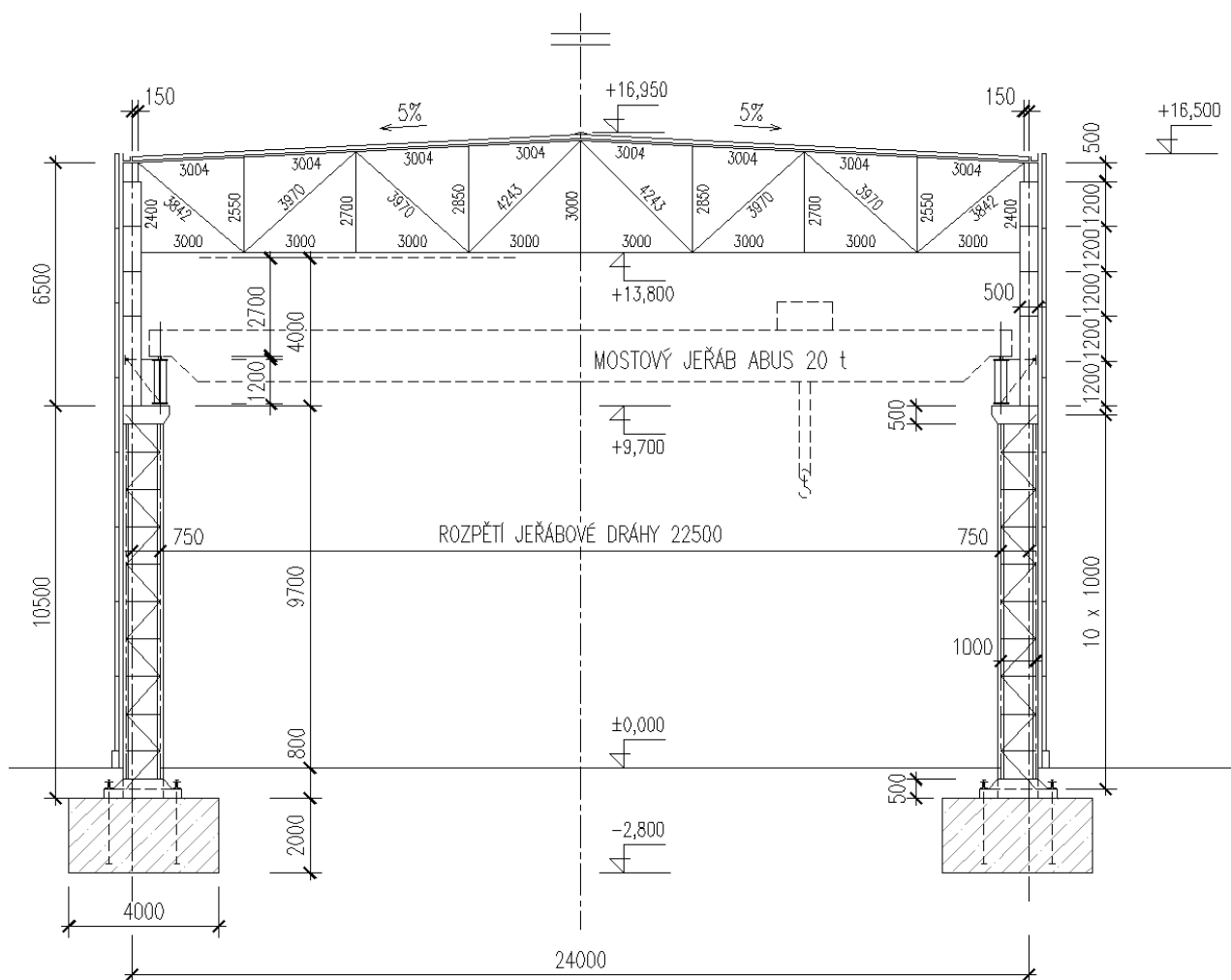


POSOUZENÍ PŘÍHRADOVÉHO SLOUPU

... řešený příklad pro BO004

Proved'te posouzení sloupu příčné vazby jednolodní haly, sloup je navržen jako příhradový => jedná se o členěný prut s příhradovými spojkami. Posouzení proved'te na kombinaci namáhání normálovou tlakovou silou a ohybovým momentem na tuhou osu.



Vzpěrné délky dřívku sloupu

Vzpěrná délka při vybočení v rovině příčné vazby

$$L_{cr,y} \approx 2,5 \cdot L_D = 2,5 \cdot 10500 = 26250 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka při vybočení z roviny příčné vazby

$$L_{cr,z} = L_D = 10500 \text{ mm}$$

Poznámka:

Některé postupy použité níže jsou zjednodušené nebo je lze použít pouze ve specifických případech. Tyto podklady lze použít pouze v kombinaci s podrobným výkladem poskytnutým ve cvičení.

Vstupní hodnoty

Návrhová osová tlaková síla v patě sloupu

$$N_{Ed} = 800 \text{ kN}$$

Návrhový ohybový moment v patě sloupu od vnějšího zatížení

$$M_{Ed,y} = 2200 \text{ kNm}$$

Návrhová posouvající síla v patě sloupu od vnějšího zatížení

$$V_{Ed,z} = 250 \text{ kN}$$

Konstrukční ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Geometrické uspořádání členěného prutu

Délka dříku sloupu

$$L_D = 10500 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost pásů

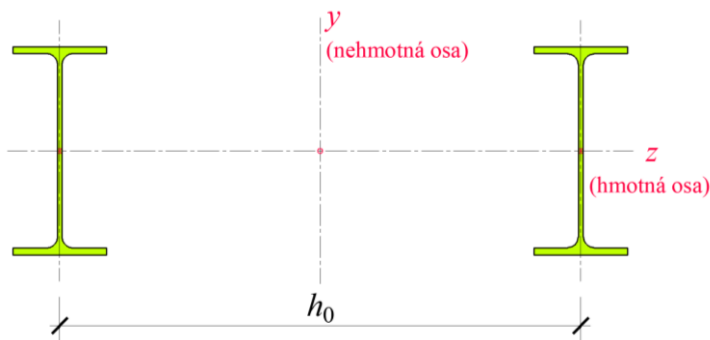
$$h_0 = h_D = 1000 \text{ mm}$$

Výška jednoho panelu

$$a = 1000 \text{ mm}$$

Délka diagonály

$$d = 1414 \text{ mm}$$



Pásky jsou tvořeny válcovanými profily IPE 400, příhradové spojky (svislice a diagonály) rovnoramennými úhelníky L 70×70×5.

Průřezové charakteristiky IPE 400

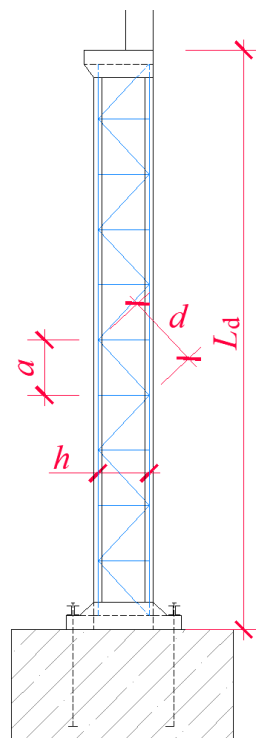
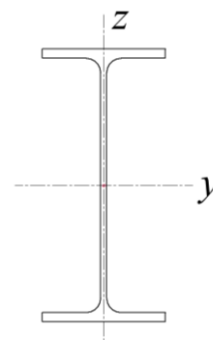
$$A = 8450 \text{ mm}^2 \quad \text{průřezová plocha}$$

$$I_y = 2,31 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad \text{moment setrvačnosti k ose y}$$

$$I_z = 1,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \quad \text{moment setrvačnosti k ose z}$$

Průřezové charakteristiky L 70×70×5

$$A = 686 \text{ mm}^2 \quad \text{průřezová plocha}$$



A. VYBOČENÍ KOLMO K HMOTNÉ OSE**Posouzení interakční podmínky (alternativní postup č. 1)**

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rk,y}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$N_{Rk} = 2 \cdot A_{ch} \cdot f_y = 2 \cdot 8450 \cdot 355 = 6000 \cdot 10^3 \text{ N} = 6000 \text{ kN}$$

$$I_y \approx 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{ch} = 0,5 \cdot 1000^2 \cdot 8450 = 4,225 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{h/2} = \frac{4,225 \cdot 10^9}{1200/2} = 7042 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rk} = W_y \cdot f_y = 7042 \cdot 10^3 \cdot 355 = 2500 \cdot 10^6 \text{ Nm} = 2500 \text{ kNm}$$

Kritická síla

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 2,31 \cdot 10^8}{10500^2} = 8685 \cdot 10^3 \text{ N} = 8685 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{ch} \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8450 \cdot 355}{8685 \cdot 10^3}} = 0,831$$

Bezrozměrný parametr (křivka vzpěrné pevnosti a)

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,831 - 0,2) + 0,831^2 \right] = 0,912$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,912 + \sqrt{0,912^2 - 0,831^2}} = 0,777$$

Interakční součinitel

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,05 \cdot 0,831}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{800}{0,777 \cdot \frac{6000}{1,0}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,05}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{800}{0,777 \cdot \frac{6000}{1,0}} \right] = 0,99 \geq 0,99$$

Jednotkový posudek

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rk,y}}}{\gamma_{M1}} = \frac{\frac{800}{0,777 \cdot 6000}}{1,0} + 0,99 \cdot \frac{\frac{2200}{2500}}{1,0} = 1,05 \geq 1,0 \quad \Rightarrow \text{nevyhovuje}$$

Posouzení samotného pásu na vzpěr (alternativní postup č. 2)

Podmínka spolehlivosti

$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} \leq 1,0$
--

Návrhová osová síla v tlačném pásu

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed,y}}{h_0} = \frac{800 \cdot 10^3}{2} + \frac{2200 \cdot 10^6}{1000} = 2600 \cdot 10^3 \text{ N} = 2600 \text{ kN}$$

Kritická síla

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot \frac{EI}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 2,31 \cdot 10^8}{10500^2} = 4343 \cdot 10^3 \text{ N} = 4343 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{ch} \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{8450 \cdot 355}{4343 \cdot 10^3}} = 0,831$$

Bezrozměrný parametr (křivka vzpěrné pevnosti a)

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,831 - 0,2) + 0,831^2 \right] = 0,912$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,912 + \sqrt{0,912^2 - 0,831^2}} = 0,777$$

Vzpěrná únosnost pásu

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,777 \cdot 8450 \cdot 355}{1,0} = 2331 \cdot 10^3 \text{ N} = 2331 \text{ kN}$$

Jednotkový posudek

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} = \frac{2600}{2331} = 1,12 \geq 1,0 \quad \Rightarrow \text{nevyhovuje}$$

B. VYBOČENÍ KOLMO K NEHMOTNÉ OSE**Posouzení pásu**

Podmínka spolehlivosti

$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} \leq 1,0$
--

Ekvivalentní počáteční geometrická imperfekce

$$e_0 = \frac{L_{cr,y}}{500} = \frac{26250}{500} = 52,5 \text{ mm}$$

Účinný moment setrvačnosti k ose y (k nehmotné ose)

$$I_{eff,y} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_{ch} = 0,5 \cdot 1000^2 \cdot 8450 = 4,225 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \pi^2 \cdot \frac{EI_{eff,y}}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 4,225 \cdot 10^9}{26250^2} = 12708 \cdot 10^3 \text{ N} = 12708 \text{ kN}$$

Smyková tuhost

$$S_v = \frac{2 \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3} = \frac{2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 686 \cdot 1000 \cdot 1000^2}{1414^3} = 101,9 \cdot 10^6 \text{ N} = 101,9 \text{ MN}$$

Ohybový moment uprostřed prutu s uvažováním účinků II. řádu

$$M_{II} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{800 \cdot 0,0525 + 2200}{1 - \frac{800}{12708} - \frac{800}{101900}} = 2413 \text{ kNm}$$

Návrhová normálová síla v pásu

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{II}}{h_0} = \frac{800 \cdot 10^3}{2} + \frac{2412 \cdot 10^6}{1000} = 2812 \cdot 10^3 \text{ N} = 2812 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost pásu

Kritická síla

$$N_{cr,ch} = \pi^2 \cdot \frac{EI_{ch}}{a^2} = \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 1,32 \cdot 10^7}{1000^2} = 27358 \cdot 10^3 \text{ N} = 27358 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{ch} = \sqrt{\frac{A_{ch} \cdot f_y}{N_{cr,ch}}} = \sqrt{\frac{8450 \cdot 355}{27358 \cdot 10^3}} = 0,331$$

Bezrozměrný parametr (křivka vzpěrné pevnosti $\underline{b}$)

$$\Phi_{ch} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{ch} - 0,2) + \bar{\lambda}_{ch}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,331 - 0,2) + 0,331^2 \right] = 0,577$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_{ch} = \frac{1}{\Phi_{ch} + \sqrt{\Phi_{ch}^2 - \lambda_{ch}^2}} = \frac{1}{0,577 + \sqrt{0,577^2 - 0,331^2}} = 0,953$$

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi_{ch} \cdot A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,953 \cdot 8450 \cdot 355}{1,0} = 2859 \cdot 10^3 \text{ N} = 2859 \text{ kN}$$

Jednotkový posudek

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} = \frac{2812}{2859} = 0,98 \leq 1,0$$

=> **vyhovuje**

Posouzení diagonály

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{N_{d,Ed}}{N_{d,b,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová normálová síla v nejvíce namáhané diagonále s uvažováním účinků druhého řádu

$$N_{d,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot d}{2 \cdot h_0} = \frac{250 \cdot 1414}{2 \cdot 1000} = 177 \text{ kN}$$

Kde posouvající síla je součtem posouvající síly od vnějšího zatížení a posouvající síly od účinků druhého řádu

$$V_{Ed} = V_{Ed,z} + V_{Ed,II} = 250 + 0 = 250 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost diagonály

$$N_{d,b,Rd} = \frac{\chi_d \cdot A_d \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pro $L_{cr} = L_{sys} = d = 1414 \text{ mm}$.

Posouzení svislice

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{N_{v,Ed}}{N_{v,b,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová normálová síla ve svislici s uvažováním účinků druhého řádu

$$N_{v,Ed} = \frac{N_{ch,Ed}}{2 \cdot 100} = \frac{2812}{2 \cdot 100} = 14,06 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost svislice

$$N_{v,b,Rd} = \frac{\chi_v \cdot A_v \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pro $L_{cr} = L_{sys} = h_0 = 1000 \text{ mm}$.