Betonske konstrukcije 2

Prof. dr. sc. Damir Varevac

dvarevac@gfos.hr

Vitki elementi

Z. Sorić, T. Kišiček: Betonske konstrukcije 2

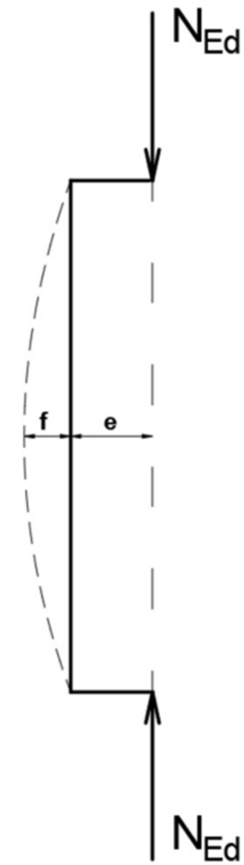
Str. 265 - 310

Izvijanje štapova

Definicija izvijanja:

Izvijanje tlačno opterećenih elemenata predstavlja gubitak ravnoteže i slom elementa prije nego se dosegne granična čvrstoća materijala. Takav se slom smatra gubitkom stabilnosti (za razliku od gubitka mehaničke otpornosti).

Izvijanje se može dogoditi samo od uzdužne tlačne sile, ali je u praktičnim slučajevima često povezano i s jednoosnim ili dvoosnim savijanjem.



Izvijanje štapova

Izvor: Ferguson structural engineering laboratory

https://fsel.engr.utexas.edu/research/spotlight/293-time-dependent-buckling

Izvijanje štapova

Pitanje:

Kada je konstrukcija sigurna?

Izvijanje štapova

Pitanje:

Kada je konstrukcija sigurna?

1. Uvjet naprezanja: $\sigma_{max} \leq \sigma_{dop}$
2. Uvjet krutosti: $f_{max} \leq f_{dop}$

Izvijanje štapova

Pitanje:

Kada je konstrukcija sigurna?

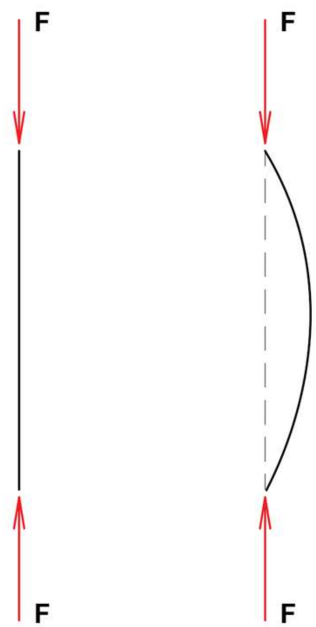
1. Uvjet naprezanja: $\sigma_{max} \leq \sigma_{dop}$
2. Uvjet krutosti: $f_{max} \leq f_{dop}$
3. Uvjet stabilnosti $\boxed{F_{Sd} \leq F_{crit}}$

Izvijanje štapova

Podsjetnik (Mehanika, Otpornost materijala)

3. Uvjet stabilnosti $F_{Sd} \leq F_{crit}$

F_{crit} Eulerova kritična sila



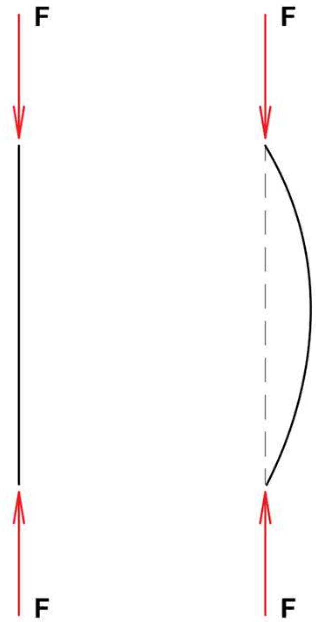
$F < F_{crit}$ $F = F_{crit}$

Izvijanje štapova

Podsjetnik (Mehanika, Otpornost materijala)

3. Uvjet stabilnosti	$F_{Sd} \leq F_{crit}$

F_{crit} Eulerova kritična sila



$F < F_{crit}$ $F = F_{crit}$

Pitanja:

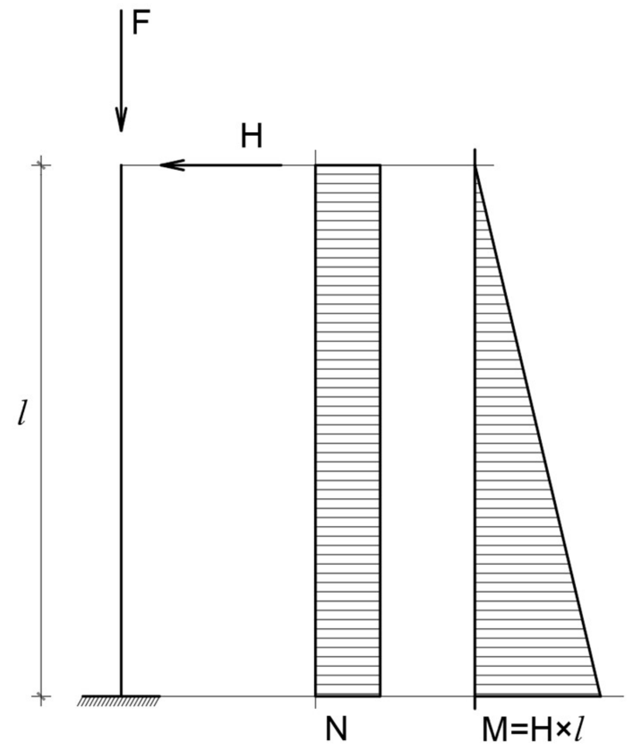
Koristi li se teorija I. ili II. reda?

Što su teorije I. i II. reda?

O čemu ovisi osjetljivost štapa na izvijanje?

Kako se određuje Eulerova kritična sila?

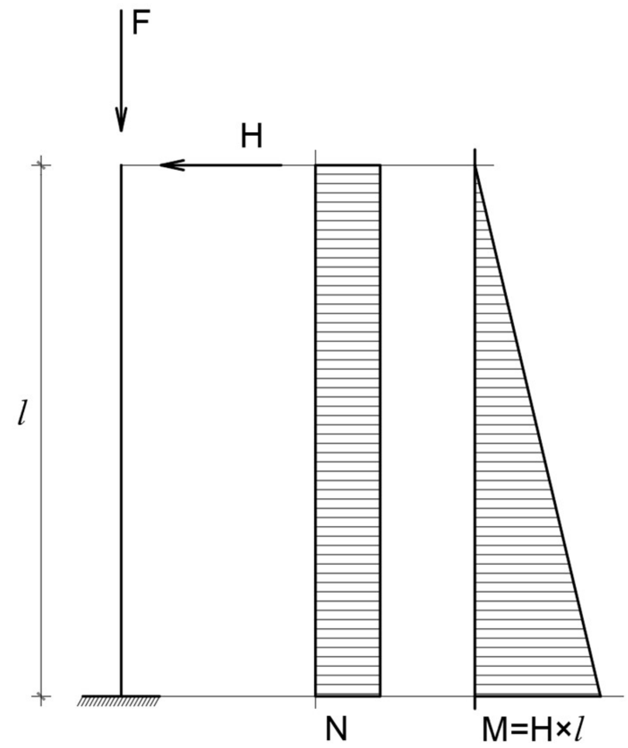
Teorije I i II reda



Teorija I. reda

Ravnoteža se uspostavlja na nedeformiranom sustavu. Pri određivanju veličine unutarnjih sila (M, N) ne uzima se u obzir deformacija sustava niti svojstva materijala.

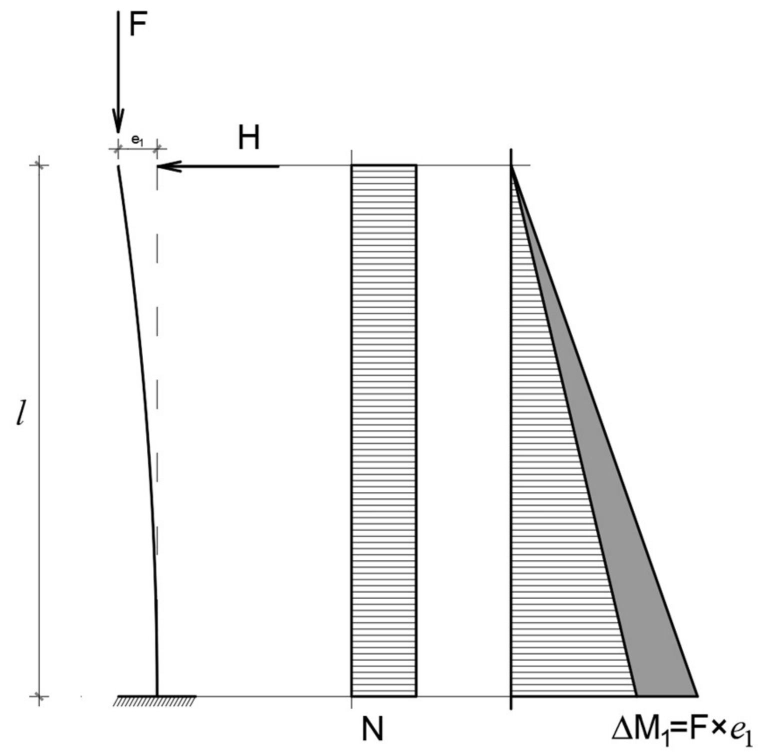
Teorije I i II reda



Teorija II. reda

Ravnoteža se uspostavlja na deformiranom sustavu.
Veličina unutarnjih sila ovisi i o svojstvima materijala.

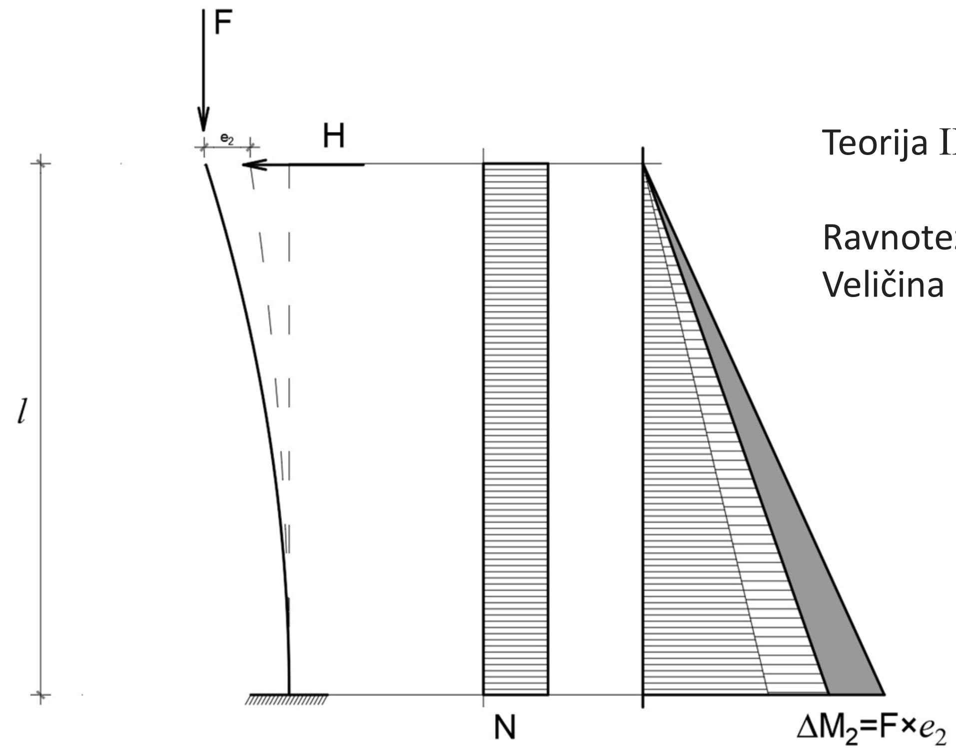
Teorije I i II reda



Teorija II. reda

Ravnoteža se uspostavlja na deformiranom sustavu.
Veličina unutarnjih sila ovisi i o svojstvima materijala.

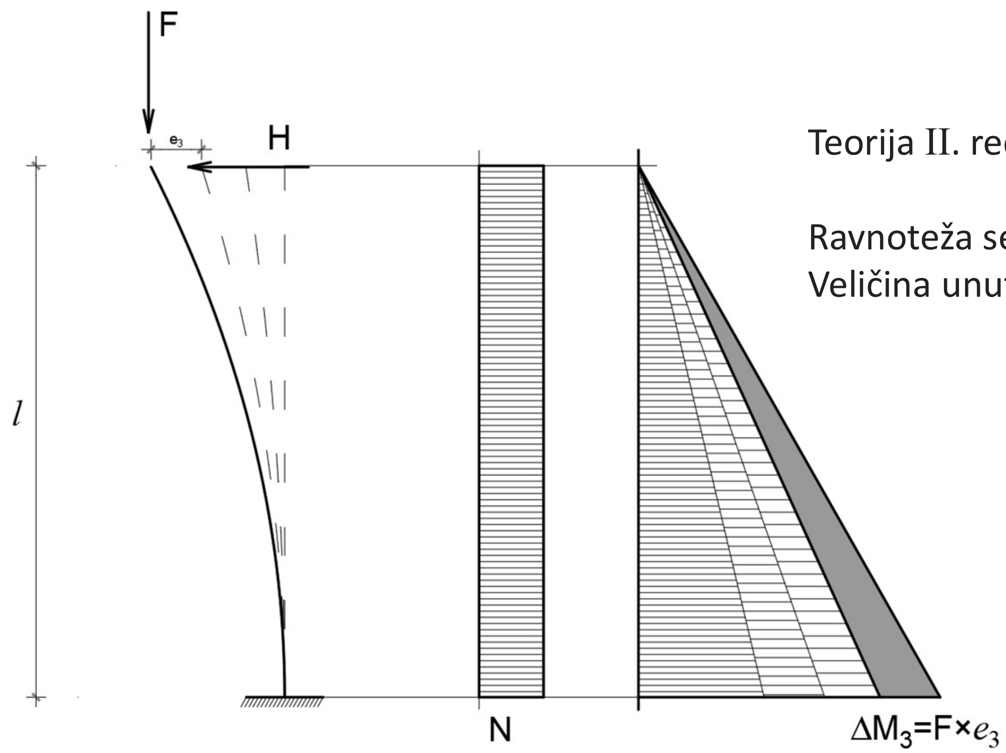
Teorije I i II reda



Teorija II. reda

Ravnoteža se uspostavlja na deformiranom sustavu.
Veličina unutarnjih sila ovisi i o svojstvima materijala.

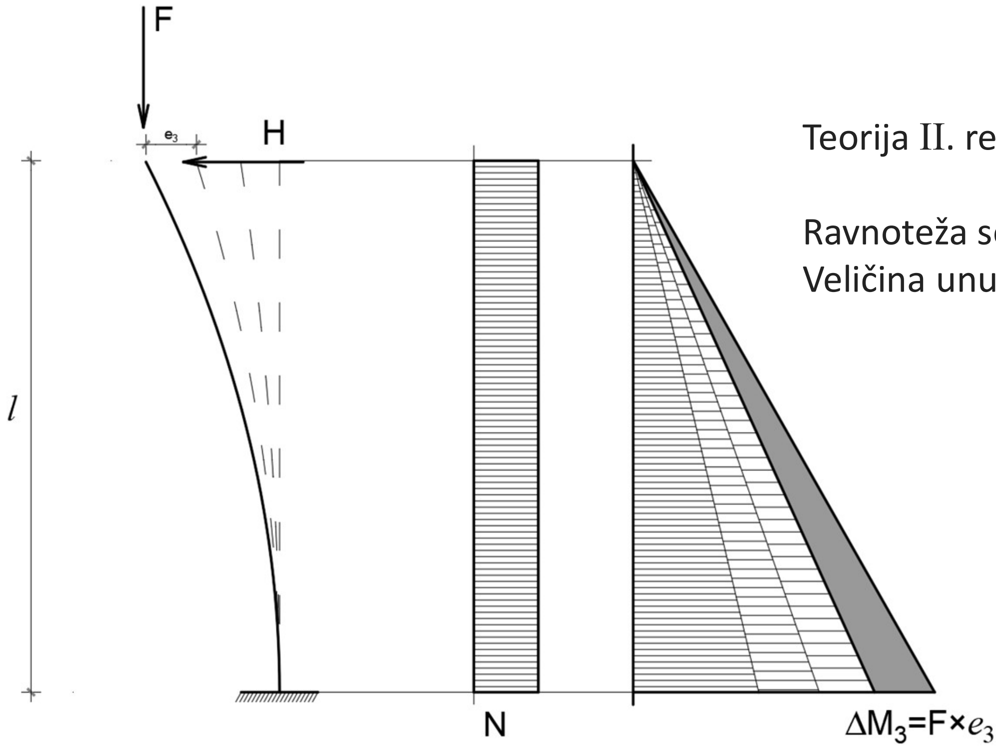
Teorije I i II reda



Teorija II. reda

Ravnoteža se uspostavlja na deformiranom sustavu.
Veličina unutarnjih sila ovisi i o svojstvima materijala.

Teorije I i II reda



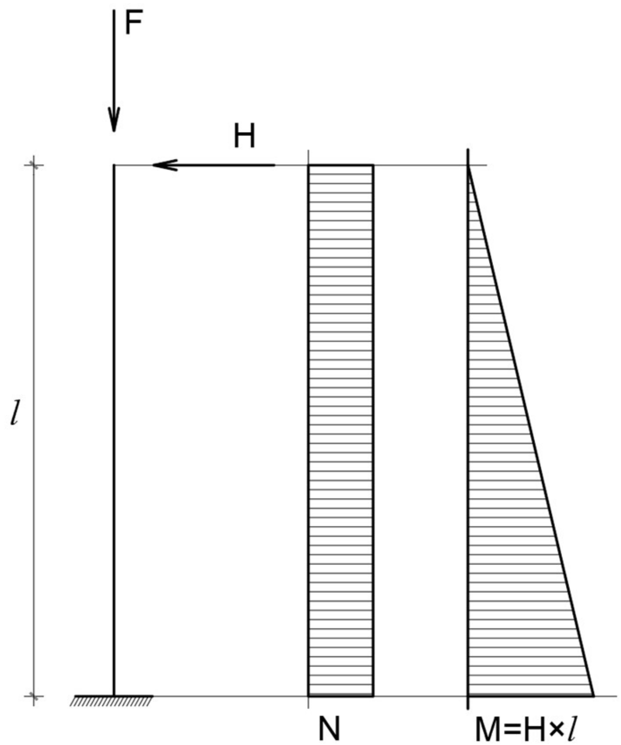
Teorija II. reda

Ravnoteža se uspostavlja na deformiranom sustavu.
Veličina unutarnjih sila ovisi i o svojstvima materijala.

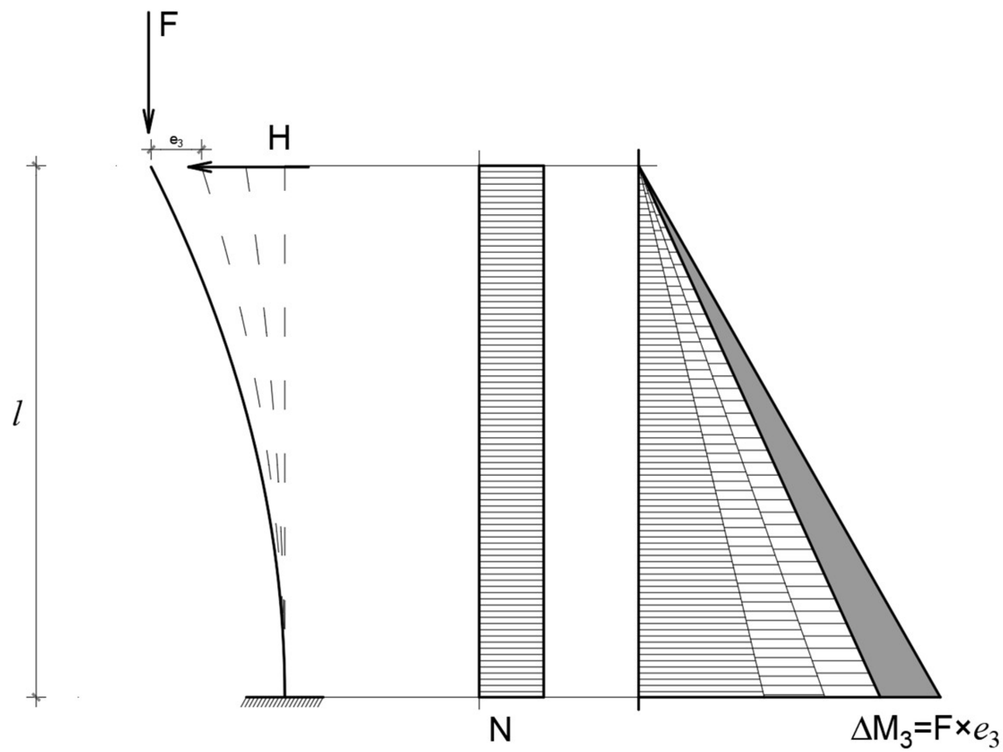
Pitanje:

O čemu ovisi veličina progiba e_i?

Teorije I i II reda

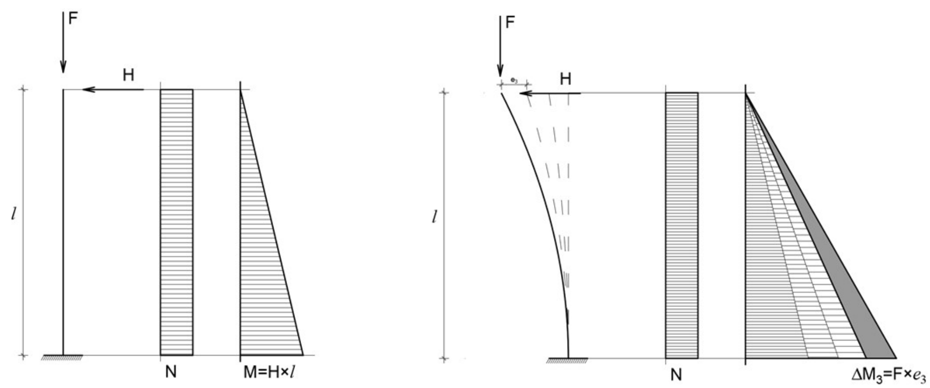


$N = const$
$M = H \cdot l$



$N = const$
$M = H \cdot l + F \cdot e_1 + F \cdot e_2 + F \cdot e_3 \ldots.$

Teorije I i II reda



Pitanja:

Koristi li se teorija I. ili II. reda?

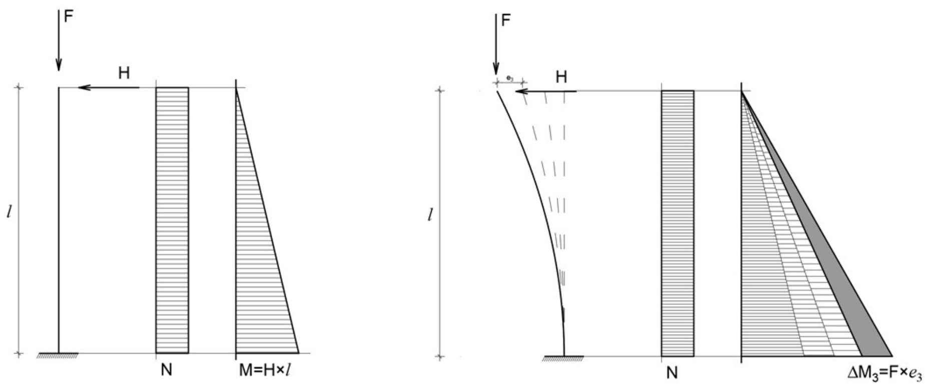
Što su teorije I. i II. reda?

O čemu ovisi osjetljivost štapa na izvijanje?

Kako se određuje Eulerova kritična sila?

Mora se koristiti teorija II. reda – proračun na deformiranom sustavu.

Teorije I i II reda



Pitanja:

Koristi li se teorija I. ili II. reda?

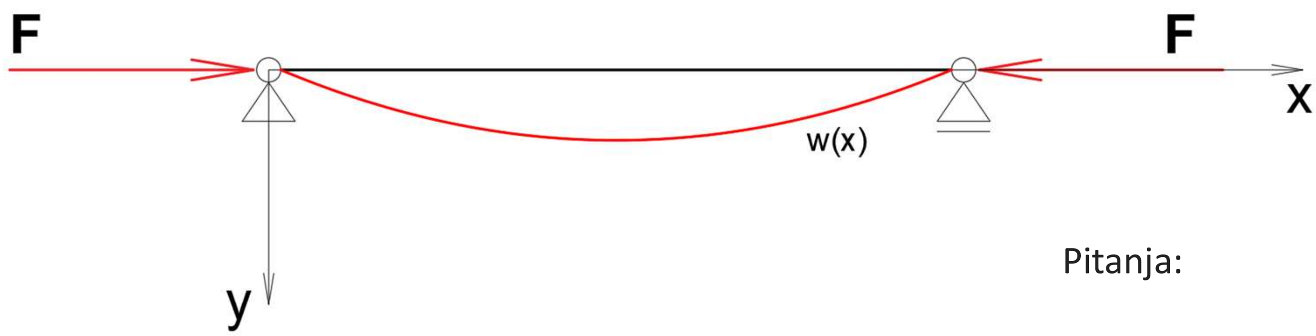
Što su teorije I. i II. reda?

O čemu ovisi osjetljivost štapa na izvijanje?

- duljina štapa
- poprečni presjek
- rubni uvjeti
- materijal
- početne imperfekcije

Kako se određuje Eulerova kritična sila?

Teorija II reda



Promatramo zglobno oslonjeni štap opterećen uzdužnom tlačnom silom. Crvena linija *w*(x) predstavlja liniju izvijanja, a sila F kritičnu Eulerovu silu.

Pitanja:

Koristi li se teorija I. ili II. reda?

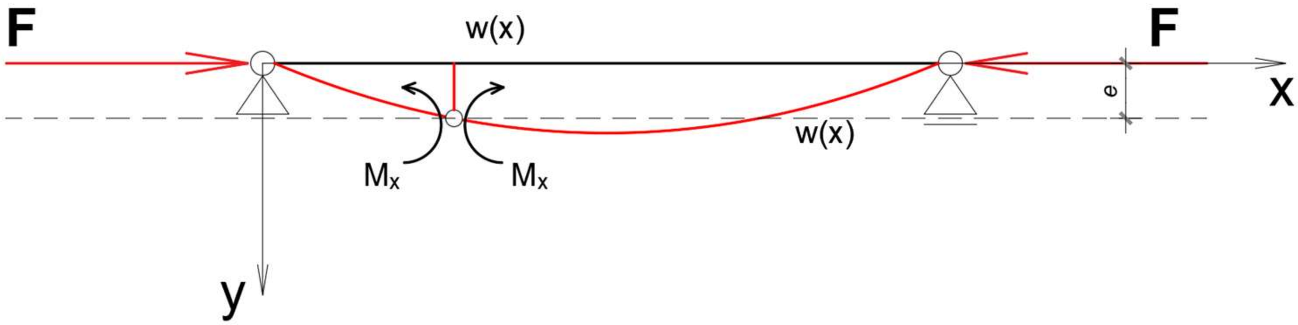
Što su teorije I. i II. reda?

O čemu ovisi osjetljivost štapa na izvijanje?

Kako se određuje Eulerova kritična sila?

Napomena: prikaz određivanja Eulerove kritične sile i duljine izvijanja ovdje je samo za ilustraciju i upoznavanje s problemom izvijanja. Detaljno o ovoj temi sluša se u predmetu Stabilnost konstrukcija.

Teorija II reda



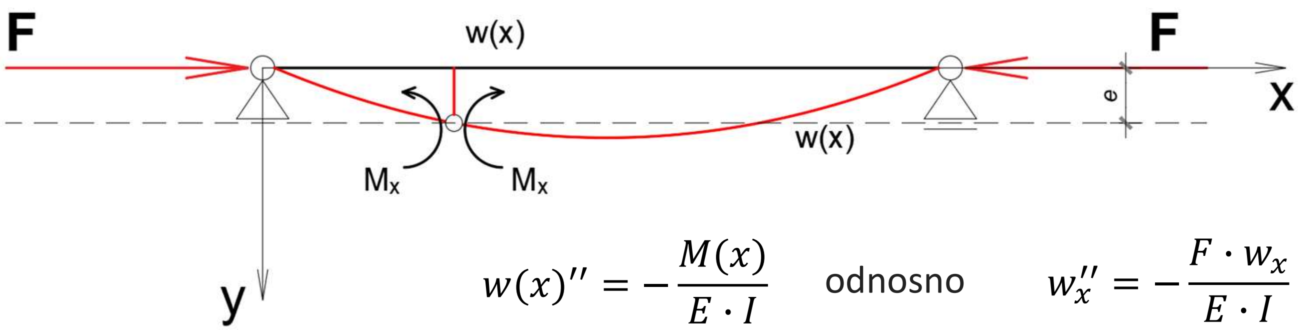
Moment u bilo kojoj točki *x* na duljini štapa jednak je uzdužnoj sili pomnoženoj s ekscentricitetom (progibom na tom mjestu):

$$M_x = F \cdot w_x$$

w(x) je elastična progibna linija (sjetiti se Otpornosti materijala) čija je diferencijalna jednadžba:

$$w(x)'' = -\frac{M(x)}{E \cdot I} \quad \text{odnosno} \quad w_x'' = -\frac{F \cdot w_x}{E \cdot I}$$

Teorija II reda



$$w(x)'' = -\frac{M(x)}{E \cdot I} \quad \text{odnosno} \quad w_x'' = -\frac{F \cdot w_x}{E \cdot I}$$

može se zapisati u jednostavnoj notaciji:

$$w'' = -\frac{F}{E \cdot I} \cdot w \quad \Rightarrow \quad w'' + \frac{F}{E \cdot I} \cdot w = 0$$

Ili, uz subtituciju $\alpha^2 = \frac{F}{E \cdot I}$: $$w'' + \alpha^2 \cdot w = 0$$

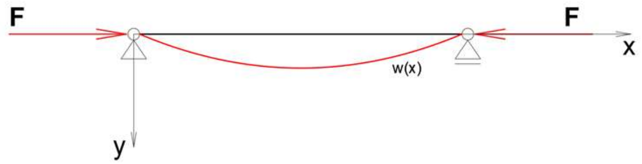
Homogena diferencijalna jednadžba II. reda elastične linije zglobno oslonjenog štapa u trenutku gubitka stabilnosti.

Teorija II reda

Opće rješenje diferencijalne jednadžbe $w'' + \alpha^2 \cdot w = 0$ glasi:

$$w = A \cdot \sin \alpha x + B \cdot \cos \alpha x$$

Konstante A i B se određuju pomoću rubnih uvjeta:



1. Za $x = 0 \;\Rightarrow\; w = 0$

$$0 = A \cdot \sin \alpha 0 + \cancel{B \cdot \cos \alpha 0} \quad \Rightarrow \quad w = A \cdot \sin \alpha x$$

2. Za $x = L \;\Rightarrow\; w = 0$

$0 = A \cdot \sin \alpha L \Rightarrow$ konstanta A ne može biti 0 jer tada štap nije deformiran pa mora biti:

$$\sin \alpha L = 0$$

Teorija II reda

Rješenje obične trigonometrijske jednadžbe jednostavno je naći: sinus svakog ispruženog kuta (i njegovog višekratnika) je 0 pa $\alpha L = \pi, 2\pi, 3\pi$ …, odnosno:

$$\alpha L = n \cdot \pi \Rightarrow \quad \alpha = \frac{n \cdot \pi}{L}$$

Sjetimo se substitucije $\alpha^2 = \frac{F}{E \cdot I}$:

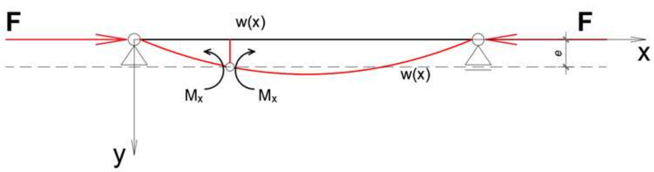
$$\frac{n^2 \cdot \pi^2}{L^2} = \frac{F}{E \cdot I}$$

i dobijemo izraz za kritičnu silu **zglobno oslonjenog štapa**:

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

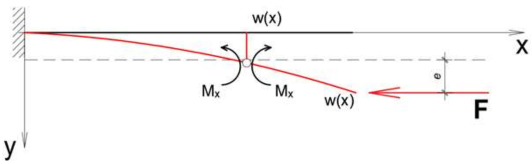
Teorija II reda

Istim postupkom, uz primjenu odgovarajućih rubnih uvjeta, možemo odrediti kritičnu silu za različito oslonjene štapove (možete probati za vježbu):



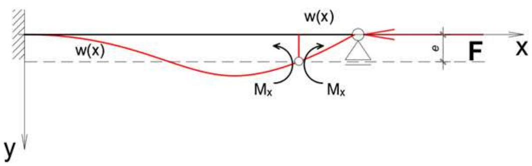
Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0;\ x = L \Rightarrow w = 0$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(L)^2}$$



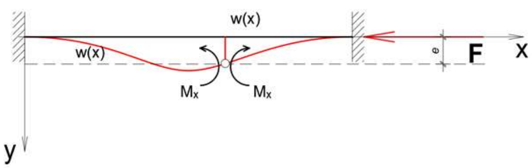
Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0; x = 0 \Rightarrow w' = 0; x = L \Rightarrow w = f$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(2L)^2}$$



Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0; x = 0 \Rightarrow w' = 0; x = L \Rightarrow w = 0$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.7L)^2}$$

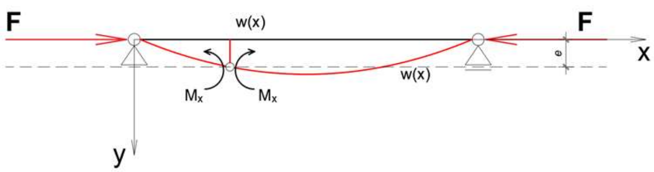


Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0; x = 0 \Rightarrow w' = 0; x = L \Rightarrow w = 0; x = L \Rightarrow w' = 0$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.5L)^2}$$

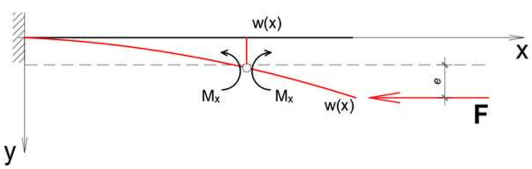
Teorija II reda

Istim postupkom, uz primjenu odgovarajućih rubnih uvjeta, možemo odrediti kritičnu silu za različito oslonjene štapove (možete probati za vježbu):



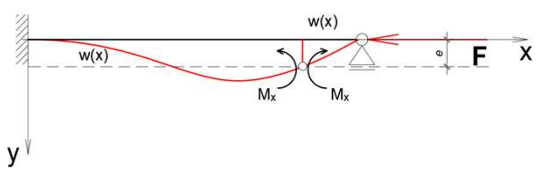
Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0;\ x = L \Rightarrow w = 0$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(L)^2}$$



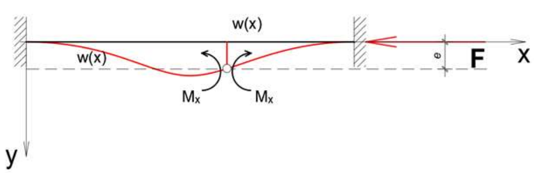
Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0; x = 0 \Rightarrow w' = 0; x = L \Rightarrow w = f$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(2L)^2}$$



Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0; x = 0 \Rightarrow w' = 0; x = L \Rightarrow w = 0$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.7L)^2}$$

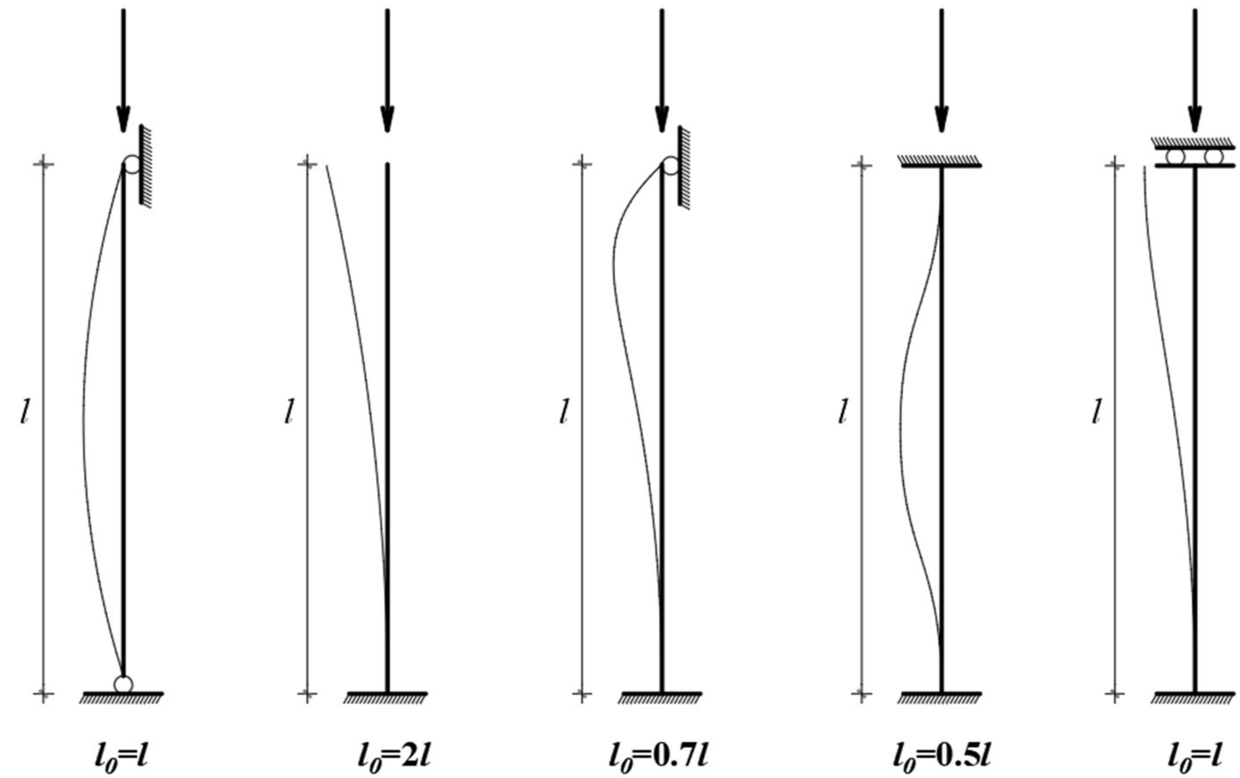


Rubni uvjeti: $x = 0 \Rightarrow w = 0; x = 0 \Rightarrow w' = 0; x = L \Rightarrow w = 0; x = L \Rightarrow w' = 0$

$$F = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.5L)^2}$$

Obratiti pažnju na vrijednost u nazivniku! To je **duljina izvijanja** i označava se s l_0 (u literaturi može se pronaći i l_i)!

Duljine izvijanja pojedinačnih štapova



Pojam vitkosti štapa

Kritično naprezanje je naprezanje u štapu pri kojem dolazi do izvijanja. Izravno je povezano s kritičnom silom:

$$\sigma_{crit} = \frac{F_{crit}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2 \cdot A}$$

Pojam vitkosti štapa

Kritično naprezanje je naprezanje u štapu pri kojem dolazi do izvijanja. Izravno je povezano s kritičnom silom:

$$\sigma_{crit} = \frac{F_{crit}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2 \cdot A}$$

Geometrijske karakteristike štapa

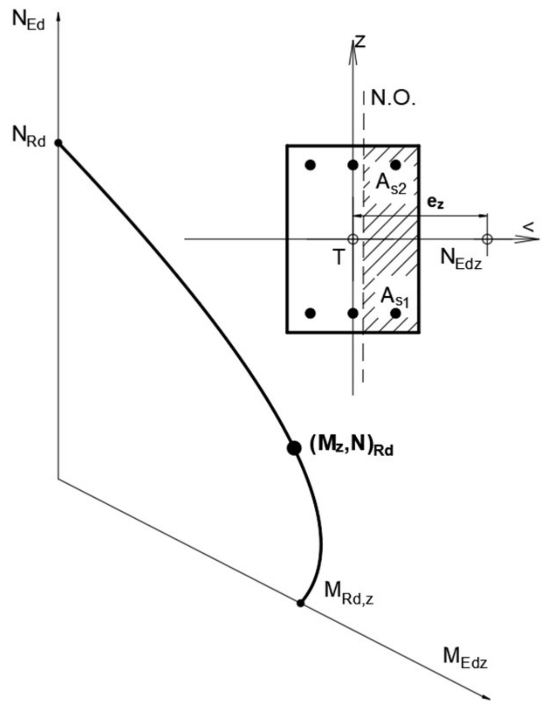
$$i^2 = \frac{I}{A} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot i^2}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{l_0}{i}\right)^2}$$

$$\frac{l_0}{i} = \lambda$$

Koeficijent vitkosti štapa

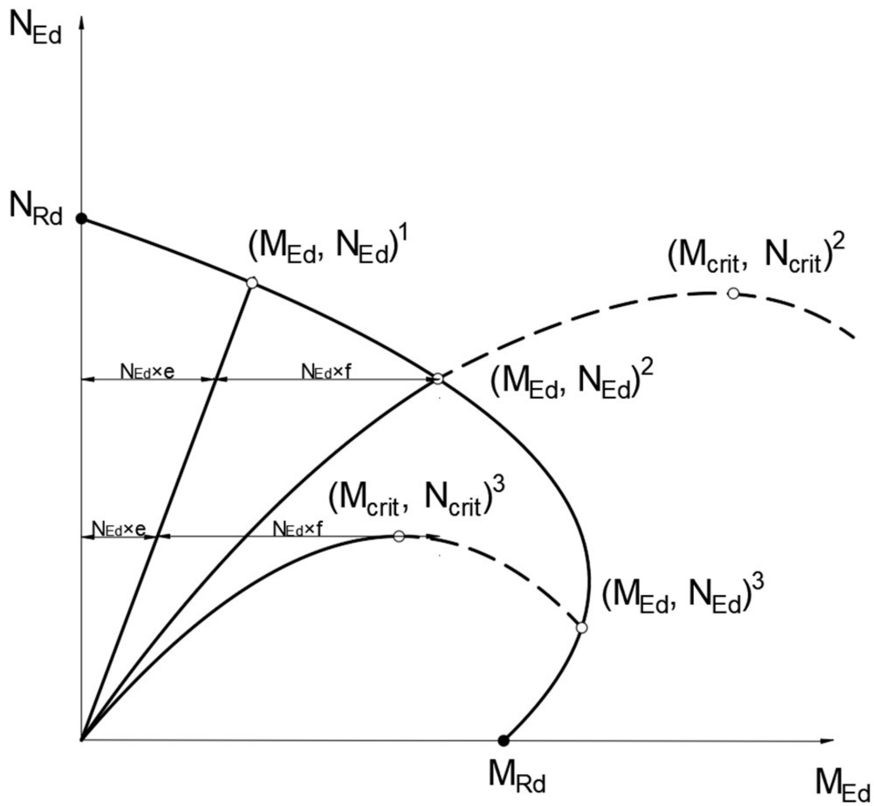
Krivulja interakcije

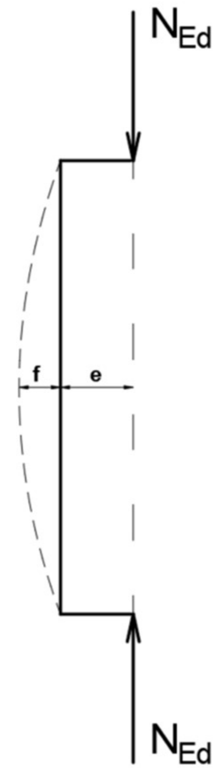
Krivulja interakcije (krivulja „K”):



Krivulja interakcije

Krivulja interakcije (krivulja „K”) za vitke elemente:





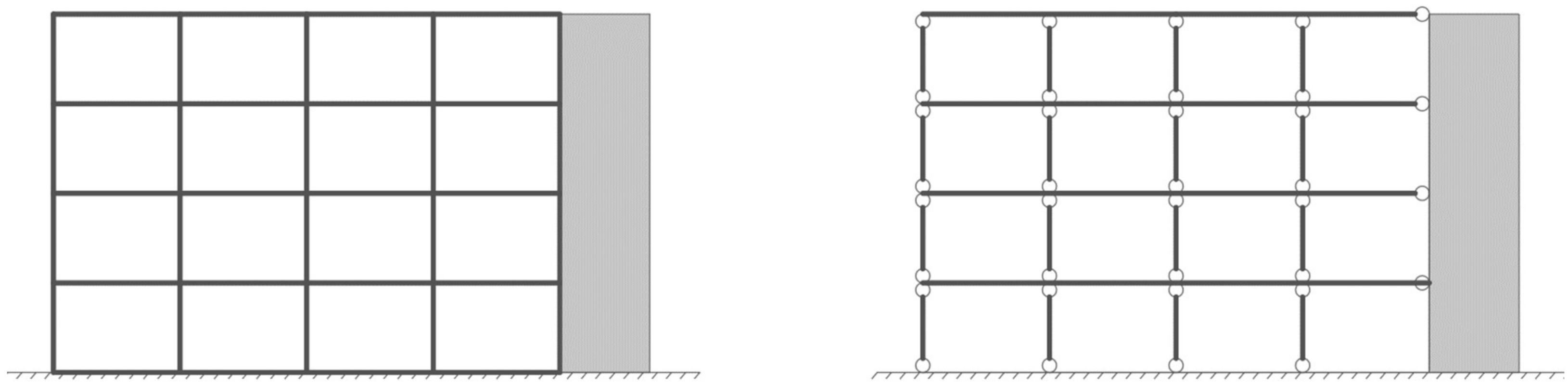
[1] kratki elementi

[2] vitki elementi

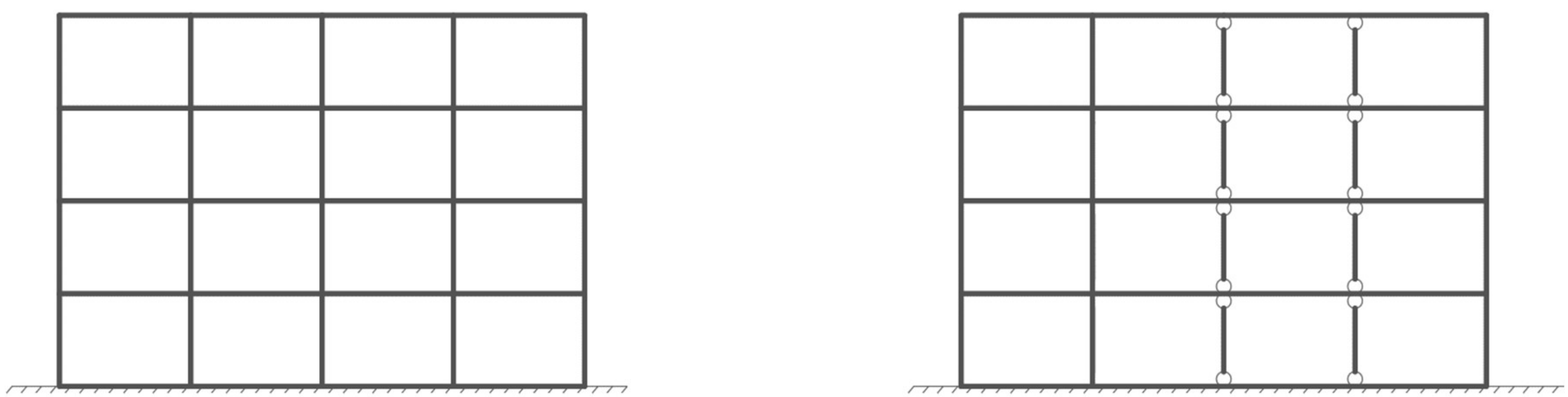
[3] jako vitki elementi

Pomični i nepomični sustavi

Horizontalno nepomični sustavi

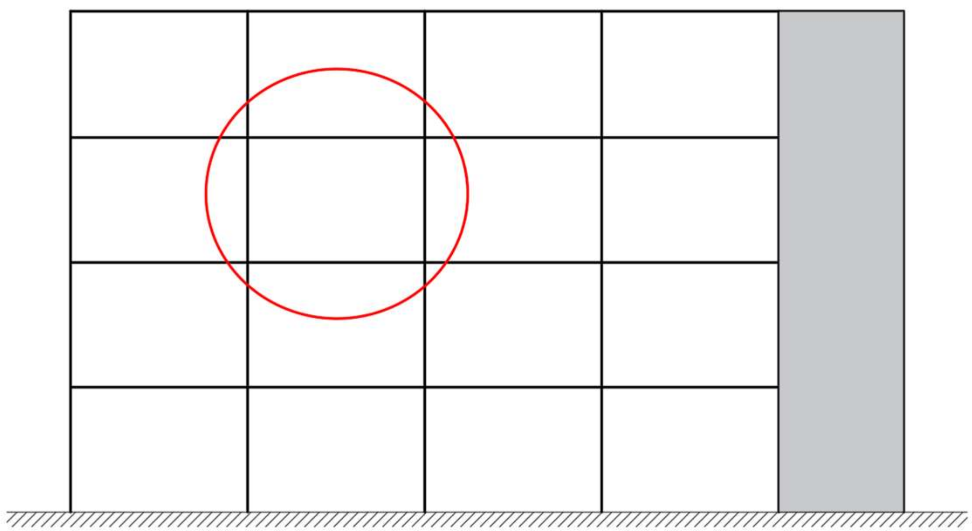


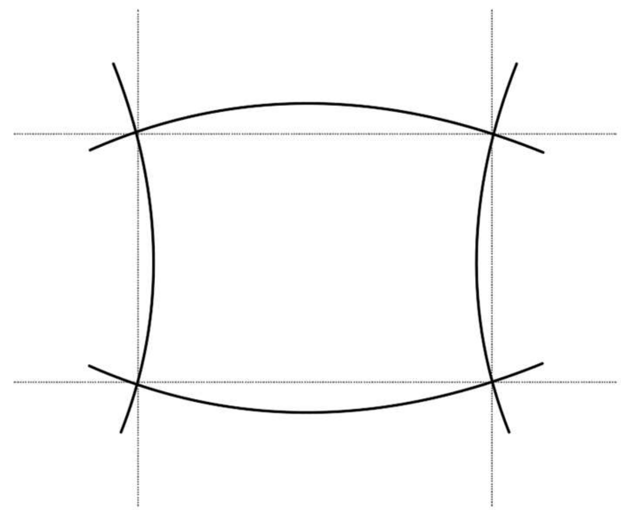
Horizontalno pomični sustavi



Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Horizontalno nepomični sustavi

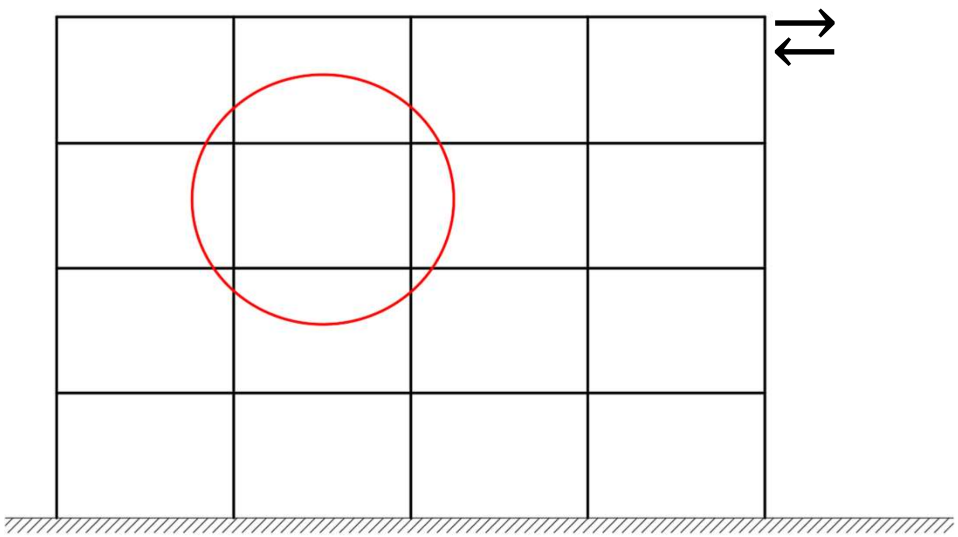


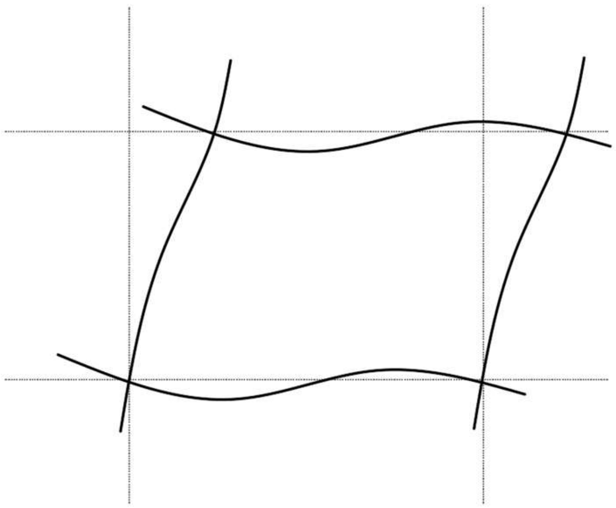


$$\frac{l}{2} < l_0 < l$$

Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Horizontalno pomični sustavi





$l_0 > 2l$

Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Granične vitkosti

Kada koristiti teoriju I. reda, a kada II. reda?

Ako povećanje momenata savijanja dobivenih prema teoriji drugog reda iznosi manje od 10 % od onih dobivenih prema teoriji prvog reda i ako je vitkost λ manja od granične vrijednosti λ_{lim}.

$$\lambda < \lambda_{lim}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \qquad i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

(slajd 28)

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Granične vitkosti

$$\boxed{\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Je li ovo poznato od negdje?

$A = \frac{1}{1+0.2 \cdot \varphi_{ef}}$ koeficijent koji uzima u obzir puzanje betona (vidjeti predavanje o torziji) – ako φ_{ef} nije poznato onda $A = 0.7$

$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega}$ koeficijent koji uzima u obzir količinu uzdužne armature - ako ω nije poznato onda $B = 1.1$

$C = 1.7 - r_m$ koeficijent koji uzima u obzir momente savijanja na krajevima stupa - ako r_m nije poznato onda $C = 0.7$

$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$ mehanički koeficijent armiranja

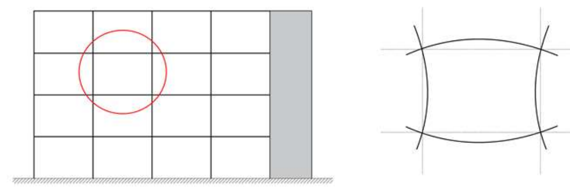
$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$ omjer krajnjih momenata na stupu (ako M_{01} i M_{02} daju vlačna naprezanja na istoj strani, onda je r_m pozitivan)

Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Duljina izvijanja l_0 u okvirnim sustavima

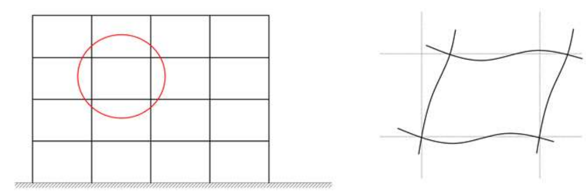
Horizontalno nepomični sustavi

$$l_0 = 0.5 \cdot l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0.45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0.45 + k_2}\right)}$$



Horizontalno pomični sustavi

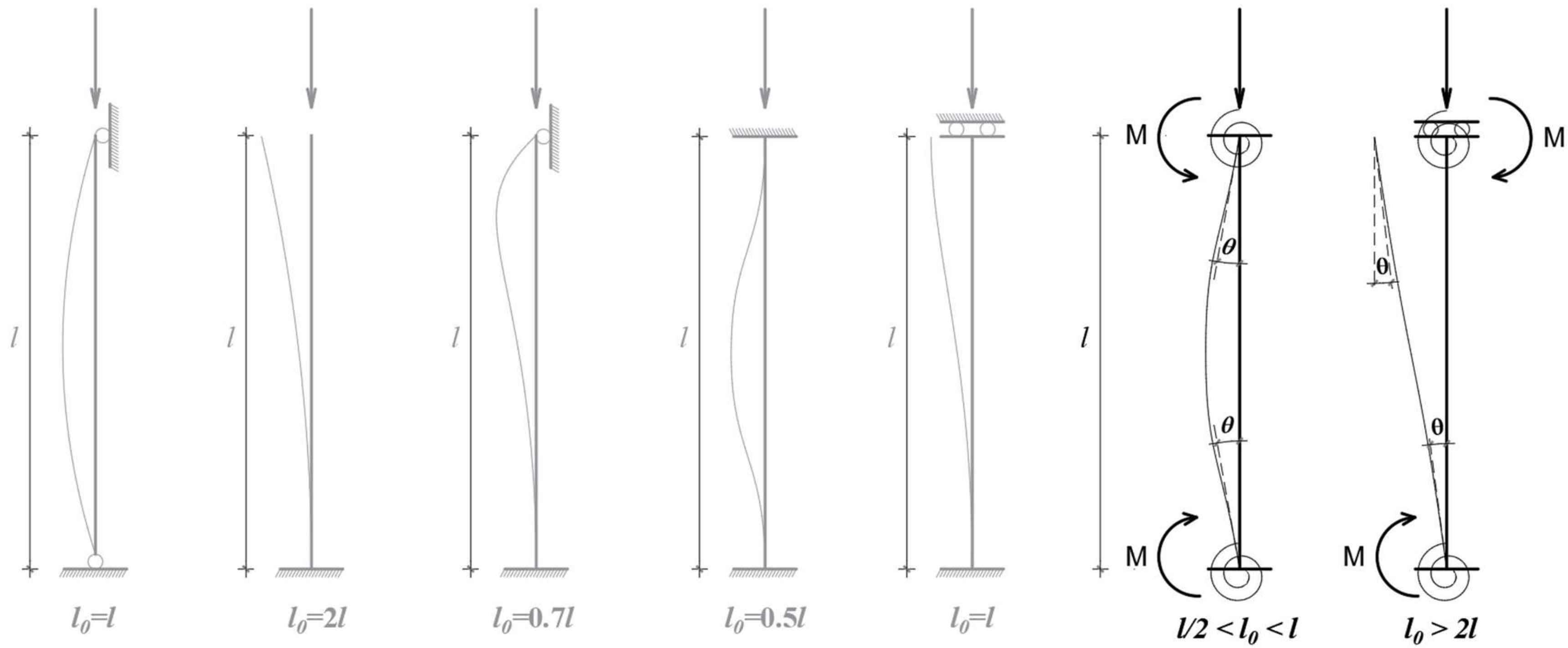
$$l_0 = l \cdot max\left\{\sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}}\ ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right)\right\}$$



Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Duljina izvijanja l_0 u okvirnim sustavima

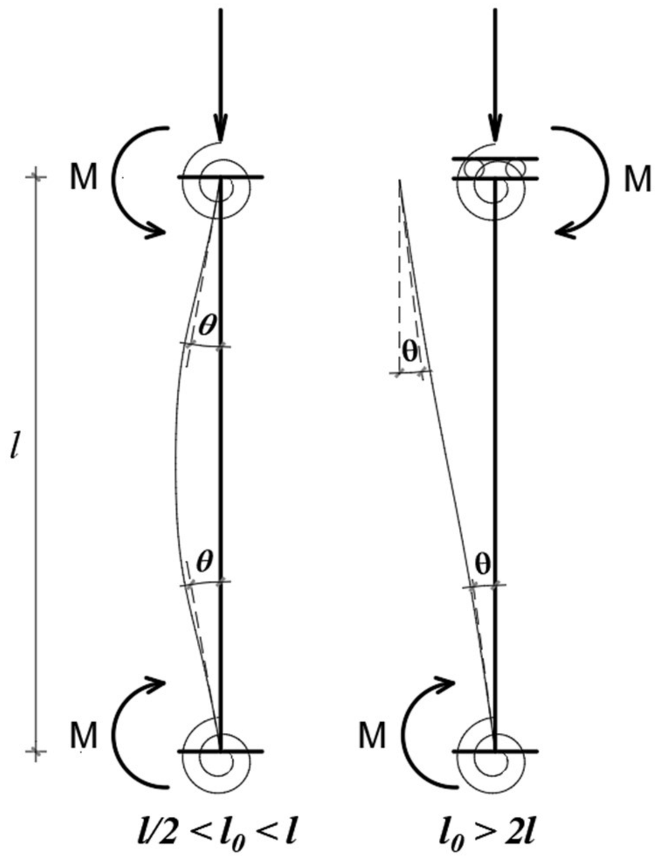
Ključno je odrediti koeficijente relativne popustljivosti k_1 i k_2 jer oni određuju krivulju izvijanja.
Dopunit ćemo sliku sa slajda 26:



Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Duljina izvijanja l_0 u okvirnim sustavima

Nepomični: Pomični:



Očigledno je da su rubni uvjeti stupa negdje između upetih i zglobno oslonjenih, a stupanj upetosti određen je odnosima krutosti stupa i greda koji se spajaju u gornjem i donjem čvoru. „Razina” upetosti izračunava se upravo koeficijentima k_i (k_1 i k_2 - na gornjem kraju stupa i donjem kraju stupa).

$$k_i = \frac{\sum \frac{E \cdot I_{col}}{l_{col}}}{\sum M_R}$$

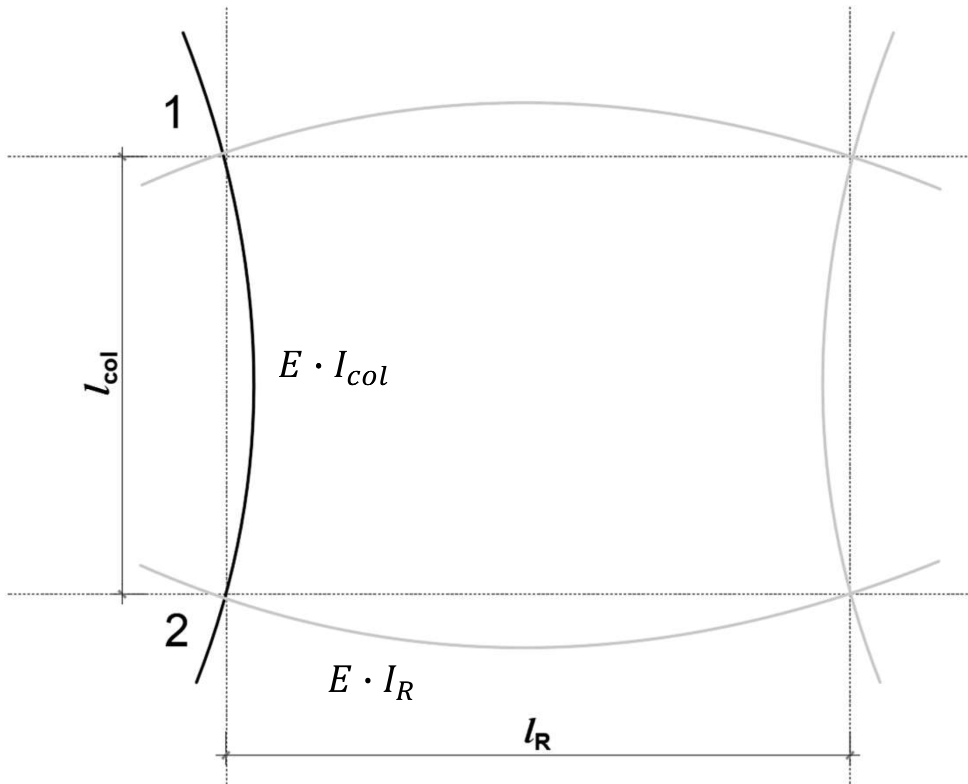
Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Duljina izvijanja l_0 u okvirnim sustavima

Nepomični:

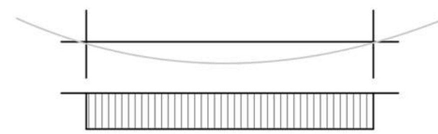
$$k_1 = \frac{\Sigma \frac{E \cdot I_{col}}{l_{col}}}{\Sigma M_{R1}}$$

$$k_2 = \frac{\Sigma \frac{E \cdot I_{col}}{l_{col}}}{\Sigma M_{R2}}$$

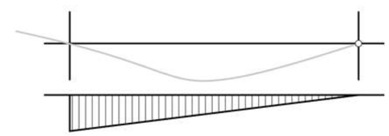


M_R moment upetosti grede za jedinični kut zaokreta čvora. Ovisi o obliku dijagrama savijanja na gredi:

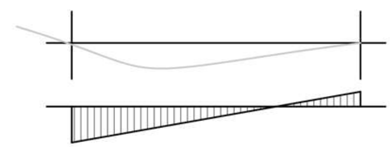
$$M_R = \frac{2 \cdot (E \cdot I_R)}{l_R}$$



$$M_R = \frac{3 \cdot (E \cdot I_R)}{l_R}$$



$$M_R = \frac{4 \cdot (E \cdot I_R)}{l_R}$$



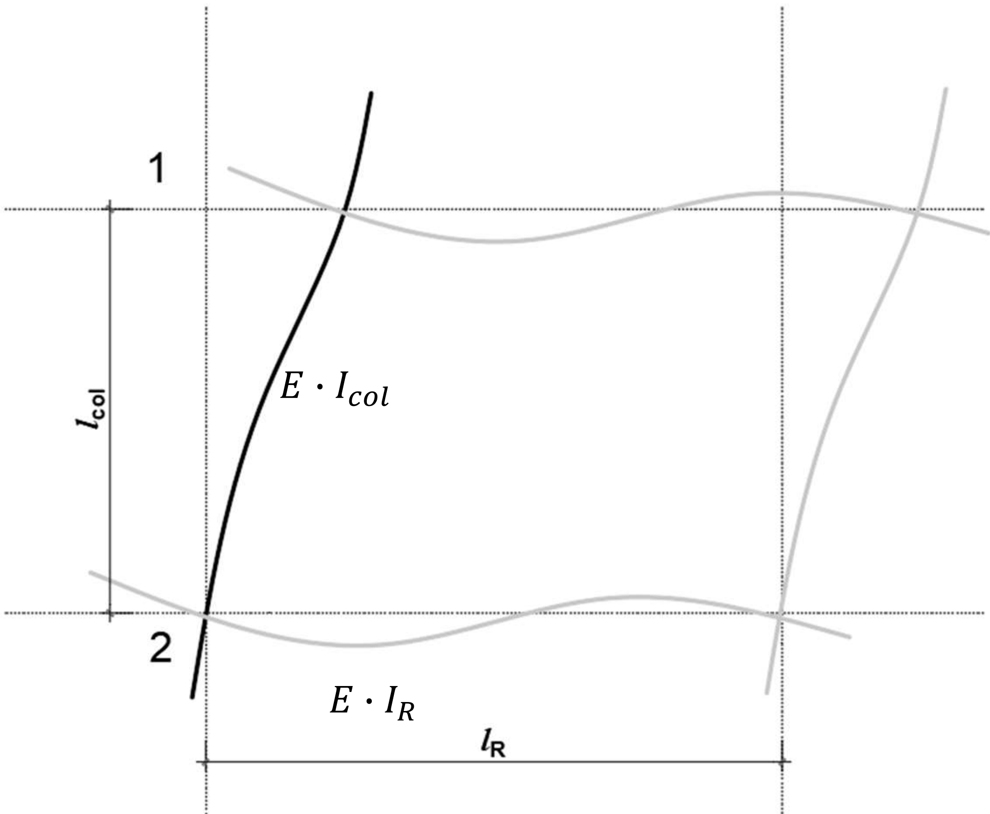
Duljine izvijanja u pomičnim i nepomičnim sustavima

Duljina izvijanja l_0 u okvirnim sustavima

Pomični:

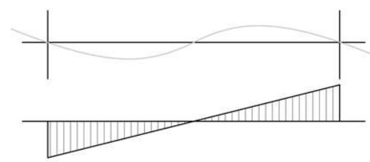
$$k_1 = \frac{\Sigma \frac{E \cdot I_{col}}{l_{col}}}{\Sigma M_{R1}}$$

$$k_2 = \frac{\Sigma \frac{E \cdot I_{col}}{l_{col}}}{\Sigma M_{R2}}$$



M_R moment upetosti grede za jedinični kut zaokreta čvora. Ovisi o obliku dijagrama savijanja na gredi:

$$M_R = \frac{6 \cdot (E \cdot I_R)}{l_R}$$



Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Cilj proračuna je odrediti dodatni moment savijanja koji se javlja zbog izvijanja, puzanja betona i nesavršenosti izvedbe. Svaki od ovih pojava povećava ekscentričnost uzdužne sile, a time uzrokuje pojavu dodatnog momenta savijanja. Srž ovih metoda jeste odrediti ove učinke II. reda na deformiranom sustavu.

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

M_{Ed} moment savijanja određen teorijom I. reda (uključuje i nesavršenosti)

M_2 moment savijanja određen teorijom II. reda (uključuje deformacije sustava)

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Cilj proračuna je odrediti dodatni moment savijanja koji se javlja zbog izvijanja, puzanja betona i nesavršenosti izvedbe. Svaki od ovih pojava povećava ekscentričnost uzdužne sile, a time uzrokuje pojavu dodatnog momenta savijanja. Srž ovih metoda jeste odrediti ove učinke II. reda na deformiranom sustavu.

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

M_{Ed}	moment savijanja određen teorijom I. reda (uključuje i nesavršenosti)
M_2	moment savijanja određen teorijom II. reda (uključuje deformacije sustava)

Ukupni ekscentricitet uzdužne sile iznosi:

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$	početni ekscentricitet (teorija I. reda)
e_i	eksentricitet od nesavršenostiž
e_2	eksentricitet zbog vitkosti i puzanja

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Uz tako određeni ukupni ekscentricitet, proračunski moment savijanja određen je kao:

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

M_{Ed}	moment savijanja određen teorijom I. reda (uključuje i nesavršenosti)
M_2	moment savijanja određen teorijom II. reda (uključuje deformacije sustava)

Ukupni ekscentricitet uzdužne sile iznosi:

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

e_0	početni ekscentricitet (teorija I. reda)
e_i	eksentricitet od nesavršenosti
e_2	eksentricitet zbog vitkosti i puzanja

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Određivanje e_0 i e_i

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Početni ekscentricitet (sjetiti se predavanja o ekscentričnoj tlačnoj sili):

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

M_{Ed} računski moment savijanja određen teorijom I. reda
N_{Ed} računska tlačna sila

Eksentricitet od nesavršenosti :

$$e_i = \theta_i \frac{l_0}{2}$$

$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$ nagib od nesavršenosti, gdje su:

$\theta_0 = \frac{1}{200}$ osnovna vrijednost nagiba
$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}$ faktor smanjenja za visinu; $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$
$\alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$ faktor smanjenja za broj elemenata
m broj elemenata (stupova)

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Određivanje e_0 i e_i

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Početni ekscentricitet (sjetiti se predavanja o ekscentričnoj tlačnoj sili):

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

M_{Ed} računski moment savijanja određen teorijom I. reda
N_{Ed} računska tlačna sila

Eksentricitet od nesavršenosti :

$$e_i = \theta_i \frac{l_0}{2}$$

$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$ nagib od nesavršenosti, gdje su:

$\theta_0 = \frac{1}{200}$	osnovna vrijednost nagiba
$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}$	faktor smanjenja za visinu; $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$
$\alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$	faktor smanjenja za broj elemenata
m	broj elemenata (stupova)

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Određivanje e_2

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Ekscentricitet uzdužne sile uslijed učinaka II. reda je, u stvari, dodatni ekscentricitet nastao zbog deformiranja konstrukcije. Deformacije sustava nastale su zbog puzanja i izvijanja elemenata:

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l^2}{c}$$

$\frac{1}{r}$	zakrivljenost elementa
l	duljina (izvijanja) elementa
c	koeficijent raspodjele zakrivljenosti

Ekscentricitet prema teoriji II. reda može se izračunati prema dvije približne metode:

- metoda nazivne krutosti
- metoda nazivne zakrivljenosti

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Metoda nazivne zakrivljenosti

U ovoj metodi potrebno je odrediti zakrivljenost elementa $\frac{1}{r}$. Ova zakrivljenost ovisi o uzdužnoj sili, krutosti elementa i zakrivljenosti.

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0}$$

K_r popravni faktor ovisan o uzdužnoj sili

K_φ faktor koji uzima u obzir puzanje

$$\frac{1}{r_0} = \frac{2 \cdot \varepsilon_{yd}}{0.9 \cdot d} \; ; \; \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Metoda nazivne zakrivljenosti

Popravni faktor K_r uzima u obzir vrijednost proračunske uzdužne sile i količine armature stupa:

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1$$

$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$ omjer proračunske uzdužne sile i nosivosti betonskog presjeka

$n_u = 1 + \omega$

$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$ omjer nosivosti armature i betona na uzdužnu silu

$n_{bal} = 0.4$

Približne metode proračuna prema teoriji II. reda

Metoda nazivne zakrivljenosti

Faktor K_{φ} uzima u obzir učinke puzanja:

$$K_{\varphi} = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1$$

$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$	proračunski koeficijent puzanja
M_{0Eqp}	moment savijanja određen iz nazovistalne kombinacije djelovanja
M_{0Ed}	moment savijanja prema teoriji I. reda iz proračunske kombinacije
$\beta = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$	f_{ck} u N/mm^2