

# 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



# Seznam přednášek

- **Spoje: kloubové, tuhé a polotuhé; klasifikace styčníků, čepové spoje**
- Kroucení, kombinace namáhání, únava ocelových konstrukcí
- Ocelové haly s jeřábovou dráhou – nosník dráhy, ztužení, detaily
- Požární odolnost ocelových a ocelobetonových konstrukcí
- Zásobníky, nádrže, lanové a membránové konstrukce
- Lešení, korozivzdorná ocel

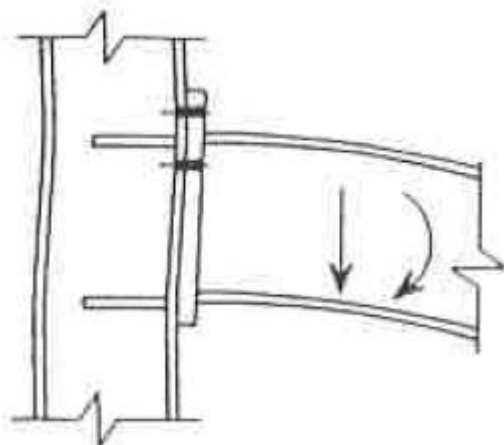
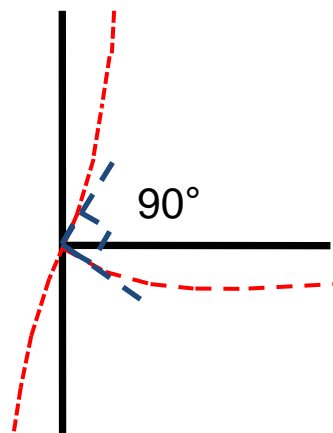
# Klasifikace styčnicků

- Co je styčník?

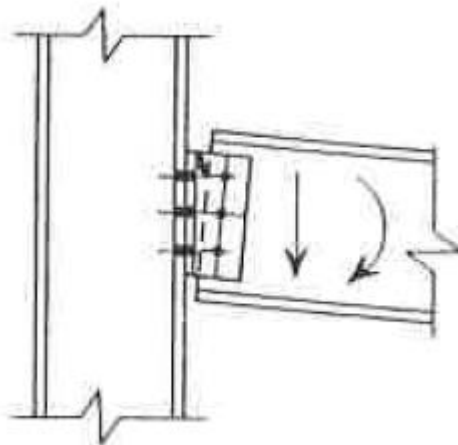
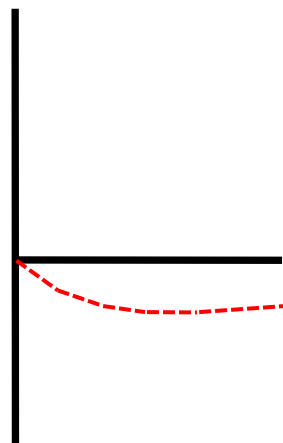


# Klasifikace styčníků

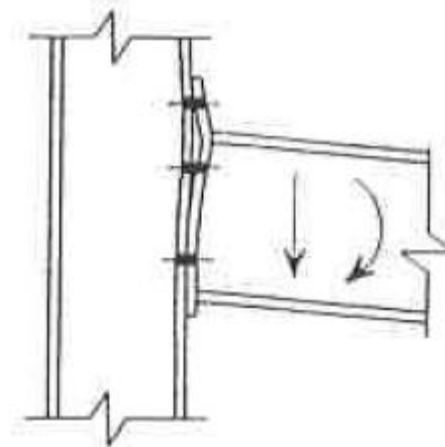
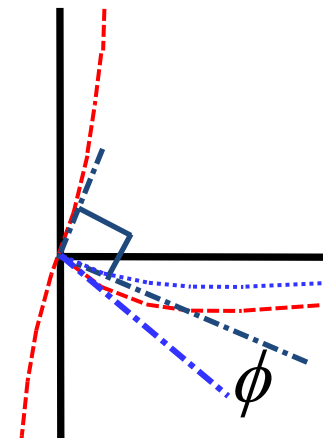
Spoj tuhý



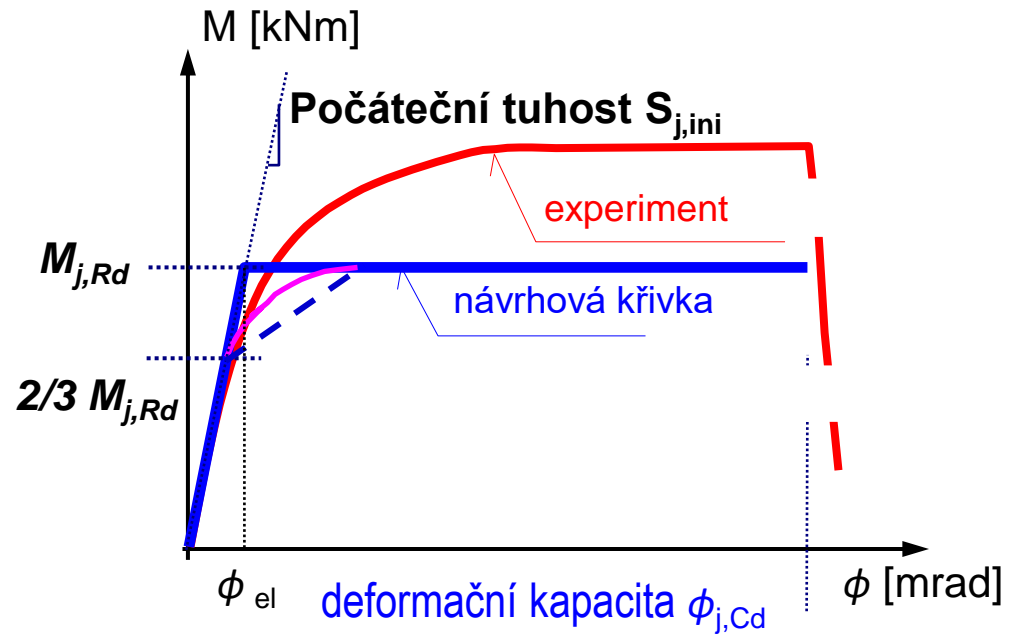
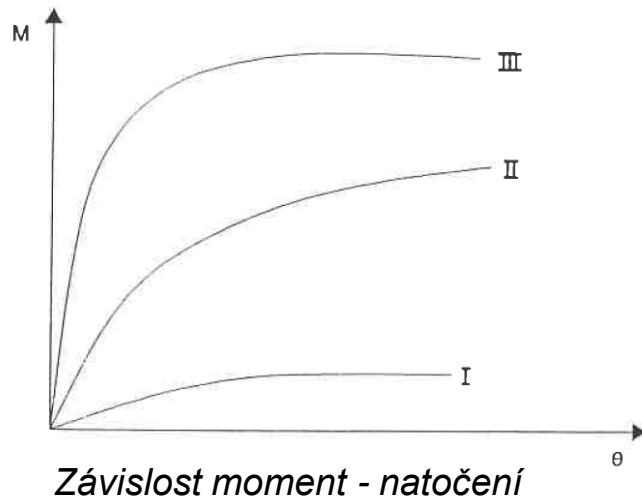
kloubový



polotuhý



# Klasifikace styčníků



$$S_{j,ini} = \frac{M_j}{\phi_j}$$

# Klasifikace styčníků

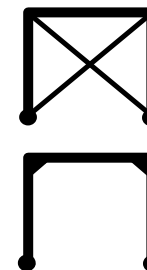
## ■ ČSN EN 1993-1-8

### ■ 1. oblast

$$S_{j,ini} \geq k_b \frac{EI_b}{L_b}$$

$k_b = 8$  pro prutové konstrukce, kde ztužení omezuje vodorovné deformace na nejméně 80 %

$k_b = 25$  pro ostatní prutové konstrukce, za předpokladu, že v každém patře  $K_b/K_c \geq 0,1$



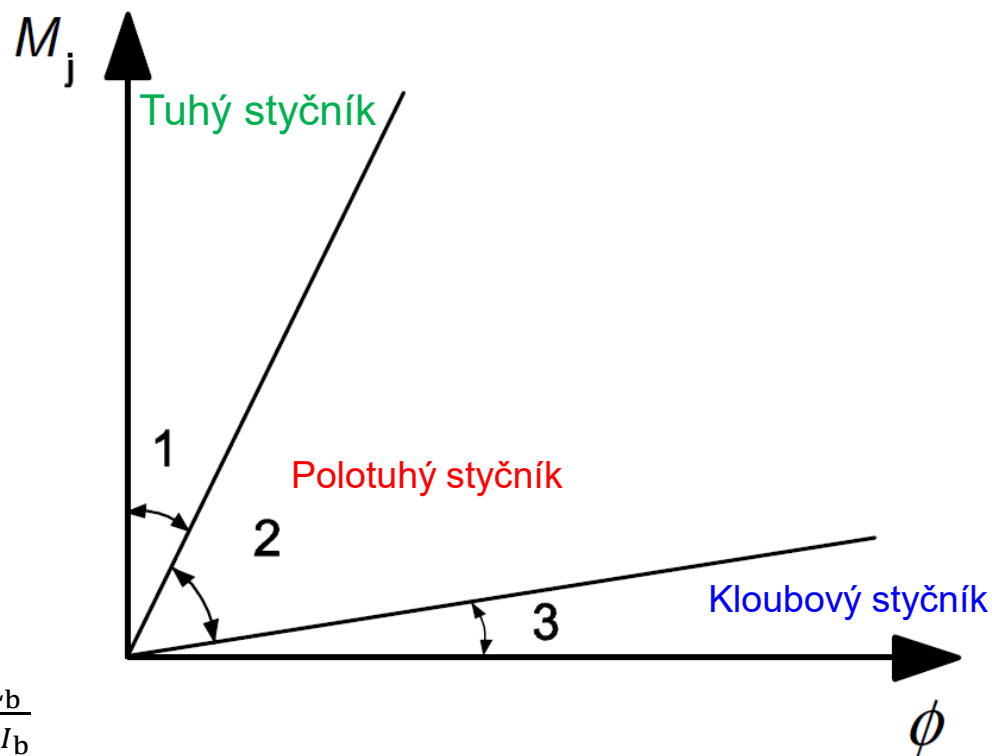
### ■ 2. oblast

■ Vše co nezapadá do oblastí 1 a 2

### ■ 3. oblast

$$S_{j,ini} \leq k_b \frac{EI_b}{L_b}$$

$$k_b = 0,5$$

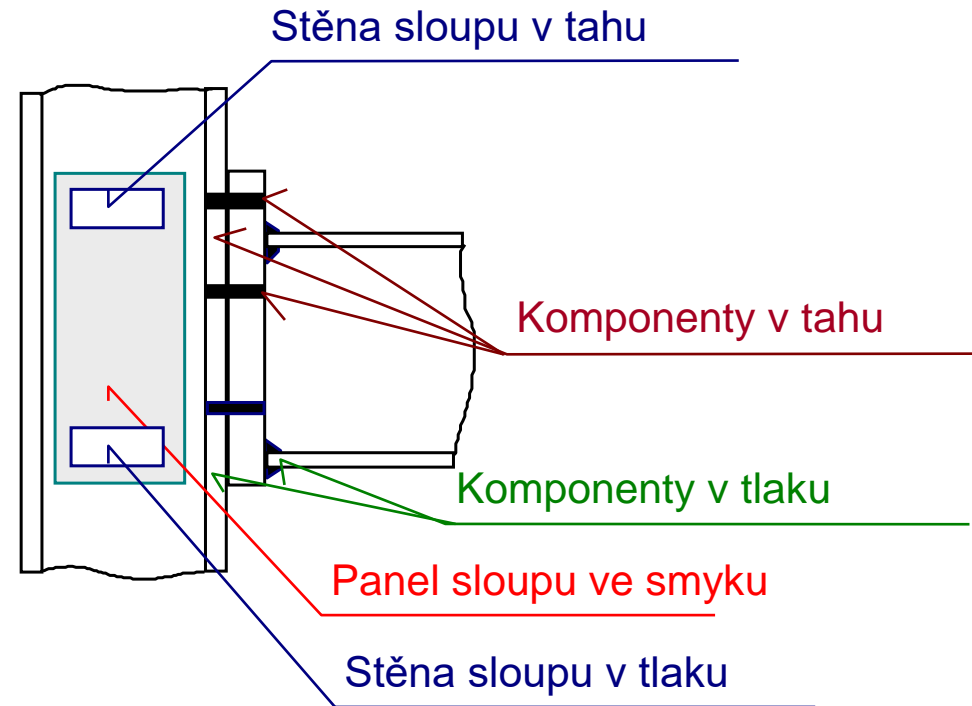


Poznámka:

Alternativně lze vyjádřit  $k_b = S_{j,ini} \frac{L_b}{EI_b}$

# Klasifikace styčnicků

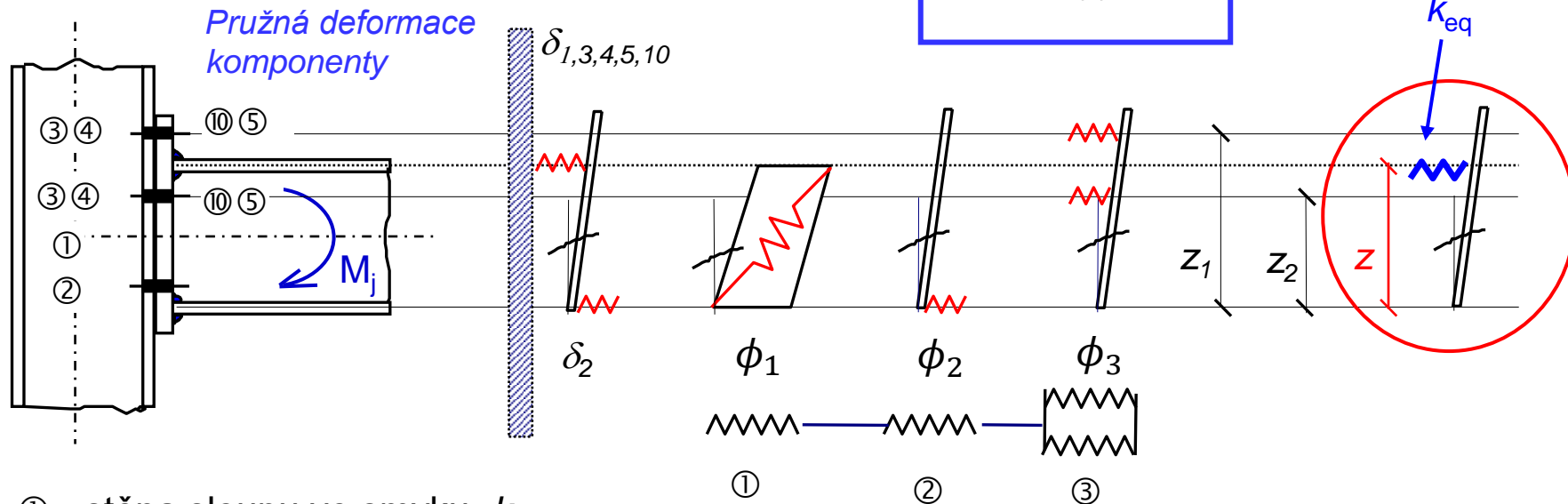
- Styčnick rozdělen na jednotlivé prvky – komponenty
- Popis chování každé komponenty ve styčnicku samostatně
- Opětovné složení styčnicku sestaveného z komponent
- Výpočet tuhosti styčnicku
- Klasifikace styčnicku



# Klasifikace styčnicků

$$z = \frac{\sum_i k_{eff,i} z_i^2}{\sum_i k_{eff,i} z_i}$$

Výsledné rameno  
vnitřních sil pro  
několik řad šroubů



- ① - stěna sloupu ve smyku:  $k_1$
- ② - stěna sloupu v tlaku:  $k_2$
- ③ - stěna sloupu v tahu:  $k_3$
- ④ - pásnice sloupu v tahu:  $k_4$
- ⑤ - čelní deska v tahu:  $k_5$
- ⑩ - šroub v tahu:  $k_{10}$

$$k_{eff} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

Tuhost komponent v  
dané řadě

$$k_{eq} = \frac{\sum_i k_{eff,i} z_i}{z}$$

Náhradní tuhost  
tažené oblasti



# Klasifikace styčnicků

- Rotační tuhost styčnicku

$$S_j = \frac{M_j}{\phi_j}$$

- Pružná deformace komponenty s využitím její tuhosti

$$\delta_i = \frac{F_i}{k_i E}$$

- Působí-li v přípoji síla  $F_i$  na ramenu  $z$ , bude natočení v přípoji

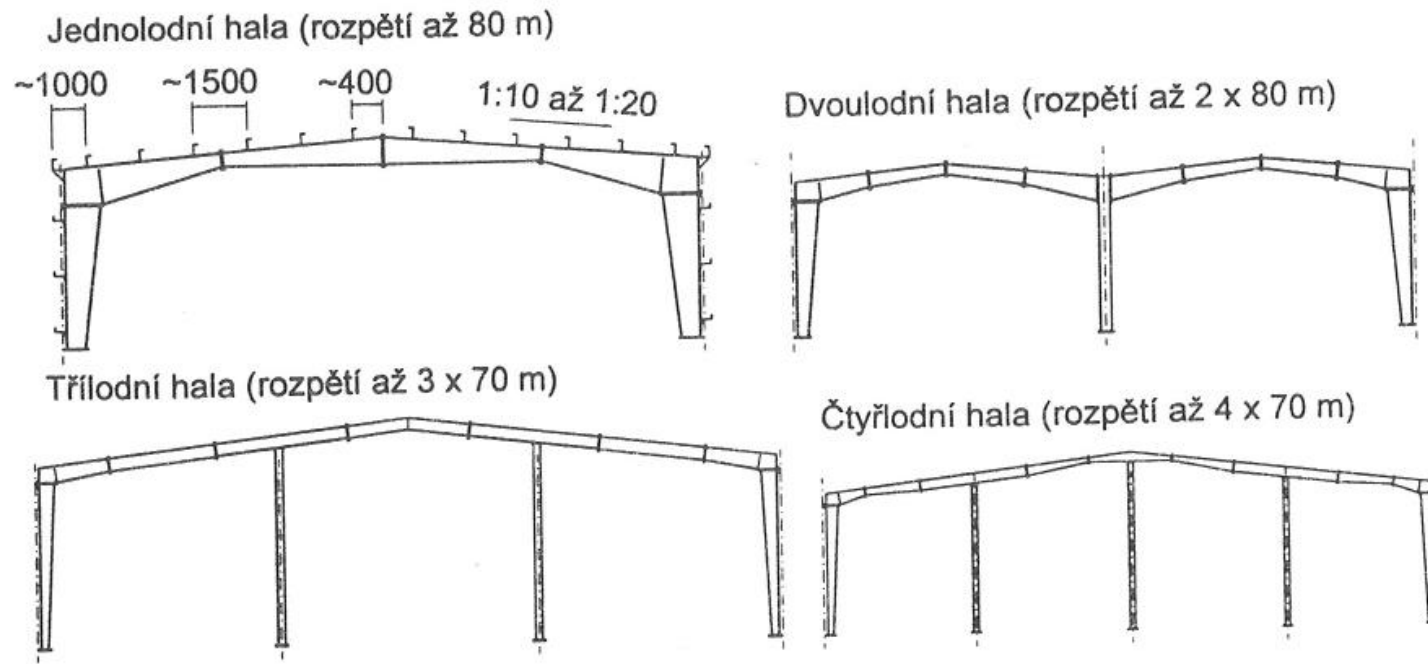
$$\phi_j = \frac{\sum_i \delta_i}{z}$$

- Tuhost styčnicku

$$S_j = \frac{M_j}{\phi_j} = \frac{F_i z}{\frac{\sum_i \delta_i}{z}} = \frac{F_i z^2}{\frac{F_i}{E} \sum_i \frac{1}{k_i}} = \frac{E z^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

# Tuhé styčníky – Rámové rohy

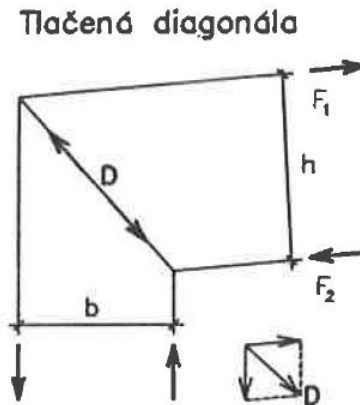
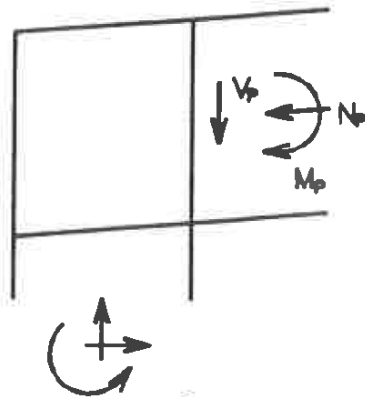
- Příčné řezy rámových vazeb
  - Stojky uloženy kloubově
  - Montážní styky – čelní desky s předepnutými šrouby
  - Proměnný průřez příčle i sloupů



# Tuhé styčníky – Rámové rohy

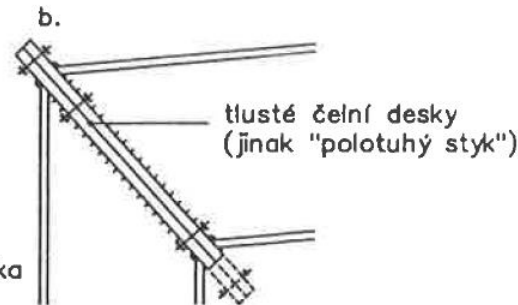
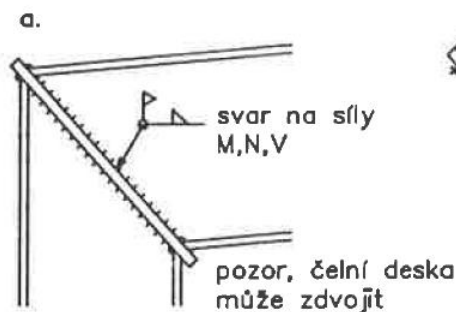
- Rámové rohy bez náběhu
  - Roh vyztužený na tlak

Namáhání lze konzervativně rozložit do pásnic



$$F_1 = \frac{M_p}{h} + \frac{N_p}{2}$$

$$F_2 = \frac{M_p}{h} - \frac{N_p}{2}$$

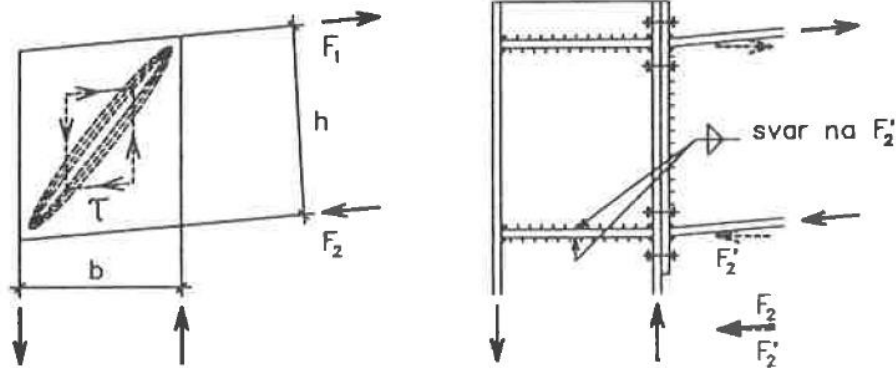


Výztuha dimenzovaná na vzpěr – tlaková síla se určí rozkladem sil

# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Rámové rohy bez náběhu
  - Roh namáhaný smykem

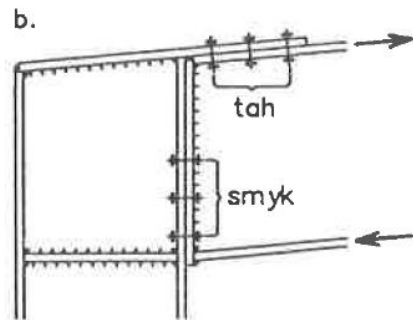
a. Řešení s čelní deskou



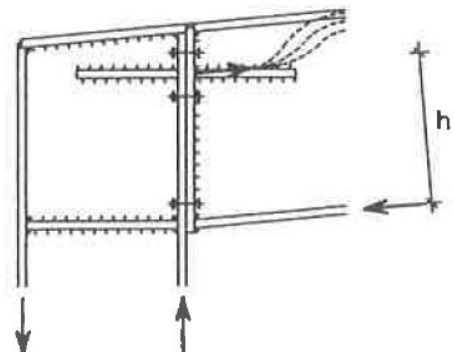
- a) výztuhy a přípojné svary namáhané silami z pásnic, stojina sloupu mezi výztuhami posouzena na smyk včetně boulení

$$\tau_{\max} \approx \max\left(\frac{F_1}{bt_w}; \frac{F_2}{bt_w}\right)$$

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{b,Rd} = \frac{V_{b,Rd}}{ht} = \frac{\chi_w f_{yw}}{\gamma_{M1} \sqrt{3}}$$



c. Méně vhodné – malé rameno



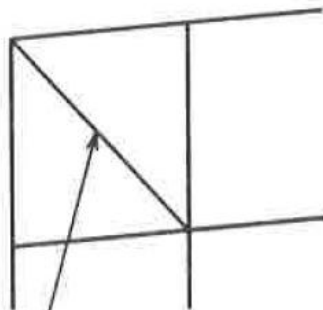
- b) tahová síla přenášena šrouby do krycí čelní desky sloupu – drahé  
 c) koncentrované napětí zachyceno dodatečnou výztuhou

Přeplátovaný styk pásnice

# Tuhé styčníky – Rámové rohy

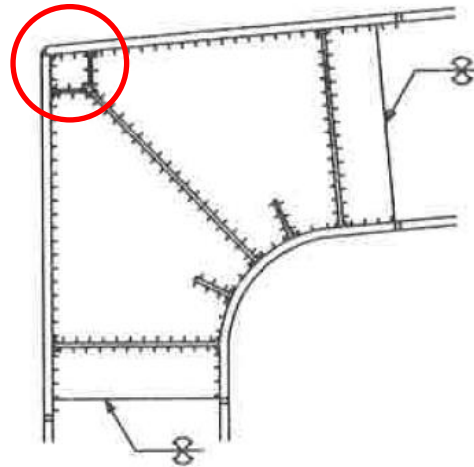
- Rámové rohy bez náběhu
  - Zvýšení únosnosti bez náběhu

Vyztužení smykové stěny



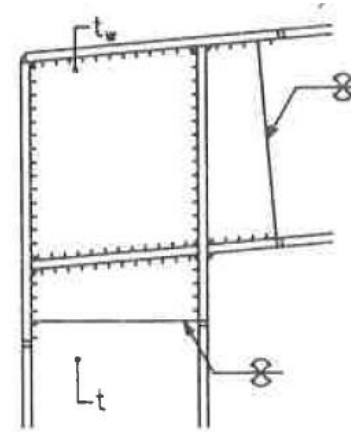
namáhání diagonály  
zmenšeno o únosnost  
stěny ve smyku

Koncentrace svarů - rozvětvení



Plynulý přechod pásnic

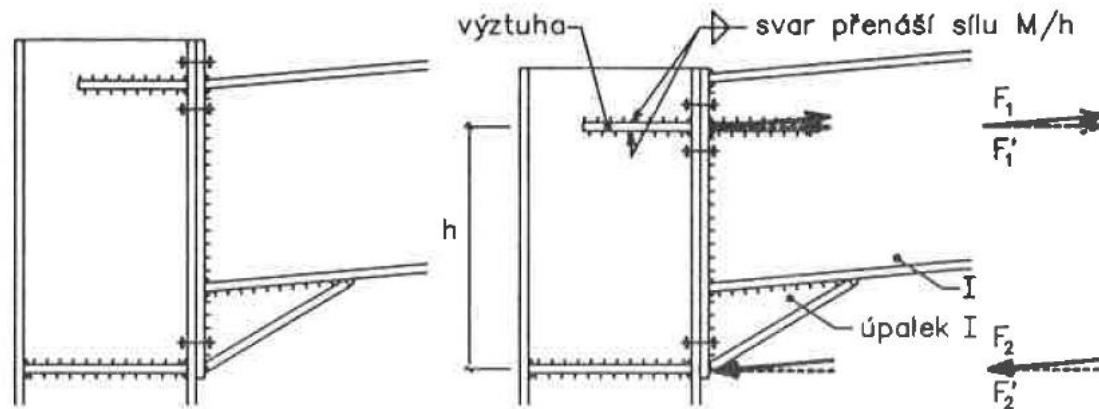
Zvětšení tloušťky stěny



# Tuhé styčníky – Rámové rohy

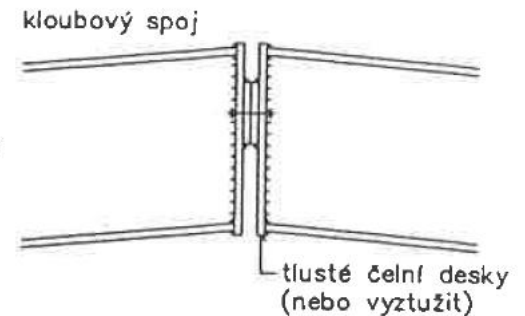
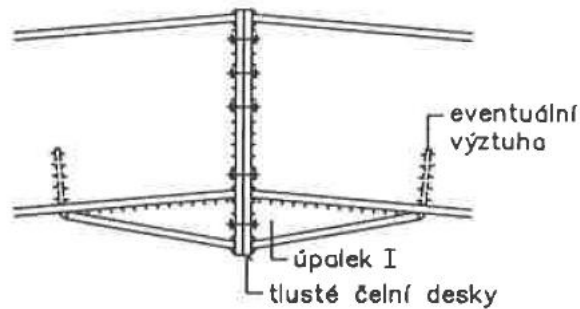
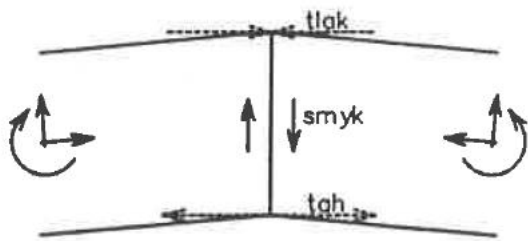
- Rámové rohy s náběhem
  - Větší rameno výslednice sil
  - Osa pásnic náběhu
  - Nižší smykové namáhání stojiny

Náběhy :



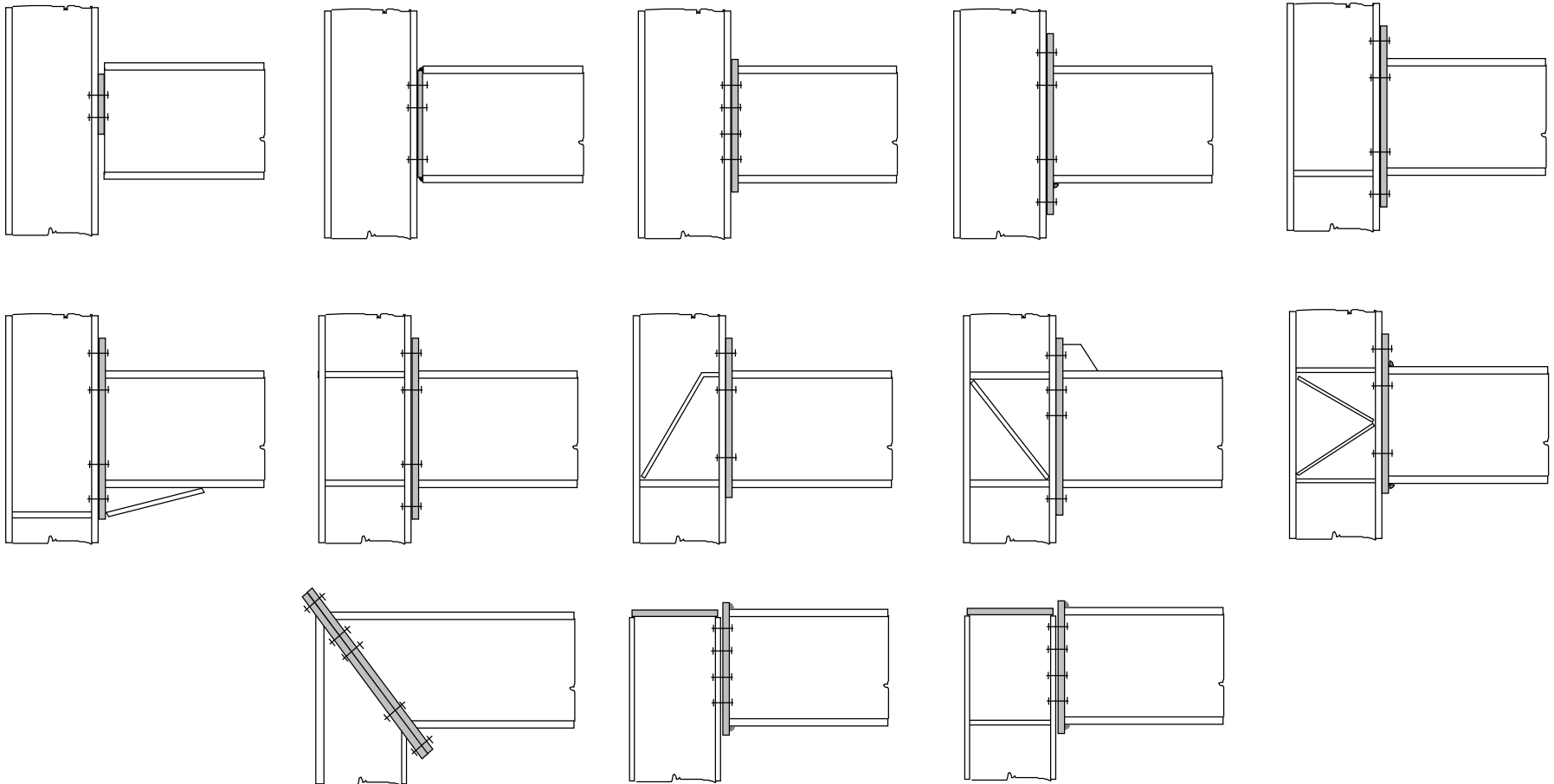
# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Stykování ve vrcholu
  - Tuhý styk
  - Kloubový styk



# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Styčníky s čelní deskou





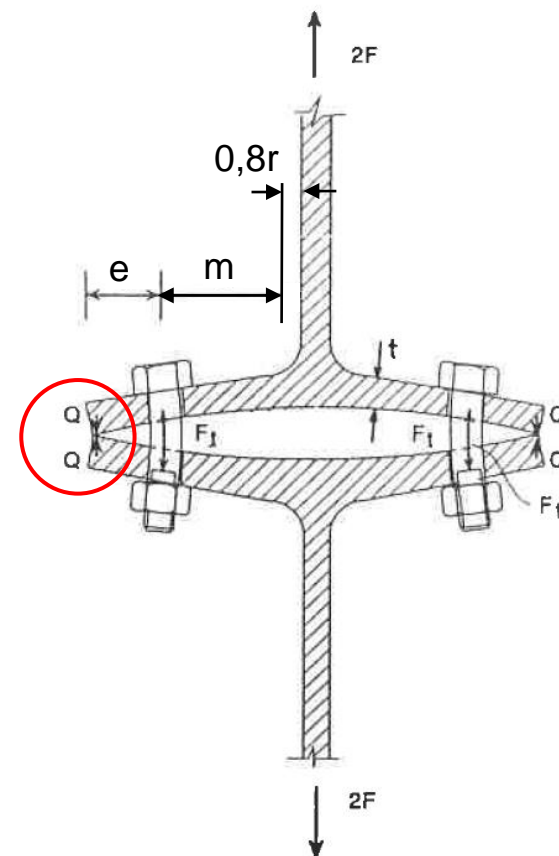
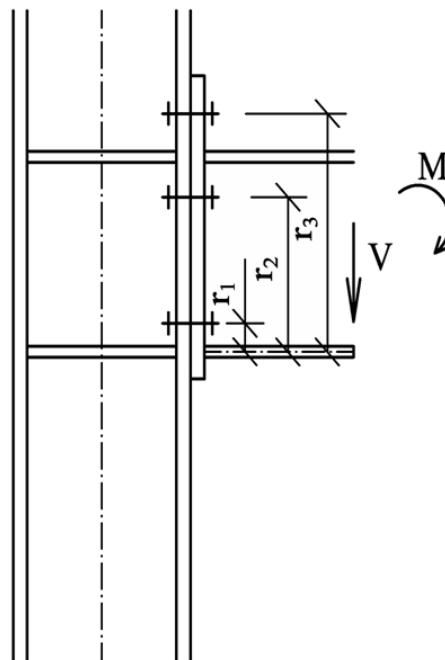
# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Páčení šroubů
  - Přídavná síla  $Q$
  - Závislosti na tl. čelní desky
  - Síla do šroubu dle ČSN 73 1401 (neplatná)

$$t_e = 4,3 \sqrt[3]{\frac{md^2}{e}}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005[(t_e^3 - t^3)/d]$$

$$F_t = \gamma_p F$$

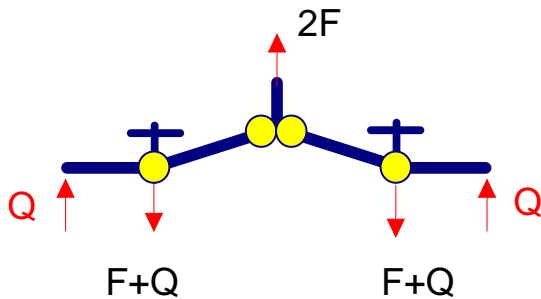


# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Náhradní T-průřez
  - ČSN EN 1993-1-8
  - 3 možné způsoby porušení
    - Rozhoduje nejmenší návrhová únosnost T-průřezu v tahu
    - Tabulka 6.2 normy ČSN EN 1993-1-8

## Způsob 1

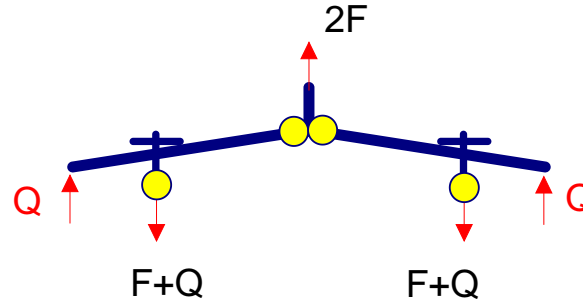
Plastický mechanismus  
(4 plastické klouby)



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

## Způsob 2

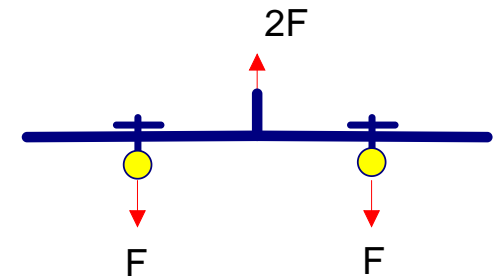
Plastický mechanismus + páčení  
(2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu)



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

## Způsob 3

Porušení šroubů v tahu



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

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

# Tuhé styčníky – Rámové rohy

## ■ Náhradní T-průřez

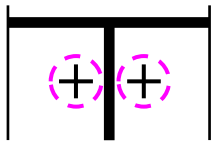
- Pro každou řadu šroubů zvlášť

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25L_{eff}t^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

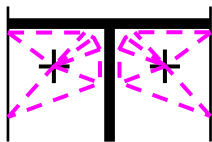
- Účinná délka náhradního T-průřezu

- Pro čelní desku, vyztužené pásnice sloupu, nevyztužené pásnice sloupu

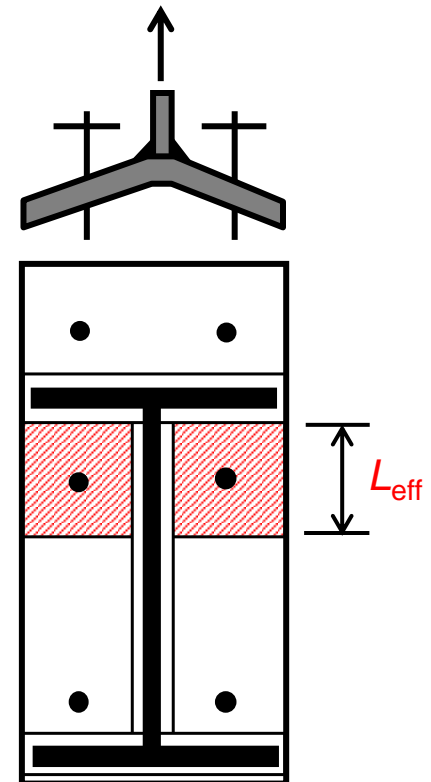
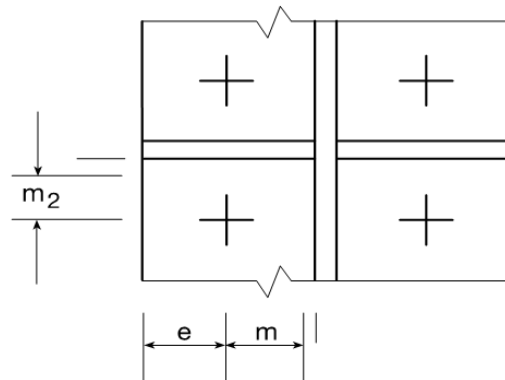
Možné tvary plastického porušení (příklad)



$$L_{eff,1} = 2\pi m$$



$$L_{eff,2} = \alpha m$$



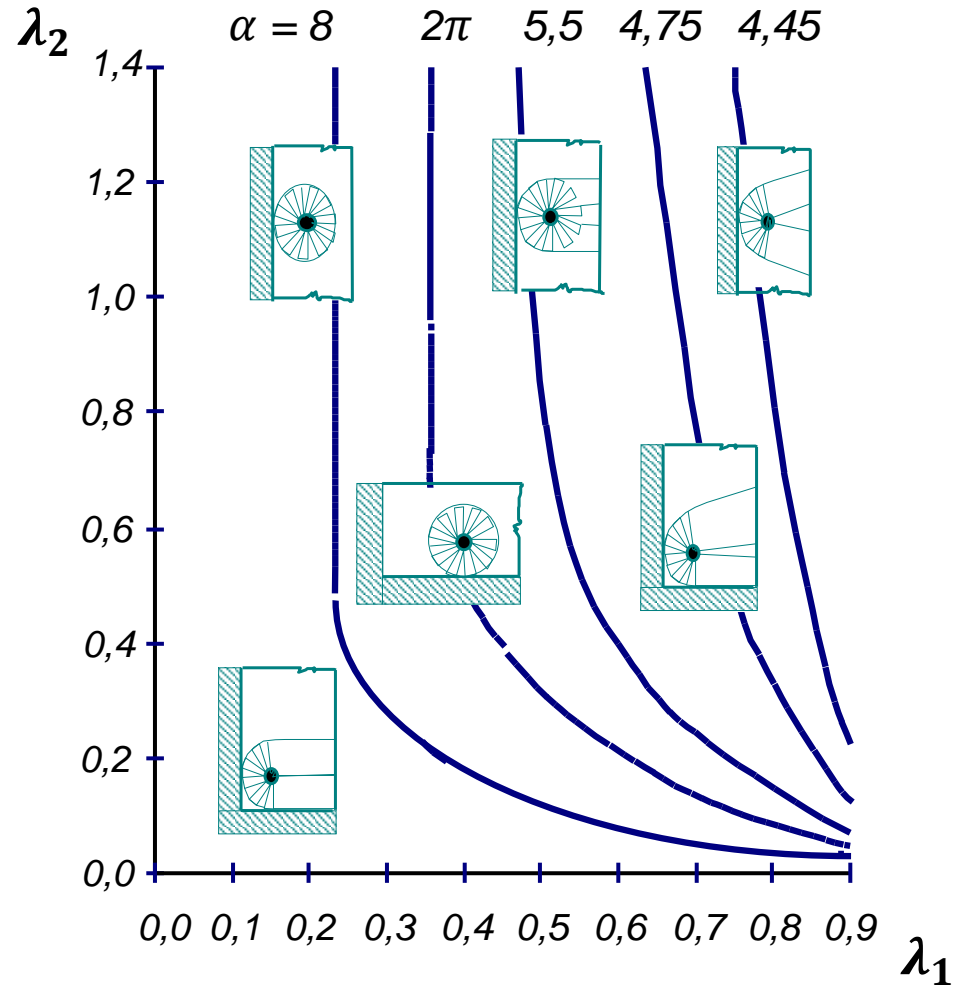
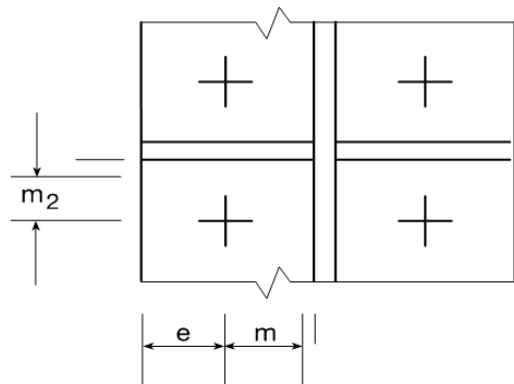
# Tuhé styčníky – Rámové rohy

## ■ Náhradní T-průřez

$$L_{\text{eff},2} = \alpha m$$

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

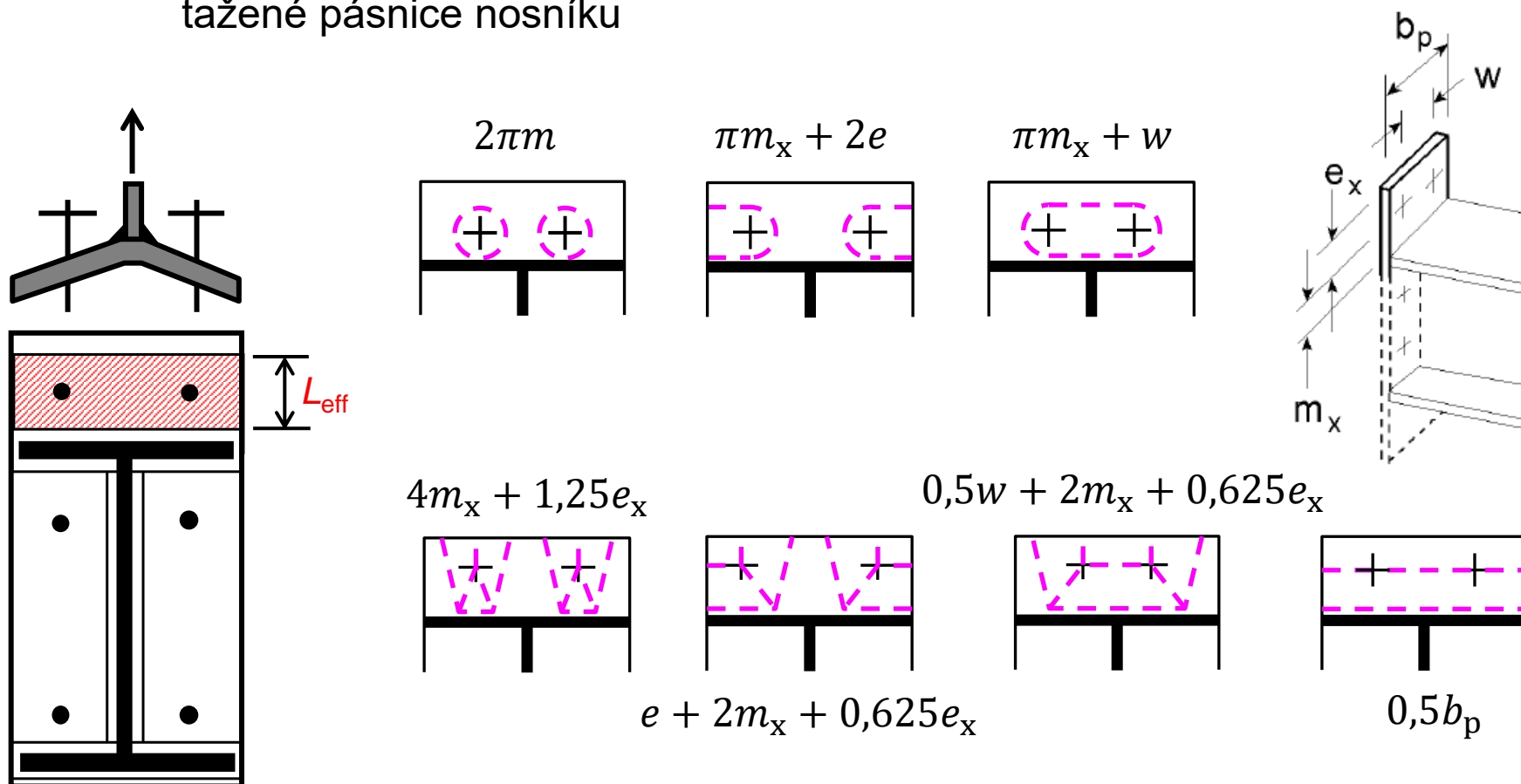
$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



# Tuhé styčníky – Rámové rohy

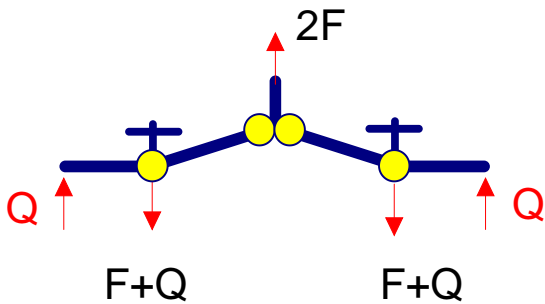
## ■ Náhradní T-průřez

- Možné tvary porušení – čelní deska v ohybu pro řadu šroubů vně tažené pásnice nosníku



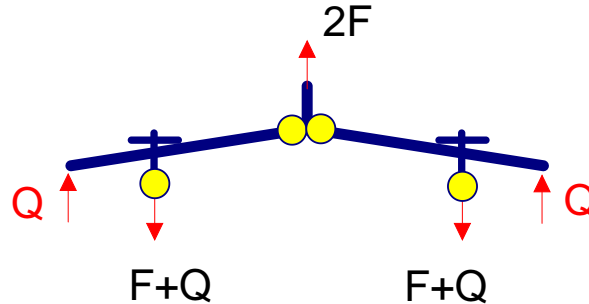
# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Náhradní T-průřez
  - ČSN EN 1993-1-8
  - **Stanovení únosnosti každé řady šroubů**
    - Rozhoduje nejmenší návrhová únosnost T-průřezu v tahu



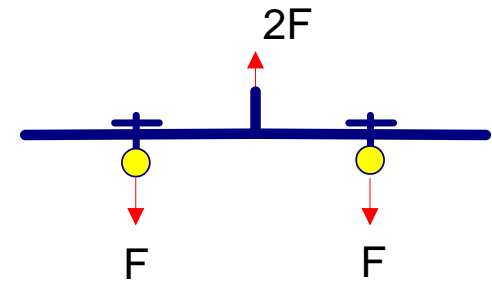
1. způsob

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



2. způsob

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



3. způsob

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

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

# Tuhé styčníky – Rámové rohy

- Rozdělení sil do jednotlivých řad šroubů

- Pružné

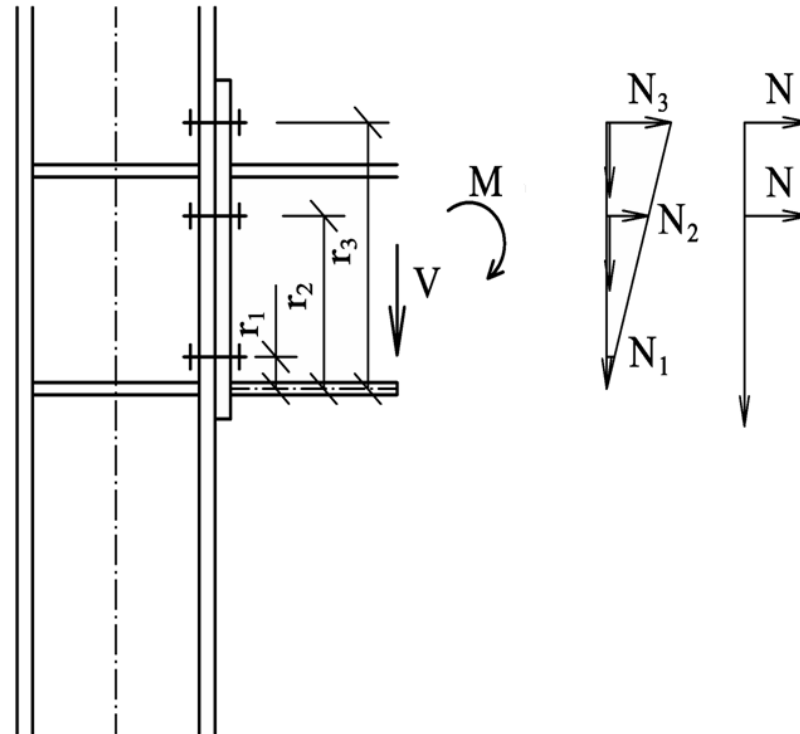
$$M_{Ed} = 2(N_1 r_1 + N_2 r_2 + r_3)$$

$$N_i \leq F_{T,i,Rd}$$

- Plastické

$$M_{Rd} = 2N(r_2 + r_3)$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$



# Tuhé styčníky – Rámové rohy

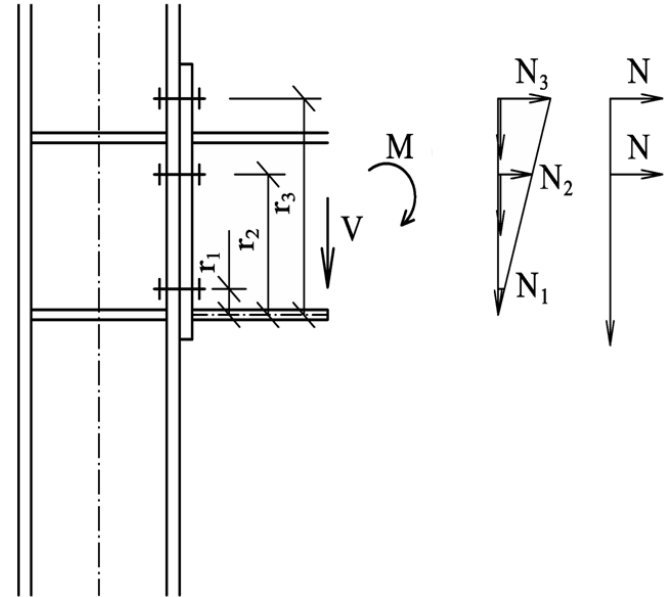
- Rozdělení sil do jednotlivých řad šroubů
  - Plasticky lze, pokud je splněna podmínka

$$F_{T,i,Rd} \leq 1,9 F_{t,Rd}$$

$F_{T,i,Rd}$  únosnost  $i$ -té řady šroubů v tahu

$F_{t,Rd}$  únosnost 1 šroubu v tahu

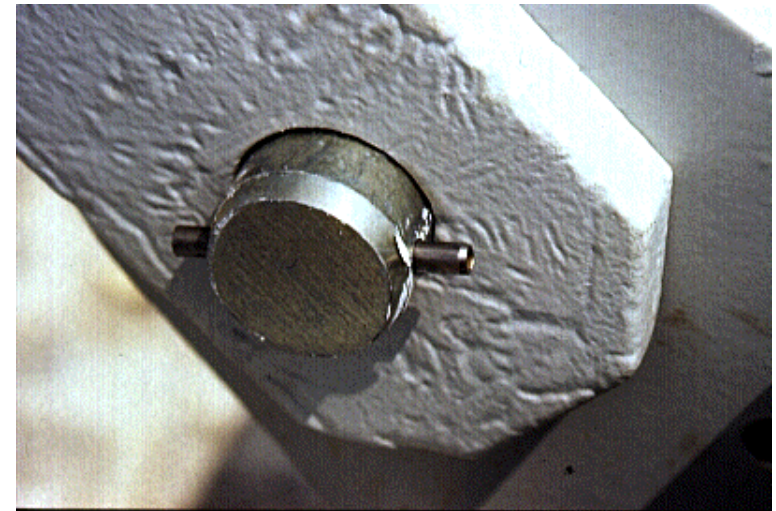
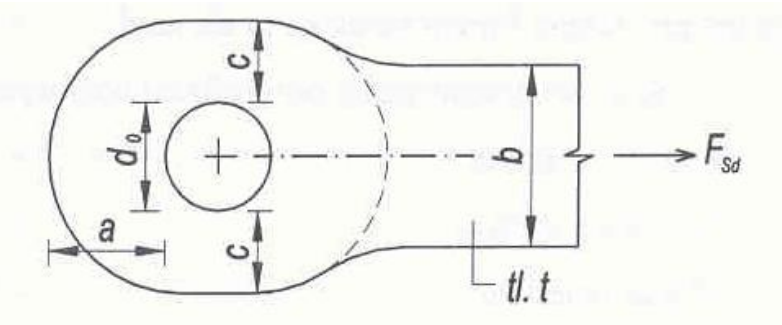
- Únosnost řady šroubů v tahu lze redukovat tak, aby byla podmínka splněna
- Plastické rozdělení za předpokladu, že není překročena únosnost komponent a jejich tažnost je dostatečná
- Pružně se mají vnitřní síly rozdělit v případě, že jsou použity šrouby tvořící spoj odolný v prokluzu **kategorie C**





# Čepové spoje

- Kloubové spoje
  - Velké průměry
  - Zajištění maticemi, závlačkami



# Čepové spoje

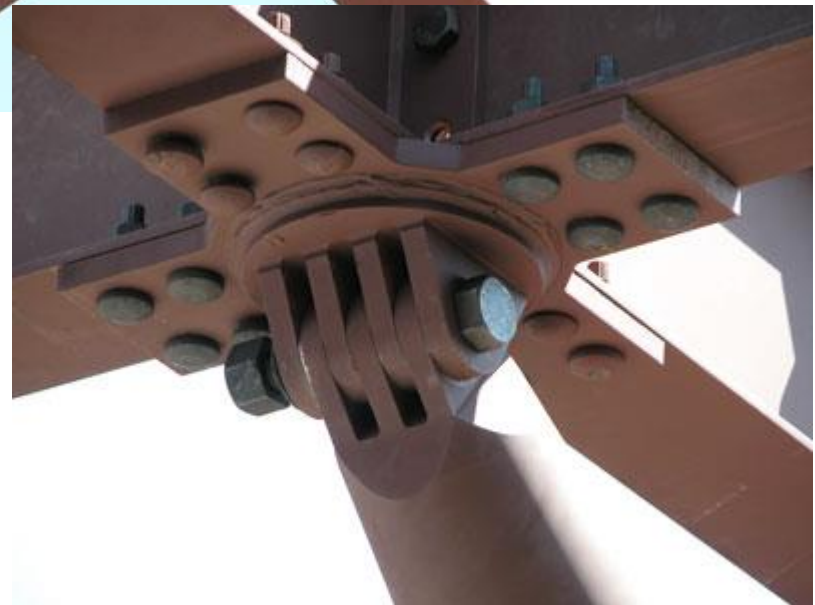
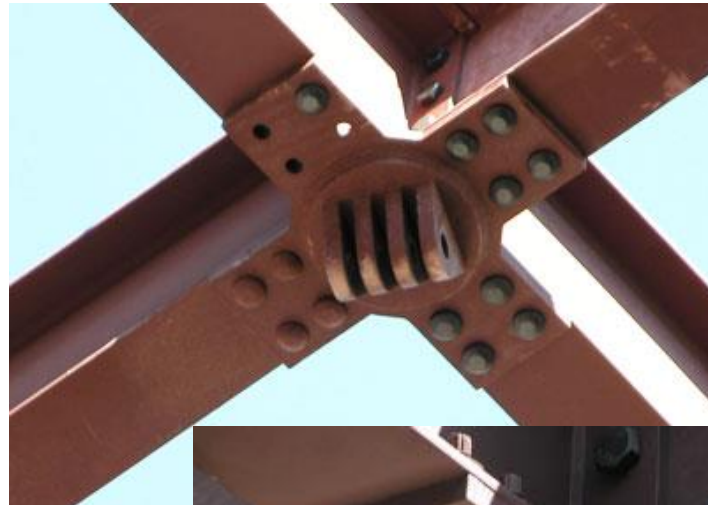
- Obvykle jednoduchý přípoj
  - Přípoje táhel, patky
  - Vložené plechy, čelní deska
- Někdy zúžení trubky
  - Estetické důvody
  - Seřiznutí, tvarovaný plech





# Čepové spoje

- Atypické ukončení větve stromové podpory



# Čepové spoje

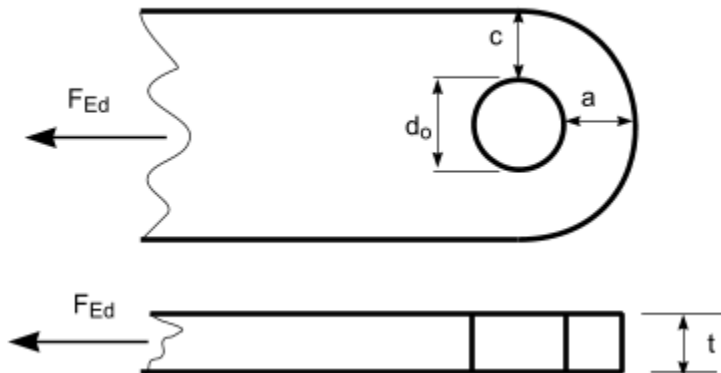
- Patka



# Čepové spoje

- ČSN EN 1993-1-8
  - Geometrické požadavky
    - Čepové spoje VŽDY symetricky

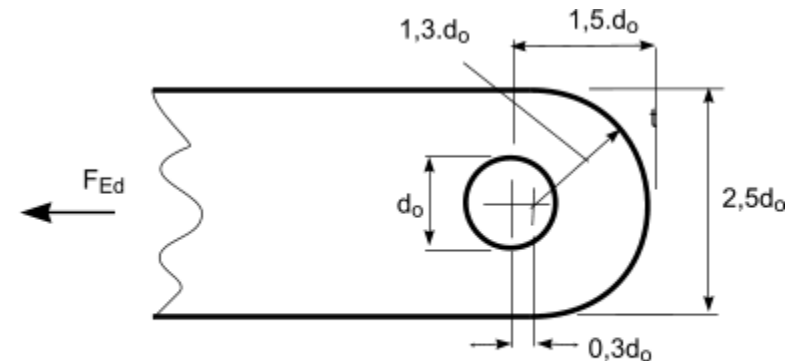
Typ A: daná tloušťka  $t$



$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2 t f_y} + \frac{2 d_0}{3}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2 t f_y} + \frac{d_0}{3}$$

Typ B: daná geometrie



$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}}$$

$$d_0 \leq 2,5 t$$

# Čepové spoje

- Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = 0,6 A \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}}$$

Mez pevnosti čepu

- Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5 t d \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Nižší z meze kluzu čepu a spojované části

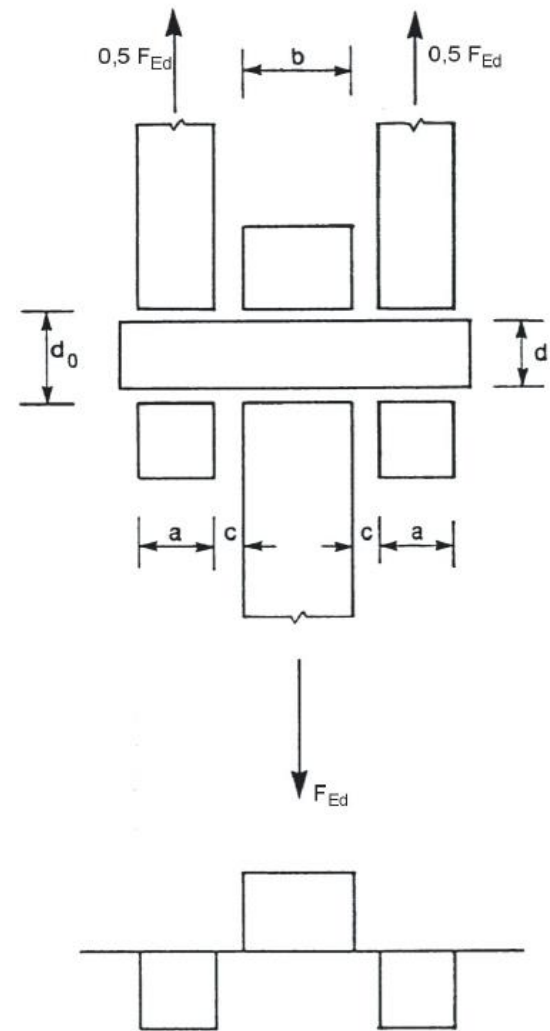
- Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = \frac{1,5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

Mez kluzu čepu

- Únosnost čepu při kombinaci namáhání

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{M_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$



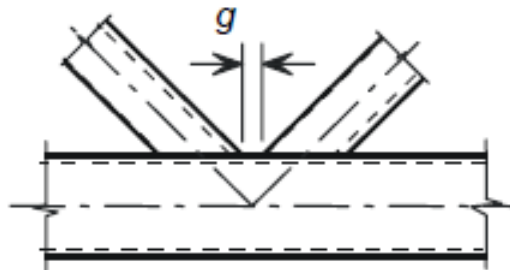
$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a)$$



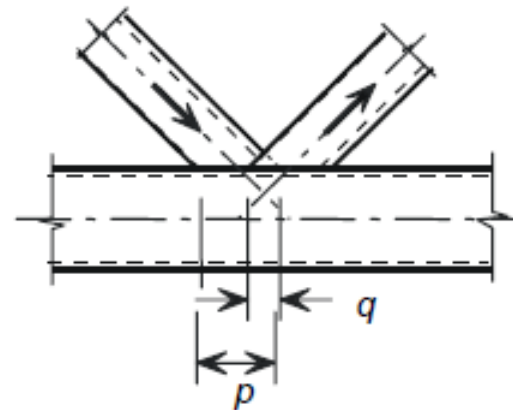
# Styčníky dutých průřezů

- Geometrie styčnicku
  - Excentrické připojení → ohybový moment

Styčník s mezerou



Styčník s překrytím



- Mezera mezi pruty  
 $g < 0$  značí překrytí

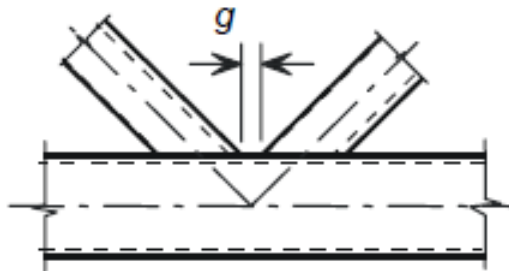
- Poměr překrytí  

$$\lambda_{ov} = \left(\frac{q}{p}\right) \cdot 100 \%$$

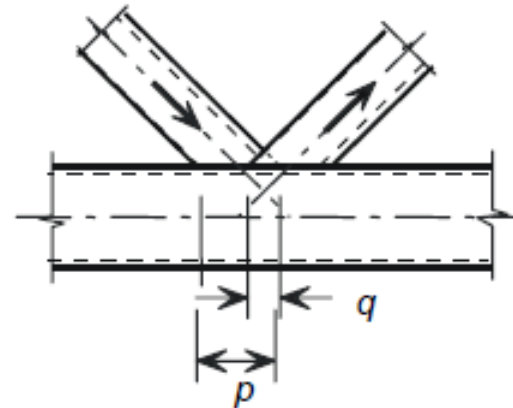
# Styčníky dutých průřezů

- Geometrie styčnicku
  - Excentrické připojení → ohybový moment

Styčník s mezerou



Styčník s překrytím



- Mezera mezi pruty  
 $g < 0$  značí překrytí

- Poměr překrytí  

$$\lambda_{ov} = \left(\frac{q}{p}\right) \cdot 100 \%$$



# Styčníky dutých průřezů

## ■ Momenty z excentrického připojení

- Momenty vyplývající z excentricity lze zanedbat při návrhu tažených pásů a mezipásových prutů

- Při návrhu spojů lze účinek excentrického připojení zanedbat pokud

$$-0,55 d_0 \leq e \leq 0,25 d_0$$

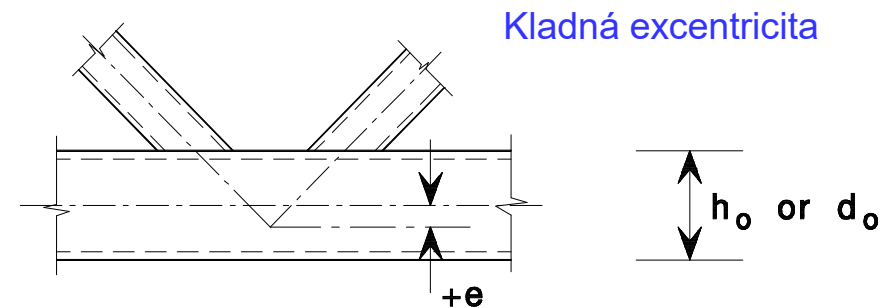
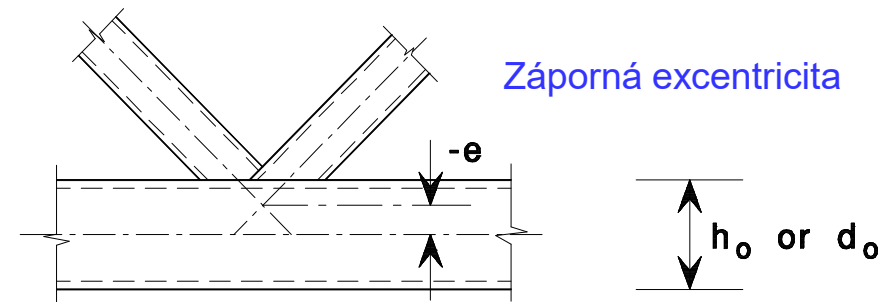
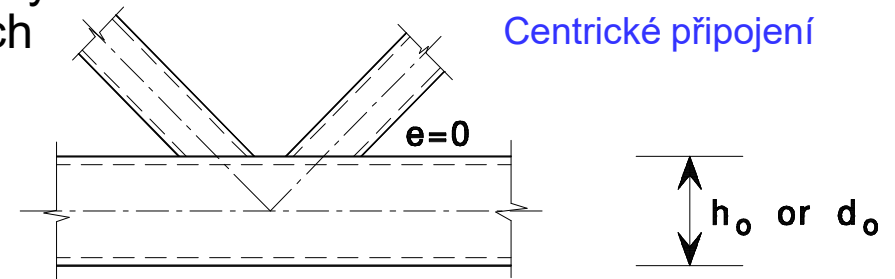
$$-0,55 h_0 \leq e \leq 0,25 h_0$$

$e$  je excentricita

$d_0$  je průměr pásu z TR

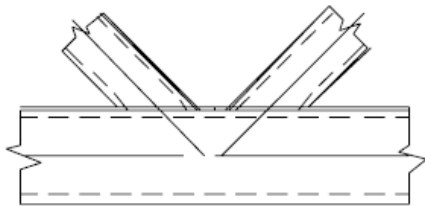
$h_0$  je výška pásu z HTR

- Momenty vyplývající z excentricity se uvažují vždy při návrhu tlačeneho pásu

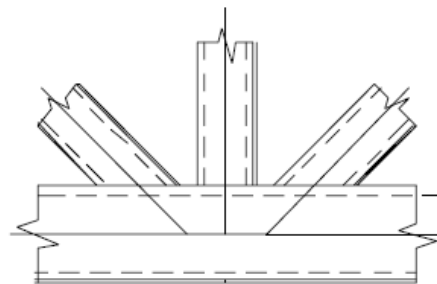


# Styčníky dutých průřezů

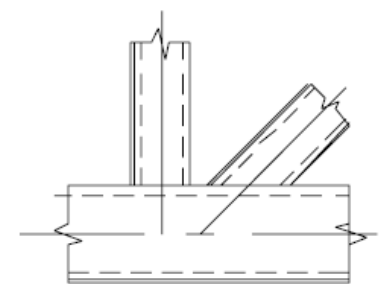
- Základní typy styčníků
  - Rovinné příhradové konstrukce



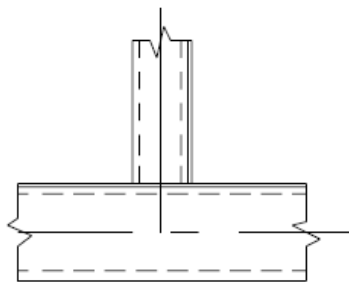
Styčník K



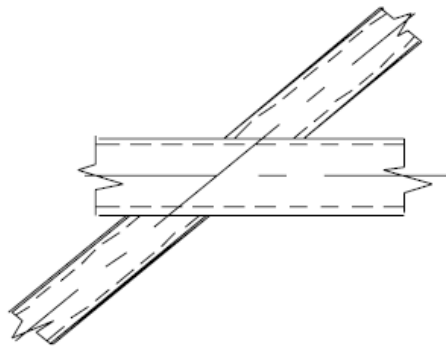
Styčník KT



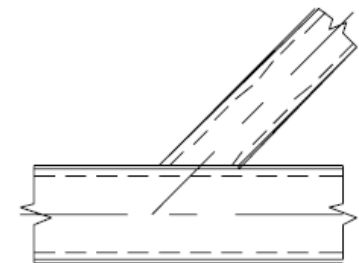
Styčník N



Styčník T



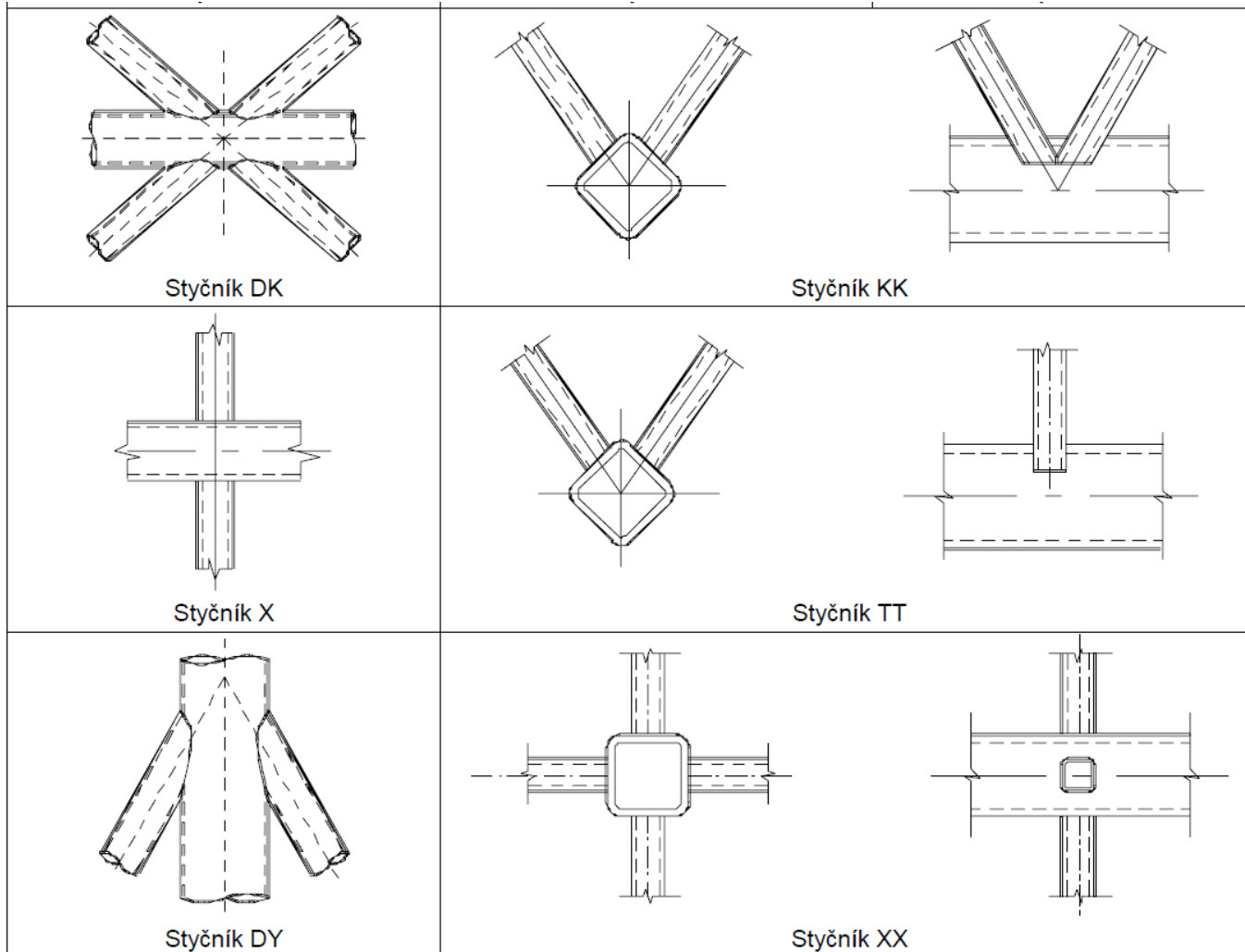
Styčník X



Styčník Y

# Styčníky dutých průřezů

- Základní typy styčnicků
  - Prostorové příhradové konstrukce



# Styčníky dutých průřezů

- Způsoby porušení styčnicků z dutých průřezů
  - a) **Porušení povrchu pásu** (plastické porušení povrchu pásu) nebo plastifikace pásu (plastické porušení průřezu pásu);
  - b) **Porušení boční stěny pásu** (nebo **porušení stojiny pásu**) zplastizováním, podrcením nebo ztrátou stability tvaru (borcením nebo vybočením boční stěny nebo stojiny pásu) pod tlačným mezipásovým prutem;
  - c) **Porušení pásu smykem**;
  - d) **Prolomení smykem** stěny dutého průřezu pásu (iniciace trhliny vedoucí k odtržení mezipásového prutu od dutého průřezu pásu);
  - e) **Porušení mezipásového prutu** s redukovanou účinnou šířkou (trhliny ve svarech nebo mezipásových prutech);
  - f) **Porušení místním vybočením** mezipásového prutu nebo dutého průřezu pásu ve styčnicku.

# Styčníky dutých průřezů

- Způsoby porušení styčnicků z dutých průřezů

	Pravouhlé průřezy	Kruhové průřezy	Pás průřezu I nebo H
Porušení povrchu pásu			
Porušení boční stěny (stojiny) pásu			

# Styčníky dutých průřezů

- Způsoby porušení styčnicků z dutých průřezů

	Pravouhlé průřezy	Kruhové průřezy	Pás průřezu I nebo H
Porušení pásu smykem			
Prolomení smykem			

# Styčníky dutých průřezů

- Způsoby porušení styčnicků z dutých průřezů

	Pravouhlé průřezy	Kruhové průřezy	Pás průřezu I nebo H
Porušení mezipásového prutu			
Porušení místním vybočením			

# Styčníky dutých průřezů

- Stanovení únosnosti
  - ČSN EN 1993-1-8

Porušení povrchu pásu – styčníky K a N s mezerou nebo překrytím	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left( 1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$
Porušení prolomením smykem – pro styčníky s mezerou K, N a KT a všechny styčníky T, Y a X [i = 1, 2 nebo 3]	
Když $d_i \leq d_0 - 2t_0$ : $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$	
Součinitele $k_g$ a $k_p$	
$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right) \quad (\text{viz obrázek 7.6})$	
Pro $n_p > 0$ (tlak): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ ale $k_p \leq 1,0$	
Pro $n_p \leq 0$ (tah): $k_p = 1,0$	



# Děkuji za pozornost

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze

