

### 3. Stabilita stěn.

Boulení stěn při normálovém, smykovém a lokálním zatížení (podle ČSN EN 1993-1-5).

Posouzení průřezů 4. třídy.

Boulení ve smyku, výztuhy stěn.

#### Boulení stěn

Štíhlé tlačené stěny boulí. Obdobně jako u tlačných prutů se rozlišuje:

- **stabilita ideální stěny,**
- **únosnost skutečné imperfektní stěny.**

Eulerovo napětí (výpočet jako na prutu jednotkové šířky), pomocná hodnota:

(náhradní prut)

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E I}{b^2 A} \Rightarrow \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b^2} \quad \text{pro } a = 1:$$

Eulerovo napětí je upravené pro stěnové chování

# 1. Stabilita ideální stěny: (podrobně viz předmět Stabilita ocelových stěn)

Např. boulení nekonečného pásu o šířce  $b$   
(boulí „ve čtvercích“ s délkou  $b$ ):



Obecně lze podle lineární teorie boulení psát pro kritické napětí:

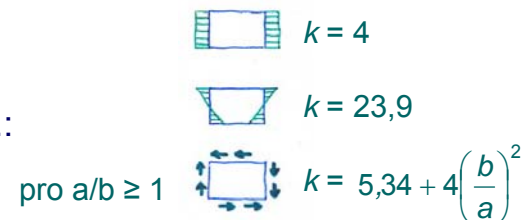
$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \sigma_E = k_{\sigma} \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2) b^2}$$

(vztaženo k šířce  $b$ )

**součinitel kritického napětí  $k_{\sigma}$  (pro smykové napětí  $k_{\tau}$ )**

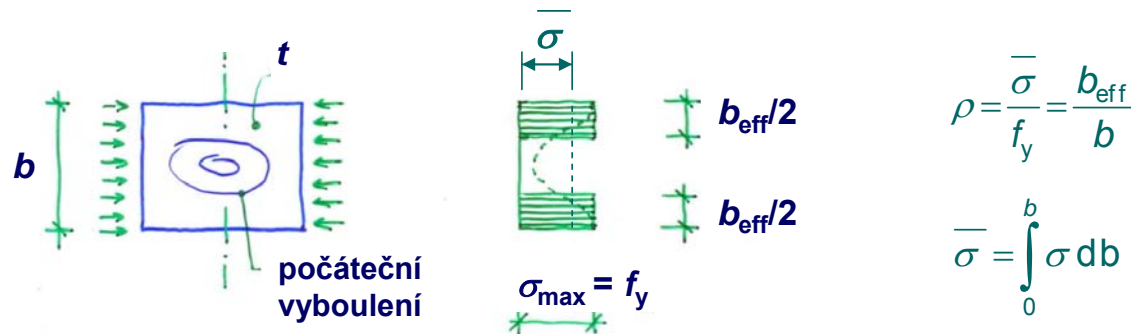
Hodnoty součinitelů  $k$  jsou uvedeny v literatuře,  
základní případy uvádí Eurokód.

Závisí na zatížení a okrajových podmínkách, např.:



## 2. Únosnost skutečně imperfektní stěny:

Vychází z řešení „desek s velkými průhyby“, po zavedení počátečních imperfekcí (tj. počátečního vyboulení a reziduálního prnutí), tzv. nelineární teorií boulení. Únosnost se určí z rozložení napjatosti při kolapsu, např. pro jednosměrně tlačенou desku:



Pro výpočty se zavádí účinná<sup>p</sup> šířka stěny z hlediska boulení:

$$b_{\text{eff}} = \rho b$$

Součinitel boulení  $\rho$  je uveden v Eurokódu  
(ČSN EN 1993-1-5 Boulení stěn)

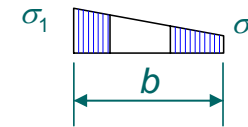
(vychází ze vzorce prof. Wintera, 1947, a je upraven podle  
numerických studií)

### Součinitel boulení podle Eurokódu:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

$\psi = \sigma_2/\sigma_1$

vyjádření průběhu napětí ve stěně



kde poměrná štíhlost stěny:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}}$$

vzorce,  
tabulky

### Souhrn:

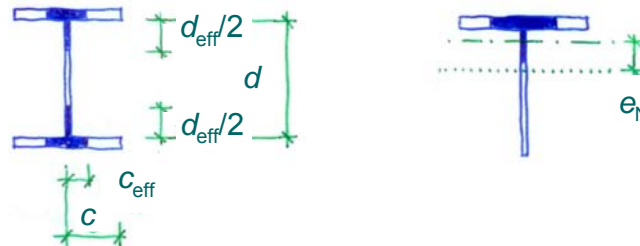
1. Stabilitní řešení ideálních stěn ... pro určení součinitele kritického napětí  $k$  ;
2. Únosnost skutečných stěn ... pomocí součinitele boulení  $\rho$  , resp.  $b_{\text{eff}}$  .

## Posouzení průřezů třídy 4

Pomocí spolupůsobících<sup>p</sup> šířek (resp. pomocí  $\rho$ ) stanovit "účinný<sup>p</sup> průřez"  
tj.  $A_{\text{eff}}$ ,  $W_{\text{eff}}$  (vyloučit vyboulené části)

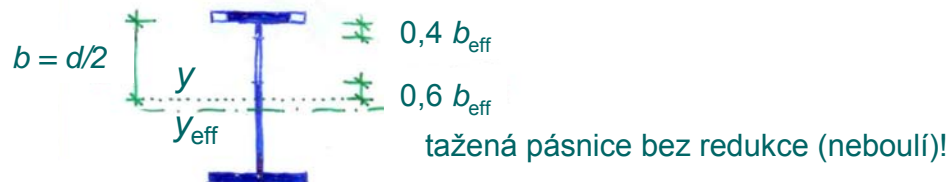
**Účinný<sup>p</sup> průřez se potom posuzuje pružně, jako běžná třída 3.**

**Příklad průřezu v tlaku (stanovení  $A_{\text{eff}}$ )**

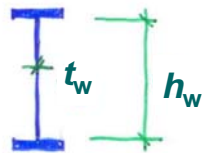


posun neutrální osy  $e_N$  u  
nesymetrických průřezů v místě  
vyboulení (tento posun je důležitý v  
interakci  $N + M$ , viz přednáška č. 2)

**Příklad průřezu v ohybu (stanovení  $W_{\text{eff}}$ )**

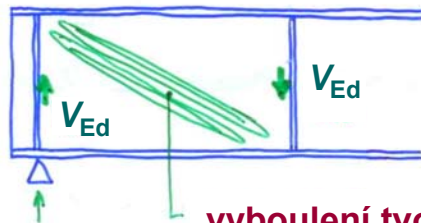


## Boulení při smyku (nesouvisí s průřezy 4. třídy !)



Stojina pro  $\frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \varepsilon$  boulí (pro ocel S235 při hodnotě 60).  
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$  ;  $\eta = 1,2$  (plyne z experimentů)

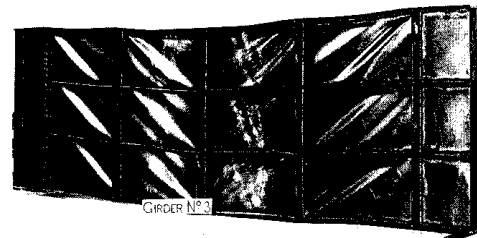
Únosnost v boulení zvýší výztuhy (pokud boulí, musí být alespoň nad podporami !!):



příčná výztuha (např. plochá, úhelník ...)

vyboulení tvoří "tahovou diagonálu" (tzv. příhradové chování)

„Diagonály“ se tvoří při dostatečné tuhosti výztuh a pásů v jednotlivých polích stěny:



## Únosnost v boulení při smyku:

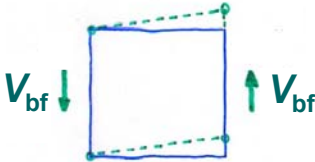
Vztahy v Eurokódu jsou odvozeny podle teorie „rotovaných napětí“ a ověřeny na experimentech.

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

prostá únosnost ve smyku

příspěvek stojiny

příspěvek pásnic: vyjadřuje tzv. rámové chování, vytvoření kinematického mechanismu s plastickými klouby. Je malý, lze zanedbat.



### Příspěvek stojiny

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

$\chi_w$  je „součinitel příspěvku stojiny“  
(vlastně součinitel boulení ve smyku)

Součinitel příspěvku stojiny  $\chi_w$  k únosnosti v boulení při smyku je uveden podle štíhlosti  $h_w/t_w$  v normě (Eurokódu ČSN EN 1993-1-5).

## Posouzení MSÚ

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

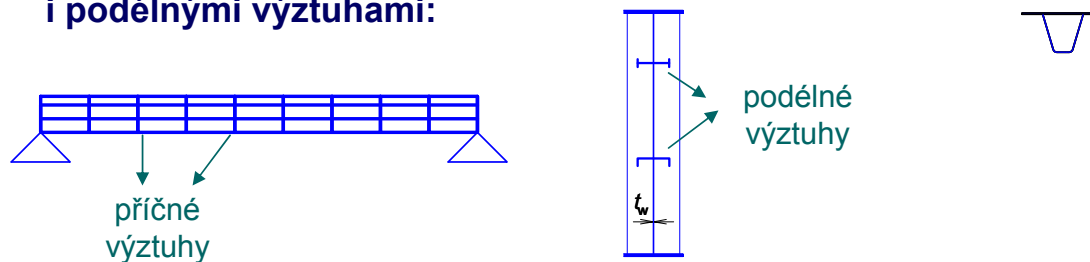
**Nevyhoví-li:**

- zesílit tloušťku stojiny  $t_w$ ,
- nebo vyztužit výztuhami (příčnými, popř. podélnými).

## Výztuhy stěn

(podrobně viz předmět Stabilita ocelových stěn)

**Stěny vysokých nosníků se volí štíhlé a vyztužují se příčnými nebo i podélnými výztuhami (otevřeného průřezu I, L, T, nebo uzavřeného průřezu) i podélnými výztuhami:**





### Podélné výztuhy:

**- zvýší únosnost průřezu třídy 4 (zvětší účinný průřez);**

(při stanovení účinného průřezu se stanoví účinný průřez tlačných panelů mezi výztuhami a provede redukce celé tlačné oblasti, tj. včetně výztuh, pro vybočení v tlaku).

**- zvýší únosnost při boulení ve smyku;**

(příspěvek stojiny je vyšší, protože panely jsou malé – tažená diagonála se vytvoří buď v každém poli, jsou-li výztuhy dostatečně tuhé, nebo přes celou výšku vyztužené stojiny).

### Příčné výztuhy:

**- zvýší únosnost při boulení ve smyku.**

**Při zahrnutí účinku výztuh se musí posoudit jejich tuhost i únosnost.**

---

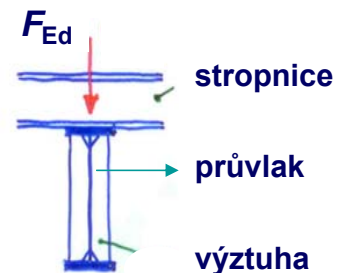
### Interakce $V+M$

1) Pro "malý smyk", tj.  $\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0,5$  se interakce neuvažuje;

2) Pro "velký smyk" se řeší stejně jako v přednášce č. 2, zamění-li se  $V_{pl,Rd}$  za příspěvek stojiny, tj.  $V_{bw,Rd}$ .  
(viz též předmět Stabilita ocelových stěn).

## Příčné síly - lokální napjatost

### 1. Stojina s výztuhou



pohled:



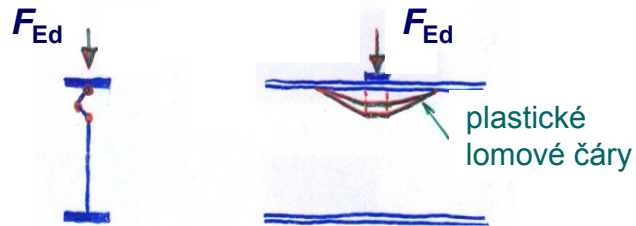
Napětí ve výztuze:

$$\sigma_z = \frac{F_{Sd}}{A_{st}} \quad \dots \text{ napětí je malé a obvykle se zanedbává.}$$

**Z hlediska stability a únosnosti je výztuha dobrým řešením, ale je drahá.**

## 2. Stojina nevyztužená

Posuzuje se únosnost tenké stojiny s možnou ztrátou stability ( $F_{Ed} \leq F_{Rd}$ ):



Únosnost stěny pod lokálním břemenem:

účinná plocha stojiny pod břemenem

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

účinná délka stojiny:  $L_{eff} = \chi_F l_y$

součinitel lokálního boulení

účinná zatížená délka

(Více viz předmět Stabilita ocelových stěn)