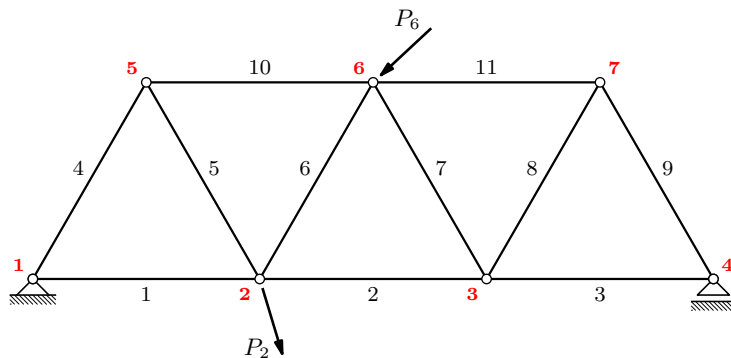
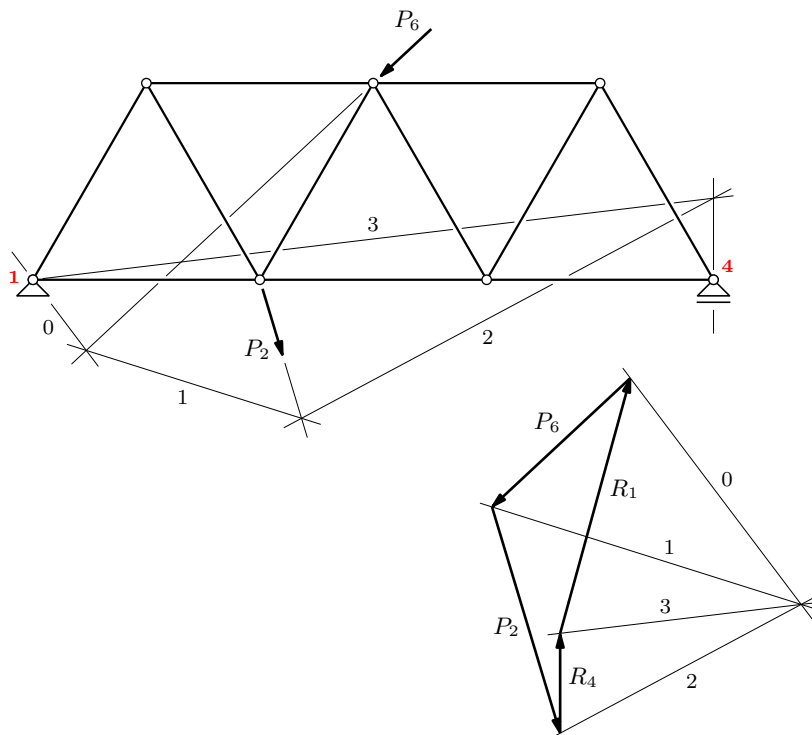


Maxwell, Cremona & Bow

Odredite vrijednosti sila u štapovima rešetke! Neka su $P_2 = 125 \text{ kN}$ i $P_6 = 100 \text{ kN}$.

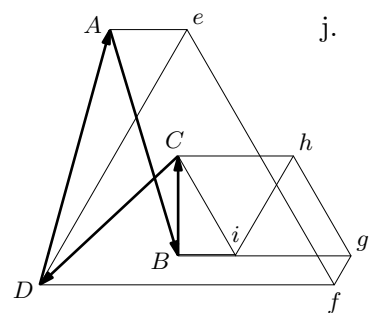
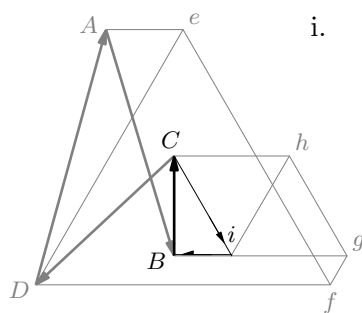
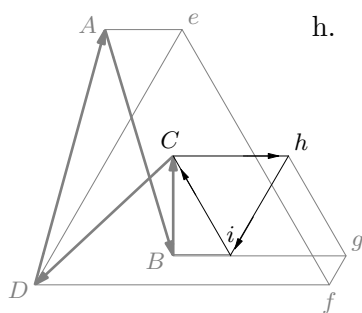
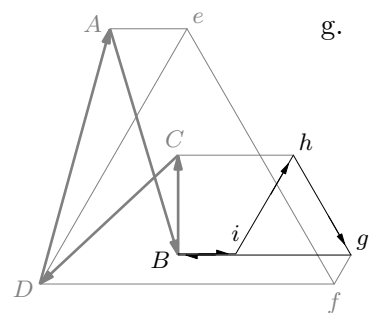
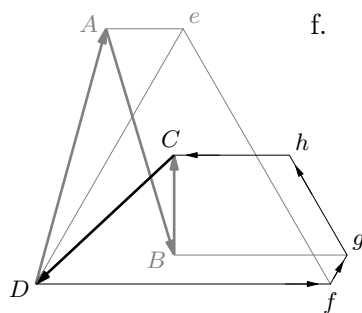
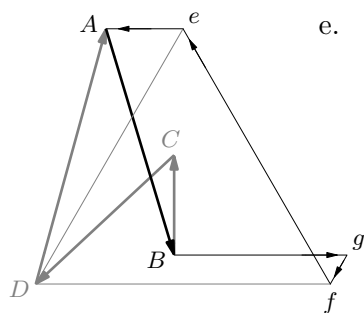
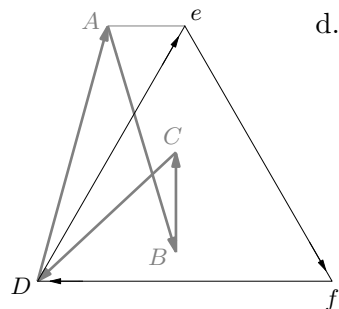
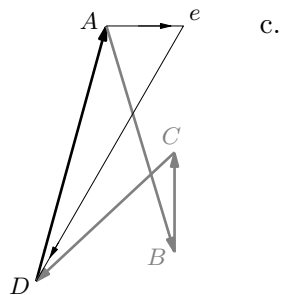
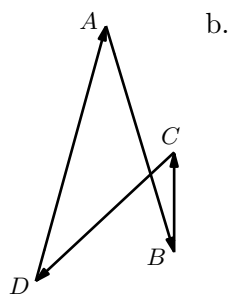
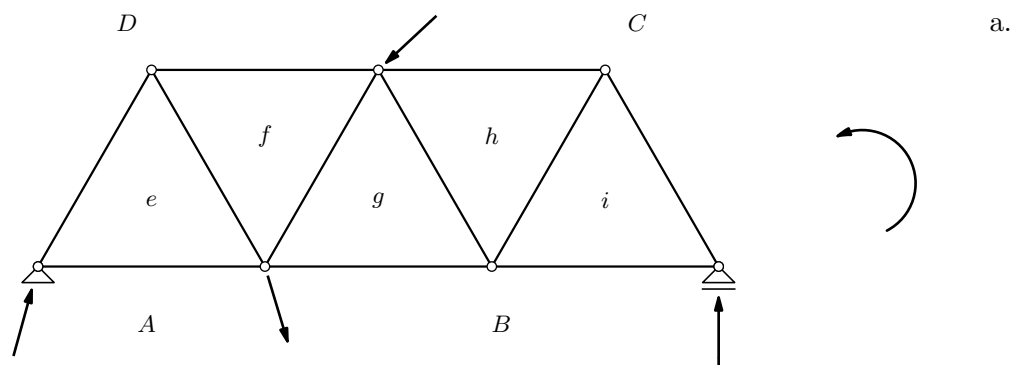


1. Prvi je korak, kao gotovo uvijek, određivanje reakcija. Pravac djelovanja, intenzitet i smisao reakcije u lijevom ležaju te intenzitet i smisao reakcije u desnom ležaju određeni su pomoću verižnoga poligona. (Budući da pravac djelovanja reakcije u nepomičnom zglobnom ležaju nije poznat, stranica 0 verižnoga poligona prolazi kroz taj ležaj.)



Mjerilo je sila $1 \text{ cm} :: 40 \text{ kN}$, pa su duljine prikazā zadanih sila $\tilde{P}_2 = 31 \text{ i } 1/4 \text{ mm}$ i $\tilde{P}_6 = 25 \text{ mm}$. Očitane su duljine prikazā reakcija $\tilde{R}_1 = 35 \text{ mm}$ i $\tilde{R}_4 = 13 \text{ i } 1/4 \text{ mm}$, pa su tražene vrijednosti $R_1 = 140,0 \text{ kN}$ i $R_4 = 53,0 \text{ kN}$.

2. Primijenit ćemo Bowov način obilježavanja (inačicu posuđenu iz udžbenika profesora Simovića): vanjska, otvorena polja označavat ćemo velikim, a zatvorene poligone malim slovima (crtež a. na slici na sljedećoj stranici). Smisao obilaženja oko čvorova bit će suprotan od smisla vrtnje kazaljke na satu.



»Nove« oznake sila P_2 , P_6 , R_1 i R_4 tada su AB , CD , DA i BC ; primjerice, obilazeći čvor **1** u odabranom smislu preko sile R_1 ćemo prijeći prelazeći iz polja D u polje A .

Oznaka čvora niz je oznaka polja koja ga okružuju, redoslijedom odabranoga smisla obilaženja, pa ćemo, primjerice, čvor **1** označiti s DAe (njegove oznake, dakako, mogu biti i AeD i eDA).

3. Vanjske sile (zadane i reakcije) treba u poligonu sila nacrtati redoslijedom u kojem se na njima nailazi pri obilaženju oko nosača u istome smislu u kojem ćemo obilaziti oko

čvorova. U našem je primjeru redoslijed DA , AB , BC i CD (crtež b.); kako je poligon sila zatvoren, bilo koja sila može, naravno, biti prva.

4. Određivanje vrijednosti (intenziteta i orijentacija) sila u štapovima možemo početi uravnoteživanjem čvora 1, odnosno, Bowovim načinom obilježavanja, čvora DAe . Uz poznatu reakciju DA na taj čvor djeluju dvije sile nepoznatih intenziteta i orijentacija — sile kojima na čvor djeluju priključeni štapovi 1 i 4 — pa se trokut sila može zatvoriti. Obilazeći čvor u smislu suprotnom od smisla vrtnje kazaljke, počevši s poznatom silom DA (drugim riječima, prešavši preko sile iz polja D u polje A), iz polja A preko štapa 1 prelazimo u polje e , pa se iz polja e preko štapa 4 vraćamo u polje D , tako da trokut sila oblikujemo crtanjem paralele sa štapom 1 — koji je između polja A i e — kroz točku A i paralele sa štapom 4 — koji je između polja e i D — kroz točku D . Sjecište je tih paralela vrh e trokuta $DAe(D)$ (crtež c.). Trokut je zatvoren (geometrijski i) statički, što znači da je sila kojom štap 1 djeluje na čvor DAe orijentirana od vrha A prema vrhu e , pa ćemo je označiti s Ae , dok je sila kojom na taj čvor djeluje štap 4 orijentirana od vrha e prema vrhu D , te će joj oznaka biti eD .

Sila eD djeluje prema čvoru DAe , a sila Ae od njega; slijedi da je u štapu 4 sila tlačna, a u štapu 1 vlačna.

5. Štap 4 na čvor DAe djeluje silom eD , pa će na čvor Def na svome drugom kraju (čvor 4) djelovati suprotno orijentiranom silom istoga intenziteta. U poligonu sila je sila eD orijentirana od vrha e prema vrhu D , dok će sila kojom taj štap djeluje na čvor Def biti orijentirana od vrha D prema vrhu e , pa će joj oznaka biti De .

Štap 4 između je polja D i e . Pri obilaženju čvora DAe u smislu suprotnom od smisla vrtnje kazaljke na satu preko njega prelazimo prelazeći iz polja e u polje D . Pri obilaženju pak čvora Def u istome smislu preko toga ćemo štapa prijeći prelazeći iz polja D u polje e . Slijed točaka u poligonu sila kojim je određena orijentacija sile odgovara, dakle, slijedu polja kojima prolazimo pri obilaženju čvora na koji sila djeluje u odabranom smislu.

6. Intenzitet i orijentacije sile kojom štap 4 djeluje na čvor Def su, prema prethodnom odsječku, poznati. U taj su čvor priključena još dva štapa, pa su nepoznati intenziteti i orijentacije dviju sila. Analognim se zaključivanjem može pokazati da su poznati i intenzitet i orijentacije sile eA kojom štap 1 djeluje na čvor $ABgfe$ (čvor 2), no u taj su čvor priključena još tri štapa, pa su (zasada) nepoznati intenziteti i orijentacije triju sila — jedne previše. Uravnotežit ćemo stoga čvor Def .

Obilazak čvora (u smislu suprotnom od smisla vrtnje kazaljke na satu) počinjemo s poznatom silom De (ili: iz polja D prelazimo u polje e). Iz polja e prelazimo u polje f te potom iz polja f nazad u polje D . Trokut sila $Def(D)$ sastavljamo crtanjem paralele sa štapom između polja e i f kroz kraj e sile De i paralele sa štapom između polja f i D kroz kraj D te sile; njihovo je sjecište vrh f trokuta (slika d.). Štap između polja e i f na čvor Def djeluje silom ef (orijentiranom od vrha e trokuta prema vrhu f), a štap između polja f i D na taj čvor djeluje silom fD (orijentiranom od vrha f prema vrhu D).

Sila ef je vlačna, jer djeluje od čvora Def , dok je fD tlačna sila, jer djeluje prema njemu.

7. Sada su poznati i intenzitet i orijentacija sile fe kojom štap između polja e i f djeluje na čvor $ABgfe$, pa u tome čvoru ostaju još dvije sile nepoznatih intenziteta i orijentacija.

Obilaženje čvora (dakako, u odabranom smislu) treba započeti prelazenjem preko poznatih sila i(li) preko štapova koji silama poznatih intenziteta i orijentacija djeluju na čvor. Prvi je takav štap netom spomenuti štap između polja e i f ; no, pri obilaženju čvora u smislu suprotnom od vrtnje kazaljke na satu slijed polja je $f \rightarrow e$. Poznati su i intenzitet i orijentacija sile eA kojom štap između polja e i A djeluje na čvor, a i zadana je sila AB (između polja A i B), dakako, poznata. Nisu poznati intenziteti i orijentacije sila kojima na čvor djeluju štapovi između polja B i g i između polja g i f (redosljedom obilaženja).

Sastavljanje poligona sila počinjemo u točki f (crtež e.); slijede točke e (sila fe), A (sila eA) i B (sila AB). Polygon sila zatvaramo crtanjem paralele sa štapom između polja B i g kroz točku B i paralele sa štapom između polja g i f kroz točku f . Sjecište je paralela peti vrh, g , peterokuta $feABg(f)$. Sila Bg je vlačna, a sila gf tlačna [obrazložite!].

8. Na čvor $CDfgh$ djeluje zadana sila CD . Nakon uravnoteženja čvorova Def i $ABgfe$ poznati su i intenziteti i orijentacije sila kojima na njega djeluju štapovi između polja D i f te f i g . Nepoznati su intenziteti i orijentacije dviju sila, sila kojima na čvor djeluju štapovi između polja g i h te h i C , pa se čvor može uravnotežiti.

Pri obilaženju je čvora redosljed polja kojima se prolazi prelazači prvo poznate sile i štapove sa silama poznatih te potom štapove sa silama nepoznatih intenziteta i orijentacija $C \rightarrow D \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow C$. Slijed je vrhova poligona sila (i sila u njemu), prema tome, $C \xrightarrow{(CD)} D \xrightarrow{(Df)} f \xrightarrow{(fg)} g \xrightarrow{(gh)} h \xrightarrow{(hC)} C$ (crtež f.); vrh h peterokuta $CDfgh(C)$ sjecište je paralele sa štapom između polja g i h kroz točku g i paralele sa štapom između polja h i C kroz točku C . Sile gh i hC su tlačne [obrazložite!].

9. Prijedemo li pri obilaženju čvora $Bihg$ prvo preko štapova koji na njega djeluju silama poznatih (hg i gB), a zatim one koje djeluju silama nepoznatih intenziteta i orijentacija (Bi i ih), redosljed je polja kojima se prolazi $h \rightarrow g \rightarrow B \rightarrow i \rightarrow h$, pa je slijed vrhova poligona sila i sila $h \xrightarrow{(hg)} g \xrightarrow{(gB)} B \xrightarrow{(Bi)} i \xrightarrow{(ih)} h$ (crtež g.); vrh i četverokuta $hgBi(h)$ sjecište je paralela sa štapovima između polja B i i i polja i i h kroz točke B i h . Sile Bi i ih su vlačne.

10. Sada su u čvoru Chi nepoznati intenzitet i orijentacija samo jedne sile, sile kojom štap između polja i i C njega. Obilazak čvora počinjemo i završavamo u polju C : $C \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow C$. U prethodnim su koracima određene njegove stranice Ch i hi trokuta sila, tako da su određeni svi njegovi vrhovi. Nacrtamo li paralelu sa štapom između polja i i C kroz vrh i , ona mora proći i kroz vrh C (crtež h.); ako ne prođe, trokut sila neće biti zatvoren.¹ Sila Ci je tlačna.

11. Posljednji je čvor čvor BCi . Sve sile koje na njega djeluju sada su poznate (crtež i.; usporedite ga s crtežom h.).

12. Crteži b. do i. čine strip (crtani/grafički roman²) koji prikazuje sastavljanje poligona

¹ Na računalnom se crtežu to ne bi smjelo dogoditi. Pri crtanju »rukom« (pomoću trokuta i ravnala) male su pogreške moguće, pa i neizbježne.

² Prema natuknici **strip** u *Hrvatskoj enciklopediji* (mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013.–2025. Pristupljeno 16.6.2025. <<https://enciklopedija.hr/clanak/strip>>) »suvremeni« se, »ozbiljni« strip (koji nije namijenjen djeci) naziva *grafički roman* (*graphic novel*), a u Hrvatskoj se često nazivao *crtanim romanom*.

sila Maxwell i Cremona. Na svakom je crtežu uravnotežen jedan čvor. Crtež j. dovršeni je poligon. Na crtežima u stripu strelicama su naznačene orijentacije sila u štapovima. Na svakoj se sili strelice pojavljuju na dva crteža, suprotno orijentirane, označavajući orijentacije sile u odnosu na čvorove na koje djeluje, a koji su na tim crtežima uravnoteženi.

U dovršenom poligonu na crtežu j. strelica nema. (U stvari, strelice se pri sastavljanju poligona najčešće ni ne crtaju. U grafičkom su romanu crtane radi zornijih pojašnjenja.) Orijentacije sile u odnosu na čvor na koji djeluju određene su, i pri crtanju poligona sila i u kasnijim pregledima, slijedom vrhova poligona sila koji odgovara slijedu polja kojima prolazimo pri obilaženju čvora u odabranom smislu. Kako smo oznaku čvora definirali kao niz oznaka polja koja ga okružuju, u redoslijedu kojim tim poljima prolazimo obilazeći ga u istom smislu, poligon sila koje djeluju primjerice na čvor $CDfgh$ bit će $C \xrightarrow{(CD)} D \xrightarrow{(Df)} f \xrightarrow{(fg)} g \xrightarrow{(gh)} h \xrightarrow{(hC)} C$. Sila kojom štap između polja g i h djeluje na taj čvor bit će, prema tome, orijentirana od vrha g prema vrhu h . Poligon sila koje djeluju na čvor $Bihg$ je $B \xrightarrow{(Bi)} i \xrightarrow{(ih)} h \xrightarrow{(hg)} g \xrightarrow{(gB)} B$, pa je sila kojom štap između polja h i g (ili g i h) djeluje na taj čvor orijentirana od vrha h prema vrhu g , dakle — kao što i treba biti — suprotno od sile kojom taj štap djeluje na čvor na svom drugom kraju.

13. I na kraju, očitane duljine stranica poligona sila pomoću mjerila sila »pretvaramo« u intenzitete sila, a predznacima možemo označiti vlak (+) i tlak (−):

