

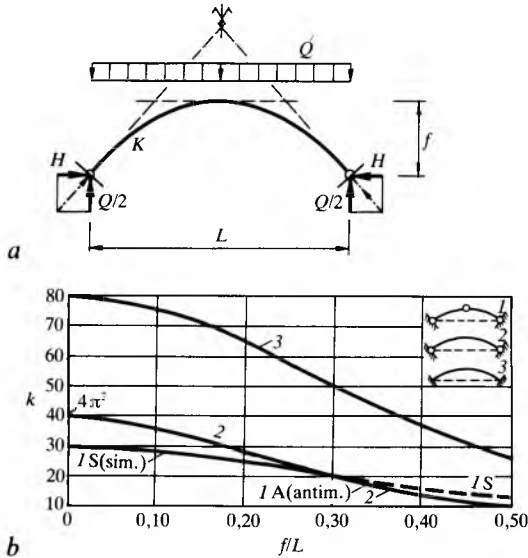
**Plitki parabolični luk** konstantne fleksijske krutosti  $K$  nosi jednoliko horizontalno raspodijeljeno ukupno opterećenje  $Q$  (sl. 60a). Iz statike je poznato da je horizontalni potisak luka

$$H = \frac{QL}{8f} \quad (255)$$

Kritična je vrijednost horizontalnog potiska

$$H_{kr} = k \frac{K}{L^2} \quad (256)$$

Koeficijent  $k$  kritičnog horizontalnog potiska ovisi o omjeru strelice i raspona ( $f/L$ ) te o ležajnim uvjetima luka. Na sl. 60 b prikazani su dijagrami za koeficijent  $k$  u ovisnosti o omjeru  $f/L$ , i to za trozglobni, dvozglobni i bezglobni luk.



Sl. 60. Plitki parabolični luk (a) i dijagram za određivanje koeficijenta  $\beta$  duljine izvijanja  $\beta L$  (b). 1 trozglobni, 2 dvozglobni i 3 bezglobni luk; S simetrično i A antimetrično izvijanje

Iz (255) dobiva se

$$Q = \frac{8f}{L} H, \quad (257)$$

pa je u stanju bifurkacije ravnoteže

$$Q_{kr} = \frac{8f}{L} H_{kr} = k_Q \frac{K}{L^2}, \quad (258)$$

gdje je

$$k_Q = \frac{8f}{L} k \quad (259)$$

koeficijent kritičnog opterećenja luka. Numeričke vrijednosti koeficijenta  $k_Q$  za nekoliko vrijednosti  $f/L$  za trozglobni, dvozglobni i bezglobni luk navedene su, prema G. Kleinu, u tabl. 8. Vrlo plitki trozglobni lukovi izvijaju se simetrično, a ostali lukovi antimetrično.

Tablica 8

VRIJEDNOSTI KOEFICIJENTA  $k_Q$  U JEDNADŽBI (258) KRITIČNOG OPTEREĆENJA PLITKIH PARABOLIČNIH LUKOVA

$f/L$	Trozglobni luk	Dvozglobni luk	Bezglobni luk
0,1	22,5	28,5	60,7
0,2	39,6	45,4	101
0,3	46,5	46,5	115
0,4	43,9	43,9	111
0,5	38,4	38,4	97,4

Nakon što se proračunaju  $H_{kr}$  ili  $Q_{kr}$ , određuje se koeficijent povećanja:

$$\alpha = \frac{1}{1 - H/H_{kr}} = \frac{1}{1 - Q/Q_{kr}} \quad (260)$$

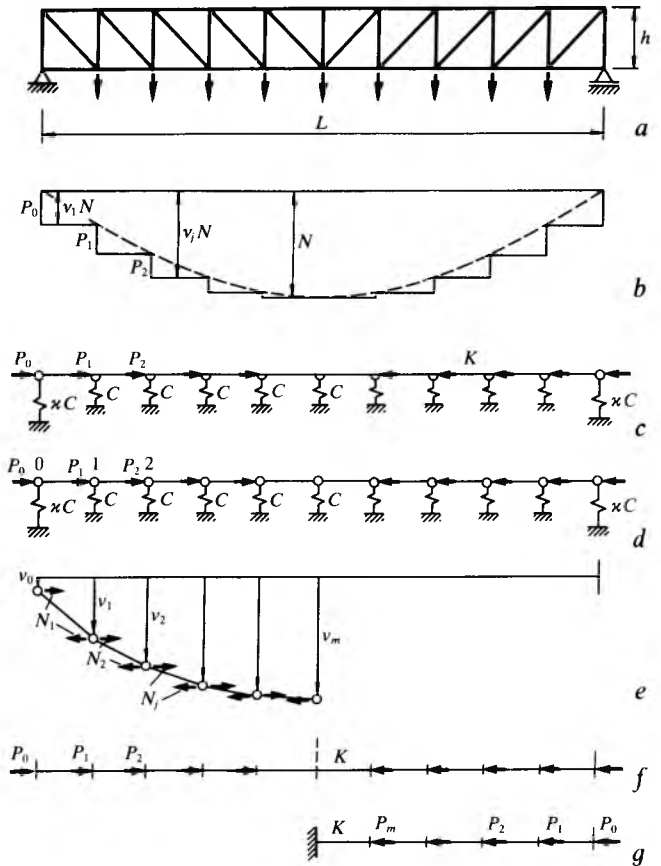
Ako se fleksijska krutost presjeka dvozglobnog luka povećava od tjemena prema krajevima luka prema zakonu  $K = K_0/\cos \varphi$ , gdje je  $K_0$  krutost u tjemenu, a  $\varphi$  kut nagiba prema horizontali tangente luka u promatranom presjeku, tada je, neovisno o  $f/L$ , kritični horizontalni potisak luka

$$H_{kr} = \pi^2 \frac{K_0}{L^2} \quad (261)$$

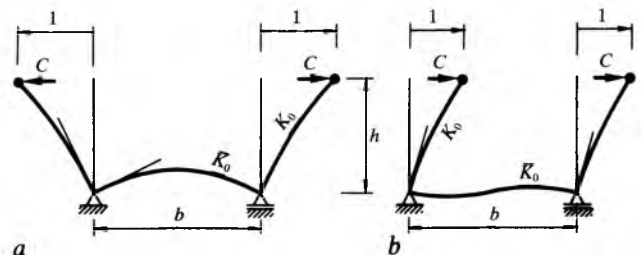
Navedena vrijednost odgovara simetričnom izvijanju; antimetričnom izvijanju odgovara četiri puta veća vrijednost.

**TLAČNI POJAS REŠETKASTIH NOSAČA**

**Gredna rešetka.** Gornji tlačni pojas vertikalne rešetke (sl. 61a) pridržan je u čvorovima u ravnini rešetke štapovima ispune, a okomito na ravninu rešetke poluokvirima (sl. 62) što ih čine stupci i prečke u ravnini donjih pojasa vertikalnih rešetaka. Dok je pridržanje čvorova gornjeg pojasa u ravnini rešetke praktički nepomično, njihovo je pridržanje okomito na ravninu rešetke elastično.



Sl. 61. Vertikalna rešetka otvorena grednog mosta (a), dijagram uzdužne sile njena gornjeg pojasa (b), mehanička shema gornjeg pojasa za izvijanje izvan ravnine rešetke (c), prvi podsustav (d) i pripadna deformacija (e), drugi podsustav (f) i polovica drugog podsustava (g)



Sl. 62. Poprečni poluokvir otvorena mosta i njegova simetrična (a) i antimetrična deformacija (b)

Analizirat će se stabilnost ravnoteže tlačnog pojasa vertikalnih rešetaka okomito na ravninu rešetke.

Krutost unutrašnjih poprečnih poluokvira mosta pri simetričnoj (sl. 62a) odnosno antisimetričnoj (sl. 62b) deformaciji iznose:

$$C = \frac{1}{\frac{h^3}{3K_0} + \frac{h^2b}{2\bar{K}_0}}, \quad C = \frac{1}{\frac{h^3}{3K_0} + \frac{h^2b}{6\bar{K}_0}}. \quad (262)$$

Neka se krutost vanjskih poprečnih poluokvira označi sa  $\kappa C$ , pri čemu je  $\kappa \geq 1$ , a često je tako veliko da je  $\kappa = \infty$ .

Maksimalna vrijednost uzdužne sile pojasa u polovici raspona usvaja se za referentnu vrijednost i označi sa  $N$ ; onda je uzdužna sila u polju  $j$   $v_j N$  (sl. 61b).

Mehanička je shema za određivanje kritične sile  $N_{kr}$  višepoljna greda fleksijske krutosti  $K$ , oslonjena na elastične ležaje krutosti  $C$  i  $\kappa C$  te opterećena u čvorovima aksijalnim silama  $P_0, P_1, P_2, \dots$  (sl. 61c) kojima odgovaraju uzdužne sile  $N_j$ .

Diskretni model zadatka (sl. 61c) analizira se raščlambom sustava u dva podsustava.

Prvi je podsustav (sl. 61d) zglobna greda opisana krutostima  $C$  i  $\kappa C$  elastičnih ležaja; eliminirana je, dakle, fleksijska krutost grede u ležajnim presjecima. Stupnjevi su slobode bočni pomaci  $v_0, v_1, \dots, v_m$  zglobova (sl. 61e). Zbog simetrije sustava i opterećenja promatra se polovica rešetke; u nacrtanom je primjeru  $m = 6$  pa se za određivanje kritične vrijednosti  $N_{kr,C}$  uzdužne sile  $N$  dobiva algebarska jednadžba šestog stupnja. Ako je  $\kappa = \infty$ , onda je  $v_0 = 0$ .

Drugi je podsustav (sl. 61f) štap fleksijske krutosti  $K$ ; eliminirane su, dakle, krutosti ležaja. Svaka od dviju polovica štapa ponaša se kao konzola (sl. 61g), pa je kritična vrijednost  $N_{kr,K}$  uzdužne sile  $N$  određena jednadžbom (121).

Ukupna je kritična sila

$$N_{kr} = N_{kr,C} + N_{kr,K}. \quad (263)$$

**Kontinuirani model.** U praksi je broj polja obično velik, pa se tlačni pojas vertikalnih rešetaka može zamijeniti kontinuiranim modelom.

Elastični se ležaji krutosti  $C$  zamijene kontinuiranom elastičnom podlogom krutosti  $C' = C/l$  po jedinici duljine grede. Ukupno opterećenje  $Q$  vertikalne rešetke smatra se jednoliko raspodijeljenim uzduž raspona  $L$ , pa je maksimalni gredni moment savijanja  $QL/8$ , a maksimalna uzdužna sila u tlačnom pojasu

$$N = \frac{QL}{8h}. \quad (264)$$

Uzduž raspona uzdužna se sila mijenja parabolično i jednaka je nuli na krajevima raspona (sl. 61b). Prema tome mehanička shema odgovara sl. 28f.

Kritična je vrijednost maksimalne uzdužne sile  $N$ :

$$N_{kr} = k \frac{K}{L^2} = \pi^2 \frac{K}{(\beta L)^2}. \quad (265)$$

Vrijednost se koeficijenta  $k$  očitava iz dijagrama na sl. 28g, a parametar je

$$\eta = \frac{\kappa CL^3}{2K}. \quad (266)$$

Ako je krutost  $C$  poprečnih poluokvira i s time krutost  $C'$  elastične podloge zanemariva, dobiva se  $k = 81,72$  i  $\beta = 0,695$ .

Iz jednažbe (264) može se odrediti ukupno opterećenje  $Q$  rešetke. U stanju bifurkacije ravnoteže bit će

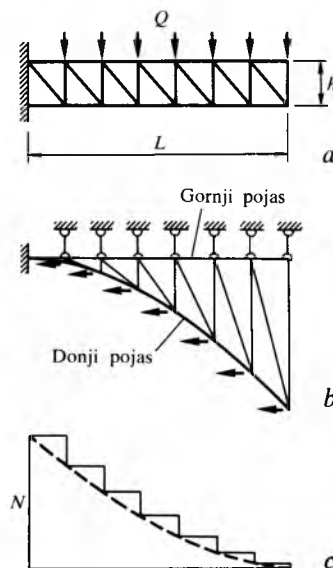
$$Q_{kr} = \frac{8h}{L} N_{kr} = k_Q \frac{Kh}{L^3}, \quad (267)$$

gdje je

$$k_Q = 8k = 8 \left( \frac{\pi}{\beta} \right)^2, \quad k_Q = 653,8 \quad (268)$$

koeficijent kritičnog ukupnog opterećenja rešetke.

**Konzolna rešetka.** Vertikalna konzolna rešetka nosi ukupno opterećenje  $Q$  (sl. 63a); čvorove gornjeg pojasa pridržava krovna konstrukcija okomito na ravninu rešetke, dok su čvorovi donjeg pojasa okomito na ravninu rešetke slobodni (sl. 63b). Treba utvrditi kritičnu vrijednost ukupnog opterećenja rešetke, tj. ukupno opterećenje pri kojemu se pojavljuje bifurkacija ravnoteže.



Sl. 63. Vertikalna konzolna rešetka (a), mehanička shema tlačnog pojasa za analizu izvijanja okomito na ravninu rešetke (b), dijagram uzdužne sile donjega tlačnog pojasa rešetke (c)

Ako je broj polja velik, veći npr. od 5, sustav se može dovoljno točno analizirati pomoću kontinuiranog modela.

Okomito na ravninu rešetke tlačni pojas jest konzola upeta na upetom kraju rešetke. Opterećenje se smatra jednoliko raspodijeljenim uzduž raspona  $L$ , pa je moment uklještenja rešetke  $QL/2$ , a maksimalna vrijednost uzdužne sile tlačnog donjeg pojasa

$$N = \frac{QL}{2h}. \quad (269)$$

Uzduž pojasa uzdužna se sila mijenja parabolično i jednaka je nuli na slobodnom kraju rešetke (sl. 63c).

Koeficijent  $\beta$  duljine izvijanja  $L_i = \beta L$  tlačnog pojasa rešetke iznosi 0,783 (sl. 23). Iz jednažbe (269) određuje se ukupno opterećenje  $Q$  rešetke; u stanju bifurkacije ravnoteže bit će

$$Q_{kr} = \frac{2h}{L} N_{kr} = \frac{2h}{L} \cdot \frac{\pi^2 K}{(\beta L)^2} = k_Q \frac{Kh}{L^3}, \quad (270)$$

gdje je

$$k_Q = 2 \left( \frac{\pi}{\beta} \right)^2 = 32,2 \quad (271)$$

koeficijent kritičnog ukupnog opterećenja rešetke.

Usporedba rezultata za grednu i konzolnu rešetku pokazuje da je i s gledišta stabilnosti konzola mnogo nepovoljniji sustav od proste grede istog raspona i opterećenja.

## BLOK

**Blok na nedeformabilnoj podlozi.** Blok, npr. zgrada vrlo krute nosive konstrukcije, oslonjen je na nedeformabilnu podlogu, npr. stijenu; težina bloka je  $G$ , a opterećen je silama  $W$  i  $Z$  te aktivnim  $E_a$  i pasivnim tlakom zemlje  $E_p$  (sl. 64). Treba utvrditi uvjete položajne stabilnosti bloka.

Blok može postati nestabilan a) njegovim odizanjem od podloge b) klizanjem po podlozi i c) prevrtanjem oko brida A. Koeficijent sigurnosti definiran je kao kvocijent stabilizirajućeg i destabilizirajućeg utjecaja.

Tako je koeficijent sigurnosti protiv odizanja bloka

$$\gamma_d = \frac{G}{Z}. \quad (272)$$