Betonové a ocelové konstrukce

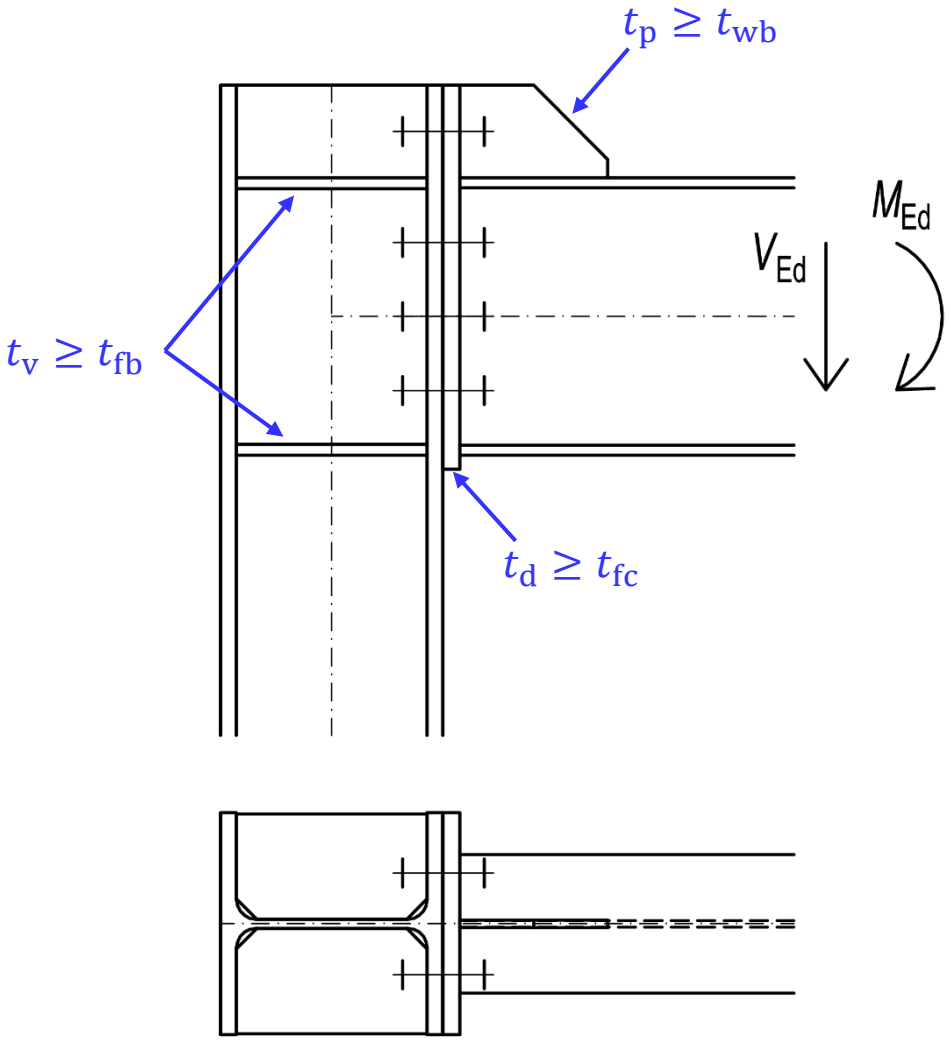
Ing. Josef Novák, Ph.D.
Katedra betonových a zděných konstrukcí

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

České vysoké učení technické v Praze

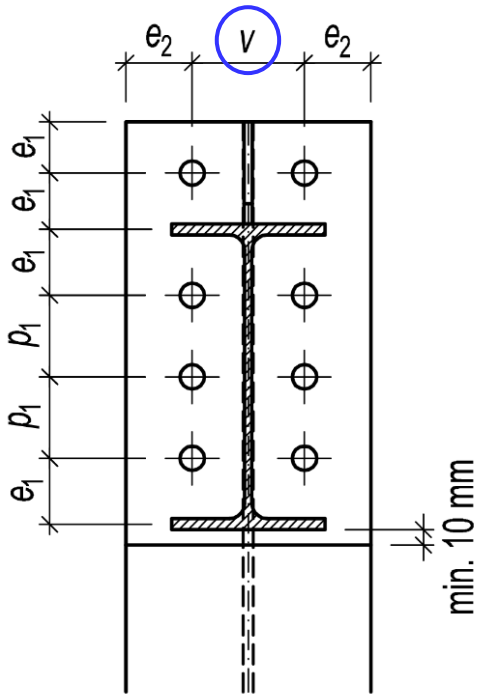
Rámový roh

- Vnitřní síly
  - Viz 1. cvičení
  - Více namáhaný rámový roh
    - Pravděpodobně pravý
    - M_{Ed}
    - V_{Ed}
    - N_{Ed}
- Geometrie
  - Navrhnout 3 – 4 řady šroubů
    - Podle geometrie
      - Výška příčle
      - Navržené šrouby
  - Šrouby M20 – M30
- Jakost šroubů
  - Viz zadání
    - 8.8 nebo 10.9

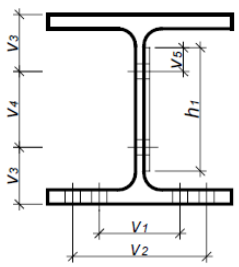


Rámový roh

- Umístění šroubů
  - Ocelové tabulky
  - Rozteče e_1 a p_1
    - Individuálně
    - Inspirace v tabulkách
      - Běžné
      - Minimální
  - Rozteče e_2 a v
    - Tabulky
    - $p_2 = v$
    - v mezi v_1 a v_2



Roztečné čáry a průměry šroubů pro průřezy HEB



	Šrouby v pásnici			Šrouby ve stěně				
	v_1 mm	v_2 mm	Průměr šroubu	v_3 mm	v_4 mm	v_5 mm	h_1 mm	Průměr šroubu
HE 100 B	56		M12	50		25	50	M12
HE 120 B	66		M16	60		35	70	
HE 140 B	76		M20	30	40	25	90	
HE 160 B	86			55	50	25	100	M16
HE 180 B	100			55	70	25	120	
HE 200 B	110			60	80	25	130	
HE 220 B	120			70	80	35	150	M20
HE 240 B	96	166	M24	75	90	35	160	
HE 260 B	106	186		85	90	40	170	
HE 280 B	110	200		90	100	45	190	M24
HE 300 B	120	210		95	110	45	200	

Svary

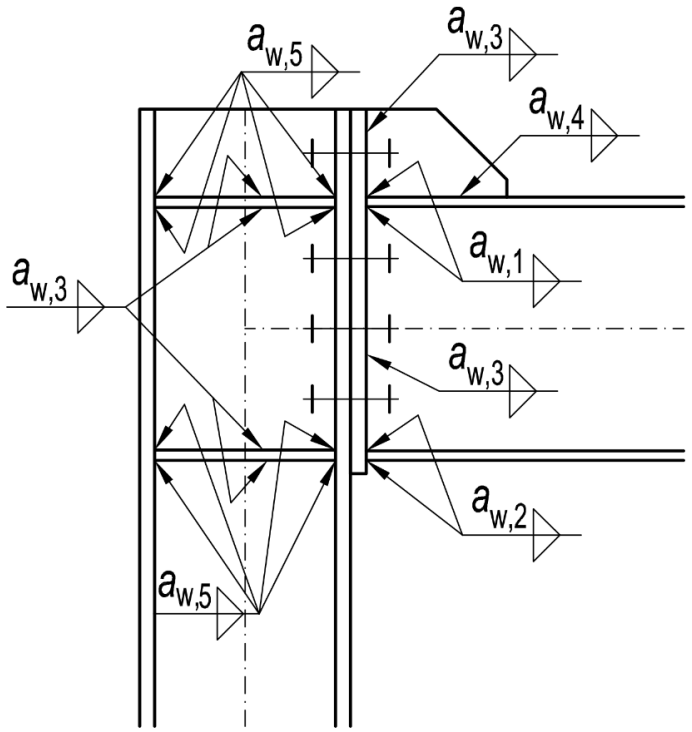
- Svar tažené pásnice a čelní desky $a_{w,1}$

$$a_{w,1} \geq t_{f,b}\left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u\sqrt{2}}\right)$$

- Svar tlačené pásnice a čelní desky $a_{w,2}$
  - Přenos kontaktem
    - Nutná úprava styčné plochy pásnice
  - Konstrukčně $a_{w,2} = 5\ \text{mm}$

- Svar stojiny příčle a čelní desky $a_{w,3}$

$$a_{w,3} \geq t_{w,b}\left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u\sqrt{2}}\right)$$



Korelační součinitel svařování

$\beta_w = 0{,}8$ … S235

$\beta_w = 0{,}9$ … S355

Materiálové součinitele

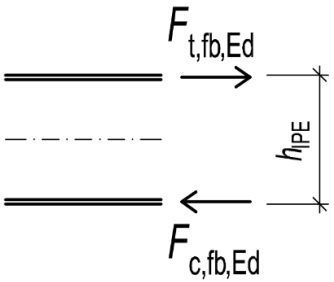
$\gamma_{M0} = 1{,}0$

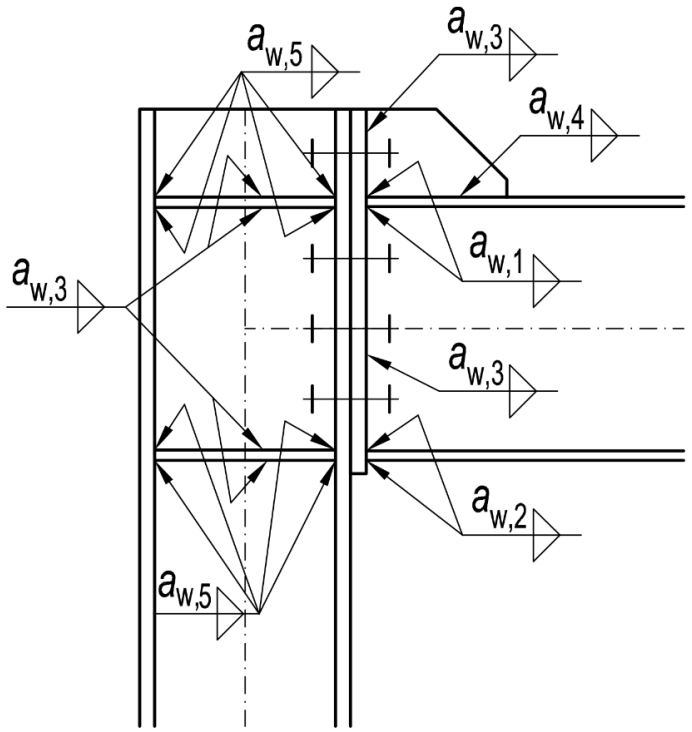
$\gamma_{M2} = 1{,}25$

Svary

- Svar výztuhy a pásnice příčle $a_{w,4}$
  - Rozložení momentu M_{Ed} na síly do pásnic

$$F_{t,fb,Ed} = F_{c,fb,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h}$$





  - Svar musí přenést sílu $F_{t,fb,Ed}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{t,fb,Ed}}{2 a_{w,4} L_{w,4}}$$

Podle geometrie a potřeby

Volit cca 5 mm

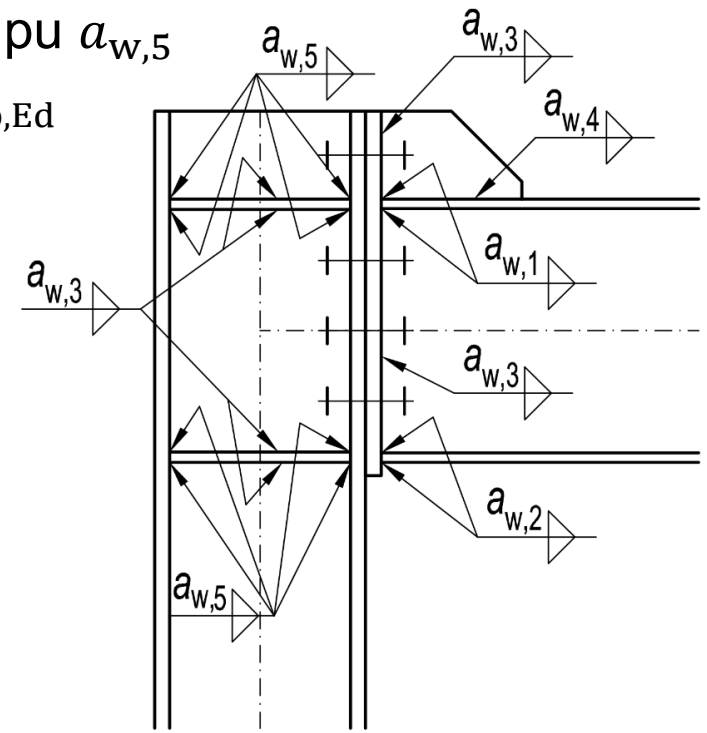
$$\sqrt{3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Svary

- Svar výztuhy stojiny sloupu a pásnice sloupu $a_{w,5}$
  - Výztuha „pomáhá“ stojině přenést sílu $F_{c,fb,Ed}$
  - Korektní a ekonomický postup
    - Stanovit únosnost stojiny v příčném tlaku
      - ČSN EN 1993-1-8
      - $F_{c,wc,Rd}$
    - Zjistit zda sílu přenese sama stojina
      - Ano – Svary navrhnout konstrukčně
      - Ne – Svary navrhnout na rozdílovou sílu

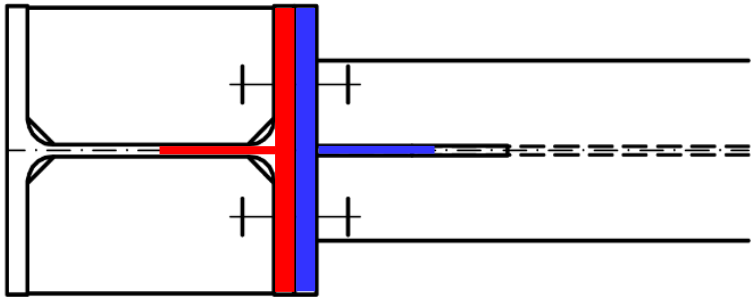
        $$F_{w,5,Ed} = F_{c,fb,Ed} - F_{c,wc,Rd}$$
  - V tomto cvičení zjednodušeně
    - Na plnou únosnost

      $$a_{w,5} \geq 0{,}55 \min(t_{fc}; t_v)$$



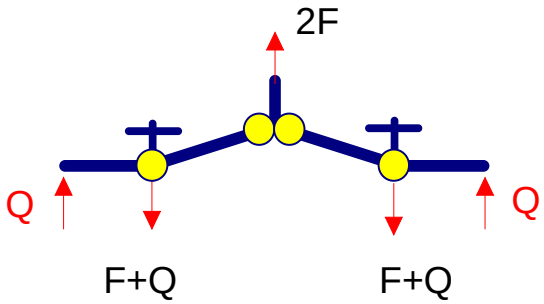
Náhradní T-průřez

- Uvažovaný T-průřez
  - Rozhoduje tenčí z t_d a t_{fc}



Způsob 1

Plastický mechanismus
(4 plastické klouby)

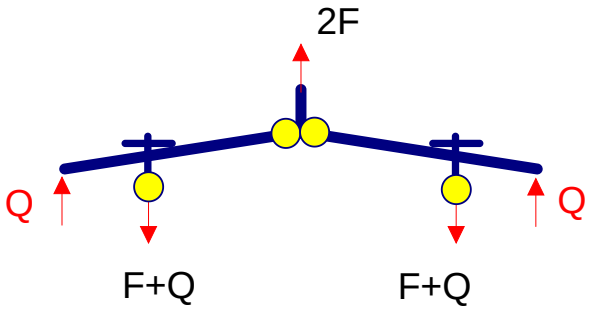


$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$n = \min(e_{min}; 1{,}25m)$$

Způsob 2

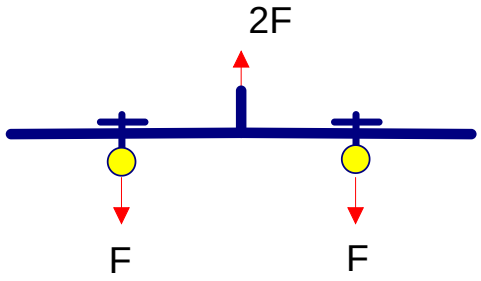
Plastický mechanismus + páčení
(2 plastické klouby + porušení
šroubů v tahu)



$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m+n}$$

Způsob 3

Porušení šroubů v tahu



$$F_{T,3,Rd} = 2F_{t,Rd}$$

Parametry únosnosti T-průřezu

- Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{\mathrm{t,Rd,i}} = \frac{0{,}9 A_{\mathrm{s}} f_{\mathrm{ub}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

A_s - Plocha šroubu v závitu
f_{ub} - Mez pevnosti šroubu

- Ohybová únosnost – Způsob 1

$$M_{\mathrm{pl,1,Rd,i}} = \frac{1}{4} l_{\mathrm{eff,1}} t_{\mathrm{fc}}^2 \frac{f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}$$

$l_{\mathrm{eff,1}}$ - Účinná délka vycházející z kruhového a nekruhového porušení

- Ohybová únosnost – Způsob 2

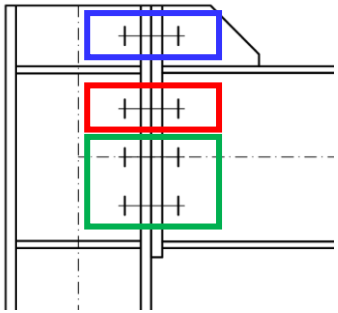
$$M_{\mathrm{pl,2,Rd,i}} = \frac{1}{4} l_{\mathrm{eff,2}} t_{\mathrm{fc}}^2 \frac{f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}$$

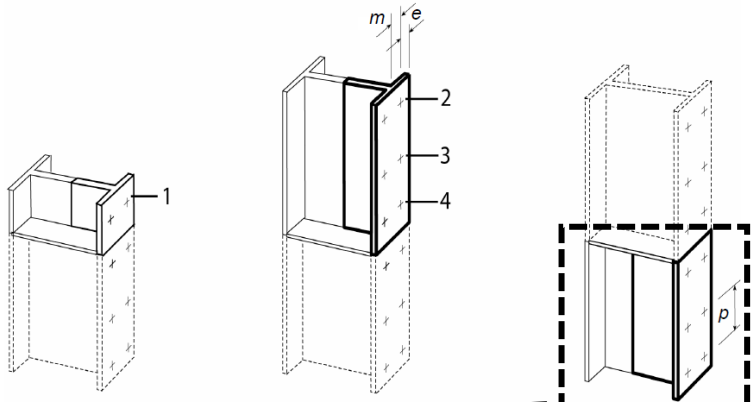
$l_{\mathrm{eff,2}}$ - Účinná délka vycházející z nekruhového porušení

Index i – i-tá řada šroubů

Parametry únosnosti T-průřezu

- ČSN EN 1993-1-8
  - Rozdílné hodnoty $l_{\mathrm{eff},1}$ a $l_{\mathrm{eff},2}$ pro dílčí řady šroubů
    - 1. řada šroubů
    - 2. řada šroubů
    - 3. (a 4.) řada šroubů





1 koncová řada šroubů sousedící s výztuhou
2 koncová řada šroubů
3 vnitřní řada šroubů
4 řada šroubů sousedící s výztuhou

p
e_1 - slide 3

Obrázek 6.9 – Modelování vyztužené pásnice sloupu samostatným T profilem

Tabulka 6.5 – Účinné délky vyztužené pásnice sloupu

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $\ell_{\mathrm{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $\ell_{\mathrm{eff,nc}}$	Kruhové porušení $\ell_{\mathrm{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $\ell_{\mathrm{eff,nc}}$
Řada šroubů sousedící s výztuhou	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0{,}5p + \alpha m$ $-(2m + 0{,}625e)$
Jiná vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1{,}25e$	$2p$	p
Jiná koncová řada šroubů	menší z: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	menší z: $4m + 1{,}25e$ $2m + 0{,}625e + e_1$	menší z: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	menší z: $2m + 0{,}625e + 0{,}5p$ $e_1 + 0{,}5p$
Koncová řada šroubů sousedící s výztuhou	menší z: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m$ $-(2m + 0{,}625e)$	netýká se	netýká se
1. způsob	$\ell_{\mathrm{eff},1} = \ell_{\mathrm{eff,nc}}$ ale $\ell_{\mathrm{eff},1} \le \ell_{\mathrm{eff,cp}}$		$\Sigma\ell_{\mathrm{eff},1} = \Sigma\ell_{\mathrm{eff,nc}}$ ale $\Sigma\ell_{\mathrm{eff},1} \le \Sigma\ell_{\mathrm{eff,cp}}$	
2. způsob	$\ell_{\mathrm{eff},2} = \ell_{\mathrm{eff,nc}}$		$\Sigma\ell_{\mathrm{eff},2} = \Sigma\ell_{\mathrm{eff,nc}}$	

α se má získat z obrázku 6.11

e_1 je vzdálenost středu spojovacího prostředku k výztuze pásnice sloupu (viz řada 1 a řada 4 na obrázku 6.9)

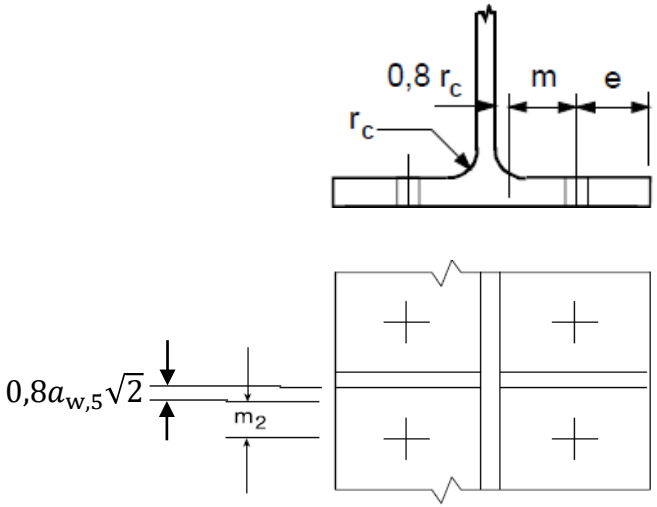
$l_{\mathrm{eff},1}$ a $l_{\mathrm{eff},2}$ uvažovat jako příslušnou nejmenší hodnotu stanovenou pro samostatnou řadu a skupinu šroubů

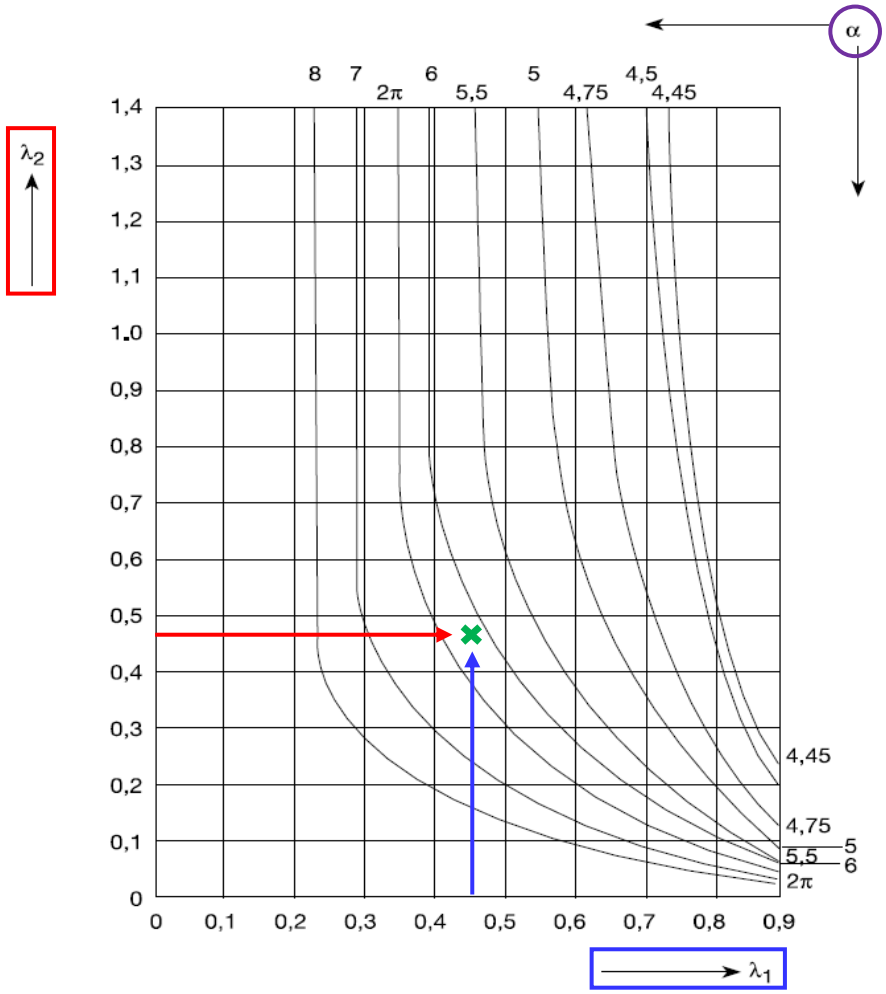
Parametry únosnosti T-průřezu

- Parametry λ_1, λ_2 a α rozdílné pro příslušné řady

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$





$e = e_2$ viz slide 3

Parametry únosnosti T-průřezu

- Návrhová únosnost jedné řady
  - Způsob porušení 1

$$F_{\mathrm{T,1,Rd,i}} = \frac{4M_{\mathrm{pl,1,Rd}}}{m}$$

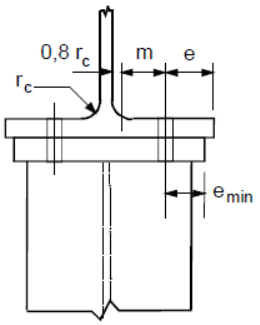
  - Způsob porušení 2

$$F_{\mathrm{T,2,Rd,i}} = \frac{2M_{\mathrm{pl,2,Rd}} + n\sum F_{\mathrm{t,Rd}}}{m+n}$$

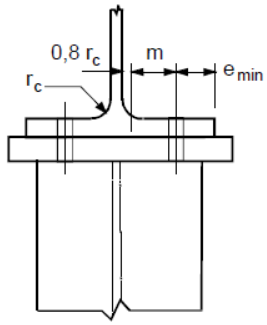
  - Způsob porušení 3

$$F_{\mathrm{T,3,Rd,i}} = 2F_{\mathrm{t,Rd}}$$

$$n = \min(e_{\mathrm{min}}; 1{,}25m) = \min(e_2; 1{,}25m)$$



a) čelní deska užší než pásnice sloupu



b) čelní deska širší než pásnice sloupu

  - Výsledná návrhová únosnost řady

$$F_{\mathrm{T,Rd,i}} = \min\left(F_{\mathrm{T,1,Rd,i}}; F_{\mathrm{T,2,Rd,i}}; F_{\mathrm{T,3,Rd,i}}\right)$$

    - Navrhnout tak, aby nerozhodoval způsob porušení 3 ($F_{\mathrm{T,3,Rd,i}}$)
      - $F_{\mathrm{T,Rd,i}} < 1{,}9F_{\mathrm{T,3,Rd,i}}$
      - Úprava průměru šroubu
      - Upravit rozteče

$$\Rightarrow \quad \begin{aligned} F_{\mathrm{T,Rd,1}} &= \ldots \mathrm{kN} \\ F_{\mathrm{T,Rd,2}} &= \ldots \mathrm{kN} \\ F_{\mathrm{T,Rd,3}} &= \ldots \mathrm{kN} \end{aligned}$$

Smyková únosnost 4. řady

- Únosnost šroubu ve střihu $F_{v,Rd}$
  - Tabulky
    - Smyková rovina prochází závitem
- Únosnost šroubu v otlačení $F_{b,Rd}$
  - Nelze použít tabulky – rozdílné rozteče

Průměr šroubu

Mez pevnosti konstrukční oceli

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$k_1 = \min\left\{2{,}5;\ 2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7;\ 1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7\right\}$$

$$\alpha_b = \min\left\{1{,}0;\ \frac{f_{ub}}{f_u};\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0};\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right\}$$

$$t = \min\left\{t_{fc};\ t_d\right\}$$

- Výsledná smyková únosnost 4. řady

$$V_{Rd} = n \cdot \min\left(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\right) \leq V_{Ed}$$

Počet šroubů v řadě – 2 šrouby

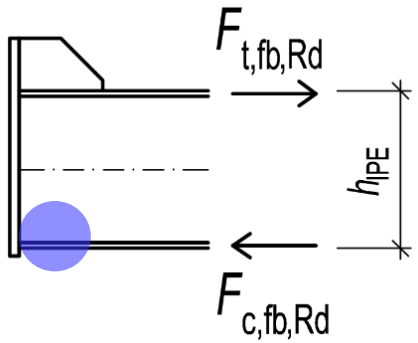
$p_2 = v$

Metrický šroub	M20	M24	M27	M30
Průměr dříku d [mm]	20	24	27	30
Průměr otvoru d_0 [mm]	22	26	29	33

Únosnost pásnice příčle v tlaku

- Stanovení únosnosti

$$F_{\mathrm{c,fb,Rd}} = \frac{M_{\mathrm{Rd,IPE}}}{(h - t_{\mathrm{f}})} = \frac{W_{\mathrm{pl,y}} f_{\mathrm{y}}}{(h_{\mathrm{IPE}} - t_{\mathrm{f}})\gamma_{\mathrm{M0}}}$$



- Rovnováha sil

$$F_{\mathrm{c,fb,Rd}} \geq F_{\mathrm{T,Rd,1}} + F_{\mathrm{T,Rd,2}} + F_{\mathrm{T,Rd,3}}$$

  - Pokud není splněno, nutná redukce tahové únosnosti šroubů
    - Od spodní řady

  - Příklad

Před redukcí

$F_{\mathrm{c,fb,Rd}} = 300\ \mathrm{kN}$

$F_{\mathrm{T,Rd,1}} = 200\ \mathrm{kN}$
$F_{\mathrm{T,Rd,2}} = 120\ \mathrm{kN}$
$F_{\mathrm{T,Rd,3}} = 80\ \mathrm{kN}$

$F_{\mathrm{c,fb,Rd}} \geq F_{\mathrm{T,Rd,1}} + F_{\mathrm{T,Rd,2}} + F_{\mathrm{T,Rd,3}}$
$300\ \mathrm{kN} \geq 400\mathrm{kN}$
Nesplněno

Po redukci

$F_{\mathrm{c,fb,Rd}} = 300\ \mathrm{kN}$

$F_{\mathrm{T,Rd,1,red}} = 200\ \mathrm{kN}$
$F_{\mathrm{T,Rd,2,red}} = 100\ \mathrm{kN}$
$F_{\mathrm{T,Rd,3,red}} = 0\ \mathrm{kN}$

$F_{\mathrm{c,fb,Rd}} \geq F_{\mathrm{T,Rd,1,red}} + F_{\mathrm{T,Rd,2,red}} + F_{\mathrm{T,Rd,3,red}}$
$300\ \mathrm{kN} \geq 300\mathrm{kN}$
Splněno

Dále uvažovat redukované hodnoty

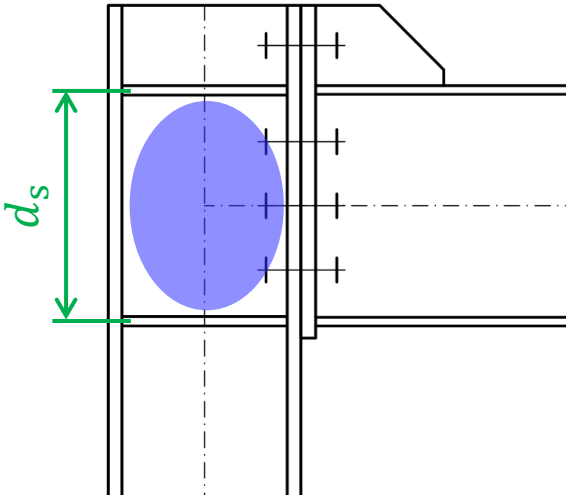
Únosnost stěny sloupu ve smyku

- Podmínka platnosti následujícího postupu

$$\frac{d_c}{t_{wc}} \le 69\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Rovná část stojiny sloupu

Tloušťka stojiny sloupu



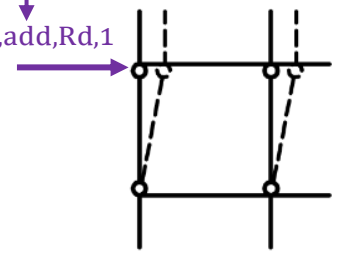
- Stanovení únosnosti

Příspěvek pásnice sloupu a výztuh stojiny sloupu

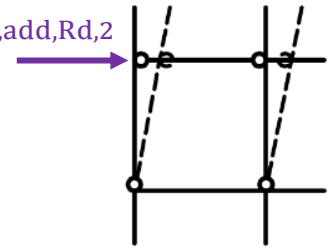
$$V_{wp,Rd} = \frac{0{,}9\, f_y\, A_{v,z}}{\sqrt{3}\,\gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd}$$

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4\, M_{pl,fc,Rd}}{d_s};\ \frac{2\, M_{pl,fc,Rd} + 2\, M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right)$$

$V_{wp,add,Rd,1}$

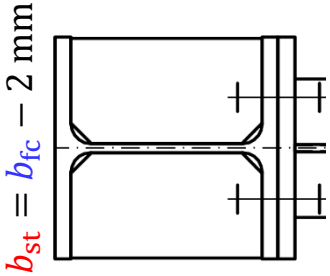


$V_{wp,add,Rd,2}$



$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} b_{fc} t_{fc}^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} b_{st} t_{st}^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$



b_{fc} - šířka pásnice sloupu; t_{fc} - tloušťka pásnice sloupu

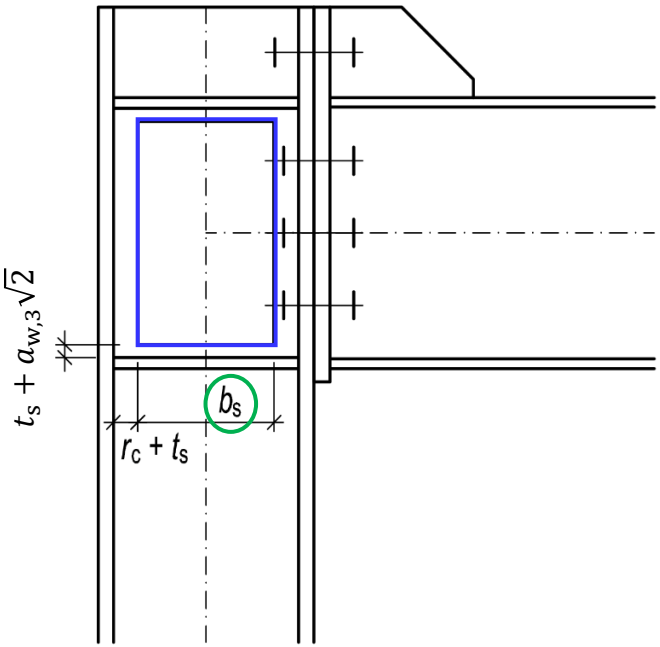
b_{st} - šířka výztuhy sloupu; t_{st} - tloušťka výztuhy sloupu

Únosnost stěny sloupu ve smyku

- Podmínka rovnováhy

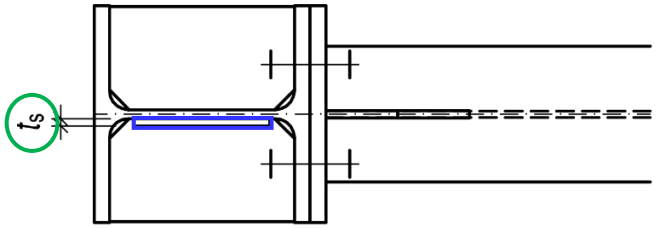
$$V_{\mathrm{wp,Rd}} \geq F_{\mathrm{T,Rd,1,red}} + F_{\mathrm{T,Rd,2,red}} + F_{\mathrm{T,Rd,3,red}}$$

  - Podmínka splněna – vše ok
  - Podmínka nesplněna
    - Možnost další redukce únosnosti šroubů
      - Tuto variantu zde nepoužijeme
    - Nutno vyztužit stěnu sloupu plechem
      - Tloušťka tak, aby byla efektivně splněna podmínka rovnováhy, minimálně však P6
      - Reálná tloušťka plechu
      - Rozměry viz obrázek



- Únosnost zesílené stojiny

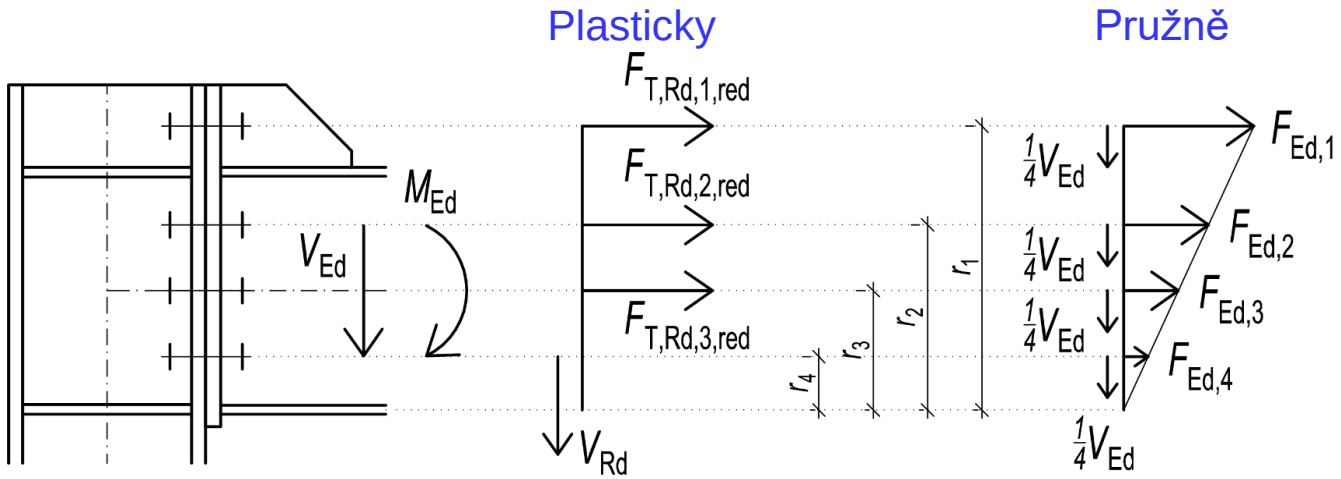
$$V_{\mathrm{wp,Rd}} = \frac{0{,}9\, f_y \left(A_{v,z} + b_s t_s\right)}{\sqrt{3}\, \gamma_{M0}} + V_{\mathrm{wp,add,Rd}}$$



  - Ověřit podmínku rovnováhy
    - Potvrdit dostatečnou únosnost zesílené stojiny sloupu

Rozložení sil pro posouzení spoje

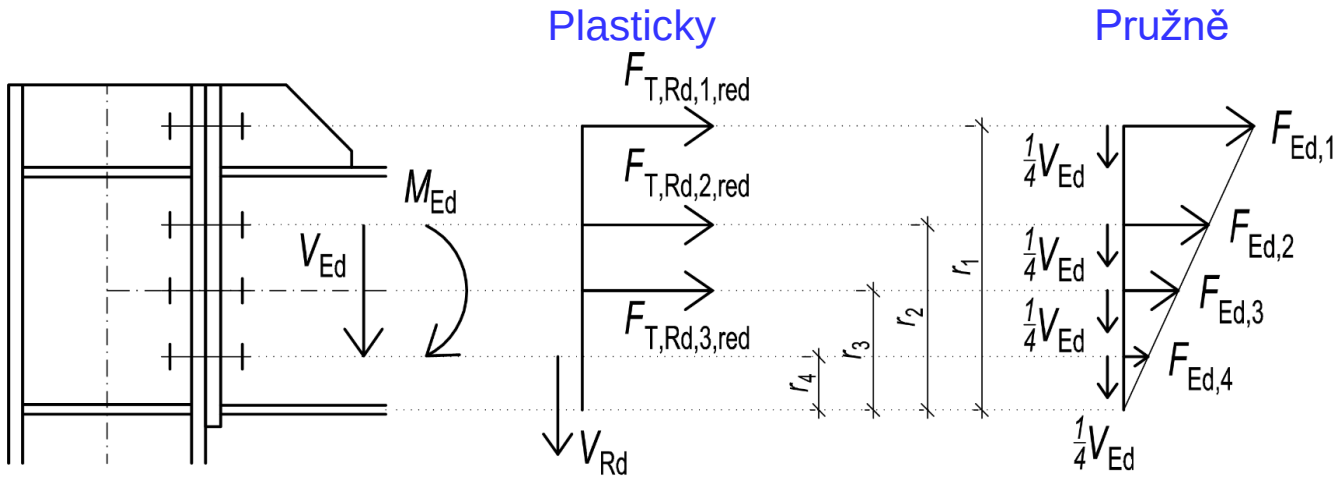
- Bod otáčení – střednice spodní pásnice nosníku



- Podmínka
  - $F_{\mathrm{T,Rd,i}} < 1{,}9F_{\mathrm{T,3,Rd,i}}$
    - Splněno – lze plasticky
    - Nesplněno – pružně

Rozložení sil pro posouzení spoje

- Bod otáčení – střednice spodní pásnice nosníku



- Plasticky
  - Momentová únosnost

$$M_{pl,Rd} = \sum F_{T,Rd,i,red}\, r_i \geq M_{Ed}$$

  - Využití

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

- Pružně
  - Podobnost trojúhelníků

$$\frac{F_{Ed,1}}{r_1} = \frac{F_{Ed,i}}{r_i} \quad \rightarrow \quad F_{Ed,i} = F_{Ed,1}\frac{r_i}{r_1}$$

  - Výpočet síly v první řadě

$$M_{Ed} = F_{Ed,1} r_1 + F_{Ed,2} r_2 + F_{Ed,3} r_3 + F_{Ed,4} r_4$$

$$M_{Ed} = F_{Ed,1} r_1 + F_{Ed,1}\frac{r_2}{r_1} r_2 + F_{Ed,1}\frac{r_3}{r_1} r_3 + F_{Ed,1}\frac{r_4}{r_1} r_4$$

  - Posudek

Konzervativní, v normě $F_{v,Rd}$

$$\frac{V_{Ed,i}}{V_{Rd}} + \frac{F_{Ed,i}}{1{,}4\, F_{T,Rd,i,red}} < 1{,}0 \qquad V_{Ed,i} = \frac{1}{4} V_{Ed}$$

Děkuji za pozornost

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze