

Prvky betonových konstrukcí

BL01 – 10 přednáška

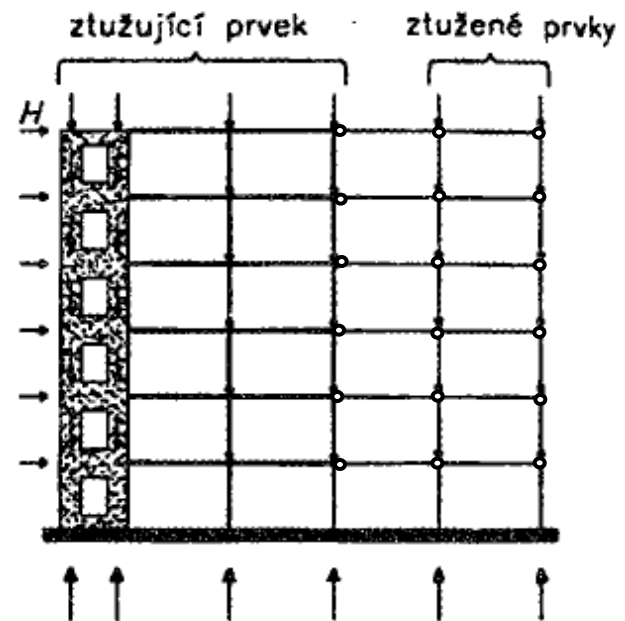
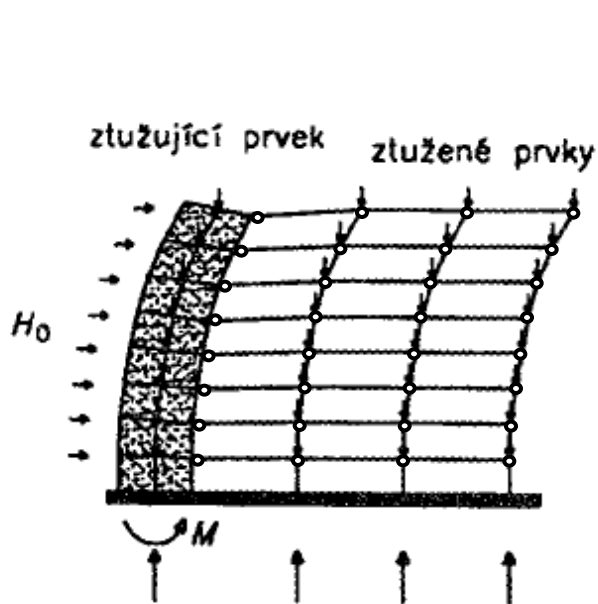
■ ŠTÍHLÉ TLAČENÉ PRVKY

- chování štíhlých tlačených prutů
- chování štíhlých konstrukcí
- metody vyšetřování účinků 2. řádu

ŠTÍHLÉ TLAČENÉ PRVKY

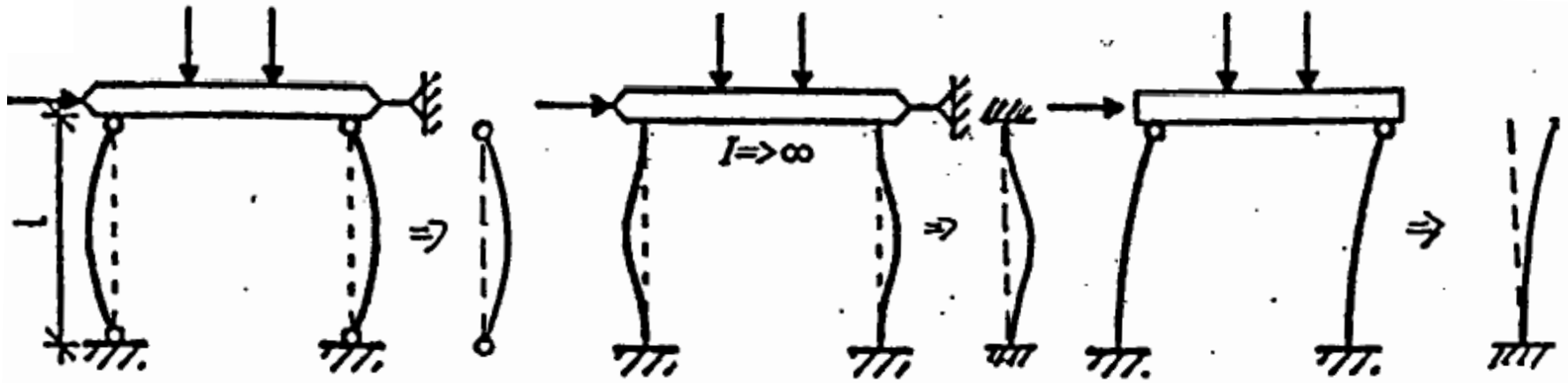
- POJMY

– ztužující a ztužené prvky a systémy



ŠTÍHLÉ TLAČENÉ PRVKY

– Osamělé prvky jako součást rámové konstrukce



- Účinky prvního řádu
- Účinky druhého řádu
- Vzpěr

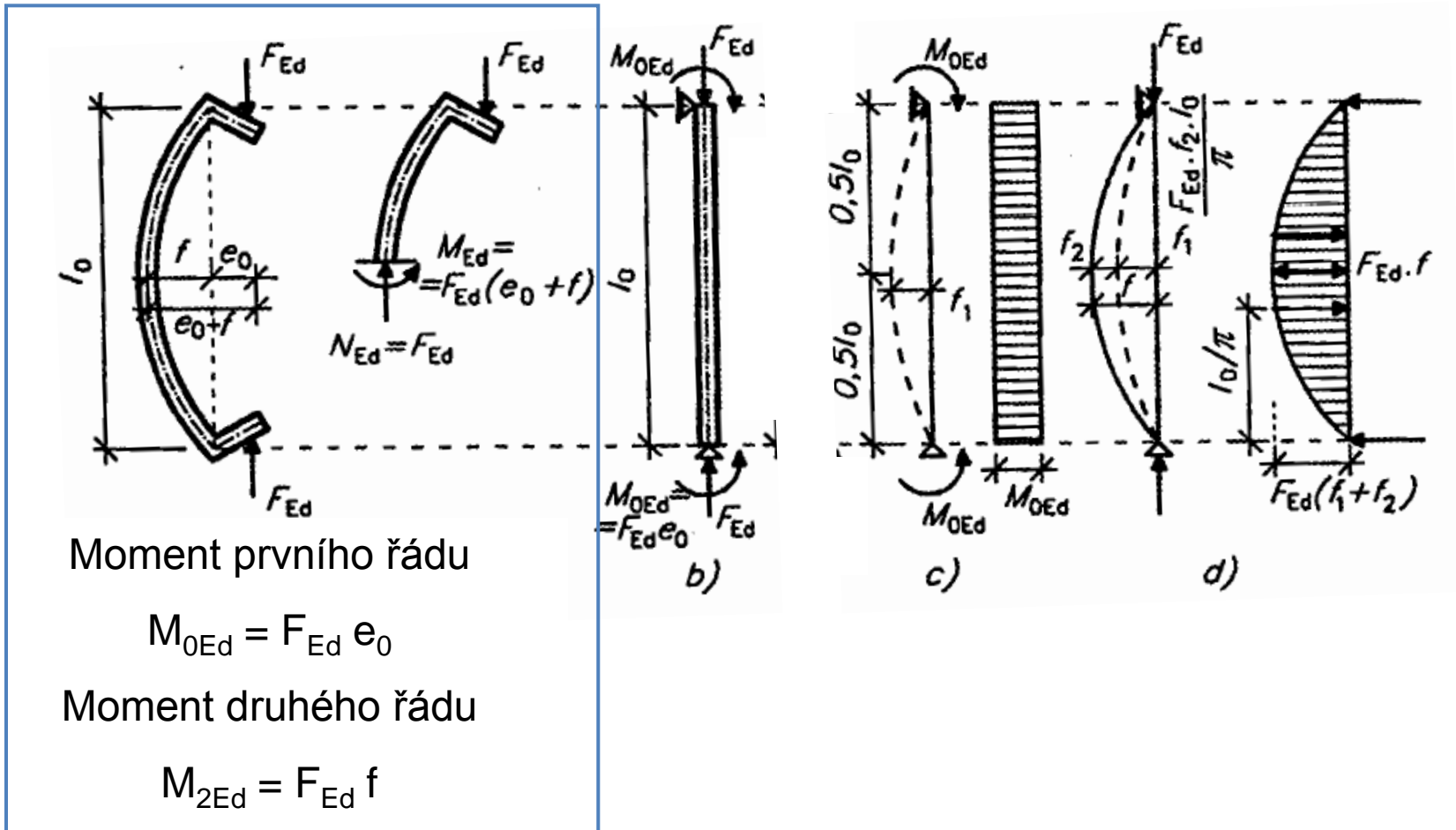
ŠTÍHLÉ TLAČENÉ PRVKY

- **Účinky prvního řádu** vyšetřujeme na nedeformované konstrukci při uvažování geometrických imperfekcí (odchylky ve tvaru sklonění střednice nebo výstředností)
(Počáteční výstřednost $e_0 = e_1 + e_i$)
- **Účinky druhého řádu** jsou přídavné účinky zatížení vyvolané deformací konstrukce (e_2)
- **Vzpěr** je termín používaný při porušení vyvolaném nestabilitou prvku při perfektně dostředném tlakovém zatížení bez jakéhokoli příčného zatížení (čistě hypotetický případ porušení – nevystihuje mezní stav reálné konstrukce). Vzpěrné břemeno – použito jako parametr v některých zjednodušujících metodách vyšetřování účinků druhého řádu.

Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Prut z lineárně pružného materiálu

– Geometrická nelinearita



Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Štíhlý tlačný železobetonový prut

- Fyzikální nelinearita

- Nepružné působení betonu a výztuže
 - Vznik trhlin v tažených oblastech
 - Vliv dotvarování

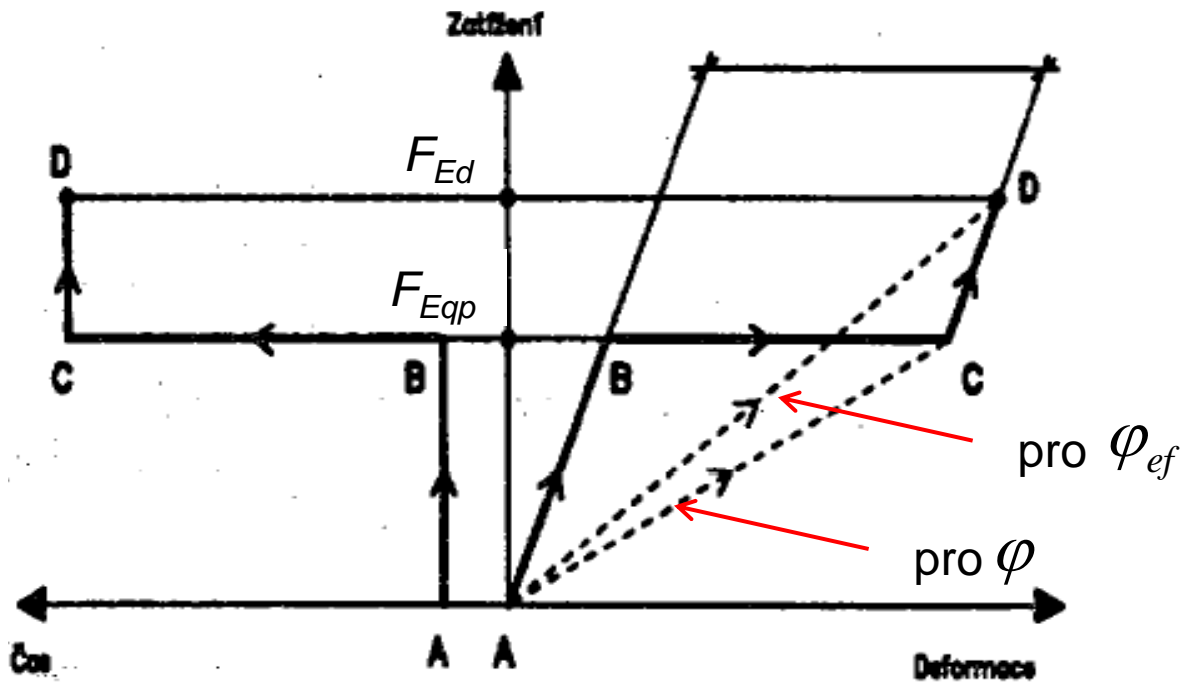
Respektovat při výpočtu EI při stanovení Ncr: **jmenovitá ohybová tuhost** (EN 1992-1-1)

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

Kde K_c a K_s jsou opravní součinitelé

Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Vliv dotvarování – účinný součinitel dotvarování



φ_{ef}


$$\varphi_{ef} = \varphi \frac{M_{Eqp}}{M_{Ed}}$$

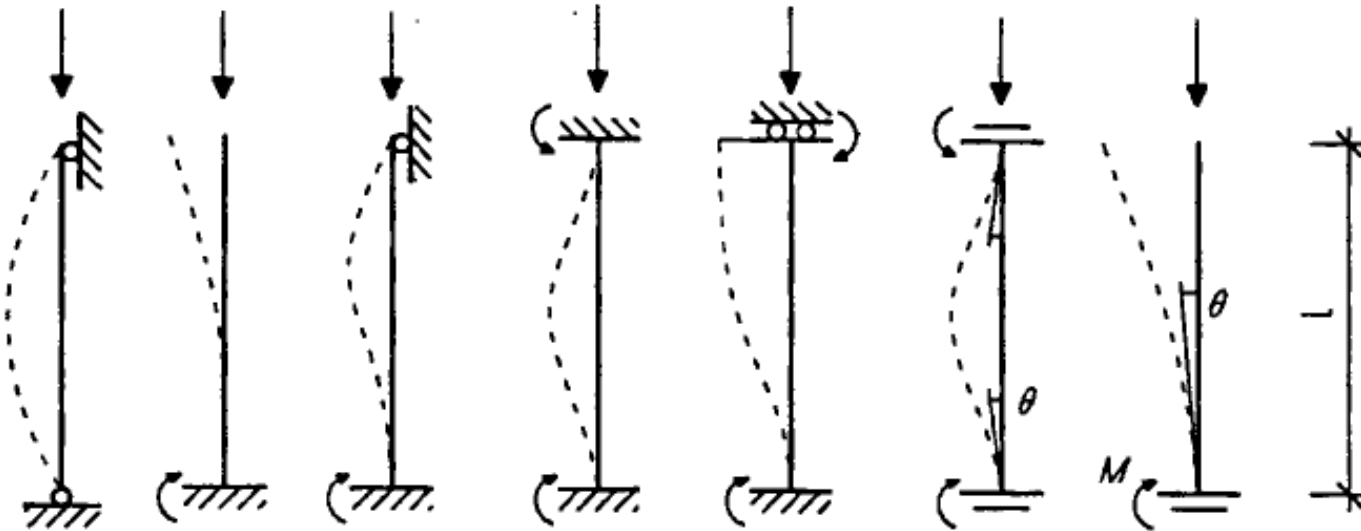


$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$$

Lineárně pružný materiál (zjednodušení)

Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Štíhlost tlačných prutů $\lambda = l_0 / i$
 - l_0 je účinná (vzpěrná) délka (vzdálenost inflexních bodů průhybové křivky) 
 - i je poloměr setrvačnosti

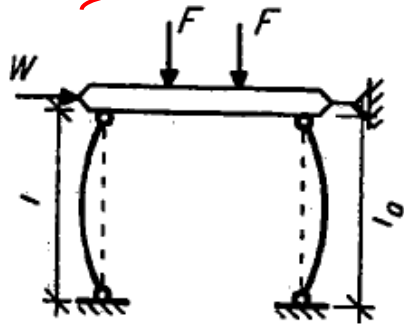


a) $l_0 = l$ b) $l_0 = 2l$ c) $l_0 = 0,7l$ d) $l_0 = l/2$ e) $l_0 = l$ f) $l/2 < l_0 < l$ g) $l_0 > 2l$

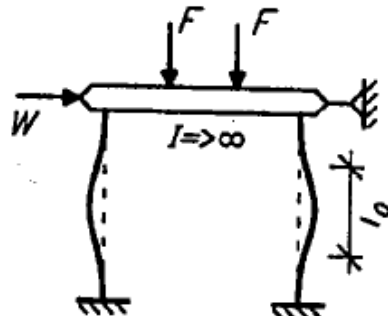
Příklady různých způsobů vybočení a odpovídajících účinných délek izolovaných prvků

Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

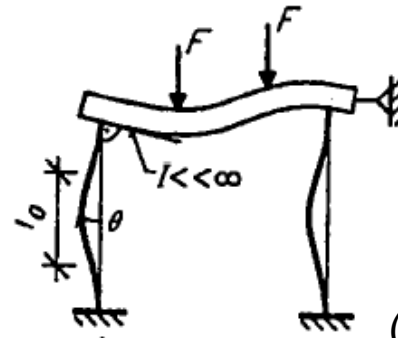
ztužený systém



a) $l_0 = l$

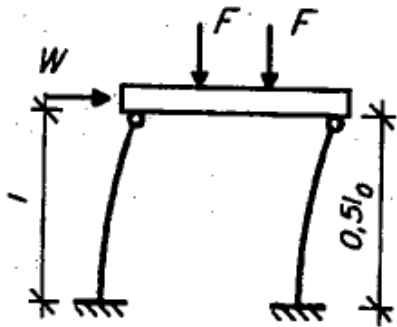


b) $l_0 = 0,5l$

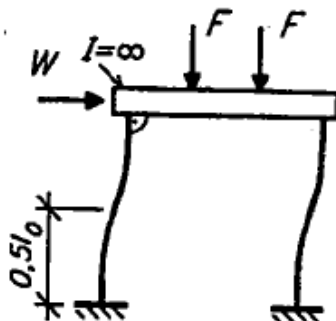


c) $0,5l < l_0 < 0,7l$

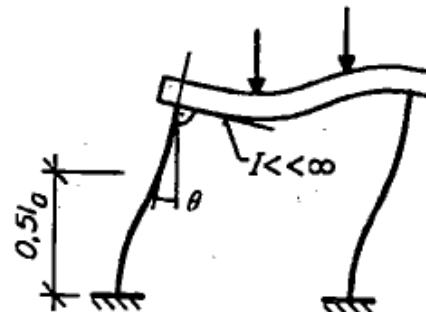
(při pružném
vetknutí až l)



d) $l_0 = 2l$



e) $l_0 = l$



f) $l < l_0 < 2l$

(při pružném
vetknutí $> 2l$)

neztužený systém

Příklady různých způsobů vybočení a odpovídajících účinných délek sloupů u jednoduchého vetknutého rámu

Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Praktické možnosti stanovení l_0 (dle EC2)

- pro ztužené prvky

$$l_0 = 0,5l \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)}$$

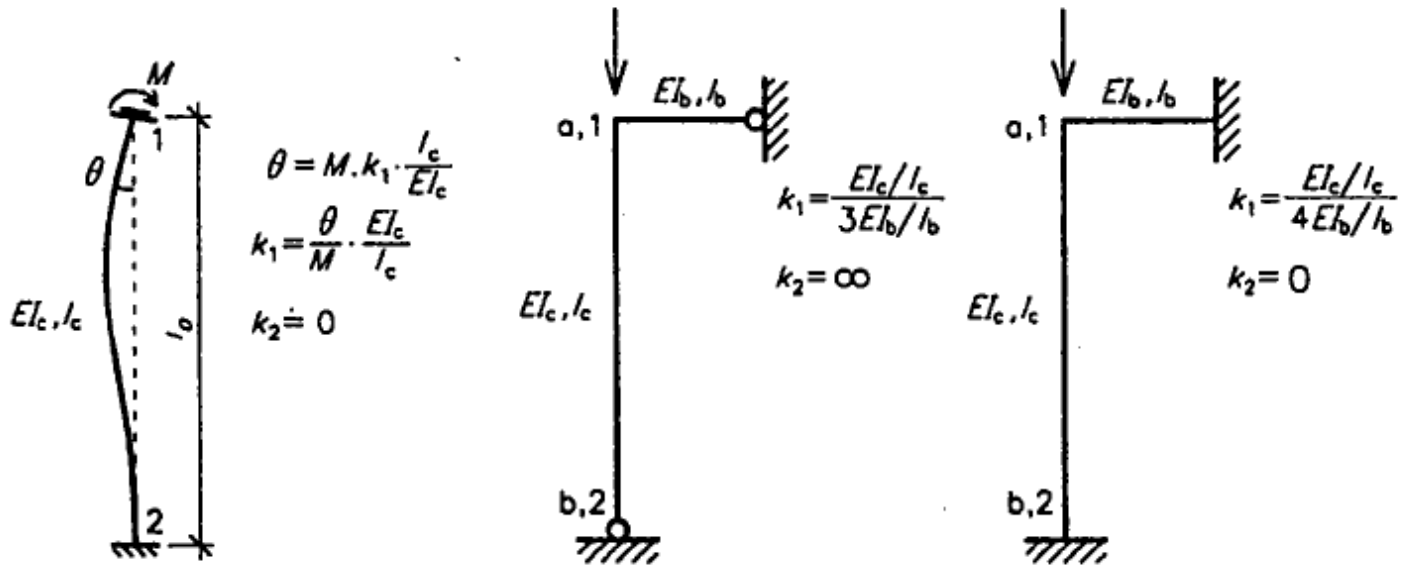
- pro neztužené prvky

$$l_0 = l \cdot \max \left\{ \left[\sqrt{1 + 10 \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}} \right]; \left[1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right] \left[1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right]; 10mm \right\}$$

- kde $k = (\theta / M)(EI / l)$ je poměrná ohebnost konců prvku (poddajnost natočení)

- ϑ je pootočení konce prvku při působení M

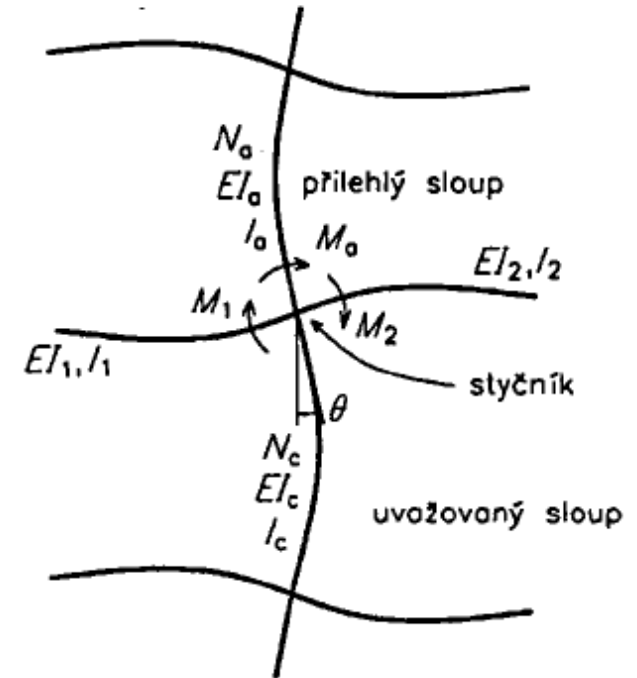
Chování štíhlých osamělých tlačенých prutů



Příklady stanovení ohebnosti

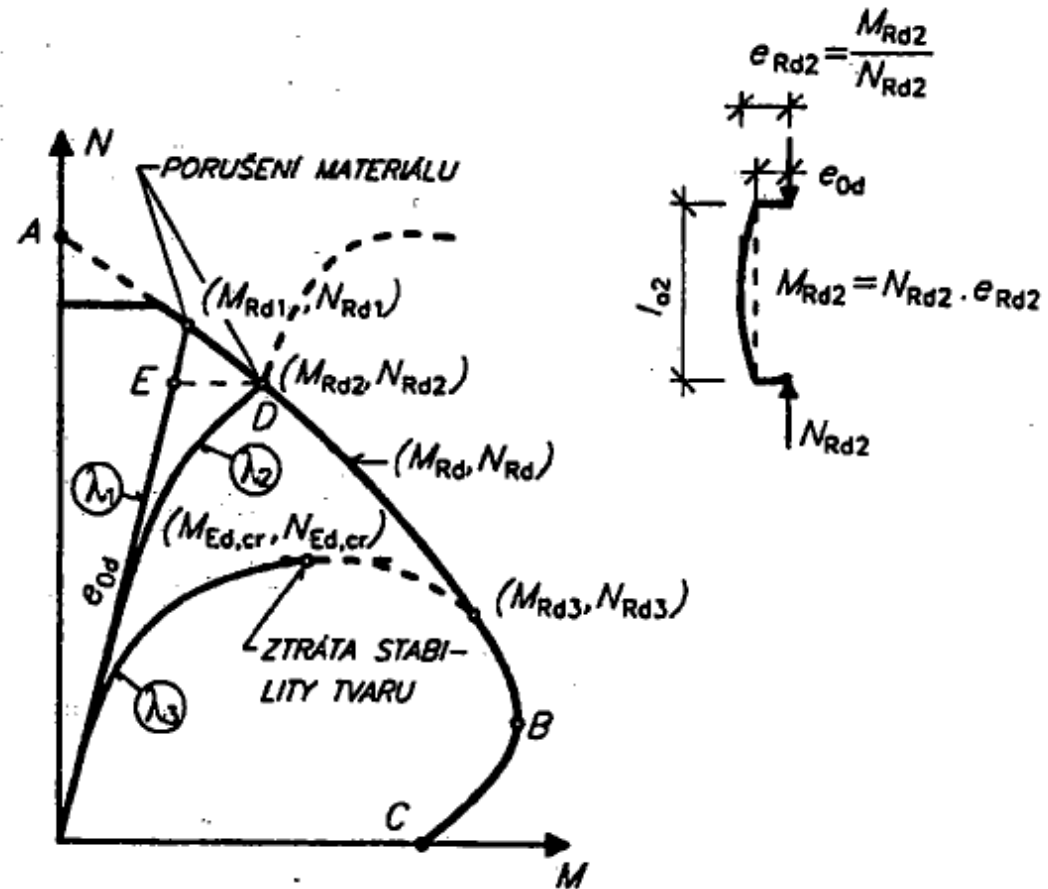
Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- u rámových konstrukcí, kdy jsou do styčnicku připojeny sloupy s různě velkými silami:
 - vybočí-li s rostoucím zatížením oba sloupy současně → oba se podílejí na upnutí k připojeným prvkům a na místo (EI/l) se použije ve vztahu pro výpočet k
$$\left[(EI/l)_a + (EI/l)_c \right]$$
 - je-li síla v přilehlém sloupu malá, pak lze tento sloup připojit k ostatním prvkům, které zachycují moment M

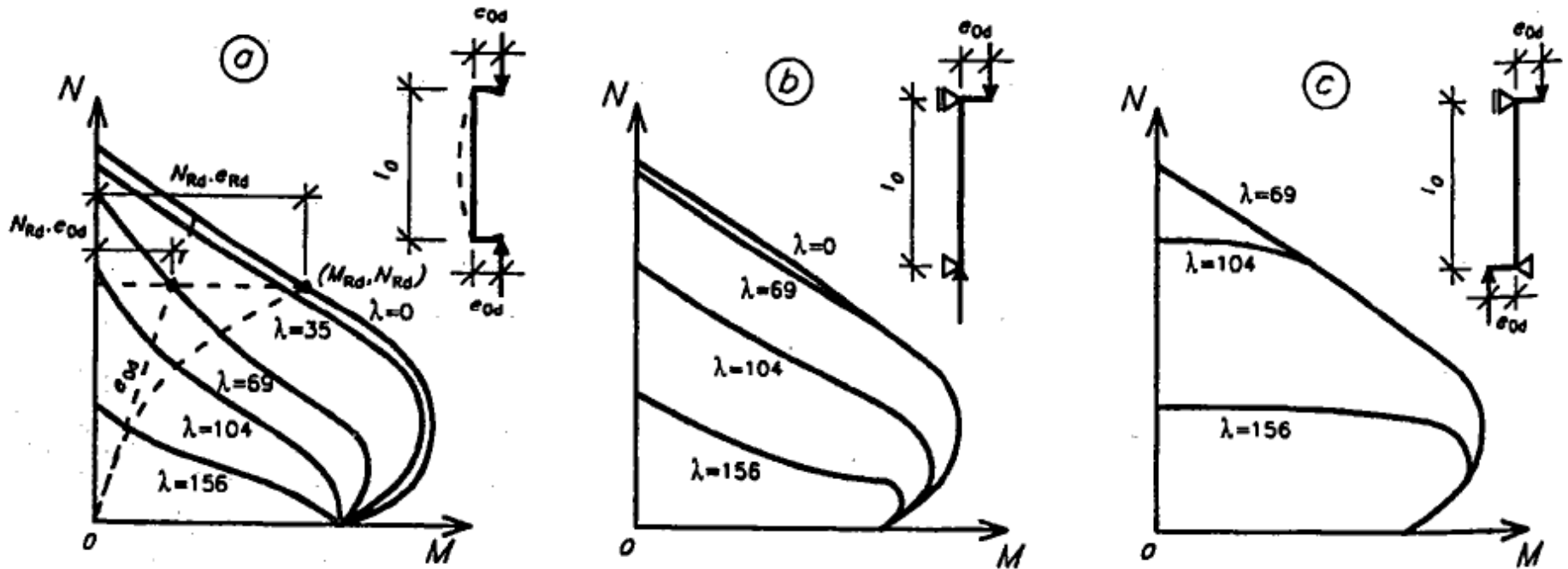


Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Vliv štíhlosti na únosnost
 - masívní prvky
 - středně štíhlé prvky
 - velmi štíhlé tlačené prvky



Chování štíhlých osamělých tlačných prutů



Redukované interakční diagramy pro různé velikosti štíhlostí

Chování štíhlých osamělých tlačných prutů

- Kritéria pro zanedbání účinků 2. řádu
 - Dle EC2 lze zanedbat, pokud jsou menší než 10%

$$M_{2E} = N_E e_2 \leq 0,1 M_E$$

- Zjednodušující kritéria

$$\lambda < \lambda_{lim} = 20A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} \leq 75$$

Podle Národní přílohy ČR

kde $A = 1 / (1 + 0,2\varphi_{ef}) \approx 0,7$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \approx 1,1$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

$$C = 1,7 - r_m \approx 0,7$$

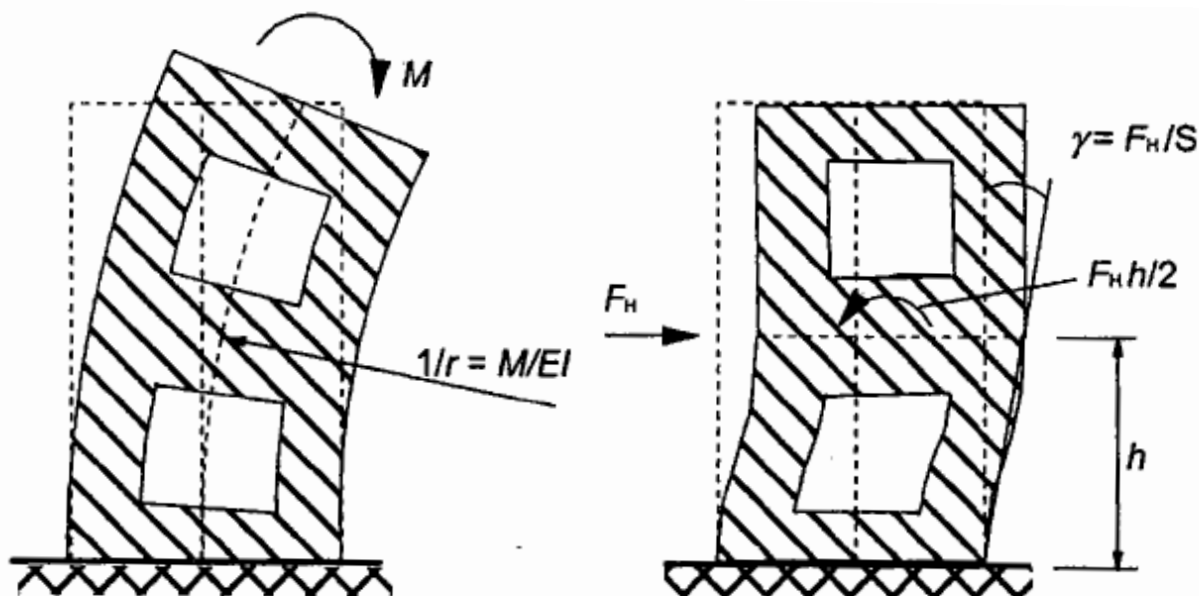
$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} ; |M_{02}| > |M_{01}|$$



$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$$

Chování štíhlých konstrukcí

- Kritéria pro zanedbání účinků 2. řádu
 - konstrukce bez významných smykových deformací
 - konstrukce s významnými smykovými deformacemi



definice celkových ohybových a smykových deformací ($1/r$ a γ) a odpovídajících tuhostí (EI a S)

Chování štíhlých konstrukcí

- Kritéria pro zanedbání účinků 2. řádu
 - konstrukce bez významných smykových deformací

$$F_{V,E} \leq 0,1F_{V,BB}$$

- $F_{V,E}$ je celkové svislé zatížení
- $F_{V,BB} = \xi \sum (EI / L^2)$ je vzpěrné břemeno pro ohyb

Chování štíhlých konstrukcí

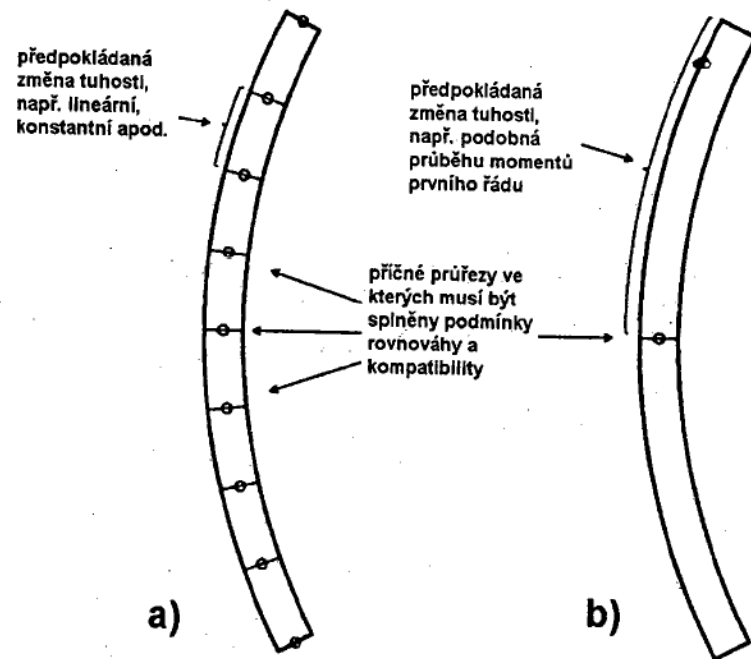
- Kritéria pro zanedbání účinků 2. řádu
 - konstrukce s významnými smykovými deformacemi

$$F_{V,E} \leq 0,1F_{V,B} = 0,1 \frac{F_{V,BB}}{1 + F_{V,BB} / F_{V,BS}}$$

- $F_{V,B}$ je celkové vzpěrné břemeno
- $F_{V,BB}$ celkové vzpěrné břemeno pro ohyb
- $F_{V,BS} = \sum S$ celkové vzpěrné břemeno pro smyk
- $\sum S$ celková smyková tuhost

Metody vyšetřování účinků 2. řádu

- Obecná – nelineární výpočet zahrnující geometrickou i fyzikální nelinearitu při splnění podmínek rovnováhy a kompatibility přetvoření v několika řezech
- Zjednodušené
 - založená na jmenovitých tuhostech
 - založená na jmenovité křivosti



Metody vyšetřování účinků 2. řádu

- Metoda založená na jmenovitých tuhostech

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

– zohlednit

- trhliny,
- materiálovou nelinearitu,
- dotvarování,
- interakce s nadložím,
- !! i vliv trhlin navazujících prvků.

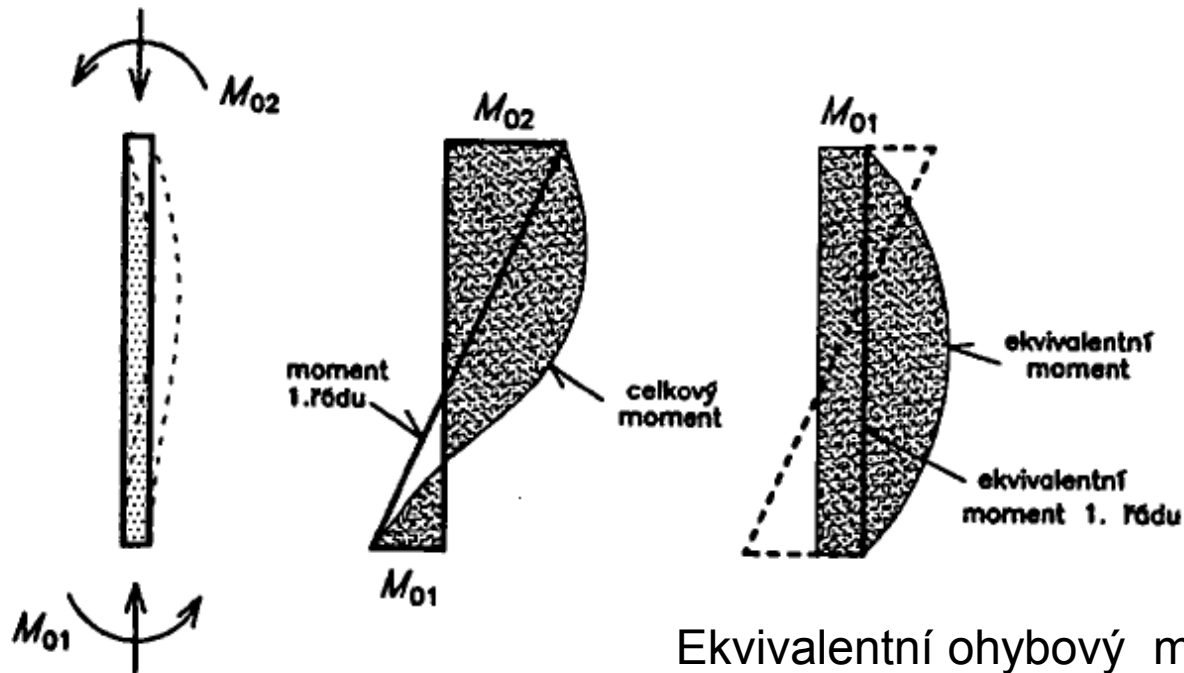
– praktické metody:

- ***zvětšení momentu z lineárního řešení***

$$M_E = M_{0E} \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_E} - 1} \right)$$

Metody vyšetřování účinků 2. řádu

- Metoda založená na jmenovitých tuhostech



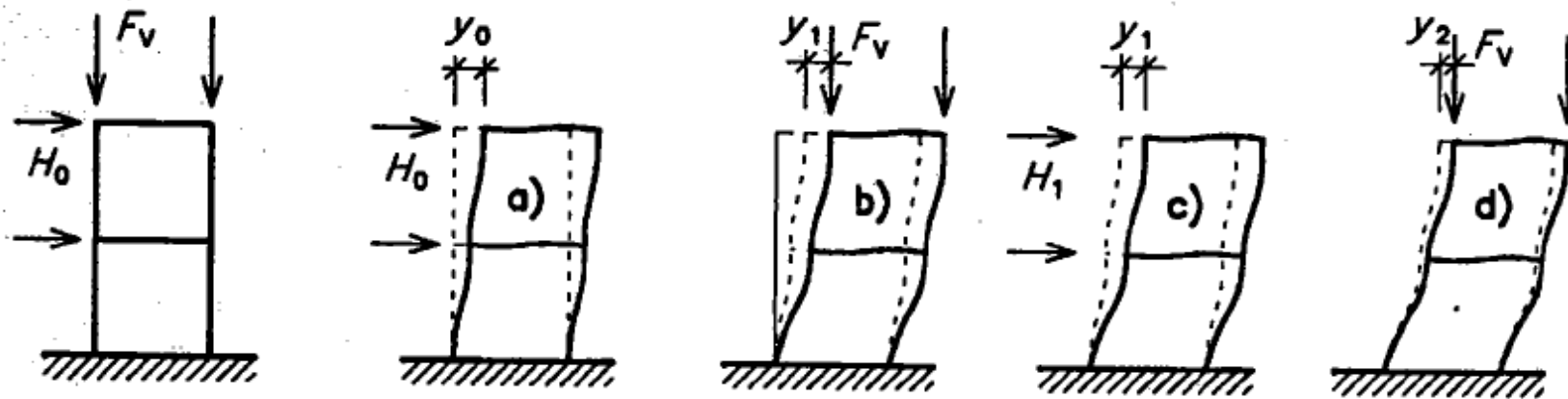
Ekvivalentní ohybový moment 1. řádu

$$M_{0E} = 0,6M_{01} + 0,4M_{02} \geq 0,4M_{02}$$

$$|M_{02}| \geq |M_{01}|$$

Metody vyšetřování účinků 2. řádu

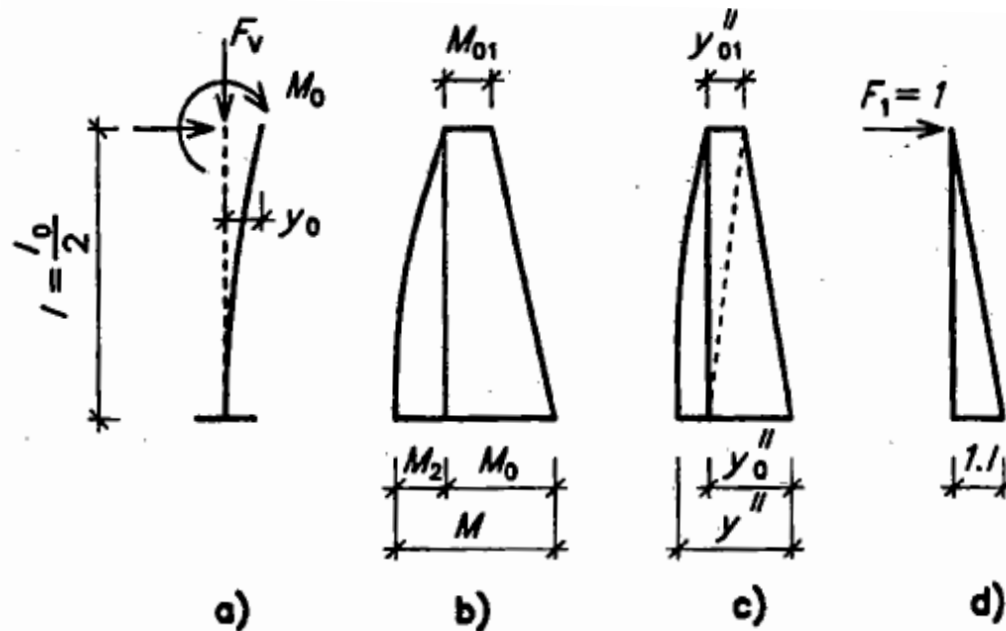
- *fiktivní zvětšení vodorovné síly na $F_{H,E}$*



Výpočet účinků druhého řádu po krocích pro vodorovné zatížení

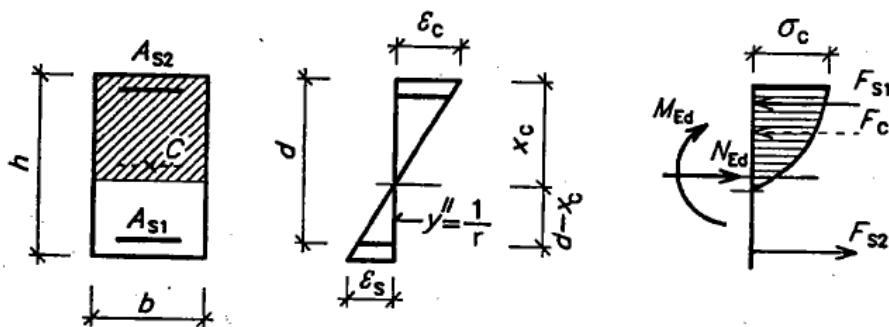
Metody vyšetřování účinků 2. řádu

- Metoda založená na jmenovité křivosti
 - vychází z tzv. **modelového sloupu** (náhradního štíhlého prutu=nehmotný přímý svislý prut vetknutý v patě a na horním okraji volný s definovaným průběhem křivosti): přetvoření ve vrcholu y_0 je přímo úměrné velikosti křivosti $y''(l)$

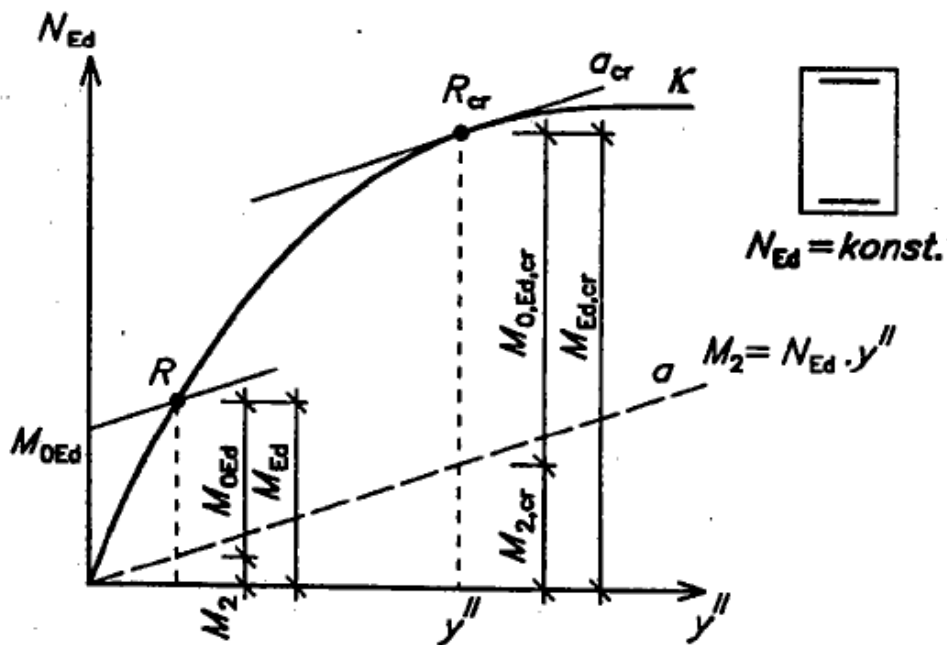


Metody vyšetřování účinků 2. řádu

– křivost v patě sloupu



$$y'' = \frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{\varepsilon_s}{d-x}$$



Metody vyšetřování účinků 2. řádu

- úprava metody (jmenovité křivosti) podle EC (vhodná pro osamělé pruty)

$$M_2 = N_E e_2$$

$$e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \frac{l_0^2}{c}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \left(\frac{1}{r_0}\right) K_\varphi K_n$$

$$\left(\frac{1}{r_0}\right) = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d}$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1; \quad \beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150$$

$$K_s = (n_u - n)/(n_u - n_{bal}) \leq 1; \quad n_u = 1 + \omega; \quad n_{bal} = 0,4$$

