

Statika 1

6. přednáška

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý smyk

Miroslav Vokáč

`miroslav.vokac@klok.cvut.cz`

ČVUT v Praze, Fakulta architektury

19. května 2014

Metody posuzování spolehlivosti stavebních konstrukcí

Vývoj metod pro posuzování spolehlivosti stavebních konstrukcí:

1. Historické a empirické metody
2. **Teorie dovolených namáhání** – *budeme ji používat při výkladu teorie pružnosti a pevnosti*
3. Stupeň bezpečnosti
4. **Metoda dílčích součinitelů** – *dnes používaná metoda v normových předpisech*
5. Pravděpodobnostní metody – *použití u významných konstrukcí nebo pro kalibraci norem*

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

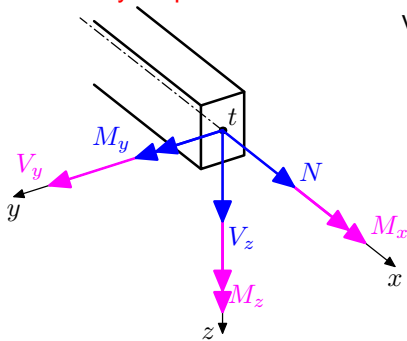
Koutový svar

Kontrolní otázky

Vnitřní síly v průřezu prutu

v prostoru

Vnitřní síly na prutu



V prostoru je definováno 6 vnitřních sil:

- ▶ 2 posouvající síly ve směru osy z a y : V_z , V_y
- ▶ 2 ohybové momenty kolem os y a z : M_y , M_z
- ▶ Normálová síla ve směru osy x : N
- ▶ Krouticí moment kolem osy x : M_x

Osa x je ve směru střednice prutu a osy y a z jsou hlavní těžišťové osy setrvačnosti průřezu.

Pro vektory momentů platí pravidlo pravé ruky: Palec ve směru šipky – prsty ukazují směr otáčení.

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

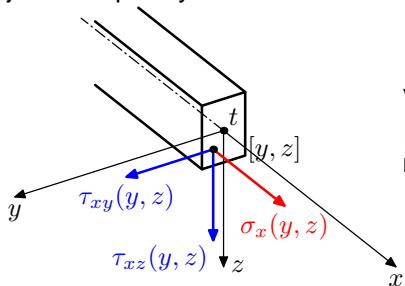
Kontrolní otázky

Mechanické napětí v průřezu prutu

v prostoru

Mechanické napětí v průřezu

Mechanické napětí je síla na jednotku plochy.



Osa x je ve směru střednice prutu a osy y a z jsou hlavní těžišťové osy setrvačnosti průřezu.

Základní jednotka je $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.
 Odvozené jednotky: $\text{kPa} = \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$,
 $\text{MPa} = \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

V libovolném bodu průřezu $[y, z]$ lze definovat 3 složky napětí:

- ▶ Normálové napětí ve směru x : σ_x
- ▶ Tečné (smykové) napětí ve směru z : τ_{xz}
- ▶ Tečné (smykové) napětí ve směru y : τ_{xy}

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

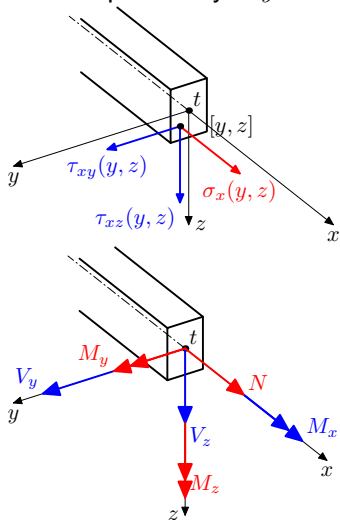
Koutový svar

Kontrolní otázky

Podmínky ekvivalence

s tečným napětím

Tečné napětí v průřezu je funkcí 2 proměnných y a z .



Podmínky ekvivalence:

$$V_z = \int_A \tau_{xz} dA$$

$$V_y = \int_A \tau_{xy} dA$$

$$M_x = \int_A (\tau_{xz} y - \tau_{xy} z) dA$$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

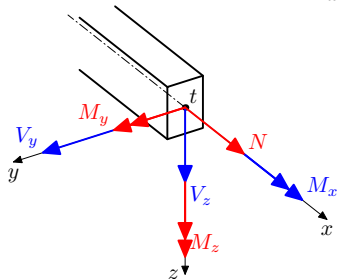
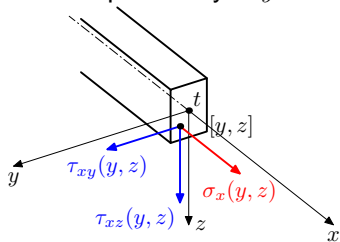
Koutový svar

Kontrolní otázky

Podmínky ekvivalence

s normálovým napětím

Normálové napětí v průřezu je funkcí 2 proměnných y a z .



Podmínky ekvivalence:

$$N = \int_A \sigma_x dA$$

$$M_y = \int_A \sigma_x z dA$$

$$M_z = - \int_A \sigma_x y dA$$

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Prosté případy pružnosti

Prostý případ pružnosti nastává, jestliže je jen jediná vnitřní síla v průřezu nenulová.

Osy y a z musí být hlavní centrální osy setrvačnosti průřezu.

Potom rozlišujeme:

- ▶ Prostý tah & tlak:

$$N \neq 0 \wedge M_x = M_y = M_z = V_y = V_z = 0$$

- ▶ Prostý ohyb:

$$M_y \neq 0 \wedge N = M_x = M_z = V_y = V_z = 0 \vee$$

$$M_z \neq 0 \wedge N = M_x = M_y = V_y = V_z = 0$$

- ▶ Prostý smyk:

$$V_z \neq 0 \wedge N = M_x = M_y = M_z = V_y = 0 \vee$$

$$V_y \neq 0 \wedge N = M_x = M_y = M_z = V_z = 0$$

- ▶ Prosté kroucení:

$$M_x \neq 0 \wedge N = M_y = M_z = V_y = V_z = 0$$

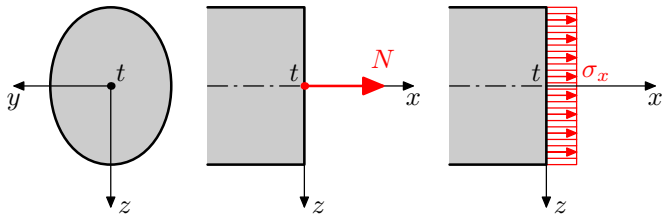
Kombinace namáhání se řeší superponováním (sečtením) jednotlivých případů pružnosti.

Pro prostý tlak a prostý smyk musí platit další podmínky nebo zjednodušující předpoklady, viz podrobnější popis daného případu pružnosti.

Prostý tah & tlak

Normálové napětí v průřezu

- ▶ U prostého tahu a tlaku je normálové napětí rovnoměrně rozděleno na celou plochu průřezu A .



- ▶ Průběh normálového napětí v průřezu $\sigma_x(y, z)$ je dán vztahem:

$$\sigma_x(y, z) = \sigma_x = \frac{N}{A}$$

- ▶ Pro prostý **TAH** platí: $N > 0$ a $\sigma_x > 0$
- ▶ Pro prostý **TLAK** platí: $N < 0$ a $\sigma_x < 0$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztlačnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý tah

Podmínka spolehlivosti pro prostý tah podle teorie dovolených namáhání

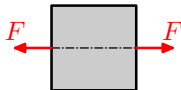
- ▶ Podmínka spolehlivosti podle teorie dovolených namáhání:

$$\sigma_x = \frac{N}{A} \leq \sigma_{dov}$$

- ▶ σ_{dov} ... je dovolené namáhání (napětí) v prostém tahu, materiálová charakteristka, která byla uvedena v normě.
- ▶ Z podmínky spolehlivosti lze přímo určit nutnou plochu průřezu:

$$A \geq \frac{N}{\sigma_{dov}}$$

- ▶ Podmínku spolehlivosti pro prostý tah je možné použít pro masivní i štíhlý prut.



Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

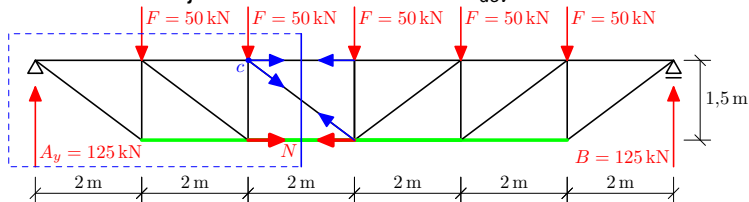
Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý tah

Příklad

Pro dané zatížení navrhnete dolní pás ocelového příhradového vazníku. Uvažujte dovolené namáhání $\sigma_{dov} = 130 \text{ MPa}$.

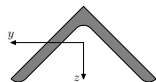


1. Vnitřní síly: (průsečnou metodou)

$$\overset{\curvearrowright}{c} : -N \cdot 1,5 + A_y \cdot 4 - F \cdot 2 = 0 \Rightarrow N = 266,67 \text{ kN}$$

2. Návrh průřezu:

$$\text{Nutná plocha průřezu: } A \geq \frac{N}{\sigma_{dov}} = \frac{266,67}{130 \cdot 10^3} = 2051 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



NÁVRH L 100.100.10

$$A = 2120 \text{ mm}^2$$

3. Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{266,67}{2120 \cdot 10^{-6}} = 125786 \text{ kPa} < \sigma_{dov} = 130 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

NÁVRH VYHOVUJE

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý tlak

Podmínka spolehlivosti pro prostý tlak

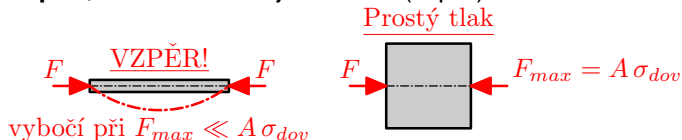
- Podmínka spolehlivosti podle teorie dovolených namáhání:

$$|\sigma_x| = \frac{|N|}{A} \leq \sigma_{dov}$$

- σ_{dov} ... je dovolené namáhání v prostém tlaku, materiálová charakteristka, která byla uvedena v normě.
- Z podmínky spolehlivosti lze přímo určit nutnou plochu průřezu:

$$A \geq \frac{|N|}{\sigma_{dov}}$$

- Podmínku spolehlivosti pro prostý tlak je možné použít **pouze pro masivní prut**, resp. posouzení **kontaktního napětí**, kde nerozhoduje stabilita (vzpěr).



Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztlačnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

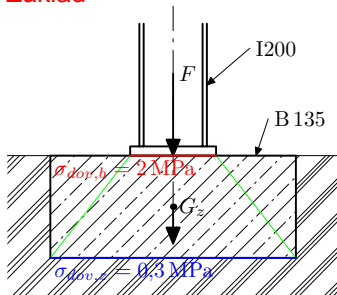
Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý tlak

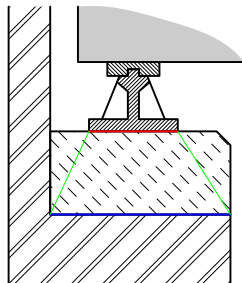
Příklady použití prostého tlaku

Základ



- ▶ Kontaktní napětí **pod patním plechem** na dovolené namáhání betonu $\sigma_{dov,b}$.
- ▶ Kontaktní napětí **v základové spáře** na dovolené namáhání zeminy $\sigma_{dov,z}$.

Úložný práh



- ▶ Kontaktní napětí **pod ložiskem** na dovolené namáhání kamene.
- ▶ Kontaktní napětí **pod úložným prahem** na dovolené namáhání zdiva.

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý tah & tlak

Dovolená namáhání vybraných materiálů - orientační hodnoty:

Materiál	v tlaku σ_{dov} [MPa]	v tahu σ_{dov} [MPa]
plátkové železo	85 – 135	85 – 135
litina	90	90
ocel ložisek a kloubů	140	140
betonářská výztuž (<i>zatížení hlavní</i>)	108 – 235	108 – 235
beton prostý (<i>zatížení hlavní</i>)	1,2 – 3,5	0,15 – 0,35
beton železový (<i>zatížení hlavní</i>)	3,5 – 10,0	0,5 – 0,9
zdivo z tesaného kamene - pískovec	2,0 – 2,5	
zdivo z tesaného kamene - žula	5	
zdivo smíšené	0,5	
zdivo cihelné na maltu obyčejnou	0,5 – 0,7	
zdivo cihelné na maltu cementovou	0,7 – 1,0	

Podrobněji viz odpovídající historické standardy.

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

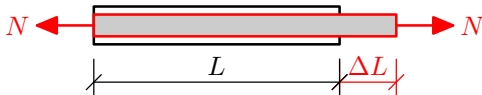
Kontrolní otázky

Hookeův zákon

Hookeův zákon: Normálové napětí σ je přímo úměrné poměrné deformaci ε . Konstantou úměrnosti je modul pružnosti E .

$$\sigma = E \varepsilon$$

- ▶ E ... je modul pružnosti, materiálová charakteristika, základní jednotka je $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- ▶ ε ... je poměrná deformace (poměrné přetvoření) $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$, bezrozměrné číslo (často se udává v %, mm/m nebo $\mu\text{m}/\text{m}$)



- ▶ Podle Hookeova zákona lze určit **protažení** ($\sigma > 0$, $\varepsilon > 0$, $\Delta L > 0$), resp. **zkrácení** ($\sigma < 0$, $\varepsilon < 0$, $\Delta L < 0$), prutu namáhaného tlakem nebo tahem.

$$\Delta L = \frac{N L}{E A}$$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Metody posuzování
spolehlivostiPrut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Hookeův zákon

Moduly pružnosti vybraných materiálů - orientační hodnoty:

Materiál	E [GPa]
měkká ocel	210
beton <i>(dle pevnosti)</i>	25 – 42
hliník	70
sklo <i>(sodno-vápenaté)</i>	74
dřevo <i>(rovnoběžně s vlákny, dle druhu)</i>	~ 10
dřevo <i>(kolmo na vlákna, dle druhu)</i>	~ 0,3
cihlářský stěp	15 – 30

Podrobněji viz odpovídající standardy nebo specifikace dle výrobce.

Metody posuzování
spolehlivostiPrut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically indeterminate

Thermal expansion of bar

Prostý smyk

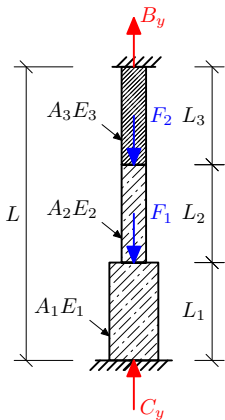
Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Statically indeterminate tension & compression

- ▶ Normal forces and reactions cannot be determined from static equilibrium conditions alone.
- ▶ For 2 unknowns, 2 linear equations are needed.



1. Static equilibrium condition:

$$\uparrow: C_y - F_1 - F_2 + B_y = 0$$

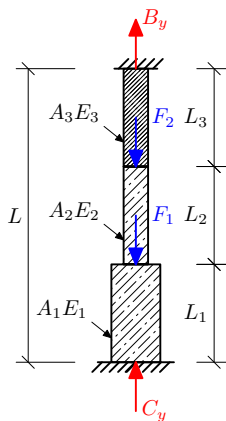
2. Compatibility condition:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 = 0$$

$$\frac{N_1 L_1}{E_1 A_1} + \frac{N_2 L_2}{E_2 A_2} + \frac{N_3 L_3}{E_3 A_3} = 0$$

$$\frac{(-C_y) L_1}{E_1 A_1} + \frac{(-C_y + F_1) L_2}{E_2 A_2} + \frac{(-C_y + F_1 + F_2) L_3}{E_3 A_3} = 0$$

Statically neurčitý tah & tlak



- ▶ Součin modulu pružnosti a plochy průřezu EA nazýváme tuhost průřezu v tlaku a tahu.
- ▶ Výraz EA/L je tuhost prutu v tlaku a tahu.
- ▶ Normálové síly se rozdělí v poměru tuhostí prutů EA/L .
- ▶ U staticky neurčitého tahu a tlaku nese prut s vyšší tuhostí EA/L větší díl namáhání, tj. větší absolutní hodnotu normálové síly N .
- ▶ U staticky neurčitých konstrukcí platí obecně, že tužší část konstrukce přenáší vyšší absolutní hodnoty vnitřních sil.
- ▶ U staticky neurčitých konstrukcí musíme statické podmínky rovnováhy doplnit přetvárnými podmínkami.

Metody posuzování
spolehlivostiPrut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Sticky neurčitý tah & tlak

Určete, jaké napětí bude od působící síly F podle teorie lineární pružnosti působit v betonu a jaké v betonářské výztuži.

$$F_c = A_c \sigma_c \text{ je síla přenášená betonem}$$

$$F_s = A_s \sigma_s \text{ je síla přenášená výztuží}$$

1. **Podmínka ekvivalence:**

$$F = F_c + F_s$$

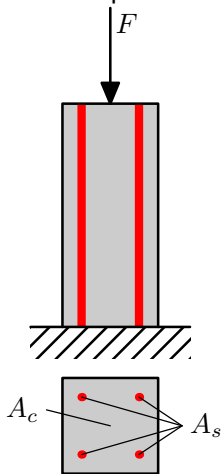
2. **Přetvárná podmínka:**

$$\varepsilon = \varepsilon_c = \varepsilon_s = \Delta L / L$$

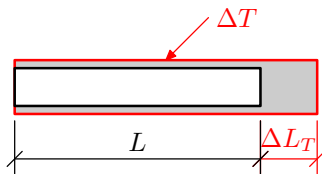
$$\varepsilon_c = \varepsilon_s$$

$$\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\frac{F_c}{E_c A_c} = \frac{F_s}{E_s A_s}$$



Teplotní délková roztažnost prutu



- ▶ Při rovnoměrné změně teploty prutu o hodnotu ΔT dojde k protažení prutu:

$$\Delta L_T = L \alpha_T \Delta T$$

- ▶ α_T ... je koeficient teplotní délkové roztažnosti [K^{-1}], materiálová charakteristika.
- ▶ Poměrnou deformaci od změny teploty lze vyjádřit:

$$\varepsilon_T = \alpha_T \Delta T$$

Teplotní délková roztažnost prutu

Součinitelé teplotní roztažnosti vybraných materiálů - orientační hodnoty:

Materiál

 $\alpha_T \text{ [K}^{-1}\text{]}$

měkká ocel

 $12 \cdot 10^{-6}$

beton (*dle kameniva*)

 $6 \cdot 10^{-6} - 14 \cdot 10^{-6}$

železový beton

 $12 \cdot 10^{-6}$

hliník

 $23 \cdot 10^{-6}$

sklo (*sodno-vápenaté*)

 $8,5 \cdot 10^{-6}$

dřevo (*rovnoběžně s vlákny, dle druhu*)

 $\sim 5 \cdot 10^{-6}$

dřevo (*kolmo na vlákna, dle druhu*)

 $\sim 34 \cdot 10^{-6}$

cihlářský stěp

 $4 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-6}$

Podrobněji viz odpovídající standardy nebo specifikace dle výrobce.

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

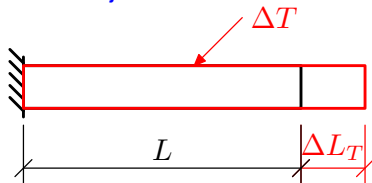
Koutový svar

Kontrolní otázky

Teplotní roztažnost prutu

Příklady zatížení prutu rovnoměrnou změnou teploty

Dilatace je umožněna



$$\varepsilon_T = \alpha_T \Delta T$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\sigma + \varepsilon_T = \varepsilon_T$$

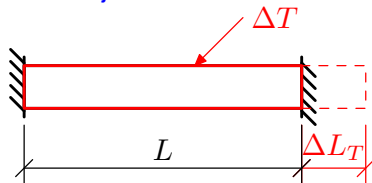
Jedná se o **volnou deformaci**.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha_T \Delta T = \varepsilon_T$$

$$\sigma = 0 \text{ MPa}$$

$$N = 0 \text{ kN}$$

Dilataci je zabráněno



$$\varepsilon_T = \alpha_T \Delta T$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\sigma + \varepsilon_T = 0$$

Jedná se o **vázanou deformaci**.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha_T \Delta T = 0$$

$$\sigma = -E \varepsilon_T$$

$$N = \sigma A$$

U staticky určité konstrukce jsou vnitřní síly od rovnoměrného zatížení teplotou nulové.

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Staticky neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

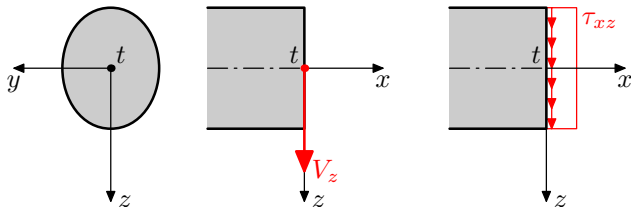
Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý smyk

Tečné napětí v průřezu a podmínka spolehlivosti podle teorie dovolených namáhání

- ▶ U prostého smyku je tečné napětí rovnoměrně rozděleno na celou plochu průřezu A .



- ▶ Velikost tečného napětí τ a podmínka spolehlivosti:

$$\tau = \frac{V}{A} \leq \tau_{dov}$$

- ▶ τ_{dov} ... je dovolené namáhání materiálu ve smyku.
- ▶ Prostý smyk je možné uvažovat **jen pro spojovací prostředky**, jako jsou **šrouby, nýty, svary, svorníky, hřeby** atd. jedná se o **zjednodušující předpoklad**.

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Staticky neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

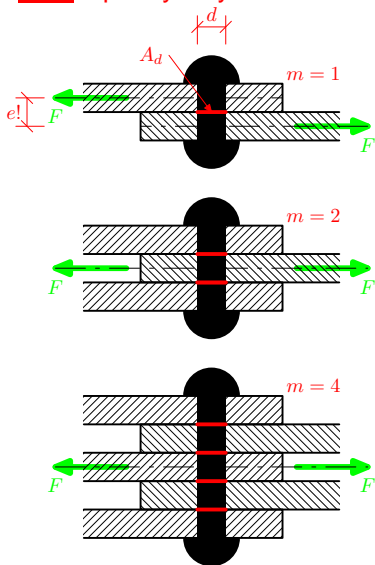
Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Nýtový (šroubový) spoj

Střih – prostý smyk



$$\tau = \frac{F}{n m A_d} \leq \tau_{dov,s}$$

n... je počet nýtů, resp. šroubů

m... je střížnost

A_d... je plocha dříku (pro nýt
plocha otvoru, pro šroub
plocha dle tabulek)

$\tau_{dov,s}$... je dovolené namáhání
ve stříhu

Při návrhu spoje se obvykle
volí *d* a dopočte se nutný počet
šroubů nebo nýtů.

Metody posuzování
spolehlivostiPrut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

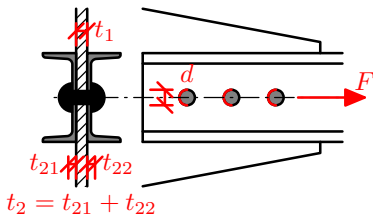
Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Nýtový (šroubový) spoj

Otlačení – prostý tlak



$$\sigma = \frac{F}{n d \min(t_1, t_2)} \leq \sigma_{dov,o}$$

n ... je počet nýtů, resp. šroubů

d ... je průměr dřívku (pro nýt průměr otvoru)

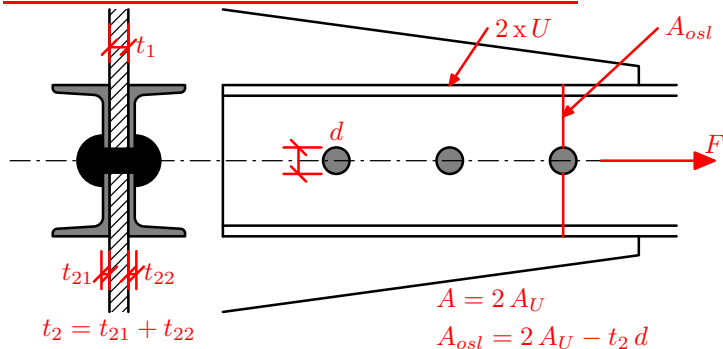
t_1 a t_2 ... je součet tloušťek základního materiálu z jedné a z druhé strany spoje (optimální je $t_1 = t_2$)

$\sigma_{dov,o}$... je dovolené namáhání základního materiálu v otlačení

Při návrhu spoje se obvykle volí d a dopočte se nutný počet šroubů nebo nýtů.

Nýtový (šroubový) spoj

Posouzení oslabeného průřezu u taženého prutu – prostý tah



$$\sigma = \frac{F}{A_{osl}} \leq \sigma_{dov}$$

A_{osl} ... je oslabená plocha průřezu

σ_{dov} ... je dovolené namáhání základního materiálu v tahu

Oslabená plocha průřezu se posuzuje jen pro tažené pruty.

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Staticky neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

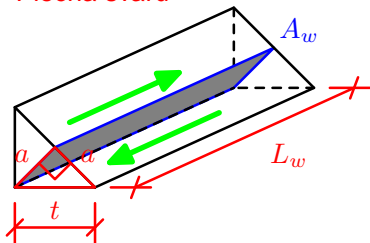
Kontrolní otázky

Poznámky k nýtovému (šroubovému) spoji

- ▶ V normách jsou uvedeny doporučené rozteče pro nosné nýty a šrouby.
- ▶ Standardy také uvádějí maximální průměry otvorů a rozteče pro různé válcované ocelové profily.
- ▶ Šroubové spoje je také možno navrhovat jako třecí spoj, kdy předpětí šroubu zajistí přenesení síly smykem v kontaktních plochách základního materiálu. Třecí spoje se posuzují jiným způsobem.
- ▶ Únosnosti šroubů bývají tabelovány – jsou vytvořeny pomůcky pro snadný návrh šroubů namáhaných smykem i třecích spojů.

Koutový svar namáhaný prostým smykem

Plocha svaru



$$a^2 + a^2 = t^2$$

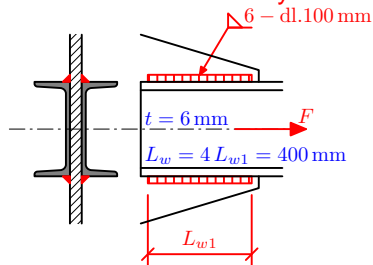
$$a = \frac{\sqrt{2}}{2} t \doteq 0,7 t$$

$$A_w = 0,7 t L_w$$

t ... je tloušťka svaru

L_w ... je celková délka svaru

Únosnost svaru ve smyku



$$\tau = \frac{F}{A_w} \leq \tau_{dov,w}$$

$\tau_{dov,w}$... je dovolené namáhání svaru ve smyku

Při návrhu volíme tloušťku t a dopočteme délku svaru L_w .

Metody posuzování spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Poznámky ke svarovému přípoji prutu

- ▶ Svar je v případě excentricity mezi těžištěm průřezu a plochou svaru namáhán také ohybem a nejedná se o prostý smyk.
- ▶ Pro zajištění protikorozní ochrany se svar často provádí kolem celého obvodu kontaktní plochy.
- ▶ U uzavřených dutých průřezů, jako jsou trubky, se ze stejného důvodu v čele prutu provádí vzduchotěsné uzavření dutiny průřezu.
- ▶ Vývoj technologie svařování vytlačil používání nýtových spojů, které byly předtím nejdokonalejším způsobem spojování ocelových konstrukčních prvků (viz nýtované tlakové nádoby nebo parní kotle lokomotiv).

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Změna délky prutu ΔL , který má počáteční délku L , při zatížení tahovou osovou silou F je:

a) $\Delta L = \frac{FEA}{L^2}$

b) $\Delta L = \frac{FEA}{L}$

c) $\Delta L = \frac{FL}{EA}$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

U prutu délky L s koeficientem teplotní délkové roztažnosti α je zabráněno v jeho dilataci. Při změně teploty o ΔT bude v prutu normálové napětí:

a) $\sigma = +E \alpha \Delta T$

b) $\sigma = -E \alpha \Delta T$

c) $\sigma = -EA \alpha \Delta T$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Ocelový válcovaný nosník počáteční délky $L = 4 \text{ m}$
s koeficientem délkové teplotní roztažnosti $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ při
změně teploty $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ změní svoji délku o:

- a) $\Delta L = 0,48 \text{ mm}$
- b) $\Delta L = 0,96 \text{ mm}$
- c) $\Delta L = 1,92 \text{ mm}$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Při zkoušce modulu pružnosti betonu na vzorku 100/100/400 mm byla při změně normálového napětí $\Delta\sigma = 12 \text{ MPa}$ naměřena změna poměrné deformace $\Delta\varepsilon = 340 \cdot 10^{-6}$. Modul pružnosti betonu u zkoušeného vzorku je:

- a) $E = 35,3 \text{ GPa}$
- b) $E = 22,3 \text{ GPa}$
- c) $E = 28,8 \text{ GPa}$

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Prostý smyk můžeme uvažovat:

- Kdykoli je posouvající síla nenulová.
- Jen u ohýbaných nosníků.
- Jen u spojovacích prostředků jako jsou nýty, šrouby, svary, hřeby atd.

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Statically neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Uvažujme šroub M16 s plochou dříku $A_d = 157 \text{ mm}^2$, střížnost je rovna 4, dovolené namáhání ve stříhu je $\tau_{dov} = 120 \text{ MPa}$.

Únosnost jednoho šroubu na stříh je potom rovna:

- a) 4,710 kN
- b) 75 360 N
- c) 18,840 kN

Metody posuzování
spolehlivosti

Prut v prostoru - vnitřní
síly a napětí v průřezu

Podmínky ekvivalence

Prosté případy
pružnosti

Prostý tah & tlak

Prostý tah

Prostý tlak

Hookeův zákon

Staticky neurčitý tah & tlak

Teplotní roztažnost prutu

Prostý smyk

Nýty & šrouby

Koutový svar

Kontrolní otázky

Děkuji za pozornost.

Vysázeno systémem \LaTeX .

Obrázky vytvořeny v systému METAPOST.