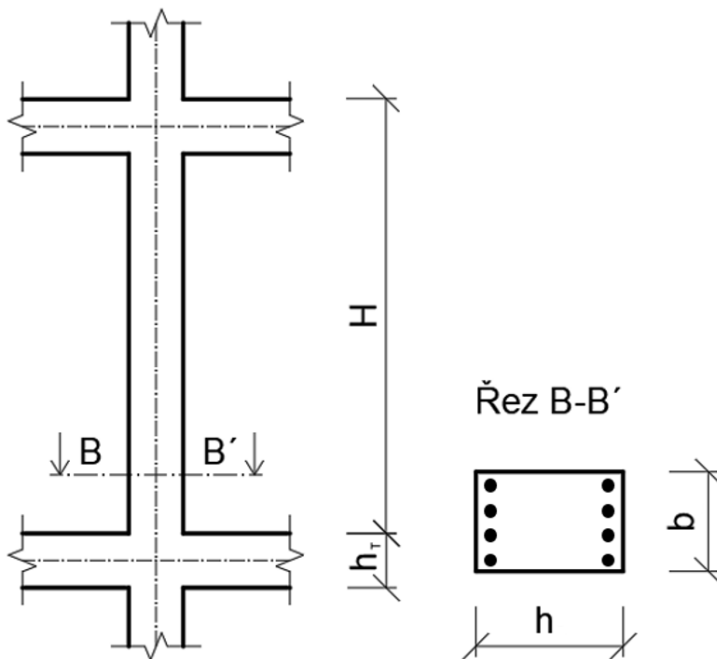




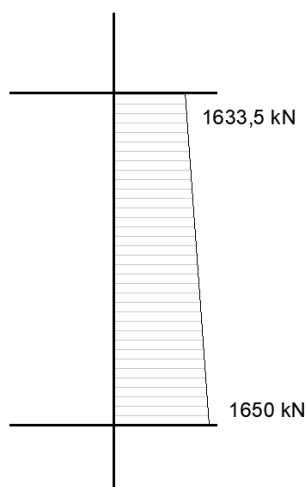
Posouzení štíhlého železobetonového sloupu

V tomto ukázkovém příkladu jsou průběhy vnitřních sil (jedna kombinace zatěžovacích stavů) a vyztužení zadané. **V domácím cvičení použijete skutečné síly spočtené na vaší konstrukci (výstup ze softwaru) a vyztuž nejprve navrhnete!!!**

schéma sloupu:



Normálová síla N:



Ohybový moment M:

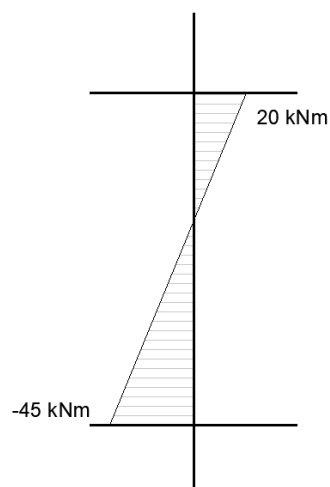
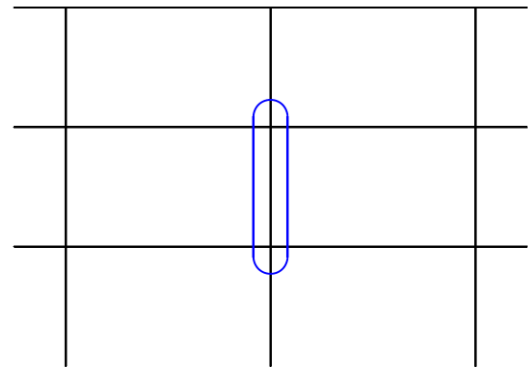


schéma celé konstrukce:



vstupní parametry:

- BETON: C 30/37
- OCEL: B 500 B
- konstrukční výška: $H = 5000$ mm
- výška trámu: $h_T = 600$ mm
- šířka trámu: $b_T = 250$ mm
- výška průřezu sloupu: $h = 300$ mm
- šířka průřezu sloupu: $b = 250$ mm
- podélná vyztuž: **8 Ø 20 mm**
($A_s = 2513$ mm²)
- profil třmínků: Ø 8 mm
- krytí třmínků: $c = 30$ mm
- efektivní souč. dotvarování: $\varphi_{ef} = 1,8$



Materiálové parametry:

- Beton: C30/37 $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

- Ocel: B 500 B $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = 2,175 \text{ ‰}$$

Výpočet momentu od imperfekcí:

- světlá délka sloupu: $l = H - h_T = 5000 - 600 = 4400 \text{ mm}$
- účinná délka sloupu: $l_0 = \beta \cdot l = 0,9 \cdot 4400 = 3960 \text{ mm}$
 - souč. závislý na koncovém upnutí sloupu: $\beta = 0,9$ (na straně bezpečnosti)
- excentricita od imperfekcí:

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{3,96}{400} = 0,0099 \text{ m}$$

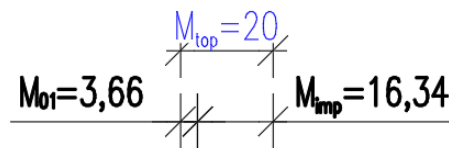
- imperfektní moment: $M_{imp} = |N_{Ed}| \cdot e_i = 1650 \cdot 0,0099 = 16,34 \text{ kN} \cdot \text{m}$

.... N_{Ed} pro zjednodušení uvažováno jako největší normálová síla na sloupu pro danou KZS1

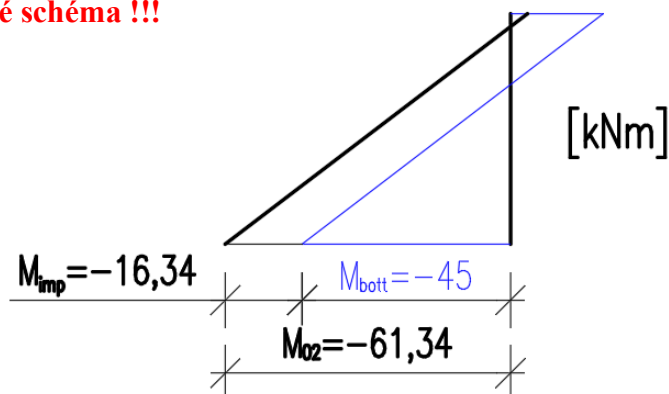
- ohybové momenty 1. řádu s vlivem imperfekcí – nastává případ $|M_{bott}| > |M_{top}|$:

- hlava sloupu: $M_{0,top} = M_{top} - M_{imp} = 20 - 16,34 = 3,66 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- pata sloupu: $M_{0,bott} = M_{bott} - M_{imp} = -45 - 16,34 = -61,34 \text{ kN} \cdot \text{m}$



Povinné schéma !!!





Ověření štíhlosti sloupu:

- štíhlost sloupu: $\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,96}{0,0866} = 45,73$
 - průřezová plocha sloupu: $A_c = b \cdot h = 0,250 \cdot 0,3 = 0,075 \text{ m}^2$
 - moment setrvačnosti průřezu: $I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,25 \cdot 0,3^3 = 0,0005625 \text{ m}^4$
 - poloměr setrvačnosti průřezu: $i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0005625}{0,075}} = 0,0866 \text{ m}$
- limitní štíhlost: $\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \leq 75$
 $\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \leq 25$ pokud $n \geq 0,41$
 - vliv dotvarování betonu: $A = \frac{1}{1+0,2 \cdot \varphi_{\text{ef}}} = \frac{1}{1+0,2 \cdot 1,8} = 0,735$
 - mechanický stupeň vyztužení průřezu: $\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2513 \cdot 435}{250 \cdot 300 \cdot 20} = 0,729$
 - vliv stupně vyztužení podélnou výztuží: $B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,729} = 1,568$
 - vliv ohybových momentů:
 $C = 1,7 - r_m = 1,7 - \frac{M_{01}}{M_{02}}$ nebo $C = 0,7$ pokud dominují momenty od imperfekcí
 M_{01} a M_{02} jsou koncové momenty 1. řádu (s nepříznivým vlivem imperfekcí), kde $|M_{02}| \geq |M_{01}|$
 $C = 1,7 - \frac{3,66}{-61,34} = 1,760$
 - poměrná normálová síla: $n = \frac{N_{\text{Ed}}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1650 \cdot 10^3}{250 \cdot 300 \cdot 20} = 1,1$
 - limitní štíhlost: $\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,735 \cdot 1,568 \cdot 1,760}{\sqrt{1,1}} = 38,68 > 25 \Rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 25$
- ověření štíhlosti: $\lambda = 45,73 \geq \lambda_{\text{lim}} = 25 \Rightarrow$ **štíhlý sloup** \Rightarrow zohlednit momenty 2. řádu



Výpočet jmenovitého ohybového momentu 2. řádu:

❖ výpočet založen na metodě jmenovité křivosti

▪ opravný součinitel závislý na normálové síle K_r :

- mechanický stupeň vyztužení: $\omega = 0,729$ viz výše
- poměrná normálová únosnost v dostředném tlaku: $n_u = 1 + \omega = 1 + 0,729 = 1,729$
- poměrná normálová síla: $n = 1,1$... viz výše
- hodnota n při maximální únosnosti: $n_{bal} = 0,4$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,729 - 1,1}{1,729 - 0,4} = 0,473 \leq 1,0$$

▪ součinitel zohledňující dotvarování K_φ :

- $\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{45,73}{150} = 0,195$
- efektivní součinitel dotvarování: $\varphi_{ef} = 1,8$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,195 \cdot 1,8 = 1,351 > 1,0$$

▪ základní křivost ($1/r_0$):

- účinná výška průřezu: $d = h_s - c - \varnothing_{třm} - \frac{\varnothing_s}{2} = 300 - 30 - 8 - \frac{20}{2} = 252$ mm

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{2,175 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 0,252} = 1,918 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$$

▪ křivost ($1/r$):

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,473 \cdot 1,351 \cdot 1,918 \cdot 10^{-2} = 1,226 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$$

▪ deformace 2. řádu e_2 :

- součinitel závislý na rozdělení křivosti \Rightarrow pro konstantní příčný průřez: $c = 10$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 1,226 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{3,96^2}{10} = 0,0192 \text{ m}$$

▪ jmenovitý ohybový moment 2. řádu M_2 :

$$M_2 = |N_{Ed}| \cdot e_2 = 1650 \cdot 0,0192 = 31,68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Výpočet návrhového ohybového momentu s účinky 2. řádu:

- návrhový ohybový moment je kombinací momentů 1. a 2. řádu:

$$M_{Ed} = \max \left(|M_{02}|; M_{0Ed} + M_2; |M_{01} - 0,5 \cdot M_2 - 2M_{imp}|; |N_{Ed}| \cdot \max \left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm} \right) \right)$$

- $M_{01} = 3,66 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- $M_{02} = -61,34 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- ekvivalentní hodnota momentu prvního řádu uvnitř výšky sloupu:

$$|M_{02}| = 61,34 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 0,05 |N_{Ed}| \cdot h = 0,05 \cdot 1634 \cdot 0,3 = 24,51 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

⇒ Neplatí případ $r_m = 1$ a stanovíme r_m výpočtem

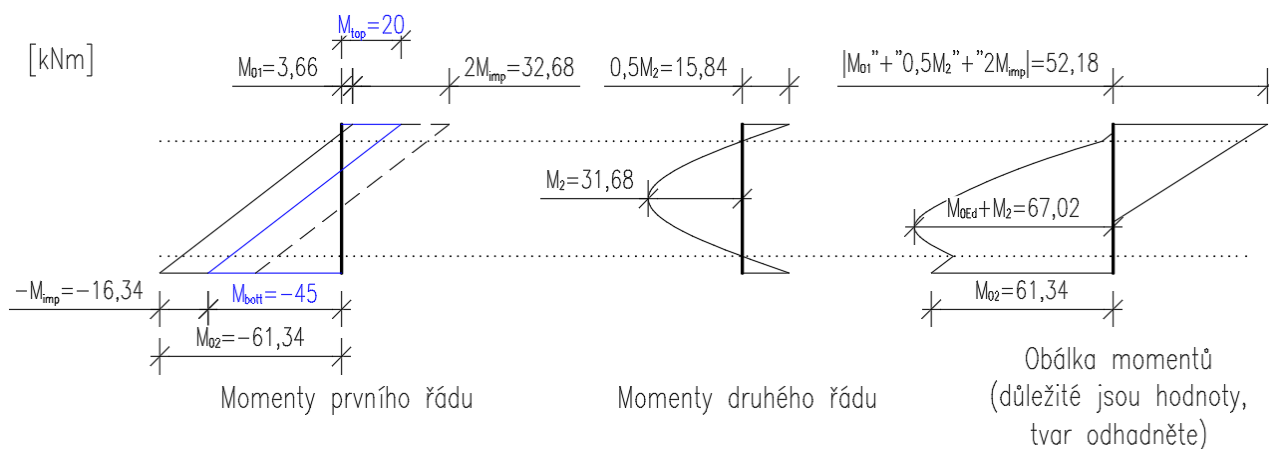
$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{3,66}{-61,34} = -0,060$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \cdot r_m = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,060) = 0,576 \geq 0,4$$

$$M_{0Ed} = C_m \cdot |M_{02}| = 0,576 \cdot 61,34 = 35,34 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- návrhový ohybový moment s účinky 2. řádu:

$$M_{Ed} = \max \left(|M_{02}|; M_{0Ed} + M_2; |M_{01} + 0,5 \cdot M_2 + 2M_{imp}|; |N_{Ed}| \cdot \max \left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm} \right) \right) =$$
$$= \max \left(61,34; 35,34 + 31,68; |3,66 + 15,84 + 2 \cdot 32,68|; 1650 \cdot \max \left(\frac{0,3}{30}; 0,02 \right) \right)$$
$$= \max(61,34; 67,02; 52,18; 33) = \mathbf{67,02 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

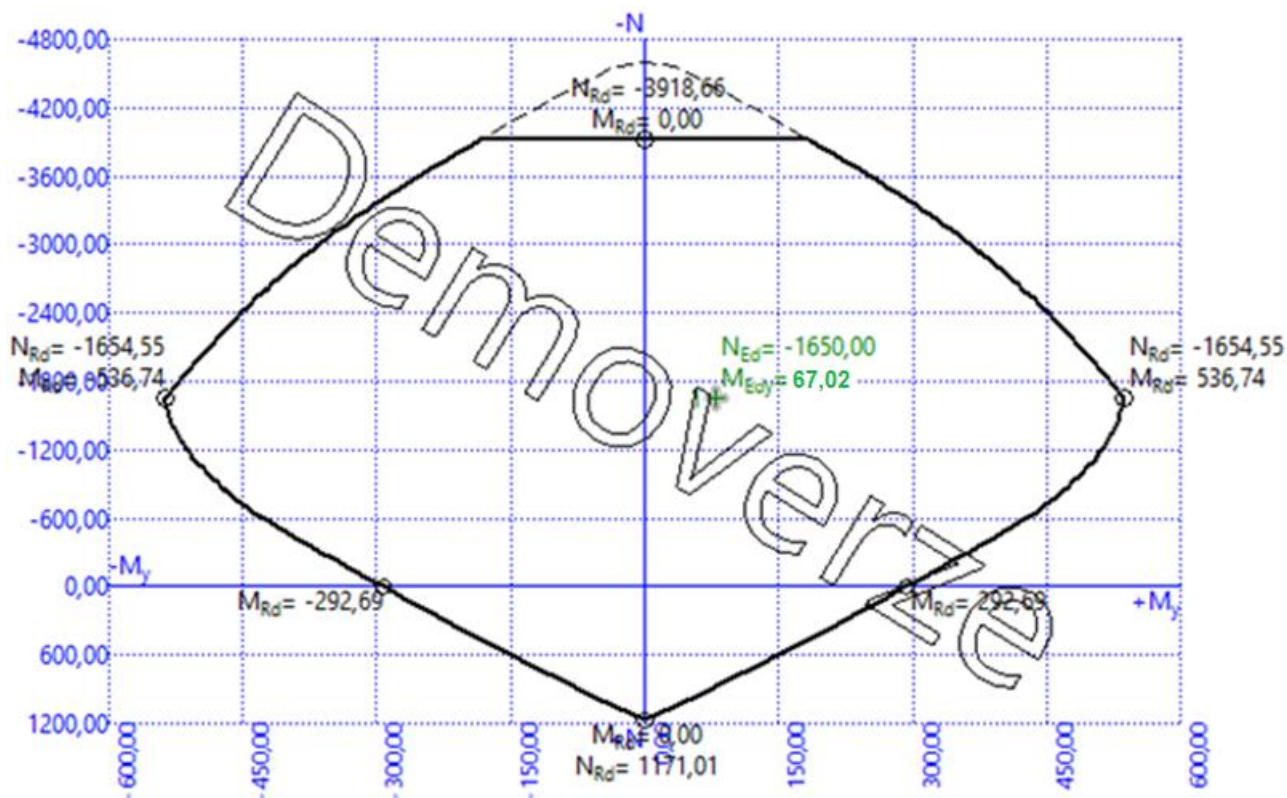


Povinné schéma – stačí nakreslit při posouzení, není nutno při návrhu výztuže



Posouzení sloupu pomocí interakčního diagramu:

- pro posouzení sloupu je použita demoverze programu FIN EC:



Navržený sloup vyhovuje.