

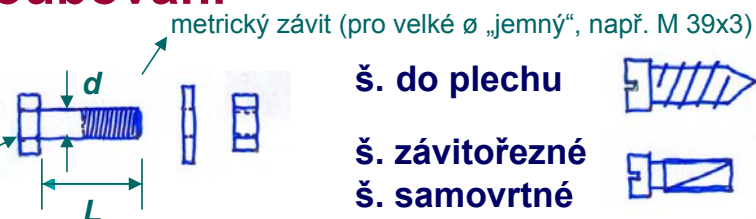
7. Šroubované spoje

Technologie šroubování, navrhování šroubových spojů.

Technologie šroubování

Šrouby pro OK

šestihránná nebo válcová hlava s vnitřním šestihranem



š. do plechu



š. závitořezné
š. samovrtné



$d = (12), 16, 20, 24, 27, 30$ (značka např. M 20 x L)

Materiál: 4.6 ($f_{ub} = 400 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 0,6 \cdot 400 = 240 \text{ MPa}$)

uhlíkové oceli 4.8 5.6 5.8 6.8 (pro běžné šrouby)

kalené a popouštěné oceli 8.8 10.9 12.9 (pro VP – vysokopevnostní šrouby)

Pozn: materiály šroubů z nerezových ocelí (austenitických) se označují A2, A3, A4, A5 (podle složení materiálu).

Provedení šroubů a matic: hrubé, přesné (tolerance dříku h13 ≈ 0 až - 0,33 mm)

Podložky:

obyčejné

pro OK ($t = 8 \text{ mm}$)

pojistné

pro třecí spoj (kalené 200 HV)



Šroubované spoje při namáhání smykem

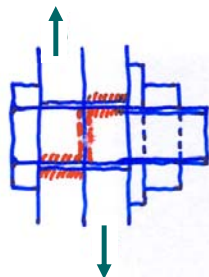
1. Obyčejné

jakýkoliv materiál:

hrubé vrtání $d_0 = d + 2$ [mm] (3 mm od M30)

lícované $d_0 = d + 0,11$ (tolerance otvoru H11 $\approx +0,13$ mm až 0)

injektované běžné vrtání zainjektováno pryskyřicí
(otvorem v hlavě šroubu, podložky oboustranně)



Namáhání při smyku:

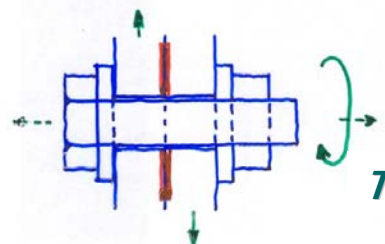
1. na stříh

2. na otláčení (šroubu i základního materiálu,
popř. pryskyřice)

2. Třecí

VP materiál (8.8, 10.9)

Namáhání při smyku:
třením v sevřené ploše



Vyvození kroutícího momentu T

- momentovým klíčem (ruční, elektrický, pneumatický)

- odhadem:

- na úhel otočky (přídavný úhel dán v tabulce normy),

- podložky s výstupky pro indikaci napětí

- (nově též HRC speciální smykové utahovávky)

hlavice + ráčna



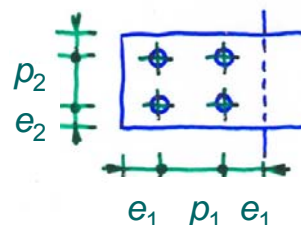
spárová měrka určuje stlačení

Rozteče šroubů

min., běžné, max. (normy).

Pro válcované tyče: v tabulkách !!

Běžné:



$p_1, p_2 \dots 3,5 d_0$
 $e_1 \dots 2,5 d_0$
 $e_2 \dots 2 d_0$

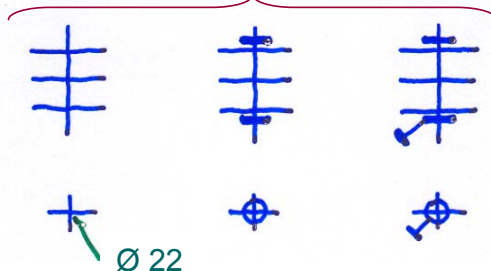
Značky ve výkresech:

dílenské

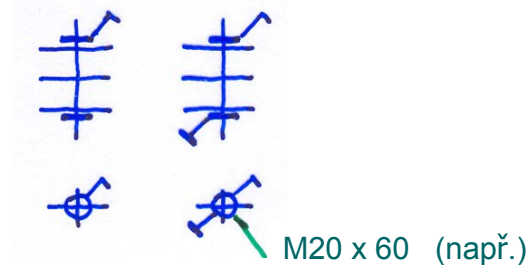
otvor

šroub

třecí



montážní (s praporkem)



NNK – ocelové konstrukce (7)

3

Návrh šroubovaných spojů (ČSN EN 1993-1-8)


Kategorie spojů 

- smykové
- tahové

1. Smykové

Kategorie	Druh	Posudek
A	Běžné šrouby (4.6 až 10.9)	- stříh $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ - otláčení $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$
B	Třecí spoj bez prokluzu při MSP (8.8, 10.9)	- stříh $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ - otláčení $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ - prokluz při MSP $F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ → při provozu tuhý
C	Třecí spoj bez prokluzu při MSÚ (8.8, 10.9)	- otláčení $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ - prokluz při MSÚ $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ → při kolapsu tuhý (neporuší se stříhem)

2. Tahové

Kategorie	Druh	Posudek
D	Běžné šrouby nepředeptuté (4.6 až 10.9)	- přetržení v tahu $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ - protlačení hlavy $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ Při tahu se protahuje (viz Hookův zákon), nepoužívat pro dynamické zatížení !
E	Předpjaté šrouby (8.8, 10.9) Pro dynamické namáhání jsou vhodné i „klínové“ podložky: 	- zcela stejné jako v kategorii D. Význam: bez protažení, vhodné i pro dynam. zatížení, ale únosnost je stejná !!

Pozor: Při stanovení únosnosti spojů (šroubových i svarových) se vychází z meze pevnosti materiálu spojovacích prostředků (proto vesměs γ_{M2}):

f_{ub} pro šrouby (materiál šroubů),
 f_u pro svary (= základní materiál).

Součinitele materiálu podle ČSN EN 1993-1-8:

$\gamma_{M2} = 1,25$ (šrouby, svary)

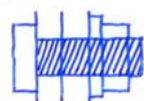
$\gamma_{M3.ser} = 1,1$

$\gamma_{M3} = 1,25$

$\gamma_{M7} = 1,1$

} pro třecí spoje

Únosnost ve stříhu:

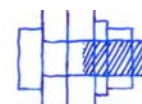


závit ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A_s n / \gamma_{M2}$$

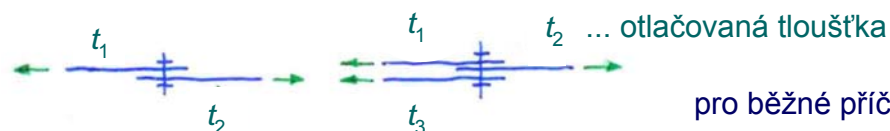
pro šrouby z materiálů
4.8., 5.8., 10.9. výjimka: pouze 0,5

plocha jádra $A_s = \frac{\pi d_s^2}{4}$



není-li závit ve stříhu:
místo A_s se bere A

Únosnost v otláčení:



$$t = \min. \begin{cases} t_1 \\ t_2 \end{cases}$$

$$t = \min. \begin{cases} t_1 + t_3 \\ t_2 \end{cases}$$

pro běžné příčné rozteče ($e_2 > 1,5d_0$ a $p_2 > 3d_0$):

$k_1 = 2,5$ otláčovaná plocha

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

Min. součinitel α_b plyne z experimentů: $\left. \begin{array}{ll} e_1/3d_0 & \text{pro vytržení okraje,} \\ (p_1/3d_0) - 0,25 & \text{pro protržení otvoru,} \\ f_{ub}/f_u & \text{pro otláčení šroubu,} \\ 1 & \text{pro otláčení plechu.} \end{array} \right\}$

Únosnost v tahu:

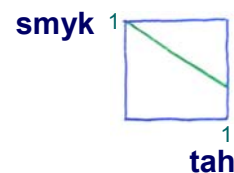
přetržení dřívku $F_{t,Rd} = k_2 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$
↘ $k_2 = 0,9$

Pozn.:

Těž únosnost v „protlačení hlavy“:
Je neobvyklé, jen u **velmi** slabých
plechů, vzorec v normě.

Interakce smyk + tah:
(nutno splnit navíc)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$$



Pozn.: pro šrouby s řezaným závitem (nikoliv válcovaným) – jako táhla, kotevní šrouby se
únosnosti ve stříhu a tahu násobí součinitelem 0,85.

Třecí spoje (kategorie B, C)

- použije se VP materiál (8.8, 10.9)

Únosnost v prokluzu: $F_{s,Rd} = k_s n \mu F_{p.Cd} / \gamma_{M3}$

↙ počet třecích ploch
↘ součinitel tření
↘ popř. pro kat. B $\gamma_{M3,ser}$

$k_s = 1$ (pro nadměrné otvory 0,85; oválné 0,7)

Součinitel tření μ je dán třídou povrchu v době provedení spoje:

tř. A	(otryskaný drtí nebo granulátem)	$\mu = 0,5$
tř. B	(otryskaný + speciální nátěr, metalíza)	$\mu = 0,4$
tř. C	(očistěný kartáčem, plamenem)	$\mu = 0,3$
tř. D	(neupravený, ale bez rzi): nepoužívat !	$\mu = 0,2$

Předpínací síla: $F_{p,C} = 0,7f_{ub}A_s / \gamma_{M7} \approx F_{t,Rd}$

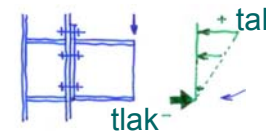
Únosnost v otláčení: jako obyčejné šrouby, rozhoduje výjimečně!

Únosnost v tahu: jako nepředepnutý spoj (zhruba stejná únosnost !!!)
(pro vysvětlení viz doplňující poznámky)

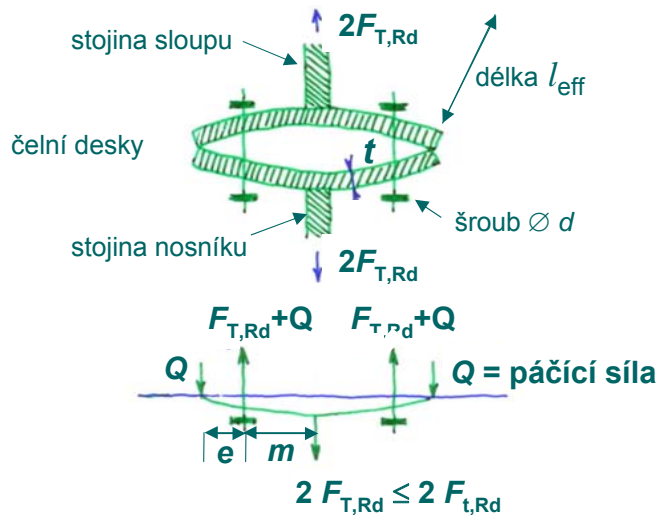
Interakce smyk + tah: $F_{s,Rd} = k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Rd}) / \gamma_{M3}$

pro běžné vrtání $k_s = 1$ odečteno 80 % vnějšího tahu popř. pro kat. B $\gamma_{M3,ser}$

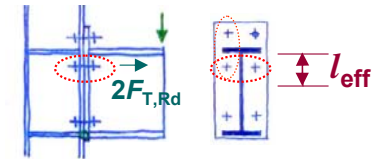
Pozn.:
Při ohybu však tlak vyrovnává tahy, tření tedy zůstává a únosnost v prokluzu se nesnižuje (např. u konzol) → viz obrázek:



Páčení šroubů



Idealizace pomocí
únosnosti T průřezu
délky l_{eff} :



Pro dostatečnou tloušťku čelní desky t
páčení nevznikne ($Q = 0$, odtud $F_{T,Rd} = F_{t,Rd}$).

Např. podle ČSN 731401/1998 páčení
šroubu o průměru d nevznikne, pokud:

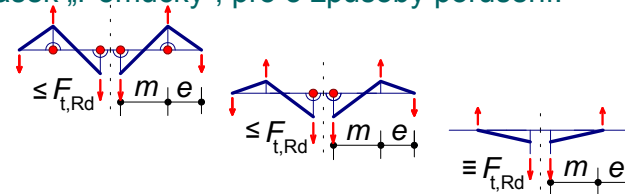
$$t \geq t_e = 4,33 \sqrt{\frac{m d^2}{e}}$$

Praktický postup podle EN 1993-1-8:

Pro namáhání šroubu tahem se určí snížená tahová únosnost šroubu v T přípoji (tj. při páčení) $F_{T,Rd} \leq F_{t,Rd}$.

Vzorce jsou uvedeny v normě, popř. na webu přednášek „Pomůcky“, pro 3 způsoby porušení:

- vytvoření 4 plastických kloubů v pásnici délky l_{eff} ,
- vytvoření 2 plastických kloubů v pásnici délky l_{eff} ,
- nebo přetržení šroubů tahem.



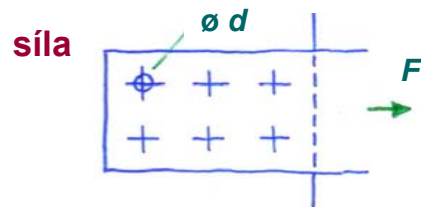
Rozdělení sil na skupinu šroubů

Pružné - lze vždy

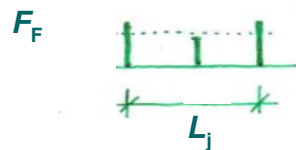
Plastické - nelze u kategorie C

- nelze pokud rozhoduje stříh ($F_{v,Rd} < F_{b,Rd}$)

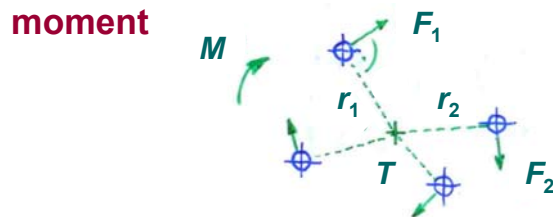
1. Smykové spoje (přeplátované spoje) - vesměs pružné řešení



na 1 šroub $F_{v,Ed} = \frac{F}{n}$ zde n = 6



pro dlouhý spoj ($L_j > 15 d$) se únosnost redukuje
→ doporučuje se max. 6 šroubů v řadě za sebou!

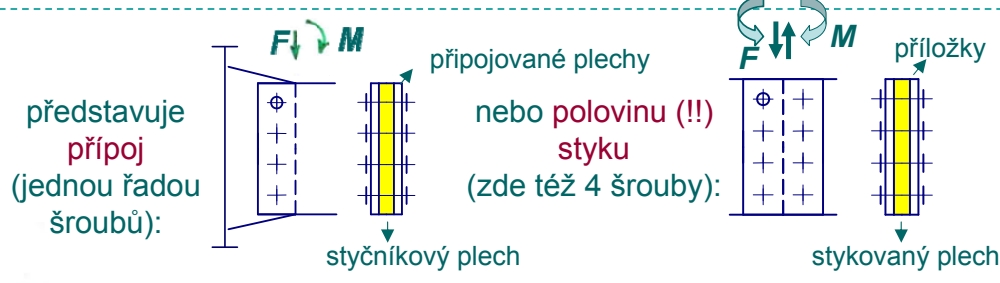
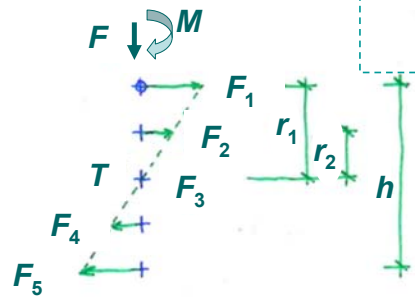


$$M = F_1 r_1 + F_2 r_2 + \dots = \sum_i F_i r_i$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad \frac{F_1}{F_3} = \frac{r_1}{r_3} \quad \dots$$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{M r_1}{\sum_i r_i^2} \quad \text{obdobně } F_2 = \dots$$

síla a moment



↓ **silová podmínka:**

$$F_{1,F} = \frac{F}{n} \quad \text{zde } n = 5$$

↻ **momentová podmínka:** $F_{1,M} = \frac{M r_1}{\sum r_i^2}$ popř. $\left(= \frac{M}{h} \beta \right)$

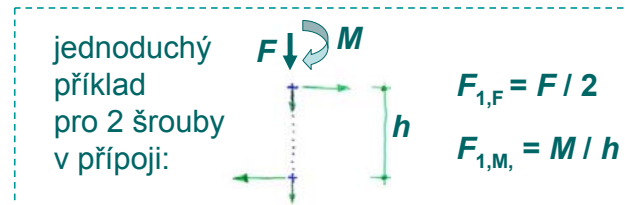
tab. TP64, literatura

nejvíce namáhaný je krajní šroub:

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_{1,F}^2 + F_{1,M}^2} \leq \dots$$



střih
otlačení



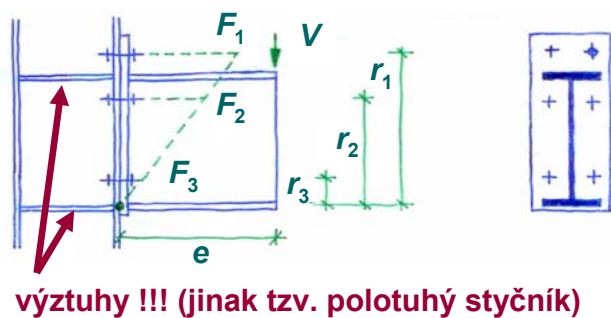
jednoduchý
příklad
pro 2 šrouby
v přípoji:

$$F_{1,F} = F / 2$$

$$F_{1,M} = M / h$$

Pozn.: plastické řešení rozdělení sil ve smykovém spoji je výjimečné !!

2. Tahové spoje - přípoj na čelní desku (konzola, rámový roh)



Pružné posouzení:

od síly F : $F_{V,Ed} = \frac{V}{n} \begin{cases} \leq F_{v,Rd} \\ \leq F_{b,Rd} \end{cases}$

od momentu $M = Ve$:

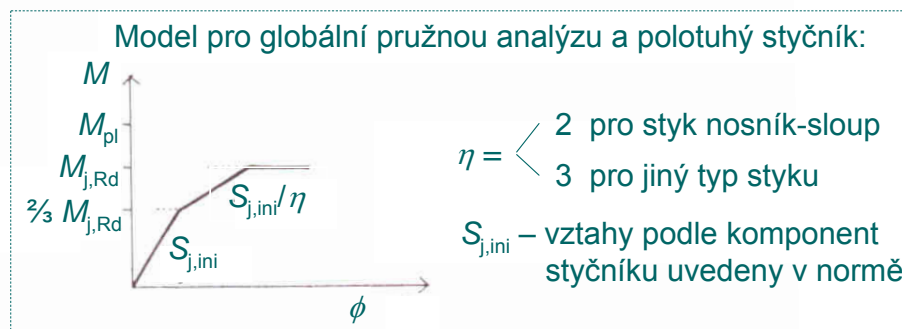
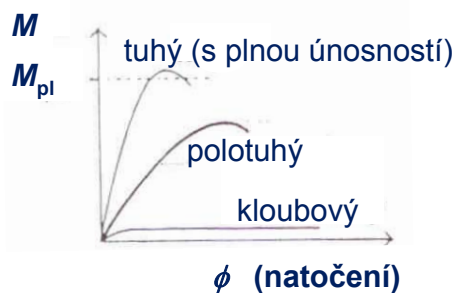
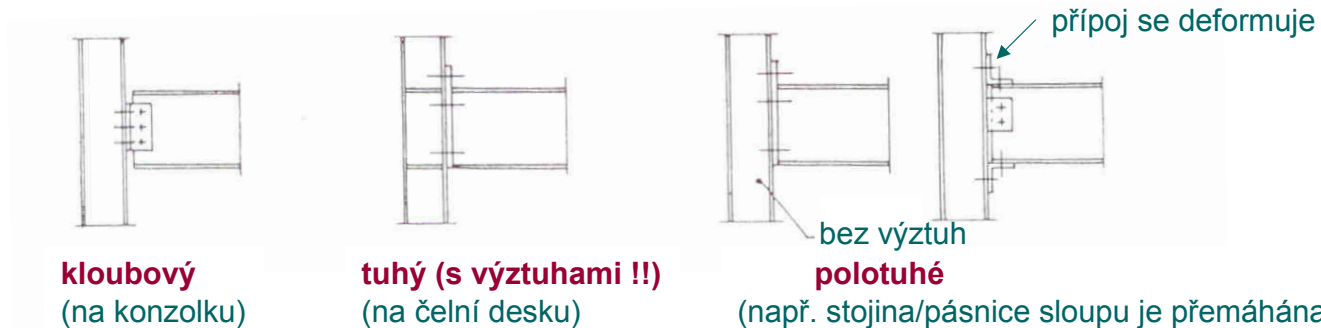
$$2(F_1 r_1 + F_2 r_2 + F_3 r_3) = M$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad \frac{F_1}{F_3} = \frac{r_1}{r_3}$$

odtud: $F_{t,Ed} = F_1 = \frac{M r_1}{2 \sum r_i^2} \leq F_{T,Rd}$ s páčením

Interakce obou namáhání (od F a M) : pro běžné šrouby ano (viz vztah výše),
pro předpjaté šrouby ne (pozn. str.8).

Rámy s polotuhými styčníky

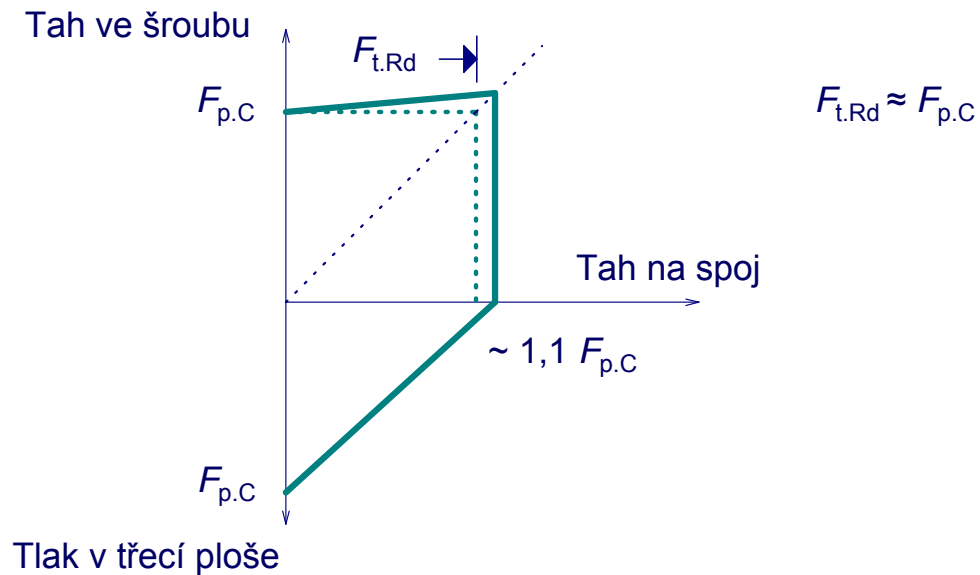


Výhody: - jednoduché (levné), přitom přebírají určitý moment M .

Nevýhody: - složitější výpočet $\left\{ \begin{array}{l} \text{přibližný (tabulky),} \\ \text{nelineární (nutné znát tuhost styčníků, obvykle z experimentů).} \end{array} \right.$

Doplňující informace

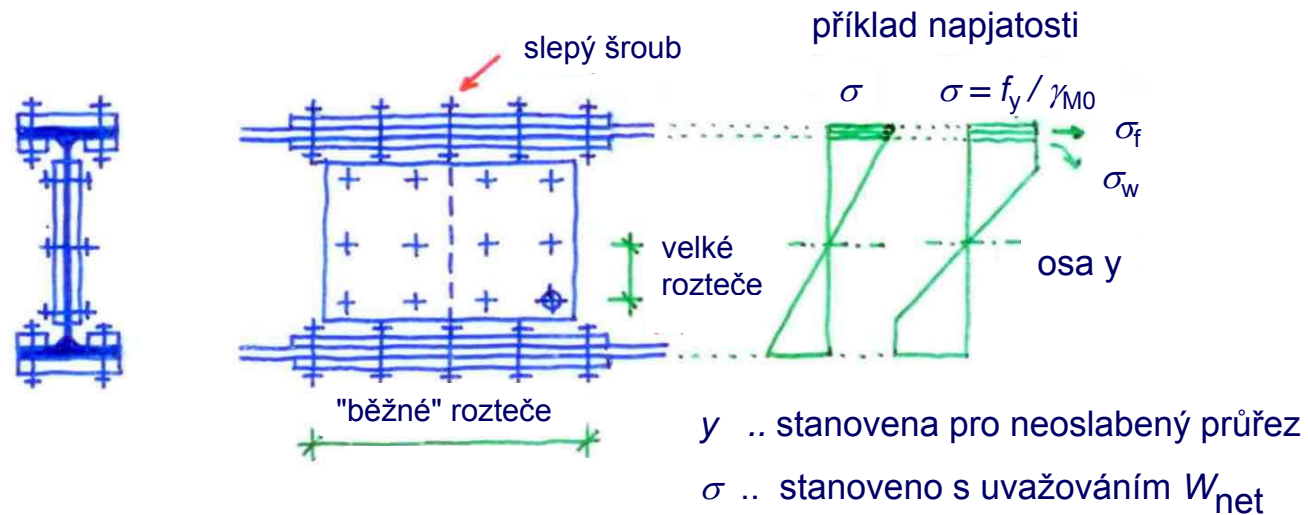
Únosnost předpjatého šroubu v tahu



Odtud plyne:

Při zatěžování spoje dochází k odlehčování v třecí ploše (pro jeden šroub ve velikosti asi 10x plochy šroubu). Únosnost spoje v tahu zůstává přibližně na úrovni únosnosti nepředepnutého šroubu.

Překládaný styk ohýbaného nosníku (dříve častý, dnes častěji spoj s čelními deskami a předpjatými šrouby pro omezení deformace spoje)



Postup návrhu styku:

1. Nakreslit styk - stanovit rozteče, počty šroubů v příčném řezu,
2. Rozhodnout výpočet:
 - a) na dané síly M_{Ed} , V_{Ed} (a napětí σ)
 - b) na únosnost ($\sigma = f_y / \gamma_{M0}$)

Styk pásnice:

příložky

$$A_{\text{přil,net}} \geq A_{\text{f,net}}$$

síla

$$F_f = A_f \sigma_f$$

(případně oslabená plocha A_{net})

počet např. obyčejných šroubů:

$$n = \frac{F_f}{F_{\text{min}}}$$

$$F_{\text{min}} = \min(F_{\text{V,Rd}}; F_{\text{b,Rd}})$$

↓
(na obrázku jsou 4)

Styk stojiny:

příložky

$$W_{\text{přil,net}} \geq W_{\text{w,net}}$$

moment

$$M_w = M_{\text{Sd}} - M_f = M_{\text{Sd}} - F_f h'$$

→ vzdál. těžišť pásnic

(pro pružné řešení lze přibližně vzít $M_w \approx M_{\text{Sd}} \frac{I_w}{I}$)

posouzení navržených šroubů:

$$F_{1,F} = \frac{V_{\text{Sd}}}{n}$$

$$F_{1,M} = \frac{M_w}{h} \beta$$

na obrázku je 6



$$F_w = \sqrt{F_{1,F}^2 + F_{1,M}^2} \leq F_{\text{min}}$$