

5. STATIČKI ODREĐENI NOSAČI. REAKCIJE I SILE U PRESJECIMA

5.1. Metoda čvorova i metoda dekompozicije

Reakcije oslonaca i sile u presjecima statički određenih nosača mogu se odrediti primjenom metode čvorova i metode dekompozicije.

U metodi čvorova nepoznate određujemo iz ravnoteže čvorova. Za posmatrani nosač koji sadrži, K čvorova možemo napisati isto toliko uslova ravnoteže $\Sigma X=0$ i isto toliko uslova $\Sigma Y=0$. Za istu grupu štapova, koja sadrži m grupa kruto vezanih štapova, može se napisati m uslova ravnoteže momenata $\Sigma M=0$. Kada sile na krajevima štapova izrazimo preko statički nezavisnih veličina S_{ik} , M_{ik} i M_{ki} (kao u prethodnim poglavljima) dobijamo sistem od $2K+m$ jednačina sa isto toliko nepoznatih statičkih veličina reakcija oslonaca, momenata uklještenja, sila S_{ik} i momenata M_{ik} i M_{ki} . Unutrašnje sile dobijamo iz uslova ravnoteže štapova i njihovih djelova.

Metodom dekompozicije nepoznate se određuju iz ravnoteže ploča od koji je sastavljen posmatrani nosač. Uklanjanjem oslonaca i uklještenja i rastavljanjem zglobova dati nosač rastavljamo na međusobno nezavisne ploče. Ploče su u ravnoteži pod uticajem zadatog opterećenja, reakcija oslonaca, reaktivnih momenata i sila veze u zglobovima. Za svaku ploču možemo napisati 3 uslova ravnoteže. U statički određenim nosačima broj nepoznatih jednak je broju jednačina iz kojih se one određuju. Kada odredimo sile koje napadaju ploče onda se rastavljanjem ploča nosač rastavlja na sistem štapova koji su među sobom vezani kruto (grana –sistem kruto vezanih štapova). Za svaku granu ispisujemo 3 uslova ravnoteže. U sistemu jednačina za sistem grana ulaze i 3 jednačine uslova ravnoteže ploče kao sistema grana. U uslove ravnoteže grana reakcije i sile veze ploča ulaze kao poznate sile a nepoznate su sile veze u zglobovima između grana. Kada smo odredili sile veze grana onda se sile u presjeku određuju iz uslova ravnoteže jednog od djelova grana na koje taj presjek dijeli granu. Ova metoda se naziva **metoda rastavljanja ili metoda dekompozicije**.

Metoda čvorova je jednostavnija jer se direktno dobijaju sile na krajevima štapova, dok se u metodi dekompozicije u proračun uvode i sile veze između ploča, odnosno, grana pa je ukupan broj nepoznatih već nego u metodi čvorova. Međutim, prednost metode dekompozicije je što se umjesto jednog sistema simultanih jednačina dobija više sistema jednačina sa manje nepoznatih. Koju metodu ćemo primijeniti zavisi od strukture nosača. Ako se radi o sistemu sa manjim brojem ploča, odnosno, grana, metoda dekompozicije je pogodnija za primjenu, obrnuto, ako se radi o sistemu sa velikim brojem ploča pogodnija je metoda čvorova.

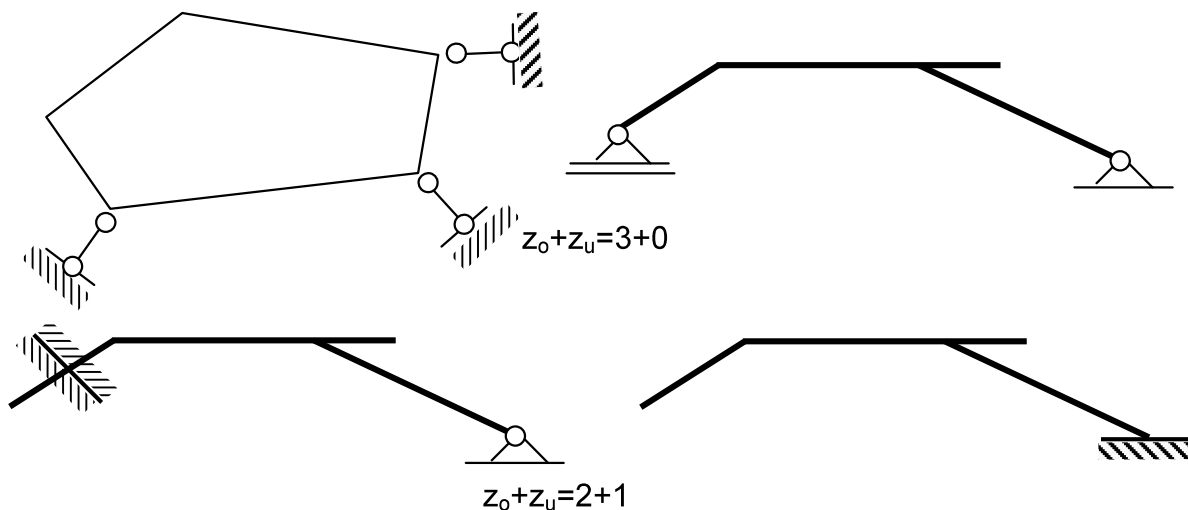
Pune nosače, uglavnom je jednostavnije rješavati metodom dekompozicije. Kod rešetkastih nosača koji se sastoje od niza prostih štapova, odnosno, grana, reakcije oslonaca i sile veze između ploča se određuju metodom dekompozicije, a potom se sile u štapovima mogu računati iz uslova ravnoteže čvorova.

5.2. Nosači koji se sastoje od jedne kinematički krute ploče

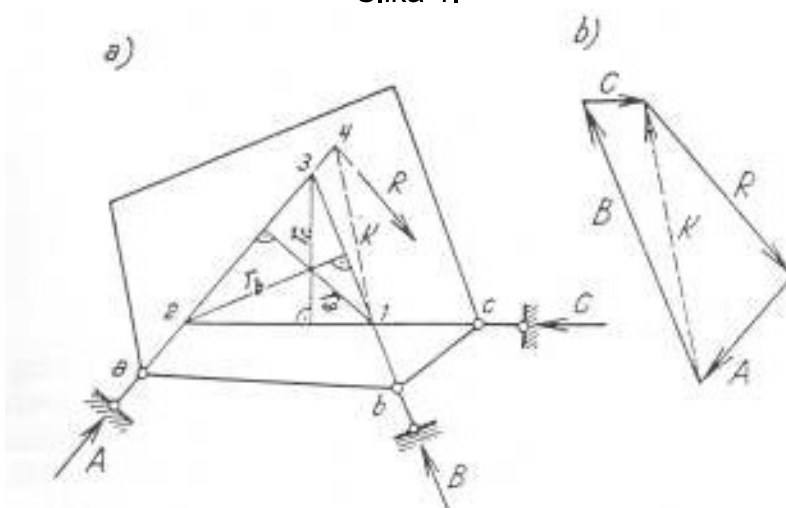
Da bi nosač koji se sastoji od jedne kinematički krute ploče bio statički određen, broj statički nepoznatih mora da bude $z_o+z_u=3$, jer se za jednu ploču mogu napisati 3 uslova ravnoteže.

Prema tome mogu se napisati sljedeće kombinacije:

$z_o+z_u=3+0$ pr:



Slika 1.



Slika 2.

Na slici 2. prikazana je ploča koja je oslonjena u tačkama a, b i c. Reakcije oslonaca A, B i C određujemo iz uslova da su algebarski zbrojevi momenata svih spoljašnjih sila u odnosu na tačke 1, 2 i 3 u kojima se sijeku napadne linije sila B i C, C i A i A i B jednaki nuli. Momente rezultante opterećenja R u odnosu na tačke 1, 2 i 3 označićemo sa M_1, M_2 i M_3 , a sa r_a, r_b i r_c označavamo normalna odstojanja tih tačaka od sila A, B i C:

$$M_1 + Ar_a = 0 \rightarrow A = -\frac{M_1}{r_a}$$

$$M_2 - Br_b = 0 \rightarrow B = \frac{M_2}{r_b} \quad (1)$$

$$M_3 + Cr_c = 0 \rightarrow C = -\frac{M_3}{r_c}$$

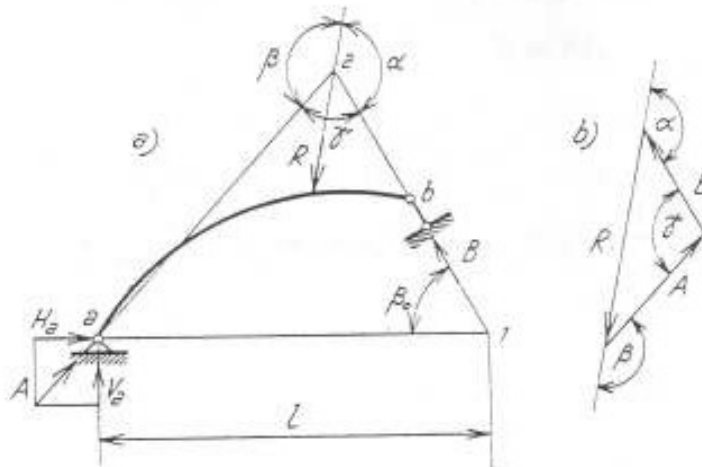
Momenti M_1 , M_2 i M_3 su pozitivni u smjeru kazaljke na satu.

Reakcije oslonaca mogu se odrediti grafički primjenom poznatog Culman –ovog postupka razlaganja jedne sile u tri data pravca.

Da bi sistem bio stabilan napadne linije sila A, B i C ne smiju da se sijeku u jednoj tački. Kada se tačke 1, 2 i 3 poklapaju sistem se nalazi u kritičnoj konfiguraciji. Ravnoteža je tada moguća samo kada sila R prolazi kroz tu tačku, s tim što je proračun tih sila statički neodređen.

Često je nosač koji se sastoji od jedne kinematički krute ploče oslonjen na jedno nepokretno i jedno pokretno ležište (slika 3). Nepokretno oslonjena tačka je a, a tačka oslonjena na pokretno ležište označava se sa b. Rezultanta reakcija oslonca a je sila A koja prolazi kroz tačku a i ima proizvoljan pravac u ravni. Komponente reakcije A su V_a i H_a . Reakcija oslonca b je označena sa B. Reakciju B određujemo iz uslova da je algebarski zbir momenata u odnosu na tačku a jednak nuli, a silu V_a iz uslova da je zbir momenata u odnosu na tačku 1 jednak nuli. Ako sa M_a i M_1 označimo momente savijanja sile R u odnosu na tačke a i 1 (pozitivan smjer u sjeru kazaljke na satu), i sa l označimo odstojanje tačka 1 i a, ti uslovi glase:

$$\begin{aligned} M_1 + V_a l &= 0 & M_a - B l \sin \beta &= 0 \\ V_a &= -\frac{M_1}{l} & B &= \frac{M_a}{l \sin \beta} \end{aligned} \quad (2)$$



Slika 3.

Kada je određena sila B, sila H_a može da se odredi iz uslova da je algebarski zbir horizontalnih komponenti spoljašnjih sila jednak nuli:

$$\begin{aligned} H_a + H_R - B \cos \beta &= 0 \\ H_a &= B \cos \beta - H_R \end{aligned} \quad (3)$$

H_R horizontalna komponenta rezultante R koja je pozitivna u smjeru pozitivne sile H_a .

Na slici 3b prikazan je grafički postupak određivanja reakcija A i B , razlaganje sile na dva pravca koji se sijeku na napadnoj liniji te sile. Iz trougla sila slijedi:

$$\begin{aligned} \frac{A}{\sin \alpha} &= \frac{B}{\sin \beta} = \frac{C}{\sin \gamma} \\ A &= R \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \quad B = R \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \end{aligned} \quad (4)$$

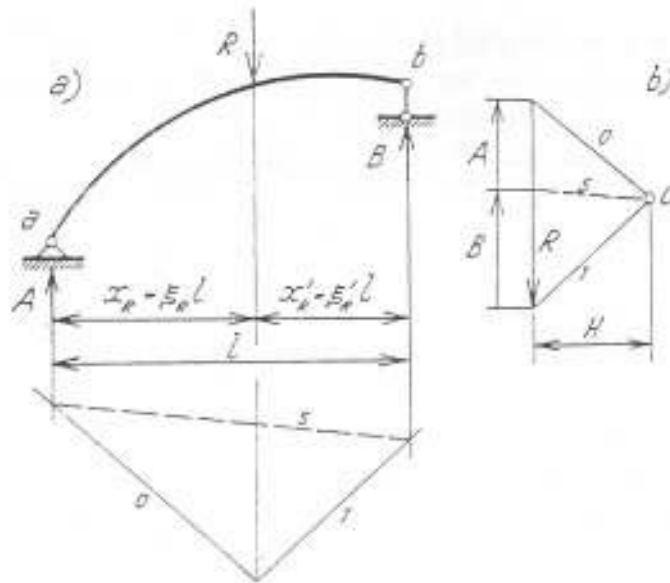
Kada je sila R paralelna sa reakcijom b tada je i reakcija A paralelna sa silom R odnosno B . Razložimo sile u dva paralelna pravca kako je prikazano na slici. Izrazi za reakcije oslonaca dati su jednačinama (2):

$$\begin{aligned} V_a &= A, \\ M_1 = M_b &= -R \xi_R' l \\ M_a &= R \xi_R l \end{aligned}$$

odakle se dobija:

$$\begin{aligned} A &= -R \xi_R' \\ B &= R \xi_R \end{aligned}$$

(5)



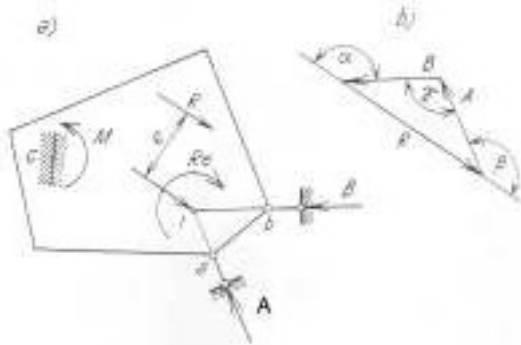
Slika 4.

Na slici 5. prikazana je ploča oslonjena u tačkama a i b i uklještena u tački c . Reakcije A i B određujemo iz uslova da su algebarski zbrojevi horizontalnih i vertikalnih komponenti svih sila jednaki nuli ili iz trougla sila na slici 5b, iz koga slijede izrazi (4). Momenat uklješćenja dobijamo iz uslova da je zbir momenata

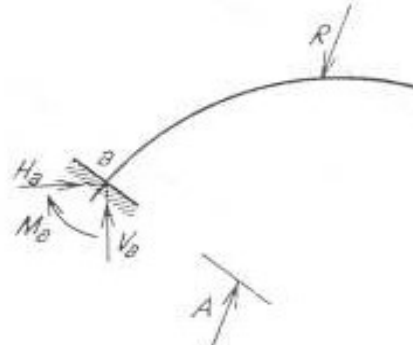
svih spoljašnjih sila u odnosu na tačku 1 u kojoj se sijeku napadne linije sila A i B jednak nuli.

Specijalan slučaj ovog načina oslanjanja je slučaj kada su oba oslonca u težištu uklještenog presjeka, tj ploča je nepokretno ukještena u tački a (slika 6). Reakcija oslonca mora da ima isti pravac i intenzitet a suprotan smjer u odnosu na silu R.

$$M_a = -R r_a$$



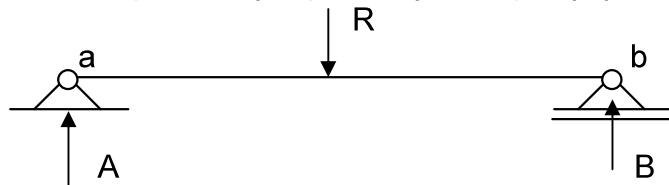
Slika 5.



Slika 6.

5.2.1. Prosta greda

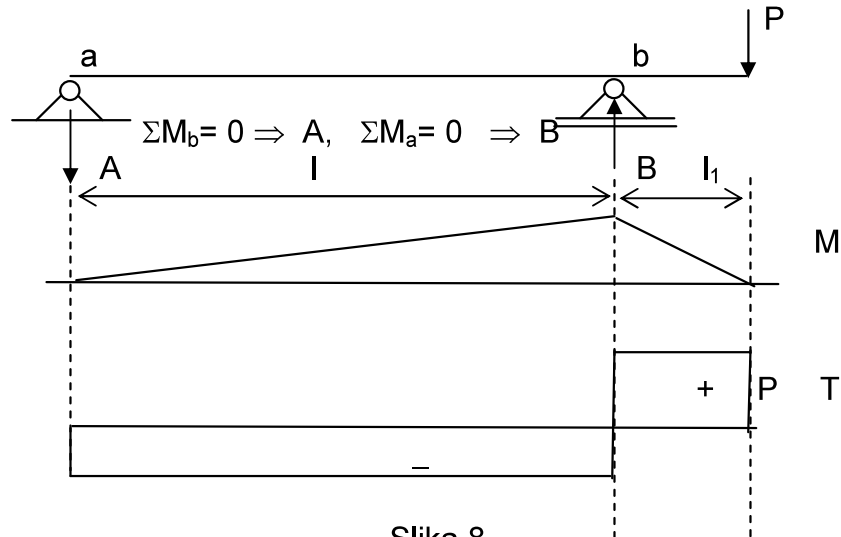
Prosta greda je nosač koji se sastoji od jedne krute ploče oslonjene na jedno nepokretno i jedno pokretno ležište čiji je pravac oslanjanja vertikalni, slika 7. Osnovna karakteristika ovog nosača je da pri vertikalnom opterećenju ima vertikalne reakcije i da se u presjecima javljaju transverzalne sile i momenti. Analitički izrazi za rezultante su dati sa relacijama (5), dok su sile u presjecima računaju prema algoritmima koji se definišu za stalno raspodijeljeno opterećenje, za koncentrisano opterećenje i proizvoljno raspodijeljeno opterećenje.



Slika 7.

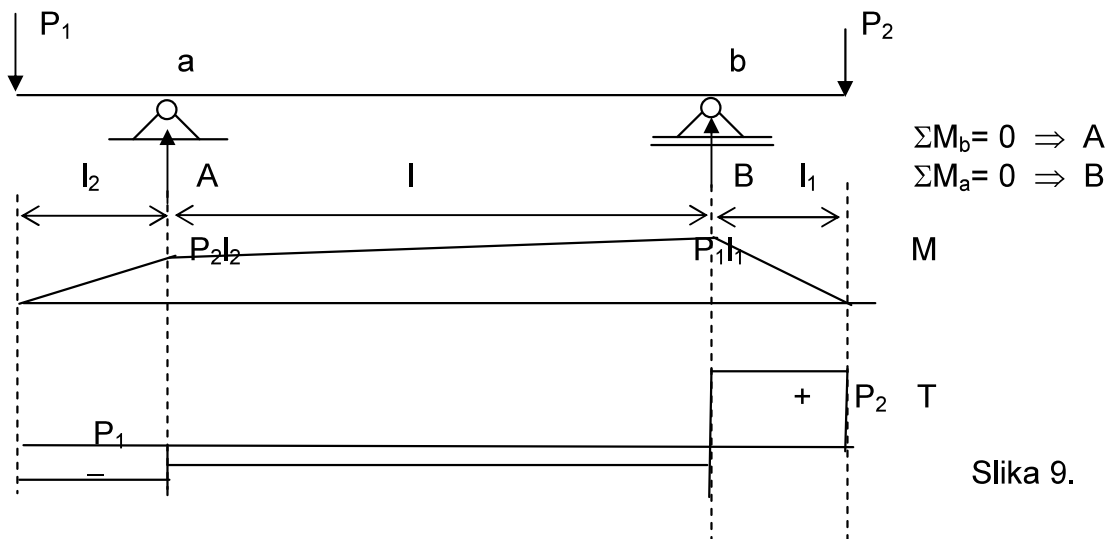
5.2.2. Greda sa prepustom

Na slici 8. prikazana je greda sa jednim prepustom, i dijagrami sila usled dejstva koncentrisane sile na prepustu.



Slika 8.

5.2.3. Greda sa dva prepusta:

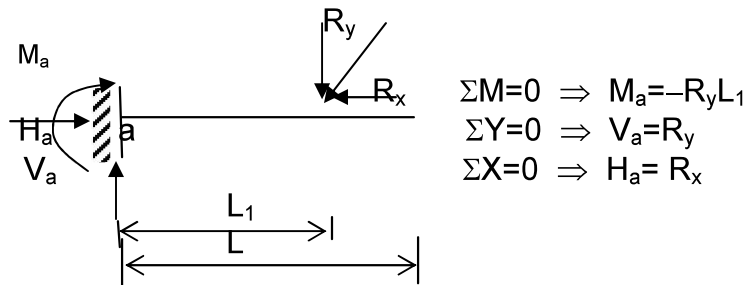


Slika 9.

Na slici 9 dati su dijagrami sila u presjecima za gredu sa dva prepusta opterećenu koncentrisanim silama P_1 i P_2 na prepustima.

5.2.4. Konzola

Za konzolu datu na slici 10, reakcije nepokretnog uklještenja se određuju iz sljedećih uslova ravnoteže:



Slika 10.

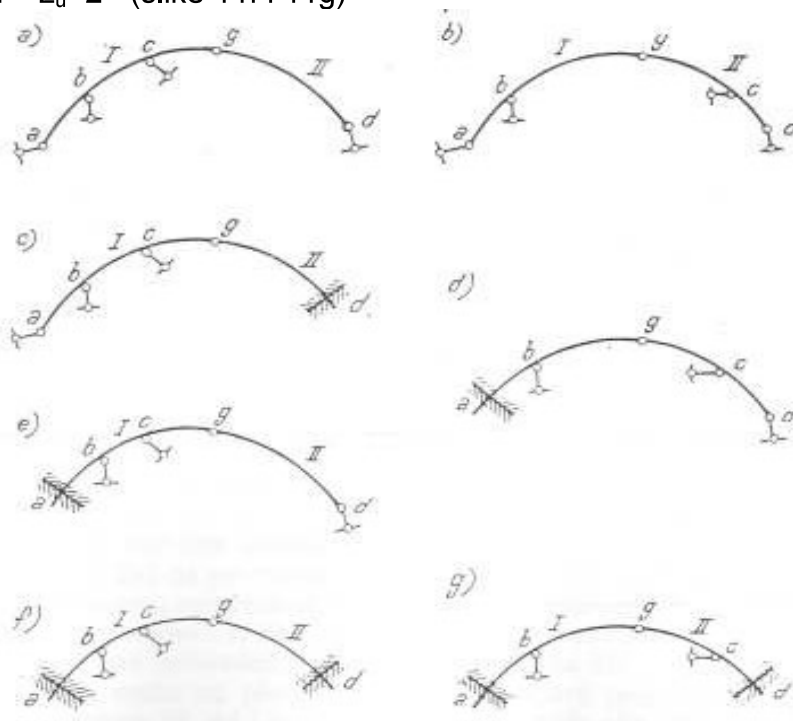
5.3. Nosači koji se sastoje od dvije kinematički krute ploče

Da bi nosači sa dvije kinematički krute ploče koje su zgلوبno vezane bili statički određeni moraju da zadovolje uslov da je:

$$z_o + z_u = 4$$

pri čemu mogu da se naprave sljedeće kombinacije ovog zbira (slika 11):

- $z_o = 4 \quad z_u = 0$ (slike 11a, 11b)
- $z_o = 3 \quad z_u = 1$ (slike 11c, 11d i 11e)
- $z_o = 2 \quad z_u = 2$ (slike 11f i 11g)



Slika 11.

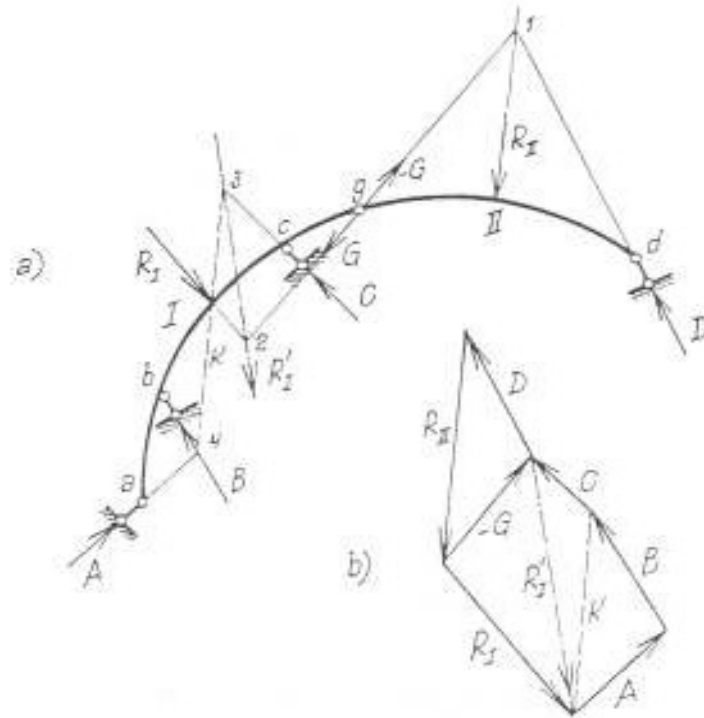
Proračun reakcija oslonaca, momenata uklještenja i sile u zgلوبu g zavise od rasporeda spoljašnjih elemenata po pločama. Kada na jednoj ploči imamo 3 spoljašnja elementa a na drugoj samo jedan (slika 12) onda se reakcije analitički sračunavaju iz sljedećih uslova:

$$\begin{aligned} \Sigma M_g^{II} = 0 & \Rightarrow D \\ \Sigma Y^{II} = 0, \Sigma X^{II} = 0 & \Rightarrow H_g, V_g \\ \Sigma M_A = 0 & \Rightarrow C \end{aligned}$$

$$\Sigma M_a = 0 \Rightarrow B$$

$$\Sigma M_b = 0 \text{ ili } \Sigma M_c = 0 \text{ ili } \Sigma M'_g = 0 \text{ ili } \Sigma M_d = 0 \Rightarrow A$$

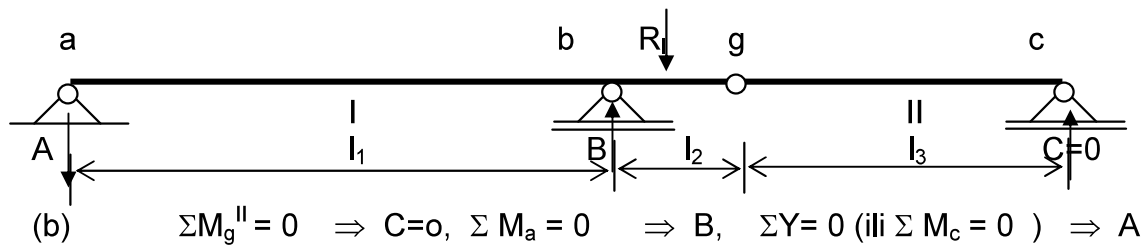
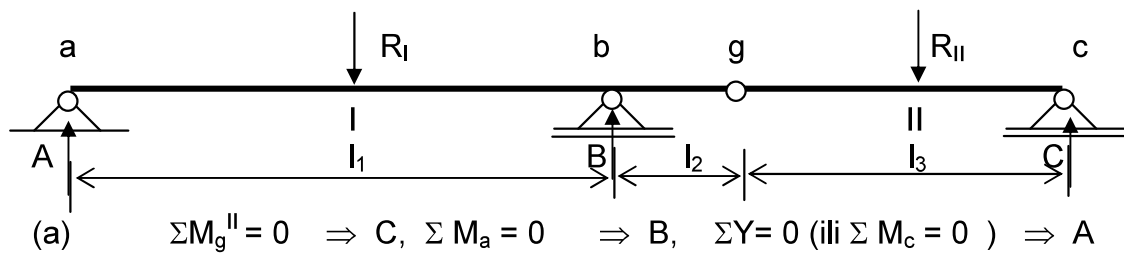
Grafičko određivanje reakcija dato je na slici 12b.



Slika 12.

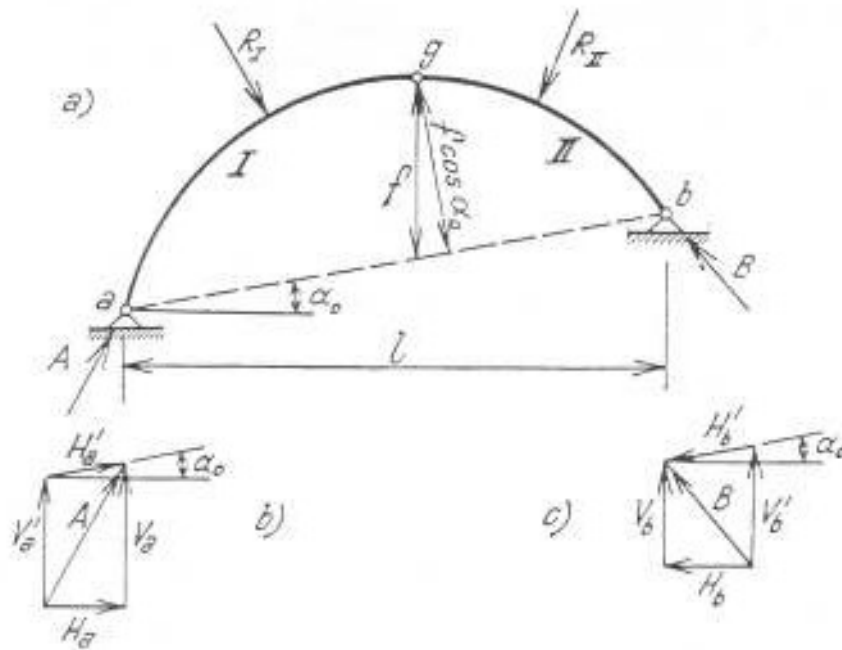
Treba uočiti, da kada je aktivno opterećenje na ploči I, tada to opterećenje izaziva samo reakcije oslonaca A, B i C a ne izaziva reakciju oslonca D ni komponente sile u zglobu g. Reakcije svih oslonaca i silu u zglobu g izaziva samo ono opterećenje koje djeluje na ploču II.

Specijalan slučaj rasporeda oslonaca datog na slici 12 je dat na slici 13:



Slika 13.

Kada se nosač sastoji od dvije ploče sa po dva spoljašnja elementa na svakoj ploči, tada se prikazani postupak određivanja reakcija ne može primijeniti. Nosač koji se sastoji od dvije ploče zglavkasto vezane, kod kojeg je svaka od ploča oslonjena na dva nepoketna ležišta naziva se **nosač sa tri zgloba**. Iz ravnoteže svake ploče osim reakcija dva spoljašnja elementa ulaze i dvije komponente sile veze zgloba g. Sistem jednačina ne može da se rješava sukcesivnim rješavanjem uslova ravnoteže prvo jedne pa druge ploče, već ih određujemo iz uslova ravnoteže obje ploče kao cjeline rješavanjem sistema simultanih jednačina. Pogodnim izborom nepoznatih i ispunjavanjem uslova ravnoteže u određenom obliku i poretku, nepoznate, i u ovom slučaju, mogu da se odrede bez određivanja komponenti sila u zglobu. Nosač sa tri zgloba prikazan je na slici 14. Usvajanjem komponenti reakcija kao na slici, reakcije se mogu sračunati bez računanja sile u zglobu g.



Slika 14.

Pravac oslonakih zglobova a–b zaklapa sa horizontalom ugao α_0 . Odstojanje oslonakih tačaka u horizontalnom pravcu je L, dok se odstojanje tačke g od prave a–b u verikalnom pravcu označavamo sa f. Ploča I opterećena je silama čija je rezultanta R_I a ploča II opterećena je silama čija je rezultanta R_{II} . Reakcije oslonaca u tačkama a i b obelježavamo sa A i B. Komponente reakcija pri razlaganju na horizontalan i vertikalnan pravac su V_a , H_a i V_b , H_b , a pri razlaganju na vertikalnan pravac i pravac oslonakih zglobova a-b V'_a , H'_a i V'_b , H'_b . Veze ovih komponenti reakcija očigledne su sa slike 14.:

$$\begin{aligned}
 H_a &= H'_a \cos \alpha_0 \\
 V_a &= V'_a + H'_a \sin \alpha_0 = V'_a + H_a \operatorname{tg} \alpha_0 \\
 H_b &= H'_b \cos \alpha_0 \\
 V_b &= V'_b - H'_b \sin \alpha_0 = V'_b - H_b \operatorname{tg} \alpha_0
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Sile V'_a i V'_b određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskih zbrova momenata svih sila koje djeluju na ploče I i II u odnosu na tačke a i b, pri čemu je usvojena pozitivna orijentacija momenata u smjeru kazaljke na satu. Iz tih uslova se dobija:

$$V'_a = -\frac{Mb}{L} \quad V'_b = \frac{Ma}{L} \quad (7)$$

Silu H'_a ili silu H_a određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskog zbira momenata svih sila ploče I u odnosu na zglob g, a silu H'_b ili silu H_b određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskog zbira momenata svih sila ploče II u odnosu na zglob g. Ako sa M_{gI} obelježimo moment sila V'_a i R_I u odnosu na zglob g i smatramo da je pozitivna kada obrće u smjeru kazaljke na satu, a sa M_{gII} obelježimo moment sila V'_a i R_{II} u odnosu na zglob g i smatramo da je pozitivan kada obrće u smjeru suprotnom smjeru kazaljke na satu. Tada je:

$$\begin{aligned} H'_a \cos \alpha_o &= H_a = \frac{M_{gI}}{f} \\ H'_b \cos \alpha_o &= H_b = \frac{M_{gII}}{f} \end{aligned} \quad (8)$$

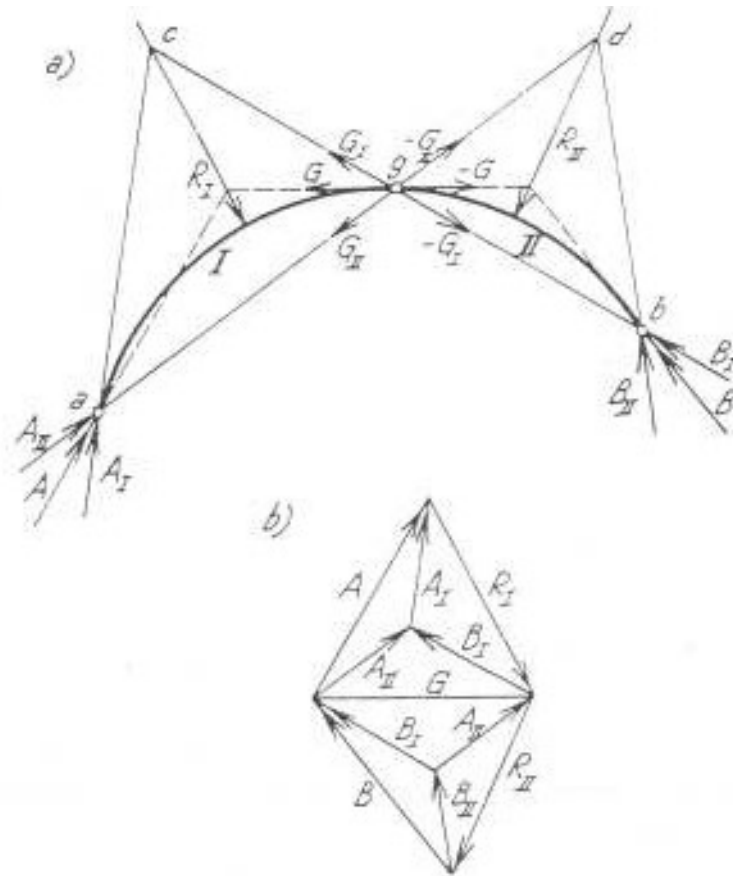
Kada se odrede komponente reakcija oslonaca sile veze u zglobu g se računaju iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskih zbrova vertikalnih i horizontalnih komponenti svih sila ploče I i ploče II.

Zadatak može da se riješi grafičkom konstrukcijom prikazanom na slici 15., nepoznate reakcije određujemo na osnovu principa superpozicije sabiranjem sila usled opterećenja R_I i sila usled opterećenja R_{II} .

Kada djeluje samo sila R_I , tada na ploči II djeluje sila B_I koja ima pravac b–g, tada reakcija oslonca a A_I ima pravac a–c. Koristi se uslov da se napadne linije tri sile sijeku se u jednoj tački.

Kada djeluje samo sila R_{II} , tada na ploči I djeluje sila A_{II} koja ima pravac a–g, tada reakcija oslonca a B_{II} ima pravac b–d. Koristi se da napadne linije tri sile sijeku se u jednoj tački.

Vektorskim sabiranjem A_I i A_{II} dobijamo reakciju A, a vektorskim sabiranjem B_I i B_{II} dobijamo reakciju B. Sila G kojom ploča II djeluje na ploču I, jednaka je rezultanti sila B i R_{II} , a sila $-G$, kojom ploča I djeluje na ploču II, jednaka je rezultanti sila A i R_I .



Slika 15.

Kada je opterećenje vertikalno, slika 16., sile V'_a i V'_b jednake su reakcijama ekvivalentne proste grede, pa se određuju preko izraza:

$$V'_a = -\frac{M_b}{L} = A_o \quad V'_b = \frac{M_a}{L} = B_o \quad (9)$$

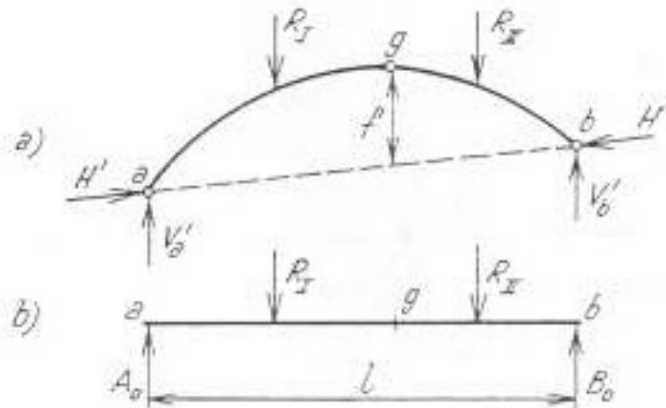
Sile H'_a i H'_b međusobom su jednake i:

$$H'_a = H'_b = H' \quad H_a = H_b = H \quad (10)$$

a određuju se sa:

$$H' = \frac{M_{go}}{f'} \quad H' = \frac{M_{go}}{f \cos \alpha} \quad H' \cos \alpha = \frac{M_{go}}{f}$$

$$H' \cos \alpha_o = H = \frac{M_{go}}{f} \quad (11)$$

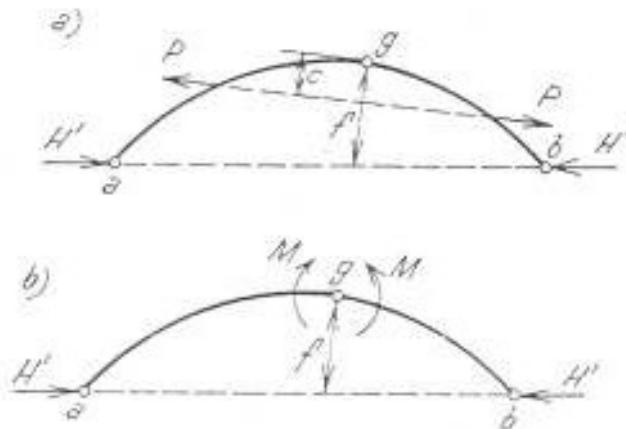


Slika 16.

u kojoj je M_{g_0} moment savijanja ekvivalentne proste grede opterećena kao na slici 16b.

Kada je nosač opterećen ravnotežnim opterećenjem kao na slici 17., sile V'_a i V'_b jednake su nuli, a sile $H'_a = H'_b = H'$, određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti zbira momenata sila jedne od ploča u odnosu na zglob g:

$$H' \cos \alpha = H = P \frac{c}{f} \quad (\text{slika 17a}) \quad H' \cos \alpha = H = \frac{M}{f} \quad (\text{slika 17b}) \quad (12)$$

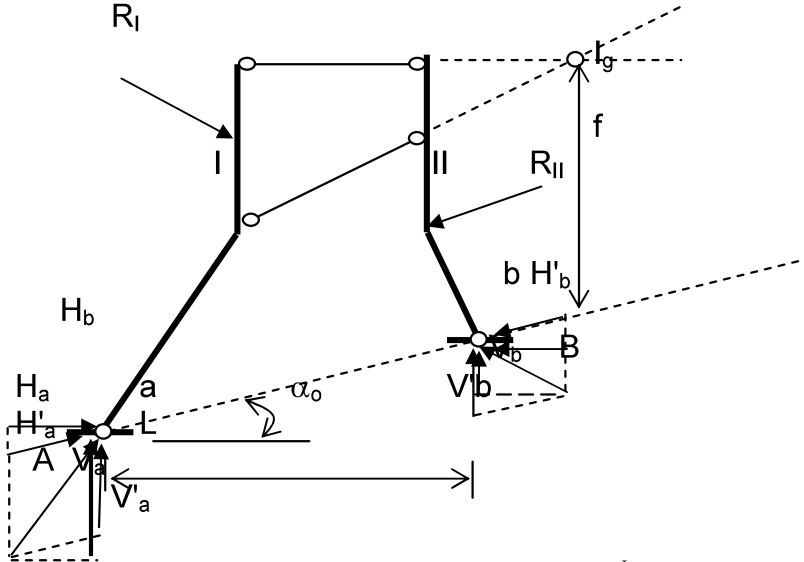


Slika 17.

Nosač sa tri zgloba od kojih je jedan imaginaran

Kada su dvije ploče I i II vezane sa dva prosta štapa, tada se prikazani postupak određivanja reakcija oslonaca može primijeniti za nosač sa tri zgloba a-Ig-b, od kojih je jedan imaginaran. Imaginarni zglob Ig se dobija u presjeku napadnih linija sila u prostim štapovima. Za takav nosač ispisuju se sljedeći uslovi ravnoteže:

$\Sigma M_b = 0, \Sigma M_a = 0, \Sigma M_{I_g}^I = 0, \Sigma M_{I_g}^{II} = 0$, iz kojih se dobijaju vrijednosti reakcija:



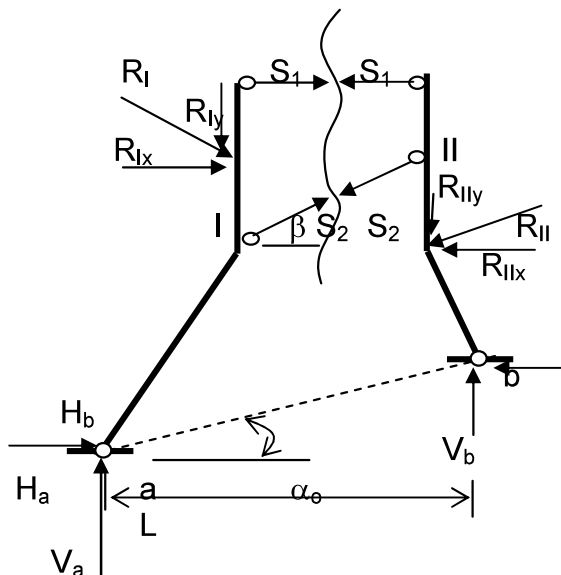
Slika 18.

$$V'_a = -\frac{M_b}{L} \quad V'_b = \frac{M_a}{L} \quad H_a = \frac{M^I_{I_g}}{f} \quad H_b = \frac{M^{II}_{I_g}}{f}$$

$$V_a = V'_a + H'_a \sin \alpha_0 = V'_a + H_a \operatorname{tg} \alpha_0$$

$$V_b = V'_b - H'_b \sin \alpha_0 = V'_b - H_b \operatorname{tg} \alpha_0$$

Sa poznatim vrijednostima reakcija ulazimo u uslove ravnoteže ploče I i II iz kojih se dobijaju vrijednosti sile u prostim štapovima S_1 i S_2 :



$$\begin{aligned} \Sigma X_I &= 0 \\ \Sigma Y_I &= 0 \\ \text{ili} \\ \Sigma X_{II} &= 0 \\ \Sigma Y_{II} &= 0 \end{aligned}$$

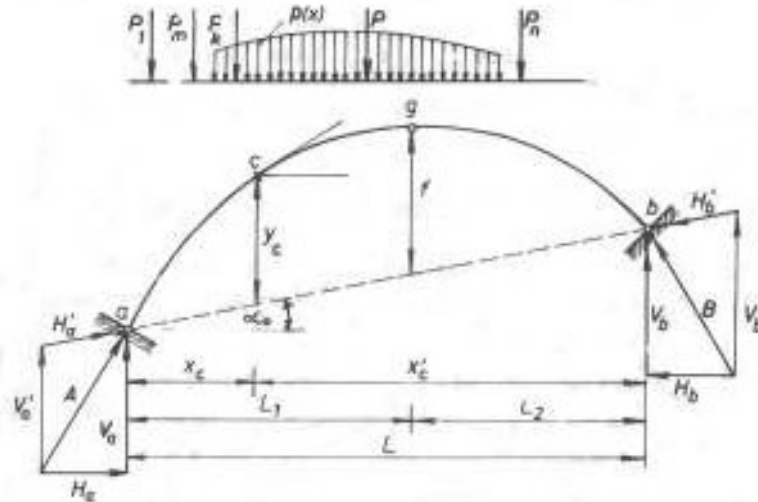
Slika 19.

5.3.1. Reakcije i sile u presjecima nosača sa tri zgloba usljed stalnog opterećenja

Nosač koji se sastoji od dvije međusobno zglavkasto vezane ploče koje su oslonjene na dva nepokretna ležišta naziva se **luk na tri zgloba**.

Posmatraćemo nosač kao na slici 20. Pravac oslonačkih zglobova a-b nazivamo pravac lučne sile, koji sa horizontalom zaklapa ugao α_o . Raspon luka je L , a horizontalna rastojanja od zgloba g do oslonaca a i od g do oslonca b su L_1 i L_2 . Oblik ose nosača na tri zgloba je obično lučni i određen je ordinatama y koja predstavljaju vertikalna odstojanja tačaka ose luka od pravca oslonačkih zglobova. Ugao nagiba tangente na osu luka u proizvoljnoj tački ose obelježen je sa α_c .

Reakcije A i B razlažemo na pravce vertikala i pravac lučne sile. Kada je opterećenje vertikalno sile V'_a i V'_b predstavljaju sile ekvivalentne proste grede. Sile H'_a i H'_b su lučne sile, dok su komponente reakcija A i B vertikalne komponente V_a i V_b i horizontalne komponente (horizontalni potisci luka) H_a i H_b .



Slika 20.

$$V'_a = \frac{1}{L} \left[\sum_{m=1}^n P_m x'_m + \int_0^L p(x) x' dx \right]$$

$$V'_b = \frac{1}{L} \left[\sum_{m=1}^n P_m x_m + \int_0^L p(x) x dx \right] \quad (13)$$

Uvodimo sljedeće oznake:

T_{co} - tranverzalna sila ekvivalentne proste grede koja predstavlja sumu vertikalnih sila lijevo ili desno od posmatranog presjeka (V'_a i vertikalno opterećenje lijevo od posmatranog presjeka, odnosno, V'_b i vertikalno opterećenje desno od posmatranog presjeka)

M_{co} - momenat savijanja u presjeku c ekvivalentne proste grede (suma momenata sila V'_a i opterećenje lijevo od posmatranog presjeka u odnosu na težište posmatranog presjeka c, odnosno, sila V'_b i opterećenje desno od posmatranog presjeka u odnosu na težište posmatranog presjeka c)

Horizontalni potisci računaju se primjenom obrazaca (8):

$$H_a = \frac{M_{gl}}{f} \quad H_b = \frac{M_{gII}}{f} \quad (14)$$

Ako je luk opterećen kao na slici tada je $H_a = H_b = H$.

Izrazi za sile u presjeku c mogu da se napišu u sljedećem obliku:

$$N_c = -T_{co} \sin \alpha_c - H' \cos(\alpha_c - \alpha_o) = -T_{co} \sin \alpha_c - H \frac{\cos(\alpha_c - \alpha_o)}{\cos \alpha_o} \quad (15)$$

$$T_c = T_{co} \cos \alpha_c - H' \sin(\alpha_c - \alpha_o) = T_{co} \cos \alpha_c - H \frac{\sin(\alpha_c - \alpha_o)}{\cos \alpha_o}$$

$$M_c = M_{co} - H'y_c \cos \alpha_o = M_{co} - Hy_c$$

5.3.2. Oblik ose lučnih nosača

Zadatak nam je da odredimo oblik ose luka na tri zgloba ako nam je poznat raspon, strijela luka f i eksploataciono opterećenje.

Racionalni oblik ose luka obezbeđuje jednakost ekstremnih vrijednosti napona u gornjim i donjim ivicama poprečnog presjeka.

Kada je zadato stalno podijeljeno opterećenje, rezultatni poligon sila prelazi u krivu koja se naziva *potporna linija*. Kada je osa luka potporna linija u svim tačkama luka pojavljuje se samo normalna sila pa su naponi u svim tačkama isti. Oblik potporne linije određuje se grafički ili analitički. Iz uslova da su momenti u odnosu na težišta poprečnih presjeka usljed zadatog opterećenja jednaki nuli:

$$M_o - Hy = 0$$

$$y = \frac{M_o}{H} \quad (16)$$

ovim izrazom određujemo ordinate ose luka. S obzirom da je momenat u g jednak nuli slijedi:

$$M_g = M_{go} - Hf = 0$$

odakle se dobija da je:

$$H = \frac{M_{go}}{f} \quad (17)$$

Kada se ova relacija uvrsti u (16) dobija se:

$$y = f \frac{M_o}{M_{go}}$$

Zaključujemo da: *racionalni oblik ose luka* na tri zgloba je sličan obliku dijagrama savijanja ekvivalentne proste grede opterećene datim opterećenjem. Oblik ose ne zavisi od intenziteta opterećenja već od zakona po kojem se to opterećenje mijenja duž nosača.

Kada je opterećenje jednako podijeljeno momente savijanja proste grede određujemo:

$$M_o = q \frac{L^2}{2} \omega_r \quad \varpi_R = \xi - \xi^2$$