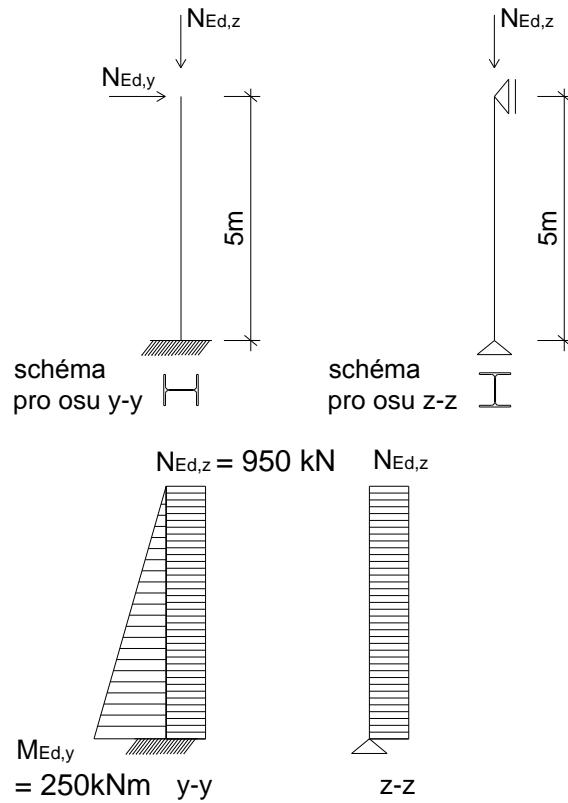


SLOUP NAMÁHANÝ TLAKEM A OHYBEM

Posuďte únosnost centricky tlačeného sloupu délky $5,0\text{ m}$, profil HEA 340, ocel S 355, $\gamma_{M0} = 1,00$ $\gamma_{M1} = 1,00$. Schéma podepření a zatížení je vidět na následujícím obrázku:



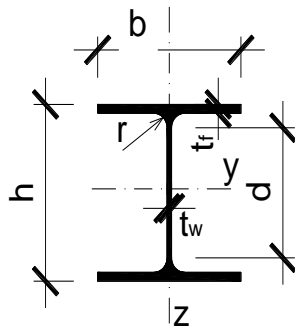
Průřezové hodnoty pro **HEA 340**:

$$h = 330\text{ mm}, b = 300\text{ mm}, t_f = 16,5\text{ mm}, t_w = 9,5\text{ mm}, r = 27\text{ mm}$$

$$A = 13510\text{ mm}^2$$

$$I_y = 276,9 \cdot 10^6\text{ mm}^4, \quad i_y = 144\text{ mm}$$

$$I_z = 75,25 \cdot 10^6\text{ mm}^4, \quad i_z = 74,6\text{ mm}$$



Zatřídění průřezu:

Tlačená pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{(300 - 9,5 - 2 \cdot 27) / 2}{16,5} = 7,16 \leq 9 \quad \varepsilon = 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 38 \cdot 0,81 = 7,32 .$$

⇒ Pásnice je třídy 1

Stěna průřezu je namáhaná kombinací ohybu a tlaku:

$$c = d = 330 - 2 \cdot 16,5 - 2 \cdot 27 = 243 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{243}{9,5} = 25,8$$

$$\alpha = 0,5 \cdot \left[1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot t_w \cdot d} \right] = 0,5 \cdot \left[1 + \frac{950}{355 \cdot 9,5 \cdot 243} \right] = 1,08; \quad -1 \leq \alpha \leq 1$$

$$\alpha = 1,0$$

$$\frac{c}{t_w} = 25,8 \leq \frac{369 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{369 \cdot 0,81}{13 - 1} = 26,73$$

⇒ Stěna je třídy 1

⇒ Celý průřez je třídy 1

Únosnost sloupu budeme posuzovat zvlášť pro namáhání ve směru jednotlivých os. Pro namáhání kolmo na osu y-y budeme posuzovat průřez na kombinaci tlakové síly N_{Ed} a ohybového momentu M_{Ed} s uvažováním ztráty stability. Pro namáhání kolmo na osu z-z bude průřez namáhan pouze vzpěrným tlakem.

Kritické délky:

$$L_{cr,y} = 10000 \text{ mm (pro konzolu)}$$

$$L_{cr,z} = 5000 \text{ mm (pro nosník podepřený kloubově na obou koncích)}$$

Štíhlosti při vybočení v hlavních rovinách se vypočtou ze vztahu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10000}{144} = 69,44 ,$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{74,6} = 67,02 .$$

Pro válcovaný I profil se určí součinitel vzpěrnosti z příslušné křivky, pro poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = \frac{69,44}{76,40} \cdot \sqrt{1} = 0,91 \quad \text{pro křivku } \mathbf{b} \quad \chi_y = 0,66 ,$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = \frac{67,02}{76,40} \cdot \sqrt{1} = 0,88 \quad \text{pro křivku } \mathbf{c} \quad \chi_z = 0,62 ,$$

$$\text{kde } \lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40 .$$

Posouzení pro osu z – z:

Návrhová vzpěrná únosnost prutu (pro průřezy tříd 1, 2 a 3 se dosadí $\beta_A = 1,0$) je rovna

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,62 \cdot 13510 \cdot 355}{1,00} = 2\,973,5 \cdot 10^3 N = 2\,973 kN \geq 950 kN.$$

Prut vyhoví.

Posouzení pro osu y – y:

Prut je namáhán kombinací ohybového momentu a tlakové síly včetně možné ztráty stability.

Klopení

Pro získání součinitele klopení χ_{LT} je možné využít postupu uvedeného v národní příloze normy ČSN EN 1993-1-1 (článek NB.3.2). Alternativně je možné postupovat podle postupu uvedeného v dokumentu Access Steel (viz: <http://www.access-steel.com> dokument SN002). Postupem dle zmíněného dokumentu lze získat přímo hodnotu $\bar{\lambda}_{LT}$:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} \cdot U \cdot V \cdot \frac{\lambda_z}{\lambda_y} \sqrt{\beta_w} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} \cdot U \cdot V \cdot \bar{\lambda}_z \sqrt{\beta_w},$$

kde

C_1 je parametr závisející na tvaru momentového obrazce, konzervativně $C_1 = 1,0$

U je parametr závisející na geometrii průřezu, daný vztahem

$$U = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot g}{A} \frac{I_z}{I_w}},$$

$$g = \sqrt{\left(1 - \frac{I_z}{I_y}\right)} \text{ nebo konzervativně } g = 1,0.$$

$$g = \sqrt{\left(1 - \frac{75252}{276900}\right)} = 0,853$$

$$U = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot g}{A} \frac{I_z}{I_w}} = \sqrt{\frac{1850 \cdot 10^3 \cdot 0,853}{13510} \frac{75252 \cdot 10^3}{1824 \cdot 10^9}} = 0,866$$

V je parametr vztažený ke štíhlosti. Není-li zatížení destabilizující, může být roven:

buď konzervativně = 1,0 pro všechny průřezy symetrické okolo osy největší tuhosti,

nebo zjednodušeně platí $V = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\lambda_z}{h/t_f} \right)^2}}$ pro dvouose symetrické válcované

průřezy tvaru I a H. Nejvíce přesná definice V , pokud zatížení není destabilizující, je:

$$V = \frac{1}{\sqrt[4]{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 + \frac{(\lambda_z)^2}{\frac{\pi^2 E A I_w}{G I_t I_z}}}} = \frac{1}{\sqrt[4]{1^2 + \frac{(67,02)^2}{\frac{\pi^2 \cdot 210\,000}{81\,000} \cdot \frac{13\,510}{1272 \cdot 10^3} \cdot \frac{1824 \cdot 10^9}{75\,252 \cdot 10^3}}}} = 0,88$$

kde

$$\lambda_z = \frac{kL}{i_z} = \frac{5\,000}{74,60} = 67,02,$$

L je vzdálenost mezi body příčného podepření tlačené pásnice

k součinitel vzpěrné délky, který má být roven 1,0, pokud se neprokáže jiná hodnota

$$\beta_w = \frac{W_y}{W_{pl,y}} = 1,0 \text{ pro průřez třídy 1 a 2.}$$

W_y průřezový modul pro výpočet $M_{b,Rd}$:

$$\text{Pro průřezy třídy 1 a 2: } W_y = W_{pl,y}$$

$$\text{Pro průřezy třídy 3: } W_y = W_{el,y}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210\,000}{355}} = 76,41$$

, kde f_y je mez kluzu odpovídající tloušťce

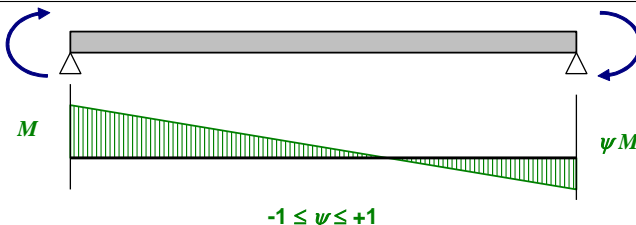
stěny.

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,75 \cdot 0,853 \cdot 0,88 \cdot \frac{67,02}{76,41} \sqrt{1} = 0,49$$

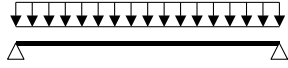

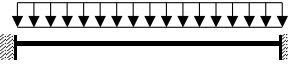

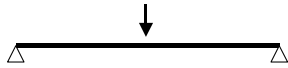
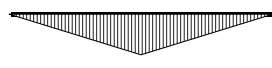
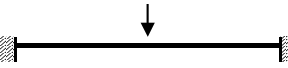

Tabulky hodnot $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$ pro různé momentové obrazce jsou na následující straně:

Tabulka 4.1 Hodnoty $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$ pro zatížení koncovými momenty při $k=1,0$

ψ	$\frac{1}{\sqrt{C_1}}$
+1,00	1,00
+0,75	0,94
+0,50	0,87
+0,25	0,81
0,00	0,75
-0,25	0,70
-0,50	0,66
-0,75	0,62
-1,00	0,63



Tabulka x.x Hodnoty $\frac{1}{\sqrt{C_1}}$ pro případy s příčným zatížením při $k=1,0$

Zatížení a podmínky podepření	Tvar momentového obrazce	$\frac{1}{\sqrt{C_1}}$
		0,94
		0,62
		0,86
		0,77

O únosnosti sloupu rozhoduje možnost ztráty stability prutu.

Vstupní hodnoty pro stabilitní posouzení:

- Vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y: $L_{cr,y} = 10$ m
- Vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z: $L_{cr,z} = 5$ m
- Vzpěrná délka na klopení: $L_{LT} = 5$ m

Postup podle přílohy B normy ČSN EN 1993-1-1

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 950 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 250 \text{ kNm}$$

$$\text{relativní štíhlost } \bar{\lambda}_{LT} = 0,49$$

Protože $h/b = 330/300 = 1,1 < 2$, platí křivka klopení a.

Součinitel klopení pro křivku a: $\chi_{LT} = 0,978$

Součinitele interakce k_{yy} , k_{zy}

Pro určení součinitelů použijeme přílohu B. Součinitele budou určeny pro:

- pruty citlivé na deformace zkroucením (platí pro všechny pruty otevřeného průřezu)

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu:

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 > 0,4 \text{ pro poměr koncových momentů } \square = 0$$

Interakční součinitel k_{yy} – pro průřez třídy 1

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \left(1 + (0,91 - 0,2) \frac{950 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 13510 \cdot 355 / 1,0} \right) = 1,092$$

$$k_{yy} \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \left(1 + 0,8 \frac{950 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 13510 \cdot 355 / 1,0} \right) = 1,116$$

Je tedy $k_{yy} = 1,09$

Interakční součinitel k_{zy} – pro průřez třídy 1 a $\bar{\lambda}_z > 0,4$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,88}{(0,6 - 0,25)} \frac{950 \cdot 10^3}{0,62 \cdot 13510 \cdot 355 / 1,0} \right] = 0,919$$

$$k_{zy} \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] = \left[1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \frac{950 \cdot 10^3}{0,62 \cdot 13510 \cdot 355 / 1,0} \right] = 0,909$$

Je tedy $k_{zy} = 0,909$

Po dosazení do podmínek (2.17) a (2.18):

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{950 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 13510 \cdot 355 / 1,0} + 1,09 \frac{250 \cdot 10^6}{0,978 \cdot 1850 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} =$$

$$= 0,30 + 0,424 = 0,724 < 1,0$$

Ve vztazích je:

$$N_{Rk} = A f_y; M_{y,Rk} = W_{pl,y} f_y$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{950 \cdot 10^3}{0,62 \cdot 13510 \cdot 355 / 1,0} + 0,909 \frac{250 \cdot 10^6}{0,978 \cdot 1850 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} =$$

$$= 0,32 + 0,35 = 0,67 < 1,0$$

Sloup na tlak s ohybem vyhoví.