

NNKB – 10. cvičení

Návrh a posouzení průřezu sloupu pomocí interakčního diagramu průřezu

Postup návrhu a posouzení průřezu sloupu

- 1) Návrh rozměrů průřezu sloupu
- 2) Návrh výztuže průřezu sloupu
- 3) Posouzení průřezu

Návrh průřezových rozměrů sloupu

Návrh průřezových rozměrů sloupu

Při návrhu vycházíme z podmínky, že působící síla N_{Ed} musí být menší než normálová únosnost při dostředném tlaku N_{Rd} .

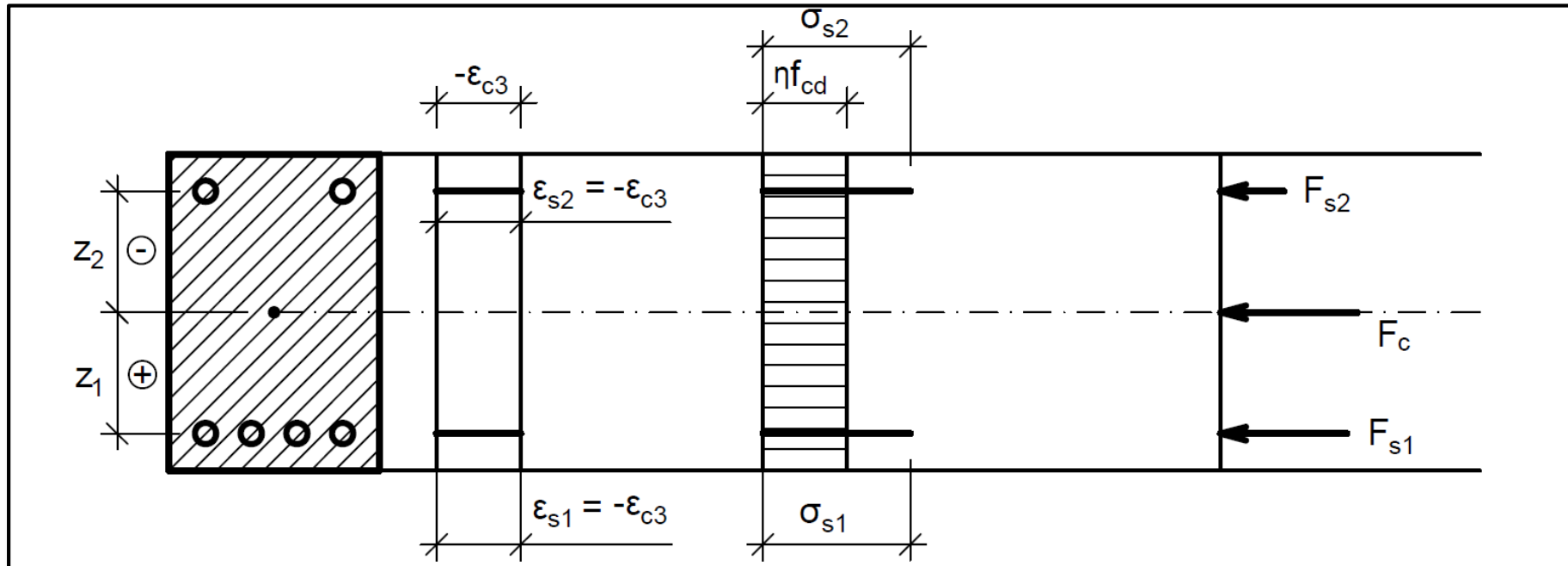
$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Normálová únosnost při dostředném tlaku

Pro normálovou únosnost platí vztah:

$$N_{Rd} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = 0.8A_c f_{cd} + A_{s1} \sigma_s + A_{s2} \sigma_s$$

$$N_{Rd} = 0.8A_c f_{cd} + A_s \sigma_s$$



Normálová únosnost při dostředném tlaku

$$N_{Rd} = 0.8A_c f_{cd} + A_s \sigma_s \geq N_{Ed}$$

známe

neznáme

Plocha výztuže

Plochu výztuže A_s neznáme, ale můžeme uvažovat přibližný stupeň vyztužení 2 %, tedy

$$A_s = 0.02A_c$$

Normálová únosnost při dostředném tlaku

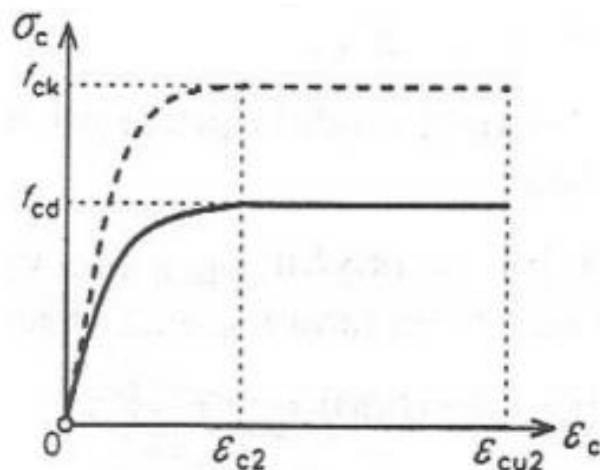
$$N_{Rd} = 0.8A_c f_{cd} + (0.02A_c)\sigma_s \geq N_{Ed}$$

$$A_{c,req} = \frac{N_{Ed}}{0.8f_{cd} + (0.02)\sigma_s}$$

Pokud bude vám zadána plocha $A_c (= bh)$ menší než požadovaná plocha $A_{s,req}$, změňte si zadání – tj. zvětšete šířku nebo výšku průřezu sloupu.

Normálová únosnost při dostředném tlaku

- Je důležité vědět, **jakou hodnotu napětí ve výztuži dosadit a proč**. Pevnosti betonu f_{cd} je dosaženo v okamžiku, kdy podle idealizovaného parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu (viz níže) je přetvoření betonu rovno $\varepsilon_{c2} = 0,002$.



Průřez je čistě tlačný. Jelikož přetvoření betonu i oceli musí být stejné, je v tomto okamžiku napětí ve výztuži rovno $\sigma_s = \varepsilon_{c2} E_s$. Pro výztuž s modulem pružnosti $E_s = 200 \text{ GPa}$ je tedy $\sigma_s = 0,002 \cdot 200000 = 400 \text{ MPa}$. Pokud je návrhová hodnota meze kluzu oceli větší než 400 MPa (což je náš případ, máme ocel B500B), dosazujeme **$\sigma_s = 400 \text{ MPa}$** . Pokud bychom měli ocel s mezí kluzu menší než 400 MPa, dosadili bychom $\sigma_s = f_{yd}$.

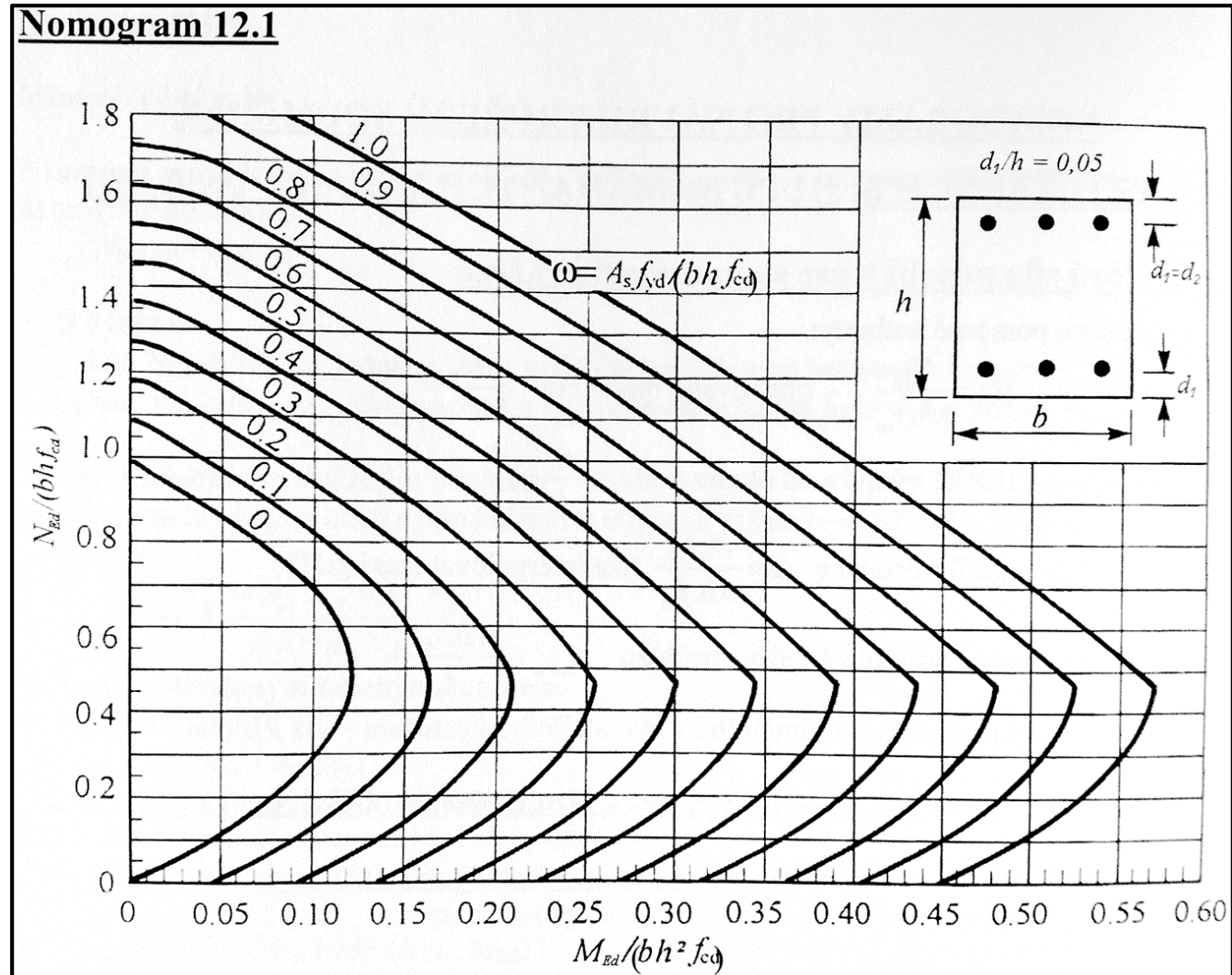
Návrh výztuže sloupu

Návrh výztuže sloupu

Výztuž lze navrhnout:

- odhadem (vlastní Excel, program na výpočet interakčního diagramu, ...)
- pomocí nomogramů 😞

Nomogramy



Volba nomogramu

Vybíráme z **nomogramů 12.1 až 12.3** (pro symetricky vyztužený obdélník) a to **podle poměru d_1/h** , kde

h je výška průřezu

$$d_1 = c + \varnothing_{tř} + \varnothing/2$$

c je krytí výztuže (převzít z předchozího úkolu)

$\varnothing_{tř}$ je průměr třmínek (volit 8 mm)

\varnothing je průměr hlavní podélné výztuže (odhad 22 mm)

Podle hodnoty d_1/h zvolíme nejvhodnější nomogram.

Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

Poměrné využití betonového průřezu normálovou silou:

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} = \frac{F_d}{A_c f_{cd}}$$

Poměrné využití betonového průřezu ohybovým momentem:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{F_d e}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu podle ν a μ stanovíme součinitel ω .

Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

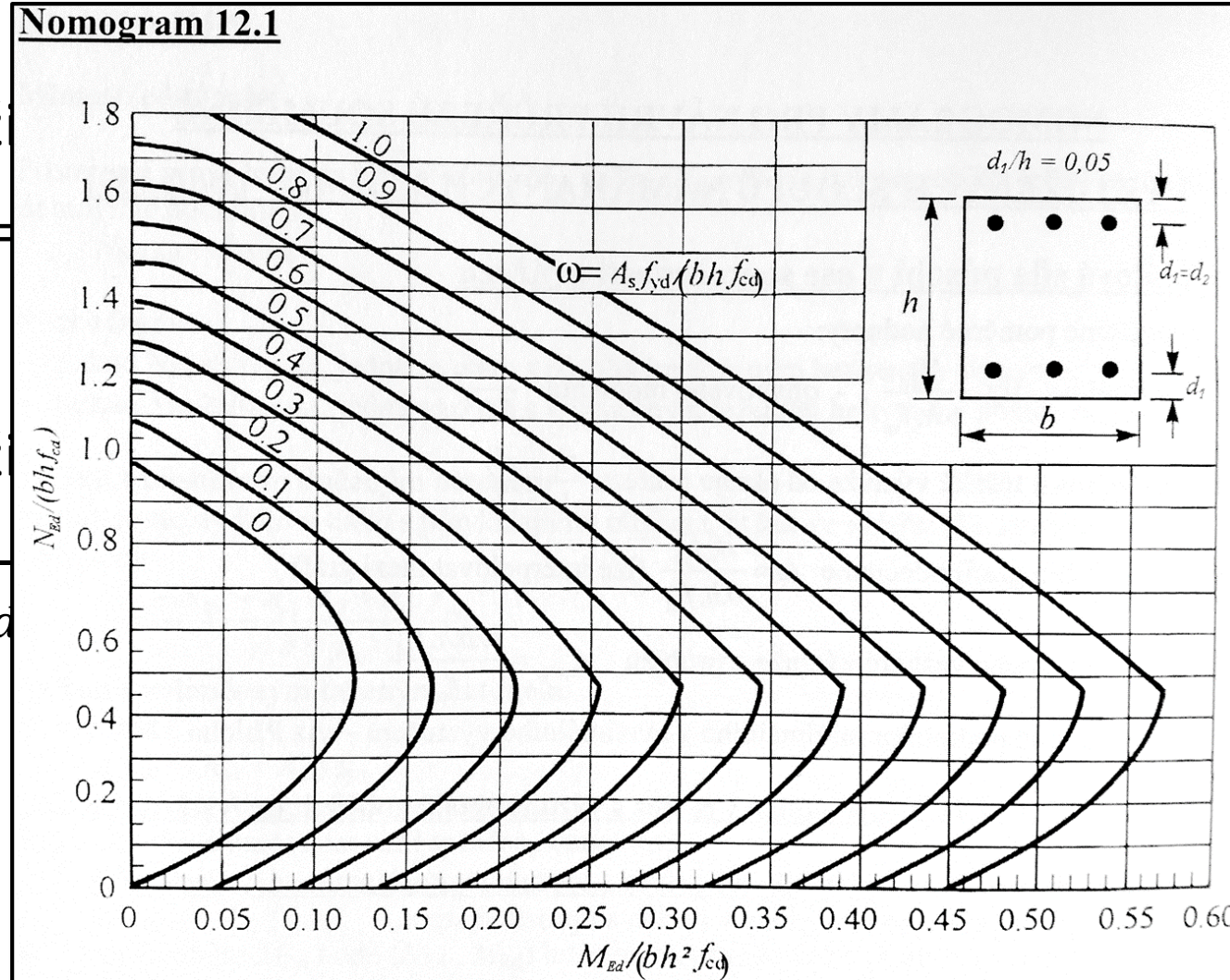
Poměrné využití

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

Poměrné využití

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu



Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

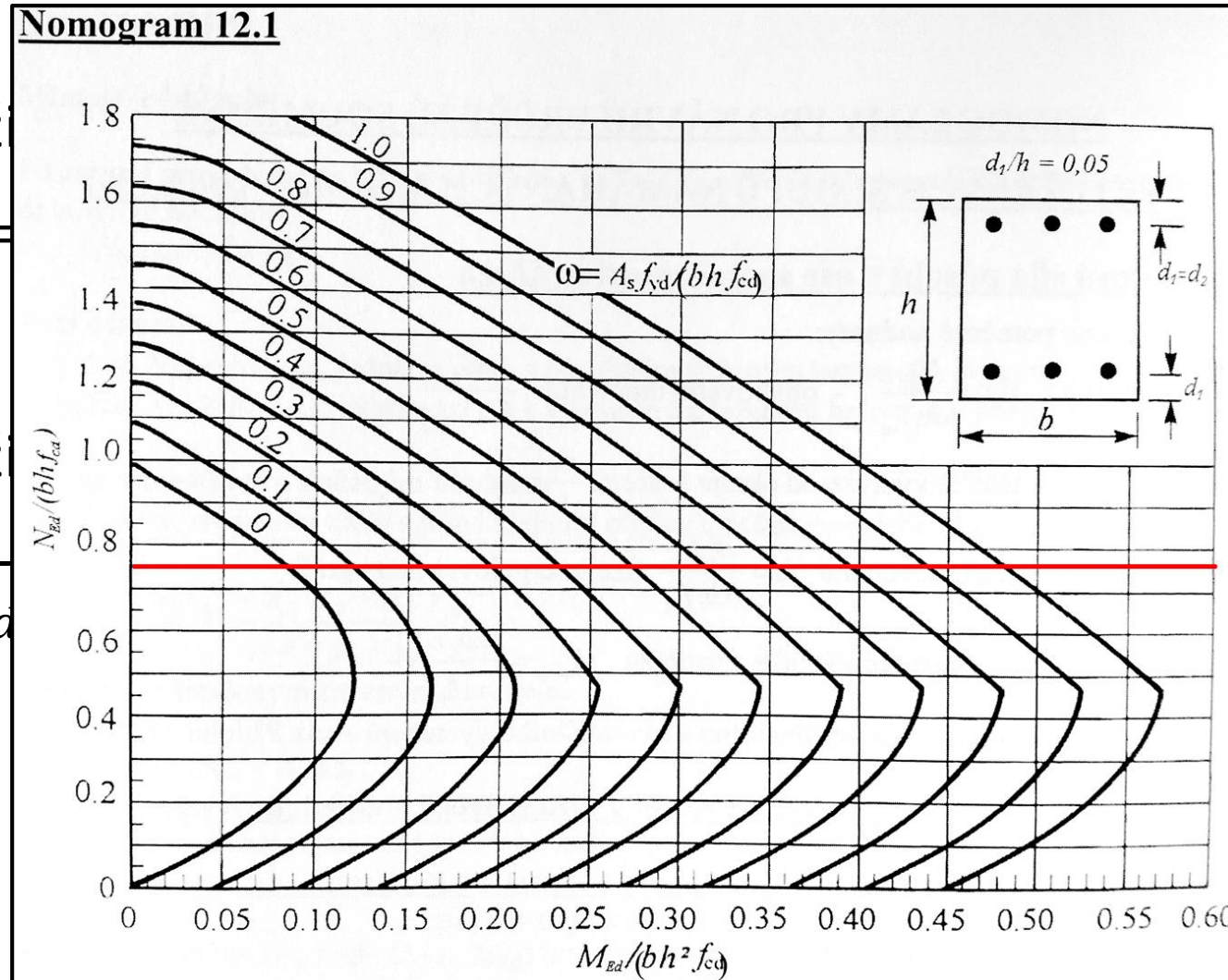
Poměrné využití

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

Poměrné využití

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu



Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

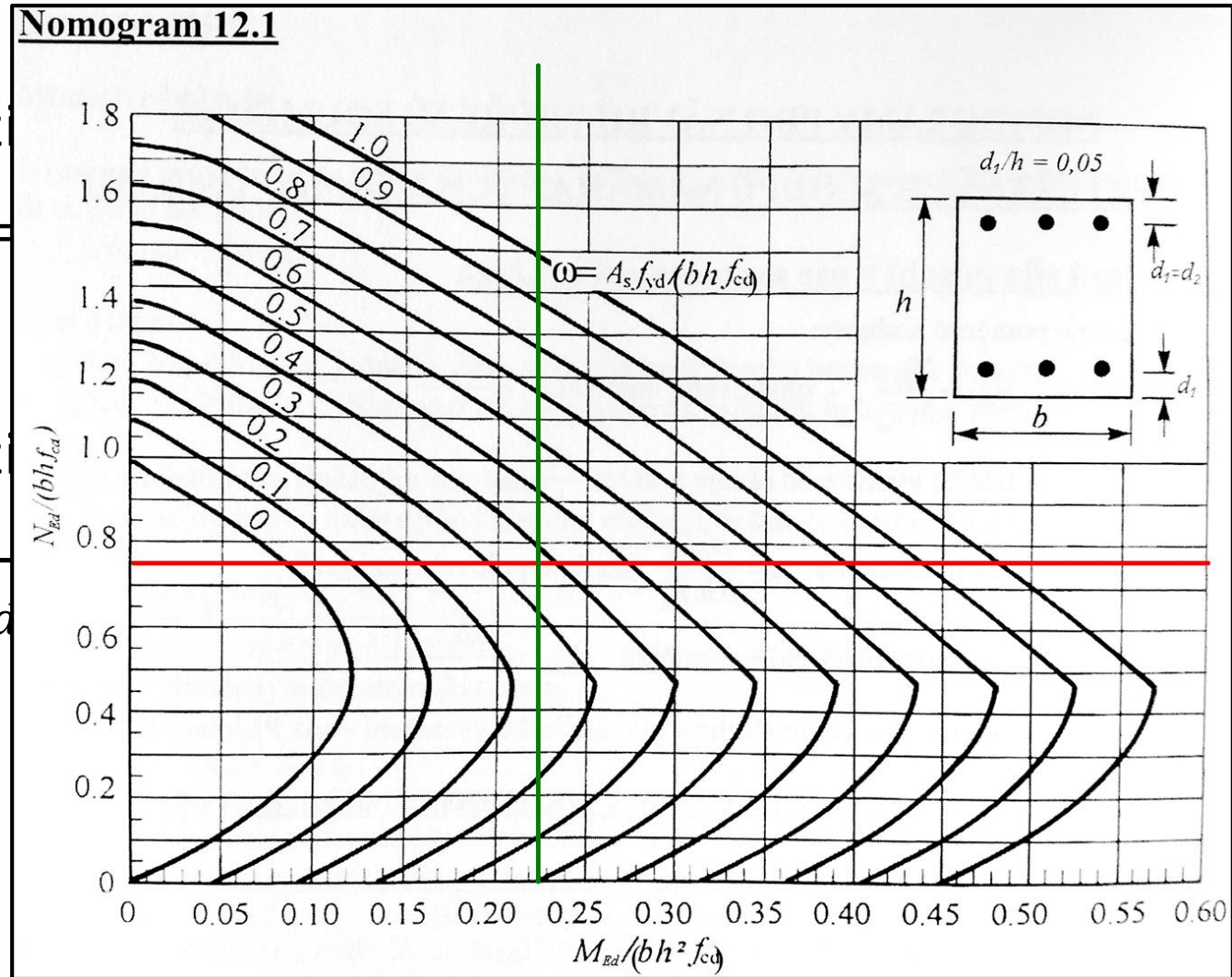
Poměrné využití

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

Poměrné využití

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu



Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

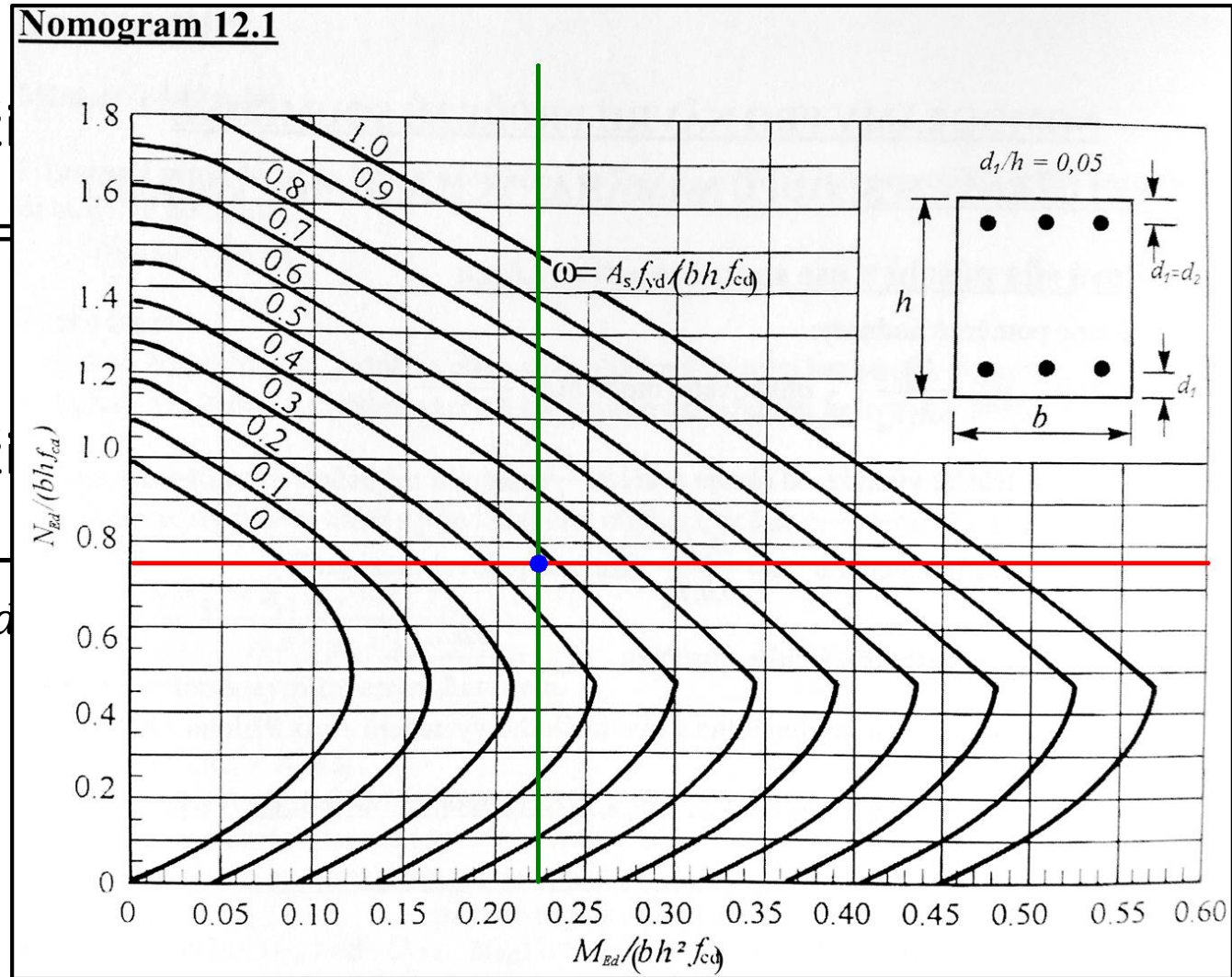
Poměrné využití

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

Poměrné využití

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu



Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

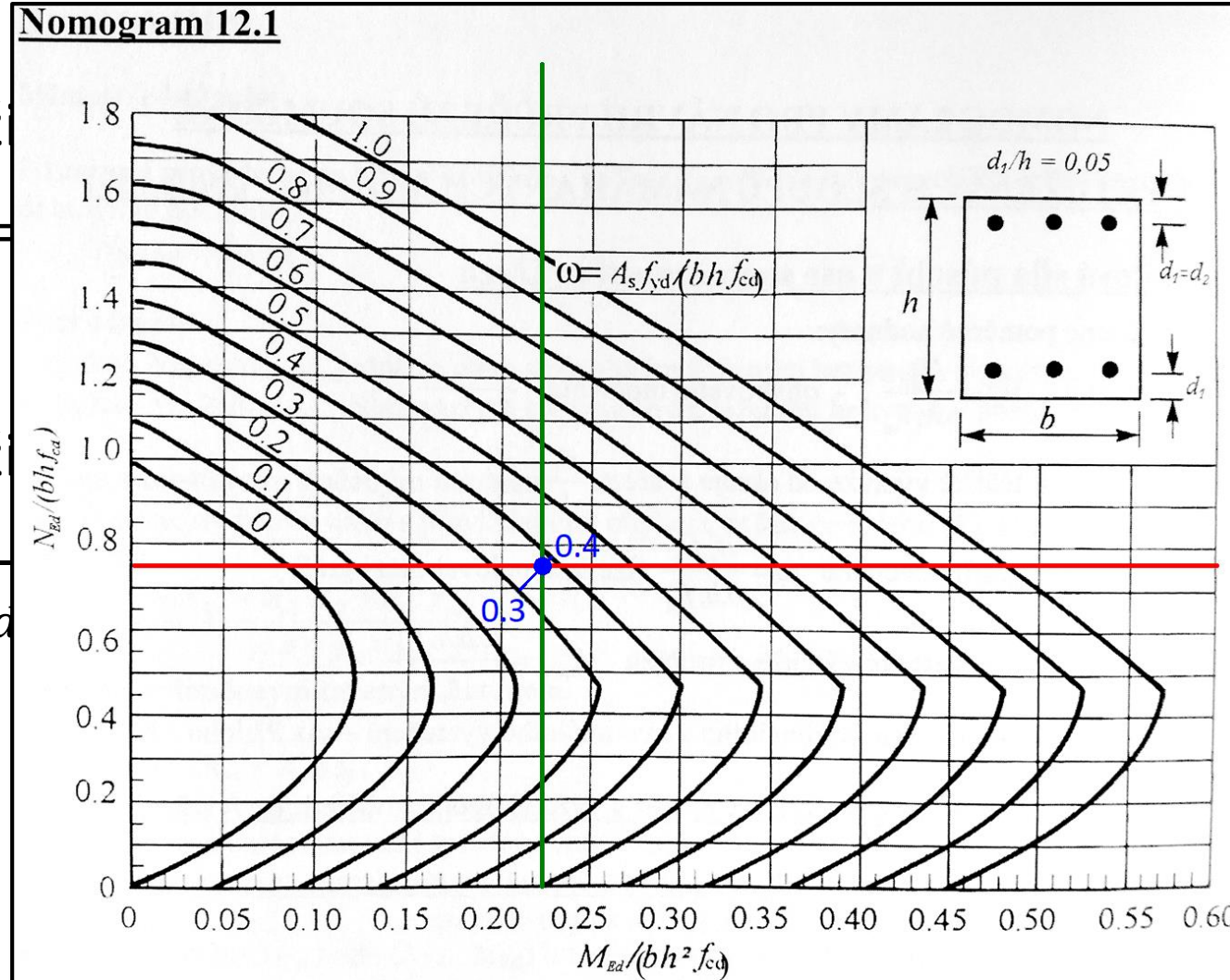
Poměrné využití

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

Poměrné využití

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu



Použití nomogramu – stanovení součinitele ω

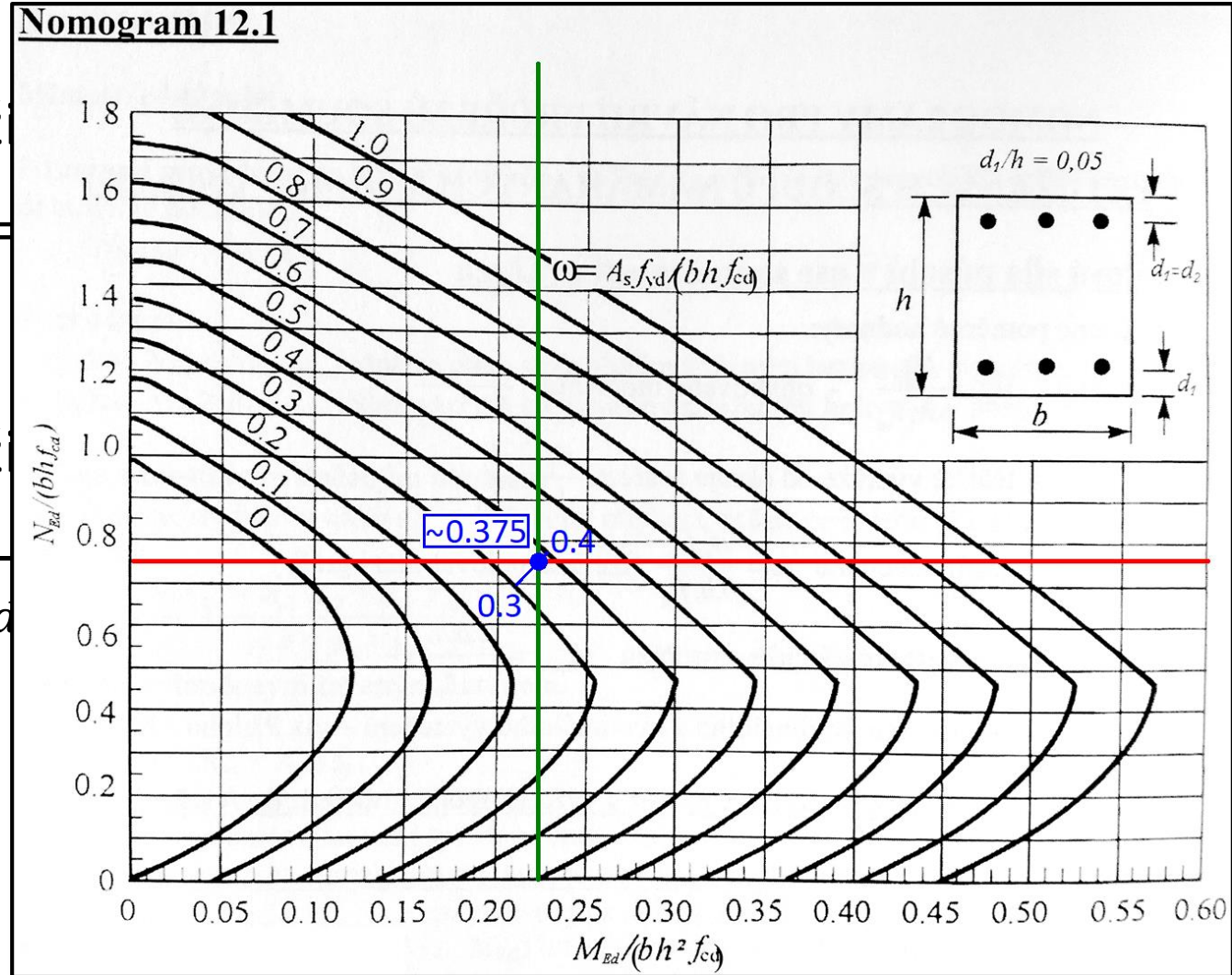
Poměrné využití

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

Poměrné využití

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

Z nomogramu



Použití nomogramu – stanovení plochy $A_{s,req}$

Potřebná plocha výztuže ve sloupu se určí ze vztahu

$$A_{s,req} = \frac{\omega A_c f_{cd}}{f_{yd}}$$

Konstrukční zásady výztuže

Navržená plocha výztuže musí splňovat tyto zásady.

$$A_{s,\text{prov}} \geq A_{s,\text{min}} = \max \left(0,1 \frac{N_{\text{Ed}}}{f_{\text{yd}}}; 0,002 A_c \right)$$

$$A_{s,\text{prov}} \leq A_{s,\text{max}} = 0,04 A_c$$

$$\varnothing_s \geq 12 \text{ mm}$$

Konečný návrh výztuže

Je třeba navrhnout takové pruty a takový počet prutů, aby $A_{s,prov}$ byla větší než $A_{s,req}$ a splňovala všechny konstrukční zásady.

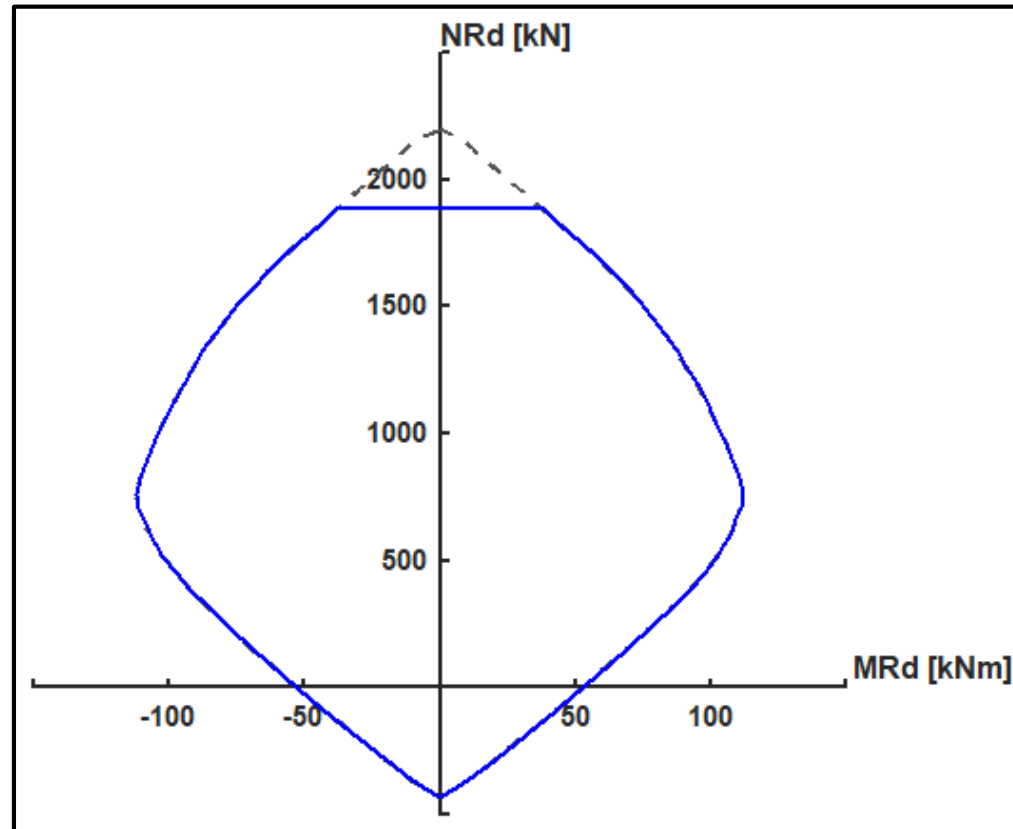
Návrh: $n \times \emptyset_s$ ($A_{s,prov} = \dots \text{ mm}^2$)

Návrh: $6 \times \emptyset 16$ ($A_{s,prov} = 1206 \text{ mm}^2$)

Posouzení průřezu

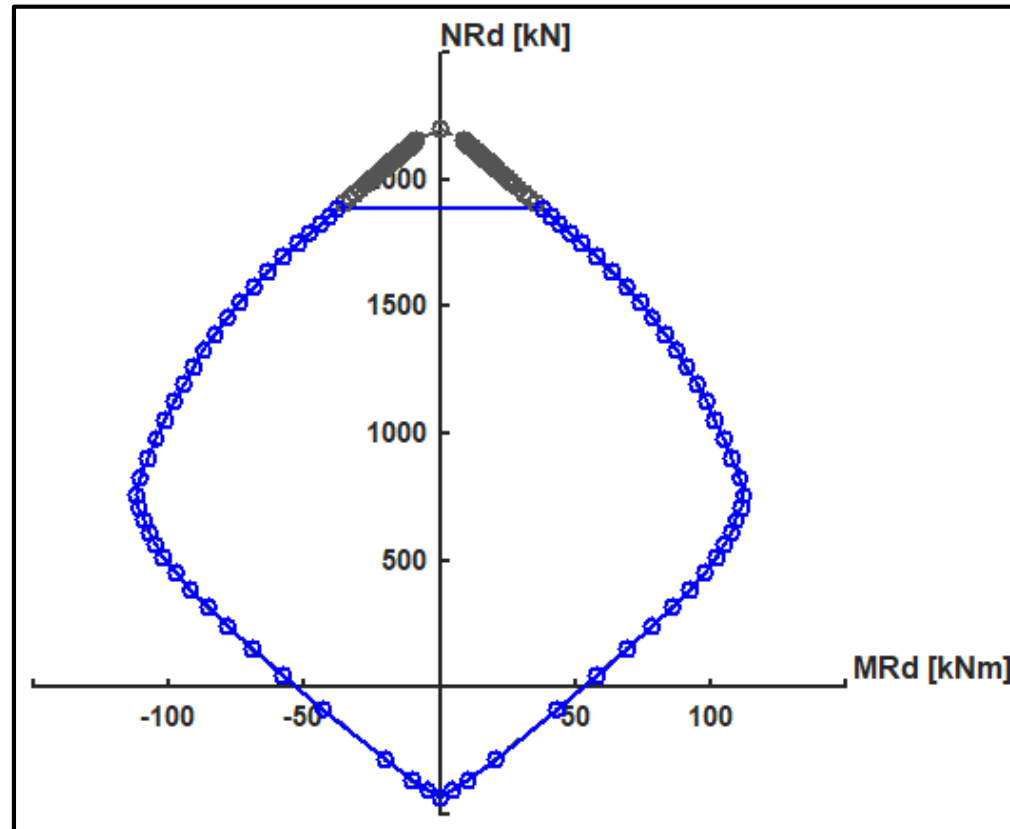
Posouzení průřezu

Průřez namáhaný N+M se posuzuje pomocí *interakčního diagramu průřezu*.



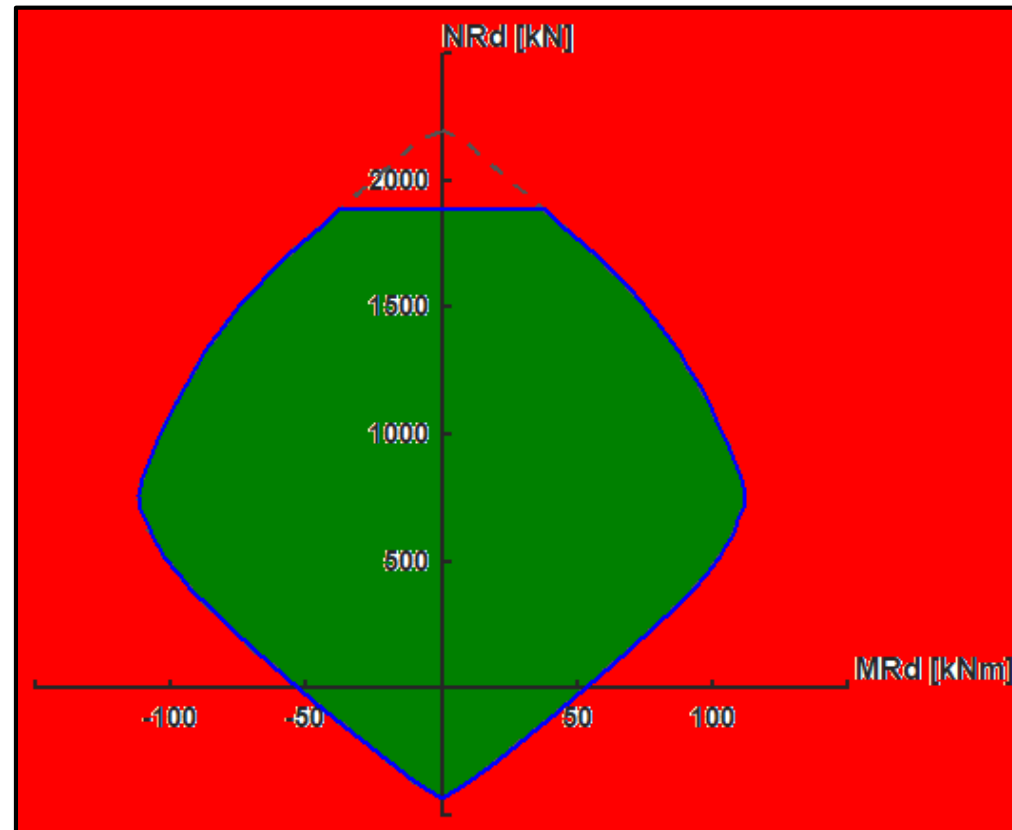
Posouzení průřezu

IDP je graf čáry, která je složena z hromady bodů. Každý bod vyjadřuje únosnost průřezu při určitém typu namáhání (prostý tlak, tah, ohyb, kombinace, ...).



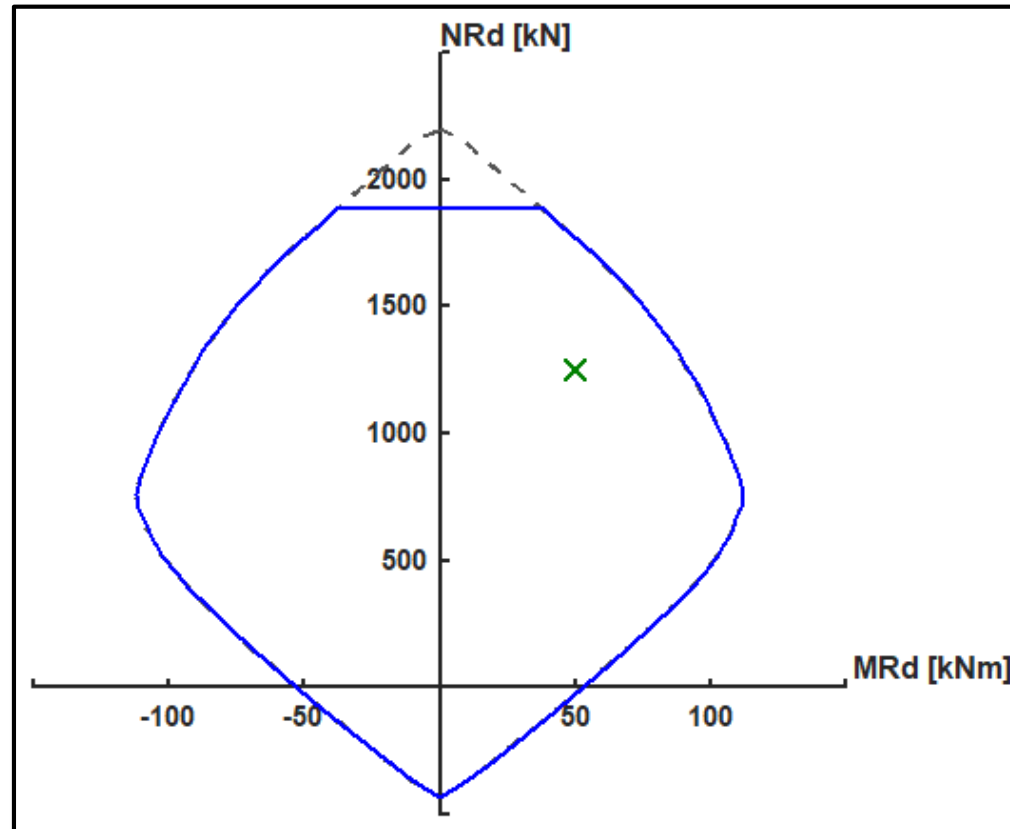
Posouzení průřezu

Když každý bod čáry vyjadřuje únosnost průřezu, tak všechny body uvnitř vyjadřují menší zatížení (vyhovují) a všechny vně vyjadřují větší zatížení (nevyhovují).



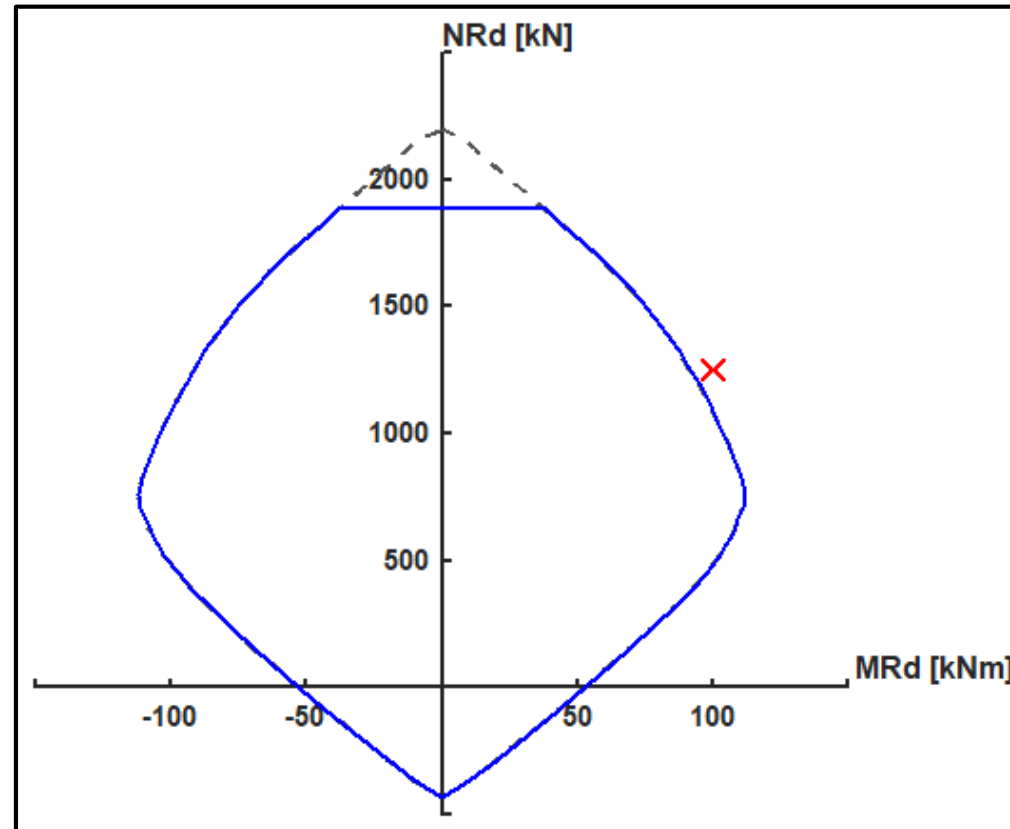
Posouzení průřezu

Když do grafu vyneseme zadané zatížení N_{Ed}/M_{Ed} a bod bude ležet uvnitř grafu, tak je zatížení menší než únosnost a návrh vyhovuje.



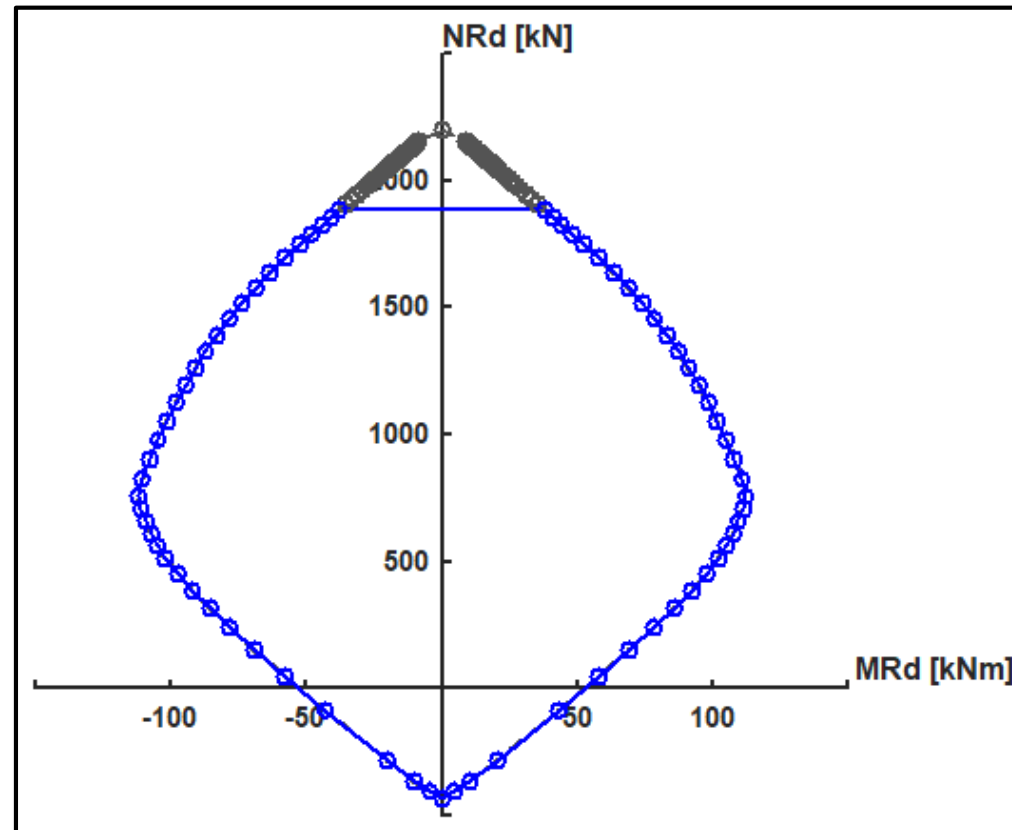
Posouzení průřezu

Když do grafu vyneseme zadané zatížení N_{Ed}/M_{Ed} a bod bude ležet mimo graf, tak je zatížení větší než únosnost a návrh nevyhovuje a průřez se musí změnit.



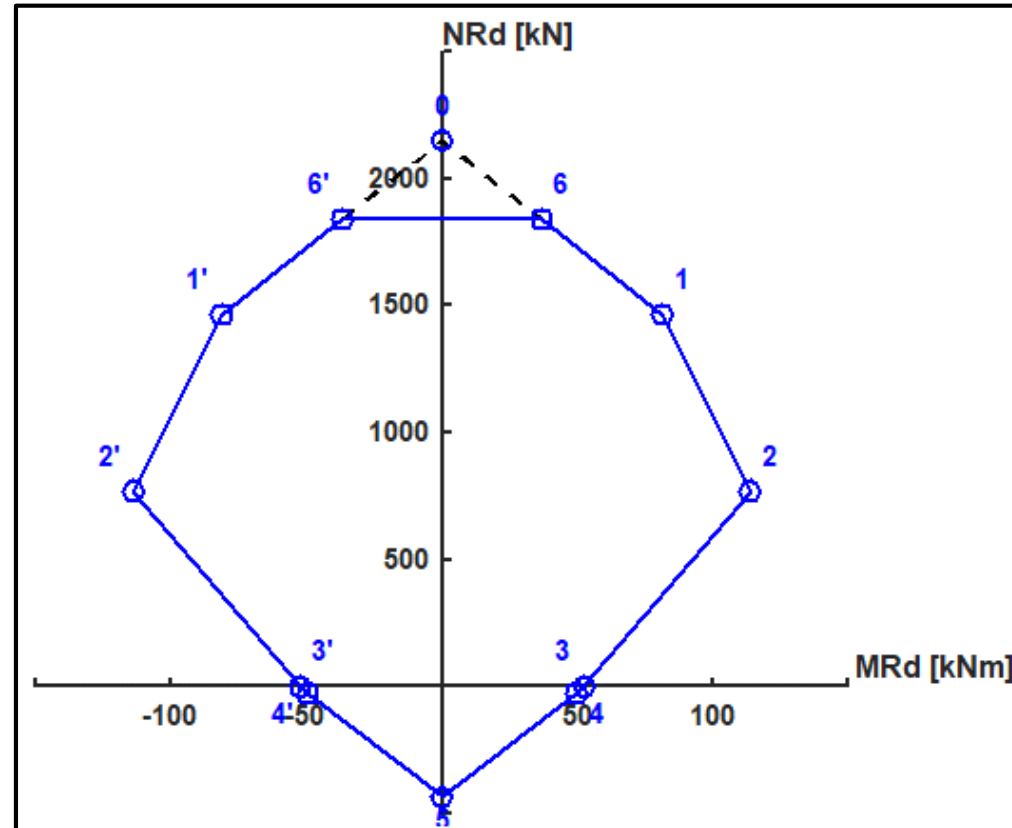
Sestrojení interakčního diagramu

Pro sestavení IDP je nutné spočítat jednotlivé body, vynést je do grafu a spojit je.



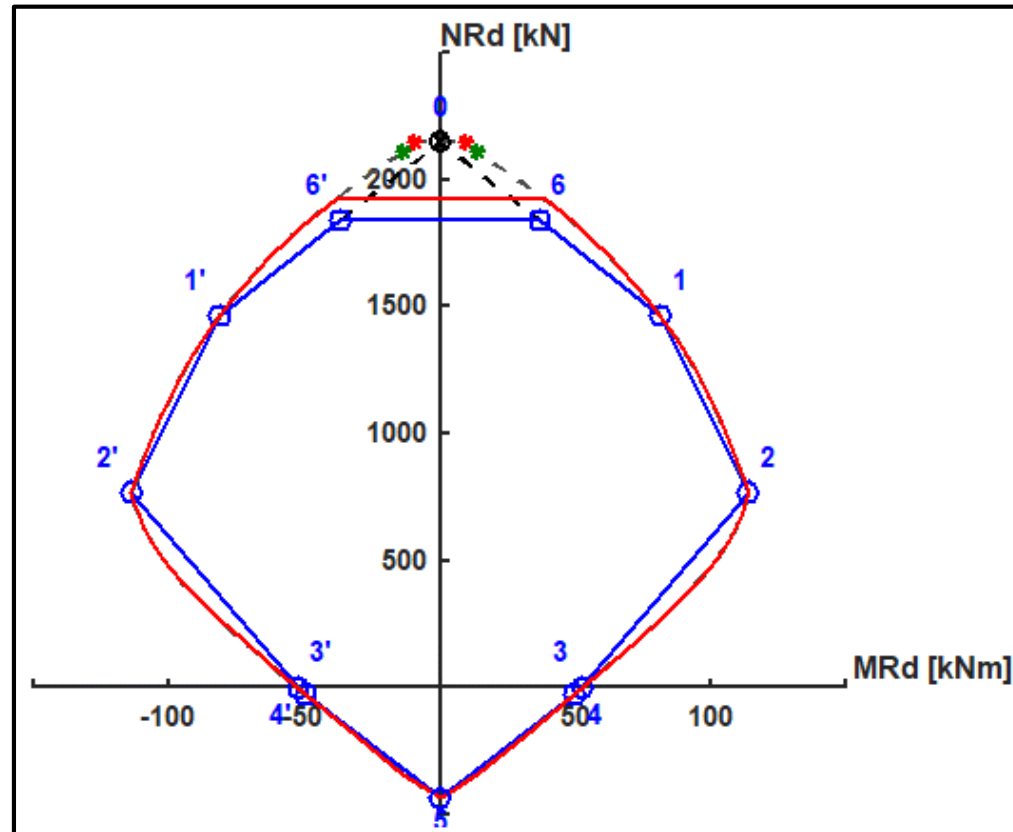
Sestrojení interakčního diagramu

Není nutné počítat velké množství bodů, stačí pouze několik významných a jednoduchých bodů.



Poznámka

Bodový interakční diagram, tj. interakční diagram složený pouze z několika bodů, je na straně bezpečné. Skutečný interakční diagram je větší.



Výpočet bodu – obecně

Postup výpočtu bodu, tj. únosnosti průřezu při daném namáhání, je stejný pro všechny body.

- 1) Volba polohy neutrální osy (tj. výšky tlačené oblasti)
- 2) Výpočet poměrných přetvoření ϵ_c , ϵ_{s1} , ϵ_{s2}
- 3) Výpočet napětí σ_c , σ_{s1} , σ_{s2}
- 4) Výpočet sil F_c , F_{s1} , F_{s2}
- 5) Výpočet ramen sil z_c , z_{s1} , z_{s2}
- 6) Výpočet únosnosti N_{Rd} a M_{Rd}

1) Volba polohy neutrální osy

Polohu neutrální osy volíme podle toho, jaký bod chceme řešit. K tomu se dostaneme později.

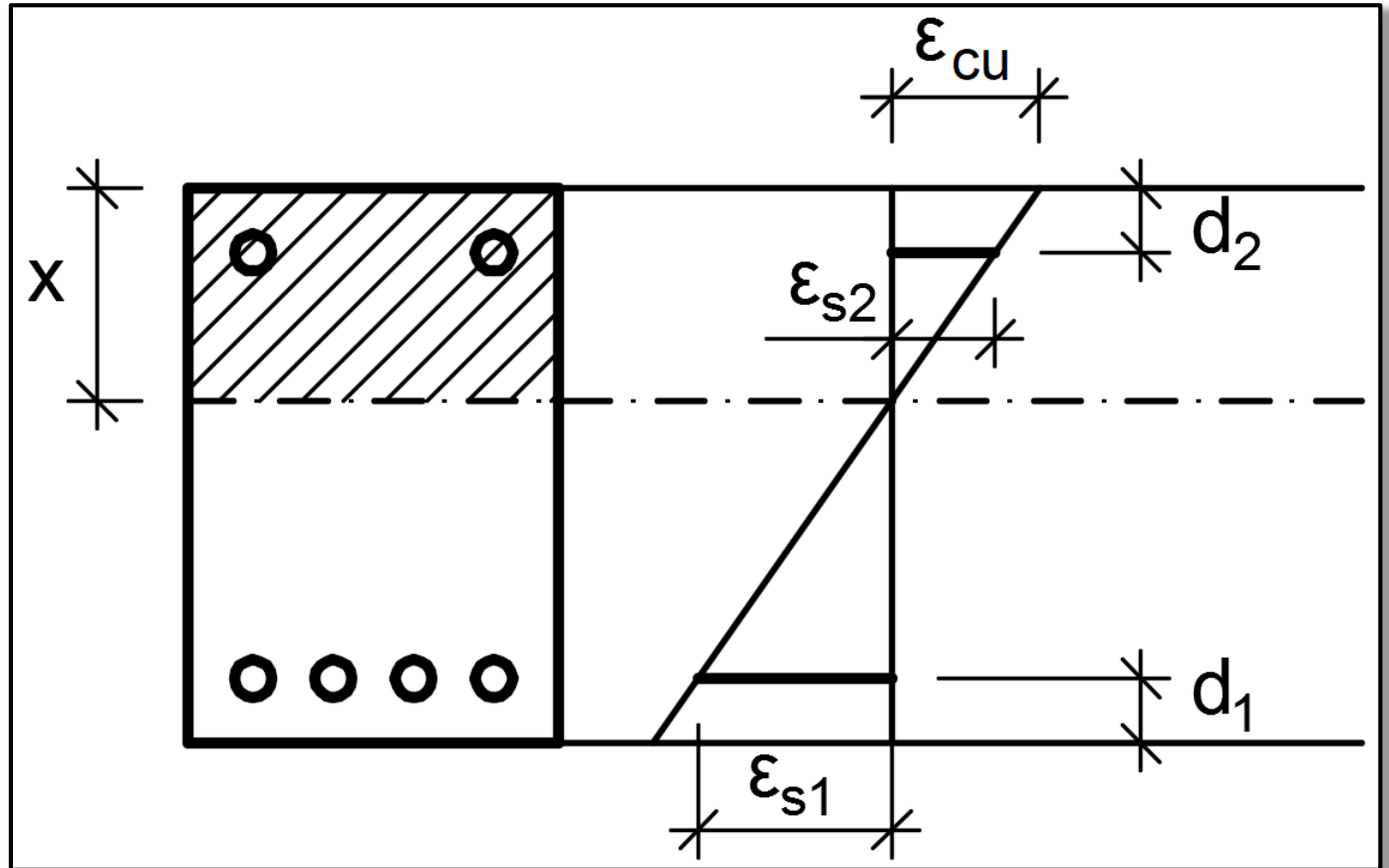
Nyní jen bereme, že poloha neutrální osy x je daná.

2) Výpočet poměrného přetvoření

$$\varepsilon_{s1} = \frac{x - (h - d_1)}{x} \varepsilon_{cu}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{x - d_2}{x} \varepsilon_{cu}$$

$$\varepsilon_{cu} = -0.0035$$

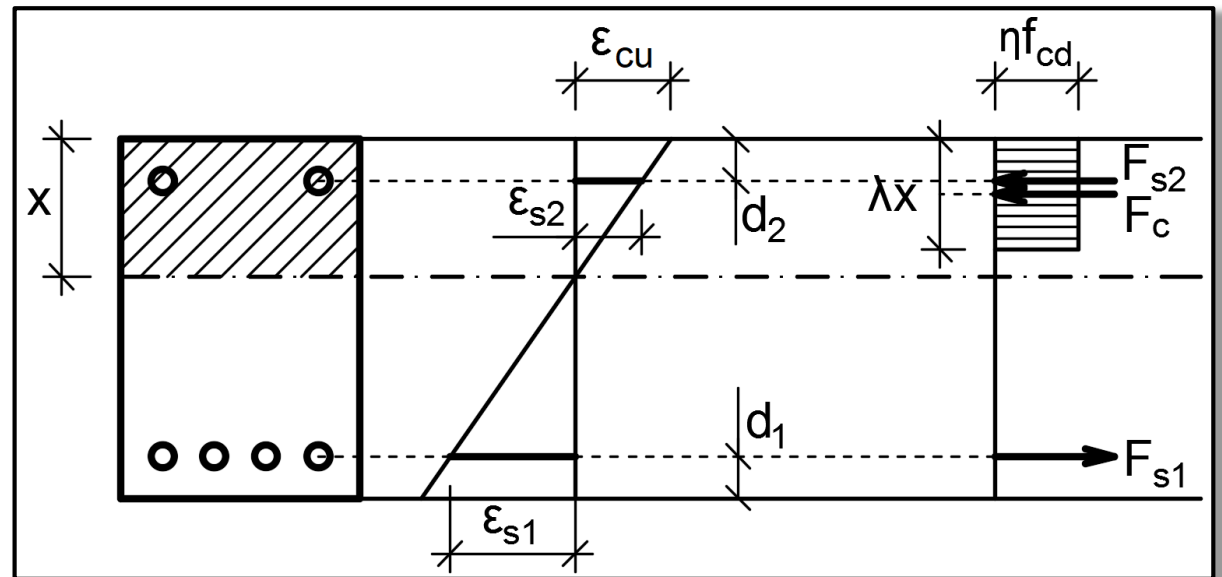


3) Výpočet napětí

$$\sigma_c = -f_{cd}$$

$$\sigma_{s1} = \text{sgn}(\varepsilon_{s1}) \cdot \min(|\varepsilon_{s1}|E_s, f_{yd})$$

$$\sigma_{s2} = \text{sgn}(\varepsilon_{s2}) \cdot \min(|\varepsilon_{s2}|E_s, f_{yd})$$

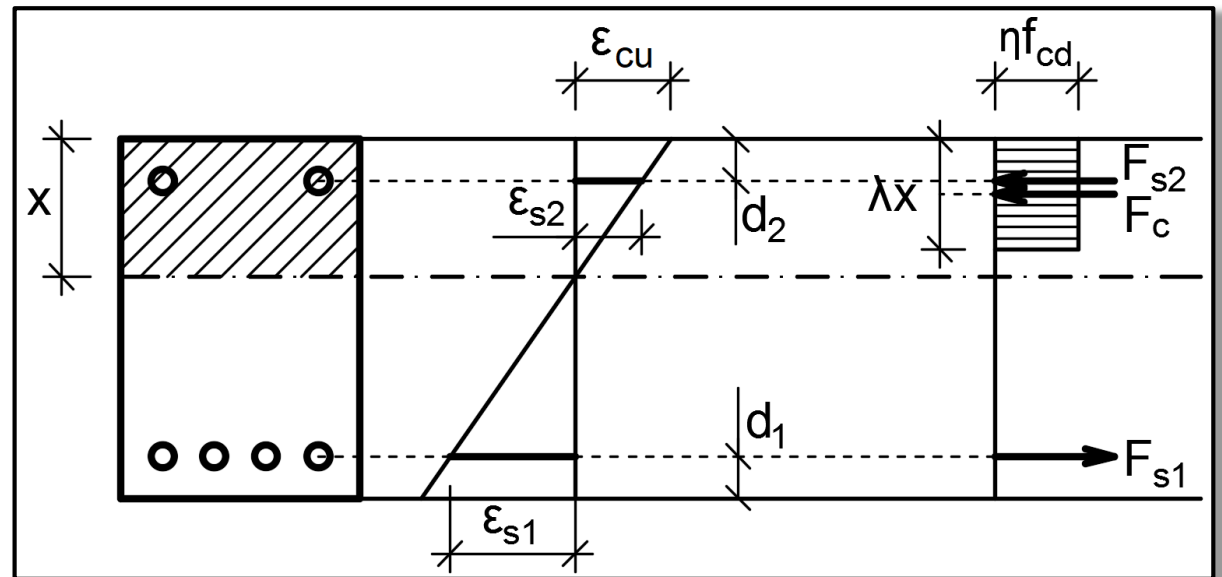


4) Výpočet sil

$$F_c = 0.8bx\sigma_c = -0.8xbf_{cd}$$

$$F_{s1} = A_{s1}\sigma_{s1} = (A_{s,prov}/2)\sigma_{s1}$$

$$F_{s2} = A_{s2}\sigma_{s2} = (A_{s,prov}/2)\sigma_{s2}$$

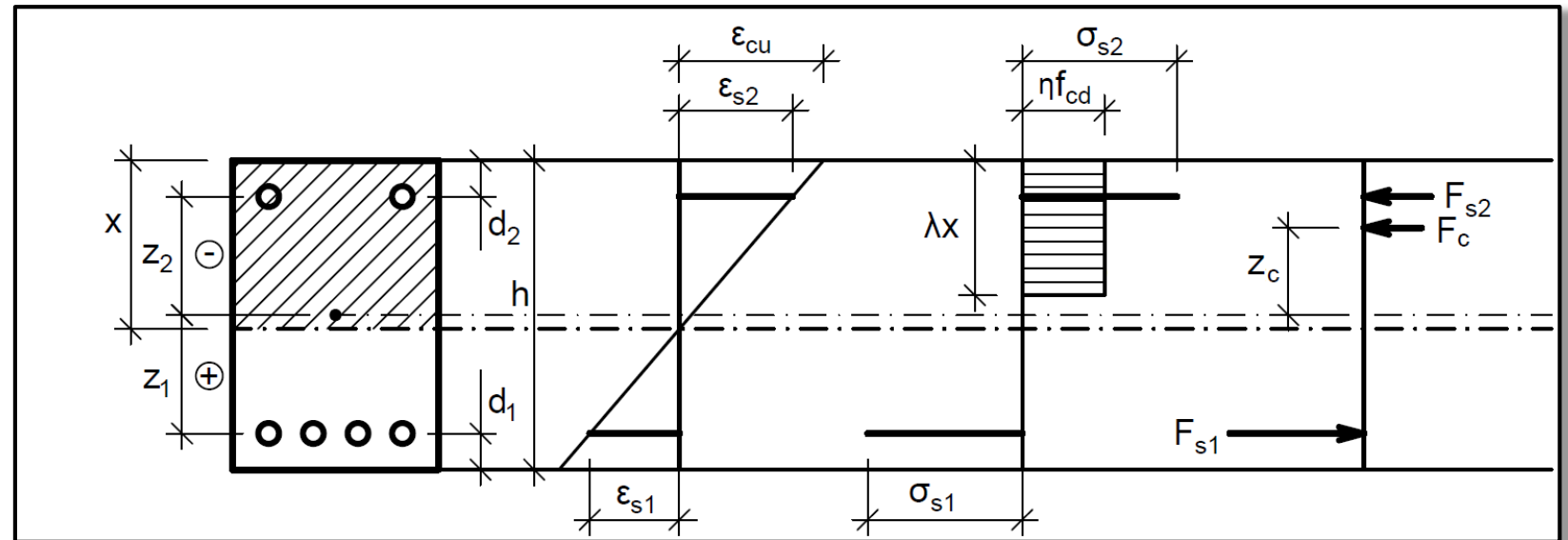


5) Výpočet ramen sil

$$z_c = (0.4x - h/2)$$

$$z_{s1} = h/2 - d_1$$

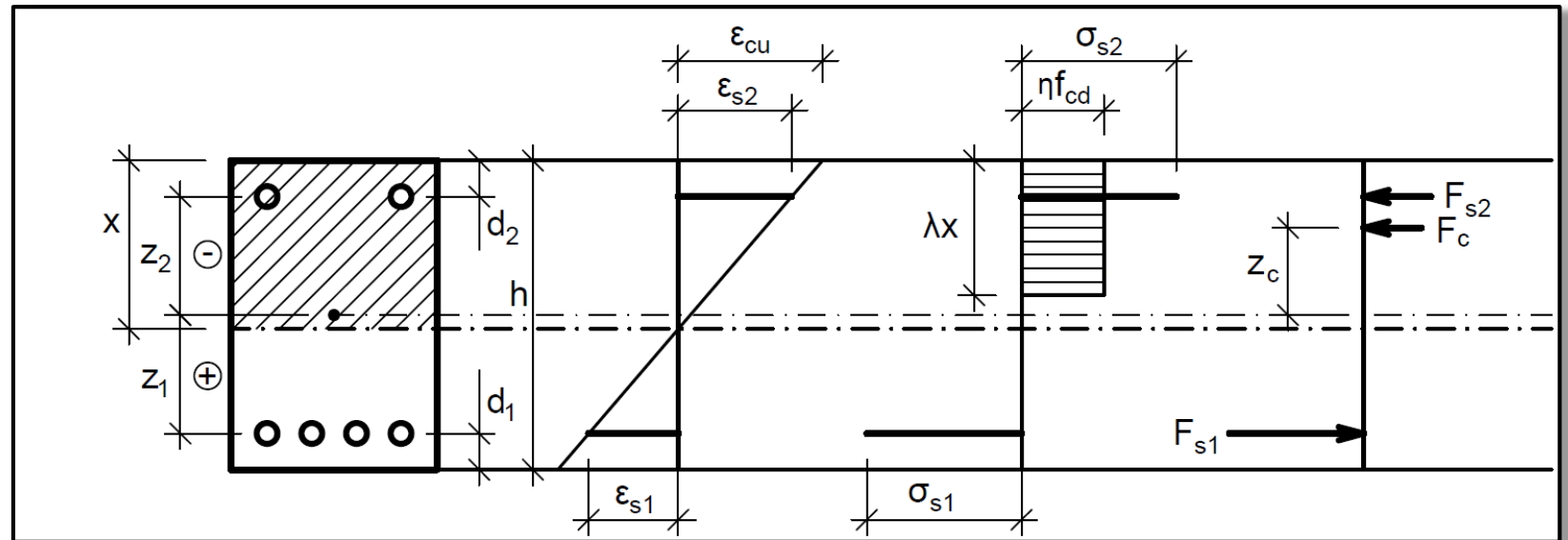
$$z_{s2} = d_2 - h/2$$



6) Výpočet únosnosti N_{Rd} a M_{Rd}

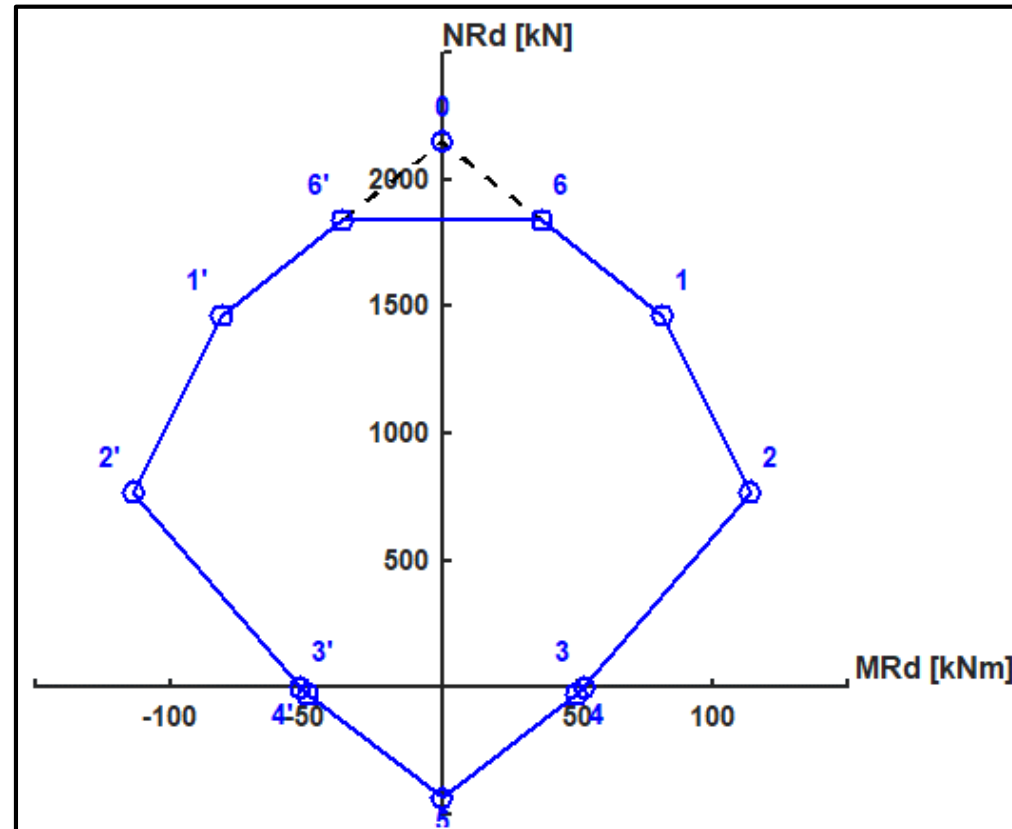
$$N_{Rd} = \sum F_i = F_c + F_{s1} + F_{s2}$$

$$M_{Rd} = \sum M_i = F_c z_c + F_{s1} z_{s1} + F_{s2} z_{s2}$$



Bodový interakční diagram

Není nutné počítat velké množství bodů, stačí pouze několik významných a jednoduchých bodů.

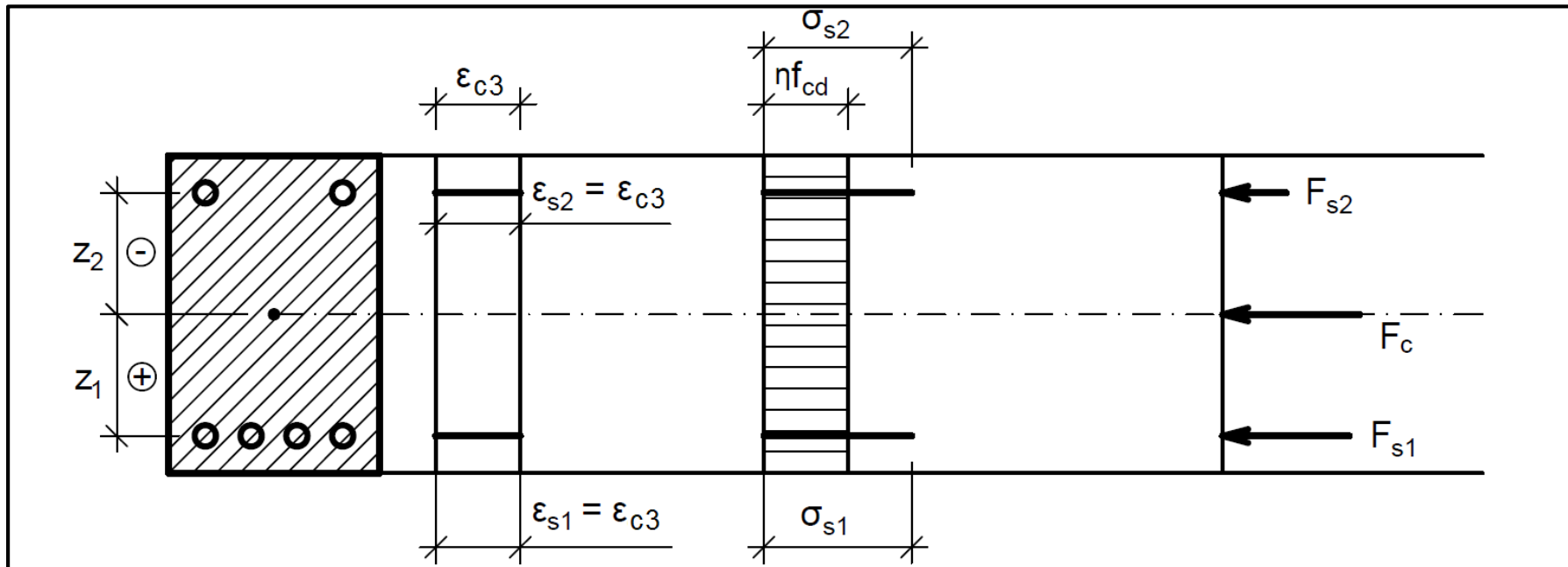


Bod 0 – dostředný tlak

$$x = \infty$$

$$F_{s1} = F_{s2} \text{ \& } z_c = 0 \rightarrow N_{Rd} = F_c + 2F_s$$

$$M_{Rd} = 0$$

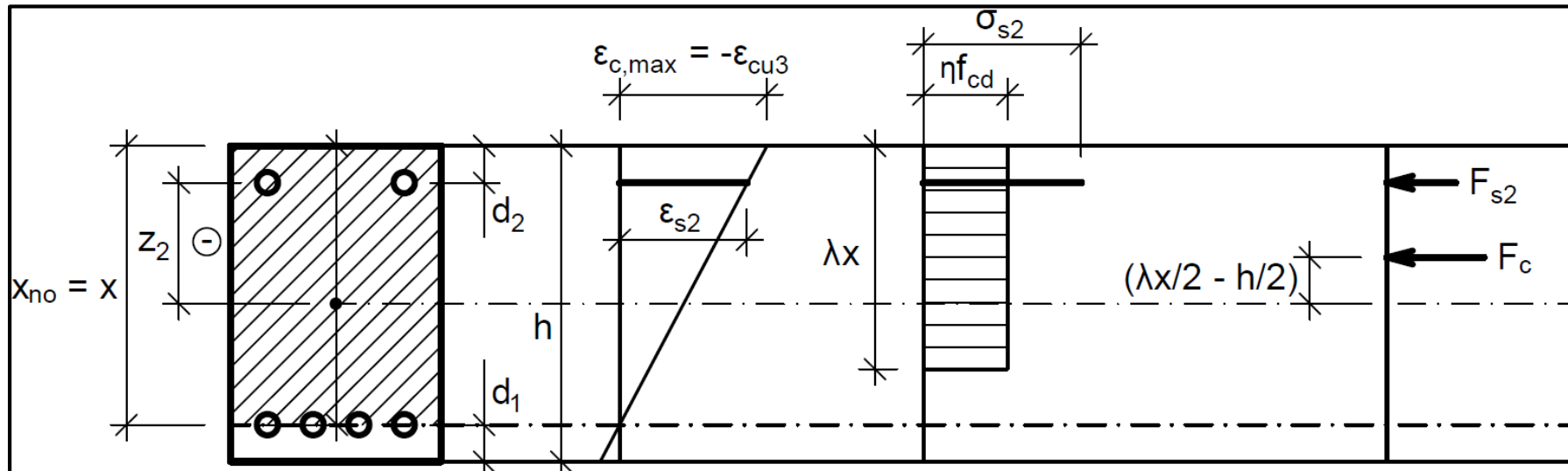


Bod 1 – $\varepsilon_{s1} = 0$

$$x = (h - d_1)$$

$$F_{s1} = 0 \rightarrow N_{Rd} = F_c + F_{s2}$$

$$M_{Rd} = F_c z_c + F_{s2} z_{s2}$$

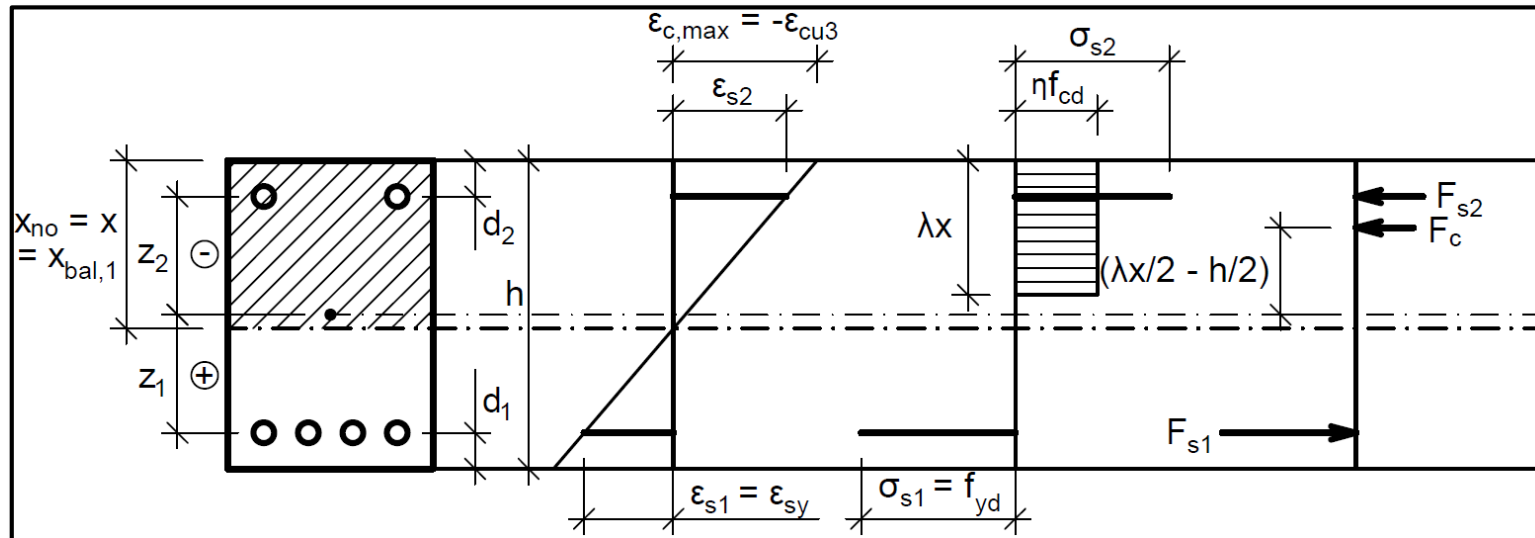


$$\text{Bod 2} - x = x_{bal} (\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{sy})$$

$$x = x_{bal,1} = (h - d_1) \cdot \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sy}}$$

$$N_{Rd} = F_c + F_{s1} + F_{s2}$$

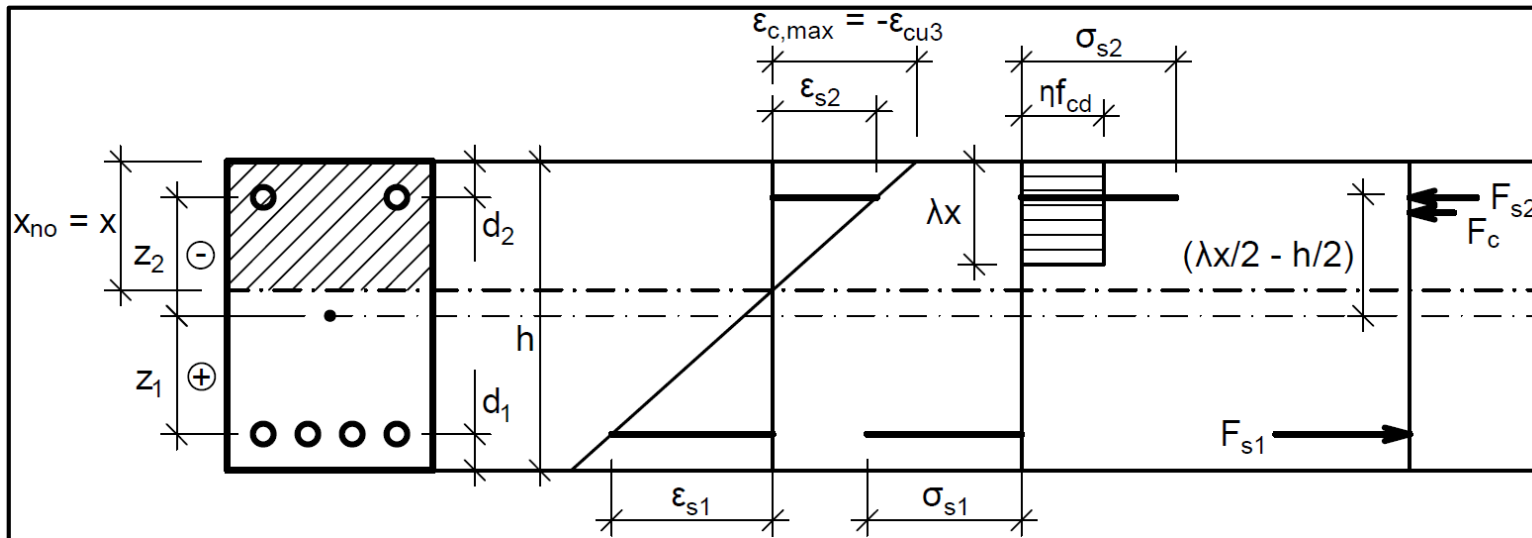
$$M_{Rd} = F_c z_c + F_{s1} z_{s1} + F_{s2} z_{s2}$$



Bod 3 – prostý ohyb ($N_{Ed} = 0$)

$$N_{Rd} = \sum F_i = 0 \rightarrow x = \frac{A_{s1}\sigma_{s1} - A_{s2}\sigma_{s2}}{0.8bf_{cd}} = \frac{A_{s1}f_{yd} - A_{s2}\sigma_{s2}}{0.8bf_{cd}} \left. \vphantom{\frac{A_{s1}f_{yd} - A_{s2}\sigma_{s2}}{0.8bf_{cd}}} \right\} \text{kvadr. rovnice pro } x$$

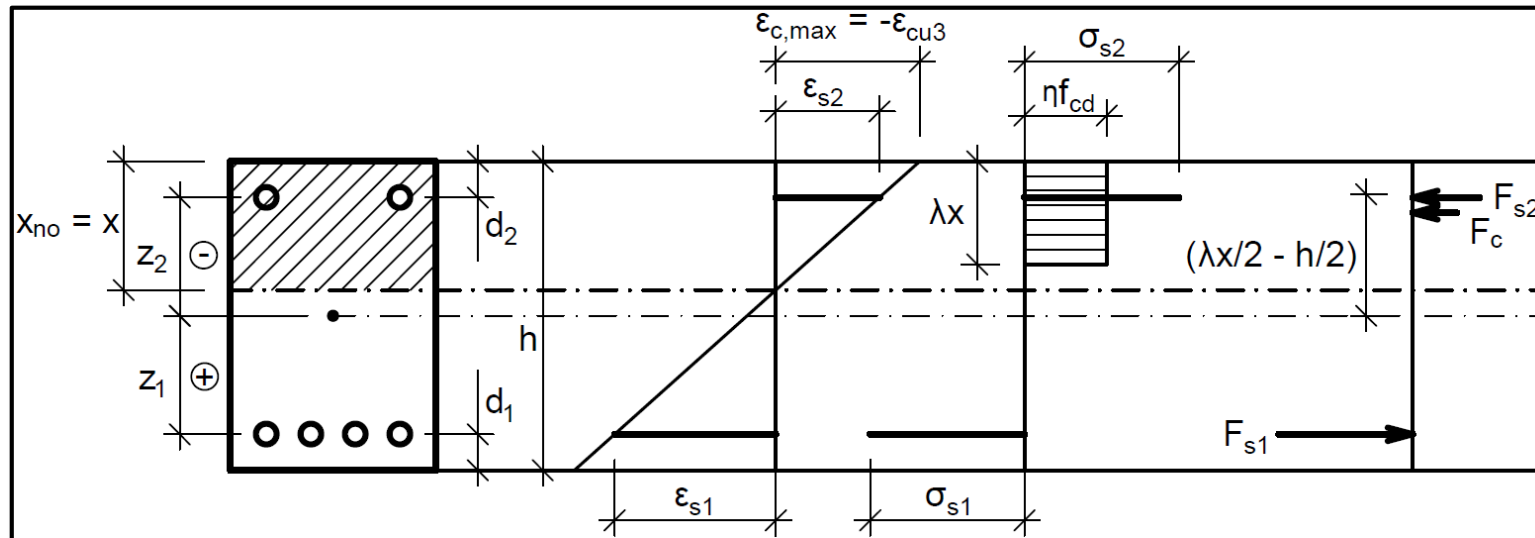
$$x = \frac{E_s \varepsilon_{cu} d_2}{E_s \varepsilon_{cu} - \sigma_{s2}}$$



Bod 3 – prostý ohyb ($N_{Ed} = 0$)

$$N_{Rd} = 0$$

$$M_{Rd} = F_c z_c + F_{s1} z_{s1} + F_{s2} z_{s2}$$

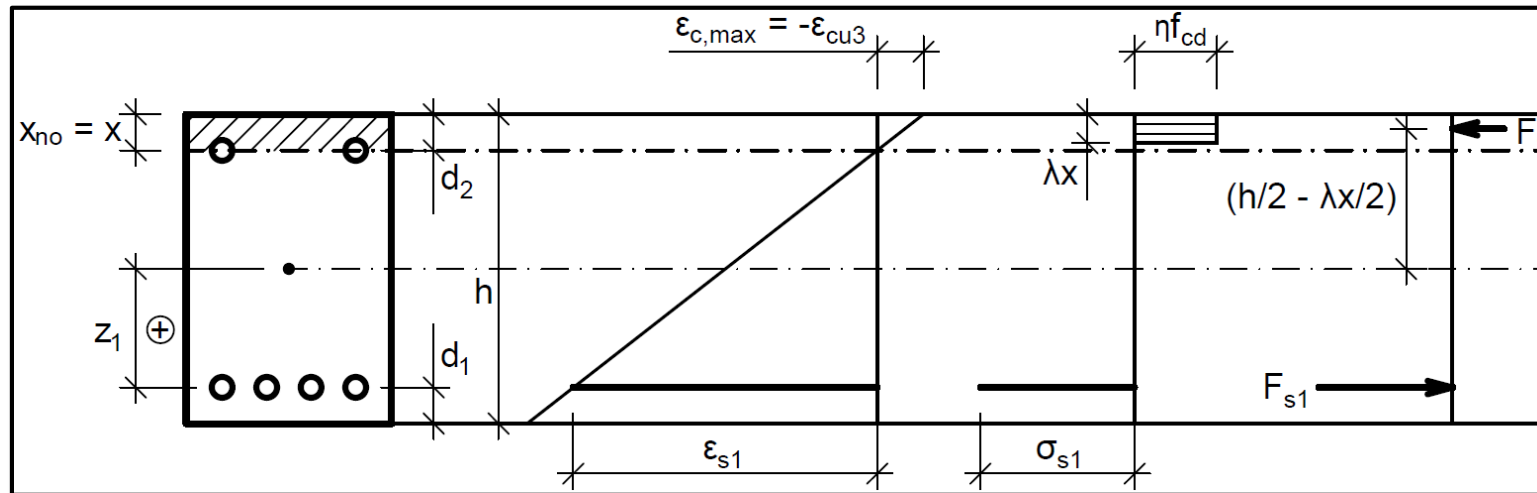


Bod 4 – $\varepsilon_{s2} = 0$

$$x = d_2$$

$$F_{s2} = 0 \rightarrow N_{Rd} = F_c + F_{s1}$$

$$M_{Rd} = F_c z_c + F_{s1} z_{s1}$$

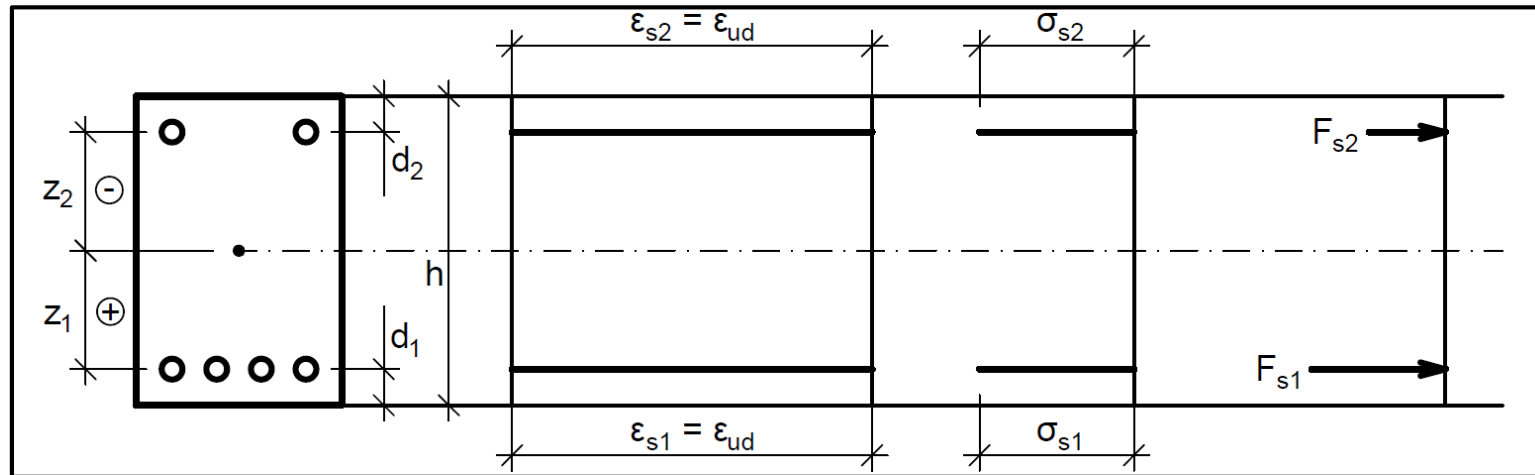


Bod 5 – dostředný tah

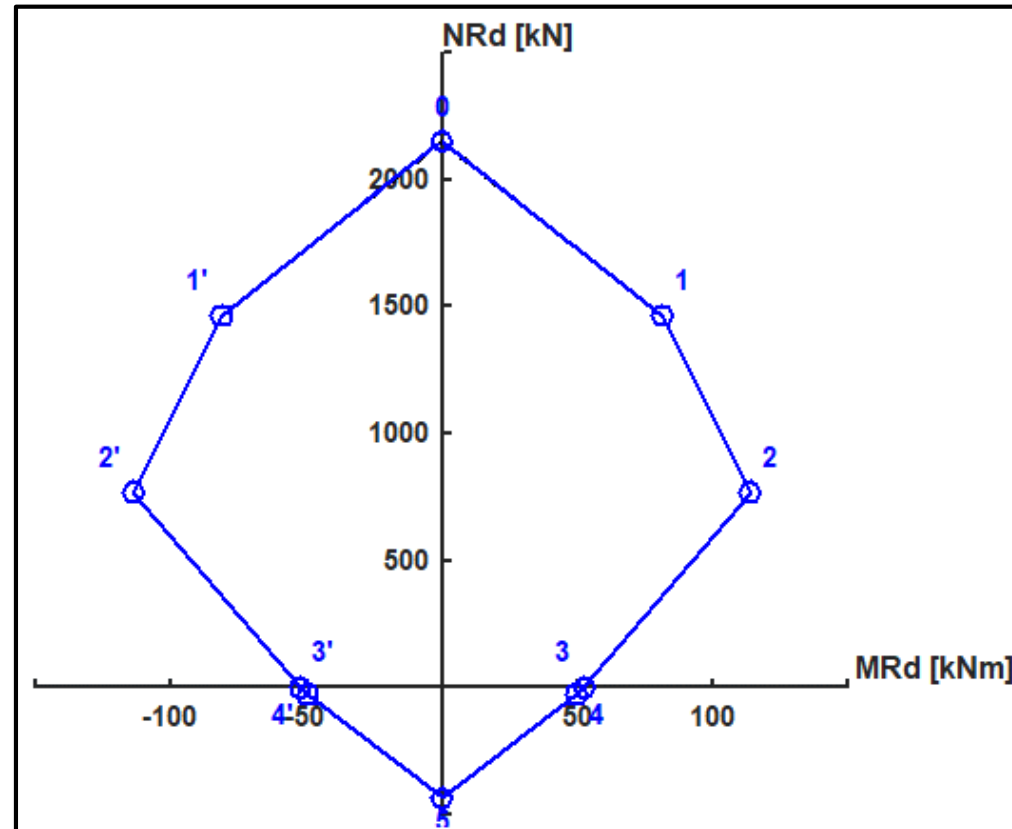
$$\chi = -\infty$$

$$F_{s1} = F_{s2} \text{ \& } F_c = 0 \rightarrow N_{Rd} = 2F_s$$

$$M_{Rd} = 0$$



Stanovené body interakčního diagramu

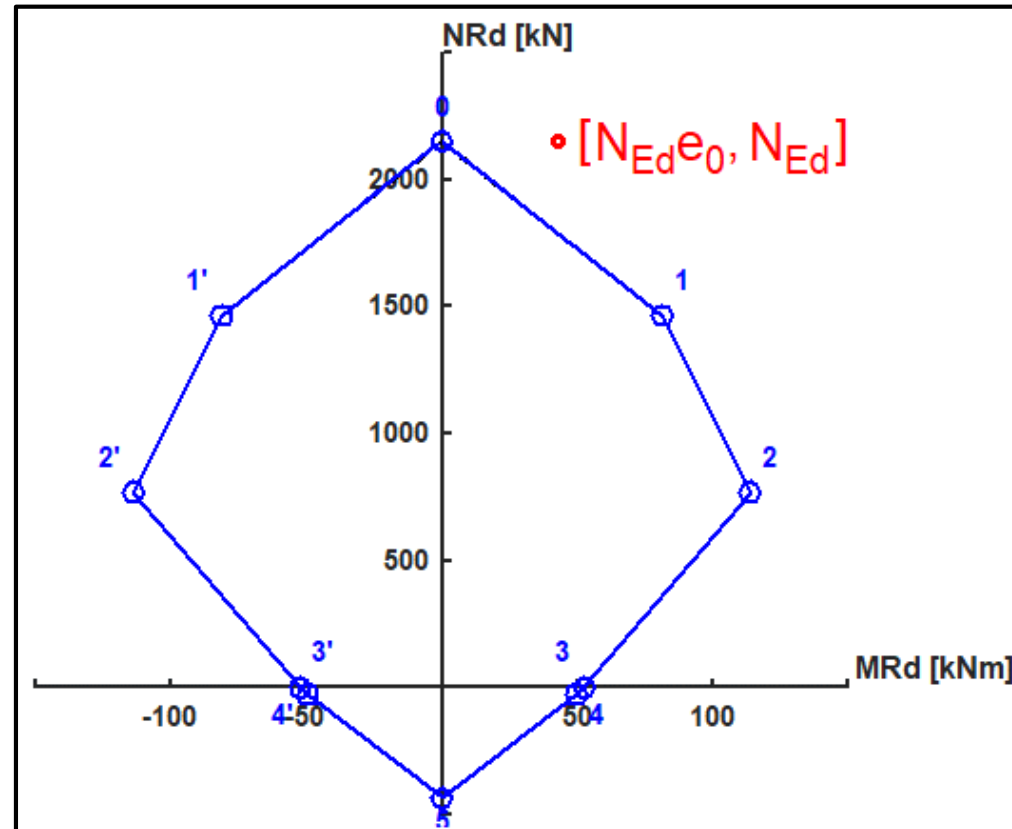


Omezení interakčního diagramu

Nelze uvažovat čistě dostředný tlak – je nutno uvažovat minimální excentricitu $e_0 = \max(h / 30; 20 \text{ mm})$.

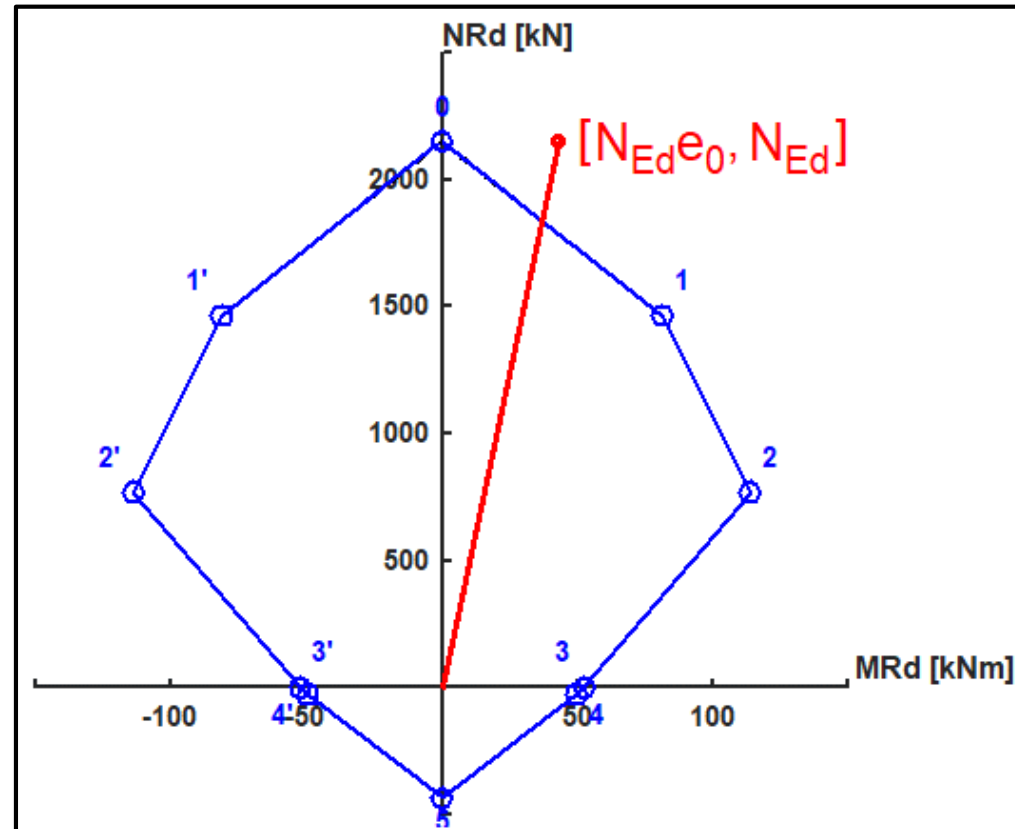
Omezení interakčního diagramu

Spočteme odpovídající ohybový moment $M_0 = N_{Rd,0}e_0$ a vyneseme bod $[M_0, N_{Rd,0}]$.



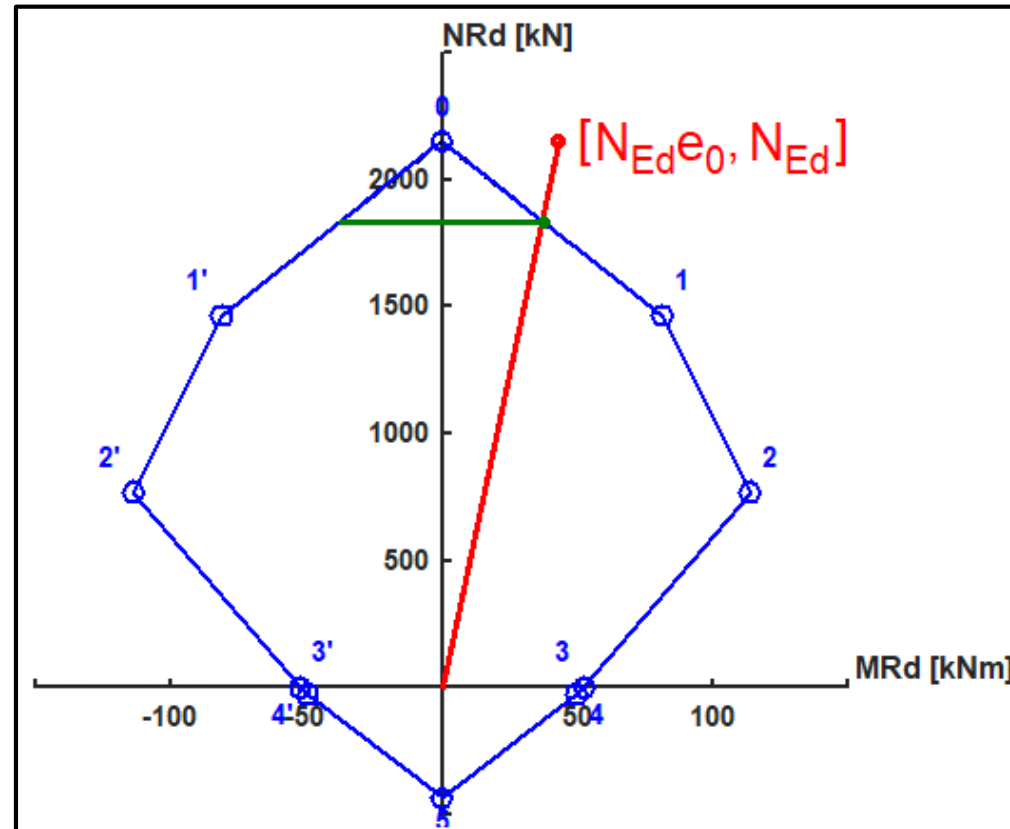
Omezení interakčního diagramu

Bod $[M_0, N_{Rd,0}]$ spojíme s počátkem.



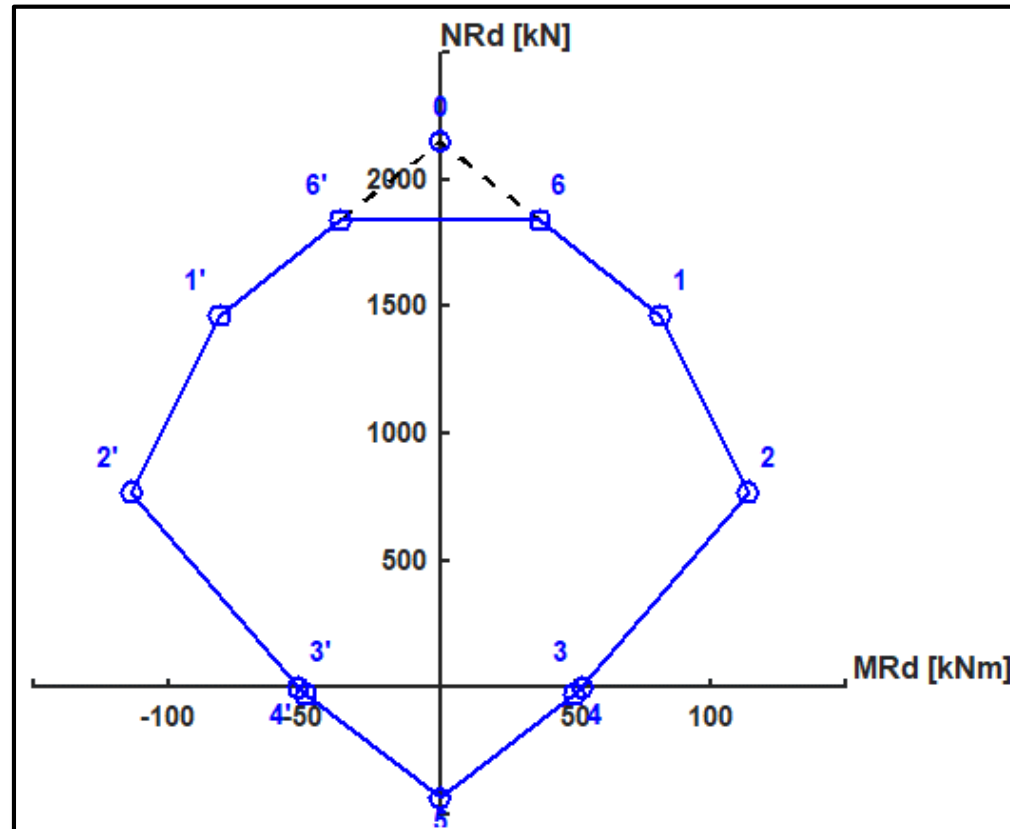
Omezení interakčního diagramu

Od průsečíku spojnice s interakčním diagramem vedeme vodorovnou přímkou, která omezí normálovou únosnost.

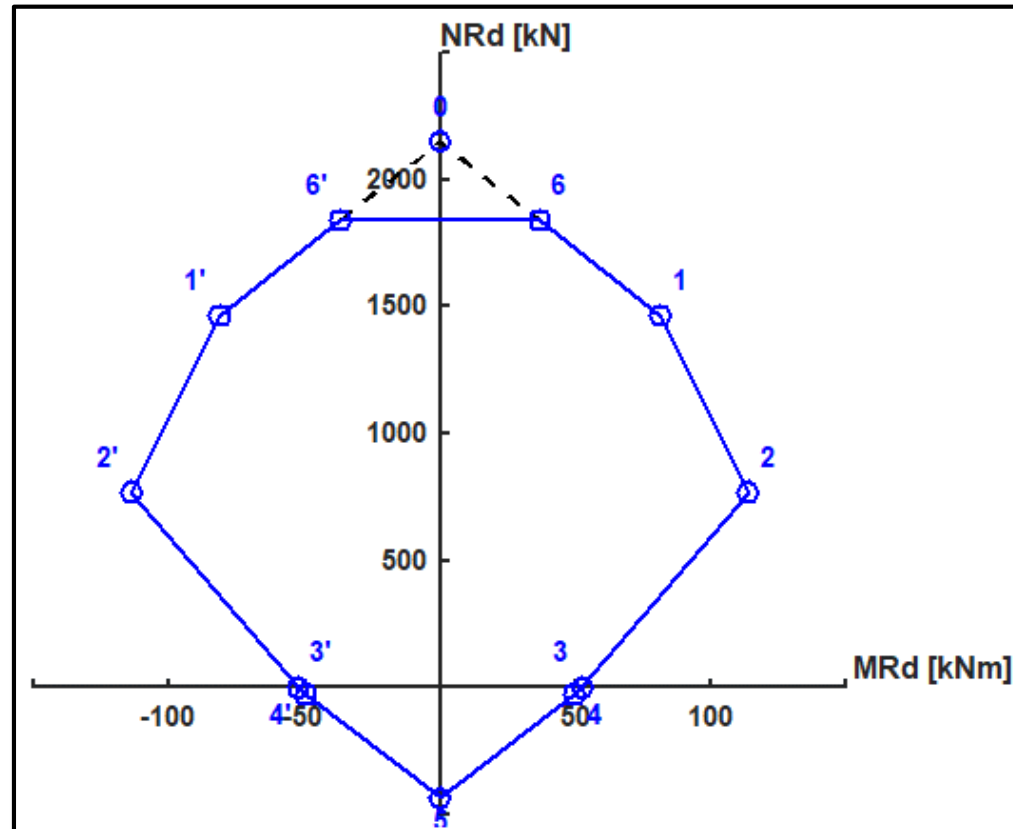


Omezení interakčního diagramu

Body omezující interakční diagram se značí jako 6 a 6'.



Výsledek – bodový interakční diagram



Třmínky

Třmínky

$\varnothing_{tř} = 6 - 12 \text{ mm}$ (alespoň $\varnothing_s/4$, kde \varnothing_s je svislá výztuž sloupu)

Ve střední oblasti sloupu se osová vzdálenost třmínků určí podle vztahu

$$s_1 \leq \min(15\varnothing_s; \min(b; h); 300 \text{ mm})$$

Třmínky se zhustí u paty sloupu (v oblasti stykování startovací a hlavní výztuže) na rozteč s_2

$$s_2 = 0.6s_1$$

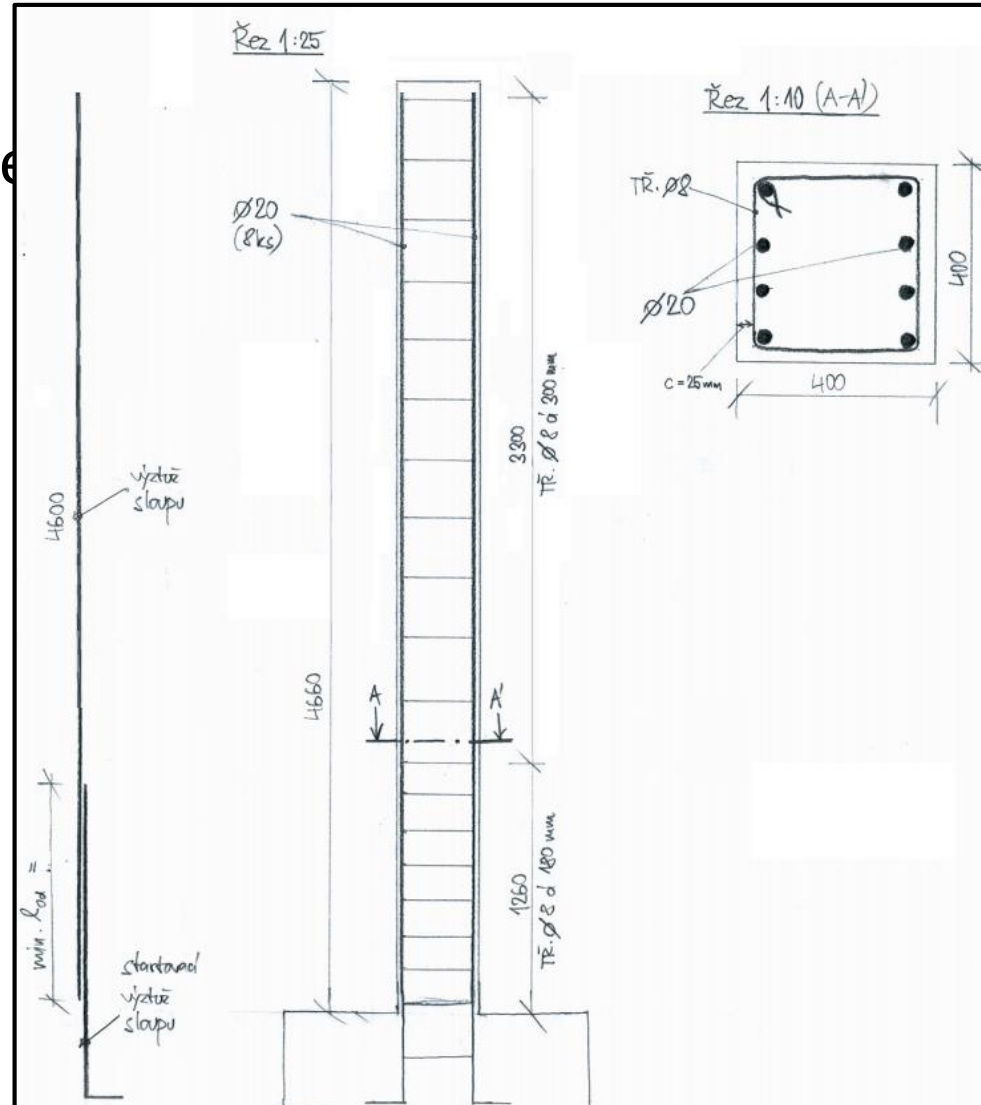
Schéma výztuže

Schéma výztuže

Nakreslit jednoduché schéma výztuže sloupu (stačí od ruky do statického výpočtu).

Schéma výztuže

Nakreslit jednoduché
výpočtu).



ky do statického