

1 OHYB NOSNÍKU - SVAŘOVANÝ PROFIL TVARU I SE ŠTÍHLOU STĚNOU (Posouzení podle ČSN 73 1401-98)

Poznámka: Dále psaný text je lze rozlišit podle typu písma.

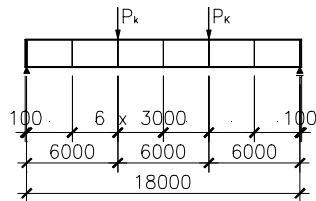
Typem písma Times New Roman – normální nebo **tučné** – jsou psané poznámky, které se obvykle zapisují do statického výpočtu.

Typem písma Times New Roman – kurzíva normální nebo **tučná** – jsou psané poznámky, které se obvykle nezapisují do statického výpočtu.

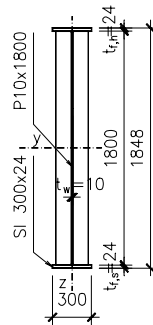
1.1 GEOMETRIE NOSNÍKU

Geometrie nosníku, resp. geometrické schéma konstrukce se vykresluje tak, aby si bylo možné učinit hrubý přehled o tvaru konstrukce a jejím umístění v prostoru.

Detaily se obvykle nevykreslují. Postupuje se v souladu s [4].



Obr. 1 Statické schéma



Obr. 2 Příčný řez nosníkem (odhad rozměrů)

1.2 ZATÍŽENÍ NOSNÍKU

Zatížení je zpracované do tabulky, přičemž Charakteristické (dle [1] normové) hodnoty stálého zatížení jsou uvažovány v souladu s [1], nahodilá zatížení je určeno na základě rozboru zatížení na konstrukci.

STÁLÉ	G_k (kN/bm)	γ_f	G_d (kN/bm)
Tíha nosníku (odhad)	2,54	1,10	2,80
NAHODILÉ	Q_k (kN)	γ_f	Q_d (kN)
Osamělé břemeno P	200,00	1,2	240,00

1.3 NÁVRH A POSOUZENÍ NOSNÍKU

1.3.1 Výpočet vnitřních sil a reakcí pro nejnepříznivější kombinaci sil

Pro sestavení **všech** statických schémat, která připadají v úvahu (podmínky působení při montáži, provozu, kombinace zatížení atd.) určíme nejnepříznivější vnitřní síly a ohybové momenty.

$M_{Sd} = g \cdot L^2 / 8 + P_d \cdot L / 3 = 2,8 \cdot 18^2 / 8 + 240 \cdot 18 / 3 = 113,4 + 1440 = 1553,4$ kNm... maximální moment od vnějšího zatížení

$V_{max,Sd} = g \cdot L / 2 + P_d = 2,8 \cdot 18 / 2 + 240,0 = 265,2$ kN... maximální reakce od vnějšího zatížení

1.3.2 Návrh a posouzení nosníku

Při návrhu dimenzí průřezu je nutné vycházet z hodnoty ohybového momentu a je vhodné počítat s rezervou únosnosti - cca 15%. Dále je zde proveden návrh a posouzení krajních a vnitřních výztuh. Krajní výztuchy jsou umístěny nad podporami, vnitřní výztuchy jsou zejména pod působícími břemeny. Postup při návrhu rozměrů se nezaznamenává, zapisuje se pouze postup při posouzení.

I_w 1848 - 2x300*24 + P10*1800, výztuchy 120*12 oboustranné, po 3 000 mm; (S 355)

Problematika krčnic svarů, lokální únosnosti stojiny a lokální stability stojiny nosníku nejsou v tomto příkladě řešeny.

Materiálové charakteristiky pro tl. $t \leq 40$ mm: $f_y = 355$ MPa; $f_u = 510$ MPa; [2] (Tab. 4.2)

Parciální součinitele spolehlivosti: $\gamma_{M1} = 1,15$ [2] (Tab. 6.1)

• Průřezové charakteristiky:

$$A = 2 \cdot 300 \cdot 24 + 1800 \cdot 10 = 32400 \text{ mm}^2;$$

$$I_y = \frac{2 \cdot 300 \cdot 24^3}{12} + \frac{1800^3 \cdot 10}{12} + 2 \cdot 300 \cdot 24 \cdot (924 - 12)^2 = 16,8 \cdot 10^9 \text{ mm}^4;$$

$$I_z = \frac{300^3 \cdot 48}{12} + \frac{1800 \cdot 10^3}{12} = 0,1081 \cdot 10^9 \text{ mm}^4;$$

$$I_t = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot 300 \cdot 24^3 + 1800 \cdot 10^3) = 3,36 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{\omega} = I_z \cdot \frac{h_s^2}{4} = 1,081 \cdot 10^8 \cdot \frac{(1848 - 2 \cdot 12)^2}{4} = 89,91 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4 \dots \text{výšečový moment setrvačnosti}$$

$$W_{el,y} = \frac{16,8 \cdot 10^{10}}{924} = 18,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \dots \text{elastický modul průřezu krajního vlákna příruby k ose y}$$

$$W_{pl,y} = 2 \cdot (300 \cdot 24 \cdot 912 + 900 \cdot 10 \cdot 450) = 21,23 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \dots \text{plastický modul průřezu vlákna příruby k ose y}$$

$$W_{el,z} = \frac{0,1081 \cdot 10^9}{150} = 0,721 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \dots \text{modul průřezu horní i spodní příruby k ose z}$$

$$i_{zp} = i_1 = \sqrt{\frac{300^3 \cdot 24 + \frac{1800 \cdot 10^3}{6}}{12 \cdot \left(300 \cdot 24 + \frac{1800 \cdot 10}{6}\right)}} = 72,8 \text{ mm} \dots \text{poloměr setrvačnosti horního pasu včetně 1/6 plochy přilehlé části stojiny dle [2] čl. 6.8.2.1}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{16,8 \cdot 10^9}{32400}} = 720,1 \text{ mm}; \quad i_z = \sqrt{\frac{0,1081 \cdot 10^9}{32400}} = 57,8 \text{ mm}$$

• Klasifikace průřezu nosníku:

[2] (6.3) a (Tab. 6.2)

- horní příruha (přečnivající části pásnic, svařované průřezy, případ pásnice v tlaku) :

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w}{2} - t_{we}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 10}{2} - 5 \cdot \sqrt{2}}{24} = 5,75 < 9\epsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{třída 1}$$

- stojina (vnitřní část kolmá k ose ohybu, případ stojina je namáhaná ohybem) :

$$d_w = h - t_{fn} - t_{fs} - t_{we} = 1848 - 24 - 24 - 2 \cdot 5 \cdot \sqrt{2} = 1786 \text{ mm} \text{ (výška stěny)}$$

$$\frac{d_w}{t_w} = \frac{1786}{10} = 178,6 > 124\epsilon = 124 \cdot \sqrt{235/f_y} = 124 \cdot \sqrt{235/355} = 100,9 \rightarrow \text{třída 4}$$

celý průřez je **třídy 4** (rozhoduje nejvyšší zatřídění)

• Stanovení efektivního průřezu prutu:

dle [2] (6.3.4) a Tab. 6.3

- efektivní plocha tlačené příruby :

$$A_{eff} = A_{f,c} = 300 \cdot 24 = 7200 \text{ mm}^2 \text{ (příruba třídy I)}$$

efektivní plocha tažené příruby :

$$A_{eff} = A_{f,t} = 300 \cdot 24 = 7200 \text{ mm}^2 \text{ (plocha tažených částí se neredukuje)}$$

- efektivní plocha stojiny:

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_{el,y}} = + \frac{1553,4 \cdot 10^6 \cdot 900}{1,82 \cdot 10^7} = +83,1 \text{ MPa} = -\sigma_2$$

$\sigma_1, (\sigma_2)$... normálové napětí v krajním horním, (spodním) vlákně stěny – tlak je označen kladně, tah záporně

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{83,04}{83,04} = -1 < 0 \Rightarrow k_{\sigma} = 23,9$$

dle [2] Tab. 6.3

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81; \bar{b} = d_w = 1786 \text{ mm}$$

dle [2] čl. 6.3.4

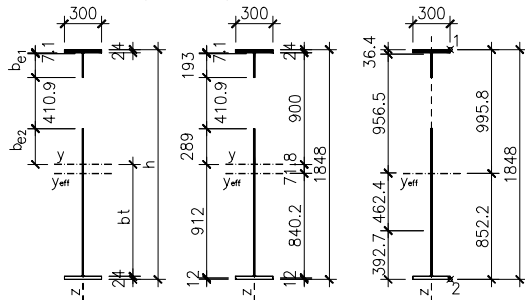
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot t_w \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{1786}{28,4 \cdot 0,81 \cdot 10 \cdot \sqrt{23,9}} = 1,58 > 0,673 \dots \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,58 - 0,22}{1,58^2} = 0,54 \dots \text{ průřezové charakteristiky se změní}$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot \bar{b}}{1 - \psi} = \frac{0,54 \cdot 1786}{1 + 1} = 482 \text{ mm}$$

dle [2] Tab. 6.3

$$b_{c,1} = 0,4 \cdot b_{eff} = 0,4 \cdot 482 = 193 \text{ mm}; b_{c,2} = 0,6 \cdot b_{c,eff} = 0,6 \cdot 482 = 289 \text{ mm}$$



Obr. 3 Efektivní průřez

Při výpočtu ohybové únosnosti prutu průřezu třídy 4 se počítá s průřezovými charakteristikami

$A_{eff}; I_{eff}; W_{eff}$, které odpovídají efektivním průřezům znázorněnému na Obr. 3.

$$A_{eff} = 28291 \text{ mm}^2; I_{eff,y} = 15,629 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

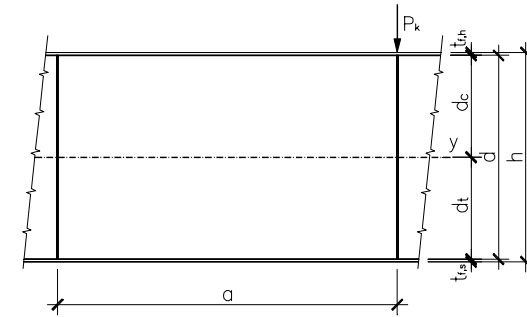
$$W_{eff,y,1} = \frac{15,629 \cdot 10^9}{995,8} = 15,69 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \dots \text{ modul průřezu krajního vlákna horní příruby (1) k ose } y_{eff}$$

$$W_{eff,y,2} = \frac{15,629 \cdot 10^9}{852,2} = 18,34 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \dots \text{ modul průřezu krajního vlákna spodní příruby (2) k ose } y_{eff}$$

1.3.2.1.1 Posouzení ve smyku

dle [2] čl. 6.7.3

- stranový poměr polí:



Obr. 4 Schéma jednoho zatíženého pole stojiny

Všeobecně je účelné, aby stranový poměr $\alpha = a/d \geq 1,0$. Z hlediska smykové únosnosti je příčné vyztužení stojin účinné, když stranový poměr $\alpha = a/d < 3$.

$$\alpha = \max\left(\frac{a}{d}; \frac{d}{a}\right) = \max\left(\frac{3000}{1800} = 1,667; \frac{1800}{3000} = 0,6\right) = 1,667$$

$$\beta_w = \frac{d}{t_w} = \frac{1800}{10} = 180 > 70 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yw}}} = 70 \cdot 0,81 = 57$$

dle [2] (6.29)

- maximální štíhlost stojiny:

dle [2] (6.30)

$$\beta_{1,V} = 90 \cdot \left(0,7 + \frac{0,3}{\alpha^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yw}}} = 90 \cdot \left(0,7 + \frac{0,3}{1,667^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 59,2 < \beta_w = 180 \dots \text{ stěna je štíhlá a proto:}$$

- bude mít příčné oboustranné výztuhy;

- se musí redukovat v důsledku boulení stěny její smyková únosnost.

- redukční součinitel ve smyku:

dle [2] (6.36)

$$\rho_{V,a} = \frac{\beta_{1,V}}{0,8 \cdot \beta_w + 0,2 \cdot \beta_{1,V}} = \frac{59,2}{0,8 \cdot 180 + 0,2 \cdot 59,2} = 0,38$$

- smyková únosnost:

dle [2] (6.32)

$$V_{b,Rd} = V_{pl,Rd} \cdot \rho_{V,a} = A_w \cdot \frac{f_{yw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \cdot 0,38 = 1786 \cdot 10 \cdot \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,15} \cdot 0,38 = 1209580 \text{ N} = 1209,58 \text{ kN}$$

$V_{Sd} = 265,2 \text{ kN} < V_{b,Rd} = 1209,58 \text{ kN} \dots$ nosník na smyk vyhoví

$V_{Sd} = 265,2 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{b,Rd} = 0,5 \cdot 1209,58 = 604,8 \text{ kN} \dots$ není nutné redukovat momentovou únosnost

dle [2] (čl. 6.7.5)

Poznámka:

Pokud by bylo nutné redukovat momentovou únosnost v důsledku vlivu smyku, lze postupovat dle [2] čl. 6.7.5:

$$\text{pro } V_{Sd} > 0,5V_{b,Rd} \left(= V_{pl,Rd} \cdot \rho_{V,a} = V_{pl,Rd} \cdot \frac{\beta_{1,V}}{0,8\beta_w + 0,2\beta_{1,V}} \right) \text{ platí, že}$$

$$M_{Sd} > M_{IN,Rd} + (M_{cN,Rd} - M_{fN,Rd}) \cdot \left[1 - \left(2V_{Sd} / V_{b,Rd} - 1 \right)^2 \right], \text{ kde}$$

$M_{cN,Rd}$ je moment únosnosti efektivního průřezu redukováný v důsledku případného působení tlakové osové síly N_{sd} ;

$M_{tN,Rd}$ je moment únosnosti průřezu složeného pouze z pásnic, redukováný v důsledku případného působení tlakové osové síly N_{sd} ;

• **boulení stojiny od ohybu pásnic:** dle [2] čl. 6.7.2.4

k vybočení pásnice v rovině stěny nedojde, pokud $\frac{d}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$ dle [2] (6.27)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{1800}{10} = 180 \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0,3 \frac{2,1 \cdot 10^5}{355} \sqrt{\frac{1800 \cdot 10}{300 \cdot 24}} = 280,6 \dots \text{Stojina vyhoví.}$$

1.3.2.1.2 Posouzení na namáhání ohybem dle [2] (čl. 6.8.2)

Při posuzování nosníku musíme uvážit jednak vliv štíhlého průřezu, jednak možnost ztráty stability nosníku při ohybu (klopení).

Ohybaný prut nemusí být posuzován na klopení (ztrátu stability při ohybu) v těchto případech:

- průřez prutu je tuhý kroucení, např. uzavřený průřez
- při ohybu v hlavní rovině menší tuhosti průřezu prutu
- je-li tlacený pás zabezpečen proti vybočení z roviny ohybu nebo je-li průřez prutu zabezpečen proti pootočení, a to spojitě nebo ve vzdálenostech menších než 40ti násobek poloměru setrvačnosti konvenčního tlaceného pásu nosníku - i_{zp} . Přitom uvažujeme poloměr setrvačnosti z roviny ohybu pro konvenční tlacený pás nosníku, který je tvořen pásnicí (přírubou) nosníku a přilehlou částí stojiny, zahrnující 1/6 její plochy.

Nosník není tuhý v kroucení ani není ohybaný v hlavní rovině menší tuhosti. Proto zbývá posoudit ještě poslední podmínku. Tlacený pás je zabezpečen proti vybočení z roviny ohybu v místech působení břemen a v uložení, tzn. po vzdálenostech $L_z = 6\,000\text{mm}$

$40 \cdot i_{zp} = 40 \cdot 72,86 = 2910\text{mm} < 6000\text{mm}$... je třeba uvažovat vliv klopení dle [2] (čl. 6.8.2.1)

Pruty s průřezy třídy 4, namáhané ohybem, musí splňovat podmínky:

$$M_{sd} \leq M_{b,Rd}; M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad \text{dle [2] (6.65), (6.66)}$$

$$\beta_w = W_{eff,y,1} / W_{pl,y} = 15,69 \cdot 10^6 / 2,12 \cdot 10^7 = 0,74$$

• **součinitel vzpěrnosti χ_{LT} :**

$$\alpha_t = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h} \cdot \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{6000}{1848} \cdot \sqrt{\frac{3,36 \cdot 10^6}{1,08 \cdot 10^8}} = 0,355 \approx 0,40 \quad \text{dle [2] (G.5)}$$

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y}} \cdot z_1 \cdot a_1 = \sqrt{\frac{0,1081 \cdot 10^9}{16,8 \cdot 10^9}} \cdot 912 \cdot 912 = 73,15\text{ mm} \quad \text{dle [2] (G.10a)}$$

kde z_1 je vzdálenost těžiště tlacené pásnice od těžiště průřezu,

a_1 větší ze vzdáleností střednic tlacené nebo tažené pásnice od středu smyku;

$\gamma = 1,22$... kloubové uložení pro vybočení i zkroucení, zatížení na horní přírubě - řádek $\psi = 0$, KK

dle [2] Tab. G.3

$$\lambda = \gamma \frac{\kappa_M \cdot L_z}{i_{z1}} = 1,22 \frac{0,94 \cdot 6000}{73,15} = 94,1 \quad \text{dle [2] (G.10), Obrázek G3}$$

• Pro vysoké svařované nosníky nemá být štíhlost λ menší než kritická štíhlost pásu λ_f dle [2] čl. G.5

$$\lambda = 94,1 \geq \lambda_f = \frac{\kappa_M \cdot a}{i_1} = \frac{1,0 \cdot 3000}{72,8} = 41,2 \quad \text{dle [2] (G.9), Obrázek G3}$$

kde κ_M je součinitel vzpěrné délky při klopení pro $L_z = a$ dle [2] Obrázek G3,

a vzdálenost příčných výztuh v oboru největšího momentu,

i_1 poloměr setrvačnosti konvenčního tlaceného pásu;

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{210000/355} = 76,41 \quad \text{dle [2] (6.58)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = (\lambda/\lambda_1) \cdot \sqrt{(W_{eff,y}/W_{el,y})} = (94,1/76,41) \cdot \sqrt{15,69 \cdot 10^6 / (18,2 \cdot 10^6)} = 1,14 \quad \text{dle [2] čl. 6.8.2.2}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left(1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,49 \cdot (1,14 - 0,2) + 1,14^2 \right) = 1,38 \quad \text{dle [2] čl. 6.8.2.2}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\left(\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2} \right)} = \frac{1}{(1,38 + \sqrt{1,38^2 - 1,14^2})} = 0,46$$

• Pružný moment únosnosti pro horní vlákna s vlivem klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y,1} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,46 \cdot 0,74 \cdot 21,2 \cdot 10^6 \cdot 355 / 1,15 = 2227,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

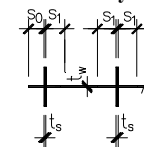
• Pružný moment únosnosti pro dolní vlákna

$$M_{b,Rd} = W_{eff,y,2} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 18,34 \cdot 10^6 \cdot 355 / 1,15 = 5661 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

• Rozhoduje pružný moment únosnosti pro horní vlákna s vlivem klopení

$$M_{sd} \leq M_{b,Rd} \dots 1553,4 \text{ kNm} < 2227,7 \text{ kNm} \dots \text{nosník vyhoví.}$$

1.3.2.1.3 Výztuchy stojiny nosníku



• **Koncové příčné výztuchy**

2*PLO 120/12 (S 355):

• zatřídění profilu výztuchy

$$\frac{c}{t} = \frac{120}{12} = 10 < 14\epsilon = 14 \cdot \sqrt{235/355} = 11,34 \rightarrow \text{třída 3}$$

• zatřídění spolupůsobící části stojiny

dle [2] Tab. 6.2

$$s_0 = 15t_w \cdot \sqrt{235/f_y} = 15 \cdot 10 \cdot \sqrt{235/355} = 121,5 \text{ mm} \dots \text{spolupůsobící část stojiny na konci nosníku,}$$

v řešeném případě bude $s_0 = 100 \text{ mm}$,

$$s_1 = 15t_w \cdot \sqrt{235/f_y} = 15 \cdot 10 \cdot \sqrt{235/355} = 121,5 \text{ mm} \dots \text{spolupůsobící část stojiny - vnitřní,}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{121,5}{10} = 12,1 < 33\epsilon = 33 \cdot \sqrt{235/355} = 26,73 \rightarrow \text{třída 1}$$

profil příčné výztuchy je třídy 3 ... vyhovuje, $\beta_A = 1,0$;

• tuhost výztuchy

dle [2] čl. 6.7.6.1

$$d_w/t_w = 1786/10 = 178,6 \dots \kappa_s = 3; a/d = 3000/1800 = 1,667 \dots \gamma_s = 6$$

dle [2] (6.50)

$$I_s \geq 0,1 \cdot d_w \cdot t_w^3 \cdot \kappa_s \cdot \gamma_s = 0,1 \cdot 1786 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 6 = 0,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \dots \text{nutný moment setrvačnosti}$$

$$I_s = \frac{12 \cdot (2 \cdot 120 + 10)^3}{12} = 1,56 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 > 0,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \quad (\text{při výpočtu momentu setrvačnosti je zane-}$$

dbána spolupůsobící část stojiny o šířce s_0 a s_1)

Tuhost příčné koncové výztuchy vyhovuje.

• **Posouzení pro zatížení místní příčnou silu F_{sd}**

vzpěrná únosnost pro vybočení kolmo k ose y (z roviny svislého nosníku); $F_{sd} = P_d = 265,2 \text{ kN}$

• **součinitel vzpěrnosti χ :**

dle [2] čl. 6.8.1, Tab. 6.8

$$A = 2 \cdot 120 \cdot 12 + (121,5 + 100) \cdot 10 = 5095 \text{ mm}^2; i_y = \sqrt{I_s/A} = \sqrt{1,56 \cdot 10^7 / 5095} = 55,3 \text{ mm};$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = (0,75 \cdot 1786)/55,3 = 24,2; \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{235/f_y} = 93,9 \cdot \sqrt{235/355} = 76,4;$$

$$\bar{\lambda}_y = (\lambda_y/\lambda_1) \cdot \sqrt{\beta_A} = (24,2/76,4) \cdot \sqrt{1} = 0,32 \dots \text{ pro křivku c} \dots \chi_y = 0,939$$

• Vzpěrná únosnost příčné výztuhy $N_{b,Rd}$: dle [2] čl. 6.8.1.1

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,939 \cdot 1 \cdot 5095 \cdot 355}{1,15} = 1476863 \text{ N} = 1476,86 \text{ kN} > F_{sd} = P_d = 265,2 \text{ kN}$$

únosnost koncové výztuhy vyhovuje

• **Posouzení na tlakovou sílu N_{sd}** dle [2] čl. 6.7.6.1

$V_{sd} = V_{max} = 265,2 \text{ kN}$... větší z posouvajících sil po obou stranách výztuhy (max. reakce)

$$\beta_{1,v} = 90 \cdot (0,7 + 0,3/\alpha^2) \cdot \sqrt{235/f_{yw}} = 90 \cdot (0,7 + 0,3/1,667^2) \cdot 0,81 = 58,9 \quad \text{dle [2] (6.30)}$$

$$\beta_w = d/t_w = 1786/10 = 178,6 \quad \text{dle [2] (6.29)}$$

$$\rho_{v,m} = \beta_{1,v}/\beta_w = 58,9/178,6 = 0,33 \leq 1,0 \dots \text{ redukční součinitel při smyku} \quad \text{dle [2] (6.34)}$$

• **minimální únosnost pole stojiny** dle [2] (6.33)

$$V_{bm,Rd} = V_{pl,Rd} \cdot \rho_{v,m} = 1786 \cdot 10 \cdot \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,15} \cdot 0,33 = 3224154 \text{ N} = 3224,1 \text{ kN}$$

$N_{sd} = V_{sd} - V_{bm,Rd} = 265,2 - 3224,1 = -2958,9 \text{ kN}$... není nutné posuzovat výztuhu na tlakovou sílu, neboť minimální únosnost pole stojiny je dostatečná.

• **Posouzení na účinky ohybového momentu M_{sd} , vyvolaného pokrítickým působením stojiny-**
Posouzení bude provedeno dle [2] čl. 6.7.6.1

$$A_v = d \cdot t_w = 1786 \cdot 10 = 17860 \text{ mm}^2 \quad \text{dle [2] čl. 6.6.5.1}$$

$$\tau = V_{sd,max}/(d \cdot t_w) = 265200/(1786 \cdot 10) = 14,84 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \min(\tau, \frac{f_{yw} \cdot \rho_{v,m}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}) = \max(14,84; 59,6) = 14,84 \text{ MPa} \quad \text{dle [2] (6.53)}$$

$$\alpha = 1,667 \quad \text{dle [2] čl. 6.7.3}$$

$$M_{sd} = \frac{A_v \cdot (\tau - \tau_m) \cdot d}{10 \cdot (\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha)} = \frac{17860 \cdot (14,84 - 14,86) \cdot 1786}{10 \cdot (\sqrt{1 + 1,667^2} - 1,667)} = 0 \quad \text{dle [2] (6.52)}$$

Krajní příčné výztuhy **vyhoví**.

• **Vnitřní příčné výztuhy**

2*PLO 120/12 (S 335) po 3000 mm: dle [2] čl. 6.7.6

• zatřídění profilu výztuhy dle [2] Tab. 6.2

$$c/t = 120/12 = 10 < 14\epsilon = 14 \cdot \sqrt{235/355} = 11,4 \rightarrow \text{třída 3}$$

• zatřídění spolupůsobící části stojiny dle [2] Tab. 6.2

$$s_1 = 2 \cdot 15t_w \cdot \sqrt{235/f_y} = 2 \cdot 15 \cdot 10 \cdot \sqrt{235/355} = 243 \text{ mm} \dots \text{ spolupůsobící část stojiny}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{234/2}{10} = 12,1 < 33\epsilon = 33 \cdot \sqrt{235/355} = 26,7 \rightarrow \text{třída 1}$$

profil příčné výztuhy je **třídy 3**, vyhovuje

• tuhost výztuhy dle [2] čl. 6.7.6.1

$$d_w/t_w = 1786/10 = 178,6 \dots \kappa_s = 3; a/d = 3000/1800 = 1,667 \dots \gamma_s = 6$$

$$I_s \geq 0,1 \cdot d_w \cdot t_w^3 \cdot \kappa_s \cdot \gamma_s = 0,1 \cdot 1786 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 6 = 0,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \dots \text{ nutný moment setrvačnosti}$$

$$I_s = \frac{12 \cdot (2 \cdot 120 + 10)^3}{12} = 1,56 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 > 0,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \quad (\text{při výpočtu momentu setrvačnosti je zanedbána spolupůsobící část stojiny o šířce } s_1) \dots \text{ Tuhost vnitřní příčné výztuhy vyhovuje.}$$

• **Posouzení pro zatížení místní příčnou sílu F_{sd}**

vzpěrná únosnost pro vybočení kolmo k ose y (z roviny svislého nosníku); $F_{sd} = P_d = 265,20 \text{ kN}$

• součinitel vzpěrnosti χ : dle [2] čl. 6.8.1, Tab. 6.8

$$A = 2 \cdot (120 \cdot 12 + 121,5 \cdot 10) = 5310 \text{ mm}^2; i_y = \sqrt{I_s/A} = \sqrt{1,56 \cdot 10^7 / 5310} = 54,2 \text{ mm};$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = (0,75 \cdot 1786)/54,2 = 24,7; \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{235/f_y} = 93,9 \cdot \sqrt{235/355} = 76,4; \beta_A = 1,0;$$

$$\bar{\lambda}_y = (\lambda_y/\lambda_1) \cdot \sqrt{\beta_A} = (24,7/76,4) \cdot \sqrt{1} = 0,32 \dots \text{ pro křivku c} \dots \chi_y = 0,939$$

• Vzpěrná únosnost příčné výztuhy $N_{b,Rd}$: dle [2] čl. 6.8.1.1

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,939 \cdot 1 \cdot 5310 \cdot 355}{1,15} = 1539184 \text{ N} = 1539,2 \text{ kN} > F_{sd} = 265,2 \text{ kN}$$

Únosnost vnitřní výztuhy **vyhovuje**.

• **Posouzení na tlakovou sílu N_{sd}** dle [2] čl. 6.7.6.1

$V_{sd} = V_{max} - 6,0 \cdot g_d = 265,2 - 6,0 \cdot 2,8 = 248,4 \text{ kN}$... větší z posouvajících sil po obou stranách výztuhy

$$\beta_{1,v} = 90 \cdot (0,7 + 0,3/\alpha^2) \cdot \sqrt{235/f_{yw}} = 90 \cdot (0,7 + 0,3/1,667^2) \cdot 0,81 = 58,9 \quad \text{dle [2] (6.30)}$$

$$\beta_w = \frac{d}{t_w} = \frac{1786}{10} = 178,6 \quad \text{dle [2] (6.29)}$$

$$\rho_{v,m} = \beta_{1,v}/\beta_w = 58,9/178,6 = 0,33 \leq 1,0 \dots \text{ redukční součinitel při smyku} \quad \text{dle [2] (6.34)}$$

• **Minimální únosnost pole stojiny** dle [2] (6.33)

$$V_{bm,Rd} = V_{pl,Rd} \cdot \rho_{v,m} = 1786 \cdot 10 \cdot \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,15} \cdot 0,33 = 3224154 \text{ N} = 3224,1 \text{ kN}$$

$N_{sd} = V_{sd} - V_{bm,Rd} = 248,4 - 3224,1 = -2975,7 \text{ kN}$ **není nutné posuzovat výztuhu na tlakovou sílu, neboť minimální únosnost pole stojiny je dostatečná**

Vnitřní výztuhy **vyhoví**.

1.3.2.1.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti: dle [2] Tab. 5.1

$$\delta = \frac{5 \cdot g_n \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} + \frac{23 \cdot P_n \cdot L^3}{648 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 2,54 \cdot 18000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 16,87 \cdot 10^9} + \frac{23 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 18000^3}{648 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 16,87 \cdot 10^9} =$$

$$= 0,98 + 11,67 = 12,65 \text{ mm} < \frac{L}{300} = \frac{18000}{300} = 60 \text{ mm}$$

Nosník na průhyb **vyhoví**.

1.4 Použitá literatura

- | | |
|---------------------------|---|
| [1] ČSN 73 0035 | ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ |
| [2] ČSN 73 1401 - 1998 | NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ |
| [3] ČSN P ENV 1993-1-1:94 | NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ |
| | Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby |
| [4] ČSN 01 3483-87 | VÝKRESY KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ |