7887 \cdot 10^{-8}}} = 40,37$$

S obzirom da je  $\lambda < \lambda_p$ , kritično naprezanje se računa prema Tetmajerovom izrazu:



$$\begin{aligned}\sigma_{kr} &= (310 - 1,14\lambda) \\ &= (310 - 1,14 \cdot 40,37) = 263,98 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

Izračunato je da je  $\sigma_{kr} > \sigma_v$  te je izvijanje zanemareno.

Ukupna duljina svih štapova konstrukcije:

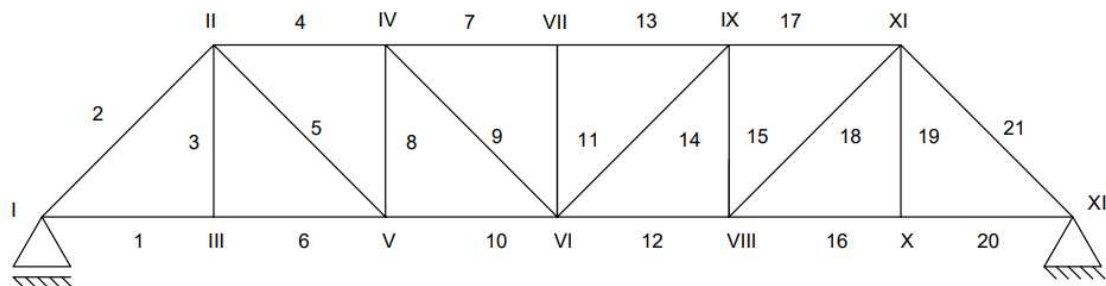
$$l_{uk} = l_1 + l_2 + \dots + l_{21} = 70458 \text{ mm} = 70,458 \text{ m}$$

Ukupna masa Howe rešetkaste konstrukcije

$$m_k = m \cdot l_{uk} = 112 \cdot 70,458 = 7891,296 \text{ kg}$$

## 5.2 Pratt tip rešetke

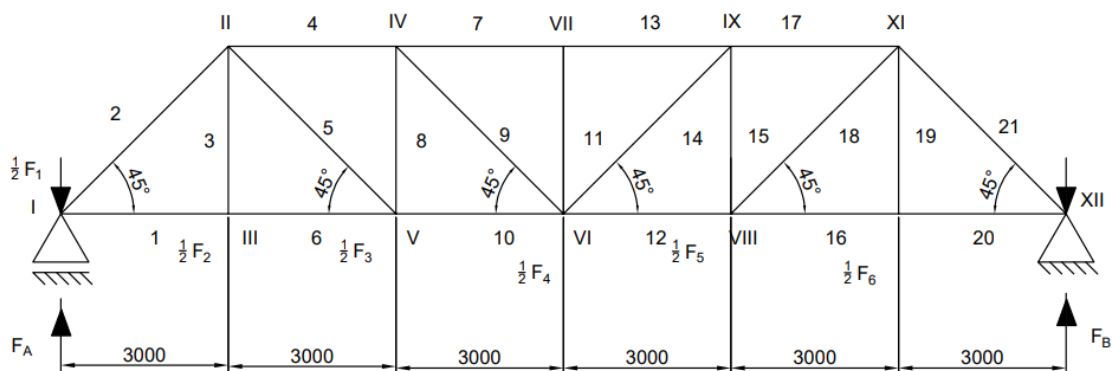
Pratt tip rešetkaste konstrukcije također se sastoji od 21 zrcalno simetričnih štapova. Nosači konstrukcije povezani su s jedne strane na pomični, a s druge na nepomični oslonac kako je prikazano na slici 5.19.



Slika 5.19.: Pratt rešetka sa oznakama štapova i čvorova

Zadana opterećenja i dimenzije su jednaka kao kod prvog primjera, odnosno Howe tipa rešetke.

### 5.2.1 Zadani podaci



Slika 5.20.: Pratt rešetka s opterećenjima

Za Pratt rešetku opterećenu kao na slici 5.20. zadani podaci su:

$$F_1 = 60,067 \text{ kN}$$

$$F_2 = 23,32 \text{ kN}$$

$$F_3 = 154,9 \text{ kN}$$

$$F_4 = 6,152 \text{ kN}$$

$$F_5 = 5,71 \text{ kN}$$

$$F_6 = 65,255 \text{ kN}$$

$$F_7 = 114,536 \text{ kN}$$

$$l_1 = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

### 5.2.2 Duljine štapova

Duljine štapova jednake su kao kod Howe primjera (slika 5.6.)

Duljina štapa  $l_2$ :

$$\cos 45^\circ = \frac{l_1}{l_2} \rightarrow l_2 = \frac{l_1}{\cos 45^\circ} = \frac{3000}{\cos 45^\circ} = 4242,64 \approx 4243 \text{ mm}$$

$$l_2 = 4243 \text{ mm}$$

Duljina štapa  $l_3$ :

$$\sin 45^\circ = \frac{l_3}{l_2} \rightarrow l_3 = \sin 45^\circ \cdot l_2 = \sin 45^\circ \cdot 4243 = 3000,25 \approx 3000 \text{ mm}$$

$$l_3 = 3000 \text{ mm}$$

S obzirom da je konstrukcija zrcalno simetrična također vrijedi:

$$l_2 = l_5 = l_9 = l_{14} = l_{18} = l_{21} = 4243 \text{ mm},$$

$$l_3 = l_8 = l_{11} = l_{15} = l_{19} = 3000 \text{ mm},$$

$$l_1 = l_4 = l_6 = l_7 = l_{10} = l_{12} = l_{13} = l_{16} = l_{17} = l_{20} = 3000 \text{ mm}$$

### 5.2.3 Reakcije u osloncima

$\Sigma M_{\check{c}vor XII} = 0$  – pozitivno u smjeru kazaljke na satu

$$F_A \cdot 18 - \frac{1}{2} F_1 \cdot 18 - \frac{1}{2} F_2 \cdot 15 - \frac{1}{2} F_3 \cdot 12 - \frac{1}{2} F_4 \cdot 9 - \frac{1}{2} F_5 \cdot 6 - \frac{1}{2} F_6 \cdot 3 = 0$$

$$F_A = \frac{9000 \cdot 60067 + 7500 \cdot 23320 + 6000 \cdot 154900 + 4500 \cdot 6152 + 3000 \cdot 5710 + 1500 \cdot 65255}{18000}$$

$$F_A = 99311,08 \text{ N} = 99,311 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_A - \frac{1}{2}F_1 - \frac{1}{2}F_2 - \frac{1}{2}F_3 - \frac{1}{2}F_4 - \frac{1}{2}F_5 - \frac{1}{2}F_6 - \frac{1}{2}F_7 + F_{BY} = 0$$

$$F_{BY} = \frac{1}{2}F_1 + \frac{1}{2}F_2 + \frac{1}{2}F_3 + \frac{1}{2}F_4 + \frac{1}{2}F_5 + \frac{1}{2}F_6 + \frac{1}{2}F_7 - F_A$$

$$F_{BY} = 0,5 \cdot 60067 + 0,5 \cdot 23320 + 0,5 \cdot 154900 + 0,5 \cdot 6152 + 0,5 \cdot 5710 + 0,5 \cdot 65255 + \\ + 0,5 \cdot 114\,536 - 99311,08$$

$$F_{BY} = F_B = 115658,92 \text{ N} = 115,659 \text{ kN}$$

#### 5.2.4 Unutarnje sile u štapovima

Reakcije unutarnjih sila u štapovima izračunati ćemo iz ravnoteže sila u čvorovima rešetke. Za čvor I (slika 5.21.) tada imamo:

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_A - \frac{1}{2}F_1 - S_2 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_2 = \frac{0,5 \cdot 60067 - 99311,08}{\sin 45^\circ}$$

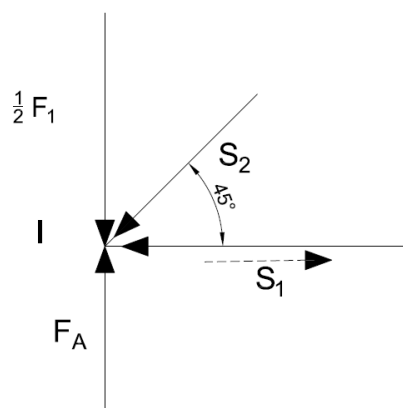
$$S_2 = -97973,3 \text{ N} = -97,97 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_1 + S_2 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_1 = -S_2 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_1 = 69277,58 \text{ N} = 69,28 \text{ kN}$$



Slika 5.21.: Pratt rešetka - čvor I

Iz ravnoteže čvora III (slika 5.22.) slijedi:

$$\sum F_X = 0$$

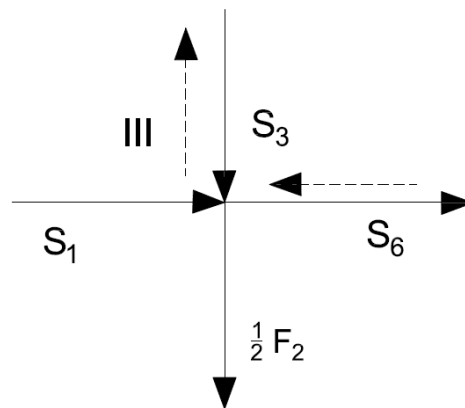
$$S_1 + S_6 = 0$$

$$S_6 = -69277,6 \text{ N} = -69,28 \text{ kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_3 = -\frac{1}{2} \cdot F_2$$

$$S_3 = -11660 \text{ N} = -11,66 \text{ kN}$$



Slika 5.22.: Pratt rešetka - čvor III

Iz ravnoteže čvor II (slika 5.23.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_5 \cdot \sin 45^\circ + S_3 + S_2 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_5 = \frac{-97973,3 \cdot \sin 45^\circ + 11660}{\sin 45^\circ}$$

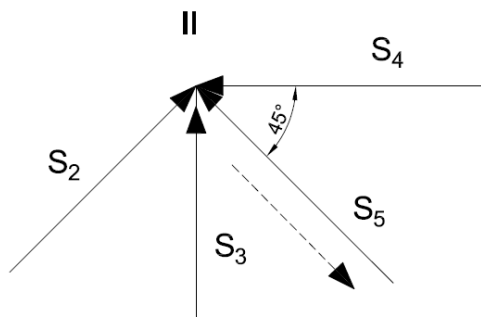
$$S_5 = -81483,57 \text{ N} = -81,484 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_4 + S_2 \cdot \cos 45^\circ - S_5 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_4 = 97973,3 \cdot \cos 45^\circ + 81483,57 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_4 = 126895,17 \text{ N} = 126,9 \text{ kN}$$



Slika 5.23.: Pratt rešetka - čvor II

Iz ravnoteže čvora V (slika 5.24.) slijedi:

$$\sum F_x = 0$$

$$S_6 - S_{10} + S_5 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{10} = -69277,6 - 81483,57 \cdot \cos 45^\circ$$

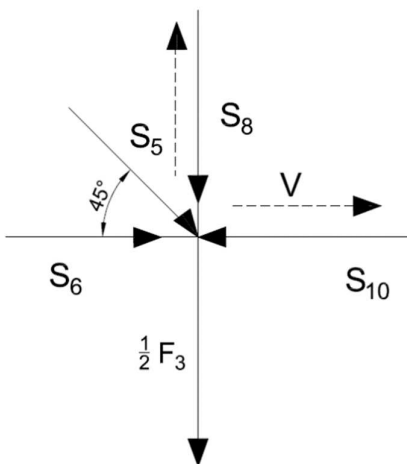
$$S_{10} = -126895,18 \text{ N} = -126,9 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-S_8 - \frac{1}{2}F_3 - S_5 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_8 = -0,5 \cdot 154900 - 81483,56 \cdot \sin 45^\circ$$

$$S_8 = -19832,42 \text{ N} = -19,83 \text{ kN}$$



Slika 5.24.: Pratt rešetka - čvor V

Iz ravnoteže čvora IV (slika 5.25.) slijedi:

$$\sum F_y = 0$$

$$S_9 \cdot \sin 45^\circ + S_8 = 0$$

$$S_9 = \frac{19832,42}{\sin 45^\circ}$$

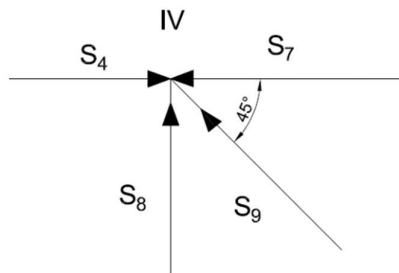
$$S_9 = 28047,28 \text{ N} = 28,05 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$S_4 - S_7 - S_9 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_7 = 126895,17 - 28047,28 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_7 = 107062,75 \text{ N} = 107,1 \text{ kN}$$



Slika 5.25.: Pratt rešetka - čvor IV

Iz ravnoteže čvora VII (slika 5.26.) slijedi:

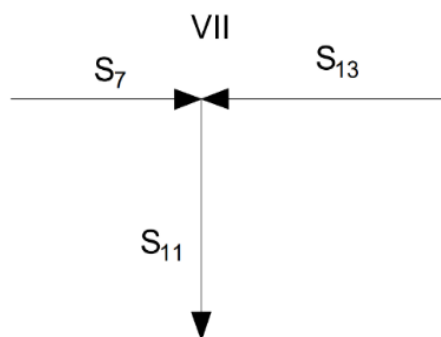
$$\sum F_x = 0$$

$$S_7 = S_{13}$$

$$S_{13} = 107062,75 \text{ N} = 107,1 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$S_{11} = 0$$



Slika 5.26.: Pratt rešetka - čvor VII

Iz ravnoteže čvora VI (slika 5.27.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{11} - \frac{1}{2}F_4 - S_{14} \cdot \sin 45^\circ - S_9 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$S_{14} = \frac{-0,5 \cdot 6152 - 28047,28 \cdot \sin 45^\circ}{\sin 45^\circ}$$

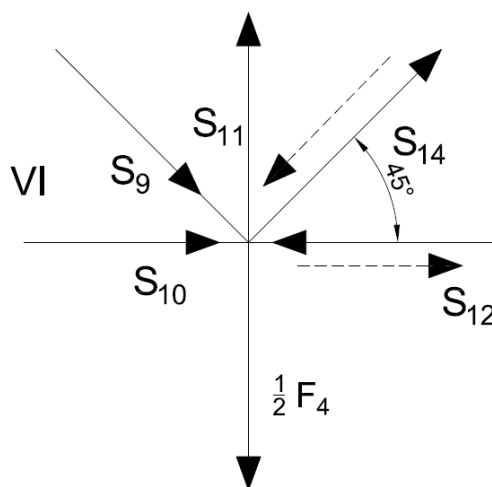
$$S_{14} = -32397,4 \text{ N} = -32,4 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{12} + S_9 \cdot \cos 45^\circ + S_{10} - S_{14} \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{12} = -126895,18 + 28047,28 \cdot \cos 45^\circ + 32397,4 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_{12} = -84154,34 \text{ N} = -84,15 \text{ kN}$$



Slika 5.27.: Pratt rešetka - čvor VI



Iz ravnoteže čvora IX (slika 5.28.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{15} + S_{14} \cdot \sin 45^\circ = 0$$

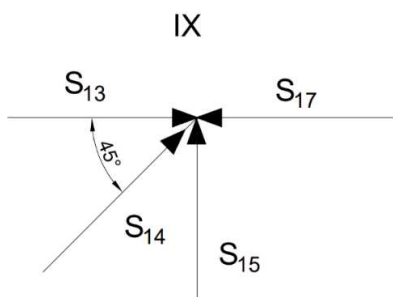
$$S_{15} = 22908,42 \text{ N} = 22,91 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{13} - S_{17} + S_{14} \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{17} = 107062,75 + 32397,4 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_{17} = 84154,33 \text{ N} = 84,15 \text{ kN}$$



Slika 5.28.: Pratt rešetka - čvor IX

Iz ravnoteže čvora VIII (slika 5.29.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-S_{18} \cdot \sin 45^\circ - \frac{1}{2} F_5 - S_{15} = 0$$

$$S_{18} = \frac{-222908,40 - 0,5 \cdot 5710}{\sin 45^\circ}$$

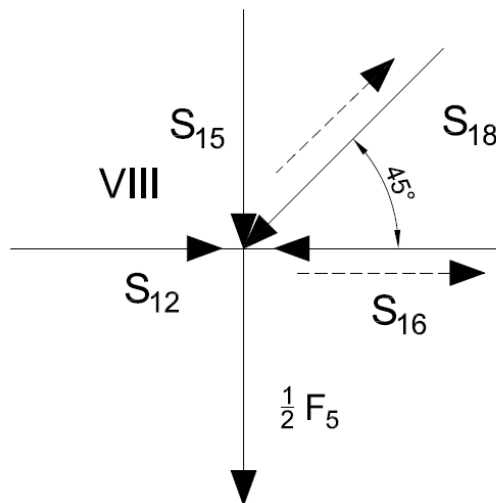
$$S_{18} = -36434,98 \text{ N} = -36,43 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{18} \cdot \cos 45^\circ + S_{12} - S_{16} = 0$$

$$S_{16} = -84154,34 + 36434,98 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_{16} = -58390,92 \text{ N} = -58,39 \text{ kN}$$



Slika 5.29.: Pratt rešetka - čvor VIII

Iz ravnoteže čvora X (slika 5.30.) slijedi:

$$\sum F_x = 0$$

$$-S_{16} - S_{20} = 0$$

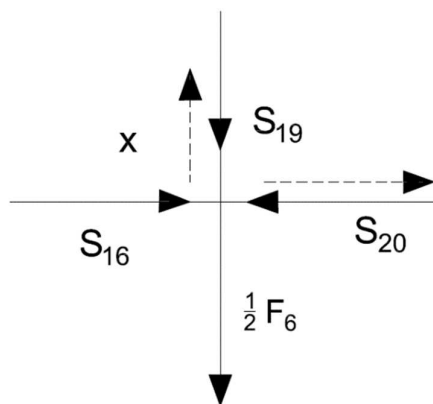
$$S_{20} = 58390,92 \text{ N} = 58,39 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-S_{19} - \frac{1}{2}F_6 = 0$$

$$S_{19} = -0,5 \cdot 65255$$

$$S_{19} = -32627,5 \text{ N} = -32,63 \text{ kN}$$



Slika 5.30.: Pratt rešetka - čvor X

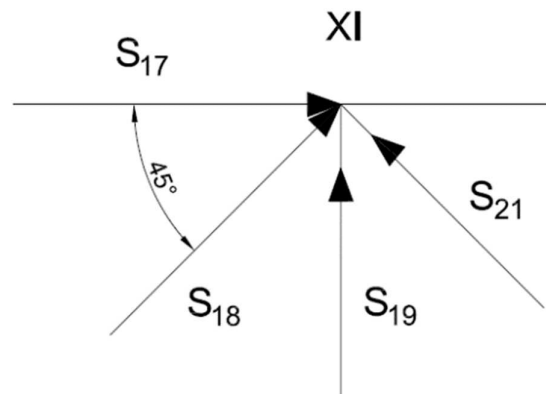
Iz ravnoteže čvora XI (slika 5.31.) slijedi:

$$\sum F_x = 0$$

$$-S_{21} \cdot \cos 45^\circ + S_{17} + S_{18} \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$S_{21} = \frac{84154,33 - 36434,98 \cdot \cos 45^\circ}{\cos 45^\circ}$$

$$S_{21} = 82577,21 \text{ N} = 82,58 \text{ kN}$$



Slika 5.31: Pratt rešetka - čvor XI

Tablica 5.2. prikazuje sile dobivene u proračunu za Pratt tip rešetke.

Tablica 5.2.: Sile u štapovima Pratt rešetke

Štap	Sile u štapovima [kN]	Opterećenje
$S_1$	-69,28	tlak
$S_2$	97,97	vlak
$S_3$	-11,66	tlak
$S_4$	126,89	vlak
$S_5$	-81,48	tlak
$S_6$	-69,28	tlak
$S_7$	107,06	vlak
$S_8$	-19,83	tlak
$S_9$	28,05	vlak
$S_{10}$	-126,89	tlak
$S_{11}$	0	vlak
$S_{12}$	-84,15	tlak
$S_{13}$	107,06	vlak
$S_{14}$	-32,4	tlak
$S_{15}$	22,91	vlak
$S_{16}$	58,39	vlak
$S_{17}$	84,15	vlak
$S_{18}$	-36,43	tlak
$S_{19}$	-32,63	tlak
$S_{20}$	58,39	vlak
$S_{21}$	82,58	vlak

### 5.2.5 Provjera dimenzija

#### Aksijalno opterećenje

Provjeravamo aksijalno najopterećeniji štap te da li je zadovoljen kriterij čvrstoće.

Štapovi su izrađeni od čelika S235JR, kao i u primjeru Howe rešetke.

Koristi se HE 320 A profil (slika 5.1.)

Dimenzije HE 320 A profila:

$$A = 124,4 \text{ cm}^2 = 12440 \text{ mm}^2$$

$$h = 310 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 9 \text{ mm}$$

$$t_f = 15,5 \text{ mm}$$

Geometrijske karakteristike[4]:

- minimalni moment inercije:  $I_{min} = 6985 \text{ cm}^4$

- masa:  $m = 97,7 \text{ kg/m}$

Štap  $S_4$  je najopterećeniji,  $S_4 = 126895,18 \text{ N}$

$$\sigma = \frac{S_4}{A} = \frac{126895,18}{12440} = 10,2 \text{ MPa}$$

Zadovoljen je kriterij čvrstoće:

$$\sigma = \frac{S_4}{A} \leq \sigma_{dop}$$

#### 5.2.6. Izvijanje štapa

Također ćemo izvršiti provjeru štapa na kojeg djeluje najveća tlačna aksijalna sila.

Najveća tlačna sila je  $S_{10}$ ,  $S_{10} = 126895,18 \text{ N}$

$$l_{10} = 3000 \text{ mm}$$

Kako bi konstrukcija ostala stabilna i štap se zadržao u elastičnom području potrebno je zadovoljiti:

$$S_{10} \leq F_{kr}$$

S obzirom na da štap zglobno vezan za oba svoja kraja, koristimo izraz:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{min}}{l_{10}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6985 \cdot 10^{-8}}{3^2} = 16085810,24 \text{ N}$$

Kritična sila premašuje silu  $S_{10}$  te je kriterij zadovoljen.

Za kraj treba provjeriti da li je izvijanje štapa u granicama elastičnog područja, dakle treba se zadovoljiti uvjet:

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_v}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{235}} = 93,91$$

$$\lambda = l_{10} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_{min}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{12440 \cdot 10^{-6}}{6985 \cdot 10^{-8}}} = 40,04$$

Kao kod proračuna izvijanja Howe rešetke gdje je  $\sigma_{kr} > \sigma_v$  izvijanje je zanemareno.

Ukupna masa Pratt rešetkaste konstrukcije

Ukupna duljina svih štapova konstrukcije:

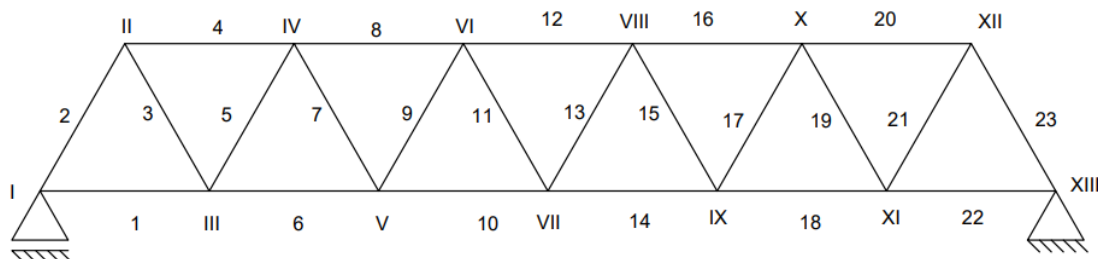
$$l_{uk} = l_1 + l_2 + \dots + l_{21} = 70458 \text{ mm}$$

Ukupna težina konstrukcije:

$$m_k = m \cdot l_{uk} = 97,7 \cdot 70,458 = 6883,7 \text{ kg}$$

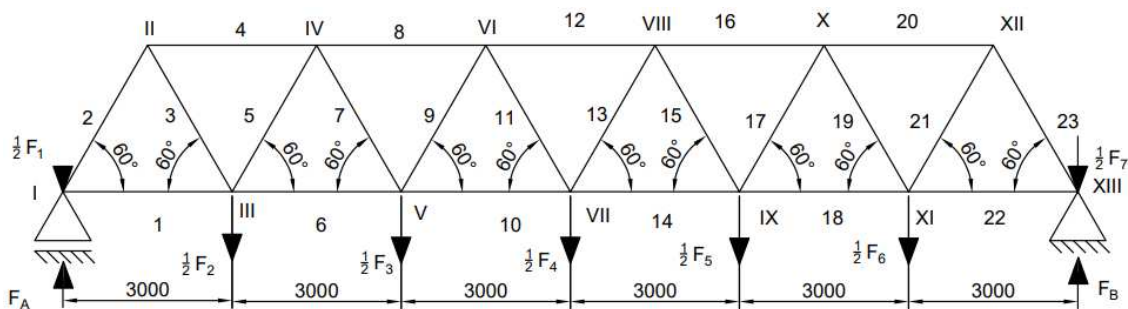
### 5.3 Warren tip rešetke

Warren tip rešetkaste konstrukcije sastoji se od jednakostraničnih trokuta, odnosno 23 štapa. Nosači konstrukcije povezani su s jedne strane na pomični, a s druge na nepomični oslonac (slika 5.32.).



Slika 5.32.: Warren rešetka sa oznakama štapova i čvorova

#### 5.3.1 Zadani podaci



Slika 5.33.: Warren rešetka s opterećenjima

Za Warren rešetku opterećenu kao na slici 5.33. zadani podaci su:

$$F_1 = 60,067 \text{ kN}$$

$$F_5 = 5,71 \text{ kN}$$

$$F_2 = 23,32 \text{ kN}$$

$$F_6 = 65,255 \text{ kN}$$

$$F_3 = 154,9 \text{ kN}$$

$$F_7 = 114,536 \text{ kN}$$

$$F_4 = 6,152 \text{ kN}$$

$$l_1 = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

#### 5.3.2 Duljine štapova

Warren tip rešetkaste konstrukcije čine jednakostranični trokuti te su duljine svih štapova jednake, odnosno  $l = 3 \text{ m}$ .

## 5.3.3 Reakcije u osloncima

$\Sigma M_{\text{čvor XII}} = 0$  – pozitivno u smjeru kazaljke na satu

$$F_A \cdot 18 - \frac{1}{2} F_1 \cdot 18 - \frac{1}{2} F_2 \cdot 15 - \frac{1}{2} F_3 \cdot 12 - \frac{1}{2} F_4 \cdot 9 - \frac{1}{2} F_5 \cdot 6 - \frac{1}{2} F_6 \cdot 3 = 0$$

$$F_A = \frac{9 \cdot 60067 + 7,5 \cdot 23320 + 6 \cdot 154900 + 4,5 \cdot 6152 + 3 \cdot 5710 + 1,5 \cdot 65255}{18000}$$

$$F_A = 99311,08 \text{ N} = 99,311 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_A - \frac{1}{2} F_1 - \frac{1}{2} F_2 - \frac{1}{2} F_3 - \frac{1}{2} F_4 - \frac{1}{2} F_5 - \frac{1}{2} F_6 - \frac{1}{2} F_7 + F_{BY} = 0$$

$$F_{BY} = \frac{1}{2} F_1 + \frac{1}{2} F_2 + \frac{1}{2} F_3 + \frac{1}{2} F_4 + \frac{1}{2} F_5 + \frac{1}{2} F_6 + \frac{1}{2} F_7 - F_A$$

$$F_{BY} = 0,5 \cdot 60067 + 0,5 \cdot 23320 + 0,5 \cdot 154900 + 0,5 \cdot 6152 + 0,5 \cdot 5710 + 0,5 \cdot 65255 +$$

$$0,5 \cdot 114536 - 99311,08$$

$$F_{BY} = F_B = 115658,92 \text{ N} = 115,659 \text{ kN}$$

## 5.3.4 Unutarnje sile u štapovima

Iz ravnoteže čvor I (slika 5.34.) slijedi:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_A - \frac{1}{2} F_1 + S_2 \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_2 = \frac{0,5 \cdot 60067 - 99311,08}{\sin 60^\circ}$$

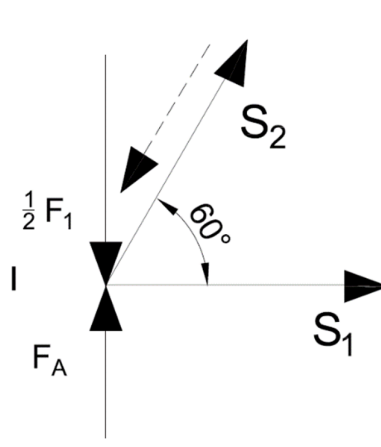
$$S_2 = -80000 \text{ N} = -80 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$S_1 + S_2 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_1 = 40000 \text{ N} = 40 \text{ kN}$$





Slika 5.34.: Warren rešetka - čvor I

Iz ravnoteže čvora II (slika 5.35.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$- S_2 \cdot \sin 60^\circ - S_3 \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_3 = - S_2$$

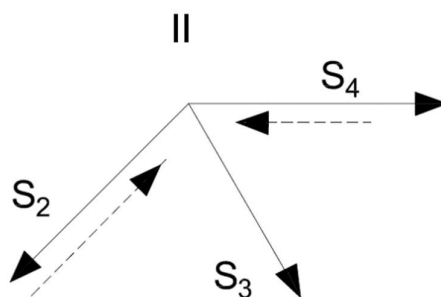
$$S_3 = 80000 \text{ N} = 80 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_4 - S_2 \cdot \cos 60^\circ + S_3 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_4 = S_2 \cdot \cos 60^\circ - S_3 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_4 = - 80000 \text{ N} = -80 \text{ kN}$$



Slika 5.35.: Warren rešetka - čvor II

Iz ravnoteže čvora III (slika 5.36.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-\frac{1}{2} F_2 + S_3 \cdot \sin 60^\circ + S_5 \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_5 \cdot \sin 60^\circ = -\frac{1}{2} F_2 + S_3 \cdot \sin 60^\circ$$

$$S_5 = \frac{80000 \cdot \sin 60^\circ - 0,5 \cdot 23320}{\sin 60^\circ}$$

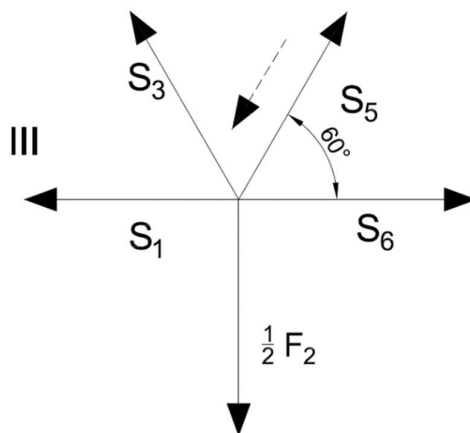
$$S_5 = -66536,2 \text{ N} = -66,53 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_1 + S_6 + S_3 \cdot \cos 60^\circ + S_5 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_6 = 40000 + 80000 \cdot \cos 60^\circ + 66536,2 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_6 = 113268,1 \text{ N} = 113,28 \text{ kN}$$



Slika 5.36.: Warren rešetka - čvor III

Iz ravnoteže čvora IV (slika 5.37.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-S_5 \cdot \sin 60^\circ - S_7 \cdot \sin 60^\circ = 0$$

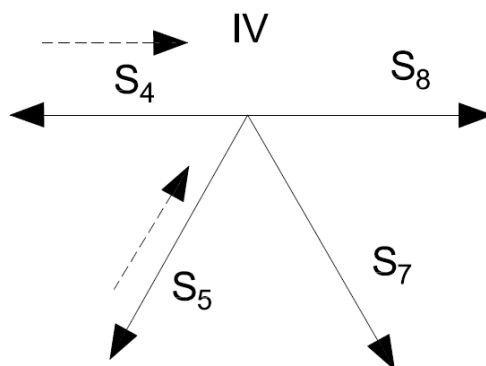
$$S_7 = 66536,2 \text{ N} = 66,53 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_4 + S_8 - S_5 \cdot \cos 60^\circ + S_7 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_8 = -80000 - 66536,2 \cdot \cos 60^\circ - 66536,2 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_8 = -146536,2 \text{ N} = -146,62 \text{ kN}$$



Slika 5.37.: Warren rešetka - čvor IV

Iz ravnoteže čvora V (slika 5.38.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-\frac{1}{2} F_3 + S_7 \cdot \sin 60^\circ + S_9 \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_9 = \frac{0,5 \cdot 154900 - 66536,2 \cdot \sin 60^\circ}{\sin 60^\circ}$$

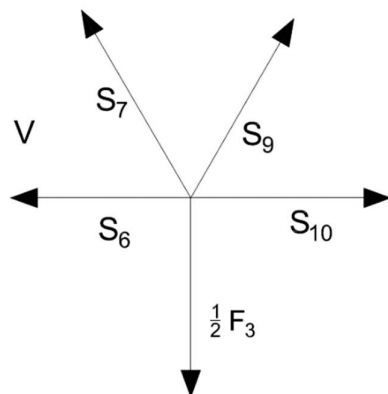
$$S_9 = 22895,36 \text{ N} = 22,9 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_6 + S_{10} - S_7 \cdot \cos 60^\circ + S_9 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{10} = 113268,1 + 66536,2 \cdot \cos 60^\circ - 22895,36 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_{10} = 135088,52 \text{ N} = 135,08 \text{ kN}$$



Slika 5.38.: Warren rešetka - čvor V

Iz ravnoteže čvora VI (slika 5.39.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$- S_9 \cdot \sin 60^\circ - S_{11} \cdot \sin 60^\circ = 0$$

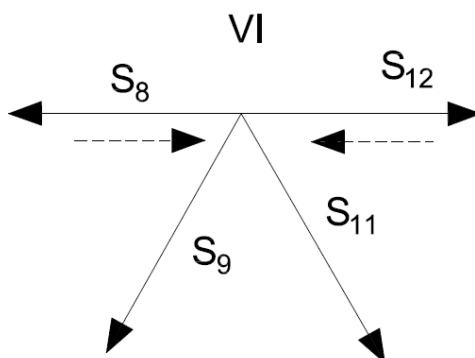
$$S_{11} = - 22895,36 \text{ N} = - 22,36 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$- S_8 + S_{12} - S_9 \cdot \cos 60^\circ + S_{11} \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{12} = -146536,2 + 22895,36 \cdot \cos 60^\circ + 22895,36 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_{12} = - 123640,84 \text{ N} = - 123,64 \text{ kN}$$



Slika 5.39.: Warren rešetka - čvor VI

Iz ravnoteže čvora VII (slika 5.40.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-\frac{1}{2}F_4 + S_{11} \cdot \sin 60^\circ + S_{13} \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_{13} = \frac{\frac{1}{2}F_4 - S_{11} \cdot \sin 60^\circ}{\sin 60^\circ}$$

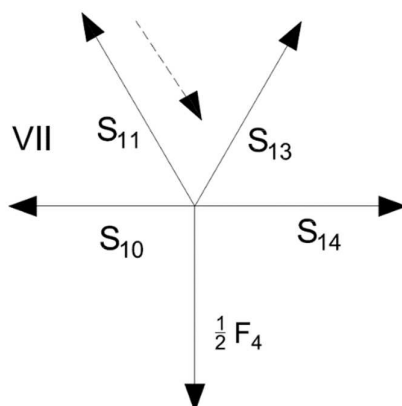
$$S_{13} = 26447,22 \text{ N} = 26,45 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{10} + S_{14} - S_{11} \cdot \cos 60^\circ + S_{13} \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{14} = 135088,52 - 22895,36 \cdot \cos 60^\circ - 26447,22 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_{14} = 110417,23 \text{ N} = 110,4 \text{ kN}$$



Slika 5.40.: Warren rešetka - čvor VII

Iz ravnoteže čvora VIII (slika 5.41.) slijedi:

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{13} \cdot \sin 60^\circ - S_{15} \cdot \sin 60^\circ = 0$$

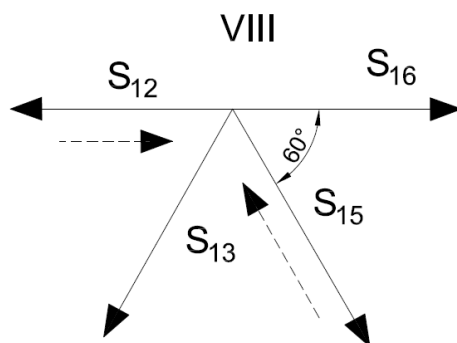
$$S_{15} = -26447,22 \text{ N} = -26,45 \text{ kN}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$-S_{12} + S_{16} - S_{13} \cdot \cos 60^\circ + S_{15} \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{16} = -123640,84 + 26447,22 \cdot \cos 60^\circ + 26447,22 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_{16} = -97193,62 \text{ N} = -97,19 \text{ kN}$$



Slika 5.41.: Warren rešetka - čvor VIII

Iz ravnoteže čvora XIII (slika 5.42.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-\frac{1}{2}F_7 + S_{23} \cdot \sin 60^\circ + F_B = 0$$

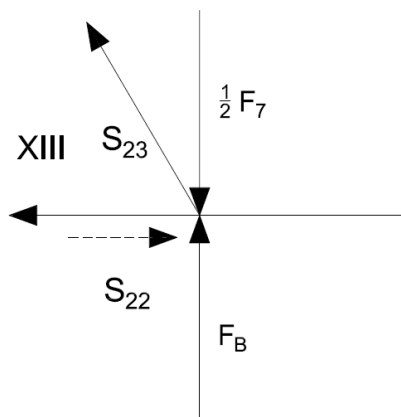
$$S_{23} = \frac{0,5 \cdot 114536 - 115658,92}{\sin 60^\circ}$$

$$S_{23} = -67424,03 \text{ N} = -67,42 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{22} - S_{23} \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{22} = 33712,015 \text{ N} = 33,71 \text{ kN}$$



Slika 5.42.: Warren rešetka - čvor XIII

Iz ravnoteže čvora XII (slika 5.43.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{21} \cdot \sin 60^\circ + S_{23} \cdot \sin 60^\circ = 0$$

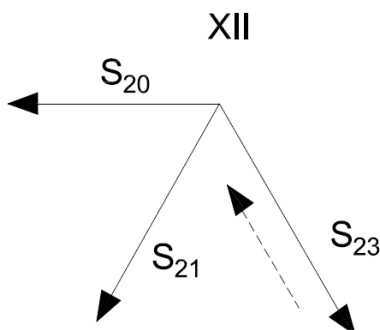
$$S_{21} = 67424,03 \text{ N} = 67,42 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{20} - S_{21} \cdot \cos 60^\circ + S_{23} \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{20} = -67424,03 \cdot \cos 60^\circ - 67424,03 \cdot \cos 60^\circ$$

$$S_{20} = -67424,03 \text{ N} = -67,42 \text{ kN}$$



Slika 5.43.: Warren rešetka - čvor XII

Iz ravnoteže čvora XI (slika 5.44.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-\frac{1}{2}F_6 + S_{19} \cdot \sin 60^\circ + S_{21} \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_{19} = \frac{0,5 \cdot 65255 - 67424,03 \cdot \sin 60^\circ}{\sin 60^\circ}$$

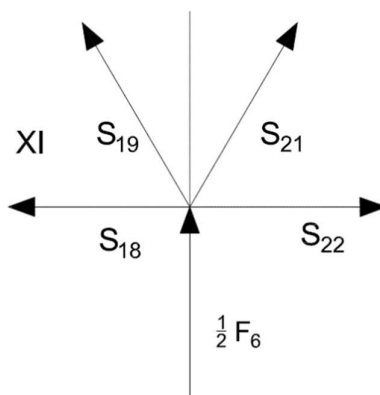
$$S_{19} = -29749,04 \text{ N} = -29,75 \text{ kN}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-S_{18} + S_{22} - S_{19} \cdot \cos 60^\circ + S_{21} \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$S_{18} = 29749,04 \cdot \cos 60^\circ + 67424,03 \cdot \cos 60^\circ + 33712,015$$

$$S_{18} = 82298,55 \text{ N} = 82,29 \text{ kN}$$



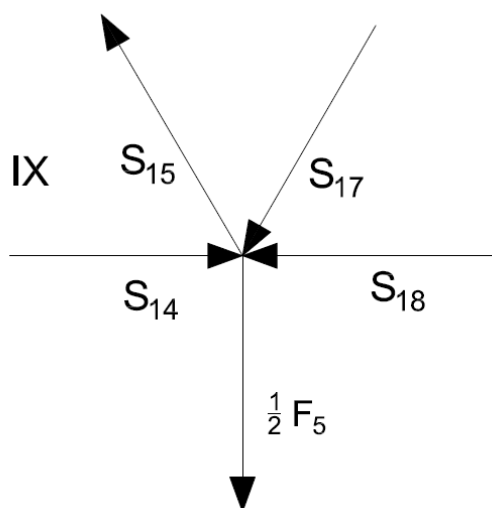
Slika 5.44.: Warren rešetka - čvor XI

Iz ravnoteže čvora IX (slika 5.45.) slijedi:

$$\sum F_Y = 0$$

$$-\frac{1}{2}F_5 + S_{15} \cdot \sin 60^\circ + S_{17} \cdot \sin 60^\circ = 0$$

$$S_{17} = 29743,9 \text{ N} = 29,74 \text{ kN}$$



Slika 5.45.: Warren rešetka - čvor IX

Tablica 5.3. prikazuje sile dobivene u proračunu iznad za Warren tip rešetke.



Tablica 5.3.: Sile u štapovima Warren rešetke

Štap	Sile u štapovima [kN]	Opterećenje
$S_1$	40	vlak
$S_2$	-80	tlak
$S_3$	80	vlak
$S_4$	-80	tlak
$S_5$	-66,53	tlak
$S_6$	113,26	vlak
$S_7$	66,53	vlak
$S_8$	-146,53	tlak
$S_9$	22,90	vlak
$S_{10}$	135,08	vlak
$S_{11}$	-22,90	tlak
$S_{12}$	-123,63	tlak
$S_{13}$	26,45	vlak
$S_{14}$	110,40	vlak
$S_{15}$	-26,45	tlak
$S_{16}$	-97,17	tlak
$S_{17}$	29,74	vlak
$S_{18}$	82,30	vlak
$S_{19}$	-29,75	tlak
$S_{20}$	-67,42	tlak
$S_{21}$	67,42	vlak
$S_{22}$	33,71	vlak
$S_{23}$	-67,42	tlak

### 5.3.5 Provjera dimenzija

#### Aksijalno opterećenje

U ovom dijelu provjeravamo aksijalno najopterećeniji štap te da li je zadovoljen kriterij čvrstoće.

Štapovi su izrađeni od čelika S235JR, kao i u primjerima iznad te njihova mehanička svojstva jednaka gore navedenom [3].

Koristi se HE 340 A profil

$$A = 133,5 \text{ cm}^2$$

$$h = 330 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 9,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 16,5 \text{ mm}$$

Geometrijske karakteristike[4]:

- minimalni moment inercije:  $I_{min} = 7436 \text{ cm}^4$

- masa:  $m = 104,8 \text{ kg/m}$

Štap  $S_{10}$  je najopterećeniji štap,  $S_{10} = 135088,52 \text{ N}$

$$\sigma = \frac{S_{10}}{A} = \frac{135088,52}{13350} = 10,12 \text{ MPa}$$

Zadovoljen je kriterij čvrstoće:

$$\sigma = \frac{S_{10}}{A} \leq \sigma_{dop}$$

#### 5.17.2 Izvijanje štapa

Također ćemo izvršiti provjeru štapa na kojeg djeluje najveća tlačna aksijalna sila.

Najveća tlačna sila je  $S_{12} = 123640,84 \text{ N}$

$$l_{12} = 3 \text{ m}$$

Kako bi konstrukcija ostala stabilna i štap se zadržao u elastičnom području potrebno je zadovoljiti:

$$S_{12} \leq F_{kr}$$

S obzirom na da štap zglobno vezan za oba svoja kraja, koristimo izraz:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{min}}{l_{12}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7436 \cdot 10^{-8}}{3^2} = 17124421,61 \text{ N}$$

Kritična sila premašuje silu  $S_{12}$  te je kriterij zadovoljen.

Za kraj treba provjeriti da li je izvijanje štapa u granicama elastičnog područja, dakle treba se zadovoljiti uvjet:

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_v}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{235}} = 93,91$$

$$\lambda = l_4 \cdot \sqrt{\frac{A}{I_{min}}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{13350 \cdot 10^{-6}}{7436 \cdot 10^{-8}}} = 40,2$$

Kao kod proračuna izvijanja Howe rešetke gdje je  $\sigma_{kr} > \sigma_v$ , izvijanje je također zanemareno

Ukupna masa Warren rešetkaste konstrukcije

Ukupna duljina svih štapova konstrukcije:

$$l_{uk} = l_1 + l_2 + \dots + l_{23} = 69000 \text{ mm} = 69 \text{ m}$$

Ukupna težina konstrukcije:

$$m_k = m \cdot l_{uk} = 104,8 \cdot 69 = 7231,2 \text{ kg}$$

## 6. ZAKLJUČAK

U završnom radu izvršen je izračun triju rešetkastih konstrukcija opterećenih istim opterećenjem, Howe, Pratt i Warren. Proračunom su izračunate reakcije u osloncima i definirana opterećenja koja utječu na konstrukciju. Za sva tri tipa rešetkastih konstrukcija proizvoljno su izabrani čelični profili i njihova svojstva zadovoljavaju opterećenja koja na njih djeluju.

Kako bi se olakšao proračun, sve tri konstrukcije rastavljene su na štapove te vanjske sile reducirane u čvorove. Štap koji je opterećen najvećom aksijalnom silom uzet je i prema njemu su usvojene dimenzije za sve ostale štapove. Izvijanje, odnosno sekundarna deformacija javlja se kod štapova na koje djeluje tlačna aksijalna sila. Zbog stabilnosti konstrukcije provjerene su dimenzije i tih štapova s obzirom na pojavu izvijanja. Za sva tri tipa rešetkaste konstrukcije aksijalno najopterećeniji štap zadovoljava kriterij čvrstoće.

Za kraj izračunata je i masa rešetkaste konstrukcije za sva tri tipa rešetkaste konstrukcije. Howe tip rešetkaste konstrukcije je najteža i za nju se koristi najveći profil te njegova izrada ne bi bila ekonomična. Također zbog njegove složene konstrukcije potrebno mu je dulje vrijeme izgradnje, što je slučaj i kod Pratt tipa rešetkaste konstrukcije. Pratt tip rešetkaste konstrukcije čine dijagonalni elementi koji se za razliku od Howe tipa spuštaju prema sredini. Masa njegove konstrukcije je najlakša te se potreban i najmanji profil, ali s obzirom na dulje vrijeme izgradnje ne bi se pokazao ako najbolje rješenje. Warren tip rešetkaste konstrukcije po masi i veličini profila nalazi se između prethodna dva. S obzirom na njegovu konstrukciju može podnijeti velika opterećenja, te zbog brze i jednostavne izgradnje on bi bio najbolji izbor.

## LITERATURA

- [1] Krščanski, S.: „Aksijalno opterećenje“, Čvrstoća I, predavanje, 12.03.2021.
- [2] Brnić, J.: „Statika“, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2004.
- [3] Brnić, J., Turkalj, G.: „Nauka o čvrstoći I“, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2004.
- [4] <https://www.dlubal.com/en/cross-section-properties/he-360-a-euronorm-53-62-arcelormittal-2011>, kolovoz 2023.

**POPIS SLIKA**

- Slika 2.1.: Rešetkasti nosač
- Slika 3.1.: Aksijalno naprezanje
- Slika 3.2.: Unutarnje sile aksijalno opterećenog tijela
- Slika 4.1.: Ravnoteža elastičnog tijela
- Slika 4.2.: Ovisnost kritičnog naprezanja o vitkosti štapa
- Slika 5.1.: Howe tip rešetke
- Slika 5.2.: Pratt tip rešetke
- Slika 5.3.: Warren tip rešetke
- Slika 5.4.: Howe rešetka s oznakama štapova i čvorova
- Slika 5.5.: Howe rešetka s opterećenjima
- Slika 5.6.: Štap  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$
- Slika 5.7.: Howe rešetka - čvor I
- Slika 5.8.: Howe rešetka - čvor II
- Slika 5.9.: Howe rešetka - čvor III
- Slika 5.10.: Howe rešetka - čvor IV
- Slika 5.11.: Howe rešetka - čvor V
- Slika 5.12.: Howe rešetka - čvor VI
- Slika 5.13.: Howe rešetka - čvor VII
- Slika 5.14.: Howe rešetka - čvor VIII
- Slika 5.15.: Howe rešetka - čvor IX
- Slika 5.16.: Howe rešetka - čvor X
- Slika 5.17.: Howe rešetka - čvor XI
- Slika 5.18.: HE profil
- Slika 5.19.: Pratt rešetka s oznakama štapova i čvorova
- Slika 5.20.: Pratt rešetka s opterećenjima
- Slika 5.21.: Pratt rešetka - čvor I
- Slika 5.22.: Pratt rešetka - čvor III
- Slika 5.23.: Pratt rešetka - čvor II
- Slika 5.24.: Pratt rešetka - čvor V
- Slika 5.25.: Pratt rešetka - čvor IV
- Slika 5.26.: Pratt rešetka - čvor VII
- Slika 5.27.: Pratt rešetka - čvor VI

- Slika 5.28.: Pratt rešetka - čvor IX
- Slika 5.29.: Pratt rešetka - čvor VIII
- Slika 5.30.: Pratt rešetka - čvor X
- Slika 5.31.: Pratt rešetka - čvor XI
- Slika 5.32.: Warren rešetka s oznakama štapova i čvorova
- Slika 5.33.: Warren rešetka s opterećenjima
- Slika 5.34.: Warren rešetka – čvor I
- Slika 5.35.: Warren rešetka - čvor II
- Slika 5.36.: Warren rešetka - čvor III
- Slika 5.37.: Warren rešetka - čvor IV
- Slika 5.38.: Warren rešetka - čvor V
- Slika 5.39.: Warren rešetka - čvor VI
- Slika 5.40.: Warren rešetka - čvor VII
- Slika 5.41.: Warren rešetka - čvor VIII
- Slika 5.42.: Warren rešetka - čvor XIII
- Slika 5.43.: Warren rešetka - čvor XII
- Slika 5.44.: Warren rešetka - čvor XI
- Slika 5.45.: Warren rešetka - čvor IX

## POPIS TABLICA

Tablica 4.1.: Tetmajerovi izrazi

Tablica 5.1.: Sile u štapovima Howe rešetke

Tablica 5.2.: Sile u štapovima Pratt rešetke

Tablica 5.3.: Sile u štapovima Warren rešetke



**Analiza statičkih opterećenja rešetkaste konstrukcije****Sažetak**

U ovom završnom radu izvršen je proračun statike tri tipa rešetkastog nosača prema zadanim opterećenjima. Određene su sile u elementima i reakcije na mjestima oslanjanja nosača. Za sva tri tipa rešetkastih nosača provjerene su dimenzije poprečnog presjeka najopterećenijeg elementa te je provjerena stabilnost na izvijanje za tlačno najopterećeniji element.

**Ključne riječi:**

rešetkasti nosač, opterećenja rešetkastog nosača, sile u štapovima, dimenzioniranje, izvijanje

**Analysis of static loads of a truss structure****Abstract:**

In this final work, statics calculation of three types of trusses was performed according to the given loads. Forces acting on the elements and the reactions at the support points of the supports were determined. For all three types of trusses, the cross-sectional dimensions of the most heavily loaded element were checked, and the buckling stability of the most compressively loaded element was also checked.

**Keywords:**

truss, truss loads, forces in rods, dimensioning, buckling