Poglavlje 10

STATIČKI NOSAČI

Ciljevi poglavlja

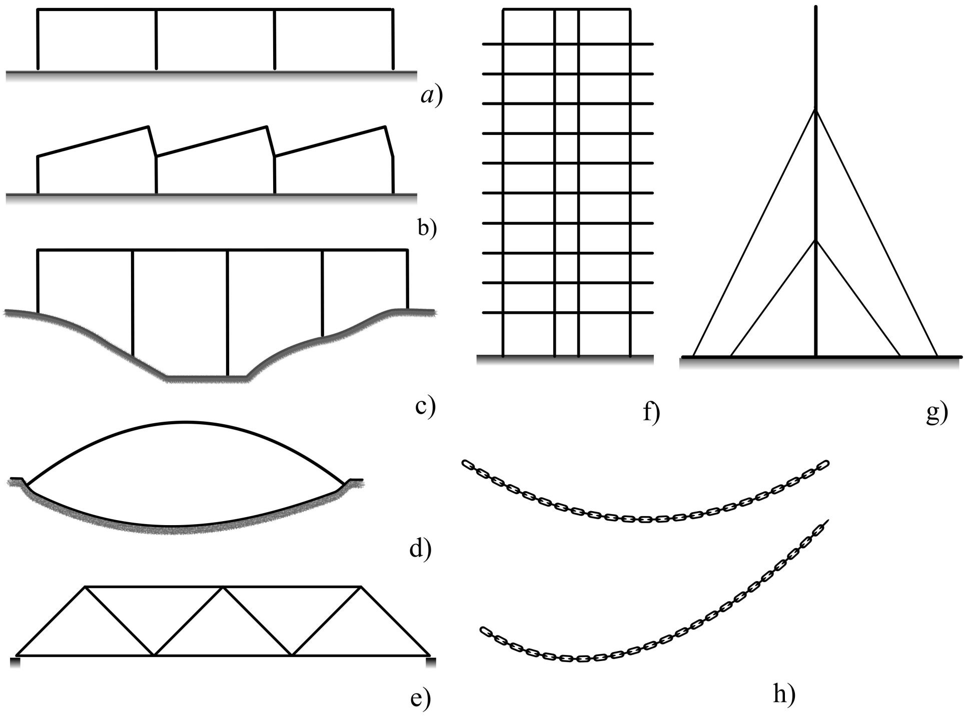
- Podela konstrukcija
- Linijski nosači u ravni
- Određivanje reakcija veza linijskih nosača u ravni
- Određivanje sila u štapovima ravne rešetke primenom metode čvorova i metode preseka

a) Ajfelova kula, toranjski sistem, rešetkasta konstrukcija [15]; b) Montažna hala od armiranog betona, okvirna konstrukcija; c) drvena krovna konstrukcija [11]; d) Gvozdeni rešetkasti most, prosta greda, Škotska [11].

Primenjujući sve što je izloženo u prethodnim poglavljima, sada je moguće analizirati probleme ravnoteže tela koja se koriste kao konstruktivni elementi u građevinarstvu. Elementi o kojima će ovde biti reči mogu biti prosti (osnovni) nosači, kao što su prosta greda, konzola ili greda sa prepustima, i složeni nosači u ravni, sastavljeni od više prostih nosača, odnosno štapova, kao što su Gerberova greda ili okvirni nosač na tri zgloba. Razmatraće se i rešetke u ravni – konstrukcije koje se sastoje samo od prostih štapova, kao i metode za određivanje sila u štapovima rešetke.

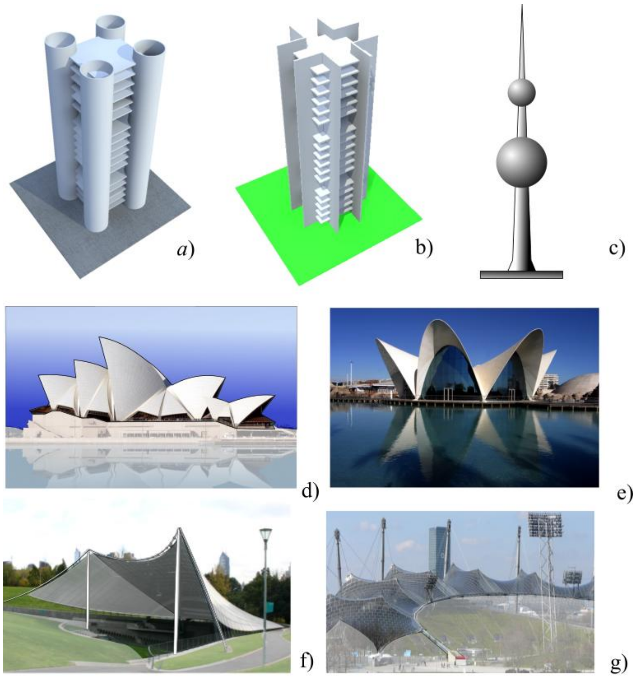
10.1 Podela konstrukcija

Pod terrminom *konstrukcija* podrazumeva se mehanički sklop od osnovnih nosača, koji je sposoban da prihvati i prenese opterećenje na podlogu. Dakle, konstrukciju definišu tip elemenata od kojih je sastavljena, geometrija sistema i opterećenje kome je izložena.
Analiza opterećenja nosećih konstrukcija (nosača) pripada oblasti inženjerstva, poznatoj pod nazivom strukturna analiza..
Prema vrsti osnovnih nosećih elemenata, odnosno načina na koji prihvataju i prenose opterećenje, konstrukcije mogu biti linijske, površinske, masivne i kombinovane.
Ukoliko su dimenzije elementarnog nosača takve da se dimenzije njegovog poprečnog preseka mogu zanemariti u odnosu na dužinu, konstrukcija je *linijska.* Shematski se takvi elementi konstrukcije prikazuju kao linija, Slika 10.1.
U ove konstrukcije spadaju *grede, stubovi, okviri, lukovi, lančanice, rešetke i njihove kombinacije.* Lukovi i lančanice, zbog svoje složenosti, neće biti razmatrani u ovoj knjizi.



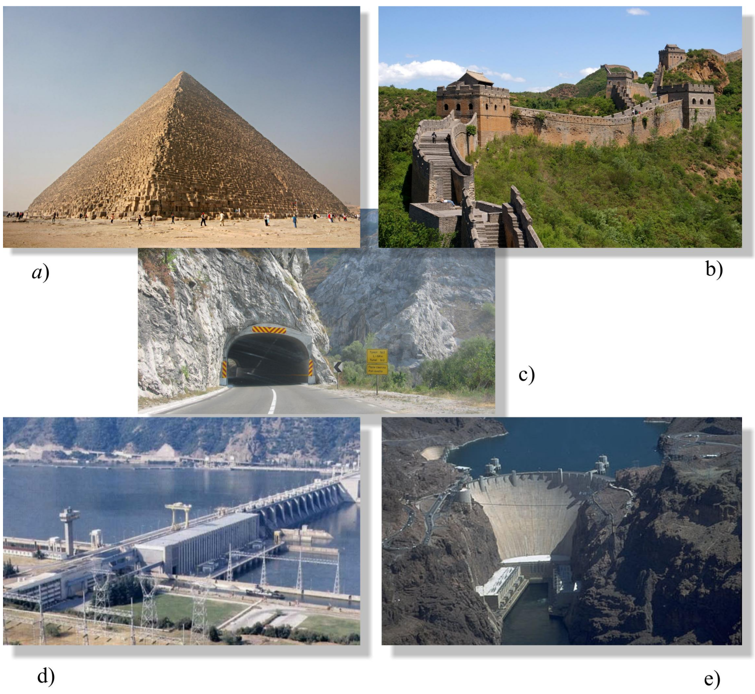
Slika.10.1 *a*) Okvir; b) okvir; c) okvir; d) luk; e) rešetka; f) višespratni okvir; g) stub sa zategama; h) lančanice.

U *površinske konstrukcije* spadaju one konstrukcije čija se jedna dimenzija, debljina, može zanemariti u odnosu na druge dve. To su ploče, ljuske, i membrane, kao i njihove kombinacije. Primeri površinskih konstrukcija prikazani su na Slici 10.2.



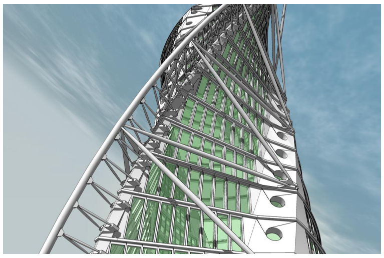
Slika 10.2 *a*) Ploče i cevasti površinski nosači; b) ploče i zidna platna; c) sferna ljuska na cevastom toranjskom nosaču; d) površinski nosači – ljuske, opera u Sidneju, Australija; e) površinski nosači – ljuske, paviljon u Sočimilku, Meksiko; f) šatorasta konstrukcija – zategnuto platno, auditorijum u Sidneju, Australija; g) šatorasta konstrukcija – zategnuta mreža, olimpijski stadion u Minhenu, Nemačka.

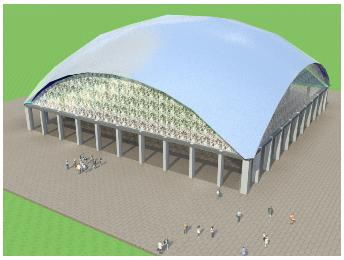
U *masivne konstrukcije* spadaju sve one konstrukcije čiji su delovi takvi da su im sve tri dimenzije istog reda veličine. Primeri masivnih konstrukcija prikazani su na Slici 10.3.



Slika 10.3 *a*) Keopsova piramida u Gizi; b) Veliki zid, Kina; c) tunel u Sićevačkoj klisuri; d) brana hidroelektrane Đerdap 1 na Dunavu; e) brana Huver na reci Kolorado, Arizona, SAD.

Složene konstrukcije, odnosno mešovite konstrukcije, nastaju kao kombinacija prethodnih vrsta. Primeri složenih konstrukcija prikazani su na Slici 10.4 [10].


a)


b)

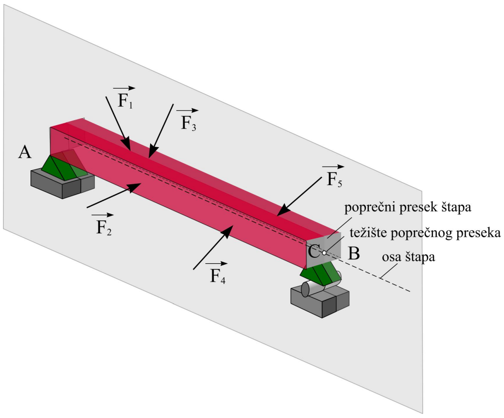
Slika 10.4 *a*) Visoka zgrada sa linijskim ekzoskeletom, studija S. Kalatrava; b) sferna ljuska na kvadratnoj osnovi.

10.2 Statički nosači u ravni

Nosači su konstruktivni elementi koji primaju opterećenja i prenose ih na druga tela, odnosno oslonce. Pod linijskim nosačima se podrazumevaju geometrijski neizmenljivi sistemi koji su sastavljeni od jednog ili više međusobno povezanih štapova, a vezani su za tlo ili neku drugu konstrukciju osloncima. Opterećenje koje deluje na linijski nosač može biti proizvoljno u vidu koncentrisanih sila, spregova ili koncentrisanih momenata, ravnomerno raspodeljenog opterećenja ili neravnomerno raspodeljenog opterećenja (poglavlje 9). Prema trajanju delovanja opterećenje na nosače je *stalno* (nepokretno, mrtvo) i obeležava se sa g (sopstvena težina), i *pokretno* (slučajno, promenljivo, korisno), koje se obeležava sa p (vetar, sneg, udar itd.).

Osnovni element linijskog nosača je štap. To je kruto telo čije su dve dimenzije znatno manje u odnosu na treću dimenziju – dužinu. Linija koja prolazi kroz težišta poprečnih preseka štapa naziva se *osa štapa*, Slika 10.5, a može biti prava, kao na Slici 10.6 *a*), b), c), d) e), f), g), ili kriva, kao što je kod luka, lančanice itd, Slika 10.6 h), i), j). Poprečni preseci štapa su normalni na osu štapa. Veze između štapova mogu biti zglobne ili krute (poglavlje 7.4).

Štapovi mogu biti konstantnog ili promenljivog poprečnog preseka. Linijski nosači se šematski prikazuju linijom ose svojih štapova, Slika 10.5. Tačke u kojima se seku ose štapova nazivaju se *čvorovima nosača*. U zavisnosti od rasporeda opterećenja i geometrije štapova, linijski nosači se dele na *ravne nosače* i *prostorne nosače*. Kod ravnih linijskih nosača ose svih štapova i sva opterećenja leže u jednoj ravni, dok kod prostornih to nije slučaj. Svi nosači prikazani na Slici 10.6 su ravni. U ovom poglavlju se obrađuju linijski nosači u ravni.

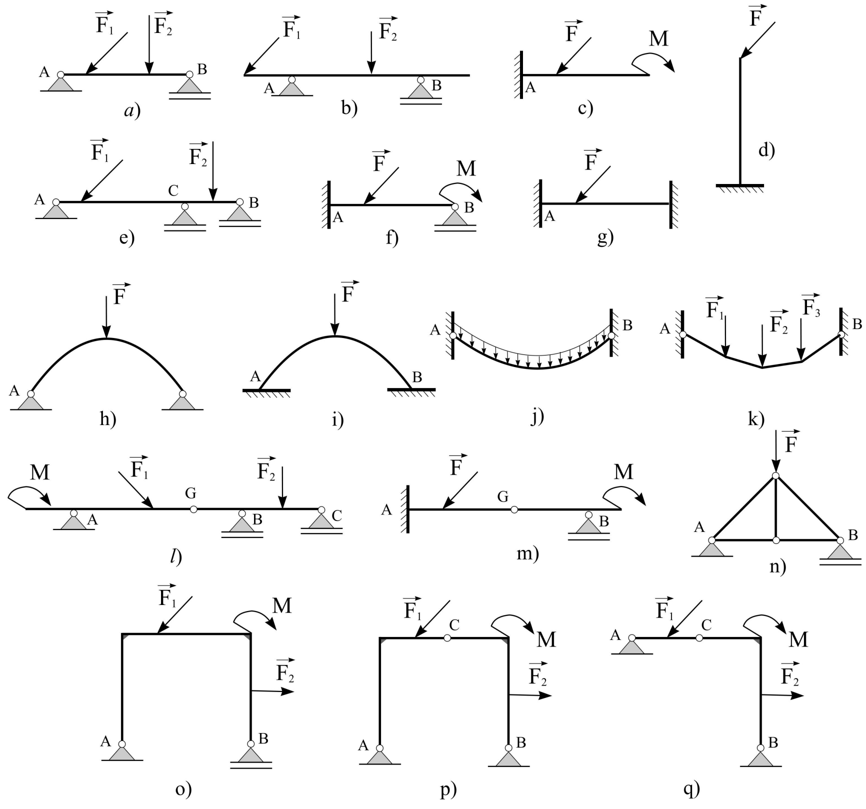


Slika 10.5 Linijski nosač – prosta greda

Linijski nosači se prema obliku svojih elemenata dele na pune i rešetkaste. Puni nosači su, na primer, prosta greda, Slika 10.6 *a*), greda sa prepustima, Slika 10.6 b), konzola, Slika 10.6 c), prost okvirni nosač – ram, Slika 10.6 o), luk, Slika 10.6 h), i), lančanica, Slika 10.6 j), k), Gerberova greda, Slika 10.6 *l*), m), okvirni nosač na tri zgloba, Slika 10.6 p), itd. Za prostu gredu, gredu sa prepustima, konzolu i okvir može se reći da su *prosti linijski nosači* ili *osnovni linijski nosači*. Kombinacijama ovakvih nosača dobijaju se *složeni nosači*, čija složenost zavisi od broja korišćenih osnovnih nosača i načina njihovog vezivanja.

Gerberova greda i okvirni nosači sastavljeni od više prostih nosača vezanih zglobovima, tzv. Gerberovi okviri, tj. okviri na tri zgloba ili više od tri zgloba, spadaju u složene, s obzirom da se sastoje iz više tela, koja su međusobno povezana zglobovima. Rešetkasti nosači predstavljaju konstrukcijsku celinu, geometrijski nepromenljivu, sačinjenu od štapova međusobno zglobno povezanih, Slika 10.6 n).

Nosači mogu biti statički određeni i statički neodređeni. Kod statički određenih nosača sve nepoznate veličine mogu se odrediti postavljanjem odgovarajućih uslova ravnoteže, kao što je već rečeno u poglavlju 4 (primer 4.15), kao i poglavlju u 7.3 (postupak prilikom rešavanja zadataka). U ovoj knjizi obrađuju se statički određeni linijski nosači. Za rešavanje statički neodređenih nosača, kao što su, na primer, greda na tri oslonca, Slika 10.6 e), poduprta konzola na Slici 10.6 f), tri puta statički neodređena uklještena greda na Slici10.6 g), luk na dva zgloba na Slici 10.6 h) i uklješten luk na Slici 10.6 i), lančanica na Slici 10.6 j) i k), nisu dovoljni uslovi ravnoteže, već je potrebno postaviti dopunske uslove, koji uzimaju u obzir deformacije usled opterećenja. Izučavanje ovih dopunskih uslova pripada drugim disciplinama kao što su otpornost materijala, statika konstrukcija itd.



Slika 10.6 *a*) Prosta greda; b) greda sa prepustima; c) konzola; d) konzolni stub; e) greda na tri oslonca; f) poduprta konzola; g) obostrano uklještena greda; h) luk na dva zgloba; i) uklješten luk; j) lančanica; k) lančanica; *l*) Gerberova greda; m) Gerberova greda; n) rešetkasti nosač; o) prost okvir; p) okvirni nosač na tri zgloba; q) okvir na tri zgloba.

10.2.1 Osnovni puni statički određeni linijski nosači u ravni

Prosta greda je nosač koji je na svojim krajevima vezan nepokretnim i pokretnim osloncem za nepokretnu osnovu, Slika 10.6 *a*). Rastojanje između oslonaca se naziva raspon grede. Primer proste grede je obrađen u poglavlju 7.3. Mostovi sistema proste grede prikazani su na Slici 10.7 *a*) i b).

Greda sa prepustima je nosač kod koga se bar jedan oslonac ne nalazi na kraju grede. Na Slici 10.6 b) prikazana je greda sa dva prepusta.

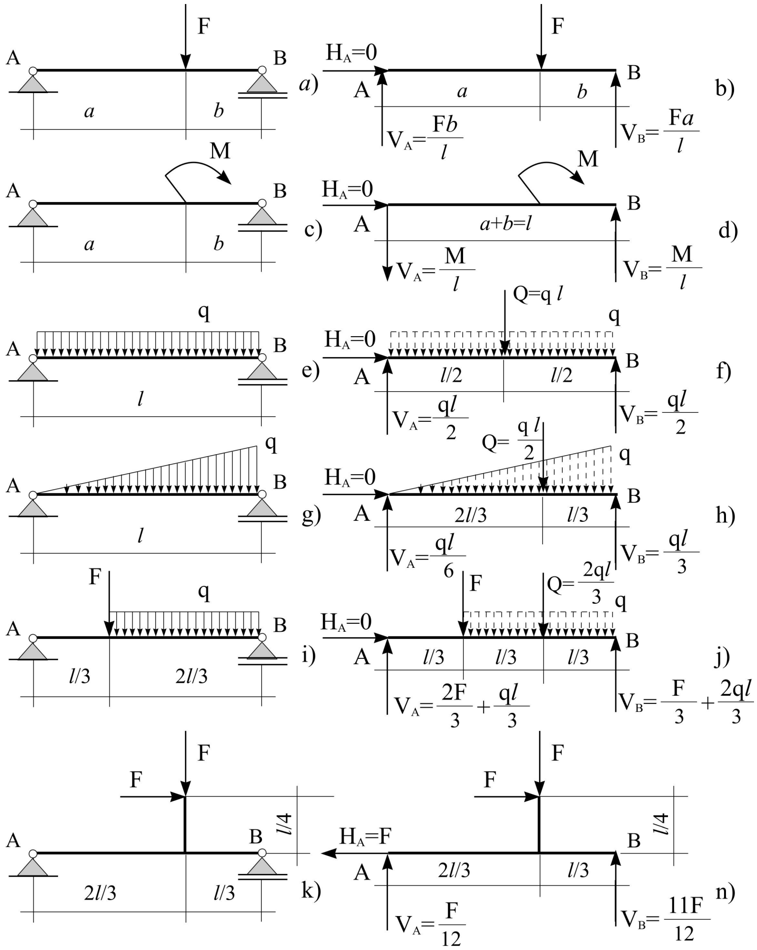
Konzola je linijski nosač vezan uklještenjem na jednom kraju, a na drugom kraju je slobodan, Slika 10.6 c). Kao što je to pokazano u poglavlju 6.5, odnosno u poglavlju 7.3, uklještenje kao veza u ravni sprečava i pomeranja i obrtanje, pa su reakcije veze $\vec{R}_A$, odnosno njene komponente H_A i V_A, kao i moment sprega – moment uklještenja M_A. Konzola može da bude kao na Slici 10.6 d) i tada je to *konzolni stub*. Na Slici 10.7 f), g), h), i), j) prikazani su objekti i stubovi konzolnog tipa.

Okvirni nosač (ram) je linijski nosač sastavljen od više štapova, čije ose međusobno zaklapaju određene uglove, a veza između njih je kruta, Slika 10.6 o). Veze sa spoljašnjom sredinom su nepokretan i pokretan oslonac. Rešavanje okvira svodi se na razmatranje ravnoteže tela u ravni.

10.7 *a*) Prosta greda, Anegasakigava most, Japan [11]; b) prosta greda, rešetka, železnički most, Japan [11]; c) drveni okvir, plivalište, Brno, Češka [11]; d) lučni pešački most, Kina [11]; e) viseći most, Francuska, 1822 [11]; f) stub, olimpijski kompleks, Minhen, Nemačka; g) vodotornjevi u Kuvajtu; h), i) konzola, vidikovac, kanjon Kolorado, SAD; j) kuća na vodopadima, Frenk Lojd Rajt.

Primeri ravnoteže prostih nosača pod dejstvom ravnog sistema sila

Primer 10.1
Odrediti reakcije veza prostih greda prikazanih na Slici P 10.1.



Slika P 10.1 *a*) Prosta greda opterećena silom; b) greda oslobođena veza; c) prosta greda opterećena spregom – koncentrisanim momentom; d) greda oslobođena veza; e) prosta greda opterećena jednako podeljenim opterećenjem duž celog raspona; f) greda oslobođena veza; g) prosta greda opterećena raspodeljenim trougaonim opterećenjem duž celog raspona; h) greda oslobođena veza; i) prosta greda opterećena silom i jednako podeljenim opterećenjem; j) greda oslobođena veza; k) prosta greda opterećena silama; n) prosta greda oslobođena veza.

Reakcije veza prostih greda na Slici P 10.1 određuju se iz uslova ravnoteže ravnog sistema sila.
Kako se radi o jednostavnim jednačinama, postavljanje i rešavanje ovih jednačina nije prikazano za sve primere, već samo za prostu gredu na Slici P 10.1 i). Greda je opterećena koncentrisanom silom F i raspodeljenim specifičnim opterećenjem q, koje je konstantno na dužini $\frac{2l}{3}$. Prosta greda oslobođena veza, nepokretnog oslonca u A i pokretnog oslonca u B, prikazana je na Slici P 10.1 j). Jednačine ravnoteže glase:

$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A = 0,$$

$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A + V_B - F - Q = 0,$$

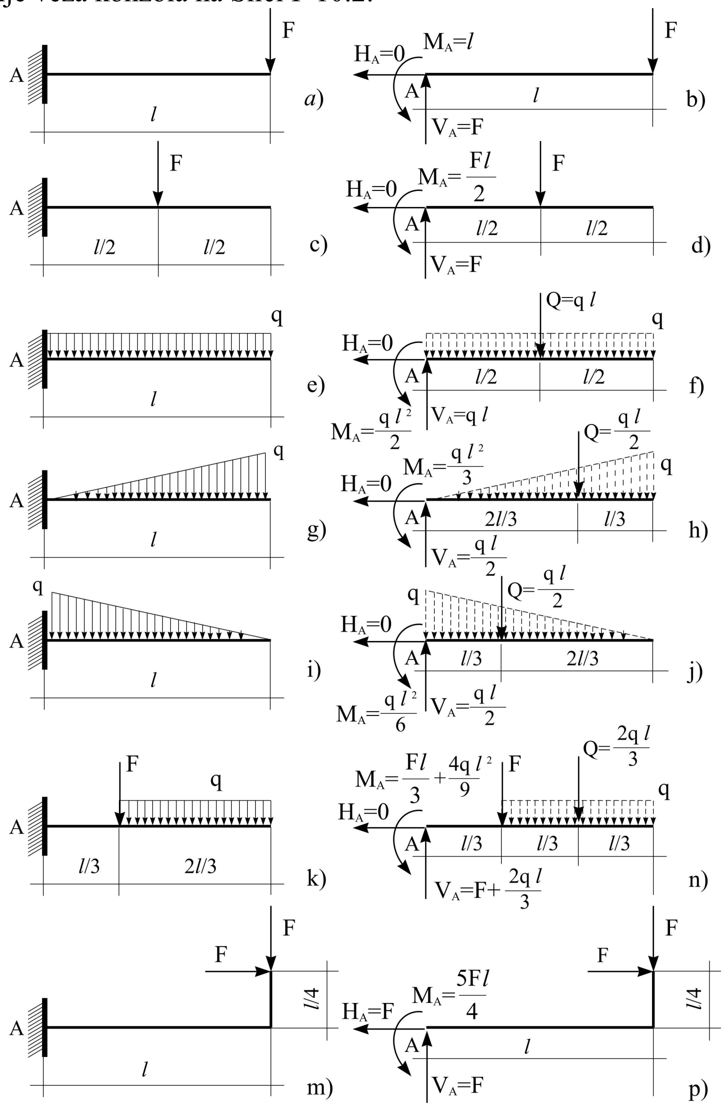
$$\sum M_A = 0 \;\rightarrow\; V_B \cdot l - F \cdot \frac{l}{3} - Q\left(\frac{l}{3} + \frac{l}{3}\right) = 0,$$

a njihovim rešavanjem dobija se: $H_A = 0$, $V_A = \dfrac{2F}{3} + \dfrac{ql}{3}$, $V_B = \dfrac{F}{3} + \dfrac{2ql}{3}$.

Dobijene vrednosti reakcija veza za proste grede na Slici P 10.1 *a*), c), e), g), i) i k) upisane su na Slici P 10.1 b), d), f), h), j) i n).

Primer 10.2

Odrediti reakcije veza konzola na Slici P 10.2.



Slika P 10.2 *a*) Konzola opterećena silom na slobodnom kraju; b) konzola oslobođena veza; c) konzola opterećena silom na sredini raspona; d) konzola oslobođena veza; e) konzola opterećena jednako podeljenim opterećenjem; f) konzola oslobođena veza; g) konzola opterećena raspodeljenim trougaonim opterećenjem; h) konzola oslobođena veza; i) konzola opterećena raspodeljenim trougaonim opterećenjem; j) konzola oslobođena veza; k) konzola opterećena silom i jednako podeljenim opterećenjem; n) konzola oslobođena veza; m) konzola opterećena silama; p) konzola oslobođena veza.

Konzola je nosač koji je na jednom kraju uklješten, a na drugom slobodan. Reakcije uklještenja su vertikalna komponenta reakcije veze, horizontalna komponenta reakcije veze i moment uklještenja, kao što je predstavljeno na Slici P 10.2 b), d), f), h), j), n) i p). Primenom jednačina ravnoteže koje, na primer, za konzolu na Slici P 10.2 m), p) glase:

$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A - F = 0,$$

$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A - F = 0,$$

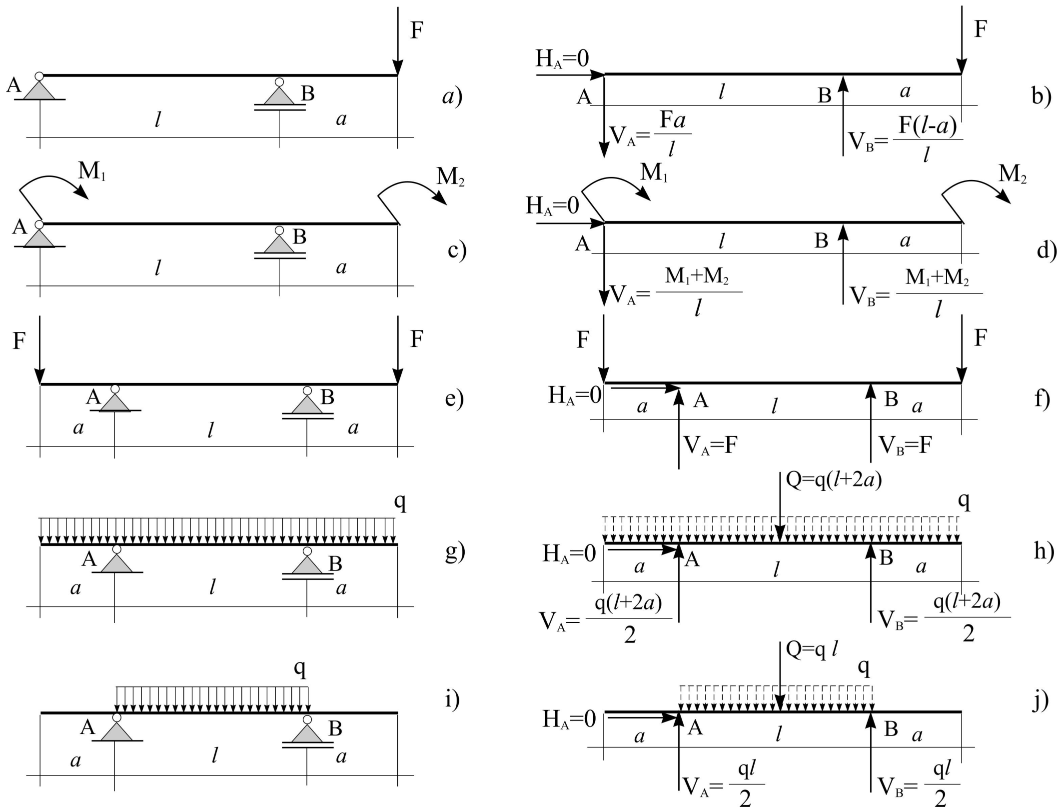
$$\sum M_A = 0 \;\rightarrow\; M_A - F\cdot\frac{l}{4} - F\cdot l = 0,$$

dobijaju se vrednosti reakcija uklještenja: $H_A = F,\; V_A = F,\; M_A = \dfrac{5Fl}{4}$.

Dobijene vrednosti reakcija veza za konzolu na koju deluju različita opterećenja upisane su na Slici P 10.2 b), d), f), h), j), n) i p).

Primer 10.3

Odrediti reakcije veza za grede sa prepustima, Slika P 10.3.



Slika P 10.3 *a*) Greda sa prepustom opterećena silom; b) greda oslobođena veza; c) greda sa prepustom opterećena spregovima – koncentrisanim momentima na krajevima; d) greda oslobođena veza; e) greda sa dva prepusta opterećena silama na krajevima; f) greda oslobođena veza; g) greda sa dva prepusta opterećena jednako podeljenim opterećenjem po celoj dužini; h) greda oslobođena veza; i) greda sa dva prepusta opterećena jednako podeljenim opterećenjem između oslonaca; j) greda oslobođena veza.

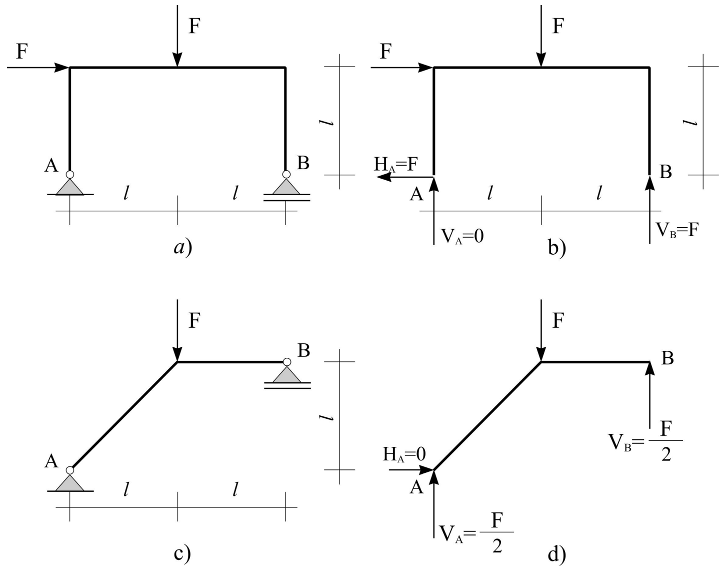
Grede sa jednim prepustom, odnosno sa dva prepusta na Slici P 10.3 oslobođene su veza, Slika P 10.3 b), d), f), h) i j). Jednačine ravnoteže za gredu prikazanu na Slici P 10.3 c) glase:

$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; -V_A + V_B = 0,$$
$$\sum M_A = 0 \;\rightarrow\; V_B \cdot l - M_1 - M_2 = 0.$$

Rešavanjem ovih jednačina dobija se: $H_A = 0,\;\; V_A = \dfrac{M_1 + M_2}{l},\;\; V_B = \dfrac{M_1 + M_2}{l}$.

Primer 10.4

Odrediti reakcije veza okvira, Slika P 10.4 *a*) i c).

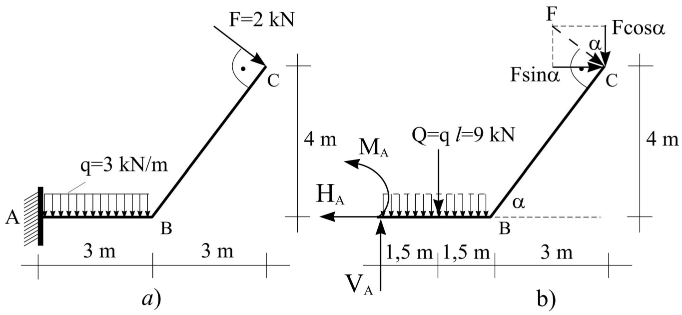


Slika P 10.4 *a*) Okvir; b) telo oslobođeno veza; c) okvir; d) telo oslobođeno veza.

Okviri na Slici P 10.4 *a*) i c) vezani su nepokretnim i pokretnim osloncem. Primenom jednačina ravnoteže ravnog sistema sila dobijene su reakcije veza, čije su vrednosti upisane na Slici P 10.4 b) i d).

Primer 10.5

Odrediti reakcije veze konzole, prikazane na Slici P 10.5.



Slika P 10.5 *a*) Konzola; b) telo oslobođeno veza.

Konzola oslobođena veza prikazana je na Slici P 10.5 b). Sila F upravna je na deo BC konzole, što znači da je ona pod uglom α u odnosu na vertikalni pravac. Iz Slike P 10.5 je očigledno da je: $\sin\alpha = \dfrac{4}{5},\;\; \cos\alpha = \dfrac{3}{5}$.

Jednačine ravnoteže glase:

$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; -H_A + F\sin\alpha = 0,$$

$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A - F\cos\alpha - Q = 0,$$

$$\sum M_A = 0 \;\rightarrow\; M_A - F\cos\alpha\cdot 6 - F\sin\alpha\cdot 4 - Q\cdot 1{,}5 = 0,$$

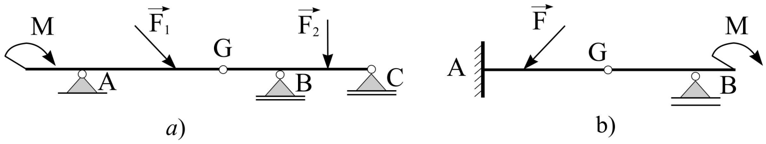
a njihovim rešavanjem dobijaju se reakcije uklještenja:

$$H_A = 1{,}6\,\mathrm{kN},\quad V_A = 10{,}2\,\mathrm{kN},\quad M_A = 27{,}1\,\mathrm{kNm}.$$

10.2.2 Složeni puni statički određeni linijski nosači

Gerberov nosač

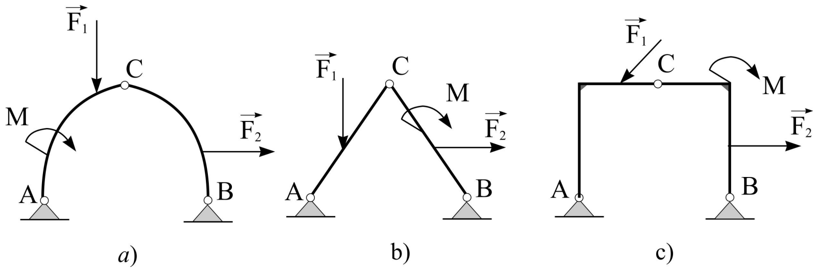
Gerberov nosač predstavlja sistem od više krutih grednih štapova međusobno povezanih zglobovima, Slika 10.8. Gerberovi nosači se rešavaju rastavljanjem sistema tela na pojedinačna tela i postavljanjem uslova ravnoteže za svako telo posebno ili postavljanjem uslova ravnoteže za nosač kao celinu, čime se dobijaju reakcije spoljašnjih veza, a zatim postavljanjem uslova ravnoteže za jedno ili više tela da bi se odredile reakcije unutrašnjih veza. Postupak rešavanja detaljno je opisan u poglavlju 7.4, u kome se razmatraju uslovi ravnoteže sistema tela.



10.8 *a*) Gerberov nosač; b) Gerberov nosač.

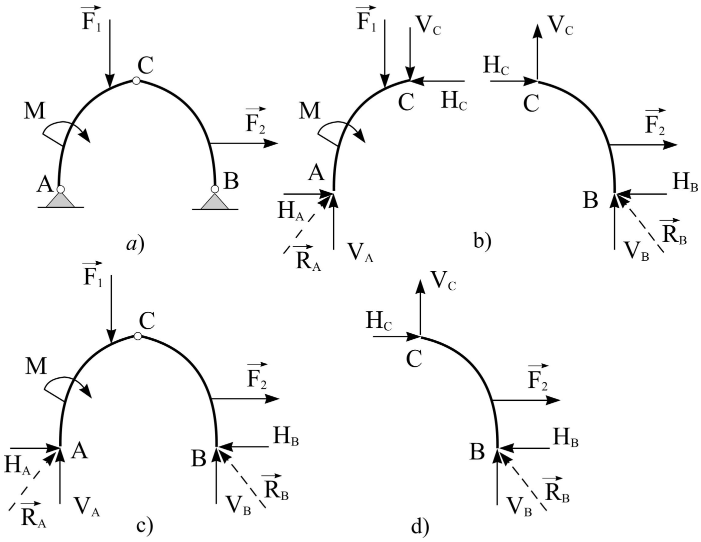
Okvirni nosač na tri zgloba

Nosač na tri zgloba je sastavljen od dva međusobno zglobno vezana kriva ili prava štapa, koji ne leže na istoj pravoj, a vezani su za spoljašnju sredinu nepokretnim osloncima, Slika 10.9.



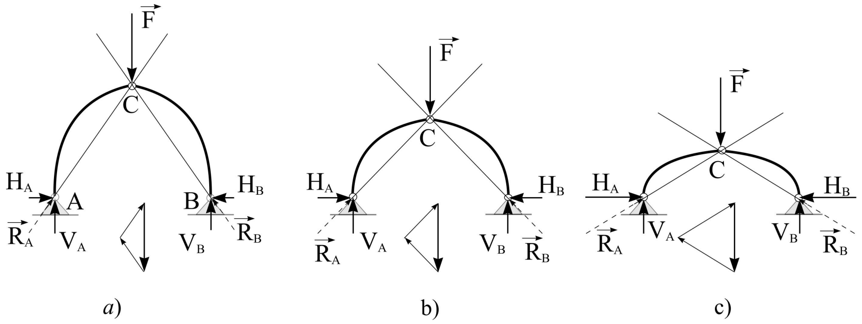
Slika 10.9 *a*) Lučni nosač na tri zgloba; b) okvirni nosač na tri zgloba; c) okvirni nosač na tri zgloba.

Kao što je objašnjeno u poglavlju 7.4, sistem krutih tela se primenom pete aksiome oslobađa spoljašnjih veza, a uticaj veza se nadoknađuje reakcijama veza V_A, H_A, V_B i H_B. Da bi sistem krutih tela bio u ravnoteži potrebno je da sistem sila koji deluje na konstrukciju (spoljašnje sile i spoljašnje reakcije veza) zadovoljava uslove ravnoteže proizvoljnog sistema sila, tj. krutog tela. Pošto u tim jednačinama ravnoteže ne figurišu unutrašnje sile, potrebno je, primenom pete i šeste aksiome, rastaviti sistem tela na pojedina kruta tela i na njih primeniti uslove ravnoteže. U tim jednačinama pojaviće se i unutrašnje sile veza. U tu svrhu mogu da se primene dva postupka, koji su detaljno opisani u poglavlju 7.4.



Slika 10.10 *a*) Nosač na tri zgloba; b) oslobađanje veza i spoljašnjih i unutrašnjih; c) nosač na tri zgloba oslobođen spoljašnjih veza; d) jedno od tela sistema oslobođeno veza.

Ako je nosač opterećen jednom vertikalnom silom, primenom uslova ravnoteže tri sile mogu se odrediti pravci, smerovi i intenziteti reakcija veza, Slika 10.1 *a*) Reakcije veza $\vec{R}_A$ i $\vec{R}_B$ nosača na tri zgloba su kose i za vertikalno opterećenje. Što je manja visina, tzv. strela luka (plići luk), reakcije su pod manjim uglom u odnosu na horizontalni pravac, tj. veće su horizontalne komponente reakcija veza, Slika 10.11 b), c). Očigledno je da horizontalne komponente reakcija mogu biti znatno veće od ukupne težine konstrukcije o čemu treba voditi računa u praktičnoj primeni.

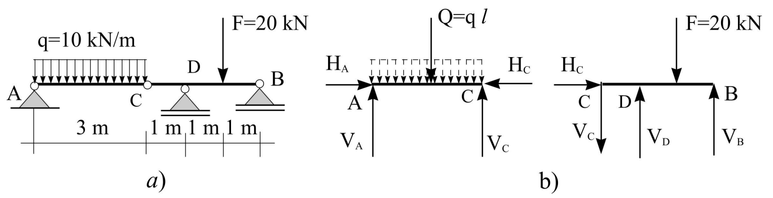


Slika 10.11 *a*) Nosač na tri zgloba; b) plići luk – veće horizontalne komponente reakcija veza; c) još plići luk – još veće horizontalne komponente reakcija veza.

Primeri Gerberovih nosača, lukova na tri zgloba i složenih nosača

Primer 10.6

Odrediti reakcije veza Gerberovog nosača, prikazanog na Slici P 10.6.



Slika P 10.6 *a*) Gerberov nosač; b) sistem tela oslobođen spoljašnjih veza i unutrašnje veze u C.

Gerberov nosač na Slici P 10.6 predstavlja sistem od dve grede koje su međusobno povezane zglobom C. Kao što je opisano u poglavlju 7.4, sistemi tela mogu da se rešavaju primenom dva postupka:

1. postavljanjem uslova ravnoteže za nosač kao celinu, čime se dobijaju reakcije spoljašnjih veza, a zatim postavljanjem uslova ravnoteže za jedno ili više tela, čime se dobijaju i reakcije unutrašnjih veza ili
2. rastavljanjem sistema tela na pojedinačna tela i postavljanjem uslova ravnoteže za svako telo posebno.

Posmatrajući Gerberov nosač kao celinu, uočava se da je vezan nepokretnim osloncem u A i pokretnim osloncima u D i B. Kako se radi o četiri komponente reakcija veza (H_A, V_A, V_B, V_D), iz tri jednačine ravnoteže za ceo sistem se one ne mogu odrediti, pa treba formirati još tri jednačine ravnoteže za jedno od dva tela na Slici P 10.6 b). Ovde je primenjen drugi postupak. Sistem je rastavljen na pojedinačna tela, Slika P 10.6 b), i formirane su jednačine ravnoteže za svako telo posebno. Jednačine ravnoteže glase:

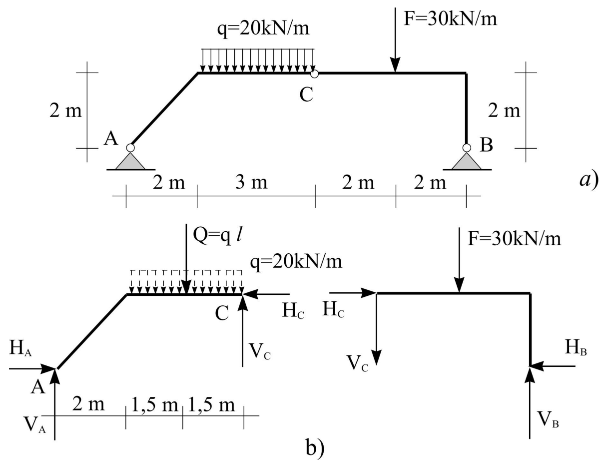
$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A - H_C = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A + V_C - Q = 0,$$
$$\sum M_A = 0 \;\rightarrow\; V_C \cdot 3 - Q \cdot 1{,}5 = 0,$$
$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_C = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; -V_C + V_B + V_D - F = 0,$$
$$\sum M_D = 0 \;\rightarrow\; V_C \cdot 1 - F \cdot 1 + V_B \cdot 2 = 0.$$

Rešavanjem ovog sistema jednačina dobijaju se vrednosti reakcija veza:

$$H_A = H_C = 0,\;\; V_A = V_C = 15\,\text{kN},\;\; V_B = 2{,}5\,\text{kN},\;\; V_D = 32{,}5\,\text{kN}\,.$$

Primer 10.7

Odrediti reakcije veza okvirnog nosača na tri zgloba, prikazanog na Slici P 10.7.



Slika P 10.7 *a*) Okvir na tri zgloba; b) pojedinačna tela sistema oslobođena veza.

Okvirni nosač na tri zgloba oslobođen je spoljašnjih veza, nepokretnih oslonaca u A i B, i unutrašnje veze – zgloba C, Slika P 10.7 b). Jednačine ravnoteže za svako telo posebno glase:

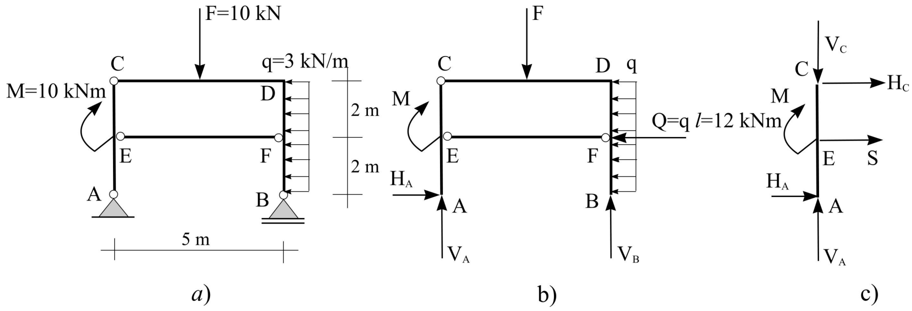
$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A - H_C = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A + V_C - Q = 0,$$
$$\sum M_A = 0 \;\rightarrow\; V_C \cdot 5 + H_C \cdot 2 - Q \cdot 3{,}5 = 0,$$
$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_C - H_B = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_B - V_C - F = 0,$$
$$\sum M_B = 0 \;\rightarrow\; V_C \cdot 4 - H_C \cdot 2 + F \cdot 2 = 0.$$

Rešavanjem ovog sistema jednačina dobija se:

$$H_A = H_C = H_B = 63{,}32\,\text{kN},\;\; V_A = 43{,}33\,\text{kN},\;\; V_B = 46{,}66\,\text{kN},\;\; V_C = 16{,}16\,\text{kN}\,.$$

Primer 10.8

Odrediti reakcije veza okvira, Slika P 10.8.



Slika P 10.8 *a*) Okvirni nosač; b) sistem oslobođen spoljašnjih veza; c) jedno od tela sistema oslobođeno veza.

Okvir na Slici P 10.8 *a*) sastoji se od tela AC i BC i prostog štapa EF: Okvirni nosač je za spoljašnju sredinu vezan nepokretnim osloncem u A i pokretnim osloncem u B. Sistem oslobođen spoljašnjih veza prikazan je na Slici P 10.8 b).

Jednačine ravnoteže sistema kao celine glase:

$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A - q \cdot 4 = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A - F + V_B = 0,$$
$$\sum M_D = 0 \;\rightarrow\; -5V_A - M + F \cdot 2{,}5 + Q \cdot 2 = 0.$$

Iz ovih jednačina se mogu odrediti sve tri komponente spoljašnjih reakcija veza:

$$H_A = 12\ \text{kN},\;\; V_A = 7{,}8\ \text{kN},\;\; V_B = 2{,}2\ \text{kN}\,.$$

Reakcije unutrašnjih veza mogu se sada odrediti iz uslova ravnoteže jednog od tela. Na Slici P 10.8 c) prikazano je telo AC oslobođeno veza. Pretpostaljeno je da je štap EF zategnut. Jednačine ravnoteže za telo AC glase:

$$\sum X = 0 \;\rightarrow\; H_A + S + H_C = 0,$$
$$\sum Y = 0 \;\rightarrow\; V_A - V_C = 0,$$
$$\sum M_C = 0 \;\rightarrow\; V_A \cdot 4 - M + S \cdot 2 = 0.$$

Rešenja ovih jednačina su: $H_C = 7\ \text{kN},\;\; V_C = 7{,}8\ \text{kN},\;\; S = -19\ \text{kN}\,.$

Dobijena negativna vrednost reakcije veze u zglobu E ukazuje na to da je štap EF pritisnut, a ne zategnut, kao što je pretpostavljeno.