

Projektovanje i građenje betonskih konstrukcija 2

Industrijske montažne hale

PRORAČUN VITKIH ELEMENATA PREMA
GRANIČNOJ NOSIVOSTI

Upotreba betona i čelika visokih mehaničkih karakteristika vodi ka AB elementima sa manjim dimenzijama poprečnih preseka:

- savijani elementi → veliki ugibi
- pritisnuti elementi → izvijanje, gubitak stabilnosti

Dva osnovna problema:

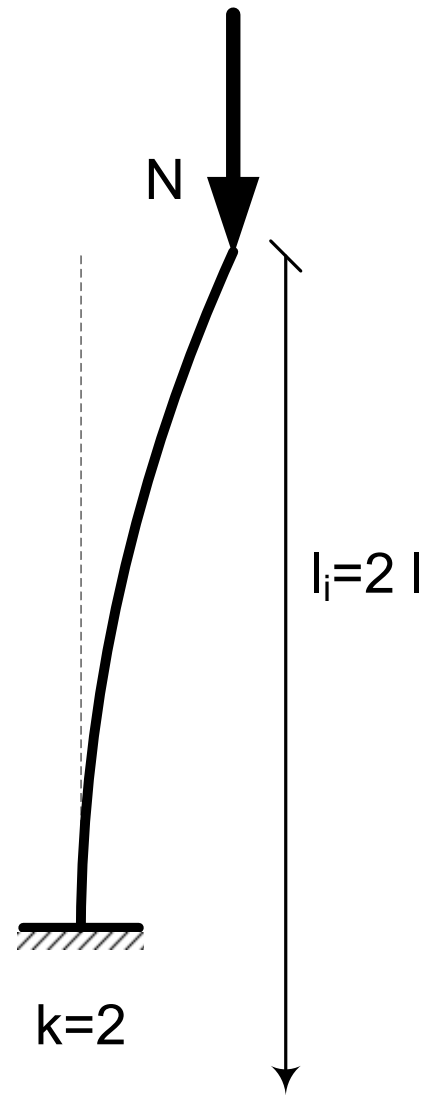
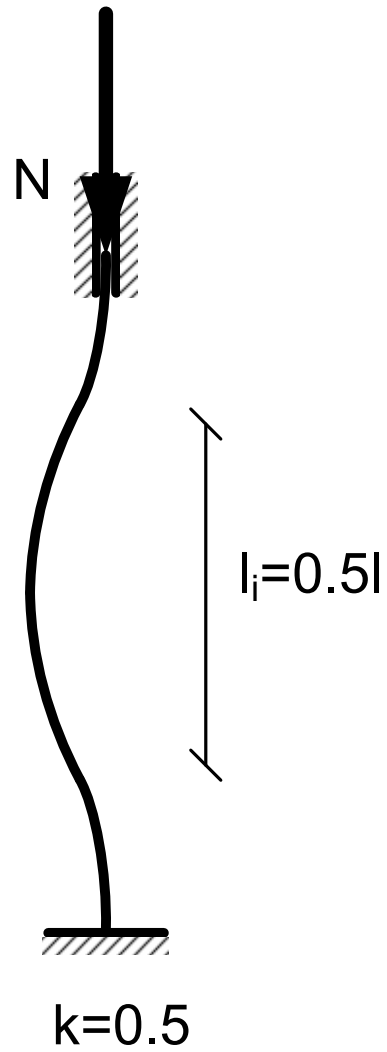
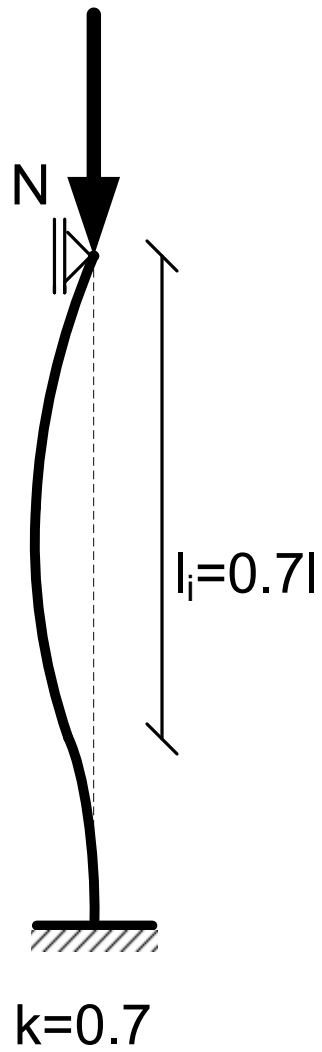
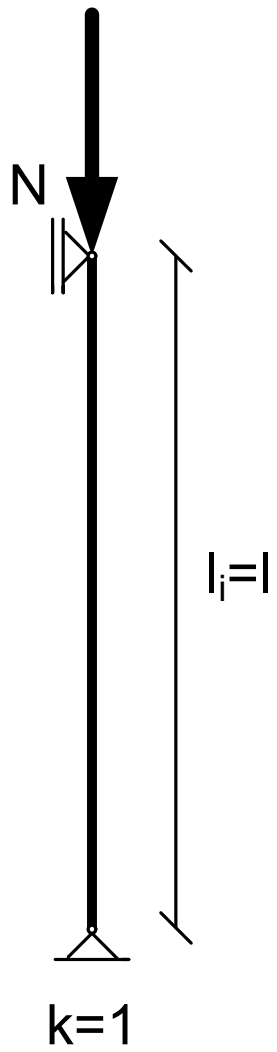
- uticaj normalne sile pritiska na stanje naprezanja i deformacija elementa koji je istovremeno savijan poprečnim opterećenjem,
- određivanje "kritične sile" pri kojoj dolazi do gubitka stabilnosti elementa, bez obzira na poprečno opterećenje.

STEPEN VITKOSTI se određuje preko VITKOSTI

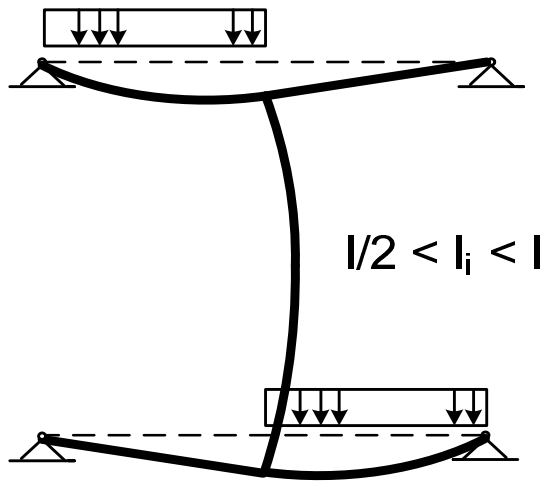
$$\lambda = \frac{l_i}{i_b} \quad , \text{ gde je } l_i \text{ - efektivna dužina izvijanja.}$$

Za centrično pritisnute stubove Ojler je dao rešenja za određivanje kritičnih sila u obliku:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l)^2} \quad l_i = k \cdot l$$



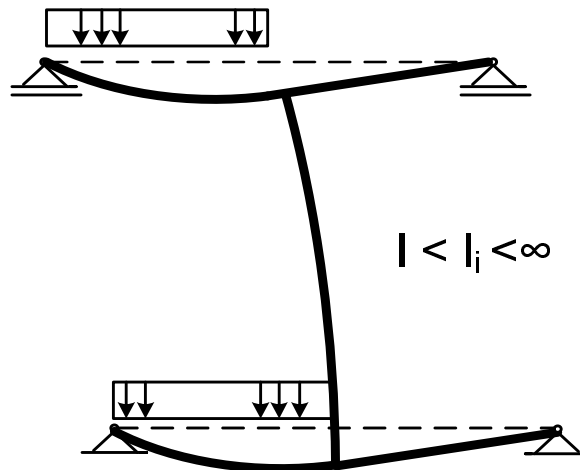
Nepomerljivi



$$1/2 < l_i < l$$

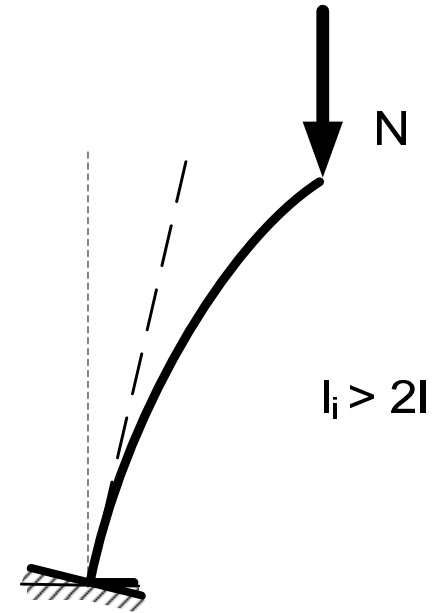
$$1/2 < k < 1$$

Pomerljivi



$$l < l_i < \infty$$

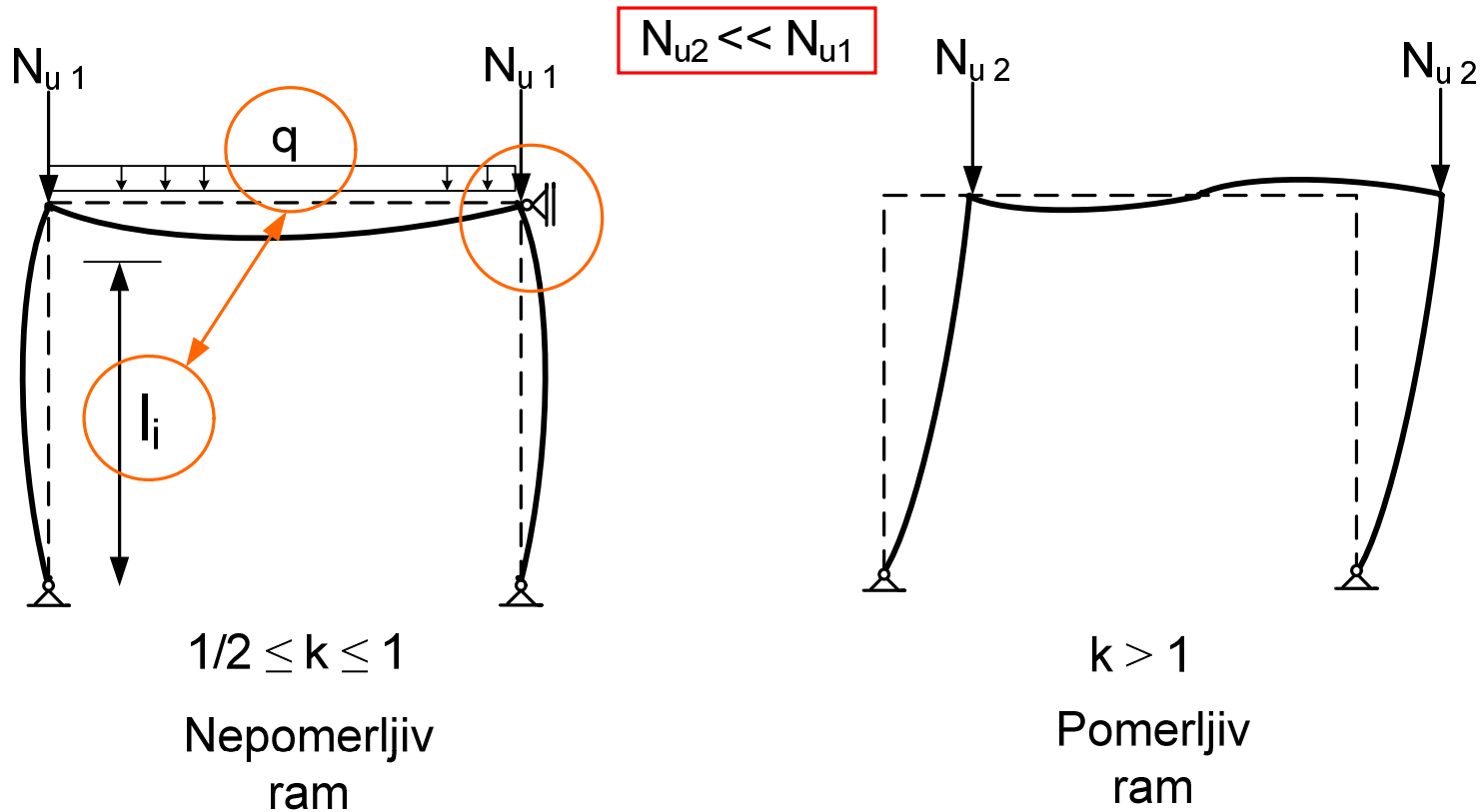
$$1 < k < \infty$$



$$l_i > 2l$$

$$2 < k < \infty$$

Dužina izvijanja stubova nepomerljivih i pomerljivih ramova



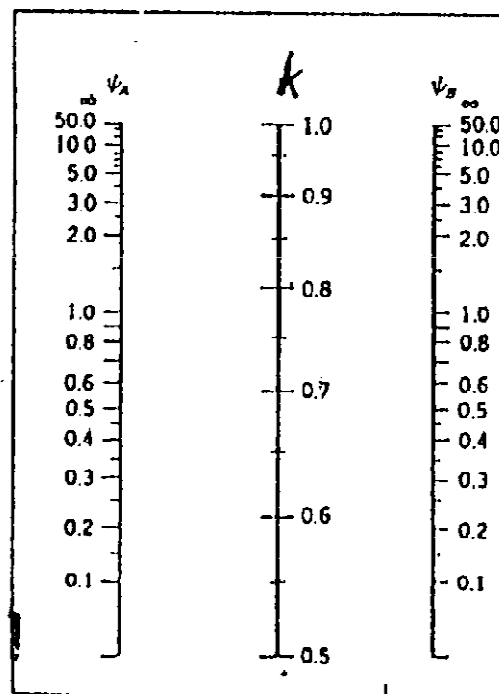
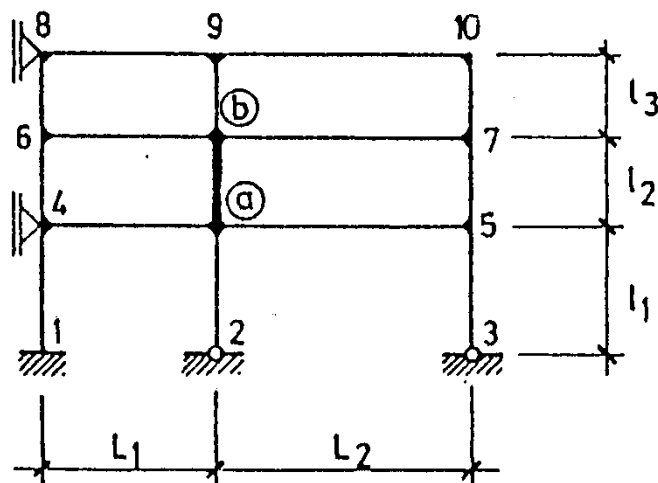
Nomogram za određivanje faktora efektivne dužine izvijanja stubova (k) ramovske konstrukcije

$$\Psi_A = \frac{EI_{a2}/l_1 + EI_{ab}/l_2}{EI_{a4}/L_1 + EI_{a5}/L_2}$$

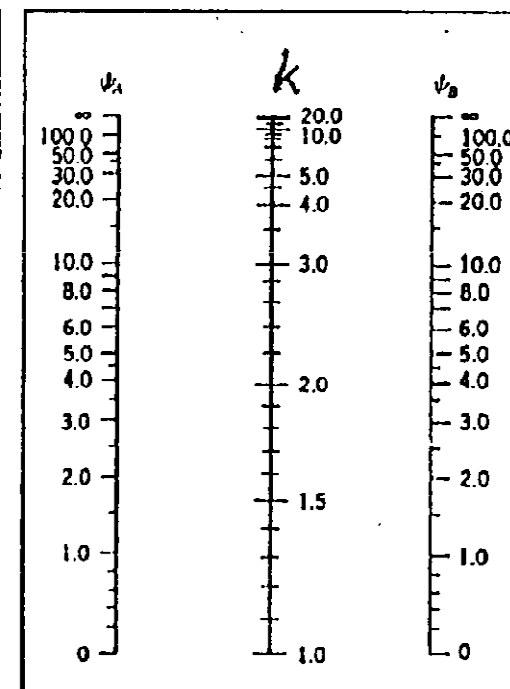
$$\Psi_B = \frac{EI_{b9}/l_3 + EI_{ab}/l_2}{EI_{b6}/L_1 + EI_{b7}/L_2}$$

$\Psi_1 = 0$ ("beskonačno kruta rigla")

$\Psi_2 = \infty$ Zglobna veza



a) NEPOMERLJIVI SISTEMI



b) POMERLJIVI SISTEMI

Proračun vitkih elemenata prema graničnoj nosivosti – EVROKOD EC2

- Efektivna dužina izvijanja l_i je dužina na kojoj se uzima u obzir dužina deformacione krive,
- Deformacije moraju da se računaju uzimajući u obzir uticaj prslina, nelinearno ponašanje materijala i tečenje betona,
- Uticaji II reda mogu da se zanemare kada su manji od 10% odgovarajućih uticaja I reda.

Proračun vitkih elemenata prema graničnoj nosivosti – BAB 87

AB konstrukcije se dele na:

- a) nepomerljive,
- b) pomerljive.

Kriterijum: konstrukcija je praktično nepomerljiva kada elementi za ukrućenje prihvate 80 – 90% ukupnih horizontalnih dejstava bez većih horizontalnih deformacija.

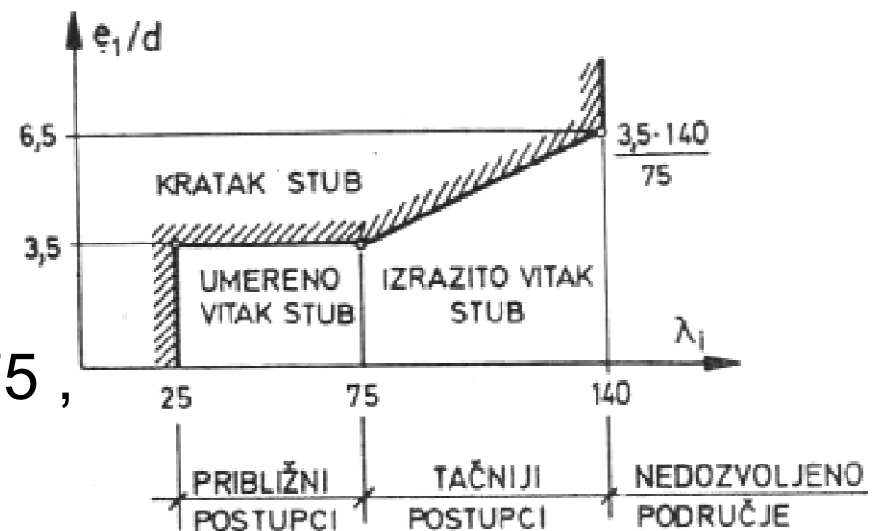
- a) **Nepomerljivi sistemi** - algoritam preoračuna se zasniva na izdvajanju stuba iz konstrukcije → izolovani stub. Zatim se granični uticaji određuju u preseku preko ekscentriciteta normalne sile koji se definiše kao moguće odstupanje od vertikale (videti sledeću skicu):

Proračun vitkih elemenata prema graničnoj nosivosti – BAB 87

Od člana 103 do 109 pravilnika – analiza granične nosivosti AB sistema kada se uslovi ravnoteže spoljašnjih i unutrašnjih sila uspostavljaju na deformisanom sistemu uzimajući u obzir materijalnu nelinearnost i tečenje betona (skupljanje se zanemaruje).

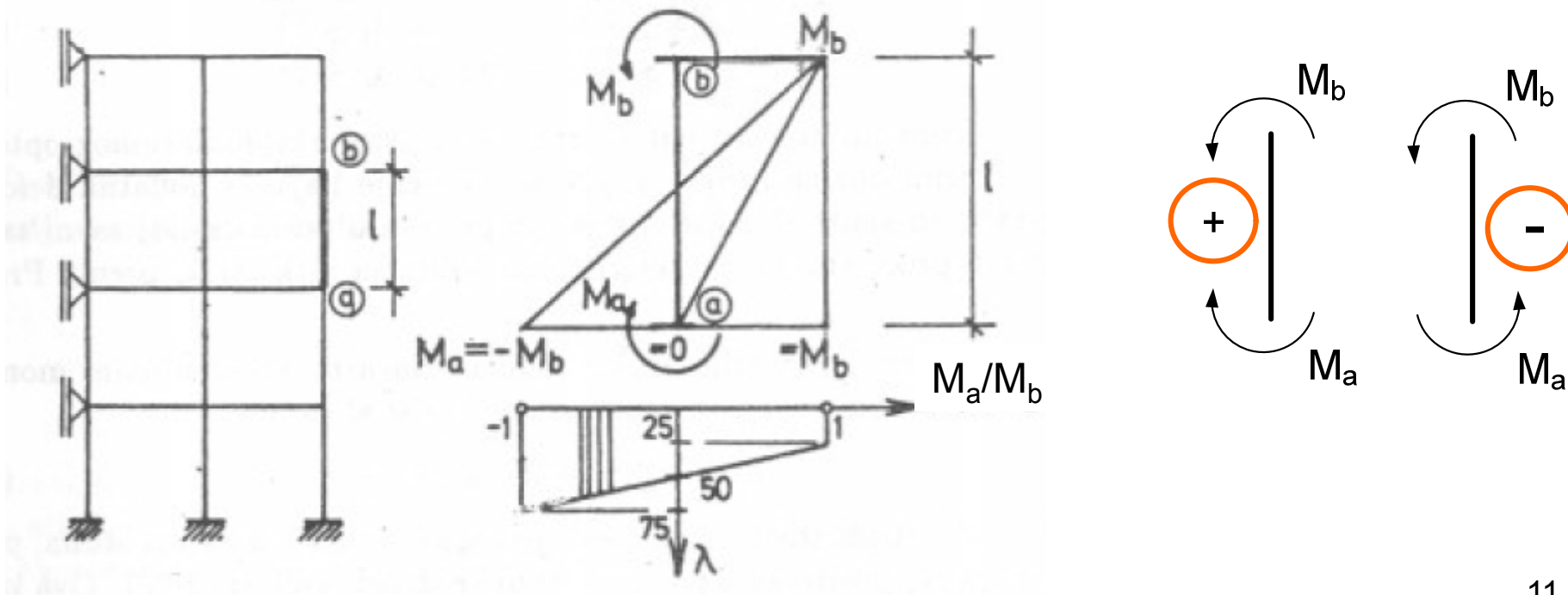
Član 105 – provera stabilnosti se ne vrši kada je:

- $\lambda_i \leq 25$
- $\lambda_i \leq 75$ i $e/d \geq 3.5$,
- $\lambda_i > 75$ i $e/d \geq 3.5 \cdot \lambda_i / 75$,



c. $\lambda_i > 75$ i $e / d \geq 3.5 \cdot \lambda_i / 75$,

d. $\lambda_i \leq 50 - 25 \cdot M_a / M_b$; $|M_b| \geq |M_a|$



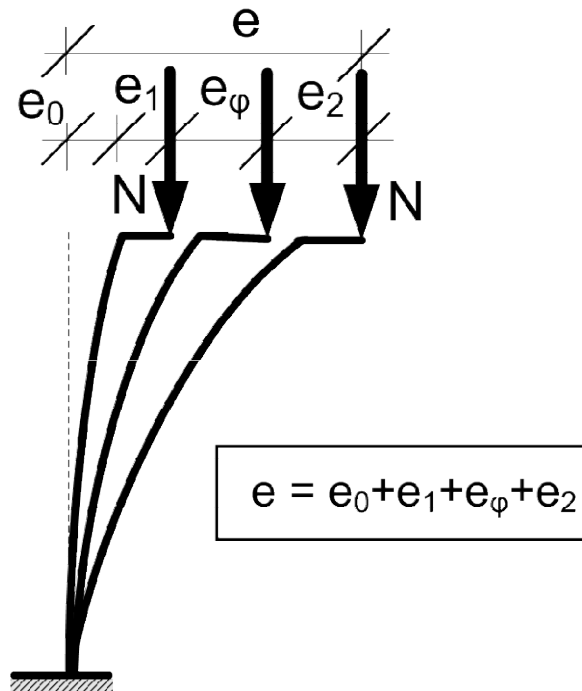
Tečenje betona se zanemaruje kada je ispunjen bar jedan uslov:

- a. $\lambda_i \leq 50$,
- b. $e / d > 2$,
- c. $N_g \leq 0.2 \cdot N_q$

Postupci proračuna:

- a. $25 \leq \lambda_i \leq 75$ – umereno vitki stubovi → približni postupci proračuna i tečenje se zanemaruje,
- b. $75 < \lambda_i \leq 140$ – izrazito vitki stubovi → teorija II reda,
- c. $\lambda_i > 140$ ne dopušta se (izuzetno $140 < \lambda_i \leq 200$ u fazi montaže – prolazna faza)

- imperfekcije pri izvođenju ose stuba - e_0
- povećanje ekscentriciteta usled vremenskih deformacija betona – e_φ
- povećanje ekscentriciteta usled efekata II reda – e_2



1. e_0

- kod nepomerljivih sistema →
- kod pomerljivih sistema

$$e_0 = \frac{l_i}{300} \begin{cases} \geq 2cm \\ \leq 10cm \end{cases}$$

$$tg\alpha = 1/150$$

- jednospratni ramovi

$$tg\alpha = 1/200$$

- ostali

2. $e_1 = M/N$

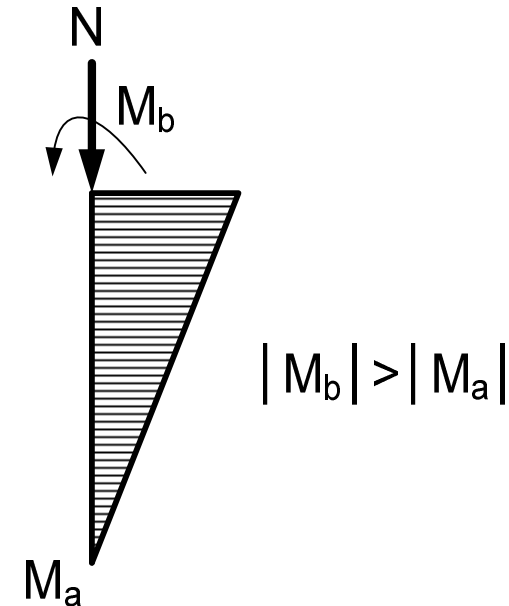
gde je:

$$e_1 = (0.65 \cdot M_b + 0.35 \cdot M_a) / N$$

ekscentricitet u srednjoj trećini dužine

izvijanja usled uticaja I reda

$$(e_1 = 0.6 \cdot M_b / N, \text{ za } M_a = 0)$$



3. e_φ

ekscentricitet u srednjoj trećini dužine izvijanja:

$$e_\varphi = (e_{1g} + e_0) \cdot \left(e^{\frac{\alpha_E}{1-\alpha_E} \cdot \varphi} - 1 \right)$$

gde je: $\alpha_E = \frac{N_g}{N_E}$ i $N_E = E_b \cdot I_b \cdot \pi^2 / l_i^2$

4. e_2 povećanje ekscentriciteta usled efekata II reda

Približni postupak proračuna

$$25 \leq \lambda_i \leq 75$$

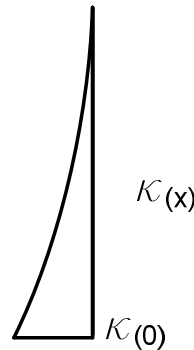
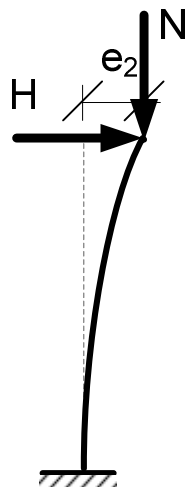
$$e_2/d = \frac{\lambda_i - 25}{100} \sqrt{0,10 + e_1/d} \geq 0 \text{ kada je } 0 \leq e_1/d < 0,30$$

$$e_2/d = \frac{\lambda_i - 25}{160} \geq 0 \text{ kada je } 0,30 \leq e_1/d < 2,5$$

$$e_2/d = \frac{\lambda_i - 25}{160} (3,5 - e_1/d) \text{ kada je } 2,5 \leq e_1/d < 3,5$$

4. e_2 povećanje ekscentriciteta usled efekata II reda

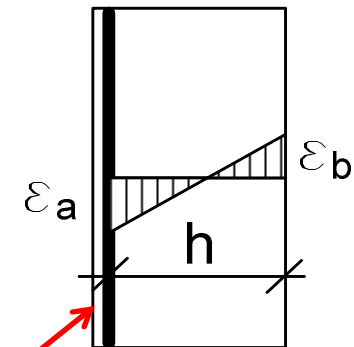
Model stub - Stabilnost se analizira na osnovu pomeranja vrha konzolnog stuba za veličinu e_2 koja se dobija integracijom krivine:



$$e_2 = \int_l \bar{M}_{(x)} \frac{M_{(x)}}{E_b J_{(x)}} \cdot dx = \int_l \bar{M}_{(x)} \cdot \kappa_{(x)} \cdot dx$$

krivina: $\kappa_{(x)} = \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_a}{h} \cdot dx$

zavisi od M, N ali i armature!



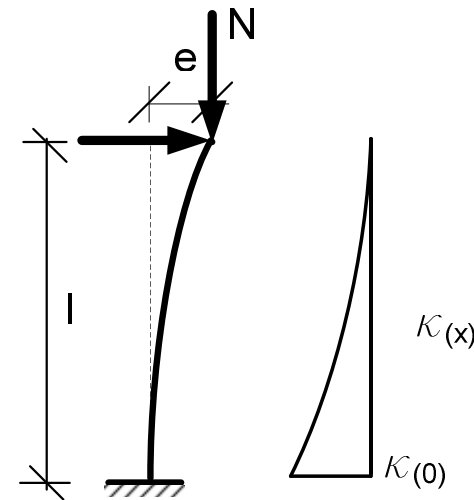
Za određivanje e_2 može se koristiti približni postupak proračuna prema EC2, nazvan “metoda nominalne krivine”, koji se primenjuje za izdvojene stubove nepomerljivih ramova sa $N = \text{const.}$ i za vitkosti $\lambda_i \leq 140$.

Konačan oblik deformisane ose vitkog stuba pod dejstvom ukupnih graničnih uticaja I i II reda, aproksimira se sinusnom funkcijom.

Kako je izdvojeni stub konzolni, najveći momenti i I i II reda su u uklještenju.

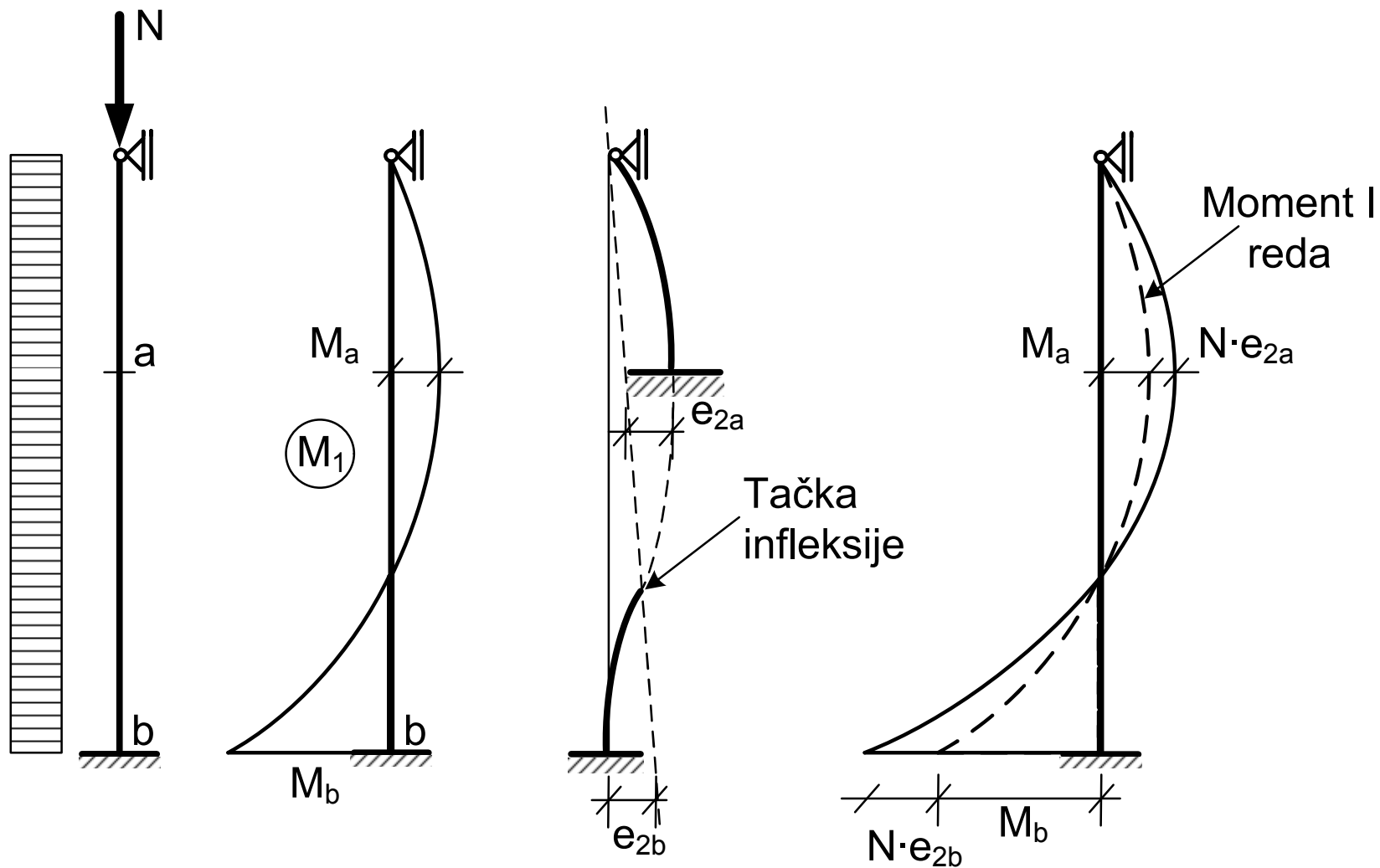
Pomeranje vrha konzolnog stuba može se aproksimirati u funkciji krivine u uklještenju (κ_0) kao:

$$e_2 = 0.4 \cdot \kappa_{(0)} \cdot l^2 = 0.1 \cdot \kappa_{(0)} \cdot l_i^2$$

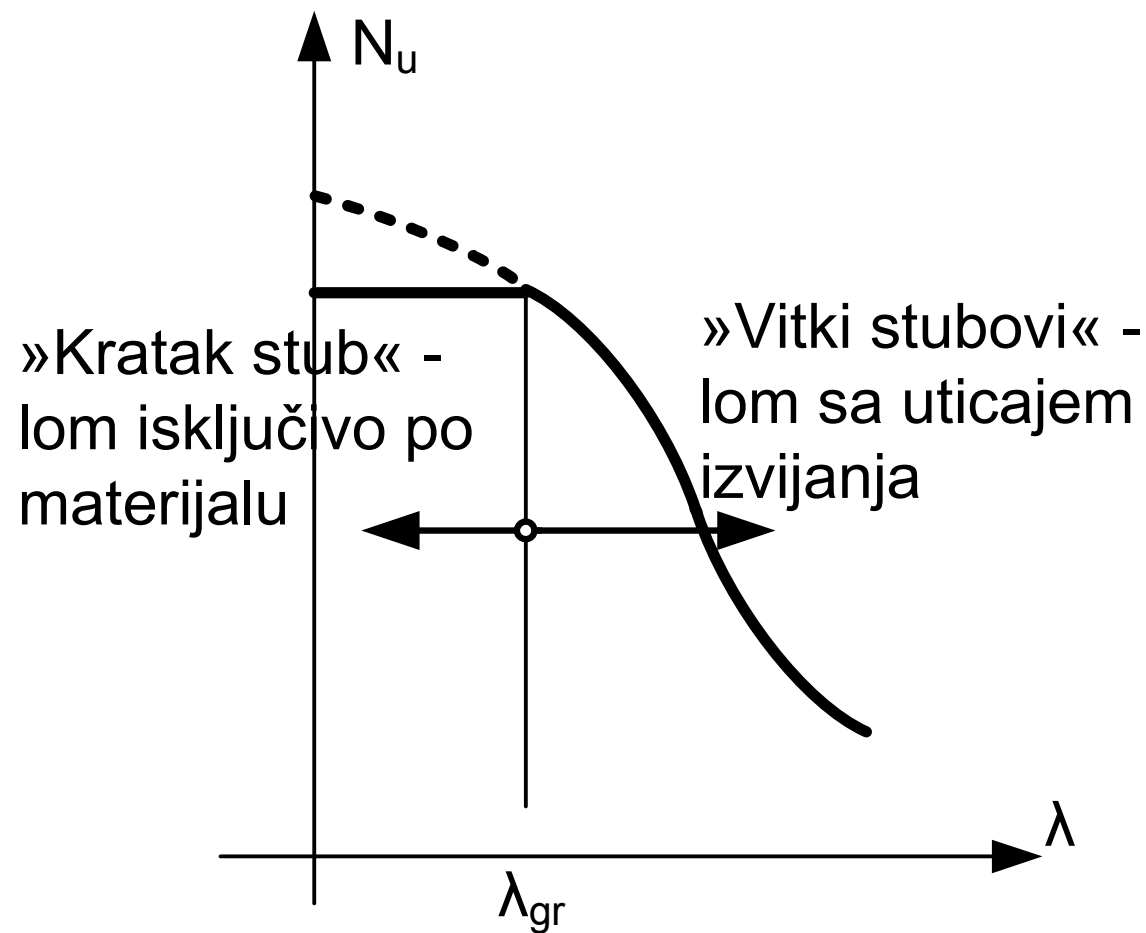


gde su: $l_i = 2 \cdot l$ $\kappa_{(0)} = \frac{1}{r_{(0)}} = \frac{\varepsilon_y}{0.45 \cdot h}$ $\varepsilon_y = \frac{\sigma_v}{E_a}$

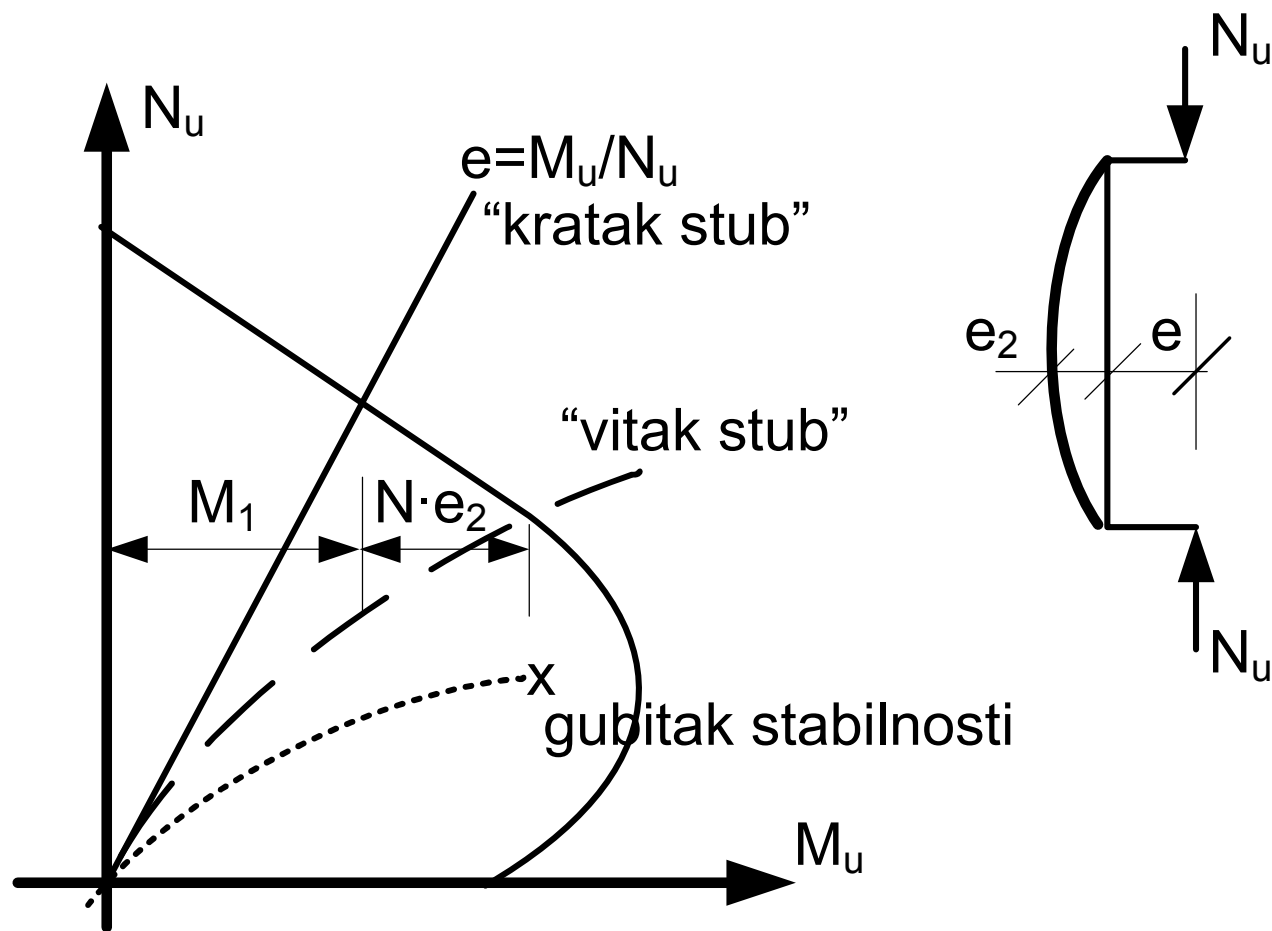
Primer – za statički neodređen štap deformacija ose može da se opiše sa konzolnim stubovima:



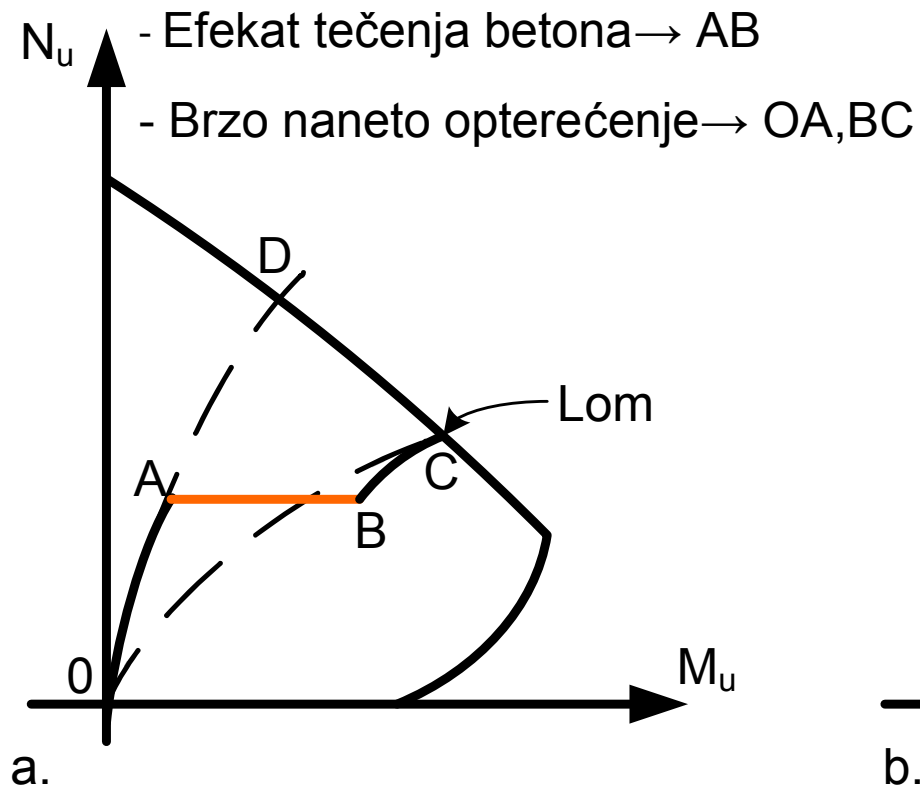
Uticaj vitkosti λ na veličinu granične sile pritiska centrično opterećenog stuba



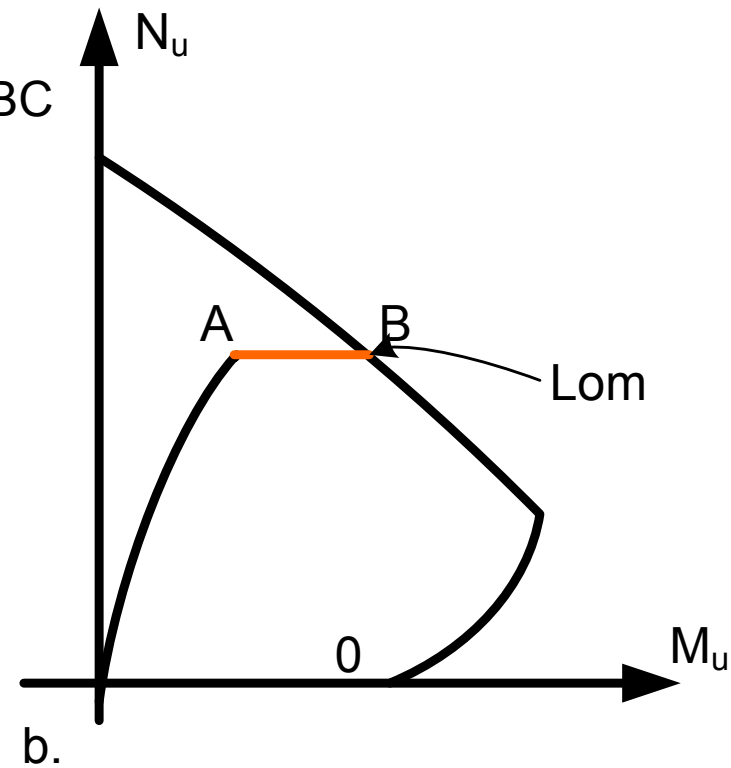
Dijagram interakcije kratkog i vitkog ekscentrično pritisnutog stuba



Uticaj tečenja betona na lom stuba pod dejstvom stalnog opterećenja



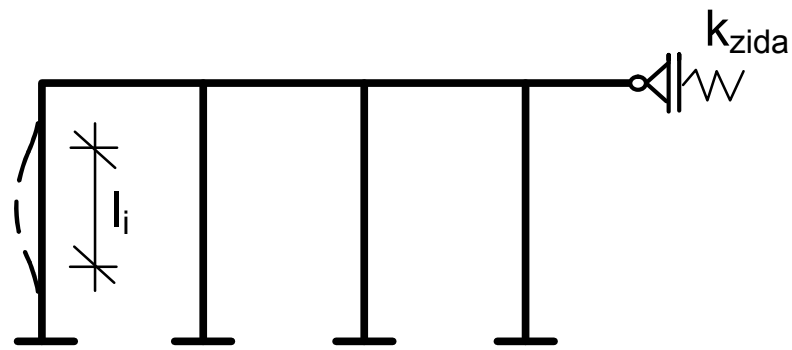
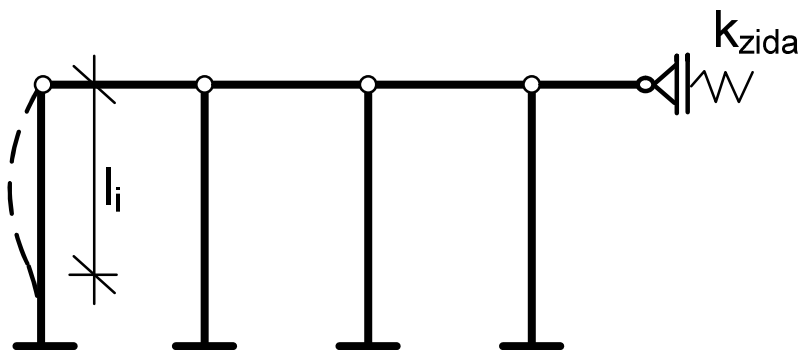
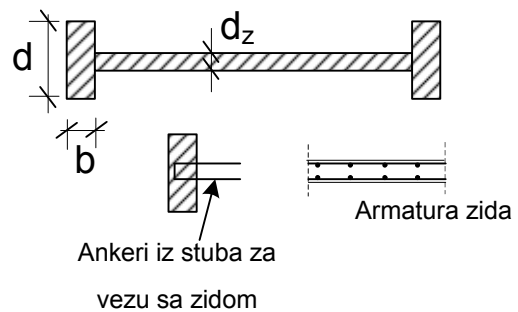
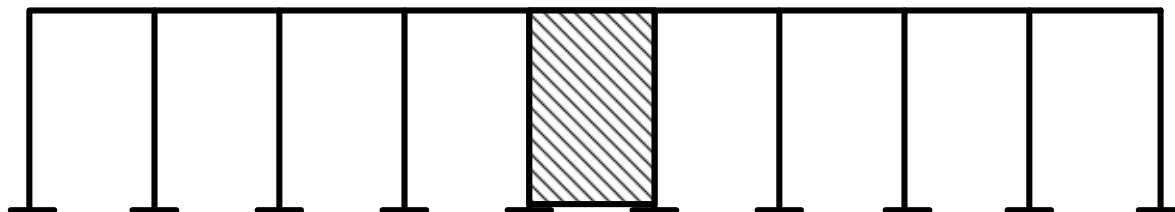
Istorija opterećenja:
brzo – dugotrajno – brzo



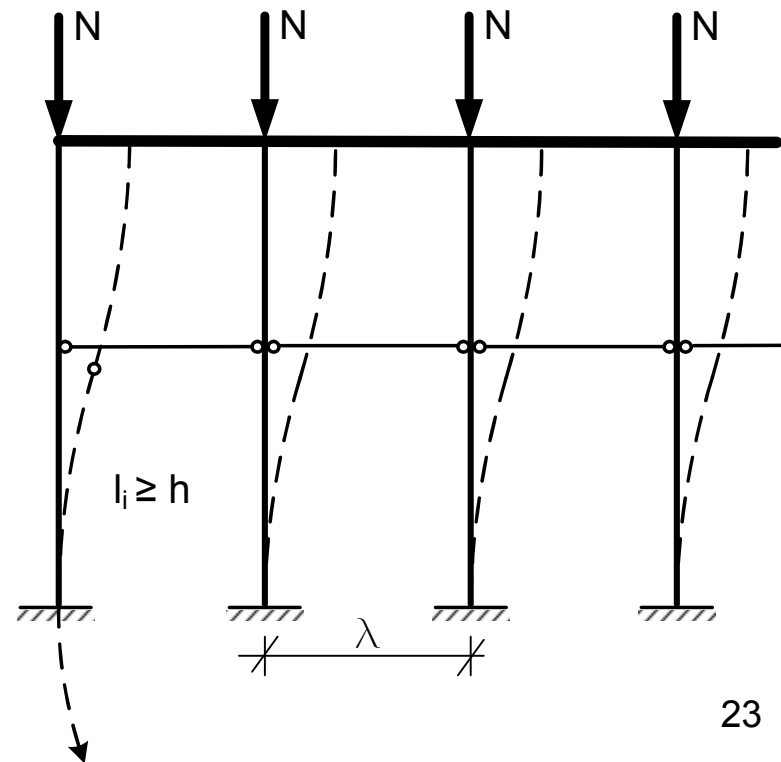
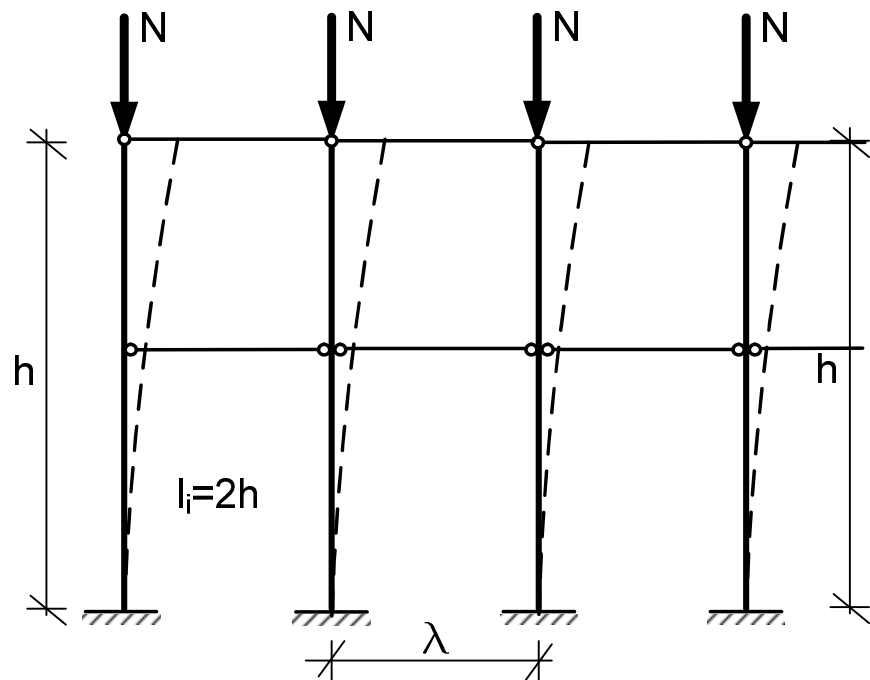
Lom vitkog stuba usled
tečenja betona

Hale sa ukrućenjima

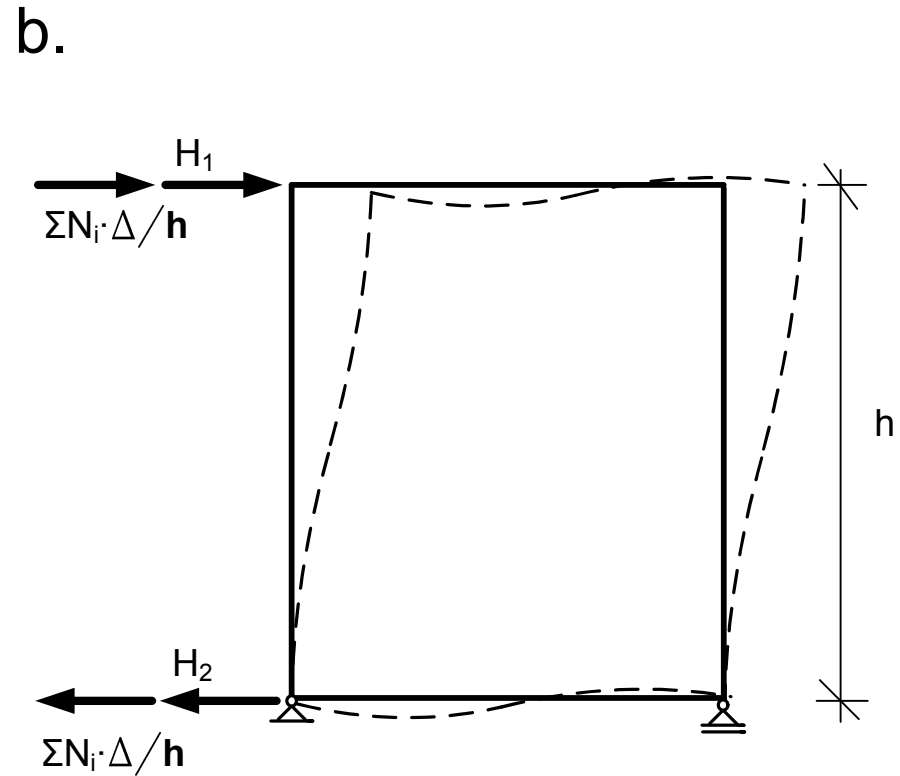
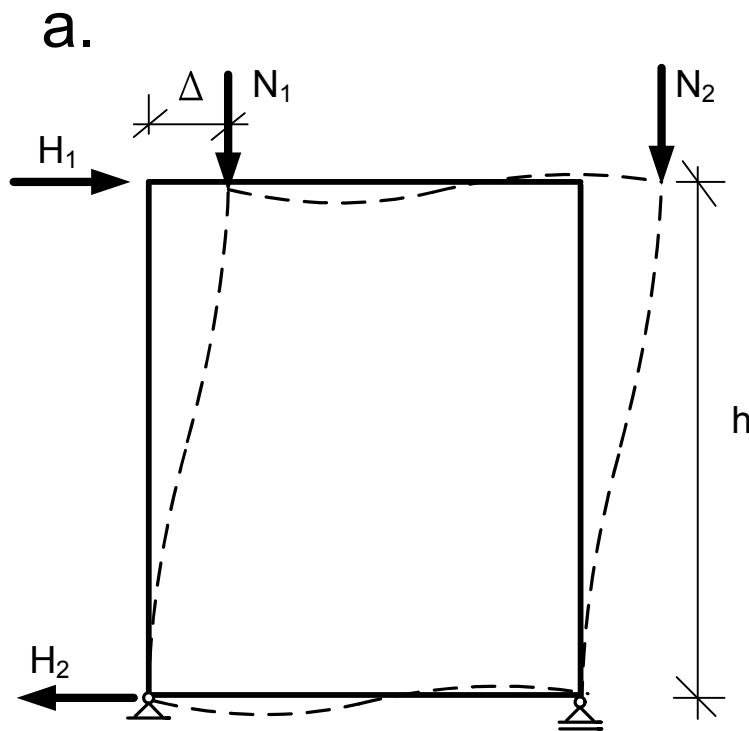
N - malo! → veza sa stubovima



b) Pomerljivi sistemi -



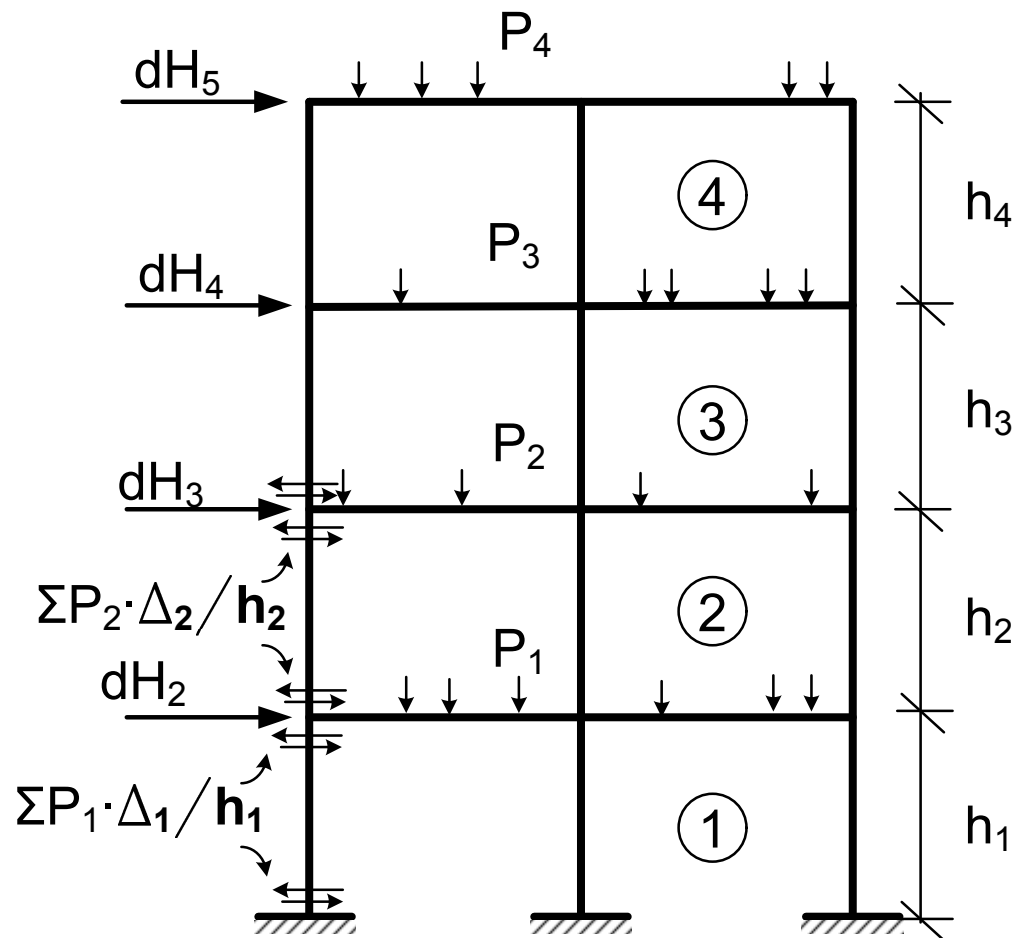
Približna analiza pomerljivih ramova



H - spoljašnje horizontalno opterećenje;

Δ - pomeranje od sila H

$\Sigma N_i \Delta$ - dodatne horizontalne sile kao uticaji II reda

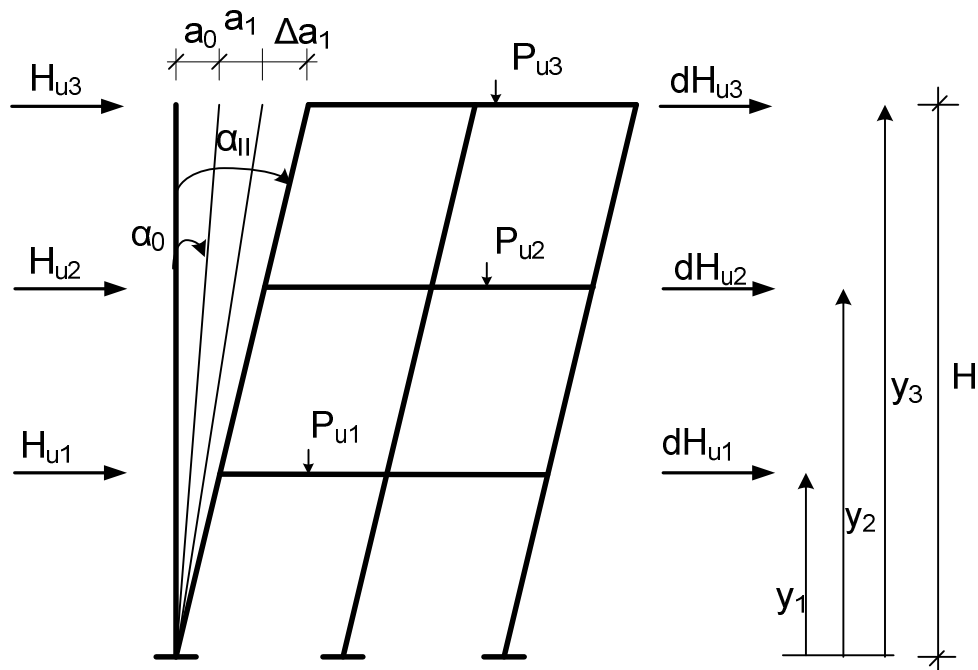


Fiktivne sile:

$$dH_2 = \Sigma P_1 \cdot \Delta_1 / h_1 - \Sigma P_2 \cdot \Delta_2 / h_2$$

Uticaji II reda mogu se približno sračunati kada se u nivou svake tavanice dodaju horizontalne fiktivne sile, a zatim sračunaju uticaji u presecima za vertikalno i ukupno horizontalno dejstvo (uključujući i fiktivne sile)

Približna metoda proračuna EVROPSKOG KOMITETA ZA BETON pomoću modifikovanih fiktivnih sila i pretpostavljene deformacije rama



a_0 – početna imperfekcija
($\text{tg}\alpha_0=1/200$)

a_1 – pomeranje vrha rama od dejstva spoljašnjih graničnih sila I reda (H_{ui})

Δa_1 - pomeranje vrha rama od dejstva fiktivnih sila (dH_i)

α_{II} - ukupan nagib rama u odnosu na vertikalnu

Ukupne **spratne modifikovane sile** su: $H_{ui,m} = H_{ui} + dH_{ui} = H_{ui} + \alpha_{II} \cdot P_{ui}$

gde je:
$$\alpha_{II} = \frac{\text{tg}(\alpha_0) + a_1 / H}{1 - \frac{a_1}{H} \cdot \frac{\sum_i P_{ui} \cdot y_i}{\sum_i H_{ui} \cdot y_i}}$$

U proračunu važi pretpostavka da su pomeranja vrha rama od fiktivnih sila proporcionalna pomeranjima od spoljašnjih horizontalnih sila

