

## ŠROUBOVÉ SPOJE – VÝKLAD

Šroubové spoje patří mezi rozebíratelné spoje s tvarovým stykem (lícovaný šroub), popřípadě silovým stykem (šroub prochází součástí volně, je zatížen pouze silou působící kolmo k ose). Šroubové spoje jsou tvořené šroubem, maticí a podložkou.

Rozebíratelné spoje je možné demontovat bez porušení spojovaných a spojovacích součástí a opět smontovat stejnými spojovacími prvky.

### Závity

Funkční část šroubu tvoří závit. Závit je tvořen závitovým profilem navinutým se stoupáním **P** na válcové jádro o průměru **d<sub>3</sub>**.

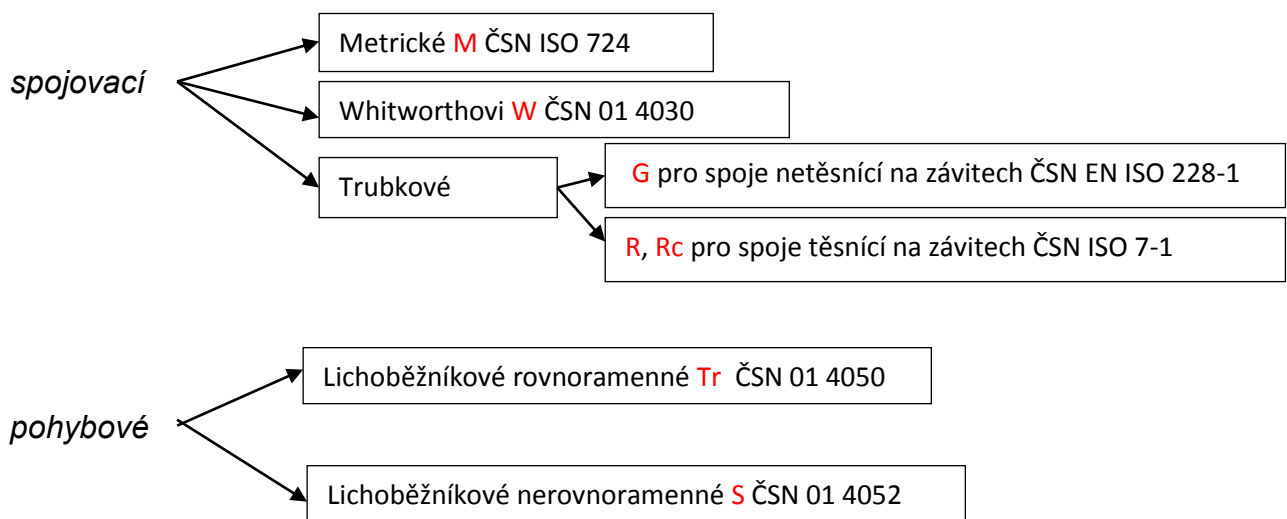
1) Podle smyslu otáčení závitu lze rozlišovat závity na:

- *pravé závity*
- *levé závity*

2) Podle počtu navinutých profilových šroubovic na dříku rozlišujeme závity na:

- *jednochodé závity*
- *vícechodé závity*

3) Podle tvaru závitového profilu rozeznáváme závity:



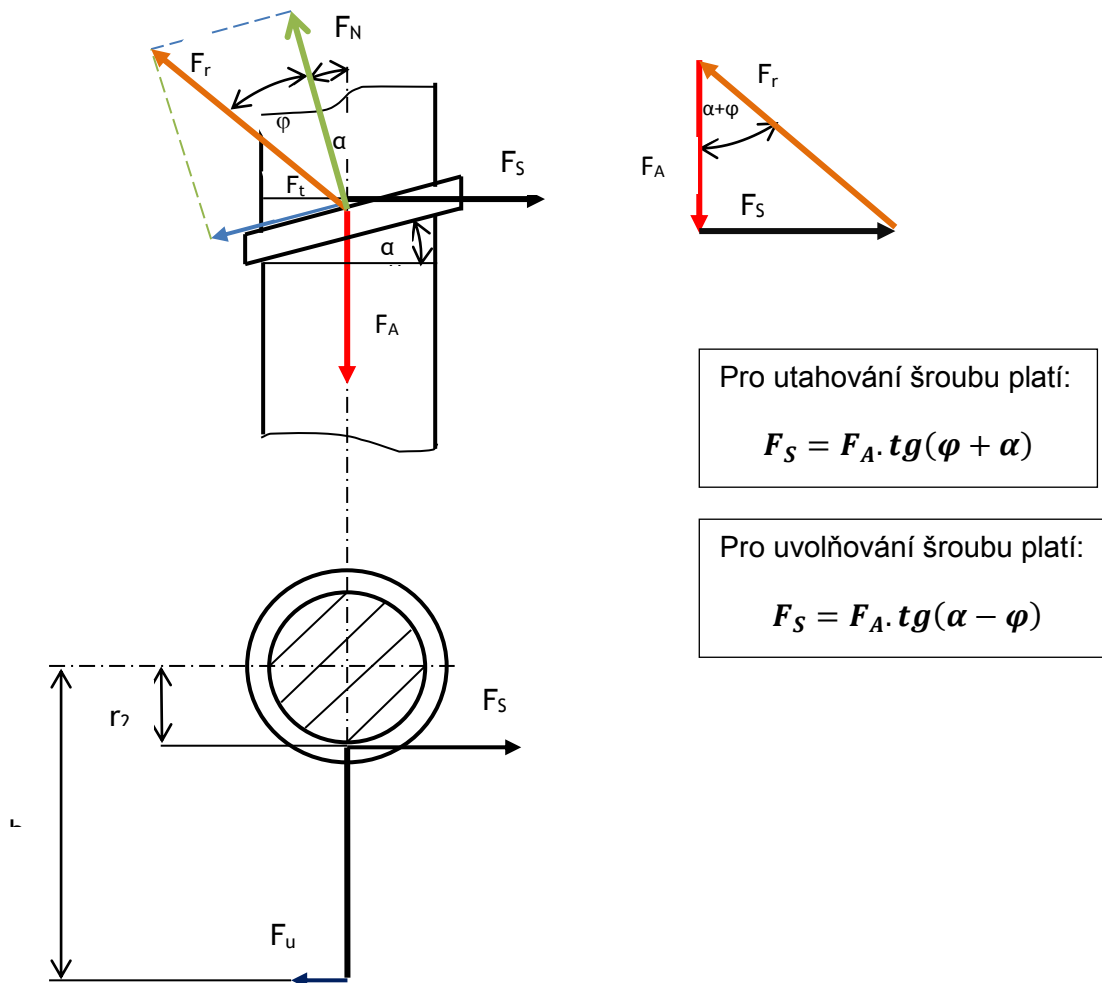
Názvy a definice závitů upravuje norma ČSN ISO 5408.

Označování závitů upravuje norma ČSN 01 4004.

## Silové poměry na šroubu

Soustava sil působících na šroub má rozložení stejné jako soustava sil působících na nakloněné rovině, která vznikne rozvinutím jednoho stoupání **P** na středním průměru šroubu **d<sub>2</sub>** do roviny.

## Výpočet síly na šroubu F<sub>S</sub>



**F<sub>A</sub>** – axiální osová síla ve šroubu – zatěžující síla [N]

**F<sub>S</sub>** – síla působící na středním průměru šroubu – hnací síla [N]

**F<sub>u</sub>** – utahovací síla působící na páce **b** [N]

**φ** – třecí úhel [°]  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_t}{F_N}$  [°]

**α** – úhel stoupání závitů  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_2}$  [°]

**f** – součinitel smykového tření  $f = \operatorname{tg} \varphi$

Pro šrouby s ostrým vrcholovým úhlem se používá součinitel smykového tření  
v závitech  $f' = \operatorname{tg} \varphi'$

Platí pro:

- Metrický závit  $f' = 1,15 \cdot f$
- Whitworthův závit  $f' = 1,13 \cdot f$
- Lichoběžníkové závity  $f' = 1,03 \cdot f$

**P** – stoupání závitu [mm]

**r<sub>2</sub>** – střední poloměr závitu [mm]

**d<sub>2</sub>** – střed průměr závitu [mm]

**b** – délka ramene klíče [mm]

### Výpočet utahovací síly $F_u$

Z rovnováhy momentů  $F_u$  utahovací síly na rameni **b** a  $F_s$  hnací síly na středním poloměru závitu **r<sub>2</sub>** získáme vztah pro výpočet utahovací síly.

$$F_u \cdot b = F_s \cdot r_2$$

Při utahování dosadím za  $F_s = F_A \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)$ :

$F_u \cdot b = r_2 \cdot F_A \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)$  Vypočítáme  $F_u$  při utahování šroubu (matice):

$$F_u = \frac{F_A \cdot r_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)}{b}$$

Při povolování dosadíme za  $F_s = F_A \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi')$ :

$F_u \cdot b = r_2 \cdot F_A \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi')$  Vypočítám  $F_u$  při povolování šroubu (matice)

$$F_u = \frac{F_A \cdot r_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi')}{b}$$

## Účinnost šroubu $\eta$

Účinnost u spojovacích šroubů je přibližně 20%, neboť při povolování i utahování vzniká teplo a může dojít i k zadření. Účinnost je závislá na úhlu stoupání závitu  $\alpha$ . Čím vyšší je úhel stoupání, tím vyšší je i účinnost šroubu. Závity s jemným stoupáním není vhodné volit tam, kde bude šroub (matice) často povolován a utahován.

**Účinnost  $\eta$  při utahování** se určí z poměru práce  $W_1$ , kterou vykoná osová síla  $F_A$  na dráze odpovídající stoupání  $P$ , a práce  $W_2$ , kterou vykoná utahovací síla  $F_u$  na jednu otáčku na poloměru odpovídajícímu délce ramene  $b$ .

$$W_1 = F_A \cdot P$$

$$W_2 = F_u \cdot 2 \cdot \pi \cdot b$$

$$\eta = \frac{W_1}{W_2} = \frac{F_A \cdot P}{F_u \cdot 2 \cdot \pi \cdot b} = \frac{F_A \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \pi \cdot d_2}{\frac{F_A \cdot r_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)}{b} \cdot 2 \cdot \pi \cdot b} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)} \cdot 100 \%$$

**Účinnost  $\eta$  při povolování** se určí z poměru práce  $W_1$ , kterou vykoná osová síla  $F_A$  na dráze odpovídající stoupání  $P$ , a práce  $W_2$ , kterou vykoná povolovací síla  $F_u$  na jednu otáčku na poloměru odpovídajícímu délce ramene  $b$ .

$$W_1 = F_A \cdot P$$

$$W_2 = F_u \cdot 2 \cdot \pi \cdot b$$

$$\eta = \frac{W_1}{W_2} = \frac{F_A \cdot P}{F_u \cdot 2 \cdot \pi \cdot b} = \frac{F_A \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \pi \cdot d_2}{\frac{F_A \cdot r_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi')}{b} \cdot 2 \cdot \pi \cdot b} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha - \varphi')}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha - \varphi')} \cdot 100 \%$$

## Samosvornost šroubu

Šroub se působením osově síly samovolně neotáčí. Spojovací šrouby jsou vždy samosvorné; aby se působením osově síly nemohly otáčet, úhel stoupání  $\alpha$  musí být menší než úhel třecí  $\varphi$ . U pohybových šroubů není samosvornost nutná, potřebná je u šroubových zvedáků.

### Podmínka samosvornosti

$$\alpha < \varphi'$$

## Materiály šroubů a matic

Spojovací šrouby a matice se nejčastěji vyrábí z ocelí různých pevností s ohledem na účel, druh a způsob namáhání šroubu. Mechanické vlastnosti jsou stanoveny normou EN ISO 898, dříve ČSN 02 1005.

### Pevnostní třídy šroubů

- u šroubů se třída pevnosti udává dvěma čísly (př. 8.8)
- celé označení lícovaného šroubu s dlouhým závitem je:  
MATICE M12x60 Č SN 02 1111 – 8.8
- třída pevnosti šroubu udává:
  - *pevnost v tahu*  $R_m$  [MPa] – první číslo vynásobíme 100
  - *mez kluzu*  $R_{emin,}$ , případně  $R_{p0,2}$  – první číslo vynásobíme desetinásobkem druhého čísla

Šroub			Spoj	
Třída pevnosti	Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ nebo $R_{p0,2}$ [MPa]	Namáhání spoje	Materiál spojovaných dílů
4.6	400	240	nízké	<b>Všechny konstrukční oceli</b>
4.8	400	320	nízké	
5.8	500	400	nízké	
6.8	600	480	nízké	
8.8	800	640	střední	
10.9	1000	900	vysoké	<b>Konstrukční oceli od <math>R_m = 700</math> MPa</b>
12.9	1200	1080	velmi vysoké	<b>Oceli k zušlechťování</b>

## Pevnostní třídy matic

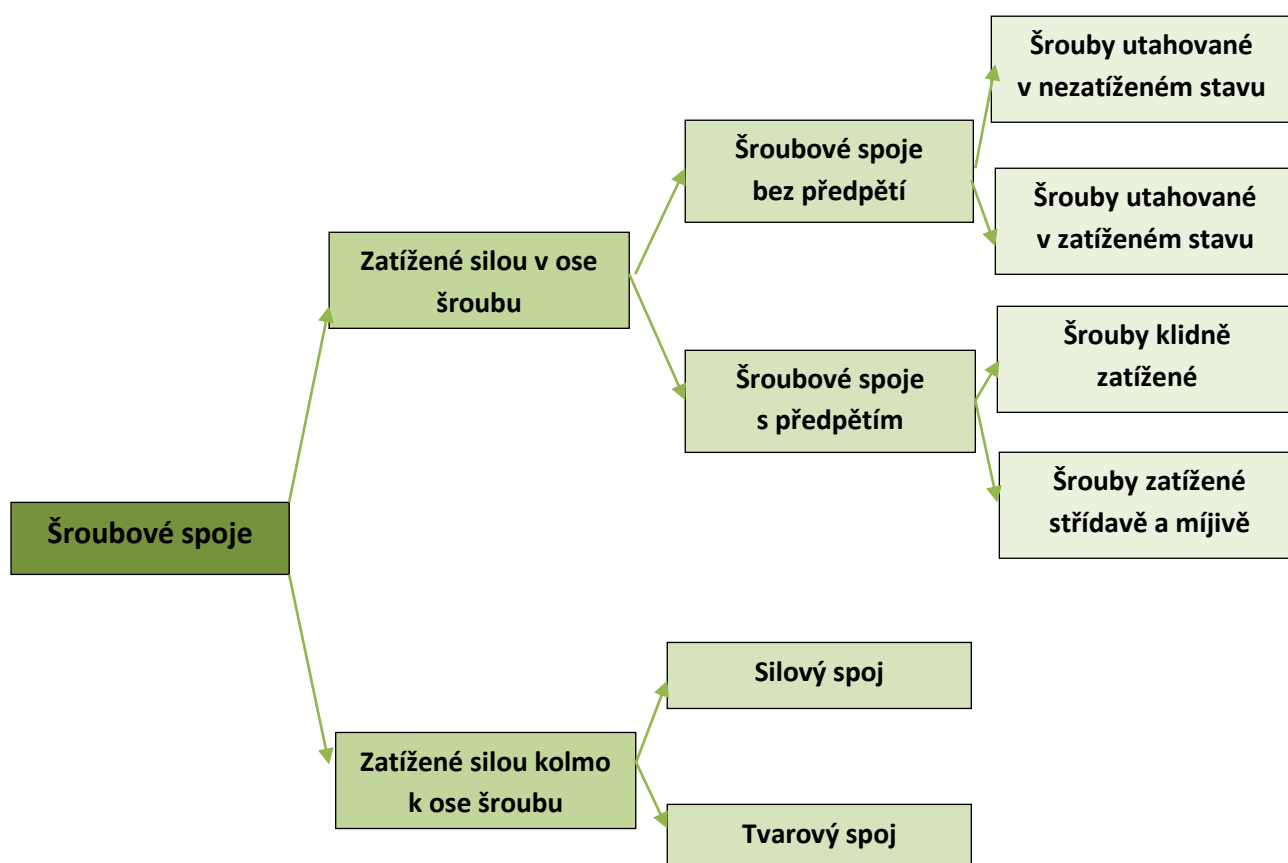
- u matic se třída pevnosti udává jedním číslem (př. 8)
- celé označení šestihranné matice je: MATICE M12 ČSN EN ISO 4033 – 8
- třída pevnosti matice udává:
  - *pevnost v tahu*  $R_{min}$  [MPa] – číslo vynásobíme 100

Pro kombinaci šroubů a matic platí, že matice musí mít stejnou nebo vyšší třídu přesnosti než šroub.

Pevnostní třídy matic	
Matice	Příslušný šroub
4	4.8
5	5.8
6	6.8
8	8.8
10	10.9
12	12.9

## Pevnostní výpočty šroubů

### Rozdělení šroubových spojů dle zatížení



## Šrouby zatížené osovou silou bez předpětí utahované v nezatíženém stavu

Šroub bez předpjetí utahovaný v nezatíženém stavu je namáhán pouze osovou zatěžující silou  $F_A$  a je namáhán prostým tahem.

Při výpočtu takto namáhaného šroubu vycházíme z pevnostní rovnice pro tah:

$$\sigma_t = \frac{F_A}{A_S} \leq \sigma_{Dt}$$

$F_A$  – zatěžující síla [N]

$A_S$  – průřez jádra šroubu [mm<sup>2</sup>]. Jelikož jsou šrouby normalizované, bývá uveden u příslušného závitu. Při návrhu šroubu se k vypočtenému průřezu jádra vyhledá nejbližší vyšší normalizovaný průřez jádra a podle tabulek se určí odpovídající velký průměr závitu  $d$ .

$$A_S = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

Pokud nemá nastat deformace šroubu, nesmí napětí  $\sigma_t$  překročit hodnotu dovoleného napětí  $\sigma_{Dt}$  [MPa].

$$\sigma_t = \frac{F_A}{A_S} \leq \sigma_{Dt}$$

Průřez jádra šroubu vypočítáme ze vztahu:

$$A_S \geq \frac{F_A}{\sigma_{Dt}}$$

Šroub lze bezpečně zatížit silou:

$$F_A = A_S \cdot \sigma_{Dt}$$

Šrouby s jemným stoupáním  $P$  a šrouby s hrubým stoupáním  $P$  se stejným průměrem  $d$  mají rozdílný průřez jádra:

- $A_S$  pro M30 = 561 mm<sup>2</sup>
- $A_S$  pro M30x2 = 621 mm<sup>2</sup>

Šrouby s jemným závitem mají vždy větší průřez jádra, proto mají větší únosnost.

## Šrouby zatížené osovou silou bez předpětí utahované v zatíženém stavu

U šroubů bez předpětí, které jsou utahované v zatíženém stavu, je průřez jádra šroubu kromě namáhání na tah osovou silou  $F_A$  ještě namáhán krutem. Pro zjednodušení výpočtu se šroub počítá z pevnostní rovnice pro tah, takže se zmenší dovolené napětí na 70%.

$$\sigma_t = \frac{F_A}{A_s} \leq 0,7 \sigma_{Dt}$$

## Tlak ve styčné ploše závitu

Tlak v závitech, který by způsobil otláčení a opotřebení závitů, by vedl ke špatné funkci šroubů. Proto je nutné tlak v závitech kontrolovat.

Při kontrole závitů na otláčení vycházíme z podmínky pro otláčení:

$$p = \frac{F_A}{S_p} \leq p_D$$

$F_A$  – zatěžující síla [N]

$S_p$  – průmět opěrné stykové plochy do roviny kolmé ke směru působení zatěžující síly [mm<sup>2</sup>]. Opěrná plocha má tvar mezikruží; pro zjednodušení výpočtu se mezikruží převádí na obdélník, jehož délky stran odpovídají obvodu kružnice středního průměru  $d_2$  a nosné výšce závitu  $H_1$ .

$p$  – skutečný tlak [MPa]

$p_D$  – dovolený tlak [MPa]

Otláčovaná plocha jednoho rozvinutého závitu  $S_{p1}$ :

$$S_{p1} = \pi \cdot d_2 \cdot H_1$$

$d_2$  – střední průměr závitu [mm]

$H_1$  – nosná výška závitu [mm]

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2}$$

Otláčovaná plocha všech rozvinutých závitů  $S_p$ :

$$S_p = S_{p1} \cdot z$$

$z$  – počet závitů

$$S_p = \pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot z$$



Výška matice **h** se určí:

$$h = z \cdot P$$

**P** – rozteč závitů (u jednochodých závitů stoupání) [mm]

Výpočet výšky matice **h** vychází z kontroly na otláčení:

$$p = \frac{F}{S_p} \leq p_D$$

$$S_p \geq \frac{F}{p_D}$$

Dosadíme za **S<sub>p</sub>**:

$$\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot z \geq \frac{F}{p_D}$$

Dosadíme za **z**

$$z = \frac{h}{P}$$

$$\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot \frac{h}{P} \geq \frac{F}{p_D}$$

Výška matice **h**:

$$h \geq \frac{F \cdot P}{p_D \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot \pi \cdot d_2}$$

### Šrouby zatížené klidnou silou kolmou k ose šroubu

Je-li síla klidná, můžeme ji přenášet třecí silou ve stykové ploše mezi spojovanými součástmi. Tření vznikne dostatečným utažením šroubu, takže ve šroubu vznikne dostatečné předpětí. Šroub počítáme na tah s mírou bezpečnosti **k > 2**.

Třecí síla **F<sub>t</sub>** musí být větší nežli přenášená síla **F** kolmá k ose šroubu:

$$F_t \geq F$$

$$F_t = F_A \cdot f$$

Osová síla  $F_A$  ve šroubu vypočítáme ze vztahu:

$$F_A \geq \frac{F \cdot k}{f}$$

$F_t$  – třecí síla ve stykových plochách [N]

$F_A$  – osová síla ve šroubu [N]

$F$  – síla kolmá k ose šroubu – přenášená síla [N]

$f$  – součinitel smykového tření ve stykových plochách

$k$  – koeficient bezpečnosti  $k > 2$

Šroub navrhujeme z pevnostní podmínky pro tah:

$$\sigma_t = \frac{F_A}{A_s} \leq \sigma_{Dt}$$

### Šrouby zatížené proměnlivou silou kolmou k ose šroubu

Proměnlivou sílu lze zachytit různými úpravami spoje:

- odlehčovacími vložkami
- drážkováním ve stykové ploše
- lícovaným šroubem

Pro velké kolmé síly nebo při časté změně zatížení je nejvýhodnější použít lícovaný šroub ČSN 02 1111 a 02 1112.

Dřík lícovaného šroubu je namáhán na smyk a spojované součásti na otlačení.

Návrh lícovaného šroubu se provádí z pevnostní podmínky pro stříh:

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{Ds}$$

$F$  – zatěžující síla kolmá k ose šroubu [N]

$S$  – plocha dříku lícovaného šroubu [mm<sup>2</sup>].  $S = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$

$d_2$  – průměr dříku lícovaného šroubu [mm], je uveden v ČSN 02 1111 a 02 1112

$\tau_s$  – skutečné napětí ve střihu [MPa]

$\tau_{Ds}$  – dovolené napětí ve střihu [MPa]

Kontrola na otláčení se provádí v součásti s nejmenší stykovou plochou:

$$p = \frac{F}{S_p} \leq p_d$$

$F$  – zatěžující síla kolmá k ose šroubu [N]

$S_p$  – průmět opěrné stykové plochy do roviny kolmé ke směru působení zatěžující síly [mm<sup>2</sup>]:  $S_p = d_2 \cdot l$

$l$  – nejkratší délka styku mezi lícovaným šroubem a spojovanou součástí [mm]

$p$  – skutečný tlak [MPa]

$p_d$  – dovolený tlak [MPa]