# STATIČKI ODREĐENI NOSAČI. REAKCIJE I SILE U PRESJECIMA

## Metoda čvorova i metoda dekompozicije

Reakcije oslonaca i sile u presjecima **statički određenih nosača** mogu se odrediti primjenom:

- **metode čvorova**
- **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 **$\Sigma Y=0$:**

***2K uslova ravnoteže***

Za isti nosač koji sadrži *m grupa kruto vezanih štapova može se napisati* ***m uslova ravnoteže momenata $\Sigma M=0$:***

***m uslova ravnoteže momenata***

*Kada u navedenim uslovima* ***sile na krajevima štapova*** *izrazimo preko* ***statički nezavisnih veličina $S_{ik}$, $M_{ik}$ i $M_{ki}$*** *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.

**Ploca** *unutrašnje kinematički stabilan sistem štapova*.

$$z_s + z_k \geq 2K - 3$$ **unutrašnje višestruko ili prosto stabilan sistem štapova**

***Nosač čini sistem ploča koje su među sobom zglavkasto vezane, oslonjene ili ukljestene.***

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 (dvije komponente u svakom zglobu).

**Za svaku ploču možemo napisati 3 uslova ravnoteže.**

*U statički određenim nosačima broj nepoznatih jednak je broju jednačina iz kojih se one određuju:*

***Za sistem štapova*** $$z_o + z_u + z_s + z_k + m = 2K + m$$

***Za sistem ploča*** $$2z_z + z_o + z_u = 3z_p$$

*Kada odredimo sile koje napadaju ploče onda se rastavljanjem ploča nosač rastavlja na* ***sistem štapova koji su među sobom vezani kruto.***

**Grana je sistem kruto vezanih štapova.**

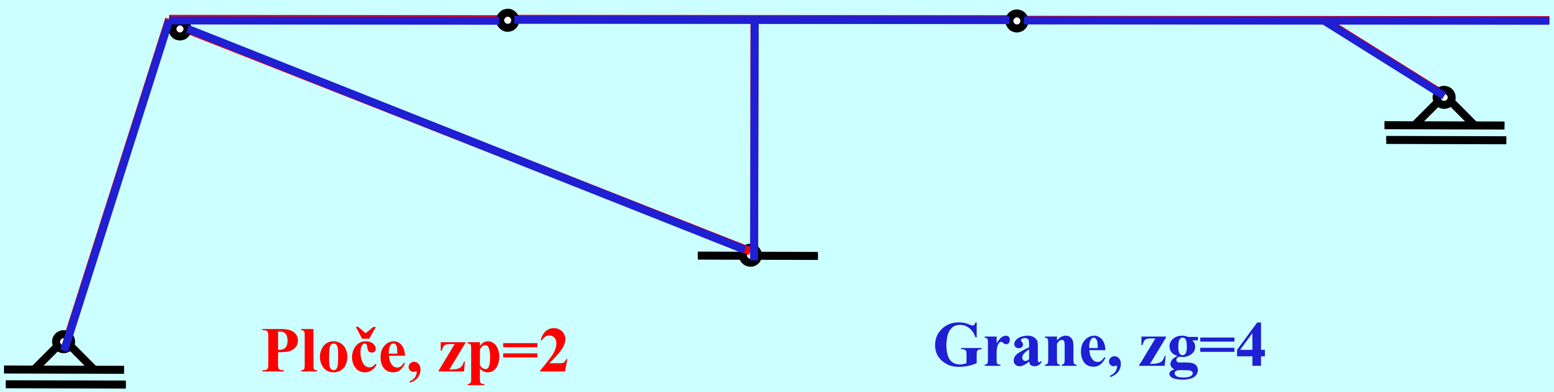
**Za svaku granu ispisujemo 3 uslova ravnoteže.**

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*

**Metoda dekompozicije** *u proračun uvode i sile veze između ploča odnosno grana pa je ukupan broj nepoznatih već nego u metodi čorova*

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**.*

**NOSAČI KOJI SE SASTOJE OD JEDNE KINEMATIČKI KRUTE PLOČE**

*Kada se nosač sastoji od jedne kinematički krute ploče, da bi takav nosač bio statički određen broj statički nepoznatih mora da bude* $z_o+z_u=3$

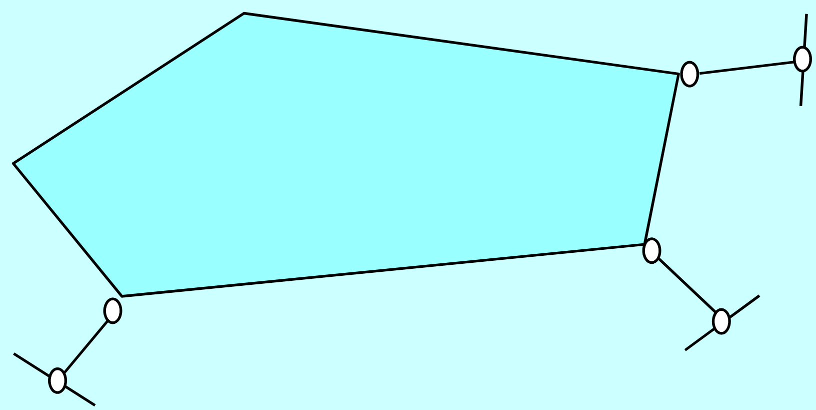
$$2z_z + z_o + z_u = 3z_p$$

$$z_p=1 \qquad z_z=0$$

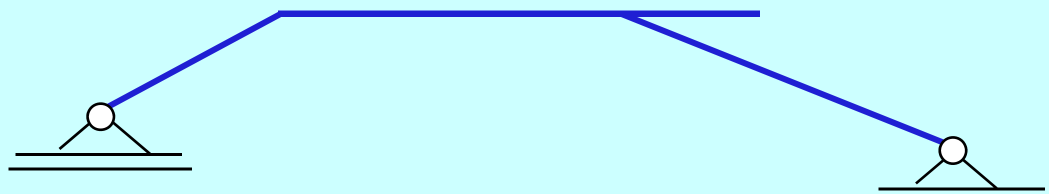
$$z_o+z_u=3$$

*Mogu se napisati sljedeće kombinacije:* $z_o+z_u=3+0$ $\qquad$ $z_o+z_u=2+1$

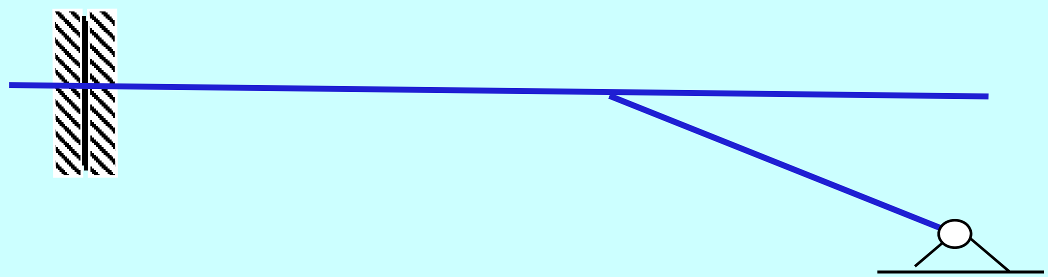
$z_o+z_u=3+0$

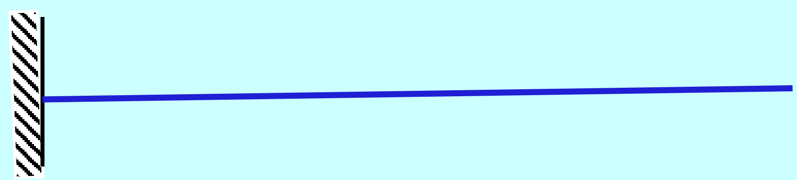


$z_o + z_u = 3 + 0$



$z_o + z_u = 2 + 1$





*Na slici je prikazana ploča koja je oslonjena u tačkama **a, b i c**.* **$z_o+z_u=3+0$**

Reakcije oslonaca **A, B i C** određujemo iz **uslova da su algebarski zbirovi momenata svih spoljašnjih sila u odnosu na tačke:**

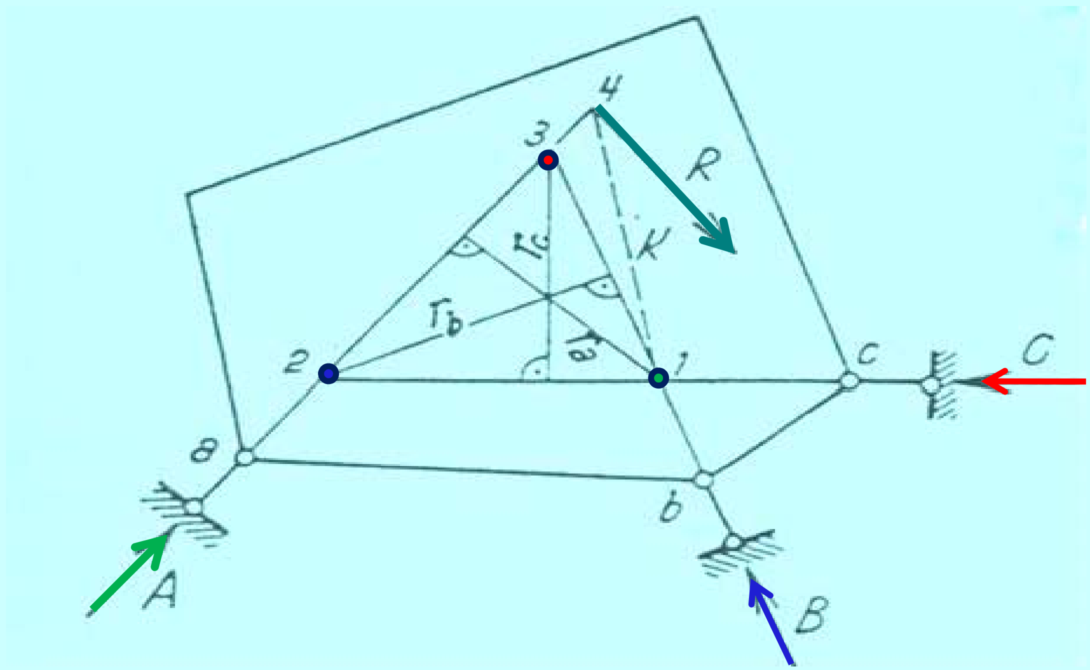
**1** u kojoj se sjeku napadne linije sila **B i C**

**2** u kojoj se sjeku napadne linije sila **A i C**

**3** u kojoj se sjeku napadne linije sila **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 napadnih linija sila A, B i C*:




$M_1+Ar_a=0$

$$A=-\frac{M_1}{r_a}$$

$M_2-Br_b=0$

$$B=\frac{M_2}{r_b}$$

$M_3+Cr_c=0$

$$C=-\frac{M_3}{r_c}$$

**kontrola $\Sigma Y\equiv 0$**

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

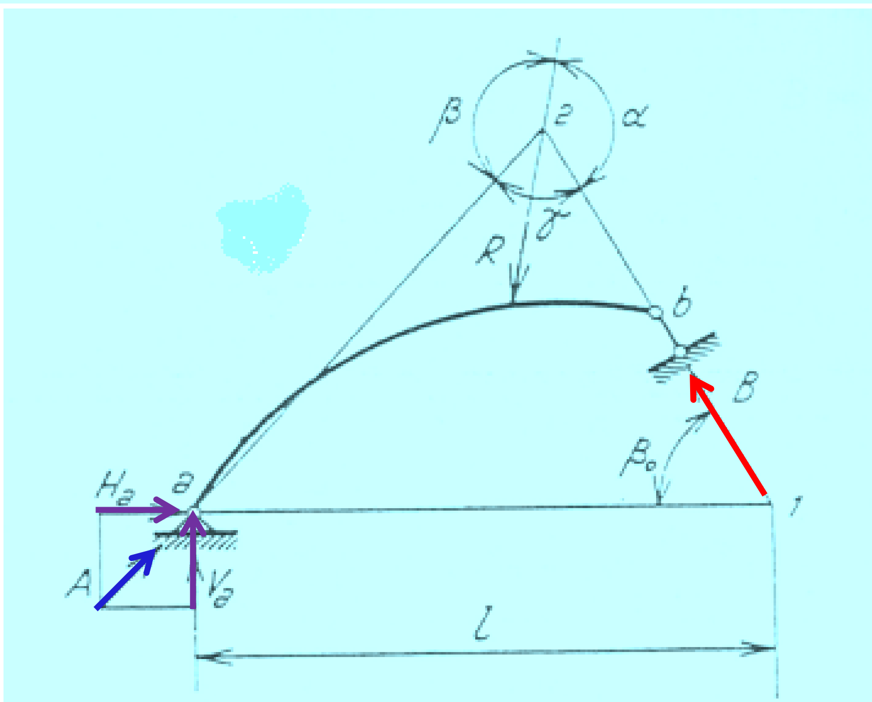
*Reakcije oslonaca mogu se odrediti* ***grafički primjenom poznatog Culman –ovog postupka razlaganja jedne sile u tri data pravca.***

*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***




*Reakcija oslonca za nosač dat na slici su:*

*Komponente reakcije A su Va i Ha:*

*Reakciju B određujemo iz uslova da je algebarski zbir momenata u odnosu na tačku a jednak nuli*

$$M_a - Bl \sin \beta_o = 0 \qquad B = \frac{M_a}{l \sin \beta_0}$$

*Silu Va određujemo uslova da je zbir momenata u odnosu na tačku 1 jednak nuli*

$$M_1 + V_a l = 0 \qquad V_a = -\frac{M_1}{l}$$

*Gdje su $M_a$ i $M_1$ momenti savijanja sile R u odnosu na tačke a i 1 (pozitivan smjer u sjeru kazaljke na satu)*

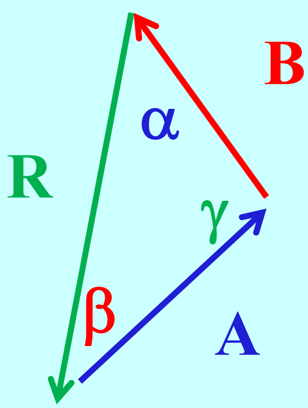
*Kada je određena sila* ***B****, komponenta* ***Ha*** *može da se odredi iz uslova da je algebarski zbir horizontalnih komponenti spoljašnjih sila jednak nuli:*

$$\mathbf{H_a + H_R - B\cos\beta_o = 0} \quad \rightarrow \quad \mathbf{H_a = B\cos\beta_o - H_R}$$

$\mathbf{H_R}$ **-** *horizontalna komponenta rezultante* ***R*** *koja je pozitivna u smjeru pozitivne sile* ***Ha***

*Prikazan je* ***analitički postupak*** *određivanja reakcija oslonaca.*

*Reakcije oslonaca mogu biti određene i primjenom* ***grafičkog postupaka iz trougla sila*** *A, B i R:*

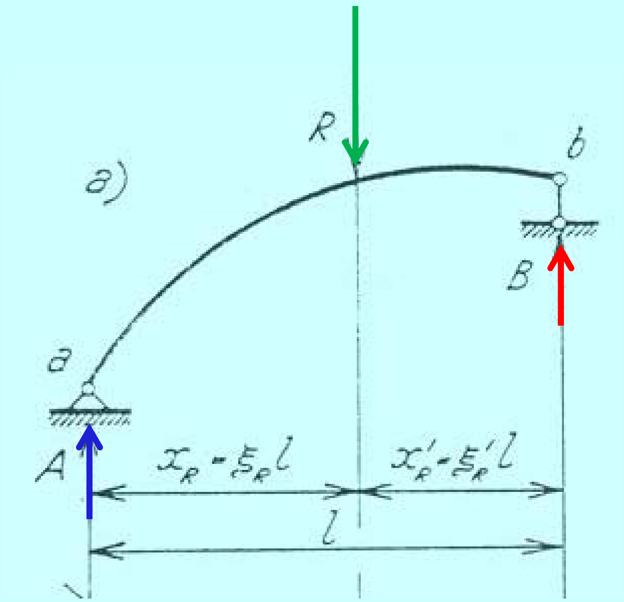



$$\frac{A}{\sin\alpha} = \frac{B}{\sin\beta} = \frac{R}{\sin\gamma}$$

$$\rightarrow \quad A = R\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$$

$$\rightarrow \quad B = R\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}$$

*Kada je* ***sila R paralelna sa reakcijom B*** *tada je i* ***reakcija A paralelna sa silom R,*** *odnosno B.*




$$V_a = A$$

*Izrazi za reakcije oslonaca dati su jednačinama:*

$$M_b + A\,l = 0$$

$$M_b = -R\xi_R' l$$

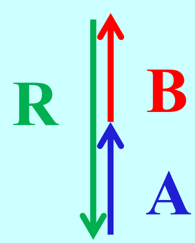
$$\mathbf{A = R\xi_R'}$$

$$M_a - Bl = 0$$

$$M_a = R\xi_R l$$

$$\mathbf{B = R\xi_R}$$

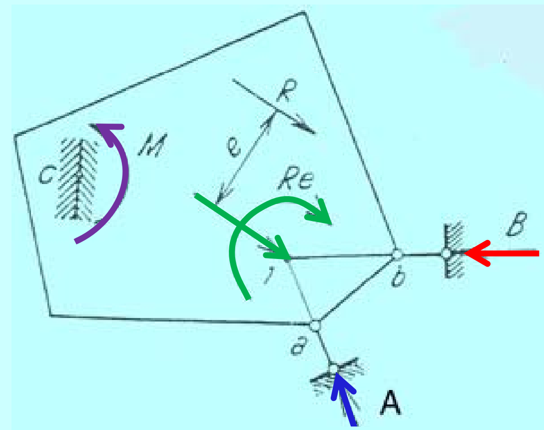
**kontrola $\Sigma Y \equiv 0$**



*Na slici je prikazana ploča oslonjena u tačkama a i b i uklještena u tački c.*

Reakcije **A** i **B** određujemo iz uslova da su algebarski zbirovi horizontalnih i vertikalnih komponenti svih sila jednaki nuli:

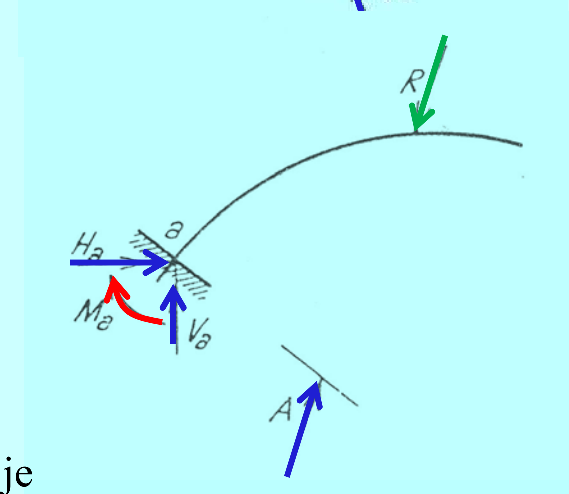
$$\sum X=0 \qquad \sum Y=0$$




**Reaktivni moment uklještenja** 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:*

$$M = R\,e$$

*Specijalan slučaj ovog načina oslanjanja je slučaj kada su oba oslonca u težištu uklještenog presjeka, tj ploča je nepokretno ukještena u tački a*



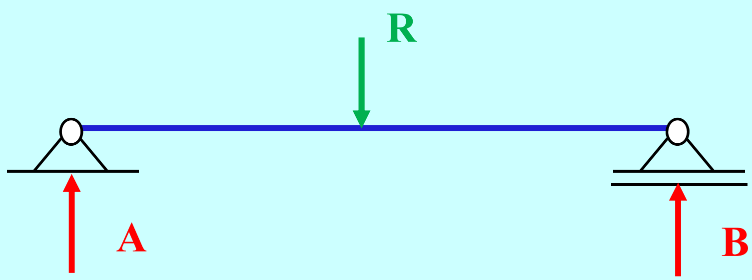

*Reakcija oslonca **A** mora da ima isti pravac i intenzitet a suprotan smjer u odnosu na silu **R***:

**Reaktivni moment uklještenja** dobijamo iz uslova da je *zbir momenata svih spoljašnjih sila u odnosu na tačku a jednak nuli*

$$M_a = -R\,r_a$$

## *Prosta greda*

*Prosta greda - nosač koji se sastoji od **jedne krute ploče** **oslonjene na jedno nepokretno i jedno pokretno ležište čiji je pravac oslanjanja vertikalan***



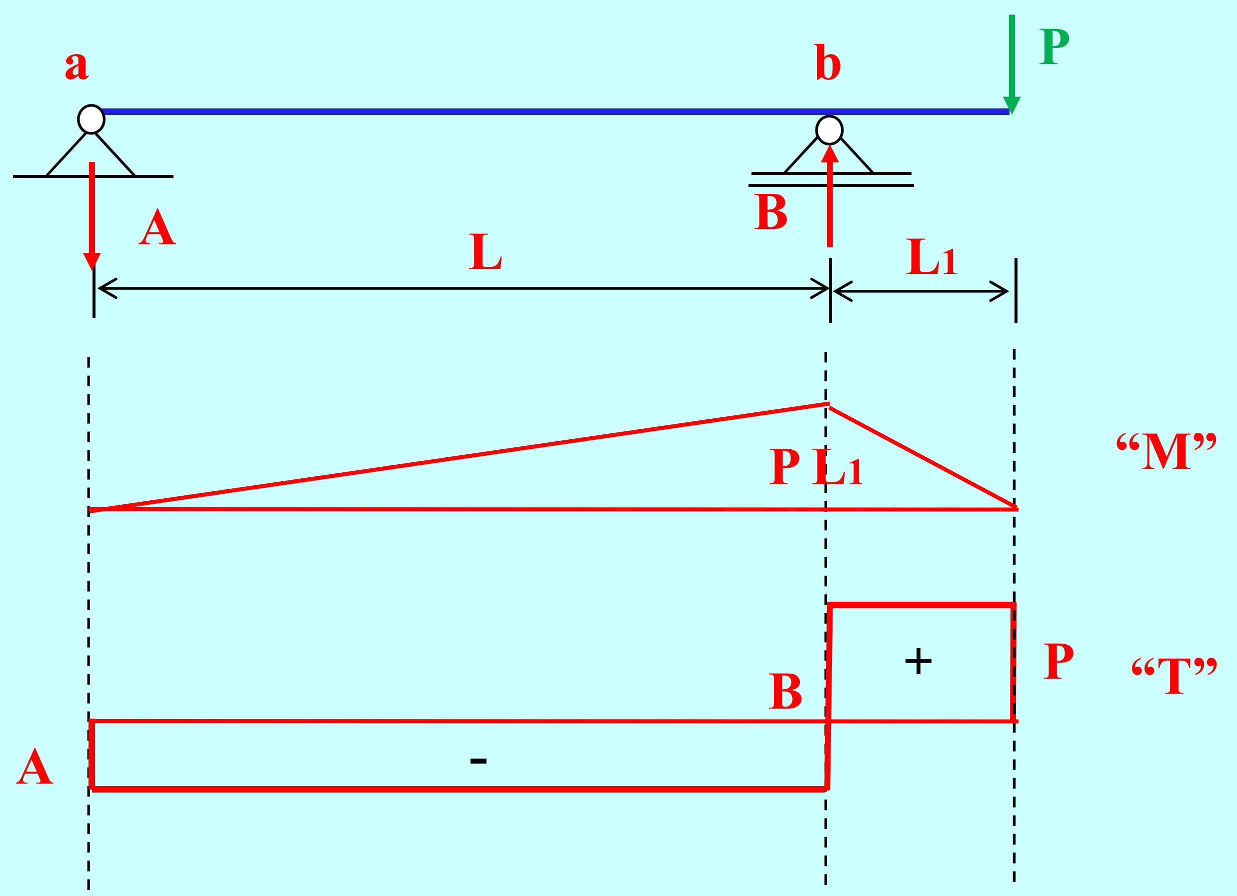

Osnovna karakteristika ovog nosača je da **pri vertikalnom opterećenju ima vertikalne reakcije** i da **se u presjecima javljaju transverzalne sile i momenti**

Analitički izrazi za reakcije dati su prethodno izvedenim izrazom:

$$A = -\frac{M_b}{l} \qquad B = \frac{M_a}{l} \qquad \textbf{kontrola } \Sigma Y \equiv 0$$

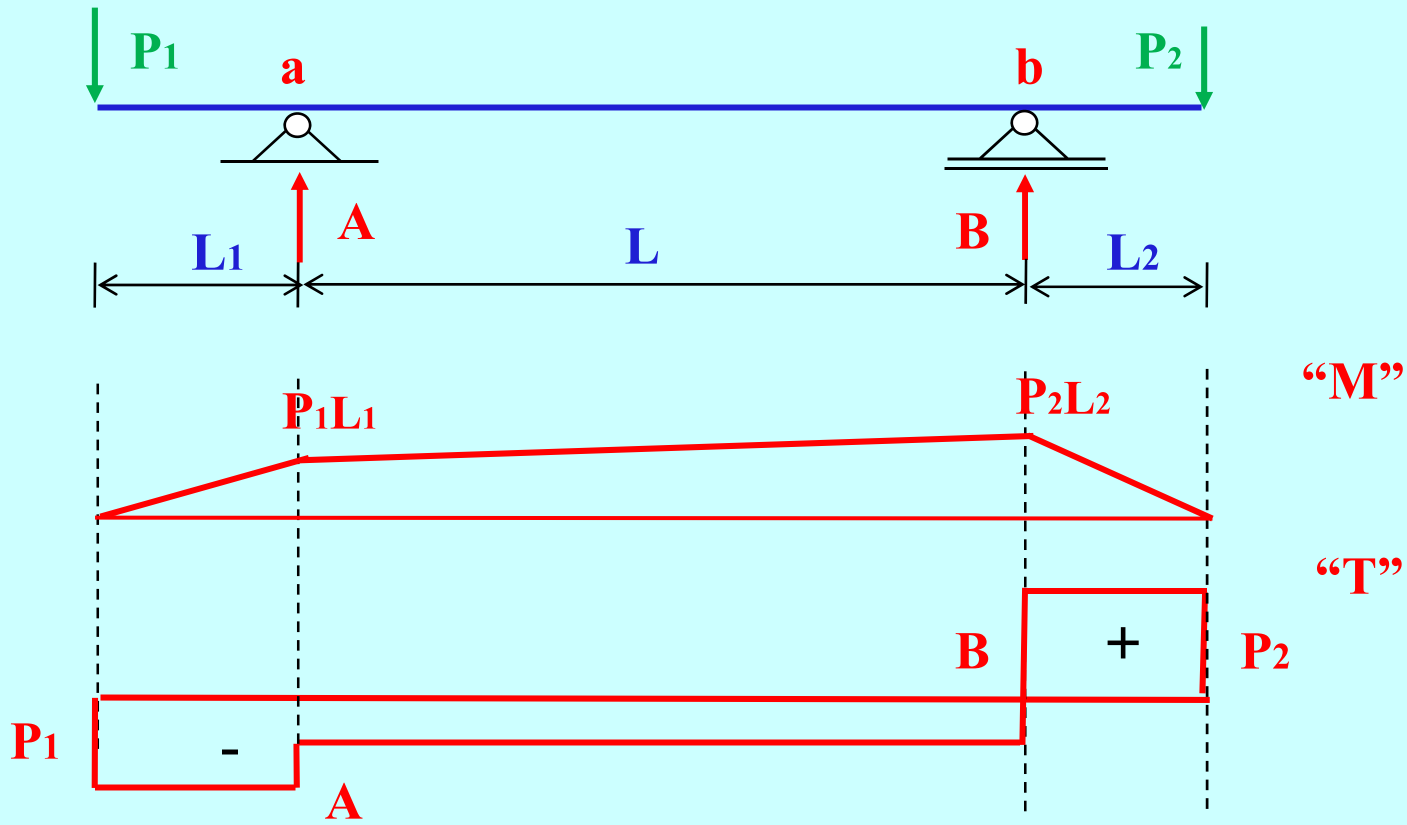
*Sile u presjecima računaju prema algoritmima koji se daju na vježbama za stalno raspodijeljeno opterećenje, za koncentrisano opterećenje i proizvoljno raspodijeljeno opterećenje.*

*Greda sa jednim prepustom*

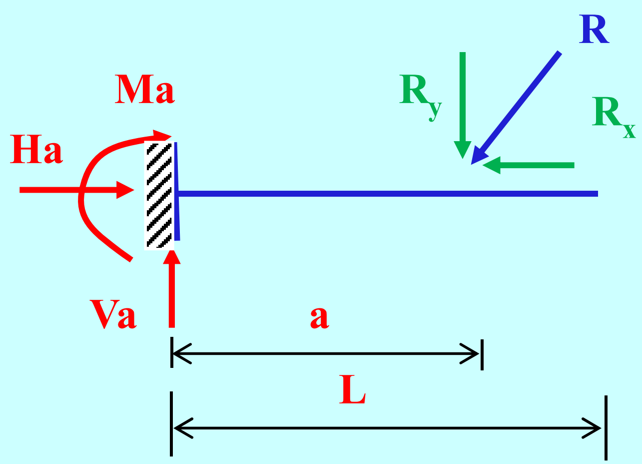


*Greda sa dva prepusta*

$P_1L_1 < P_2L_2$



*Konzola*




*Uslovi ravnoteže:*

$\Sigma M=0 \quad \Rightarrow \quad M_a=-R_y a$

$\Sigma X=0 \quad \Rightarrow \quad H_a= R_x$

$\Sigma Y=0 \quad \Rightarrow \quad V_a=R_y$

## NOSAČ KOJI SE SASTOJI OD DVIJE KINEMATIČKI KRUTE PLOČE

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

$$2z_z + z_o + z_u = 3z_p$$

$$z_p=2 \qquad z_z=1$$

$$z_o+z_u=4$$

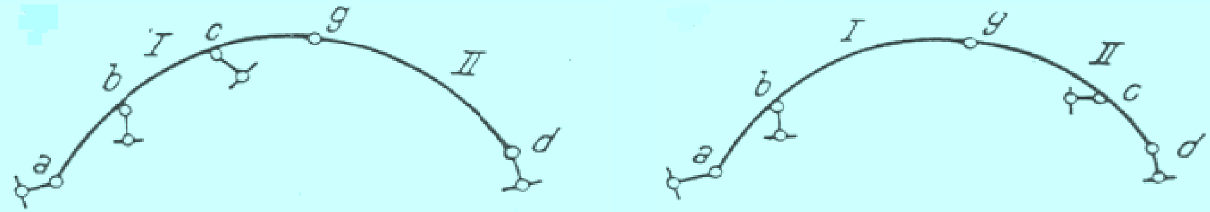
*Mogu se napisati sljedeće kombinacije:*

$$z_o+z_u=4+0$$

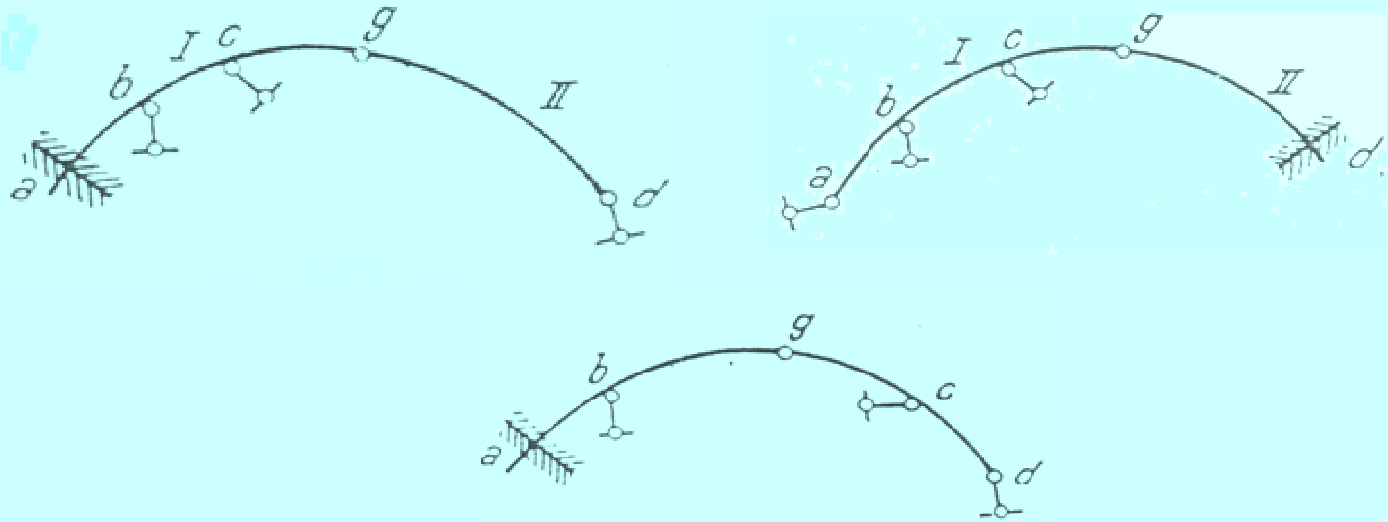
$$z_o+z_u=3+1$$

$$z_o+z_u=2+2$$

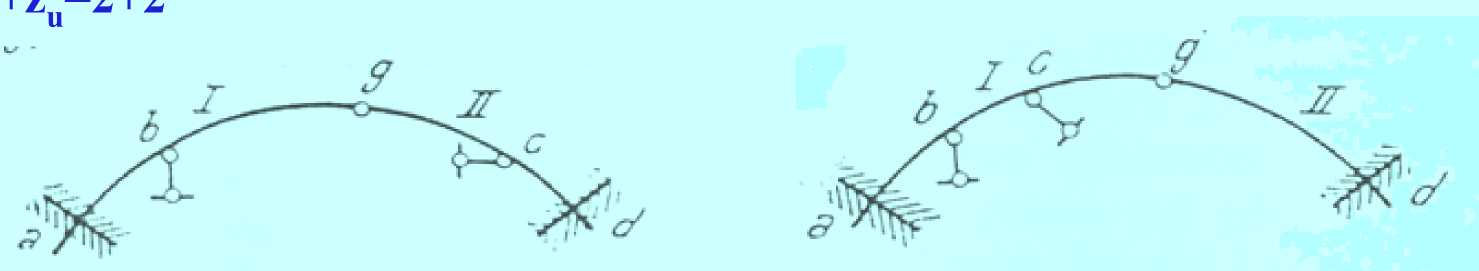
$z_o+z_u=4+0$




$z_o+z_u=3+1$

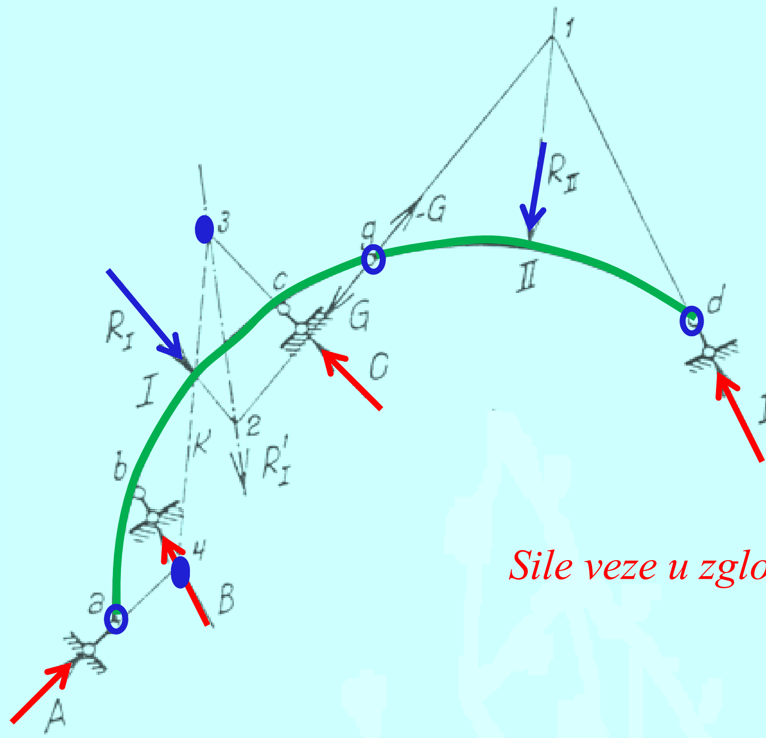



$z_o+z_u=2+2$



***Proračun reakcija oslonaca, momenata uklještenja i sile u zglobu g zavise uglavnom od rasporeda spoljašnjih elemenata po pločama.***

*Kada na jednoj ploči imamo 3 spoljašnja elementa a na drugoj samo jedan onda se reakcije analitički sračunavaju iz sljedećih uslova:*




Grafičko određivanje rakcija

$$\Sigma M_g^{II} = 0 \quad \Rightarrow \quad D$$

$$\Sigma M_4 = 0 \quad \Rightarrow \quad C$$

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

$$\Sigma M_g^{I} = 0 \quad \Rightarrow \quad A$$

**kontrola $\Sigma M_d \equiv 0$**

**ili $\Sigma X \equiv 0$ ili $\Sigma Y \equiv 0$**

*Sile veze u zglobu g*

$$\Sigma Y_{II} = 0 \quad \Sigma X_{II} = 0$$

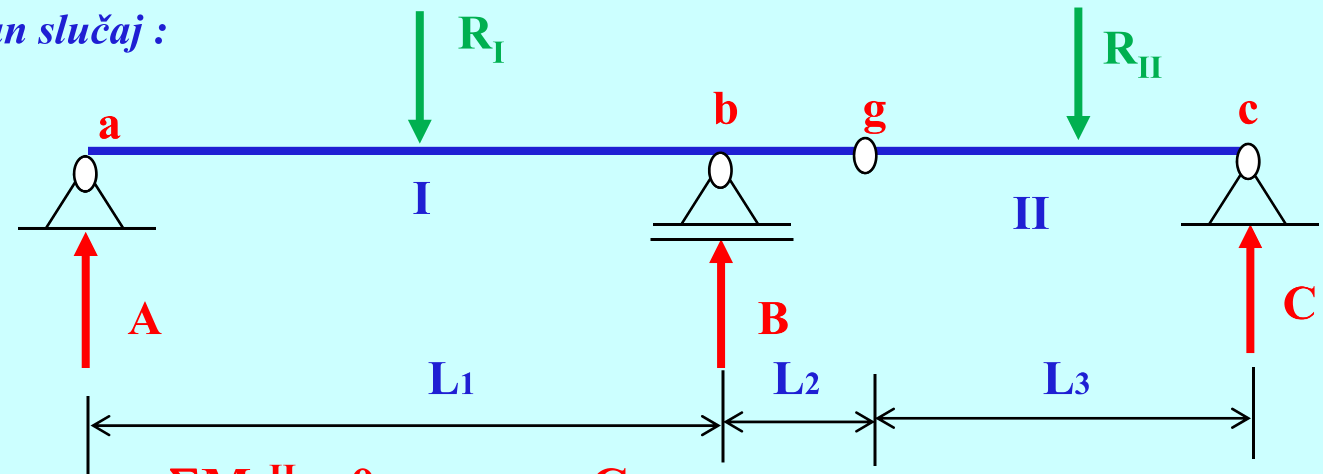
$$\Rightarrow \quad H_g, V_g$$

$R_{II}, D \Rightarrow G \quad -G, R_I \Rightarrow R_I' \quad R_I'$ i $C \Rightarrow 3$

A i B $\Rightarrow 4$ 3–4 kulmanov pravac

*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 silu u zglobu g****. Reakcije svih oslonaca i silu u zglobu g izaziva samo ono opterećenje koje djeluje na ploču II.*

*Specijalan slučaj :*

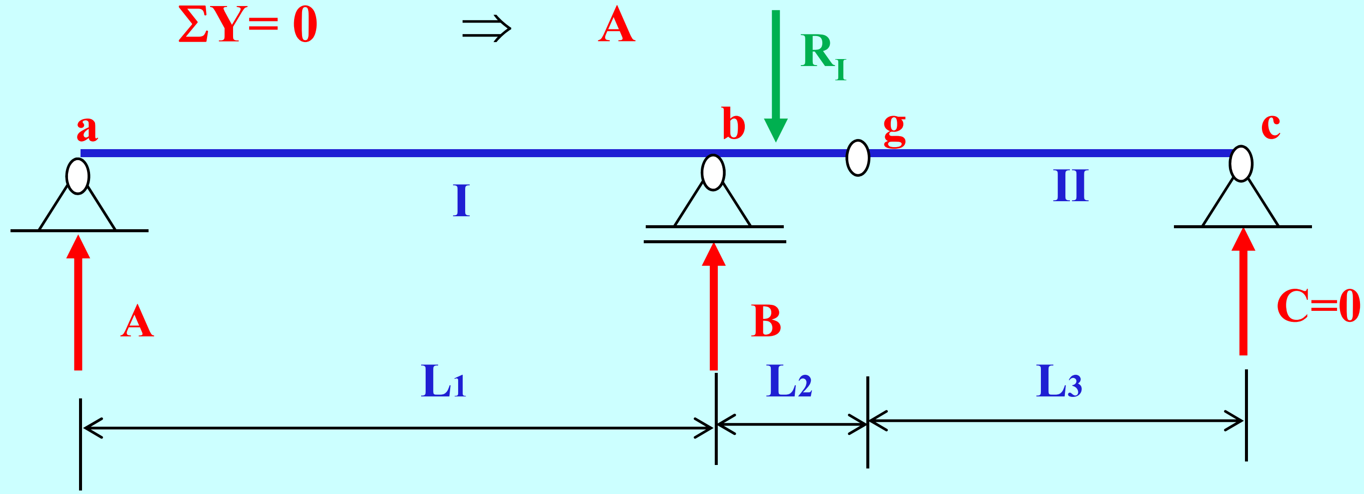



$\Sigma M_g^{II} = 0 \quad \Rightarrow \quad C$

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

$\Sigma Y = 0 \quad \Rightarrow \quad A$

kontrola $\Sigma M_g^{I} \equiv 0$




$\Sigma M_g^{II} = 0 \quad \Rightarrow \quad C=0$ $\quad \Sigma M_a = 0 \quad \Rightarrow \quad B$ $\quad \Sigma Y = 0 \quad \Rightarrow \quad A$

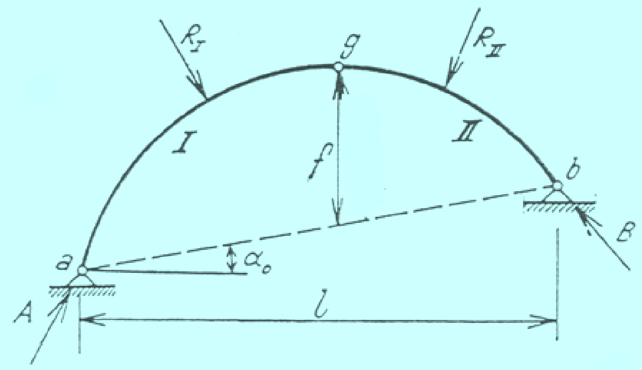
kontrola $\Sigma M_c \equiv 0$

## NOSAČ SA TRI ZGLOBA

- Nosač sastoji od **dvije ploče sa po dva spoljašnja elementa na svakoj ploči**

$$z_o+z_u=4+0$$

- **LUK NA TRI ZGLOBA - NOSAČ SA TRI ZGLOBA je nosač koji se sastoji od dvije ploče zglavkasto vezane, kod kojeg je svaka od ploča oslonjena na dva nepoketna ležišta prikazan**

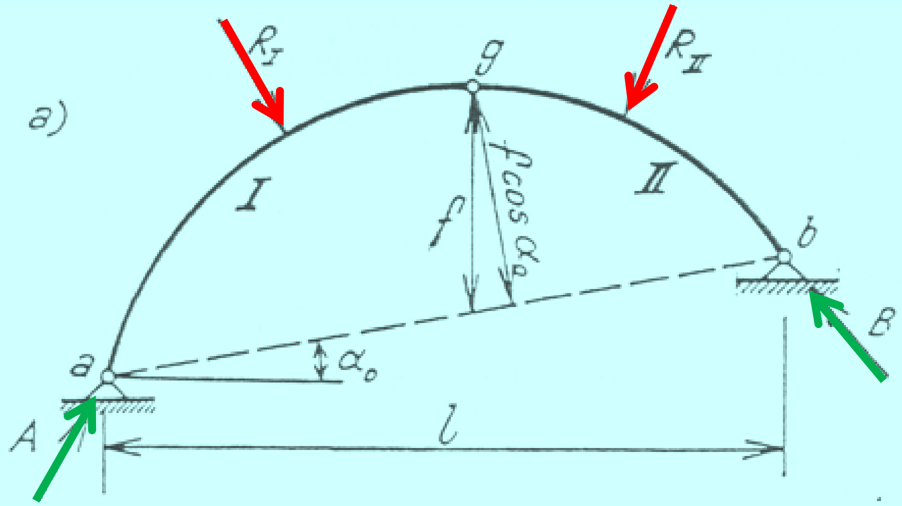


- *Prikazani postupak određivanja reakcija ne može se primijeniti*

- *U uslovima ravnoteže svake ploče osim reakcija dva spoljašnja elementa ulaze i dvije komponente sile veze zgloba g, ukupno šest nepoznatih 2+2+2=6*

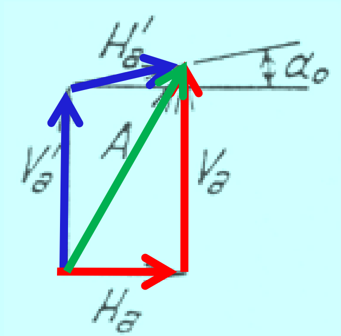
- Sistem jednačina sa nepoznatim silama se rješava **sukcesivnim rješavanjem jednačina - uslova ravnoteže prvo jedne pa druge ploče**

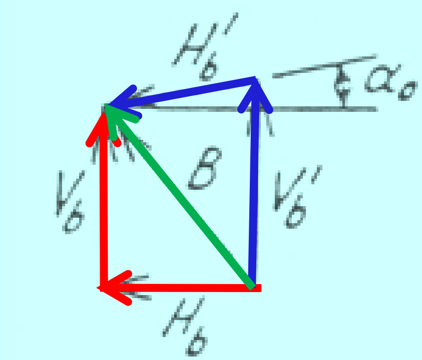
- *Pogodnim izborom nepoznatih i ispunjavanjem uslova ravnoteže u određenom obliku i poretku, nepoznate i u ovom slučaju mogu da se odrede bez određivanja komponenti sila u zglobu*




- *Rezultante spoljašnjeg opterećenja su za ploču I $R_I$, a za ploču II $R_{II}$*
- *A i B su reakcije oslonaca u tačkama a i b obeležavamo sa*
- *Komponente reakcija pri razlaganju na horizontalan i vertikalan pravac su $V_a$, $H_a$ i $V_b$, $H_b$*
- Komponente reakcija pri razlaganju na vertikalan pravac i pravac a-b su $V'_a$, $H'_a$ i $V'_b$, $H'_b$
- Pravac osloničkih zglobova a–b sa horizontalom zaklapa ugao $\alpha_o$
- odstojanje tačake g od prave a–b u verikalnom pravcu označavamo sa **f**

*Usvajanjem komponenti reakcija kao na slici, **reakcije se mogu sračunati bez računanja sile u zglobu g**:*





$$H_a = H'_a \cos \alpha_o$$

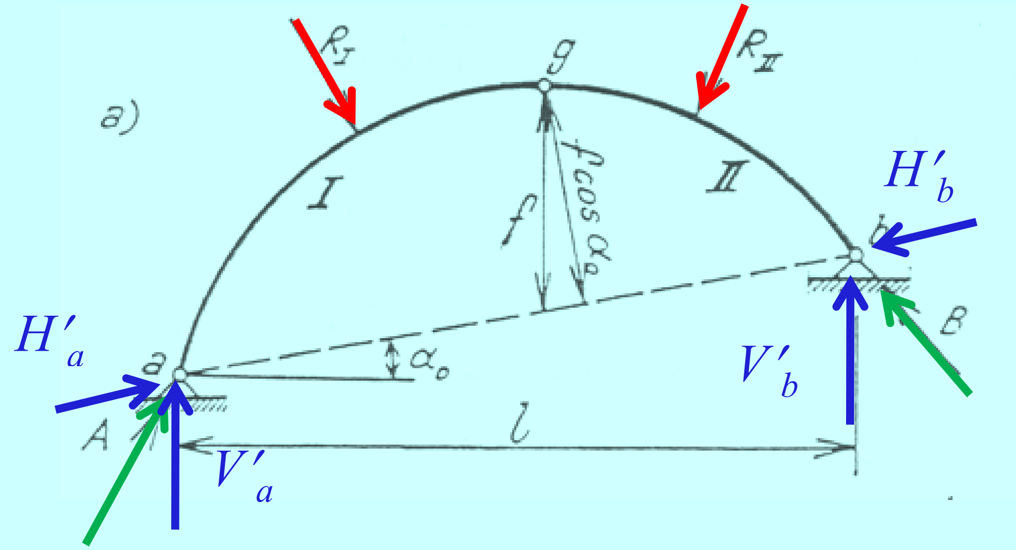
$$V_a = V'_a + H'_a \sin \alpha_o = V'_a + H_a \,\mathrm{tg}\, \alpha_o$$

$$H_b = H'_b \cos \alpha_o$$

$$V_b = V'_b - H'_b \sin \alpha_o = V'_b - H_b \,\mathrm{tg}\, \alpha_o$$

*Sile $V'_a$ i $V'_b$ određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskih zbirova momenata svih sila koje djeluju na ploče I i II u odnosu na tačke a i b.*

*Usvojena je pozitivna orijentacija momenata u smjeru kazaljke na satu*




$$V'_a = -\frac{Mb}{L}$$

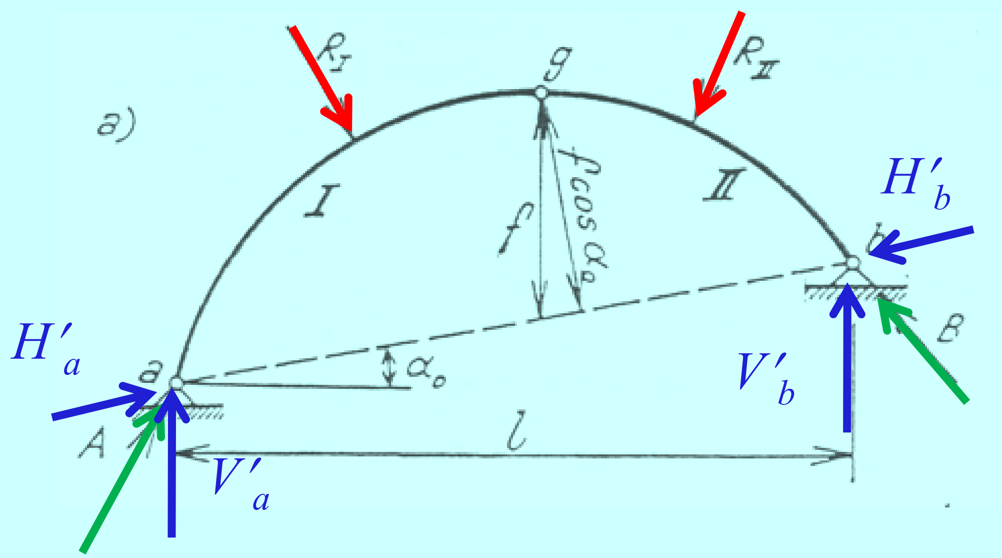
$$V'_b = \frac{Ma}{L}$$

*Sile **$H'_a$ i $H_a$** određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskog zbira momenata svih sila ploče I u odnosu na zglob g*

*Sile **$H'_b$** i silu **$H_b$** određujemo iz uslova o nultoj vrijednosti algebarskog zbira momenata svih sila ploče II u odnosu na zglob g*

***$M_{gII}$*** *- moment sila $V'_a$ i $R_{II}$ u odnosu na zglob g, pozitivan kada obrće u smjeru suprotnom smjeru kazaljke na satu*

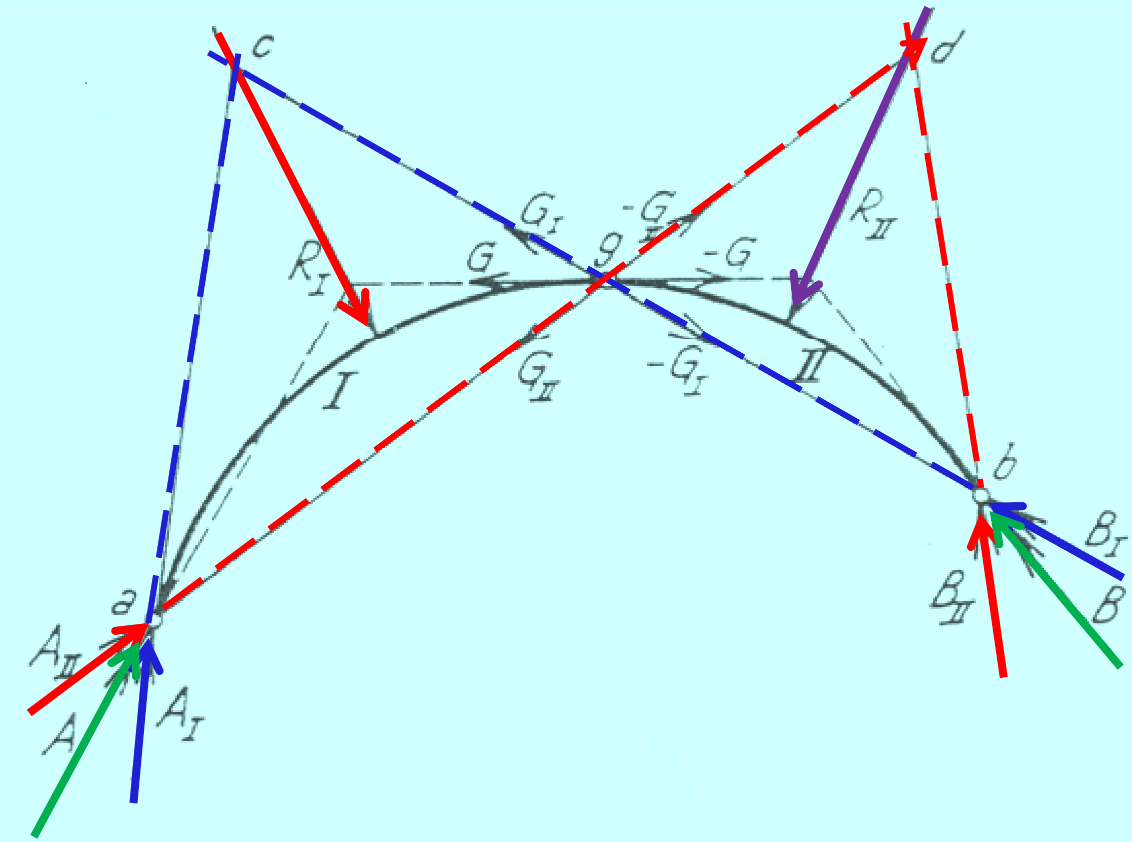
***$M_{gI}$ -*** *obeležimo moment sila $V'_a$ i $R_I$ u odnosu na zglob g, pozitivan kada obrće u smjeru kazaljke na satu*




$$H'_a \cos\alpha_o = H_a = \frac{M_{gI}}{f} \qquad H'_b \cos\alpha_o = H_b = \frac{M_{gII}}{f}$$

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

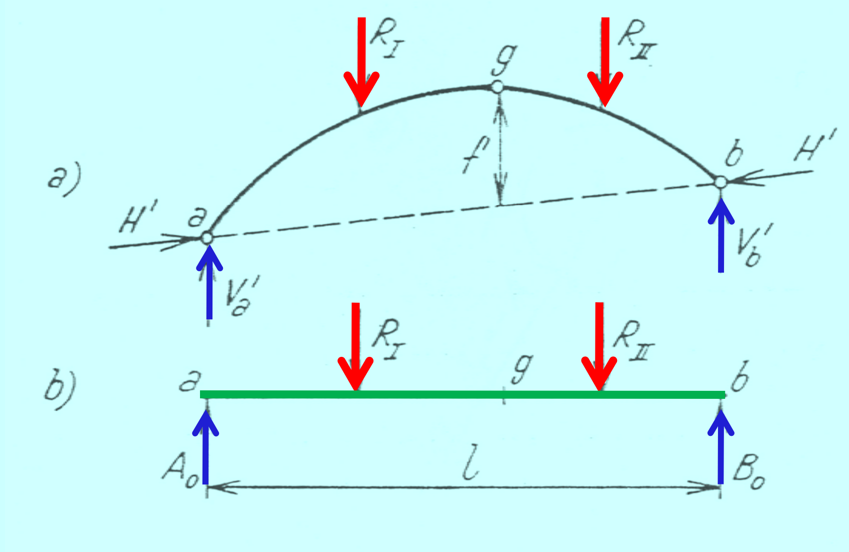
*Zadatak može da se riješi* *grafičkom konstrukcijom* *prikazanom na slici nepoznate reakcije određujemo na osnovu* ***principa superpozicije sabiranjem sila usled opterećenja $R_I$ i sila usljed opterećenja $R_{II}$.***




*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 $R_I$.*

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




$$V'_a = -\frac{M_b}{L} = A_o$$

$$V'_b = \frac{M_a}{L} = B_o$$

*Sile $H'_a$ i $H'_b$ međusobom su jednake*

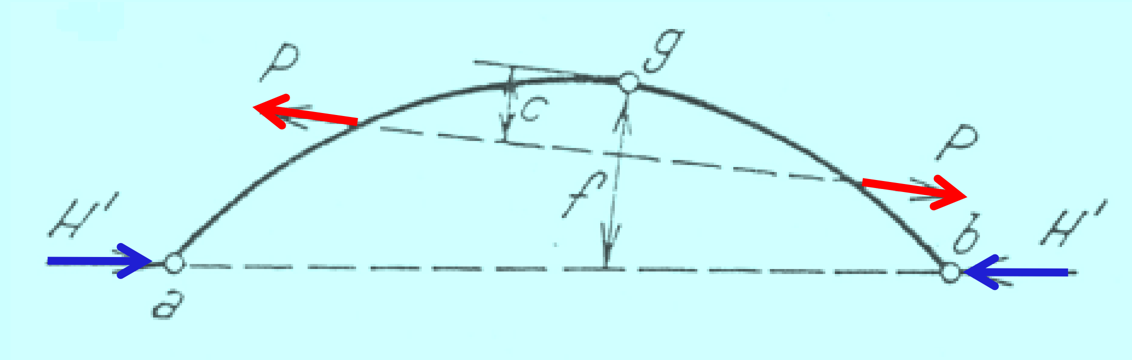
$$\mathbf{H'_a = H'_b = H'\ ,\ \ H_a = H_b = H}$$

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

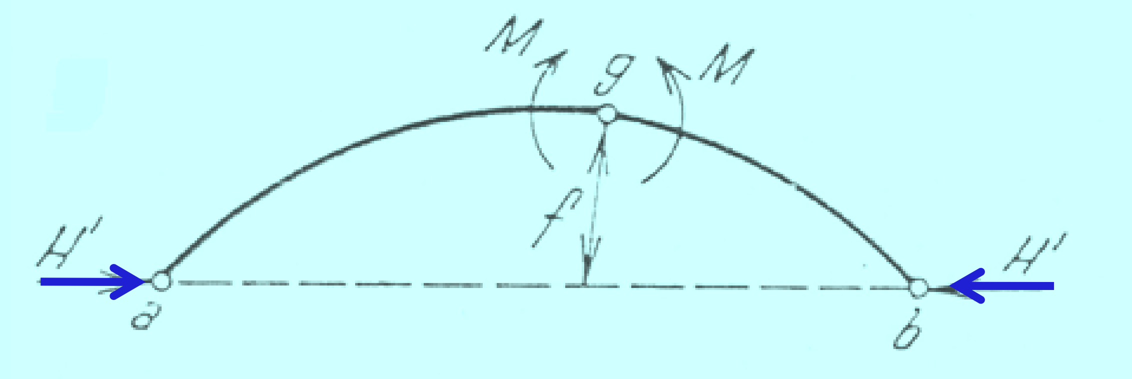
$$H = \frac{M_{go}}{f}$$

***$M_{go}$** moment savijanja ekvivalentne proste grede u cvoru g*

*Kada je nosač opterećen ravnotežnim opterećenjem kao na slici, 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:*



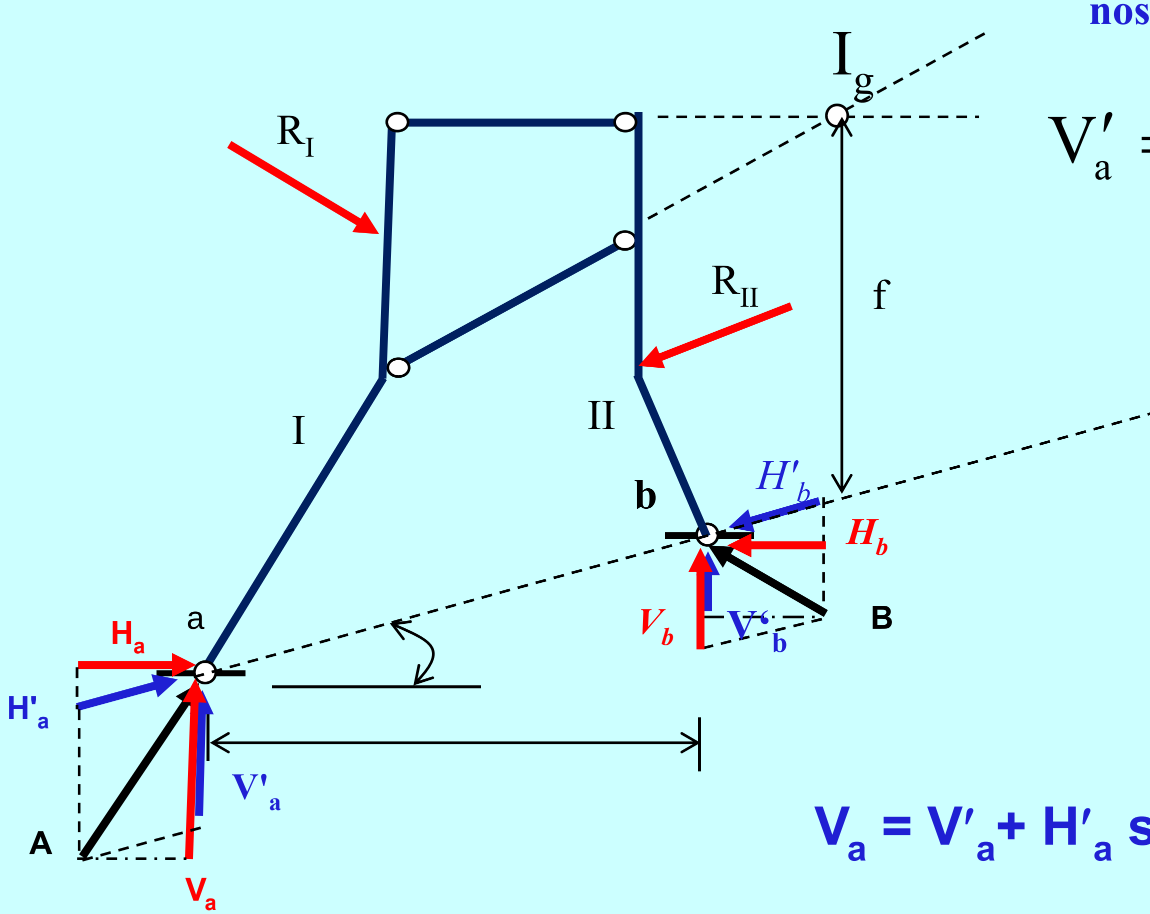

$$H'\cos\alpha_o = H = P\frac{c}{f}$$




$$H'\cos\alpha_o = H = \frac{M}{f}$$

## Nosač sa tri zgloba od kojih je jedan imaginaran

*Kada su dvije ploče oslonjene* ***na dva nepokretna ležišta i vezane sa dva prosta štapa*** *tada se prikazani postupak određivanja reakcija oslonaca može primijeniti na sljedeći način:*




**nosač sa tri zgloba a-Ig-b**

$$V'_a = -\frac{M_b}{L} \qquad V'_b = \frac{M_a}{L}$$

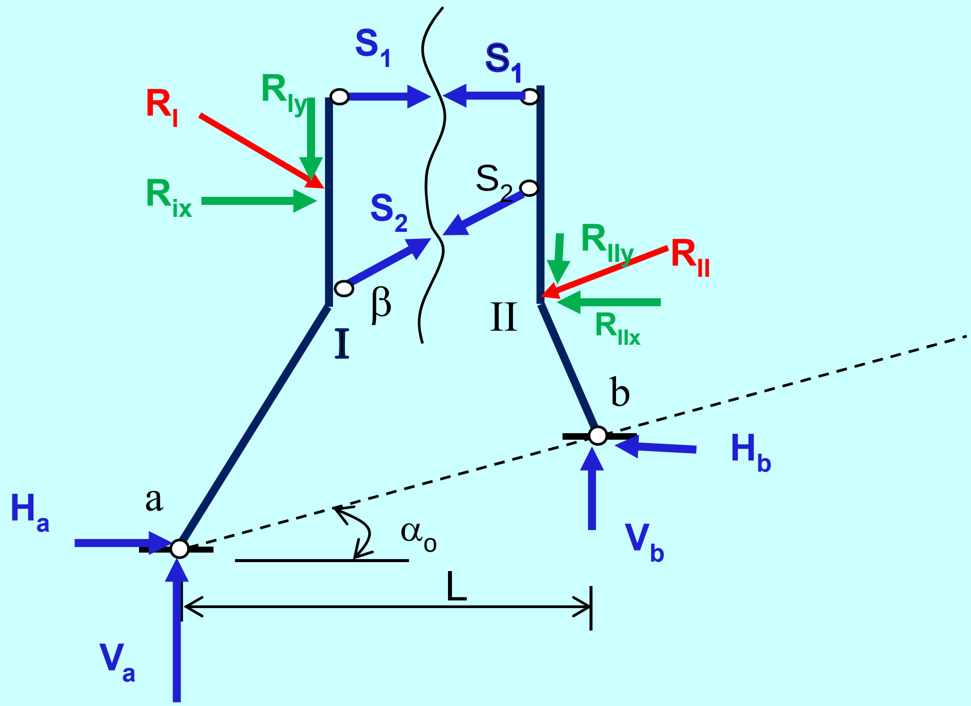
$$H_a = \frac{M^{I}_{Ig}}{f}$$

$$H_b = \frac{M^{II}_{Ig}}{f}$$

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

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

*Sile u prostim štapovima određujemo iz ravnoteže ploča I ili II, uz prethodno poznate komponente reakcija oslonaca:*




$\Sigma Y_I = 0$ $\Sigma X_I = 0$

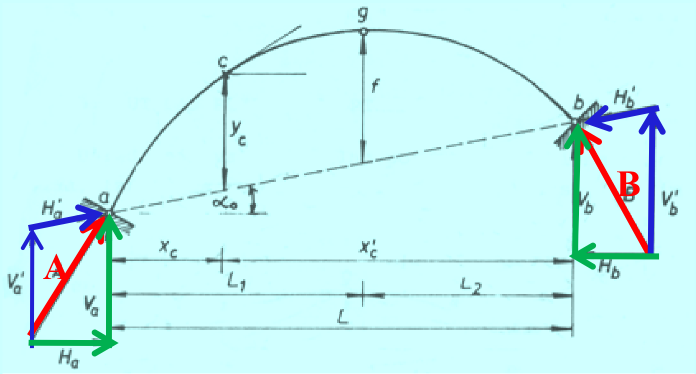
$\Sigma Y_{II} = 0$ $\Sigma X_{II} = 0$

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

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

- Pravac oslonačkih zglobova a-b nazivamo **pravac lučne sile**, koji sa horizontalom zaklapa ugao $\alpha_o$

- Raspon luka je **L**, a horizontalna rastojanja od zgloba g do oslonaca a i od g do oslonca b su $\mathbf{L_1}$ i $\mathbf{L_2}$




- 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 $\alpha_c$

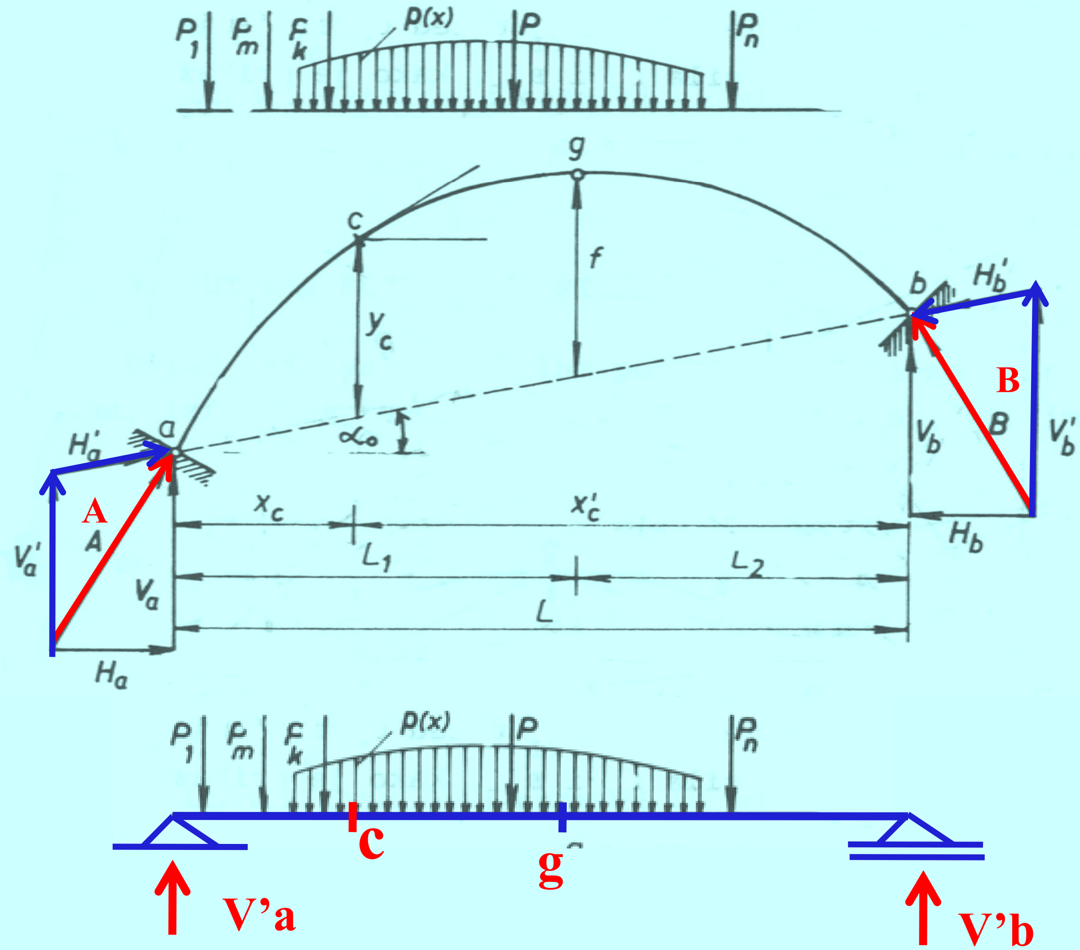
Reakcije A i B razlažemo na pravce vertikala i pravac lučne sile:

$\mathbf{V'_a}$ , $\mathbf{V'_b}$ – ako je opterećenje vertikalno ove sile predstavljaju sile ekvivalentne proste grede

$\mathbf{H'_a}$ , $\mathbf{H'_b}$ – lučne sile

$\mathbf{V_a}$ , $\mathbf{V_b}$ – vertikalne komponente reakcija A i B

$\mathbf{H_a}$ , $\mathbf{H_b}$ – horizontalne komponente reakcija A i B (horizontalni potisci luka)




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

Horizontalni potisci računaju se primjenom obrazaca:

$$H_a = \frac{M_{gI}}{f} \qquad H_b = \frac{M_{gII}}{f}$$

Ako je luk opterećen kao na slici tada je: $H_a = H_b = H = M_{go} / f$ $\qquad H'_a = H'_b = H'$

**$T_{co}$** *- tranverzalna sila ekvivalentne proste grede je* ***suma vertikalnih sila lijevo ili desno od posmatranog presjeka*** ($V'_a$ i opterećenje lijevo od posmatranog presjeka, odnosno, $V'_b$ i opterećenje desno od posmatranog presjeka)

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

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

$$\mathrm{T_c} = \mathrm{T_{co}} \cos\alpha_{\mathrm{c}} - \mathrm{H}'\sin(\alpha_{\mathrm{c}} - \alpha_{\mathrm{o}}) = \mathrm{T_{co}} \cos\alpha_{\mathrm{c}} - \mathrm{H}\frac{\sin(\alpha_{\mathrm{c}} - \alpha_{\mathrm{o}})}{\cos\alpha_{\mathrm{o}}}$$

$$\mathrm{N_c} = -\mathrm{T_{co}} \sin\alpha_{\mathrm{c}} - \mathrm{H}'\cos(\alpha_{\mathrm{c}} - \alpha_{\mathrm{o}}) = -\mathrm{T_{co}} \sin\alpha_{\mathrm{c}} - \mathrm{H}\frac{\cos(\alpha_{\mathrm{c}} - \alpha_{\mathrm{o}})}{\cos\alpha_{\mathrm{o}}}$$

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

$$M_c = M_{co} - Hy_c$$

## Oblik ose lučnih nosača

**Zadatak:** *za zadati raspon* ***L****, strijelu luka* ***f*** *i eksloatatciono opterećenje potrebno je da odredimo* ***oblik (geometriju) ose luka na tri zgloba-***

***racionalni oblik ose luka*** **tako da bude** *obezbeđena* ***jednakost ekstremnih vrijednosti napona u gornjim i donjim ivicama*** *poprečnog presjeka*.

*Kada je zadato* ***stalno podijeljeno opterećenje****,* ***rezultantni 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*
- *analitički*

*Iz uslova da su* ***momenti*** *u odnosu na težišta poprečnih presjeka* ***usljed zadatog opterećenja jednaki nuli****:*

$$M_o - Hy = 0$$

$$y = \frac{M_o}{H}$$

***ovim izrazom određujemo ordinate ose luka***

S obzirom da je moment u g jednak nuli slijedi:

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

$$H = \frac{M_{go}}{f}$$

*Kada se ova relacija uvrsti u prethodnu 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 luka** ***ne zavisi od intenziteta opterećenja***

**Oblik ose** ***luka zavisi od zakona po kojem se to opterećenje mijenja duž nosača***

Kada je opterećenje **jednako podijeljeno** momente savijanja proste grede određujemo:

$$M_o = q\frac{L^2}{2}\omega_r \qquad \varpi_r = \xi - \xi^2$$

*Ako je zglob g na sredini raspona tada je:*

$$M_{go} = q\frac{L^2}{8}$$

*Racionalni oblik ose luka je* **kvadratna parabola:**

$$y = 4f\omega_R$$

# Nosači koji se sastoje od lanca ploča

## Određivanje reakcija

Za **sistem ploča** koje su vezane zglobovima **tako da se uklanjanjem bilo kog zgloba sistem raspada na dva nezavisna dijela**, kažemo da su vezane u lanac, odnosno **predstavljaju lanac ploča.**

*Ako u sistemu ploča, lanac ploča sadrži $z_p$ ploča tada je broj zglobova $z_z$ za jedan manji od broja ploča:*

$$z_z = z_p - 1$$

*U svakom zglobu postoje 2 komponente reakcije zglobne veze pa je broj nepoznatih*

$$zo + zu + 2(zp - 1)$$

Za **jednu ploču** u ravni mogu se napisati **3 uslova ravnoteže** što znači da u **sistemu ploča** možemo napisati **3zp uslova ravnoteže**.

*Ukoliko je lanac ploča statički određen tada važi da je:*

$$z_o + z_u + 2(z_p - 1) = 3\, z_p$$

**Slijedi broj oslonaca i uklještenja za statički određen lanac ploča:**

$$z_o + z_u = z_p + 2$$

Uslovi ravnoteže:
- **3 uslova ravnoteže** *nosača kao cjeline kao cjeline*
- $\mathbf{z_z = z_p - 1}$ *uslova o nultim vrijednostima zbira momenata spoljašnjih sila koje djeluju sa jedne ili druge strane zgloba a u odnosu na taj zglob*

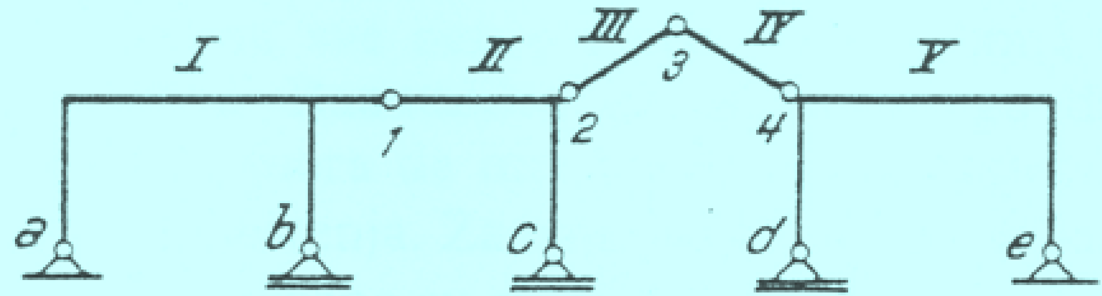
Reakcije se mogu odrediti i tako što se u isto vrijeme određuju i **sile veze u zglobovima lanca.**

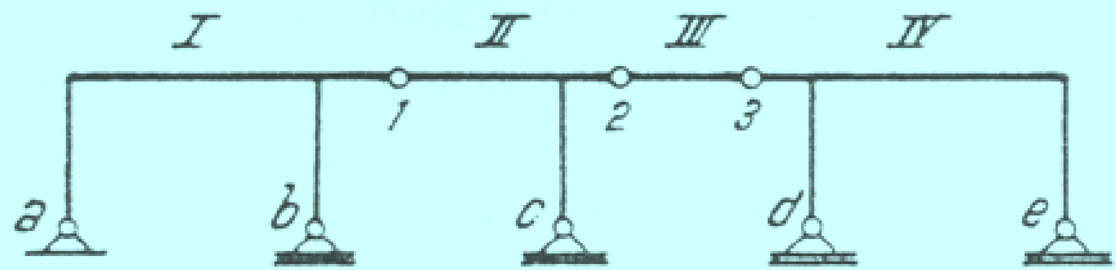
**Izbor načina određivanja reakcija zavisi od rasporeda:**
- **oslonaca**
- **uklještenja**
- **zglobova nosača**

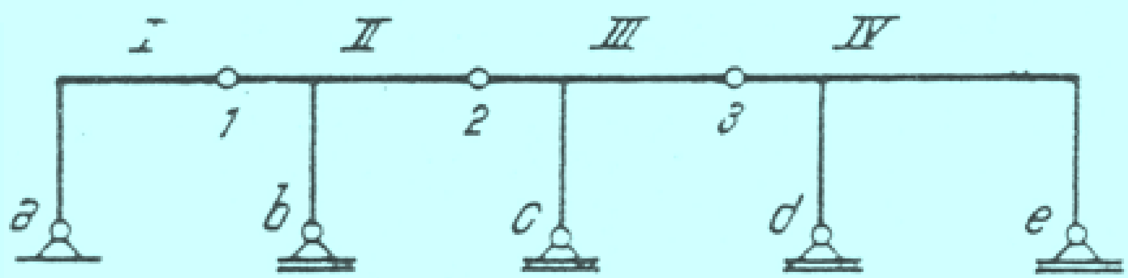
*Kako je broj oslonaca veći od broja ploča za 2 tada **postoje dvije mogućnosti rasporeda oslonaca:***

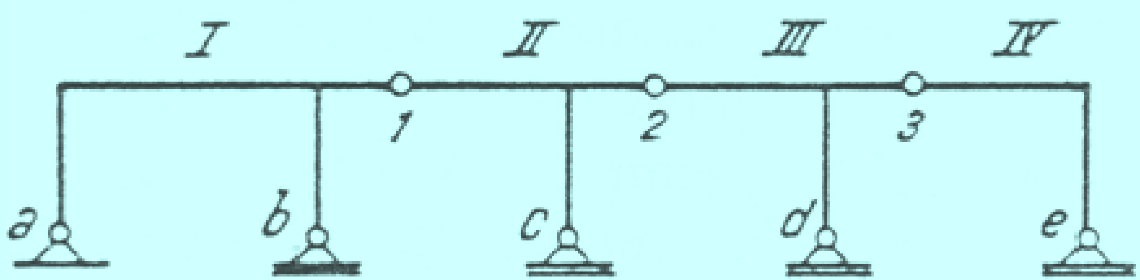
- **Ili je jedna ploča oslonjena na tri oslonca, a sve ostale ploče na po jedan oslonac**
- **ili dvije ploče sadrže po dva oslonca, a sve ostale ploče imaju po jedan oslonac**

*Oslonci mogu biti zamijenjeni uklještenjima* ali tada ***na jednoj ploči mora biti najmanje 2 oslonca,*** **a da na jednoj ploči ne budu dva uklještenja.**


I
II
III
IV
V
1
2
3
4
a
b
c
d
e


I
II
III
IV
1
2
3
a
b
c
d
e


I
II
III
IV
1
2
3
a
b
c
d
e


I
II
III
IV
1
2
3
a
b
c
d
e

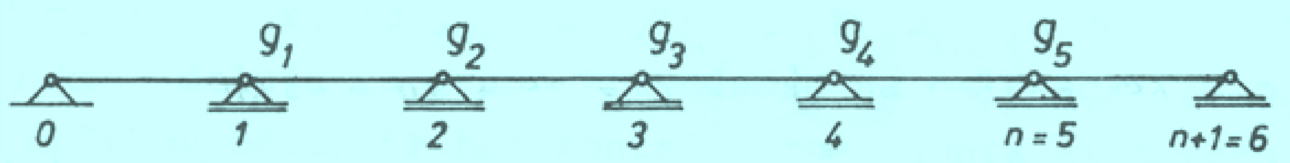
# Uticaj stalnog opterećenja na gredu sa zglobovima

*Greda oslonjena na tri oslonca je statički određena*

*Kada je greda oslonjena na n+2 oslonca onda je ona n puta statički neodređena.*

*Kada se ovakvoj gredi doda n zglobova ona je statički određena.*

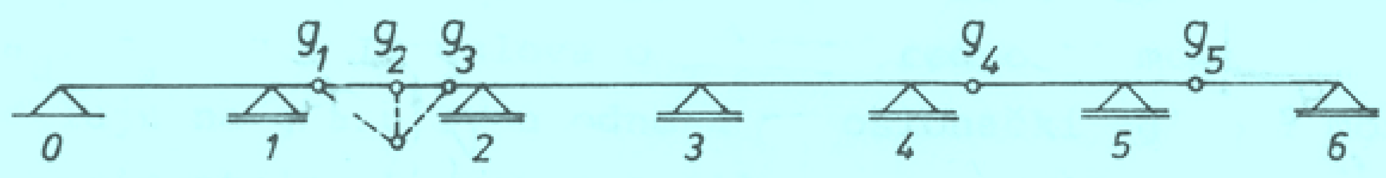
*Ako postavimo zglobove iznad oslonaca dobijamo* ***n+1 prostu gredu:***




*Ekonomičnije rješenje se dobija kada se* ***zglobovi postave između oslonaca****, jer se na taj način dobija sistem prostih greda i greda sa prepustima*

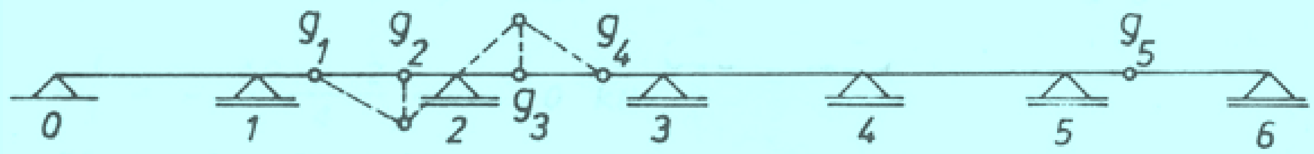
**Pri raspoređivanju zglobova mora se voditi računa o stabilnosti sistema.**

- **u jednom polju ne smiju biti tri zgloba**




***u kritičnoj konfiguraciji od*** $g_1$ ***do*** $g_3$***, dok je dio sistema od 2 do 4 statički neodređen***

- u dva susjedna polja ne smiju biti po dva zgloba

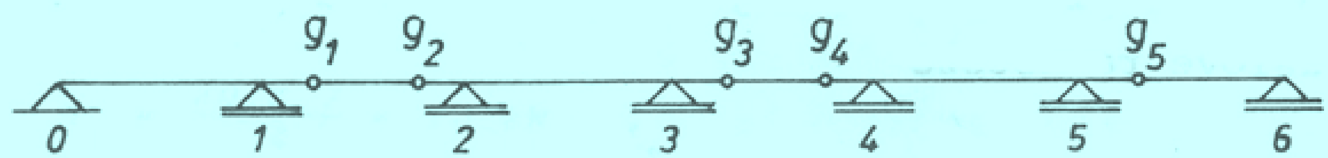


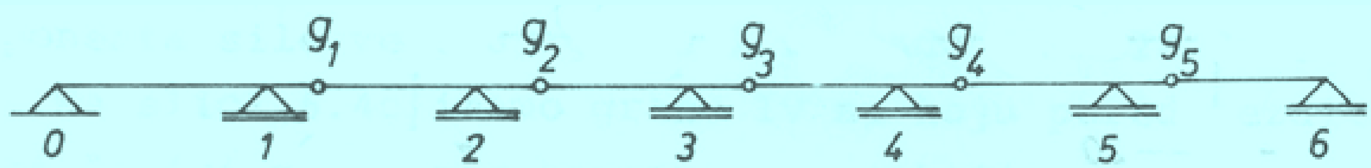

***Sistem dat na slici je na dijelu od $g_1$ do $g_4$ labilan, dok je sistem od 3 do 5 statički neodređen.***

DEKOMPOZICIJA - Rastavljanjem grede sa n zglobova i n+1 polja na djelove dobijamo n+1 ploča

***USLOVI RAVNOTEŽE:*** *za ovaj sistem ploča možemo napisati* ***3(n+1)*** *uslova ravnoteže*

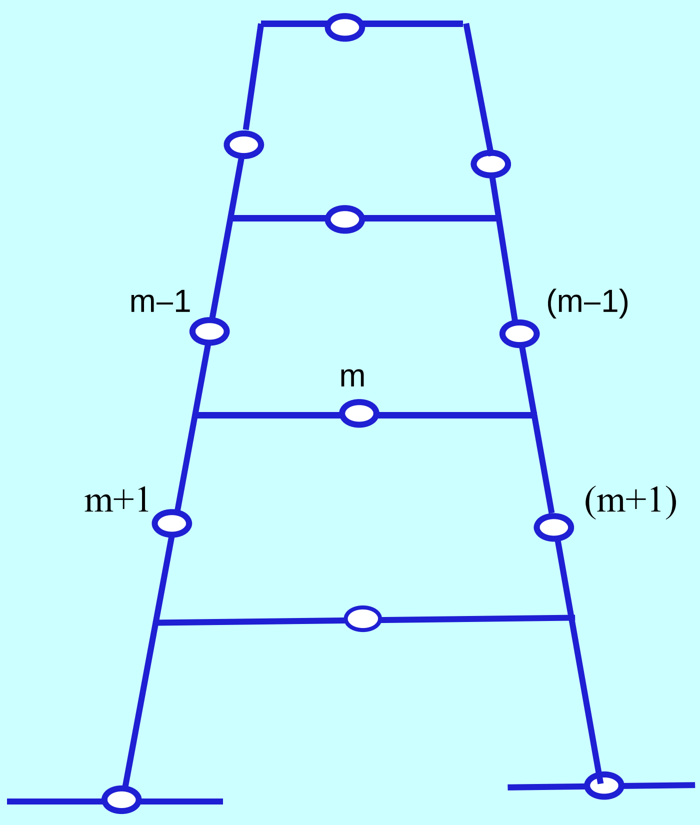
***STATIČKE NEPOZNATE****:* ***n+3*** *nepoznatih reakcija kao i* ***2n*** *komponenti sila veze u zglobovima, što ukupno čini* ***n+3+2n=3n+3*** *nepoznatih*



# Statički određeni okvirni nosači

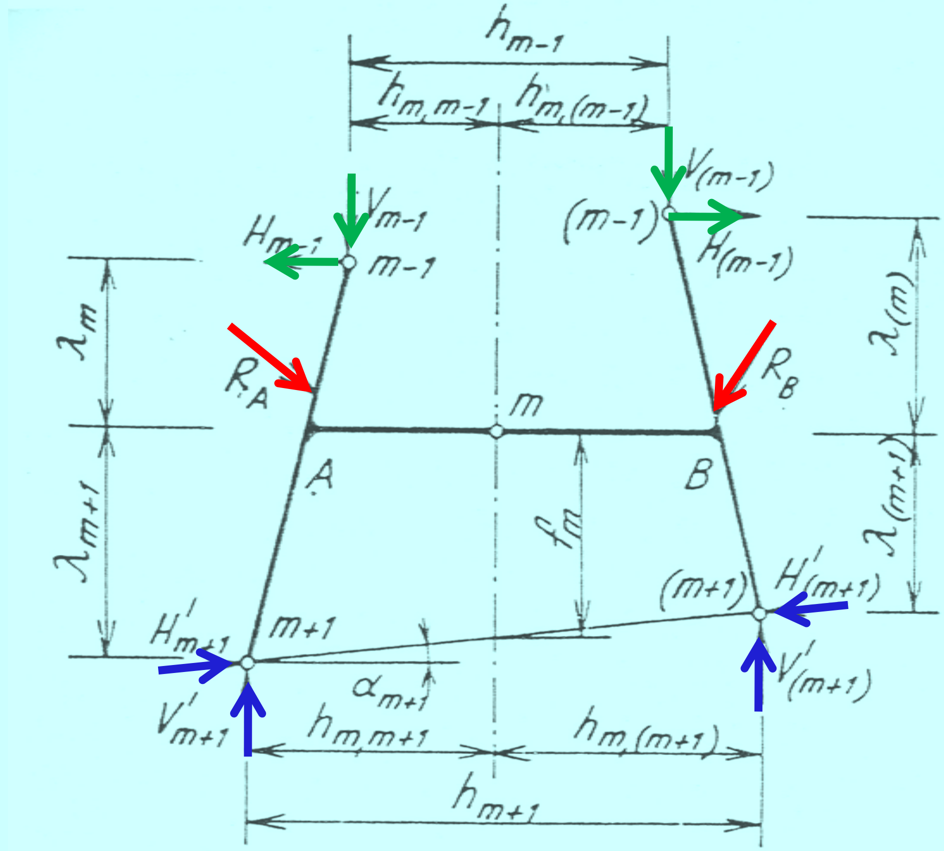
Razmatraćemo **višespratne okvirne nosače** koji se dobijaju **sukcesivnim dodavanjem para zglavkasto vezanih ploča.**



*Ploče A i B predstavljaju jedan par ploča izdvojen iz takvog lanca.*

Sile $\mathbf{V_{m-1}}$, $\mathbf{V_{(m-1)}}$, $\mathbf{H_{m-1}}$, $\mathbf{H_{(m-1)}}$ su poznate sile *kojim prethodno uklonjen par ploča djeluje na ploče A i B*.

*Na ploče A i B djeluje i aktivno opterećenje čije su rezultante **$R_A$ i $R_B$**.*




*Iz uslova sume momenata sila koje napadaju ove dvije ploče a u odnosu na tačke **(m+1) i m+1** dobijamo nepoznate sile veze **$V'_{m+1}$, $V'_{(m+1)}$ u zglobovima m+1 i (m+1)**:*

$$V'_{m+1} = -\frac{M_{(m+1)}}{h_{m+1}} \qquad V'_{(m+1)} = \frac{M_{m+1}}{h_{m+1}}$$

*Veze sila* $\boldsymbol{H'_{m+1}}$ ***i*** $\boldsymbol{H'_{(m+1)}}$ *i horizontalnih komponenti:*

$$\mathbf{H_{m+1} = H'_{m+1}\cos\alpha_{m+1}} \qquad \mathbf{H_{(m+1)} = H'_{(m+1)}\cos\alpha_{m+1}}$$

*Iz uslova da su* ***momenti u odnosu na zglob m*** *svih sila koje djeluju na ploči A, odnosno, ploči B jednaki nuli, dobija se:*

$$H_{m+1} = \frac{1}{f_m}\left(M_{mA} + V'_{m+1}h_{m,m+1} - V_{m-1}h_{m,m-1} - H_{m-1}\lambda_m\right)$$

$$H_{(m+1)} = \frac{1}{f_m}\left(M_{mB} + V'_{(m+1)}h_{m,(m+1)} - V_{(m-1)}h_{m,(m-1)} - H_{(m-1)}\lambda_{(m)}\right)$$

$\boldsymbol{M_{mA}}$ *je moment savijanja sile* $R_A$ *u odnosu na zglob, pozitivan u smjeru kazaljke na satu.*

$\mathbf{M_{mB}}$ je moment savijanja sile $R_B$ u odnosu na zglob m, pozitivan u smjeru suprotno smjeru kazaljke na satu.

*Sljedeći korak u agoritmu određivanja reakcija je:*

$$\mathbf{V_{m+1} = V'_{m+1} + H_{m+1}\,tg\,\alpha_{m+1}}$$

$$\mathbf{V_{(m+1)} = V'_{(m+1)} - H_{(m+1)}\,tg\,\alpha_{m+1}}$$

## NOSAČI KOJI SE SASTOJE OD LANCA PLOČA I NIZA PROSTIH ŠTAPOVA

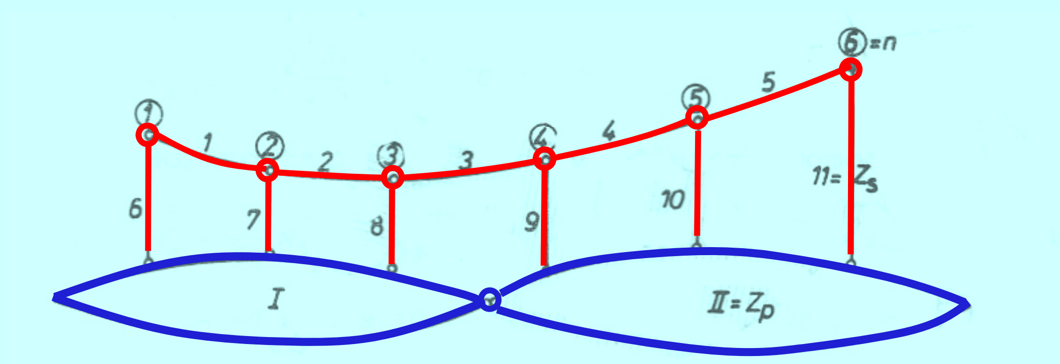
Ako se nosač sastoji od :

**$z_p$ ploča** — **$z_p$+2** *stepeni slobode pomjeranja* (vezani sa $z_p-1$ zglobova, prethodno predavanje)

**$z_s$ prostih štapova** — povezani u n čvorova tada je *broj stepeni slobode pomjeranja* **2n umanjen za broj štapova**

*da bi takav nosač bio kinematički prosto stabilan broj oslonaca i uklještenja treba da bude:*

$$z_o + z_u + z_s = z_p + 2 + 2n$$



***Za određivanje reakcija oslonaca i sila u štapovima na raspolaganju nam stoje (uslovi ravnoteže):***

**$z_p$+2 uslova ravnoteže lanca ploča**

**2n uslova ravnoteže čvorova**

***Nepoznate u uslovima ravnoteže čvorova:***

$z_s$ sila u štapovima

$z''_o$ nepoznatih reakcija u osloničkim tačkama koje ne pripadaju lancu ploča

Zbir ovih nepoznatih je redovno **veći od 2n** to se sve statičke veličine mogu izraziti u funkciji **$(z_s + z''_o) - 2n$** *pogodno izabranih statičkih veličina*.

***Nepoznate u uslovima ravnoteže lanca ploča:***

$z'_o$ nepoznatih reakcija u osloničkim tačkama koje pripadaju lancu ploča
$z_u$ momenata uklještenja lanca ploča

*Za statički određen nosač važi da je:*

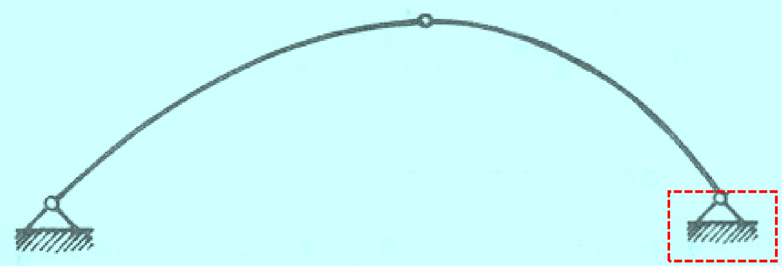
$$z_s + z''_o + z'_o + z_u = z_p + 2 + 2n$$

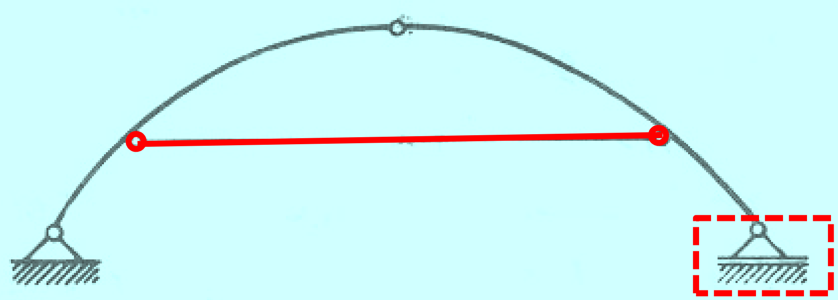
# Nosač sa tri zgloba sa zategom

*Kada se kod luka na tri zgloba*

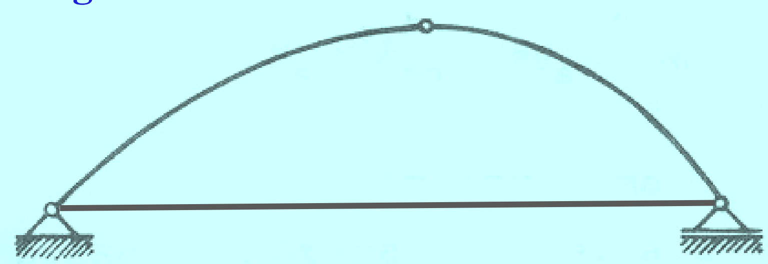
- **u jednom od oslonačkih zglobova ukloni horizontalan oslonac**
- **doda zatega da bi se obezbijedila kinematička stabilnost**

*dobija se nosač sa tri zgloba sa zategom*

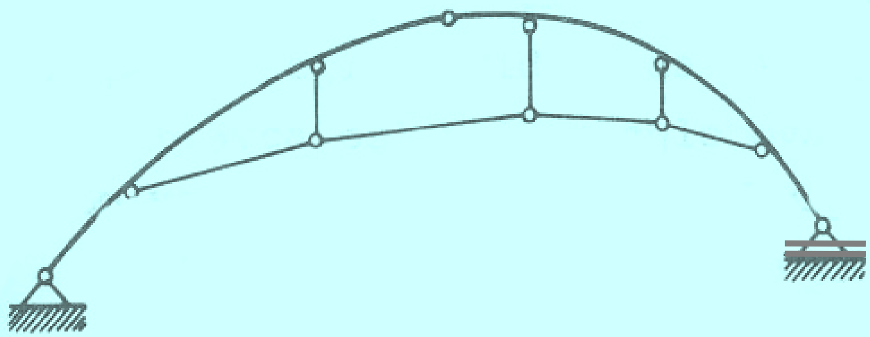




**Zatega može da spaja oslonačke zglobove**



**Zatega može da spaja oslonačke zglobove** ali se **iz konstruktivnih razloga može izdići i oblikovati kao poligonalan niz prostih štapova prihvaćen vertikalnim prostim štapovima koje se nazivaju vertikale.**

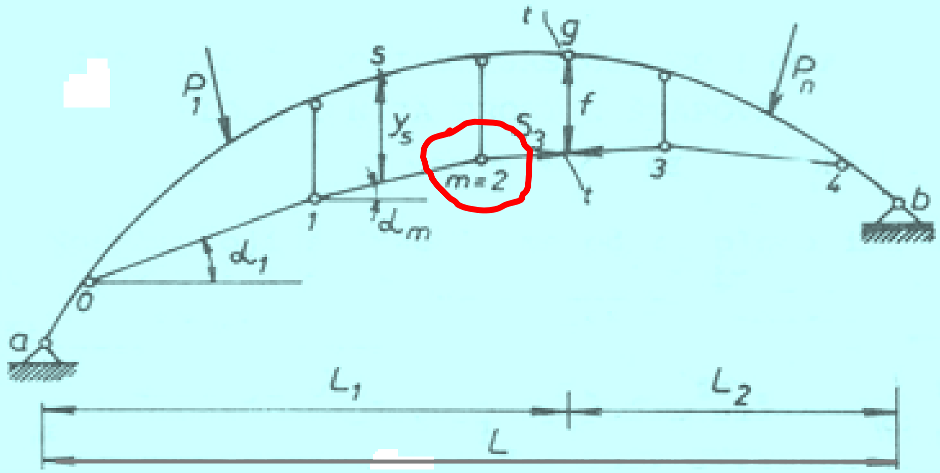


*Nosači sa zategom spadaju u grupu* ***unutrašnje kinematičkih prosto stabilnih nosača.***

*Za razliku od luka na tri zgloba:*

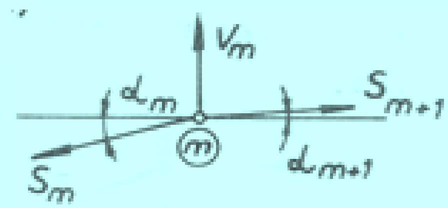
***reakcije oslonaca $V_a$, $H_a$, B mogu se odrediti iz uslova ravnoteže sila koje napadaju jednu krutu ploču.***

*Kada na nosač sa zategom* ***djeluju vertikalne sile*** *tada su* ***reakcije oslonaca ekvivalentne reakcijama proste grede istog raspona****.*




**$S_m$** - sile u štapovima

$\alpha_m$ - uglovi nagiba štapova prema horizontali

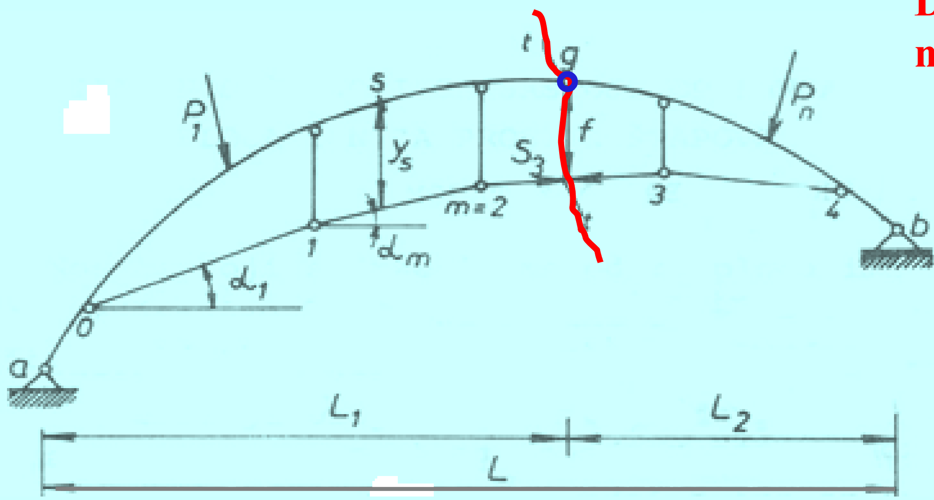



$$S_m \cos\alpha_m = S_{m+1} \cos\alpha_{m+1} = H$$

**H -** horizontalna komponenta sila $S_m$ tada je

$$S_m = \frac{H}{\cos\alpha_m}$$

$$V_m = S_m \sin\alpha_m - S_{m+1} \sin\alpha_{m+1} = H\left(tg\alpha_m - tg\alpha_{m+1}\right)$$




**Da bi odredili silu H potrebno je napraviti presjek kroz zglob g**

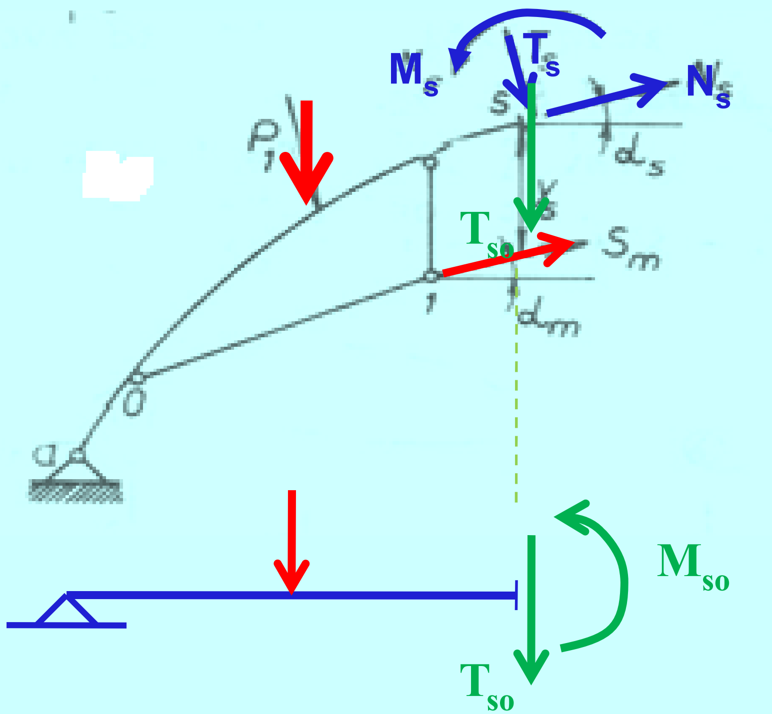
**f –** vertikalno odstojanje štapa 2-3 od zgloba g

$\mathbf{M_{go}}$ –moment spoljašnjih sila i reakcije oslonca a u odnosu na g

*Zbir momenata svih sila koje djeluju lijevo ili desno od presjeka t–t a u odnosu na zglob g mora biti jednak nuli:*

$$M_{go} - S_3 f \cos\alpha_3 = 0$$

$$S_3 \cos\alpha_3 = \frac{M_{go}}{f} = H \qquad H = \frac{M_{go}}{f}$$




$T_{so}$ i $M_{so}$ **transverzalna sila i momenta savijanja u presjeku s proste grede raspona L:**

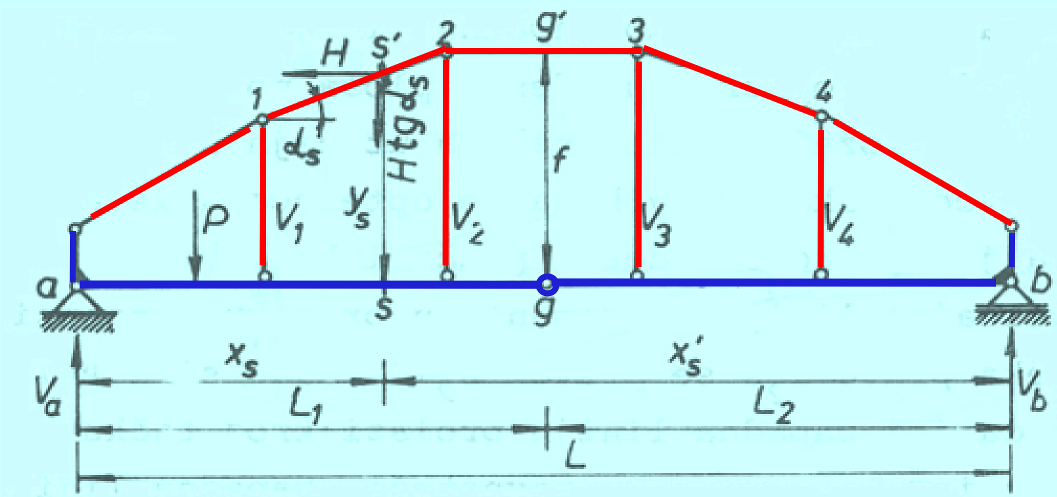
$$N_s = -T_{so}\sin\alpha_s + S_m\cos(\alpha_s - \alpha_m) = -T_{so}\sin\alpha_s + H\frac{\cos(\alpha_s - \alpha_m)}{\cos\alpha_m}$$

$$T_s = T_{so}\,cos\,\alpha_s - S_m\,sin(\alpha_s - \alpha_m) = T_{so}\,cos\,\alpha_s - H\frac{sin(\alpha_s - \alpha_m)}{cos\,\alpha_m}$$

$$M_s = M_{so} - Hy_s$$

## Vitak poligonalni luk sa gredom za ukrućenje ispod luka

*Na slici je prikazan luk sa vješaljkama o koje su obješene dvije zglavkasto vezane ploče*

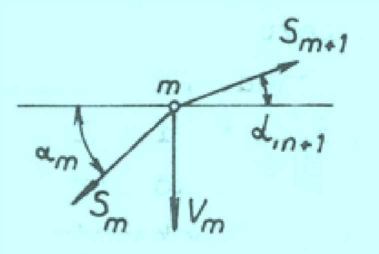



**Langerova greda**

- *Opterećenje djeluje na Langerovu gredu*
- *Štapovi luka i vertikale primaju samo aksijalne sile*

**Iz ravnoteže m –tog čvora luka** sa nepoznatim silama u štapovima luka $S_m$ i $S_{m+1}$ i silom u vertikali $V_m$

**ΣX=0**

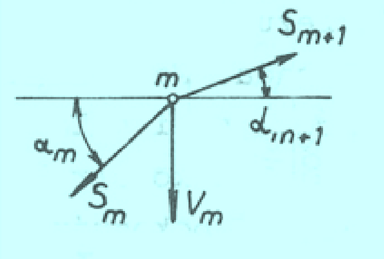



$$S_{m+1}\cos\alpha_{m+1} - S_m\cos\alpha_m = 0$$

$$S_{m+1}\cos\alpha_{m+1} = S_m\cos\alpha_m = H$$

***Horizontalne komponente sila u štapovima poligonalnog luka su jednake***

$$S_m = \frac{H}{\cos\alpha_m} \qquad S_{m+1} = \frac{H}{\cos\alpha_{m+1}}$$




$\Sigma Y = 0$

$$V_m - S_{m+1}\sin\alpha_{m+1} + S_m\sin\alpha_m = 0$$

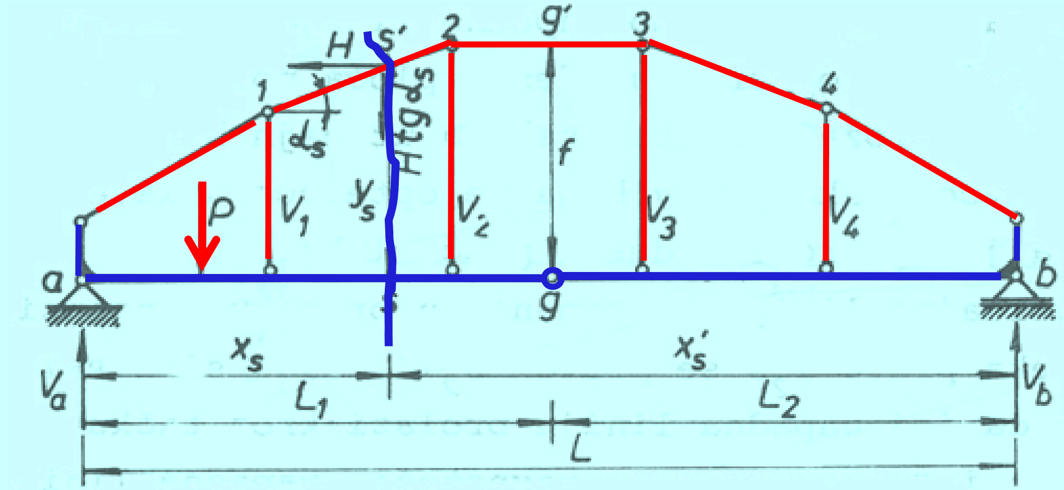
$$\mathrm{V_m} = \mathrm{H}\left(\mathrm{tg}\,\alpha_{\mathrm{m+1}} - \mathrm{tg}\,\alpha_{\mathrm{m}}\right)$$

*Prethodnim relacijama date su sile u prostim štapovima u funkciji od sile H.*

*Vertikalne komponente reakcija **Va i Vb** određujemo iz uslova $\Sigma M_a = 0$ **i** $\Sigma M_b = 0$, odnosno, prema izrazima za odgovarajuće reakcije proste grede istog raspona i istog opterćenja.*

*Da bi odredili sile u presjeku s potrebno je napraviti presjek koji prolazi kroz tu tačku s i siječe štap luka u tački s‘ tada:*

**Silu u tom štapu razlažemo horizontalnu komponentu H i vertikalnu komponentu $V_s = H\,\mathrm{tg}\,\alpha_s$**





$$\Sigma M_b = 0 \rightarrow V_a$$

$$\Sigma M_a = 0 \rightarrow V_b$$

*moment u presjeku s grede ag je tada:* $$M_s = M_{so} - H\, y_s$$

***$M_{so}$**- moment savijanja ekvivalentne proste grede (od sila Va i zadatog opterećenja lijevo od s)*

***$y_s$**- vertikalno rastojanje presjeka s i s'*

*Ako napišemo izraz za **moment savijanja u presjeku g** primjenom ovo relacije:*

$$M_g = M_{go} - H\, f \qquad \Rightarrow H = \frac{M_{go}}{f}$$

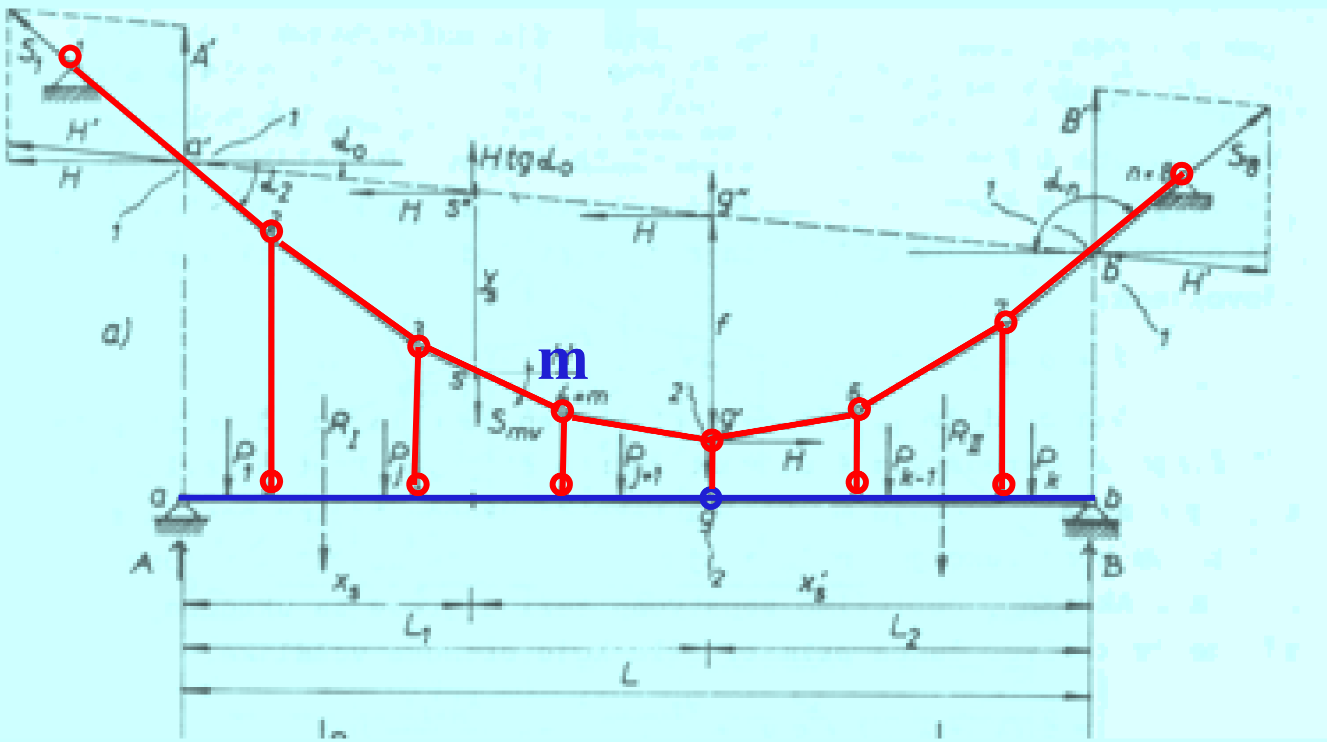
*isti izrazima za moment u presjeku s i silu potiska H luka a -g'-b.*

*Na sličan način može da se napiše izraz za transverzalnu silu:*

$$T_s = T_{so} - H \operatorname{tg} \alpha_s \qquad \Rightarrow T_s = \frac{T_{so}\cos\alpha_s - H\sin\alpha_s}{\cos\alpha_s} = \frac{T_{sl}}{\cos\alpha_s}$$

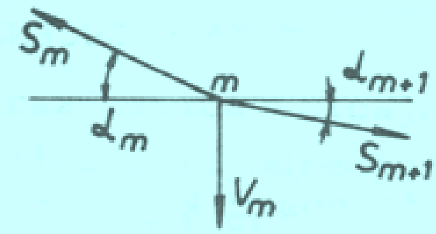
**Lančani nosač sa gredom za ukrućenje ispod lanca**

*Nosač prikazan na slici sastoji se od dvije ploče zglavkasto vezane obješen je na lanac prostih štapova preko vertikalnih prostih štapova*




**Sile u štapovima lanca i vješaljki mogu da se odrede iz ravnoteže čvora m**

**ΣX=0** $$S_{m+1}\cos\alpha_{m+1} - S_m\cos\alpha_m = 0$$



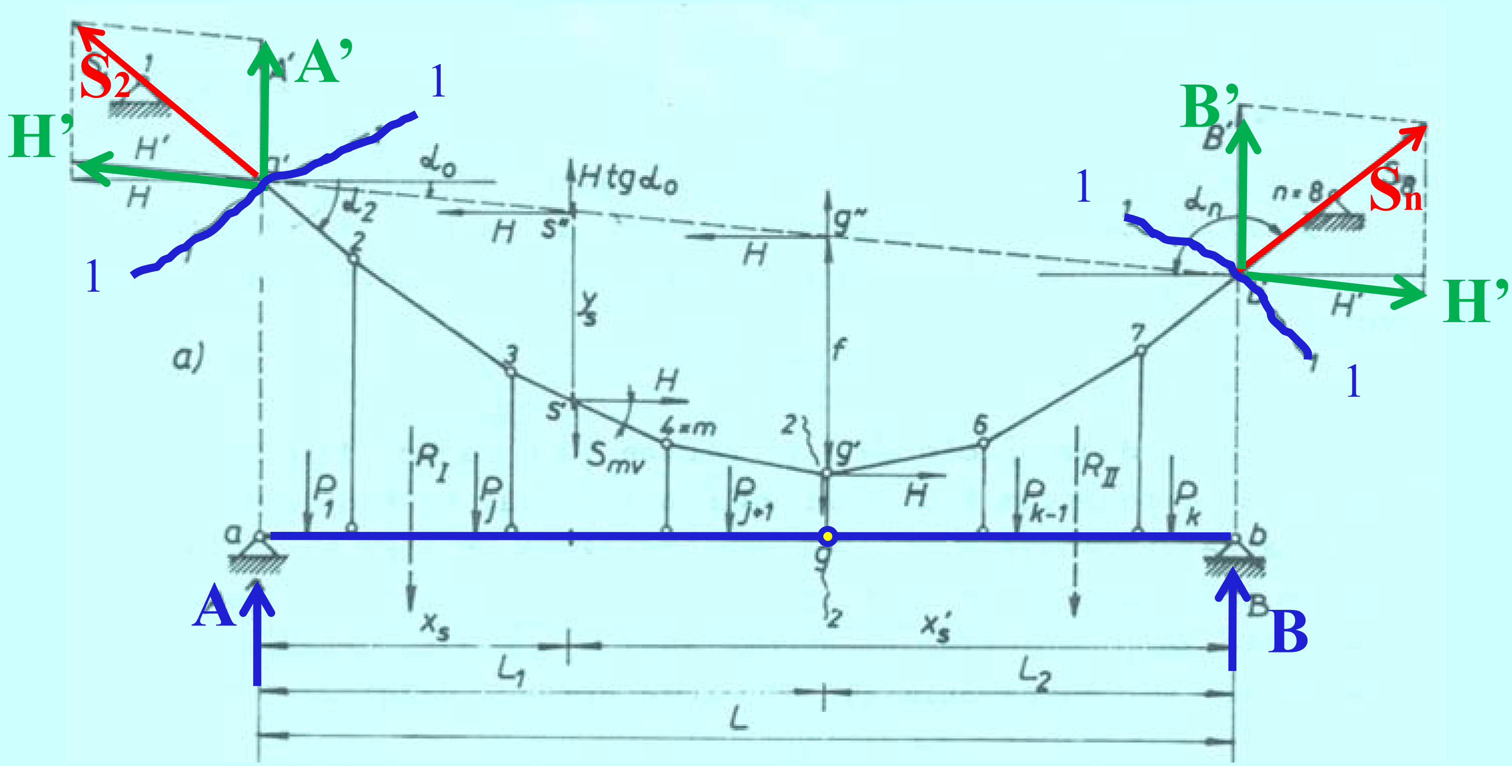

$$\Rightarrow S_{m+1}\cos\alpha_{m+1} = S_m\cos\alpha_m = H$$

**Zaključak: horizontalne komponente sila u štapovima lanca međusobno jednake**

$$S_m = \frac{H}{\cos\alpha_m} \qquad S_{m+1} = \frac{H}{\cos\alpha_{m+1}}$$

**ΣY=0** $$V_m - S_m\sin\alpha_m + S_{m+1}\sin\alpha_{m+1} = 0$$

$$\Rightarrow V_m = H\left(tg\alpha_{m+1} - tg\alpha_m\right)$$




$$A' = H\left(tg\alpha_2 - tg\alpha_o\right) \qquad B' = H\left(tg\alpha_o - tg\alpha_n\right)$$

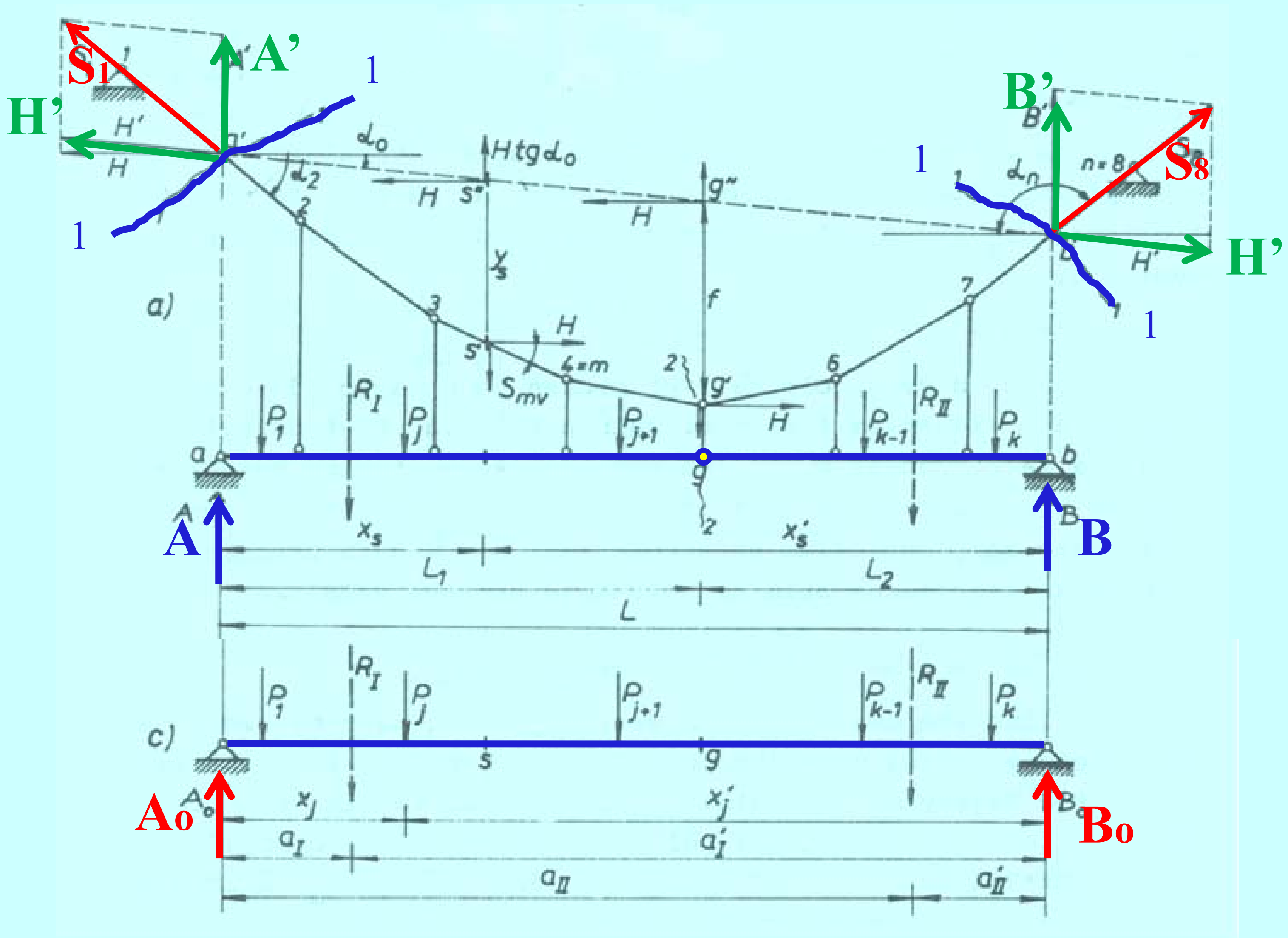
**$\Sigma M_b = 0$** $$A + A' = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{k} P_j x_j{}'$$

*sile $S_2$, $S_n$ (komponente), A, B i zadato opterećenje*

**$\Sigma M_a = 0$** $$B + B' = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{k} P_j x_j$$

Ako ove izraze uporedimo sa izrazima **za reakcije ekvivalentne proste grede $A_o$ i $B_o$** zaključuje se da (desna strana prethodnih izraza):

$$A + A' = A_o \qquad\qquad B + B' = B_o$$



*Silu **H** određujemo iz uslova jednakosti sa nulom momenata savijanja svih sila lijevo ili desno od presjeka g-g' u odnosu na zglob g:*

$$M_g = M_{go} - H\,f \qquad H = \frac{M_{go}}{f}$$

*kao kod **ekvivalentnog luka na tri zgloba a'-g'-b'***

*Sada se mogu sile **A i B** odrediti na sljedeći način:*

$$A = A_o - H\left(\mathrm{tg}\alpha_2 - \mathrm{tg}\alpha_o\right) \qquad B = B_o - H\left(tg\alpha_o - tg\alpha_n\right)$$

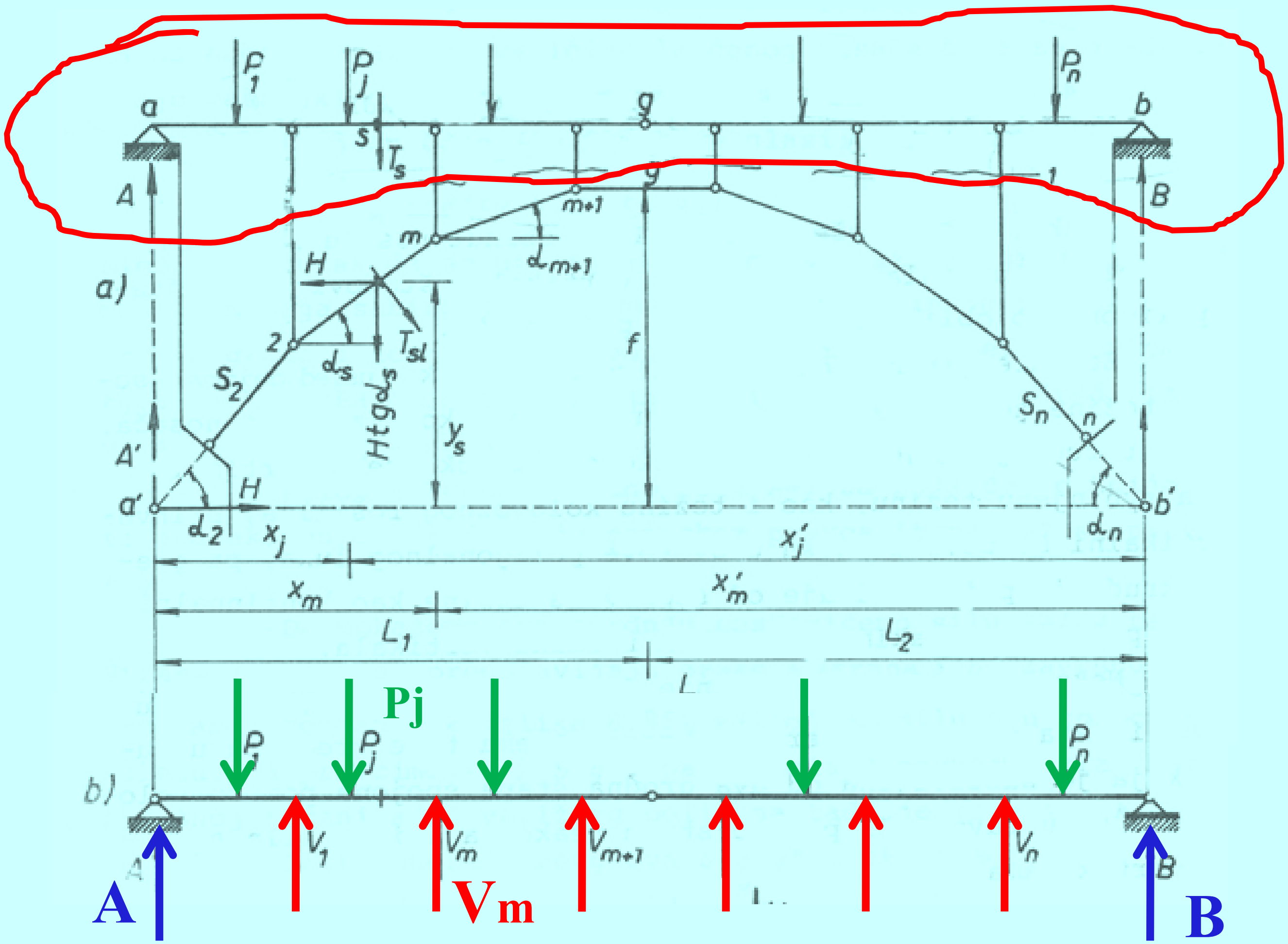
*Presječne sile:*

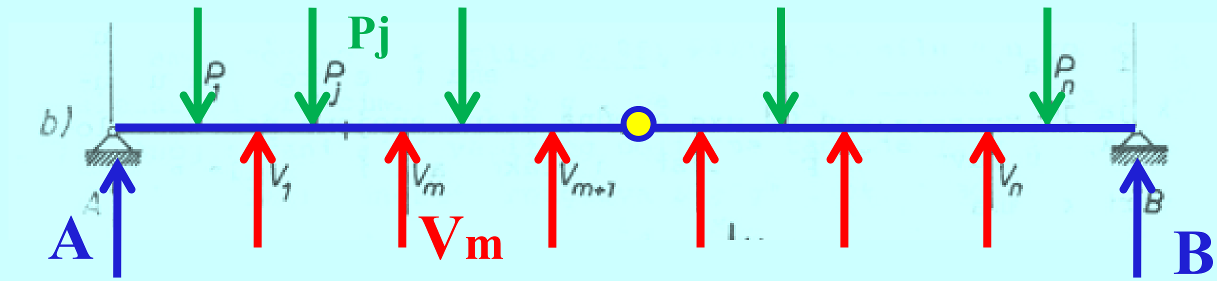
$$M_s = M_{so} - H\,y_s$$

$$T_s = T_{so} + H(\mathrm{tg}\alpha_o - \mathrm{tg}\,\alpha_s)$$

# Poligonalni luk sa gredom za ukrućenje iznad luka

***Za razliku od prethodnog nosača štapovi ovog nosača su pritisnuti.***



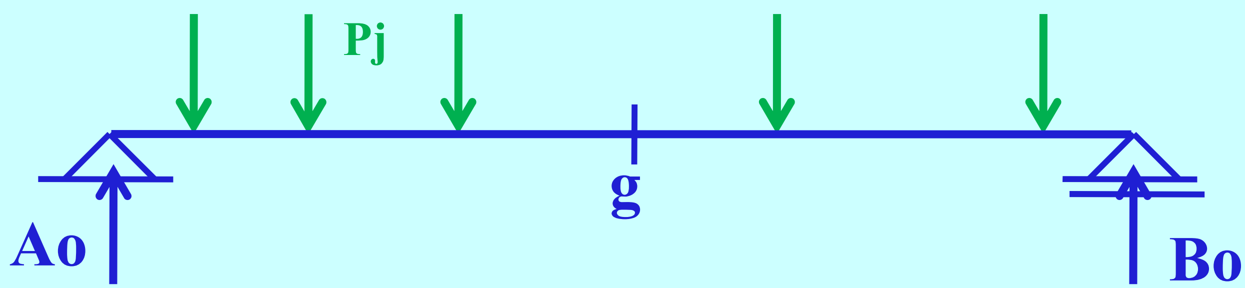



Iz uslova **$\Sigma M_a = 0$ i $\Sigma M_b = 0$** izdvojene grede prikazane na slici:

$$AL - \sum P_j x'_j + \sum V_m x'_m = 0$$

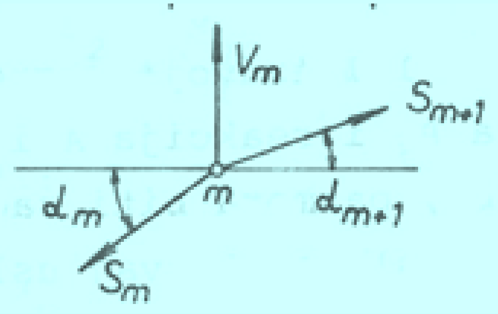
$$A = \frac{1}{L}\sum P_j x'_j - \frac{1}{L}\sum V_m x'_m = A_o - A'$$

$$B = \frac{1}{L}\sum P_j x_j - \frac{1}{L}\sum V_m x_m = B_o - B'$$




**$A_o$ i $B_o$** - *reakcije proste grede raspona L pod dejstvom sila Pj*

**A' i B'** – *vertikalne reakcije poligonalnog luka a'-g'-b' izazvane silama u vertikalama*




$$S_{m+1}\cos\alpha_{m+1} = S_m \cos\alpha_m = H$$

$$V_m = H\left(\mathrm{tg}\,\alpha_m - \mathrm{tg}\,\alpha_{m+1}\right)$$

*Iz prve jednačine zaključujemo da su* ***horizontalne komponente sila u štapovima lanca međusobno jednake****:*

*Sile u presječenim štapovima* ***$S_2$ i $S_n$ razložićemo na vertikalan pravac u reakcije A' i B'*** *i* ***pravac a' -b‘ (komponenta H’):***

$$A' = H\left(\mathrm{tg}\,\alpha_2 - \mathrm{tg}\,\alpha_o\right)$$

$$B' = H\left(\mathrm{tg}\,\alpha_o - \mathrm{tg}\,\alpha_n\right)$$

*Silu **H** određujemo iz uslova jednakosti sa nulom momenata savijanja svih sila lijevo ili desno od presjeka g-g' u odnosu na zglob g:*

$$\mathbf{M_g = M_{go} - H\ f}$$

$$H = \frac{M_{go}}{f}$$

*Sada se mogu sile **A i B** odrediti na sljedeći način:*

$$A = A_o - H\left(tg\alpha_2 - tg\alpha_o\right)$$

$$B = B_o - H\left(tg\alpha_0 - tg\alpha_n\right)$$

*Presječne sile:*

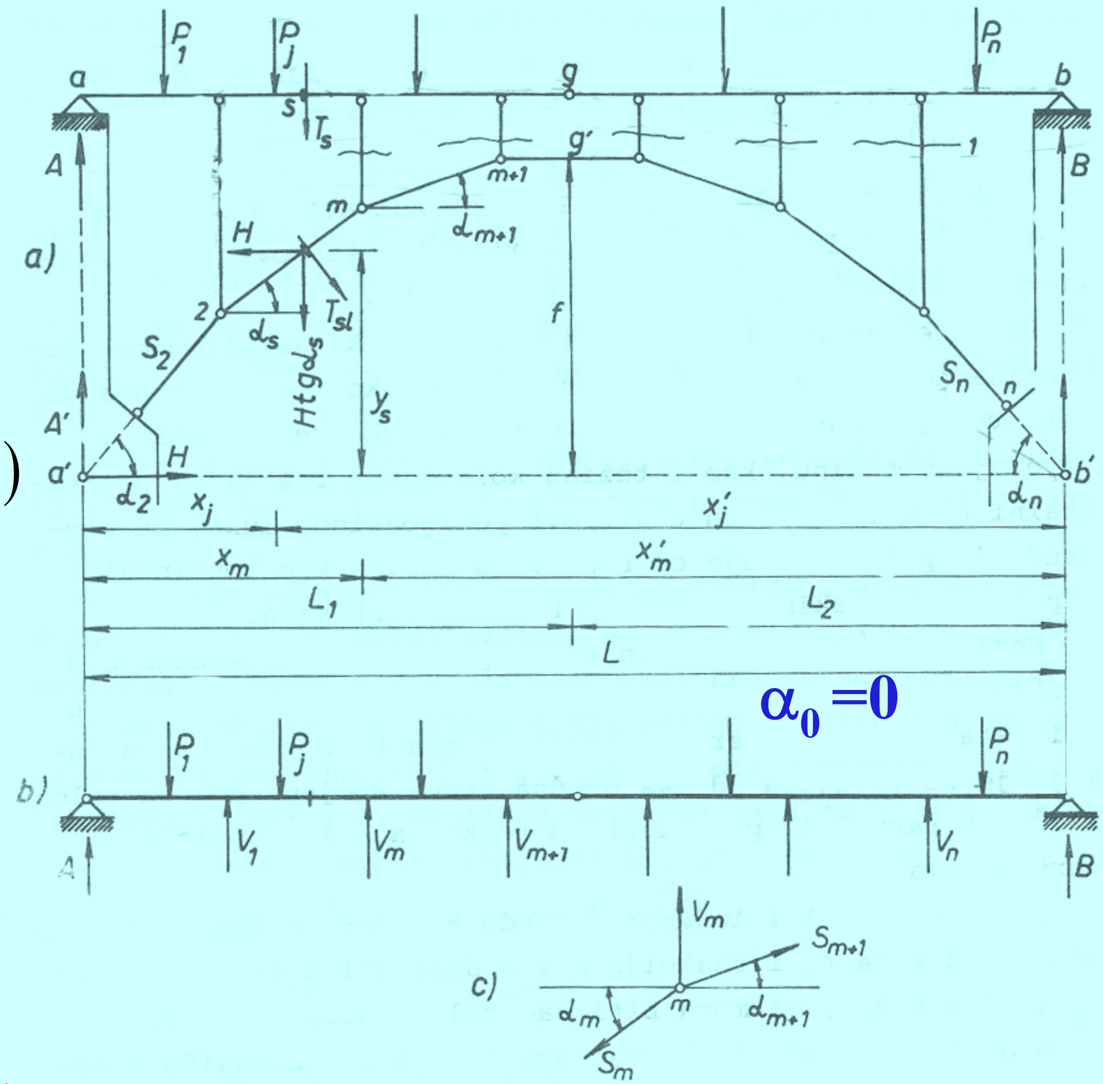
$$\mathbf{M_s = M_{so} - H\ y_s}$$

$$\mathbf{T_s = T_{so} + H(tg\alpha_o - tg\ \alpha_s)}$$

$$S_{m+1} = \frac{H}{\cos\alpha_{m+1}}$$

$$S_m = \frac{H}{\cos\ \alpha_m}$$

$$V_m = H\left(\mathrm{tg}\,\alpha_m - \mathrm{tg}\,\alpha_{m+1}\right)$$




**$\alpha_0 = 0$**

*U oslonačkim čvorovima a' i b' komponenta u vertikalnom pravcu:*

**$A' = H\ \mathrm{tg}\ \alpha_2$**

**$B' = H\ \mathrm{tg}\ \alpha_n$**

*Sada se reakcije mogu odrediti:*

$$A = A_o - H\mathrm{tg}\,\alpha_2 \qquad B = B_o - H\mathrm{tg}\,\alpha_n$$

*Presječne sile kao kod* ***ekvivalentnog luka na tri zgloba a'-g'-b'***

$$\mathbf{M_s=M_{so}-H\ y_s}$$

$$\mathbf{M_g=M_{go}-H\ f}$$

$$H=\frac{M_{go}}{f}$$

$$\mathbf{T_s=-\Sigma P+A_o-H tg\ \alpha_s}$$

$$T_s=\frac{T_{so}\cos\alpha_s-H\sin\alpha_s}{\cos\alpha_s}=\frac{T_{sl}}{\cos\alpha_s}$$