

# Jednostavni rešetkasti nosači

---

**Radić, Iva**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:261925>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-24**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Iva Radić

# JEDNOSTAVNI REŠETKASTI NOSAČI

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Iva Radić

# **JEDNOSTAVNI REŠETKASTI NOSAČI**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentorica: izv.prof.dr.sc. Marta Šavor Novak

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Iva Radić

## **SIMPLE TRUSS GIRDERS**

FINAL EXAM

Supervisor: izv.prof.dr.sc. Marta Šavor Novak

Zagreb, 2024.

## SAŽETAK

Jednostavni rešetkasti nosači su osnovni tipovi rešetkastih konstrukcija. Sastoje se od zglobnih štapova ili elemenata povezanih u obliku rešetke ili pak mreže. Ključna karakteristika jednostavnih rešetkastih nosača je ta da se opterećenja prenose isključivo uzduž štapova. U uvodom dijelu rada opisane su karakteristike jednostavnih rešetkastih nosača, način njihove izrade te uvjeti statičke određenosti i geometrijske nepromjenjivosti. Kao nastavak na to opisani su tipovi rešetkastih nosača s obzirom na položaj štapova u prostoru te su prikazane razlike ravninskih i prostornih rešetki. U građevinarstvu imamo široku primjenu jednostavnih rešetkastih nosača (npr. rešetkasti gredni mostovi, hale, inženjerske konstrukcije). Nadalje opisan je proračun jednostavnih rešetkastih nosača koji može biti analitički, grafički i grafoanalitički. Objasnjena je metoda čvorova i metoda presjeka, Culmannova i Ritterova metoda. Na samom kraju rada riješen je i numerički primjer.

Ključne riječi: jednostavni rešetkasti nosači, uzdužna sila, analitički i grafički postupak

## SUMMARY

Simple truss structures are fundamental types of truss constructions. They consist of jointed rods or elements connected in the form of a lattice or a grid. The key characteristic of simple trusses is that loads are transmitted exclusively along the rods. In the introductory section of the paper, the characteristics of simple trusses, the method of their construction, and the conditions of static determinacy and geometric invariability are described. Following this, the types of trusses are described concerning the positioning of the rods in space, and the differences between planar and spatial trusses are presented. Simple trusses have wide applications in construction (e.g., truss girder bridges, halls, engineering structures). Furthermore, the calculation of simple trusses, which can be analytical, graphical, or combined, is described. The method of joints and the method of sections, Culmann's and Ritter's methods are explained. At the very end of the paper, a numerical example is solved.

Key words: simple trusses, axial force, analytical and graphical methods

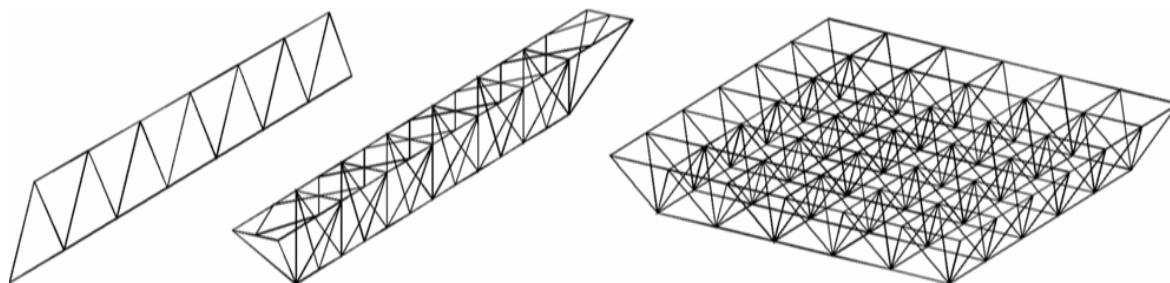
---

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ii</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. DEFINICIJA JEDNOSTAVNIH REŠETKASTIH NOSAČA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. TIPOVI REŠETKASTIH NOSAČA</b> .....	<b>6</b>
3.1. Rešetkaste konstrukcije u ravni .....	6
3.1.1. Rešetkaste konstrukcije u prostoru .....	8
<b>4. PRIMJENA JEDNOSTAVNIH REŠETKASTIH NOSAČA</b> .....	<b>10</b>
<b>5. PRORAČUN REŠETASTIH NOSAČA</b> .....	<b>13</b>
5.1. Metoda čvorova .....	14
5.1.1. Metoda presjeka .....	16
5.1.1.1. Culmannova metoda .....	17
5.1.1.1.1. Ritterov postupak.....	20
<b>6. NUMERIČKI PRIMJER</b> .....	<b>22</b>
6.1. Reakcije .....	23
6.1.1. Rješavanje čvorova .....	24
6.1.1.1. Skica stvarnih djelovanja .....	45
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>46</b>
<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>47</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>48</b>

## 1. UVOD

Rešetkaste konstrukcije sastoje se od niza ravnih štapova čiji su krajevi međusobno povezani u čvorovima. Kod pravih rešetkastih sustava, osnovni nosivi elementi su samo štapovi, što znači da su sve veze u čvorovima rešetkastih sustava zglobne. Štapove u rešetkastim konstrukcijama karakterizira to što je jedna dimenzija, radi se o duljini, znatno veća od druge dvije (širine i visine), koje se mogu zanemariti u proračunu bez utjecaja na konačni rezultat [1]. U skupinu nosivih štapnih konstrukcija ubrajaju se ravninski i prostorni rešetkasti nosači, okviri, grede i drugi. Podjela nosivih štapnih konstrukcija prema geometriji odvija se na ravninske i prostorne konstrukcije. Glavna razlika između istih je to što kod ravninskih konstrukcija svi sastavni elementi leže u jednoj ravnini, dok prostorne konstrukcije uključuju elemente smještene u različitim ravninama, stvarajući tako prostornu strukturu. Također razlika još može biti i u opterećenju jer je moguće imati sustav u ravnini a opterećenje izvan ravnine pa bi se to moralo analizirati kao prostorna konstrukcija. Na slici 1. prikazane su ravninske i prostorne rešetkaste konstrukcije.



Slika 1. Prikaz ravninskih i prostornih rešetkastih konstrukcija [5]

Rešetkasti nosači dobiveni su kao rezultat formiranja nosača sa što manjim utroškom materijala. Zahvaljujući tome, rešetkasti nosači su često povoljniji od punih i saćastih nosača. Njihova primjena je od velike važnosti u građevinarstvu i arhitekturi jer spadaju u tehničke konstrukcije s raznovrsnom primjenom. Kod metalnih konstrukcija rešetkasti nosači se vrlo često koriste za krovne i podne nosače, kranske dizalice (slika 2.) te industrijske hale (slika 3.) i mostogradnju (slika 4.).

Primjena rešetkastih konstrukcija za krovne nosače sve je češća, ne samo u industrijskim halama, već i u kongresnim dvoranama, sportskim dvoranama i izložbenim paviljonima. [2]



Danas postaje sve popularnija ugradnja rešetkastih nosača atraktivnog izgleda koji, osim svoje funkcionalnosti, postaju i sastavni dio interijera ne narušavajući arhitektonsku cjelinu.



Slika 2. Kranska dizalica [6]



Slika 3. Industrijska hala [7]

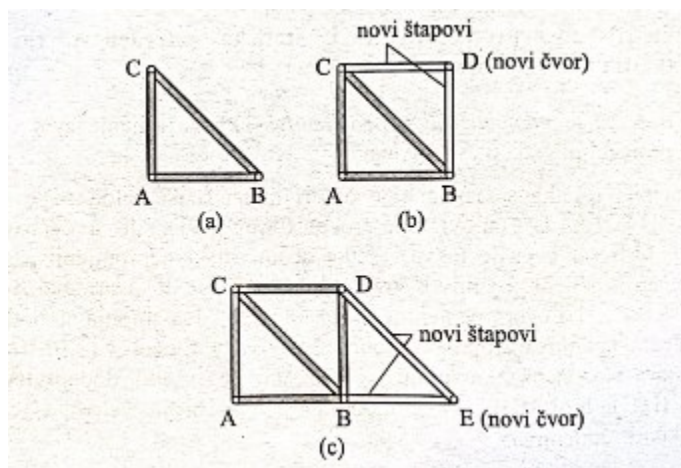


Slika 4. Rešetkasta konstrukcija u mostogradnji [8]

Cilj izrade i korištenja rešetkastih nosača je zadovoljiti potrebe za koje su izgrađeni, biti konkurentni na tržištu i održati svoju funkcionalnost i pouzdanost kroz duži vremenski period.

## 2. DEFINICIJA JEDNOSTAVNIH REŠETKASTIH NOSAČA

Jednostavni rešetkasti nosači definiraju se kao konstrukcijski sustavi sastavljeni od ravnih štapova ili elemenata čiji su krajevi međusobno povezani u čvorovima. Ako se takav sustav sastoji od dovoljnog broja štapova raspoređenih na odgovarajući način s dovoljnim brojem vanjskih veza, tada se naziva rešetkastim nosačem. Prilikom oblikovanja rešetkastih nosača najčešće se polazi od najjednostavnije strukture, koja je geometrijski nepromjenjiva figura sastavljena od štapova – trokuta. Trokut prikazuje početnu figuru koja se sastoji od tri ravna štapa i tri čvora. Dodavanjem svakog dodatnog čvora na trokut, koji je povezan s dva štapa, postupno se formira geometrijski nepromjenjivi rešetkasti disk. Rešetka koja nastaje na prethodno opisani način naziva se jednostavna rešetka. (slika 5.) [1].



Slika 5. Postupak nadograđivanja jednostavne rešetke [3]

Nadograđivanjem odnosno međusobnim spajanjem više jednostavnih rešetki dobivaju se složene rešetke. Važno je napomenuti da se složena rešetka ne može dobiti jednostavnim nadograđivanjem kao što je to prethodno objašnjeno. Da bi se osigurala geometrijska nepromjenjivost i statička određenost rešetkastog nosača, potrebno je imati dvostruko više

štapova od broja čvorova. Treba uzeti u obzir da broj štapova uključuje i ležajne veze pretvorene u odgovarajući broj štapova. Geometrijska nepromjenjivost i statička određenost provjeravaju se korištenjem kinematičkih i statičkih metoda. Analiza broja stupnjeva slobode koristi se za dokazivanje geometrijske nepromjenjivosti rešetkaste konstrukcije [3]. Broj stupnjeva slobode rešetkaste konstrukcije izračunava se korištenjem sljedećeg izraza:

$$s = 2n - \check{s} - L$$

gdje je:

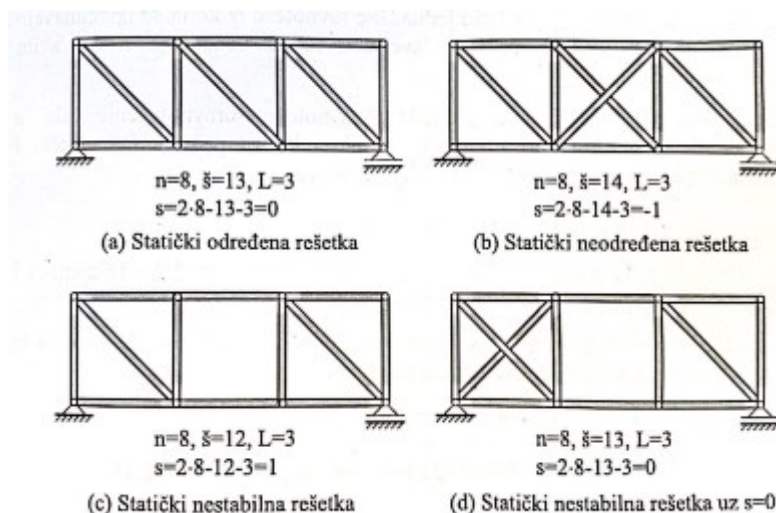
s – broj stupnjeva slobode rešetke vezane s podlogom

n – broj čvorova

š – broj štapova

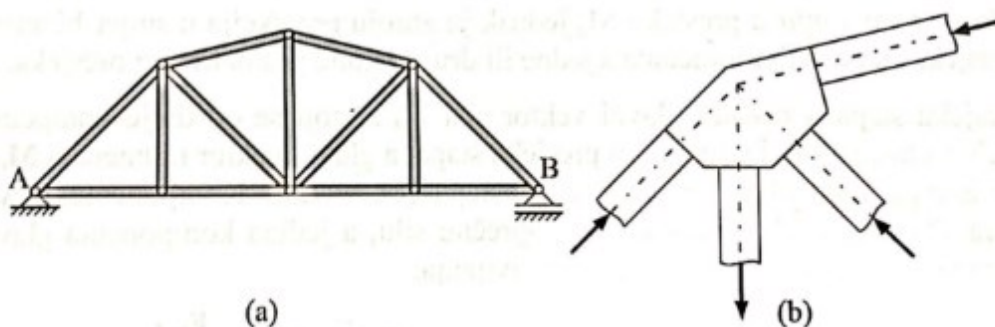
L – broj veza s podlogom.

Ako se nakon računanja dobije rezultat  $s=0$ , može se zaključiti da je rešetka statički određena tj. da ima minimalno potreban broj veza. Još jedan mogući rezultat je  $s<0$ , što znači da je rešetka statički neodređena jer ima više veza nego što je potrebno. S druge strane ako je  $s>0$  zaključuje se da rešetka ima manji broj veza od minimalnog što je čini geometrijski promjenjivom, odnosno statički nestabilnom (mehanizmom). Kod rešetkastih nosača treba biti oprezan jer čak i one s dovoljnim brojem veza ( $s=0$ ) mogu postati mehanizmi ako su te veze nepravilno raspoređene unutar rešetke [3]. Pomoću jednadžbi ravnoteže, za statički određeni rešetkasti nosač moguće je izračunati sve sile i reakcije u štapovima. Na slici 6. prikazani su primjeri statički određenih, neodređenih i nestabilnih rešetkastih nosača.



Slika 6. Prikaz statički određene, neodređene i nestabilne rešetke (mehanizam) [3]

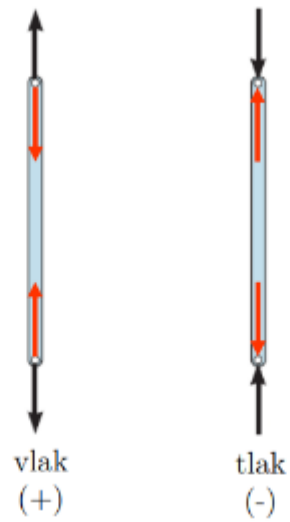
Rešetkaste konstrukcije mogu se analizirati koristeći određene pretpostavke. Prva pretpostavka je da je vlastita težina štapova rešetke zanemariva, što je opravdano budući da su rešetke lagane konstrukcije čija je vlastita težina štapova znatno manja od opterećenja koja preuzimaju. Sljedeća pretpostavka usmjerena je na vanjske aktivne sile i reakcije koje djeluju isključivo u čvorovima. Treća pretpostavka je da su svi štapovi unutar rešetkaste konstrukcije međusobno zglobno povezani. Štapovi koji su vezani pločom na način da im se težišne osi međusobno sijeku u jednoj točki zadovoljavaju pretpostavku o zglobnom vezivanju. Takav način vezivanja štapova u praksi se ostvaruje pomoću umetnutih ploča na koje su štapovi spojeni vijcima ili za koje su zavareni (slika 7.) [3]



Slika 7. Detalj vezivanja štapova [3]

Kao rezultat prethodnih pretpostavki dobiva se to da na kraju svakog štapa rešetke djeluju samo dvije sile. Te su sile u ravnoteži kada imaju jednake iznose, suprotne smjerove te isti pravac djelovanja. Budući da su štapovi rešetke ravni, sile djeluju duž osi štapa, što znači da se

u svim štapovima rešetkastih konstrukcija pojavljuju isključivo uzdužne sile koje mogu biti vlačne ili tlačne (slika 8.)



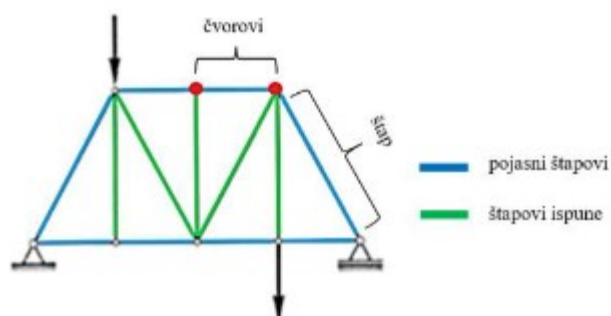
Slika 8. Sile u štapu rešetke [9]

### 3. TIPOVI REŠETKASTIH NOSAČA

Rešetkasti nosači mogu se podijeliti prema obliku konstrukcije na ravninske i prostorne rešetke. Osim toga, mogu se podijeliti prema statičkoj određenosti na statički određene i statički neodređene rešetke.

#### 3.1. REŠETKASTE KONSTRUKCIJE U RAVNINI

Rešetkasti nosač u ravnini smatra se nepromjenjivim ako ne dolazi do promjene oblika pri djelovanju proizvoljnih sila u čvorovima. Kako bi se osigurala geometrijska nepromjenjivost, važno je da su štapovi rešetke spojeni tako da formiraju trokutastu formu, odnosno krutu figuru [3]. Rešetkasti nosači sastoje se od dvije vrste štapova koji čine rešetku. Prvu vrstu čine pojasni štapovi, koji se dalje dijele na štapove gornjeg i donjeg pojasa. Drugu vrstu čine ispune, koje mogu biti dijagonalni ili vertikalni štapovi (slika 9.)



Slika 9. Prikaz dijelova rešetke [10]

Kada se govori o rešetkastim nosačima, postoje tri osnovne vrste oslonaca za ravninske nosače koji će biti prikazani u nastavku. To su upeti oslonac, pomični oslonac i nepomični oslonac.

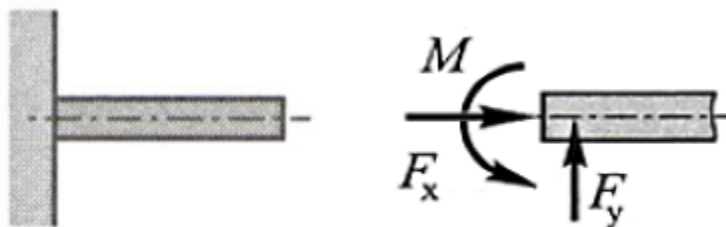
Na mjestu upetog oslonca spriječeni su pomaci i rotacija nosača. Slika 10. prikazuje primjer upetog oslonca, gdje je dio nosača upet s lijeve strane te oslobođen veza. Za ovakvu vrstu oslonca općenito vrijedi  $F_x \neq 0$ ,  $F_y \neq 0$  i  $M \neq 0$

gdje je :

$F_x$  – sila u smjeru osi x [N],

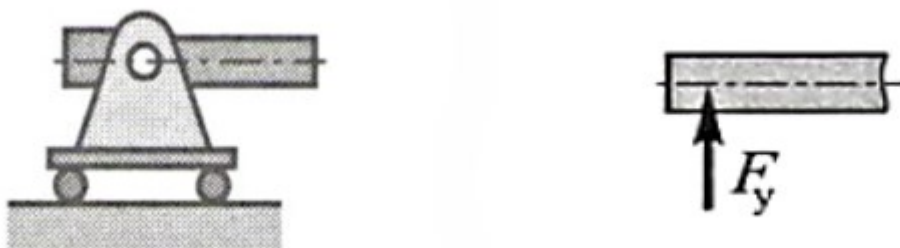
$F_y$  – sila u smjeru osi y [N],

$M$  – moment na mjestu upetog oslonca [Nm].



Slika 10. Vrsta oslonca-upeti oslonac [10]

Kod pomičnog oslonca, krajnji dio nosača na kojem je postavljen oslonac može se rotirati i pomaknuti u smjeru x osi. Kada se nosač oslobodi veza, jedina reakcija javlja se u smjeru osi y (slika 11.), budući da je pomak nosača moguć samo u tom smjeru. Stoga vrijedi da je  $F_x = 0$ ,  $F_y \neq 0$  i  $M = 0$ .



Slika 11. Vrsta oslonca-pomični oslonac [10]

Postavljanje nepomičnog oslonca na jedan kraj nosača omogućuje rotaciju na tom kraju gdje se nalazi oslonac, dok pomak nosača više nije spriječen. Na slici 12. prikazan je slučaj u kojem na mjestu oslonca nema momenta, već samo reakcije u smjeru x i y. Iz toga slijedi  $F_x \neq 0$ ,  $F_y \neq 0$  i  $M = 0$ .

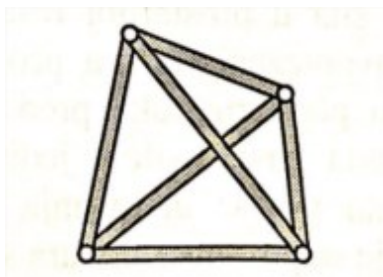




Slika 12. Vrsta oslonca – nepomični oslonac [10]

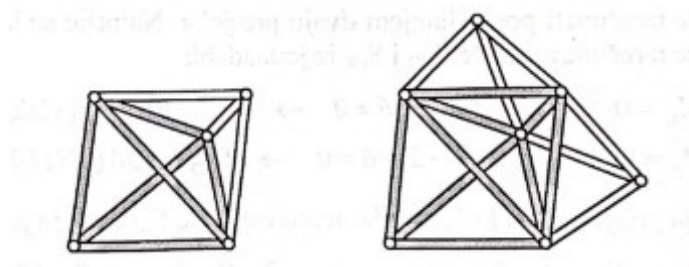
### 3.1.1. Rešetkaste konstrukcije u prostoru

Za prostorne rešetkaste konstrukcije može se reći da su to konstrukcijski sustavi sastavljeni od štapova koji ne leže u jednoj ravnini. Štapovi u prostornim rešetkama razlikuju se od onih u ravninskim rešetkama po tome što na krajevima imaju kuglaste (prostorne) zglobove koji omogućavaju okretanje u svim smjerovima. Kao i kod ravninskih rešetki, kreće se od pretpostavke da opterećenja na rešetku djeluju u čvorovima, što rezultira pojavom isključivo uzdužnih sila u štapovima. U većini slučajeva kod stvarnih prostornih rešetkastih konstrukcija spojevi u čvorovima su kruti, a zbog njihove vitkosti momenti unutar spojeva su vrlo mali, gotovo zanemarivi pa ih nije potrebno uzimati u obzir. Zbog toga se proračuni provode kao da su spojevi u čvorovima zglobni. Za konstruiranje geometrijski nepromjenjive prostorne rešetkaste konstrukcije, počinje se kao i kod ravninske konstrukcije, s trokutom. Na taj početni trokut može se pričvrstiti čvor izvan njegove ravnine, s tri štapa koji ne leže u istoj ravnini, čime se formira elementarna prostorna rešetka u obliku tetraedra. (slika 13.) [3]



Slika 13. Elementarna geometrijski nepromjenjiva prostorna rešetka [3]

Dodavanjem tri nova štapa povezana u čvor, koji ne leži u ravnini postojećih čvorova (slika 14.), omogućuje jednostavno nadograđivanje osnovne prostorne rešetke oblika tetraedra. Ponavljanjem ovog postupka moguće je kontinuirano nadograđivati prostornu rešetku čime se stvara jednostavna prostorna rešetka.



Slika 14. Nadograđivanje elementarne prostorne rešetke [3]

Za računanje ukupnog broja štapa kod jednostavne prostorne rešetke koristi se izraz:

$$\check{s} = 3n - 6 \quad (3.1)$$

gdje je :

$\check{s}$  – broj štapa,

$n$  – broj čvorova,

Broj 6 predstavlja potreban broj veza rešetke s podlogom.

Prostornoj rešetki mogu se dodati veze s podlogom uz poštivanje minimalnog broja za vezivanje tijela u prostoru ( $L = 6$ ). Ove veze rešetke s podlogom dodaju se kako bi se osigurala geometrijska nepromjenjivost. Da bi se dokazala geometrijska nepromjenjivost, koristi se analiza broja stupnjeva slobode, koja se izražava sljedećim izrazom:

$$s = 3n - \check{s} - L \quad (3.2)$$

gdje je:

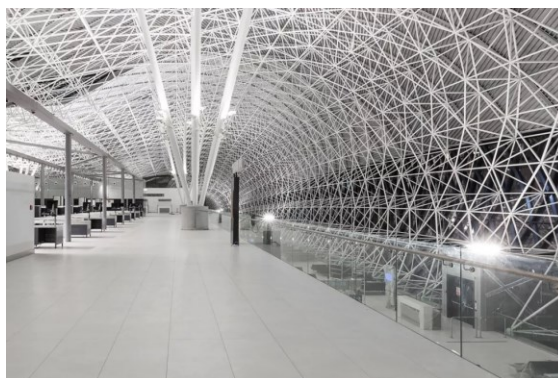
$s$  – broj stupnjeva slobode rešetke vezanje s podlogom,

$n$  – broj čvorova

$\mathring{s}$  – broj štapova

$L$  – broj veza s podlogom.

Ako analiza pokaže da je  $s = 0$ , rešetka je statički određena, što znači da ima minimalno potreban broj veza. Ukoliko se nakon analize dobije da je  $s < 0$ , rešetka je statički neodređena što znači da ima veći broj veza od minimalno potrebnog. Ako se nakon provedene analize dobije da je  $s > 0$ , rešetka je statički nestabilna i ima manje veza od minimalno potrebnog broja. Pri analizi treba biti pažljiv jer, kao i kod ravninskih rešetki, uvjet  $s=0$  i  $s < 0$  su nužni, ali ne i dovoljni. Iako uvjet može biti zadovoljen, rešetka može biti statički određena ili neodređena, ovisno o rasporedu veza. Na slici 15. prikazan je primjer prostorne rešetke u Republici Hrvatskoj.

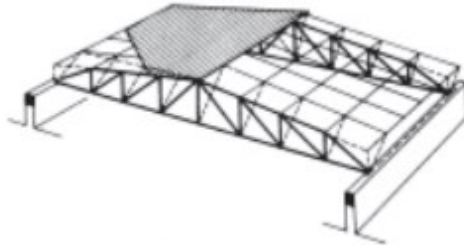


Slika 15. Krovna konstrukcija Zračne luke Franjo Tuđman [11]

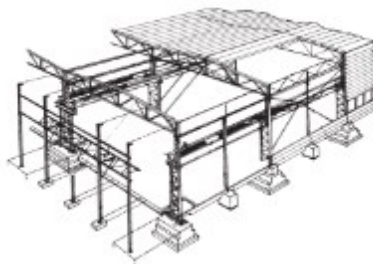
#### 4. Primjena jednostavnih rešetkastih nosača

Rešetkasti nosači vrlo su često korišteni u građevinarstvu zbog bolje iskoristivosti materijala u usporedbi s drugim vrstama nosača. Oni su lakši od punih nosača, što smanjuje utrošak materijala u odnosu na pune i sačaste nosače. Zbog svoje strukture, rešetkasti nosači mogu premostiti veće raspone, propuštaju više svjetlosti i omogućavaju neometano provođenje instalacija. Međutim, njihova izrada zahtjeva veliki broj radnih operacija, što je čini složenijom i skupljom od izrade punih nosača. Rešetkaste konstrukcije koriste se za prihvaćanje teških opterećenja i imaju široku primjenu u visokogradnji i mostogradnji. Neki od primjera uključuju

krovne nosače u visokogradnji (slika 16.), mostove, kranske dizalice i industrijske hale (slika 17.). [4]

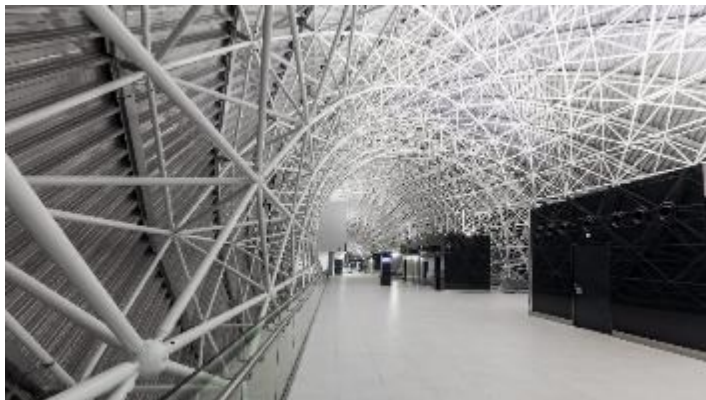


Slika 16. Krovni nosači [5]



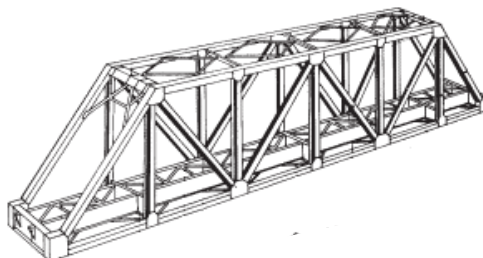
Slika 17. Industrijska hala [5]

Krovni nosači u obliku rešetkaste konstrukcije danas su prisutni u gotovo svim tipovima objekata, uključujući industrijske hale, kongresne dvorane, izložbene paviljone, sportske dvorane i zgrade visokogradnje. Pažljivim odabirom oblika rešetke i poprečnih presjeka štapova mogu se dobiti vrlo atraktivni rešetkasti nosači koji se skladno uklapaju u interijer i istovremeno ne narušavaju arhitektonsku cjelinu. Izvrstan primjer takvog rješenja je zagrebački aerodrom (slika 18).



Slika 18. Zračna luka Franjo Tuđman [12]

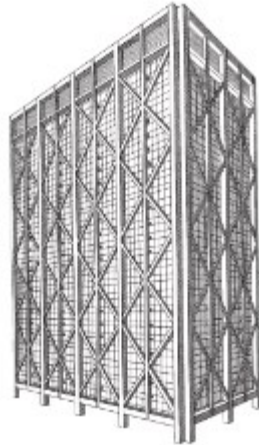
Rešetkasti podni nosači izuzetno su pogodni zbog mogućnosti provođenja instalacija kroz samu konstrukciju, čime se izbjegava povećavanje visine međukatne konstrukcije. U mostogradnji, rešetkasti nosači se koriste kao glavni nosači za željezničke, cestovne i transportne mostove u industrijskim objektima. U visokogradnji i mostogradnji, vrlo je česta upotreba spregova za stabilizaciju, koji osiguravaju prihvaćanje horizontalnih sila (vjetar, potres) i prostornu stabilnost konstrukcije. Slike u nastavku prikazuju nekoliko primjera primjene rešetkastih nosača.



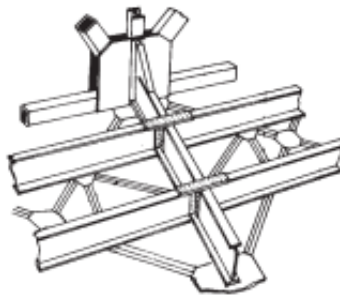
Slika 19. Konstrukcija željezničkog mosta [5]



Slika 20. Međukatna konstrukcija [5]



Slika 21. Primjena u visokogradnji [5]



Slika 22. Spreg za stabilizaciju [5]

## 5. PRORAČUN REŠETKASTIH NOSAČA

Proračun rešetkastih nosača može se provesti na nekoliko načina, koristeći različite metode. Prvi korak u proračunu je postavljanje uvjeta ravnoteže za sile koje djeluju na nosač i reakcije koje se javljaju u osloncima [1]. U skladu s tim, moraju se provjeriti osnovni analitički uvjeti ravnoteže koji zahtijevaju da suma svih sila i smjeru  $x$  i  $y$  bude nula, kao i suma svih momenata. Ti uvjeti dani su sljedećim izrazom:

$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma M = 0$$

(5.1)

gdje je:

$F_x$  – suma sila u smjeru osi x [N],

$F_y$  – suma sila u smjeru osi y [N],

$M$  – suma momenta oko točke [Nm].

U odnosu na analitičke metode, grafički uvjeti ravnoteže uključuju zatvoreni poligon sila u planu sila i verižni poligon. Da bi se mogao provesti proračun rešetkastih nosača, potrebno je poznavati reakcije u osloncima i sile u štapovima nosača. Sile u štapovima rešetke mogu se odrediti primjenom klasičnih ili numeričkih metoda. Klasične metode obuhvaćaju analitičke i grafičke metode. Analitičke metode za računanje sila u štapovima rešetke uključuju metodu čvorova, metodu presjeka i Ritterov postupak. Grafičke metode također uključuju metode čvorova i metodu presjeka te Culmannov postupak. U praksi se analitičke metode češće koriste jer su rezultati dobiveni analitičkom metodom precizniji od rezultata dobivenih grafičkim metodama.

## 5.1. METODA ČVOROVA

Metoda čvorova je analitička metoda za određivanje sila u štapovima rešetkastih nosača (slika 23.). Ova metoda koristi jednadžbe ravnoteže koje se postavljaju za svaki čvor zasebno. Osnovni princip ove metode je da, ako je cijela rešetka u ravnoteži, svaki njezin čvor također mora biti u ravnoteži. U svakom čvoru, sile u štapovima rešetke tvore sustav konkurentnih sila. Takav sustav je u ravnoteži kada su zadovoljene dvije jednadžbe ravnoteže koje omogućavaju izračunavanje najviše dviju sila, a dane su sljedećim izrazom:

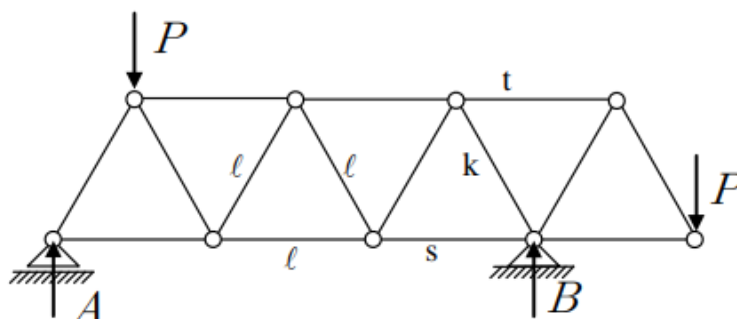
$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0$$

(5.2)

gdje je:

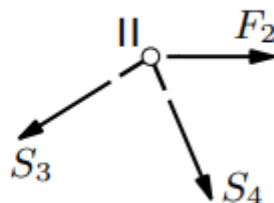
$F_x$  – suma sila u smjeru osi x [N],

$F_y$  – suma sila u smjeru y [N].



Slika 23. Rešetkasti nosač [9]

Postupak rješavanja čvorova započinje odabirom čvora koji ima najviše dvije nepoznanice te se zadani sustav svodi na sustav konkurentnih sila koji se može riješiti postavljanjem dviju jednadžbi ravnoteže. Na odabranom čvoru potrebno je ucrtati sve sile koje djeluju na njega, uz pretpostavku da su sile u štapovima vlačne, tj. usmjerene od čvora (slika 24.).



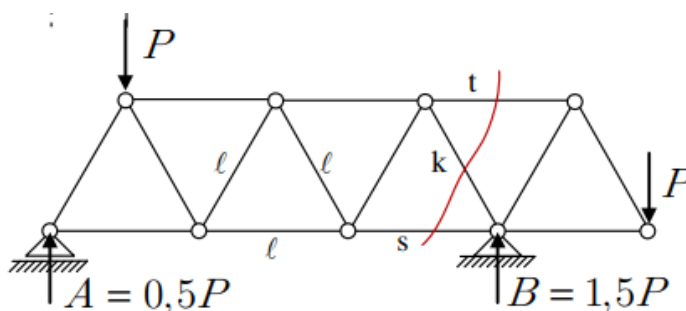


Slika 24. Čvor s vlačno opterećenim silama u štapovima [13]

Nakon ucrtavanja sila, nepoznate vrijednosti sila izračunavaju se iz uvjeta ravnoteže. Postupak se ponavlja za svaki čvor, pazeći da u čvoru budu najviše dvije nepoznanice. Ako se na kraju proračuna dobije negativna vrijednost neke sile u štapu, to znači da je taj štap opterećen na tlak. Uravnoteženje sila u čvorovima može se provesti ne samo analitičkim već i grafičkim postupkom.

### 5.1.1. METODA PRESJEKA

Metoda presjeka vrlo je efikasna za izračunavanje sila samo u određenim štapovima, za razliku od metode čvorova koja je prikladnija za određivanje sila u svim štapovima. Ova metoda omogućuje direktno izračunavanje sila u štapovima rešetke u željenom presjeku bez potrebe za prethodnim računanjem sila u ostalim štapovima. Kod metode presjeka, rešetka se dijeli na dva dijela zamišljenim presjekom koji prolazi kroz štapove u kojima je potrebno izračunati sile (slika 25.).



Slika 25. . Presječeni rešetkasti nosač [9]

Nakon presijecanja rešetke, sile se proračunavaju koristeći jedan od dva odvojena dijela. Uvijek se bira ona strana rešetke koja je jednostavnija, odnosno ona s manje sila, kako bi se proračun što više pojednostavio. Pri presijecanju treba paziti da presjek ne obuhvaća više od tri štapa, jer se za analizirani dio rešetke mogu postaviti samo tri uvjeta ravnoteže. Uvjeti ravnoteže za metodu presjeka izraženi su sljedećim izrazom:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum M = 0$$

(5.3.)

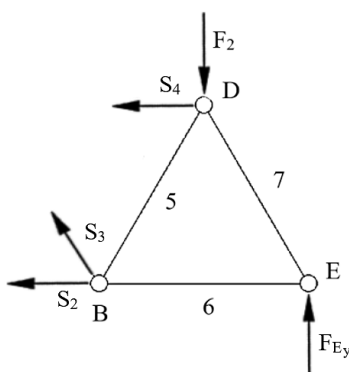
gdje je:

$F_x$  – suma sila u smjeru osi x [N],

$F_y$  – suma sila u smjeru osi y [N],

$M$  – suma momenta oko točke [Nm].

Prilikom postavljanja momentnih jednadžbi, čvorovi rešetke koriste se kao momentne točke. Sile u štapovima uzimaju se kao da djeluju od čvora prema presječenom dijelu rešetke, uz pretpostavku da su vlačne sile (slika 26.).



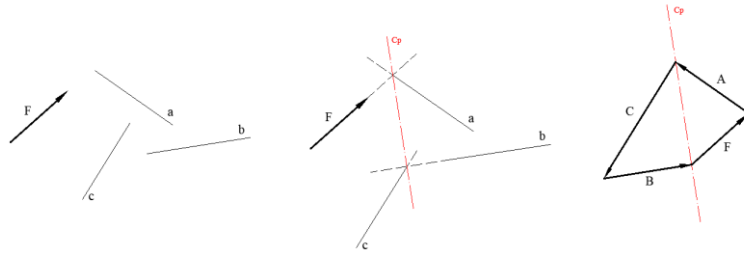
Slika 26. Odabir jednostavnije strane rešetke s pretpostavkom vlačnog opterećenja [10]

Ukoliko proračun pokaže negativnu vrijednost neke sile, to znači da je taj štap opterećen na tlak.

#### 5.1.1.1. CULMANNOVA METODA

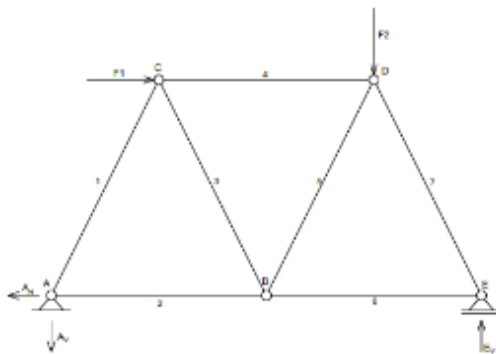
Culmannova metoda je grafički postupak za određivanje smjera i intenziteta sila na poznatim pravcima. U ovom postupku, sile se tretiraju kao klizni vektori, pri čemu su važni njihovi pravci djelovanja, a ne točke primjene. Culmannovom metodom uravnotežuju se četiri sile u ravnini uz pretpostavku da su četiri sile u ravnoteži. Ako rezultanta bilo koje dvije sile djeluje na pravcu rezultante preostalih dviju sila te ako su te dvije rezultante jednake po intenzitetu, a suprotnog smjera djelovanja. Takav pravac naziva se Culmannov pravac. Metoda se koristi kada je jedna

sila poznata po smjeru, intenzitetu i pravcu djelovanja, dok su ostale tri sile poznate samo po pravcu, a traže se njihov intenzitet i smjer. Na slici 27. prikazana je konstrukcija Culmannovog pravca.



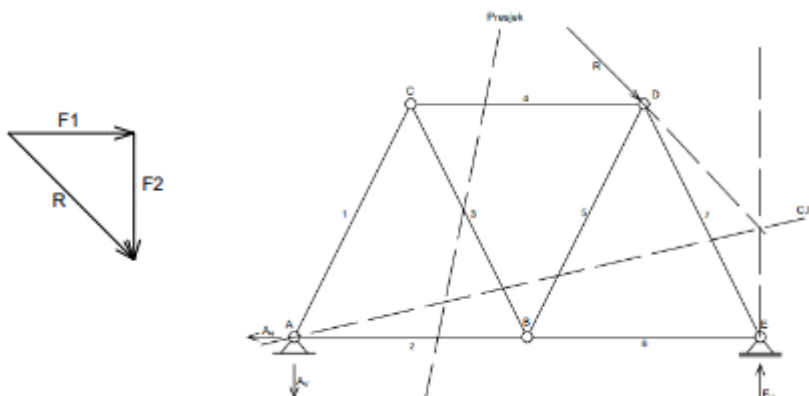
Slika 27. Konstrukcija Culmannovog pravca [10]

Najčešće se primjenjuje Culmannova metoda da bi se grafičkim postupkom odredile sile u određenim štapovima ravninske rešetke (slika 28.).



Slika 28. Rešetkasti nosač s pretpostavljenim reakcijama [10]

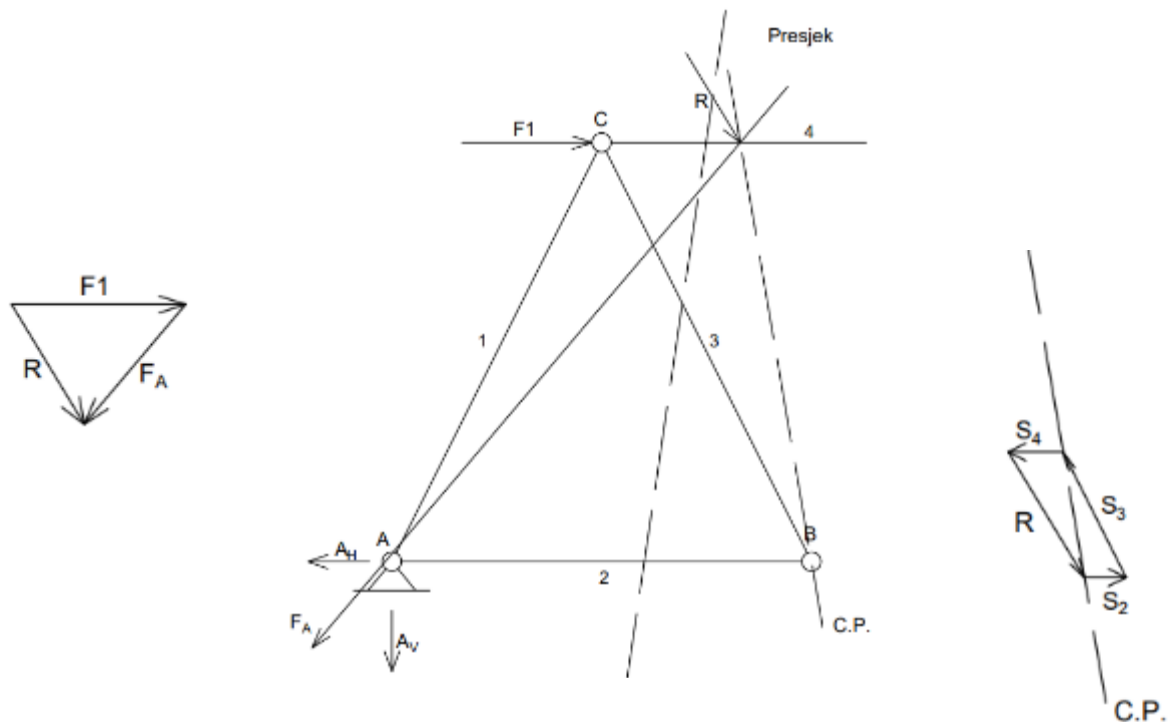
Prvo je potrebno pretpostaviti smjerove reakcija na rešetkastom nosaču. Zatim se određuje položaj rezultante vanjskih sila. Sljedeći korak je pronalaženje sjecišta pravaca rezultante vanjskih sila s pravcem jedne od nepoznatih sila, čime se dobiva jedna točka Culmannovog pravca. Druga točka Culmannovog pravca je sjecište pravaca preostale dvije nepoznate sile (slika 29.).





Slika 29. Određivanje reakcija Culmannovom metodom [10]

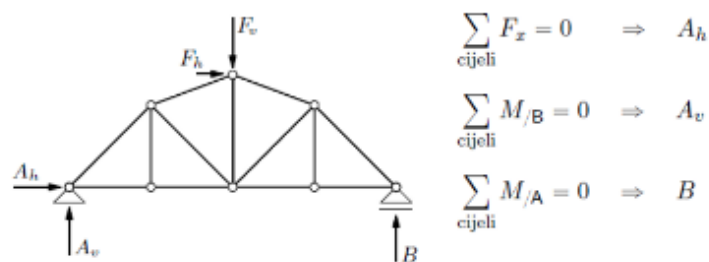
Nakon što su reakcije određene, potrebno je izračunati sile u pojedinim štapovima rešetkastog nosača. Rešetkasti nosač se na mjestu traženih sila razdvaja zamišljenim presjekom na dva dijela, pri čemu je važno da presjek prolazi kroz tri štapa ili, u slučaju K rešetke, kroz četiri štapa. Na lijevi dio nosača s jedne strane presjeka tada djeluju četiri sile: tri nepoznate sile u presječenim štapovima i rezultanta svih poznatih sila. Na slici 30. prikazan je postupak određivanja sila u štapovima korištenjem Culmannove metode.



Slika 30. Određivanje sila u štapovima rešetkastog nosača Culmannovom metodom [10]

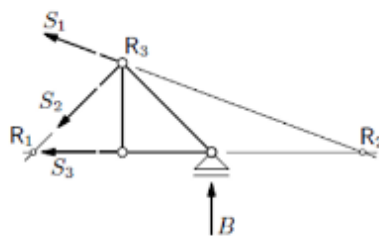
### 5.1.1.1.1. RITTEROV POSTUPAK

Ritterov postupak je analitička metoda kojom se mogu izračunati vrijednosti triju sila pomoću zamišljenog presijecanja štapova, od kojih su tri sile, odnosno četiri u slučaju K rešetke, nepoznate. Određivanje sila u štapovima Ritterovim postupkom bit će prikazano na rešetkastom nosaču na slici 31.

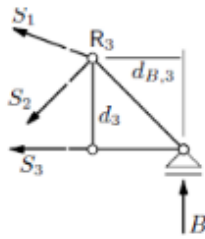


Slika 31. Presijecanje štapova rešetkastog nosača [13]

Na mjestu tih štapova, rešetkasti nosač se razdvaja na dva dijela, a sile u presječenim štapovima određuju se na temelju uvjeta ravnoteže u odabranom dijelu. Nakon presijecanja štapova, odabiru se točke sjecišta osi dva od tri odabrana štapa, koje se nazivaju Ritterovim točkama (slika 32.). U tom slučaju, jedina nepoznanica u jednadžbi ravnoteže je sila u trećem štapu (slika 33).

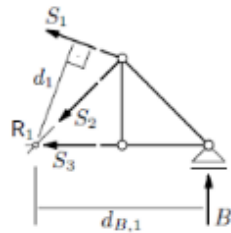


Slika 32. Određivanje Ritterovih točaka [13]



$$\sum_{\text{desni dio}} M_{/R_3} = 0 : -S_3 \cdot d_3 + B \cdot d_{B,3} = 0$$

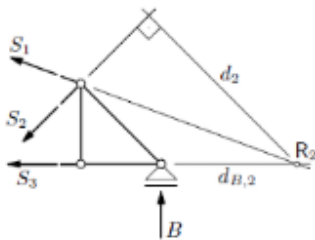
$$S_3 = \frac{d_{B,3}}{d_3} B$$



$$\sum_{\text{desni dio}} M_{/R_1} = 0 : S_1 \cdot d_1 + B \cdot d_{B,1} = 0$$

$$S_1 = -\frac{d_{B,1}}{d_1} B$$

↳



$$\sum_{\text{desni dio}} M_{/R_2} = 0 : S_2 \cdot d_2 - B \cdot d_{B,2} = 0$$

$$S_2 = \frac{d_{B,2}}{d_2} B$$

Slika 33. Određivanje sila u štapovima Ritterovim postupkom [10]

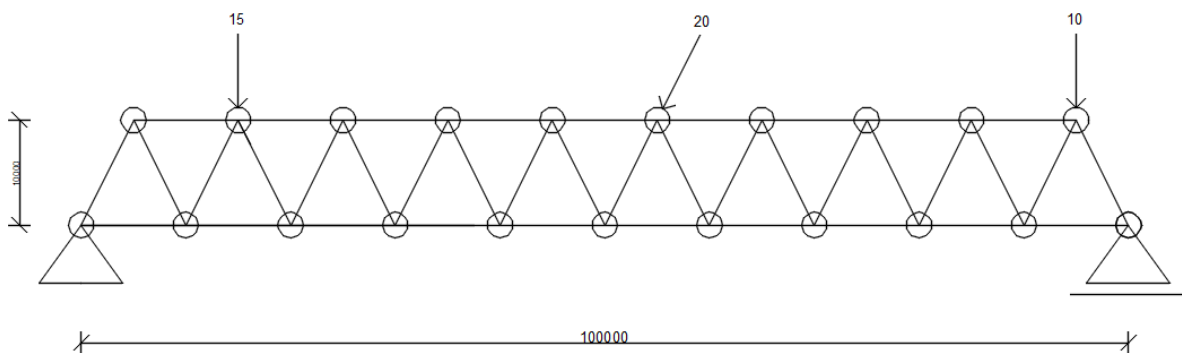
## 6. NUMERIČKI PRIMJER

U ovom poglavlju će se prikazati primjer zadatka rešetkastog nosača metodom čvorova. Primjer je postojeći željeznički most Drava u Botovu. U narednom postupku prikazat će se određivanje reakcija sila u svim štapovima jednog raspona mosta.

Sile 10 kN, 15 kN i 20 kN proizvoljno su odabrane.



Slika 33. Željeznički most Drava na Botovu [14]



**6.1. REAKCIJE**

$$\sum M_A = 0$$

$$-15 \cdot 15 - 20 \cdot \sin 63^\circ \cdot 55 + 20 \cdot \cos 63^\circ \cdot 10 - 10 \cdot 95 + C \cdot 100 = 0$$

$$C \cdot 100 = 2064,3091$$

$$C = 20,643 \text{ kN}$$

$$\sum M_C = 0$$

$$10 \cdot 5 + 20 \cdot \cos 63^\circ \cdot 10 + 20 \cdot \sin 63^\circ \cdot 45 + 15 \cdot 85 - A \cdot 100 = 0$$

$$A \cdot 100 = 2217,70397$$

$$A = 22,177 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-20^x + B = 0$$

$$B = 20 \cdot \cos 63^\circ$$

$$B = 9,0798 \text{ kN}$$

KONTROLA:

$$\sum M_2 = 0$$

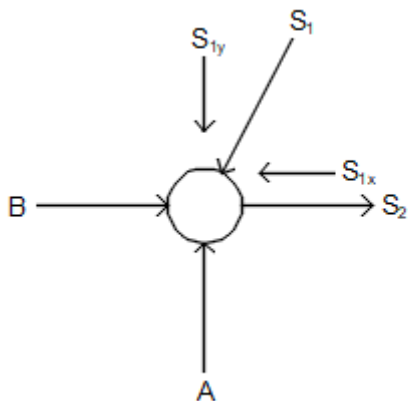
$$-22,1770397 \cdot 5 + 20 \cdot \cos 63^\circ \cdot 10 - 15 \cdot 10 - 20 \cdot \sin 63^\circ \cdot 50 - 10 \cdot 90 + 20,64091 \cdot 95 = 0$$

$$0,00002 \approx 0$$



## 6.1.1. RJEŠAVANJE ČVOROVA

ČVOR 1:



$$\sum F_Y = 0$$

$$A - \frac{2S_1}{\sqrt{5}} = 0$$

$$\frac{2 \cdot S_1}{\sqrt{5}} = 22,177$$

$$S_1 = 24,795 \text{ kN ( T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$B + S_2 - \frac{S_1}{\sqrt{5}} = 0$$

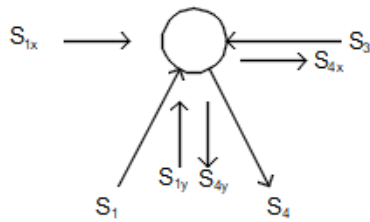
$$S_2 = \frac{24,795}{\sqrt{5}} - 9,0798$$

$$S_2 = 2,009 \text{ kN ( V)}$$

$$S_{1X} = \frac{S_1}{\sqrt{5}} = 11,089 \text{ kN}$$

$$S_{1Y} = \frac{2S_1}{\sqrt{5}} = 22,177 \text{ kN}$$

ČVOR 2:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{1Y} - \frac{2S_4}{\sqrt{5}} = 0$$

$$\frac{2S_4}{\sqrt{5}} = 22,177$$

$$S_4 = 24,795 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{1X} - S_3 + \frac{S_4}{\sqrt{5}} = 0$$

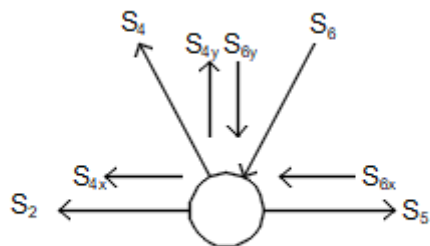
$$S_3 = 11,089 + \frac{24,795}{\sqrt{5}}$$

$$S_3 = 22,177 \text{ kN (T)}$$

$$S_{4X} = \frac{S_4}{\sqrt{5}} = 11,089 \text{ kN}$$

$$S_{4Y} = \frac{2S_4}{\sqrt{5}} = 22,177 \text{ kN}$$

ČVOR 3:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{4Y} - S_{6Y} = 0$$

$$S_{6Y} = S_{4Y} = 22,177 \text{ kN}$$

$$S_{6Y} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{6Y}}{2} = 24,795 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_5 - S_2 - S_{4X} - S_{6X} = 0$$

$$S_5 = S_2 + S_{4X} + S_{6X}$$

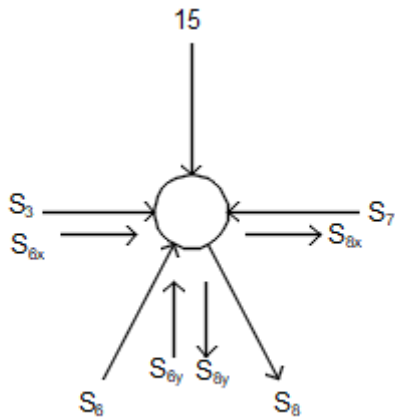
$$S_5 = 2,009 + 11,089 + 11,089$$

$$S_5 = 24,187 \text{ kN (V)}$$

$$S_{6X} = \frac{S_6}{\sqrt{5}} = 11,089 \text{ kN}$$

$$S_{6Y} = \frac{2S_6}{\sqrt{5}} = 22,177 \text{ kN}$$

ČVOR 4:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{6Y} - S_{8Y} - 15 = 0$$

$$S_{8Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_8 = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{8Y}}{2} = 8,024 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_3 + S_{6x} - S_7 + S_{8X} = 0$$

$$S_7 = S_3 + S_{6x} + S_{8X}$$

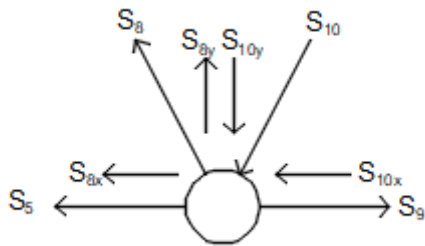
$$S_7 = 22,177 + 11,089 + 3,589$$

$$S_7 = 36,855 \text{ kN (T)}$$

$$S_{8X} = \frac{S_8}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{8Y} = \frac{2S_8}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 5:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{8Y} - S_{10Y} = 0$$

$$S_{10Y} = S_{8Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{10} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{10y}}{2} = 8,024 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_9 - S_5 - S_{8X} - S_{10X} = 0$$

$$S_9 = S_5 + S_{8X} + S_{10X}$$

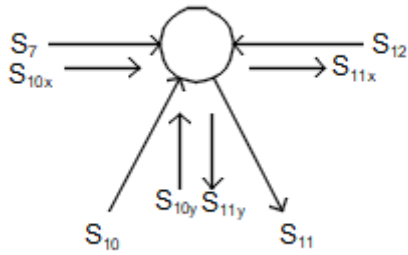
$$S_9 = 24,187 + 3,589 + 3,589$$

$$S_9 = 31,365 \text{ kN (V)}$$

$$S_{10X} = \frac{S_{10}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{10Y} = \frac{2S_{10}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 6:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{10Y} - S_{11Y} = 0$$

$$S_{11Y} = S_{10Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{11} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{11Y}}{2} = 8,024 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_7 - S_{10X} - S_{11X} - S_{12} = 0$$

$$S_{12} = S_7 + S_{10X} + S_{11X}$$

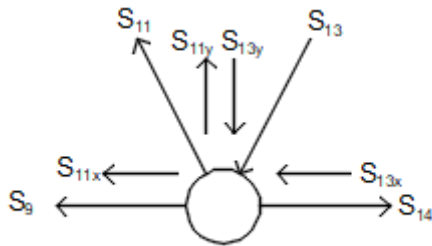
$$S_{12} = 36,855 + 3,589 + 3,589$$

$$S_{12} = 44,033 \text{ kN (T)}$$

$$S_{11X} = \frac{S_{11}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{11Y} = \frac{2S_{11}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 7:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{11Y} - S_{13Y} = 0$$

$$S_{13Y} = S_{11Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{13} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{13Y}}{2} = 8,024 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{14} - S_9 - S_{11X} - S_{13} = 0$$

$$S_{14} = S_9 + S_{11X} + S_{13X}$$

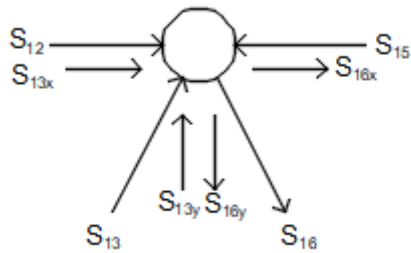
$$S_{14} = 31,365 + 3,589 + 3,589$$

$$S_{14} = 38,543 \text{ kN (V)}$$

$$S_{13X} = \frac{S_{13}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{13Y} = \frac{2S_{13}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 8:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{13Y} - S_{16Y} = 0$$

$$S_{16Y} = S_{13Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{16} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{16Y}}{2} = 8,024 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{12} + S_{13X} + S_{16X} - S_{15} = 0$$

$$S_{15} = S_{12} + S_{13X} + S_{16X}$$

$$S_{15} = 44,033 + 3,589 + 3,589$$

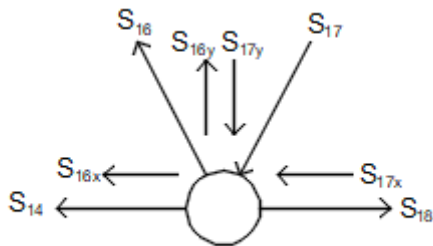
$$S_{15} = 51,211 \text{ kN (T)}$$

$$S_{16X} = \frac{S_{16}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{16Y} = \frac{2S_{16}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$



ČVOR 9:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{16Y} - S_{17Y} = 0$$

$$S_{17Y} = S_{16Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{17} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{17Y}}{2} = 8,024 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{18} - S_{14} - S_{16X} - S_{17X} = 0$$

$$S_{18} = S_{14} + S_{16X} + S_{17X}$$

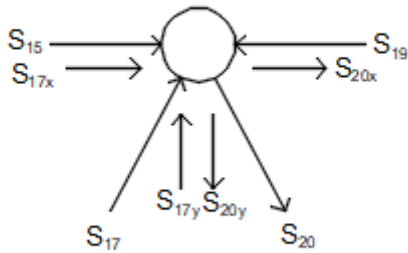
$$S_{18} = 38,543 + 3,589 + 3,589$$

$$S_{18} = 45,721 \text{ kN (V)}$$

$$S_{17X} = \frac{S_{17}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{17Y} = \frac{2S_{17}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 10:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{17Y} - S_{20Y} = 0$$

$$S_{20Y} = S_{17Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{20} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{20Y}}{2} = 8,024 \text{ kN(V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{15} + S_{17X} + S_{20X} - S_{19} = 0$$

$$S_{19} = S_{15} + S_{17X} + S_{20X}$$

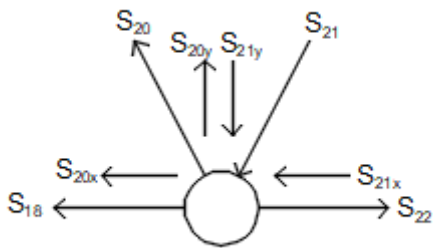
$$S_{19} = 51,211 + 3,589 + 3,589$$

$$S_{19} = 58,389 \text{ kN (T)}$$

$$S_{20X} = \frac{S_{20}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{20Y} = \frac{2S_{20}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 11:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{20Y} - S_{21Y} = 0$$

$$S_{21Y} = S_{20Y} = 7,177 \text{ kN}$$

$$S_{21} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{21Y}}{2} = 8,024 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{22} - S_{18} - S_{20X} - S_{21X} = 0$$

$$S_{22} = S_{18} + S_{20X} + S_{21X}$$

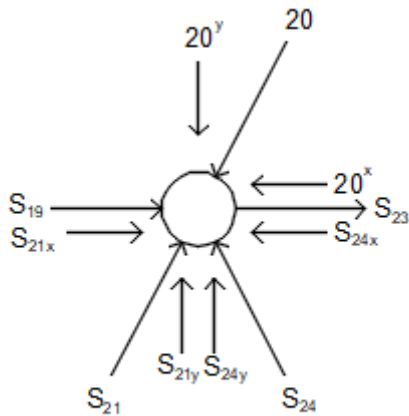
$$S_{22} = 45,721 + 3,589 + 3,589$$

$$S_{22} = 52,899 \text{ kN (V)}$$

$$S_{21X} = \frac{S_{21}}{\sqrt{5}} = 3,589 \text{ kN}$$

$$S_{21Y} = \frac{2S_{21}}{\sqrt{5}} = 7,177 \text{ kN}$$

ČVOR 12:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{21Y} + S_{24Y} - 20^Y = 0$$

$$S_{24Y} = 20^Y - S_{21Y}$$

$$S_{24Y} = 20 \cdot \sin 63^\circ - 7,177$$

$$S_{24Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{24} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{24Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{19} + S_{21X} + S_{23} - 20^X - S_{24X} = 0$$

$$S_{23} = 20^X + S_{24X} - S_{19} - S_{21X}$$

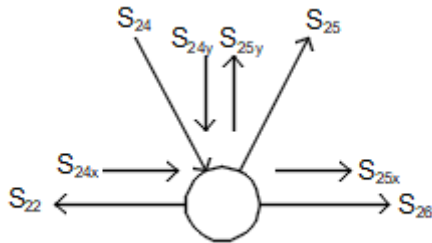
$$S_{23} = 20 \cdot \cos 63^\circ + 5,322 - 58,389 - 3,589$$

$$S_{23} = -47,576 \text{ kN (kriva pretpostavka) (T)}$$

$$S_{24X} = \frac{S_{24}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{24Y} = \frac{2S_{24}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 13:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{25Y} - S_{24Y} = 0$$

$$S_{25Y} = S_{24Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{25} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{25Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{24X} + S_{25X} + S_{26} - S_{22} = 0$$

$$S_{26} = S_{22} - S_{24} - S_{25X}$$

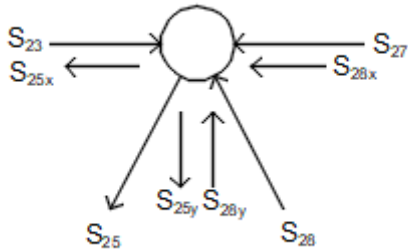
$$S_{26} = 52,899 - 5,322 - 5,322$$

$$S_{26} = 42,255 \text{ kN (V)}$$

$$S_{25X} = \frac{S_{25}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{25Y} = \frac{2S_{25}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 14:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{28Y} - S_{25Y} = 0$$

$$S_{28Y} = S_{25Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{28} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{28Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{23} - S_{27} - S_{25X} - S_{28X} = 0$$

$$S_{27} = S_{23} - S_{25X} - S_{28X}$$

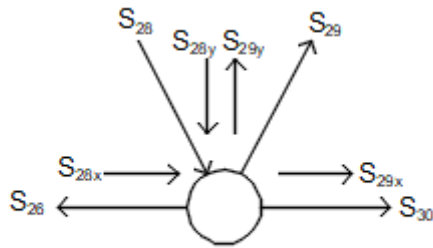
$$S_{27} = 47,576 - 5,322 - 5,322$$

$$S_{27} = 36,932 \text{ kN (T)}$$

$$S_{28X} = \frac{S_{28}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{28Y} = \frac{2S_{28}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 15:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{29Y} - S_{28Y} = 0$$

$$S_{29Y} = S_{28Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{29} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{29Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{28X} + S_{29X} + S_{30} - S_{26} = 0$$

$$S_{30} = S_{26} - S_{28X} - S_{29X}$$

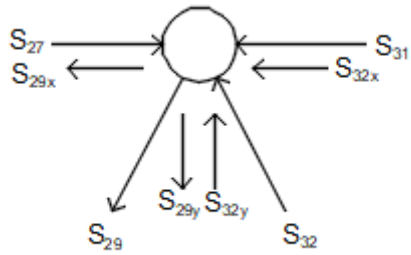
$$S_{30} = 42,255 - 5,322 - 5,322$$

$$S_{30} = 31,611 \text{ kN(V)}$$

$$S_{29X} = \frac{S_{29}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{29Y} = \frac{2S_{29}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 16:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{32Y} - S_{29Y} = 0$$

$$S_{32Y} = S_{29Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{32} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{32Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{27} - S_{29X} - S_{31} - S_{32X} = 0$$

$$S_{31} = S_{27} - S_{29X} - S_{32X}$$

$$S_{31} = 36,932 - 5,322 - 5,322$$

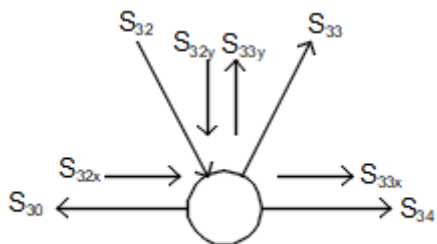
$$S_{31} = 26,288 \text{ kN (T)}$$

$$S_{32X} = \frac{S_{32}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{32Y} = \frac{2S_{32}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$



ČVOR 17:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{33Y} - S_{32Y} = 0$$

$$S_{33Y} = S_{32Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{33} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{33Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{32} + S_{33X} + S_{34} - S_{30} = 0$$

$$S_{34} = S_{30} - S_{32X} - S_{33X}$$

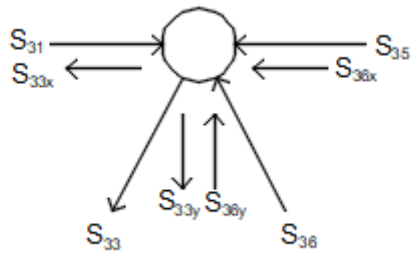
$$S_{34} = 31,611 - 5,322 - 5,322$$

$$S_{34} = 20,967 \text{ kN (V)}$$

$$S_{33X} = \frac{S_{33}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{33Y} = \frac{2S_{33}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 18:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{36Y} - S_{33Y} = 0$$

$$S_{36Y} = S_{33Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{36} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{36Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{31} - S_{33X} - S_{35} - S_{36X} = 0$$

$$S_{35} = S_{31} - S_{33X} - S_{36X}$$

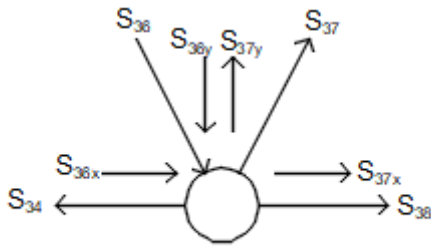
$$S_{35} = 26,288 - 5,322 - 5,322$$

$$S_{35} = 15,644 \text{ kN (T)}$$

$$S_{36X} = \frac{S_{36}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{36Y} = \frac{2S_{36}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 19:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{37Y} - S_{36Y} = 0$$

$$S_{37Y} = S_{36Y} = 10,643 \text{ kN}$$

$$S_{37} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{37Y}}{2} = 11,899 \text{ kN (V)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{36} + S_{37X} + S_{38} - S_{34} = 0$$

$$S_{38} = S_{34} - S_{36X} - S_{37X}$$

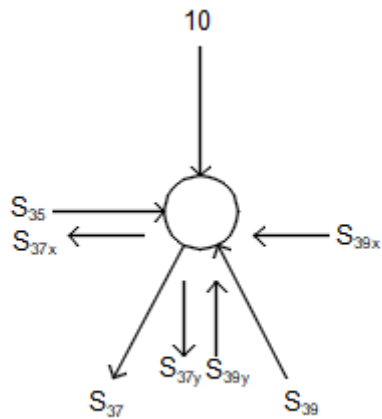
$$S_{38} = 20,967 - 5,322 - 5,322$$

$$S_{38} = 10,323 \text{ kN (V)}$$

$$S_{37X} = \frac{S_{37}}{\sqrt{5}} = 5,322 \text{ kN}$$

$$S_{37Y} = \frac{2S_{37}}{\sqrt{5}} = 10,643 \text{ kN}$$

ČVOR 20:



$$\sum F_Y = 0$$

$$S_{39Y} - 10 - S_{37Y} = 0$$

$$S_{39Y} = 10 + S_{37Y}$$

$$S_{39Y} = 10 + 10,643$$

$$S_{39Y} = 20,643 \text{ kN}$$

$$S_{39} = \frac{\sqrt{5} \cdot S_{39Y}}{2} = 23,0796 \text{ kN (T)}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$S_{35} - S_{37X} - S_{39X} = 0$$

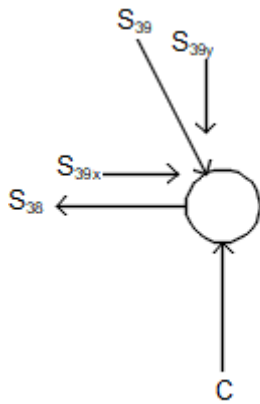
$$S_{39X} = S_{35} - S_{37X}$$

$$S_{39X} = 15,644 - 5,322$$

$$S_{39X} = 10,322 \text{ kN}$$

KONTROLA

ČVOR 21:



$$\sum F_X = 0$$

$$S_{39x} - S_{38} = 0$$

$$10,322 - 10,323 = 0$$

$$-0,001 \approx 0$$

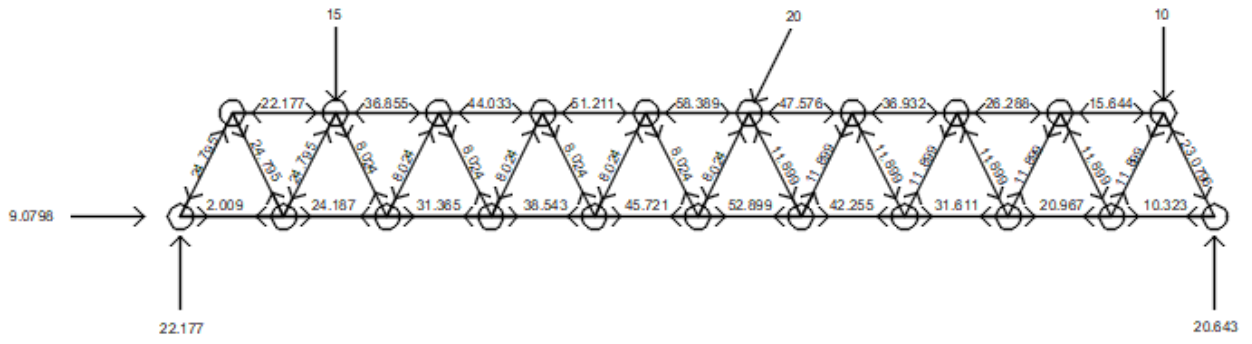
$$\sum F_Y = 0$$

$$C - S_{39y} = 0$$

$$20,643 - 20,643 = 0$$

$$0 = 0$$

6.1.1.1. SKICA STVARNNIH DJELOVANJA



## 7. ZAKLJUČAK

Rešetkasti nosači sastoje se od niza ravnih štapova međusobno povezanih zglobovima na njihovim krajevima. Kod oblikovanja rešetkastih nosača uvijek se polazi od geometrijski nepromjenjive figure koja se sastoji od tri štapa, trokuta. Štapovi mogu biti postavljeni u jednoj ravnini, u tom slučaju govorimo o ravninskim rešetkastim nosačima, ili u prostoru, pa se tada nazivaju prostornim rešetkastim nosačima. Rešetkasti nosači imaju široku primjenu kao nosivi sustavi u građevinarstvu, često se koriste kao glavni nosači u krovnim i međukatnim konstrukcijama u visokogradnji, poput industrijskih hala, izložbenih dvorana, mostova, kranskih dizalica, dalekovodnih stupa i slično. Možemo zaključiti da rešetkasti nosači imaju bolju iskoristivost materijala u usporedbi s drugim vrstama nosača. Oni su lakši, zahtijevaju manje materijala od punih nosača i mogu premostiti veće raspone. Njihova konstrukcija omogućava veću prolaznost svjetlosti i jednostavnije provođenje instalacija. S druge strane, izrada rešetkastih nosača zahtijeva više radnih operacija, što čini proces izrade složenijim u odnosu na pune nosače, zbog čega im je i jedinična cijena viša. Proračun rešetkastih nosača može se izvesti na nekoliko načina, ovisno o tome određuju li se unutarnje sile u svim štapovima, gdje se koristi metoda čvorova, ili samo u određenom presjeku, gdje se primjenjuje metoda presjeka, pri čemu treba paziti na broj presječenih štapova.

---

## POPIS LITERATURE

- [1] V. Simović: Građevna Statika 1, Građevinski institut Zagreb, 1988.
- [2] <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A1367/datastream/PDF/view>
- [3] Nikolić : Mehanika 1 ,sveučilište u St, Građevinsko- arhitektonski fakultet, 2009.
- [4] <https://aggf.unibl.org/uploads/2016/10/Re%C5%A1etkasti-nosa%C4%8Di.pdf>
- [5] <https://docplayer.rs/201780437-Re%C5%A1etkasti-nosa%C4%8Di-metalne-konstrukcije-2-p7-1.html>
- [6] <https://www.klancar.com/hr/izdelek/potain-sp185b-gradevinska-toranjska-dizalica-kran/>
- [7] <https://www.homevisionhr.com/hale/>
- [8] <https://www.gradnja.me/clanak/516/Kako-se-mostovi-dijele-po-tipu-nose%C4%87e-konstrukcije>
- [9] Šavor Novak M. : Mehanika 1 : bilješke s predavanja
- [10] <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A1367/datastream/PDF/view>
- [11] <https://hrv.sika.com/hr/sika-projekti-i-reference/zracna-luka-Franjo-Tudman-Zagreb.html>
- [12] <https://www.igh.hr/hr/projects/zagreb-international-airport-franjo-tudman/>
- [13] Fresl K. : Građevna statika ,2017.
- [14] <https://www.krizevcidg.hr/novosti-pregled/naguravanje-mosta-botovo>



## POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz ravninskih i prostornih rešetkastih konstrukcija 5 .....	1
Slika 2. Kranska dizalica 6 .....	2
Slika 3. Industrijska hala 7 .....	2
Slika 4. Rešetkasta konstrukcija u mostogradnji 8.....	3
Slika 5. Postupak nadograđivanja jednostavne rešetke 3.....	2
Slika 6. Prikaz statički određene, neodređene i nestabilne rešetke (mehanizam) 3.....	4
Slika 7. Detalj vezivanja štapova 3 .....	4
Slika 8. Sile u štapu rešetke 9 .....	5
Slika 9. Prikaz dijelova rešetke 10 .....	6
Slika 10. Vrsta oslonca-upeti oslonac 10.....	7
Slika 11. Vrsta oslonca-pomični oslonac 10 .....	7
Slika 12. Vrsta oslonca – nepomični oslonac 10 .....	8
Slika 13. Elementarna geometrijski nepromjenjiva prostorna rešetka 3 .....	8
Slika 14. Nadograđivanje elementarne prostorne rešetke 3.....	9
Slika 15. Krovna konstrukcija Zračne luke Franjo Tuđman 11 .....	10
Slika 16. Krovni nosači 5 .....	11
Slika 17. Industrijska hala 5 .....	11
Slika 18. Zračna luka Franjo Tuđman 12 .....	12
Slika 19. Konstrukcija željezničkog mosta 5 .....	12
Slika 20. Međukatna konstrukcija 5 .....	12
Slika 21. Primjena u visokogradnji 5 .....	13
Slika 22. Spreg za stabilizaciju 5 .....	13
Slika 23. Rešetkasti nosač 9.....	15
Slika 24. Čvor s vlačno opterećenim silama u štapovima 13 .....	16
Slika 25. . Presječeni rešetkasti nosač 9 .....	16
Slika 26. Odabir jednostavnije strane rešetke s pretpostavkom vlačnog opterećenja 10 .....	17
Slika 27. Konstrukcija Culmannovog pravca 10 .....	18
Slika 28. Rešetkasti nosač s pretpostavljenim reakcijama 10.....	18
Slika 29. Određivanje reakcija Culmannovom metodom 10 .....	19
Slika 30. Određivanje sila u štapovima rešetkastog nosača Culmannovom metodom 10.....	19
Slika 31. Presijecanje štapova rešetkastog nosača 13 .....	20
Slika 32. Određivanje Ritterovih točaka 13.....	20
Slika 33. Određivanje sila u štapovima Ritterovim postupkom 10 .....	21