

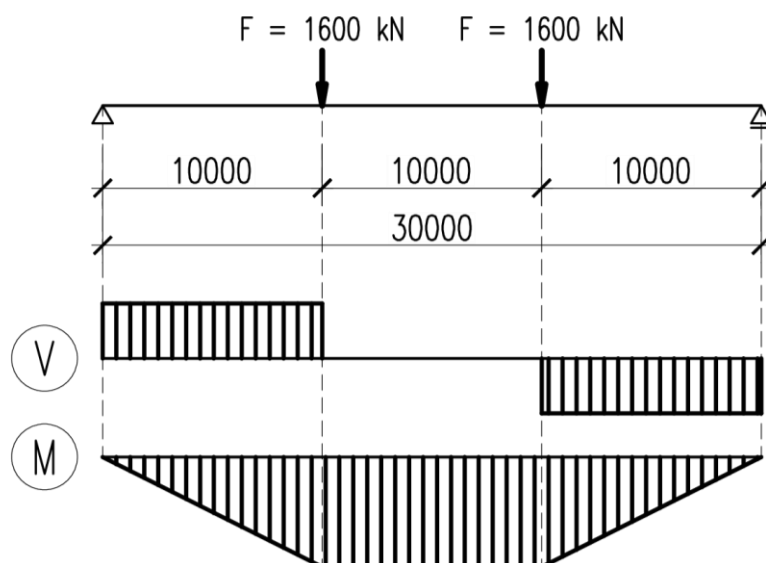
POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI PRŮŘEZU VE SMYKU

... řešený příklad pro B0009

Posouzení průřezu prostého nosníku na posouvající síly. Průřez nosníku je dvouose symetrický, konstantní po celé délce. Pásnice a stojina jsou z konstrukční oceli S355, výztuhy jsou z oceli S235. Nosník je řešen ve třech variantách: a) bez výztuh (pouze příčné výztuhy nad podporami), b) s příčnými výztuhami, c) s příčnými i podélnými výztuhami. Posouzení se provede pro průřez u krajní podpory a u vnitřní (zatížené) podpory. Součinitel spolehlivosti $\gamma_{M0} = 1,0$ a $\gamma_{M1} = 1,0$ (ale pro mosty $\gamma_{M1} = 1,1$).

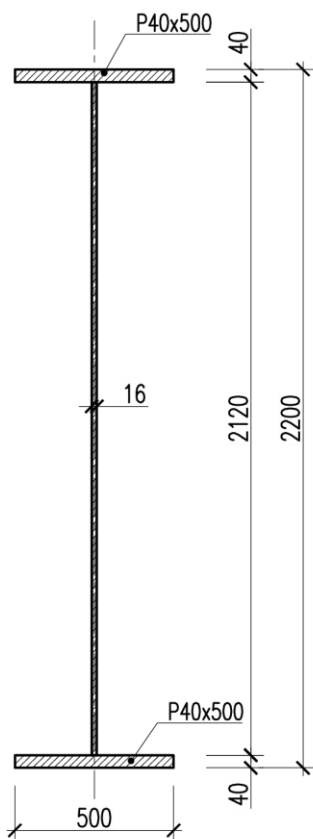
GEOMETRIE NOSNÍKU

$L = 30 \text{ m}$	rozpětí nosníku
$h = 2200 \text{ mm}$	výška nosníku
$b_f = 500 \text{ mm}$	šířka pásnic
$t_f = 40 \text{ mm}$	tloušťka pásnic
$h_w = 2120 \text{ mm}$	výška stojiny
$t = 16 \text{ mm}$	tloušťka stojiny
$a = 3000 \text{ mm}$	vzdálenost příčných výztuh
$b_{st} = 200 \text{ mm}$	šířka příčných výztuh
$t_{st} = 16 \text{ mm}$	tloušťka příčných výztuh
$h_{w1} = 450 \text{ mm}$	výška subpanelu 1
$h_{w2} = 1670 \text{ mm}$	výška subpanelu 2
$b_{sl} = 160 \text{ mm}$	šířka podélných výztuh
$t_{sl} = 15 \text{ mm}$	tloušťka podélných výztuh

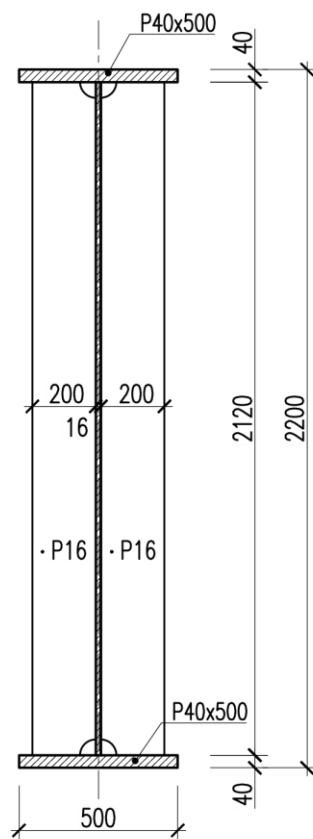


Příčný řez

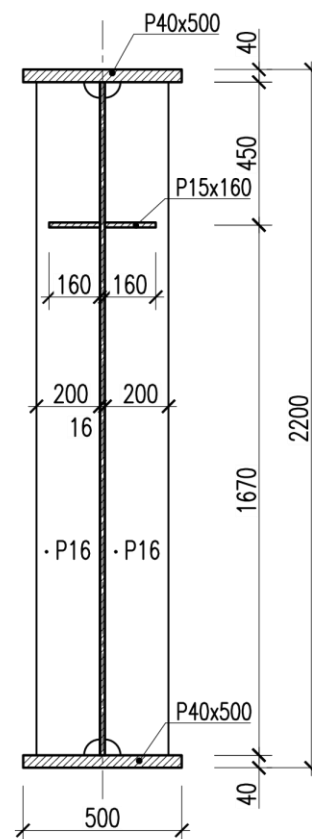
a) Bez výztuh



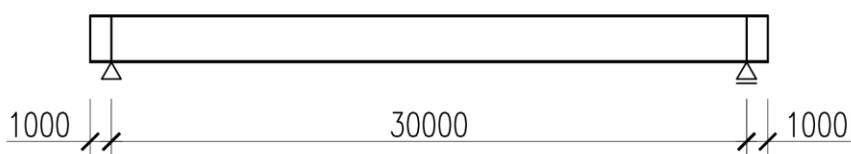
b) příčné výztuhy



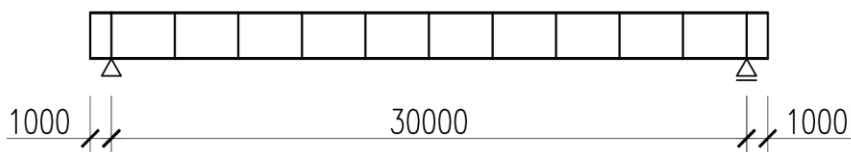
c) příčné a podélné výztuhy

**Pohled**

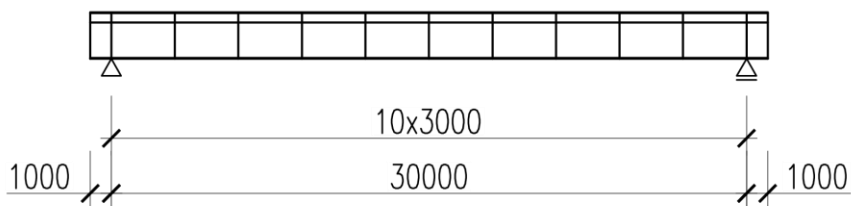
a) Bez výztuh



b) příčné výztuhy



c) příčné a podélné výztuhy



Posouzení je provedeno ve dvou řezech – řez *a* je ve vzdálenosti $0,5 \times h_w$ od podpory, řez *b* je pod břemenem.

a) NEVYZTUŽENÁ STOJINA

Ověření štíhlosti stojiny

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{2120}{16} = 132,5 \geq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,8 \quad \Rightarrow \text{stojina se musí posoudit na únosnost při boulení}$$

Posouzení v řezu a (u krajní podpory)
 $V_{Ed} = 1600 \text{ kN}$ návrhová posouvající síla ve vzdálenosti $h_w/2$ od podpory

 $M_{Ed} = 1696 \text{ kNm}$ návrhový ohybový moment ve vzdálenosti $h_w/2$ od podpory
Příspěvek stojiny ke smykové únosnosti

Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t \cdot \varepsilon} = \frac{2120}{86,4 \cdot 16 \cdot 0,81} = 1,885$$

Součinitel příspěvku stojiny

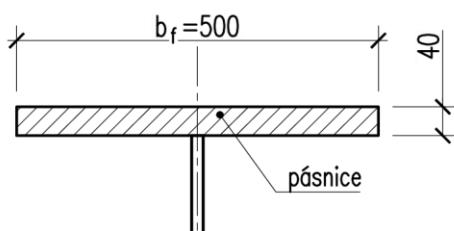
$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,885} = 0,440$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,440 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 3061 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic ke smykové únosnosti

Stanovení účinné části pásnic

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 40 = 488 \text{ mm} \geq (b_f - t_w)/2 = (500 - 16)/2 = 242 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{celá pásnice je účinná}$$



Plastický moment únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} = \frac{W_f \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{500 \cdot 40 \cdot (2120 + 40) \cdot 355}{1,0} = 15336 \text{ kNm}$$

Ověření započitatelnosti příspěvku pásnic

$$M_{Ed} = 1696 \text{ kNm} \leq M_{f,Rd} = 15336 \text{ kNm} \quad \Rightarrow \text{příspěvek pásnic lze započítat}$$

Délka ukotvení tahového pole

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) = 3000 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 500 \cdot 40^2 \cdot 355}{16 \cdot 2120^2 \cdot 355} \right) = 803 \text{ mm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{500 \cdot 40^2 \cdot 355}{803 \cdot 1,0} \cdot \left(1 - \left(\frac{1696}{15336} \right)^2 \right) = 349 \text{ kN}$$

Celková únosnost průřezu ve smyku

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 3061 + 349 = 3411 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 8343 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1600}{3441} = 0,47 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakce ohybu a smyku

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{1600}{3061} = 0,52 \geq 0,5 \quad \Rightarrow \text{ohybovou únosnost je nutné redukovat}$$

Návrhová plastická únosnost průřezu složeného z účinné plochy pásnic a plně účinné stojiny bez ohledu na její třídu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{61,2 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,0} = 21718 \text{ kNm}$$

Plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 2 \cdot S_y = 2 \cdot \left(b_f \cdot t_f \cdot \frac{(h_w + t_f)}{2} + \frac{h_w}{2} \cdot t \cdot \frac{h_w}{4} \right) = 2 \cdot \left(500 \cdot 40 \cdot \frac{(2120 + 40)}{2} + \frac{2120}{2} \cdot 16 \cdot \frac{2120}{4} \right) = 61,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{1696}{21718} = 0,08$$

$$\bar{\eta}_1 = 0,08 \leq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{16336}{21718} = 0,71 \quad \Rightarrow \text{interakce se neposuzuje}$$

Posouzení v řezu b (pod břemenem)

$V_{Ed} = 1600 \text{ kN}$ návrhová posouvající síla v místě břemene

$M_{Ed} = 16000 \text{ kNm}$ návrhový ohybový moment v místě břemene

Příspěvek stojiny ke smykové únosnosti

Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t \cdot \varepsilon} = \frac{2120}{86,4 \cdot 16 \cdot 0,81} = 1,885$$

Součinitel příspěvku stojiny

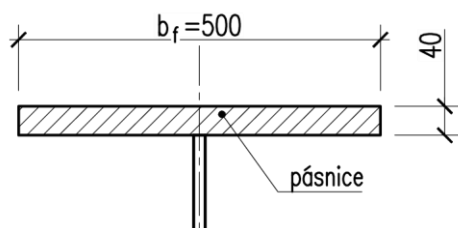
$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,885} = 0,440$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,440 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 3061 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic ke smykové únosnosti

Stanovení účinné části pásnic

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 40 = 488 \text{ mm} \geq (b_f - t_w)/2 = (500 - 16)/2 = 242 \text{ mm} \Rightarrow \text{celá pásnice je účinná}$$



Plastický moment únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} = \frac{W_f \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{500 \cdot 40 \cdot (2120 + 40) \cdot 355}{1,0} = 15336 \text{ kNm}$$

Ověření započitatelnosti příspěvku pásnic

$$M_{Ed} = 16000 \text{ kNm} \geq M_{f,Rd} = 15336 \text{ kNm} \Rightarrow \text{únosnost pásnic je plně využita pro ohybový}$$

moment - příspěvek pásnic nelze započítat

$$V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$$

Celková únosnost průřezu ve smyku

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 3061 + 0 = 3061 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 8343 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1600}{3061} = 0,52 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakce ohybu a smyku

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{1600}{3061} = 0,52 \geq 0,5 \Rightarrow \text{ohybovou únosnost je nutné redukovat}$$

Návrhová plastická únosnost průřezu složeného z účinné plochy pásnic a plně účinné stojiny bez ohledu na její třídu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{61,2 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,0} = 21718 \text{ kNm}$$

Plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 2 \cdot S_y = 2 \cdot \left(b_f \cdot t_f \cdot \frac{(h_w + t_f)}{2} + \frac{h_w}{2} \cdot t \cdot \frac{h_w}{4} \right) = 2 \cdot \left(500 \cdot 40 \cdot \frac{(2120 + 40)}{2} + \frac{2120}{2} \cdot 16 \cdot \frac{2120}{4} \right) = 61,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{16000}{21718} = 0,74$$

Interakční podmínka spolehlivosti

$$\bar{\eta}_1 = 0,74 \leq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{16336}{21718} = 0,71$$

=> *interakce se posuzuje*

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 = 0,74 + \left(1 - \frac{15336}{21718}\right) \cdot (2 \cdot 0,52 - 1)^2 = 0,74 \leq 1,0$$

=> *vyhovuje*

b) STOJINA VYZTUŽENÁ TUHÝMI PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ

Stranový poměr stěny

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{3000}{2120} = 1,42$$

Součinitel kritického napětí ve smyku

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{2120}{3000} \right)^2 = 7,34$$

Ověření štíhlosti stojiny

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{2120}{16} = 132,5 \geq \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau} = \frac{31}{1,2} \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,34} = 56,9 \quad \Rightarrow \text{stojina se musí posoudit na únosnost}$$

při boulení

Posouzení v řezu a (u krajní podpory)

$V_{Ed} = 1600 \text{ kN}$ návrhová posouvající síla ve vzdálenosti $h_w/2$ od podpory

$M_{Ed} = 1696 \text{ kNm}$ návrhový ohybový moment ve vzdálenosti $h_w/2$ od podpory

Příspěvek stojiny ke smykové únosnosti

Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{2120}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,34}} = 1,607$$

Součinitel příspěvku stojiny

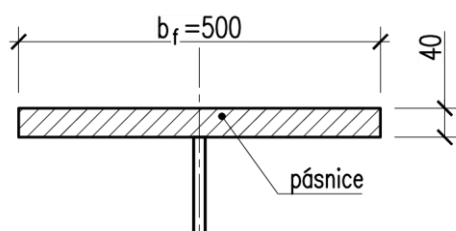
$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,607} = 0,516$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,516 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 3590 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic ke smykové únosnosti

Stanovení účinné části pásnic

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 40 = 488 \text{ mm} \geq (b_f - t_w)/2 = (500 - 16)/2 = 242 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{celá pásnice je účinná}$$



Plastický moment únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} = \frac{W_f \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{500 \cdot 40 \cdot (2120 + 40) \cdot 355}{1,0} = 15336 \text{ kNm}$$

Ověření započitatelnosti příspěvku pásnic

$$M_{Ed} = 1696 \text{ kNm} \leq M_{f,Rd} = 15336 \text{ kNm}$$

=> *příspěvek pásnic lze započítat*

Délka ukotvení tahového pole

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) = 3000 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 500 \cdot 40^2 \cdot 355}{16 \cdot 2120^2 \cdot 355} \right) = 803 \text{ mm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{500 \cdot 40^2 \cdot 355}{803 \cdot 1,0} \cdot \left(1 - \left(\frac{1696}{15336} \right)^2 \right) = 349 \text{ kN}$$

Celková únosnost průřezu ve smyku

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 3590 + 349 = 3939 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 8343 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1600}{3939} = 0,41 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakce ohybu a smyku

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{1600}{3590} = 0,45 \leq 0,5 \quad \Rightarrow \text{ohybovou únosnost není nutné redukovat}$$

Posouzení v řezu b (pod břemenem)

$V_{Ed} = 1600 \text{ kN}$ návrhová posouvající síla v místě břemene

$M_{Ed} = 16000 \text{ kNm}$ návrhový ohybový moment v místě břemene

Příspěvek stojiny ke smykové únosnosti

Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{2120}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{7,34}} = 1,607$$

Součinitel příspěvku stojiny

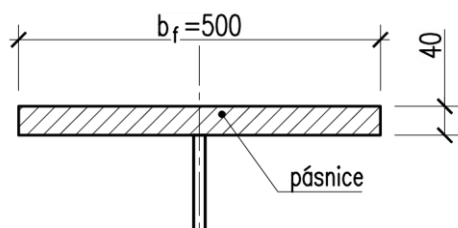
$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,607} = 0,516$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,516 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 3590 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic ke smykové únosnosti

Stanovení účinné části pásnic

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 40 = 488 \text{ mm} \geq (b_f - t_w)/2 = (500 - 16)/2 = 242 \text{ mm} \Rightarrow \text{celá pásnice je účinná}$$



Plastický moment únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} = \frac{W_f \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{500 \cdot 40 \cdot (2120 + 40) \cdot 355}{1,0} = 15336 \text{ kNm}$$

Ověření započitatelnosti příspěvku pásnic

$$M_{Ed} = 16000 \text{ kNm} \geq M_{f,Rd} = 15336 \text{ kNm} \Rightarrow \text{únosnost pásnic je plně využita pro ohybový moment - příspěvek pásnic nelze započítat}$$

$$V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$$

Celková únosnost průřezu ve smyku

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 3590 + 0 = 3590 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 8343 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1600}{3590} = 0,45 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

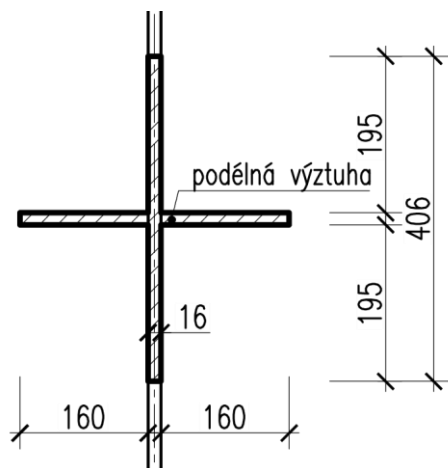
Interakce ohybu a smyku

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{1600}{3590} = 0,45 \leq 0,5 \Rightarrow \text{ohybovou únosnost není nutné redukovat}$$

c) STOJINA VYZTUŽENÁ TUHÝMI PŘÍČNÝMI VÝZTUHAMÍ A PODÉLNÝMI VÝZTUHAMÍ

Přilehlé části stojiny pro výpočet momentu setrvačnosti podélné výztuhy

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 16 = 195 \text{ mm} \Rightarrow b_w = 2 \cdot (15 \cdot \varepsilon \cdot t) + t_{sl} = 2 \cdot 195 + 15 = 406 \text{ mm}$$



Moment setrvačnosti podélné výztuhy s přilehlými částmi stojiny

$$I_{sl} = \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot t^3 + 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot t_{sl} \cdot b_{sl}^3 + t_{sl} \cdot b_{sl} \cdot \left(\frac{b_{sl} + t}{2} \right)^2 \right] =$$

$$I_{sl} = \frac{1}{12} \cdot 406 \cdot 16^3 + 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 160^3 + 15 \cdot 160 \cdot \left(\frac{160 + 16}{2} \right)^2 \right] = 47,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Součinitel kritického napětí ve smyku podélné výztuhy

$$k_{\tau,sl} = 9 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 \cdot h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}} = 9 \cdot \left(\frac{2120}{3000} \right)^2 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{47,5 \cdot 10^6}{16^3 \cdot 2120} \right)^3} \geq \frac{2,1}{16} \cdot \sqrt[3]{\frac{47,5 \cdot 10^6}{2120}} = 16,09 \geq 3,70$$

Stranový poměr stěny

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{3000}{2120} = 1,42$$

Součinitel kritického napětí ve smyku

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \cdot \frac{I_{sl}}{t^3 \cdot h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 \cdot h_w}} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \cdot \frac{47,5 \cdot 10^6}{16^3 \cdot 2120}}{1,42^2} + 2,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{47,5 \cdot 10^6}{16^3 \cdot 2120}} = 11,62$$

Ověření štíhlosti stojiny

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{2120}{16} = 132,5 \geq \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}} = \frac{31}{1,2} \cdot 0,81 \cdot \sqrt{11,62} = 71,6 \Rightarrow \text{stojina se musí posoudit na}$$

únosnost při boulení

Posouzení v řezu a (u krajní podpory)

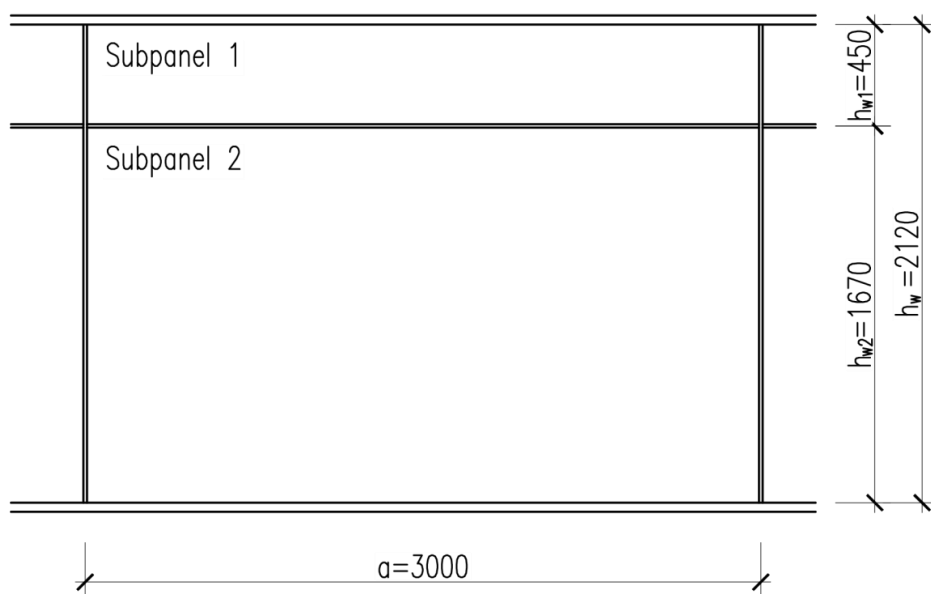
$V_{Ed} = 1600 \text{ kN}$ návrhová posouvající síla ve vzdálenosti $h_w/2$ od podpory

$M_{Ed} = 1696 \text{ kNm}$ návrhový ohybový moment ve vzdálenosti $h_w/2$ od podpory

Příspěvek stojiny ke smykové únosnosti

Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{2120}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{11,62}} = 1,278 \geq \frac{h_{wi}}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau i}}} = \{0,397; 1,337\}$$



	Subpanel 1	Subpanel 2
Stranový poměr	$\alpha_1 = \frac{a}{h_{w1}} = \frac{3000}{450} = 6,67$	$\alpha_2 = \frac{a}{h_{w2}} = \frac{3000}{1670} = 1,80$
Součinitel kritického napětí	$k_{\tau 1} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{h_{w1}}{a}\right)^2 + k_{\tau sl} =$ $= 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{450}{3000}\right)^2 + 0 = 5,43$	$k_{\tau 1} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{h_{w2}}{a}\right)^2 + k_{\tau s2} =$ $= 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{1670}{3000}\right)^2 + 0 = 6,58$
Poměrná štíhlost stojiny	$\bar{\lambda}_{w1} = \frac{h_{w1}}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau 1}}} =$ $= \frac{450}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{5,43}} = 0,397$	$\bar{\lambda}_{w2} = \frac{h_{w2}}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau 2}}} =$ $= \frac{1670}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{6,58}} = 1,337$

Součinitel příspěvku stojiny

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,337} = 0,621$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,621 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 4315 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic ke smykové únosnosti

Stanovení účinné části pásnic

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 40 = 488 \text{ mm} \geq (b_f - t_w)/2 = (500 - 16)/2 = 242 \text{ mm} \Rightarrow \text{celá pásnice je účinná}$$

Plastický moment únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} = \frac{W_f \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{500 \cdot 40 \cdot (2120 + 40) \cdot 355}{1,0} = 15336 \text{ kNm}$$

Ověření započitatelnosti příspěvku pásnic

$$M_{Ed} = 1696 \text{ kNm} \leq M_{f,Rd} = 15336 \text{ kNm} \Rightarrow \text{příspěvek pásnic lze započítat}$$

Délka ukotvení tahového pole

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) = 3000 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 500 \cdot 40^2 \cdot 355}{16 \cdot 2120^2 \cdot 355} \right) = 803 \text{ mm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = \frac{500 \cdot 40^2 \cdot 355}{803 \cdot 1,0} \cdot \left(1 - \left(\frac{1696}{15336} \right)^2 \right) = 349 \text{ kN}$$

Celková únosnost průřezu ve smyku

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 4315 + 349 = 4664 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 8343 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1600}{4664} = 0,34 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakce ohybu a smyku

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{1600}{4315} = 0,37 \leq 0,5 \Rightarrow \text{ohybovou únosnost není nutné redukovat}$$

Posouzení v řezu b (pod břemenem)

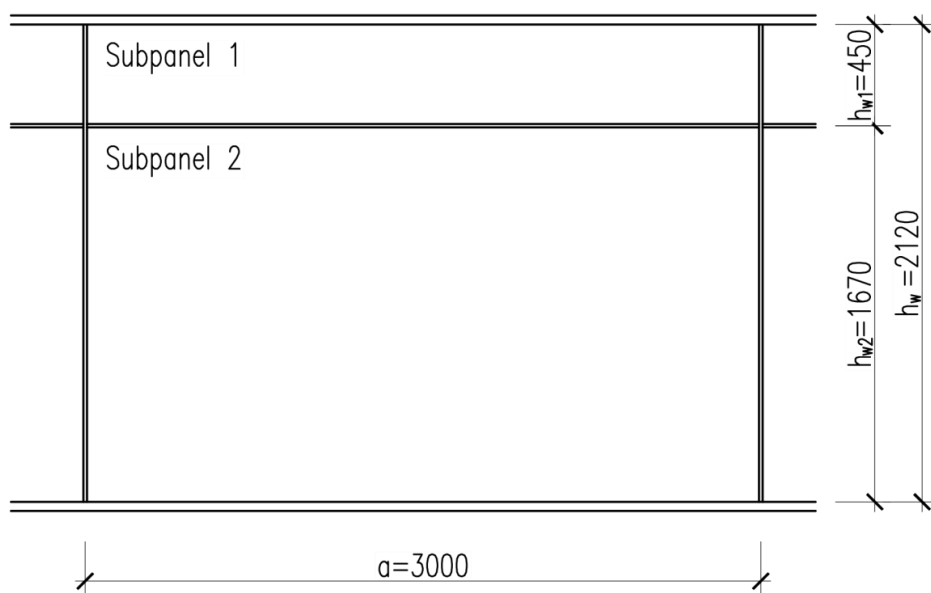
$V_{Ed} = 1600 \text{ kN}$ návrhová posouvající síla v místě břemene

$M_{Ed} = 16000 \text{ kNm}$ návrhový ohybový moment v místě břemene

Příspěvek stojiny ke smykové únosnosti

Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{2120}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{11,62}} = 1,278 \geq \frac{h_{wi}}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{ti}}} = \{0,397; 1,337\}$$



	Subpanel 1	Subpanel 2
Stranový poměr	$\alpha_1 = \frac{a}{h_{w1}} = \frac{3000}{450} = 6,67$	$\alpha_2 = \frac{a}{h_{w2}} = \frac{3000}{1670} = 1,80$
Součinitel kritického napětí	$k_{\tau 1} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{h_{w1}}{a}\right)^2 + k_{\tau s1} =$ $= 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{450}{3000}\right)^2 + 0 = 5,43$	$k_{\tau 1} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{h_{w2}}{a}\right)^2 + k_{\tau s2} =$ $= 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{1670}{3000}\right)^2 + 0 = 6,58$
Poměrná štíhlost stojiny	$\bar{\lambda}_{w1} = \frac{h_{w1}}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau 1}}} =$ $= \frac{450}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{5,43}} = 0,397$	$\bar{\lambda}_{w2} = \frac{h_{w2}}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau 2}}} =$ $= \frac{1670}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{6,58}} = 1,337$

Součinitel příspěvku stojiny

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,337} = 0,621$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,621 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 4315 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic ke smykové únosnosti

Stanovení účinné části pásnic

$$15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 40 = 488 \text{ mm} \geq (b_f - t_w)/2 = (500 - 16)/2 = 242 \text{ mm} \Rightarrow \text{celá pásnice je účinná}$$

Plastický moment únosnosti průřezu sestávajícího pouze z účinné plochy pásnic

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} = \frac{W_f \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_{yf}}{\gamma_{M0}} = \frac{500 \cdot 40 \cdot (2120 + 40) \cdot 355}{1,0} = 15336 \text{ kNm}$$

Ověření započitatelnosti příspěvku pásnic

$M_{Ed} = 16000 \text{ kNm} \geq M_{f,Rd} = 15336 \text{ kNm} \Rightarrow$ *únosnost pásnic je plně využita pro ohybový moment - příspěvek pásnic nelze započítat*

$$V_{bf,Rd} = 0 \text{ kN}$$

Celková únosnost průřezu ve smyku

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 4315 + 0 = 4315 \text{ kN} \leq V_{c,Rd} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \cdot 355 \cdot 2120 \cdot 16}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 8343 \text{ kN}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1600}{4315} = 0,37 \leq 1,0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakce ohybu a smyku

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{1600}{4315} = 0,37 \leq 0,5 \Rightarrow \text{ohybovou únosnost není nutné redukovat}$$

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VARIANT

		U krajní podpory			Pod břemenem		
		a)	b)	c)	a)	b)	c)
V_{Ed}	[kN]	1600	1600	1600	1600	1600	1600
M_{Ed}	[kNm]	1696	1696	1696	16000	16000	16000
k_τ	[-]	-	7,34	11,62	-	7,34	11,62
$\bar{\lambda}_w$	[-]	1,885	1,607	1,278	1,885	1,607	1,278
χ_w	[-]	0,440	0,516	0,621	0,440	0,516	0,621
$V_{bw,Rd}$	[kN]	3061	3590	4315	3061	3590	4315
$V_{bf,Rd}$	[kN]	349	349	349	0	0	0
$V_{b,Rd}$	[kN]	3411	3939	4664	3061	3590	4315
Podíl pásnic	[%]	10,2	8,9	7,5	0	0	0
η_3	[-]	0,47	0,41	0,34	0,52	0,45	0,37
$\bar{\eta}_3$	[-]	0,52	0,45	0,37	0,55	0,45	0,37