

9. Únosnost ve smyku

Posouzení vyztužené stěny podle ČSN EN 1993-1-5 resp. prEN1993-1-5/2022

Používá se teorie rotovaných napětí. Vliv výztuh je zahrnut úměrně vyššímu kritickému napětí - po mírné úpravě souhlasí s experimenty.

Únosnost ve smyku (včetně boulení):

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

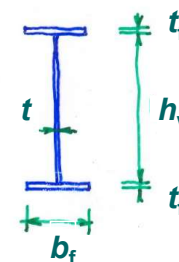
→ příspěvek stojiny
→ příspěvek pásnic (malý, obvykle se zanedbává)

$\eta = 1,2$ (pro oceli do S460)
tj. připouští se částečná plastizace

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Posudek není nutný pro stojiny se štíhlostí:

$$\text{nevyztužené } \frac{h_w}{t} \leq \frac{72}{\eta} \varepsilon ; \text{ vyztužené } \frac{h_w}{t} \leq \frac{31}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$$



Stabilita stěn

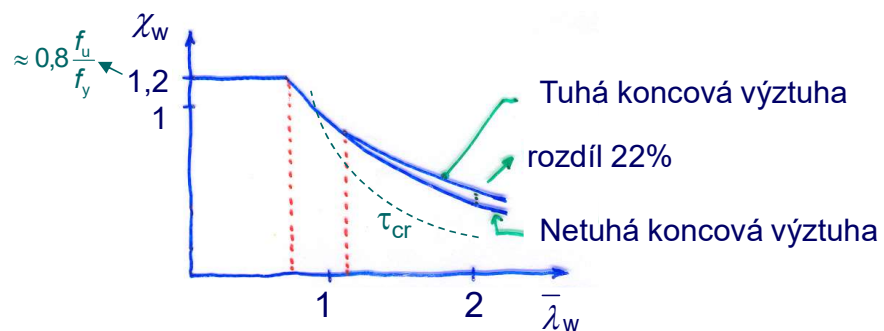
1

Příspěvek stojiny

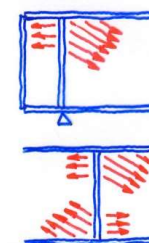
$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku lze **podle experimentů** zvýšit pro tuhou koncovou výztuhu a vnitřní panely:

Pro štíhlost \	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$



Důvodem
je zakotvení
pole →



Stabilita stěn

2

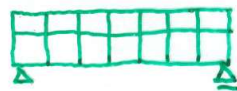
Štíhlost stojiny $\bar{\lambda}_w$

- nevyztužené stojiny (resp. jen na konci nosníku):



$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y / \sqrt{3}}{\tau_{cr}}} = \frac{h_w}{86,4 t \varepsilon}$$

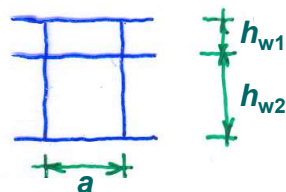
- stojiny s příčnými nebo podélnými výztuhami:



$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_\tau}}$$

Součinitel kritického napětí k_τ se bere jako menší z hodnot pro boulení:

a) největšího panelu mezi tuhými příčnými výztuhami:



$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w \geq 1$$

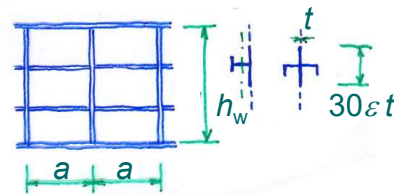
$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{pokud } a / h_w < 1$$

kde $k_{\tau sl} = 0$ (týká se pouze podélných výztuh)

Stabilita stěn

3

b) boulení ve smyku včetně podélných výztuh: viz předešlé vztahy, kde:



$$k_{\tau sl} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3} \quad \text{ale ne méně než } \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

(I_{sl} se bere jako součet všech podélných výztuh)

Pozn.: pro 1 nebo 2 výztuhy a poměr $a/h_w < 3$ je vzorec pro k_{τ} zpřesněn. Viz norma, nebo příklad).

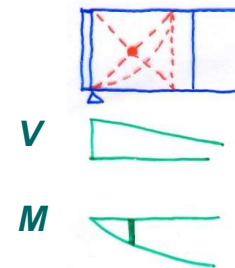
Příspěvek pásnic

Lze využít pouze tehdy, není-li pásnice využita, tj. pokud:

$$M_{Ed} < M_{f,Rd} = A_f h_f \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- menší plocha z obou pásnic $b_f \cdot t_f$
- moment brát v těžišti čtverce s větší V

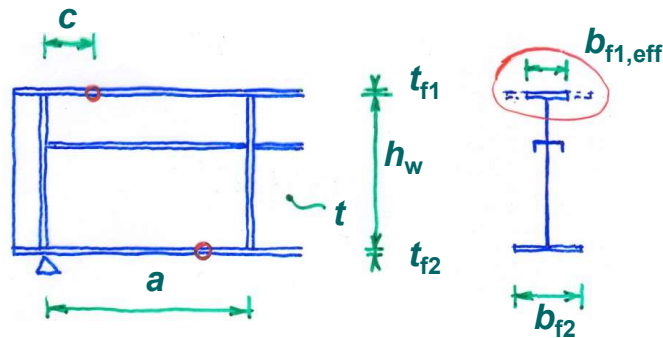
$$V_{bf,Rd} = \underbrace{\frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}}}_{\frac{4M_{pl}}{c}} \left(1 - \underbrace{\left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2}_{\text{vliv napětí v pásnici}} \right)$$



Stabilita stěn

4

Vzdálenost plastických kloubů v pásnici plyne z experimentů:



pro menší pásnici

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t_f^2 f_{yf}}{t h_w^2 f_{yw}} \right)$$

Posouzení průřezu v MSÚ:

$N + M$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff}} \leq 1,0 \quad (\text{event. též } \chi, \chi_{LT})$$

V

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0$$

včetně smykového ochabnutí

Stabilita stěn

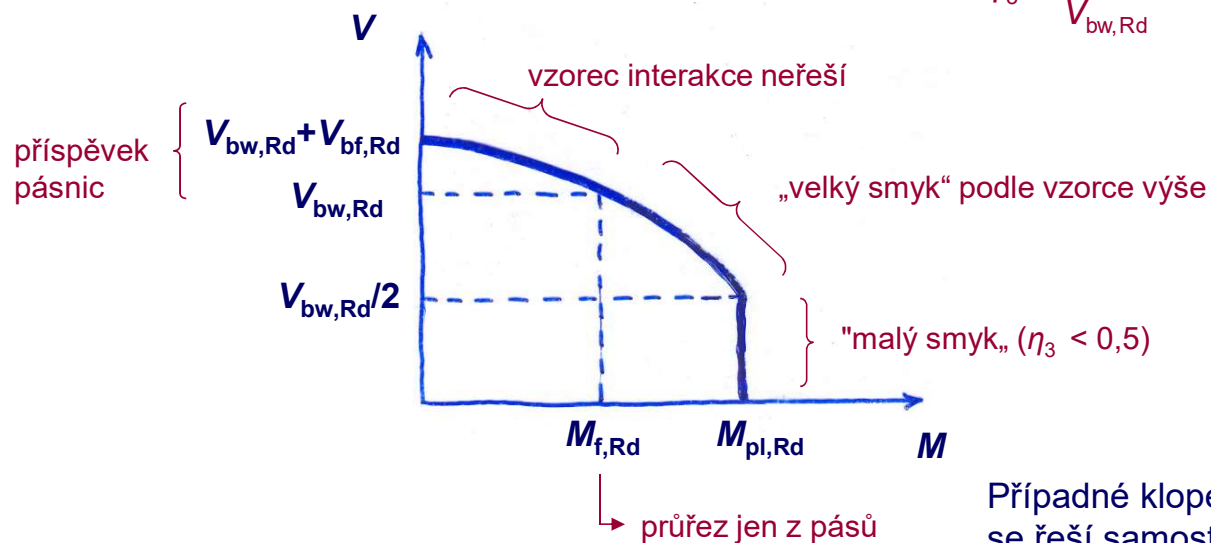
5

Interakce V+M podle ČSN EN 1993-1-5:

- 1) Pro "malý smyk", tj. $\bar{\eta}_3 \leq 0,5$ se interakce neuvažuje;
- 2) Pro "velký smyk" platí:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \quad \text{platí pro } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$$



Pozn.:

Vždy se posoudí samostatně účinný průřez pro M_{Ed} , N_{Ed} (tj. η_1) a V_{Ed} (tj. η_3).

Stabilita stěn

6

Interakce V+M podle prEN 1993-1-5/2022:

Posouzení pro "velký smyk" se mění podle vztahu:

$$\eta_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rk}}{M_{eff,Rk}}\right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^\mu \leq 1,0 \quad \text{platí pro } \eta_1 \geq \frac{M_{f,Rk}}{M_{eff,Rk}}$$

Ve vztahu je pružný účinný charakteristický moment:

$$M_{eff,Rk} = W_{eff} f_y$$

a exponent:

$$\mu = \left(\frac{M_{f,Rk}}{M_{eff,Rk}} + 0,2\right)^{15} + 1$$

Pozn:

Je podezřelé, že hodnoty η_1 a $\bar{\eta}_3$ jsou vyjádřeny v návrhových hodnotách a uvedené momenty v charakteristických hodnotách. Může jít o omyl normy.

10. Lokální namáhání stojin nosníků

Posouzení vyztužené stěny podle ČSN EN 1993-1-5 resp. prEN 1993-1-5/2022

Stojiny nosníků při lokálním zatížení je nutné posoudit na:

- prostou únosnost,
- ztrátu stability,
- interakci s ohybem.

Prostá únosnost a ztráta stability

Vychází z experimentálních a numerických výsledků práce:

Lagerqvist, O.: Patch loading. Resistance of steel girders subjected to concentrated forces. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, 1995

$$F_{Rd} = L_{eff} t_w \frac{f_{yw}}{\gamma_{M1}}$$

účinná délka stojiny $L_{eff} = \chi_F \ell_y$

součinitel lokálního boulení

účinná zatížená délka

Stabilita stěn

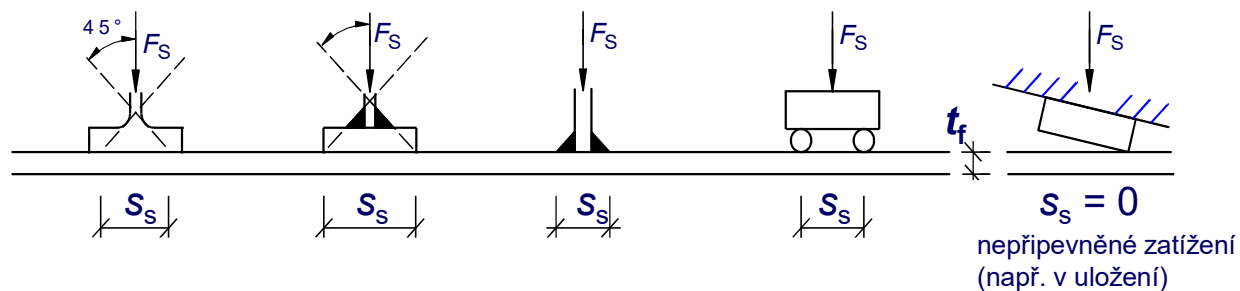
8

Stanovení účinné délky L_{eff}

Spočívá ve stanovení:

- roznášecí délky s_s
- účinné zatížené délky ℓ_y
- součinitele lokálního boulení χ_F

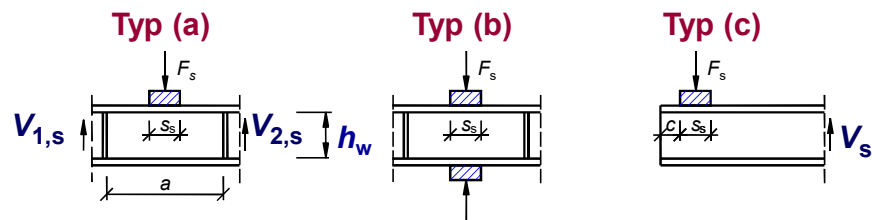
a) Roznášecí délka s_s



b) Účinná zatížená délka ℓ_y (určuje prostou únosnost)

Odvozena z kinematického mechanismu po korekci podle experimentů. Rozlišují se 3 typy:

- (a) lokální zatížení
- (b) protisměrné
- (c) koncové lokální



Stabilita stěn

Pro lokální zatížení typu (a), (b):

$$\ell_y = s_s + 2 t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \quad \text{kde} \quad m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w}$$


 podle prEN 1993-1-5/2022
 lze zde brát $m_2 = 0$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{pokud } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{pokud } \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

(viz dál)

Pro koncové zatížení (c):

$$\ell_y = \ell_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{\ell_e}{t_f} \right)^2 + m_2}$$

$$\ell_y = \ell_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2}$$

$$\ell_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c$$

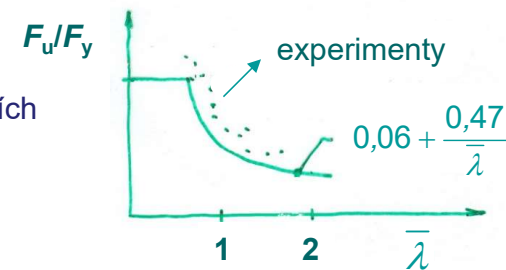
$\left. \vphantom{\begin{matrix} \ell_y = \ell_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{\ell_e}{t_f} \right)^2 + m_2} \\ \ell_y = \ell_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \\ \ell_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c \end{matrix}} \right\}$
 vzít nejmenší hodnotu

c) Součinitel lokálního boulení χ_F

V platné ČSN EN 1993-1-5:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 \quad \dots \text{vyplynul z kalibrace experimentálních výsledků:}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}}$$



Podle prEN 1993-1-5/2022:

Z obvyklého vztahu pro součinitele vzpěrnosti, klopení:

$$\chi_F = \frac{1,0}{\varphi_F + \sqrt{\varphi_F^2 - \bar{\lambda}_F}} \leq 1,0$$

$$\text{kde } \varphi_F = \frac{1}{2} \left(1 + \alpha_{F0} (\bar{\lambda}_F - \bar{\lambda}_{F0}) + \bar{\lambda}_F \right)$$

$$\text{pro } \alpha_{F0} = 0,75 \quad \text{a } \bar{\lambda}_{F0} = 0,50$$

(Pozn: hodnota $\bar{\lambda}_F$ je však obvykle v kvadrátu, možný omyl.)

$$\text{kde kritické zatížení: } F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w}$$

→ součinitele kritického napětí, viz dále.

Stabilita stěn

11

kde součinitele kritického napětí pro jednotlivé typy plynou z MKP:

- (a) $k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2$ (lze přidat člen pro vliv podélné výztuhy - viz norma)
- (b) $k_F = 3,5 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2$
- (c) $k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6$

Posouzení na lokální boulení:

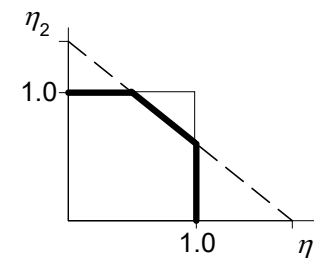
$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{F_{Ed}}{L_{eff} t_w \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Interakce $N + M + F$:

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 \leq 1,4$$

$$\text{tj.: } \frac{F_{Ed}}{L_{eff} t_w \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + 0,8 \left(\frac{\frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}}}{\gamma_{M0}} + \frac{\frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff}}}{\gamma_{M0}} \right) \leq 1,4$$

Stabilita stěn



12