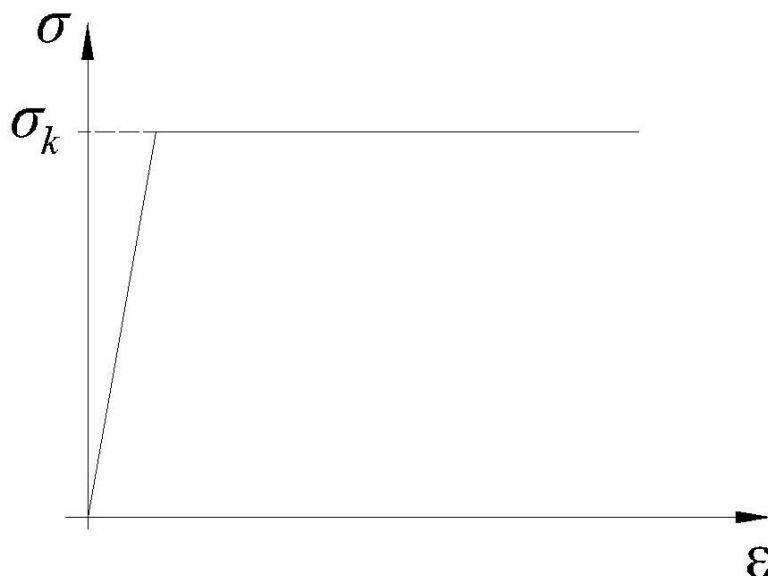


Pružně – plastický materiál – náhrada pracovního diagramu



Idealizovaný diagram má 2 části:

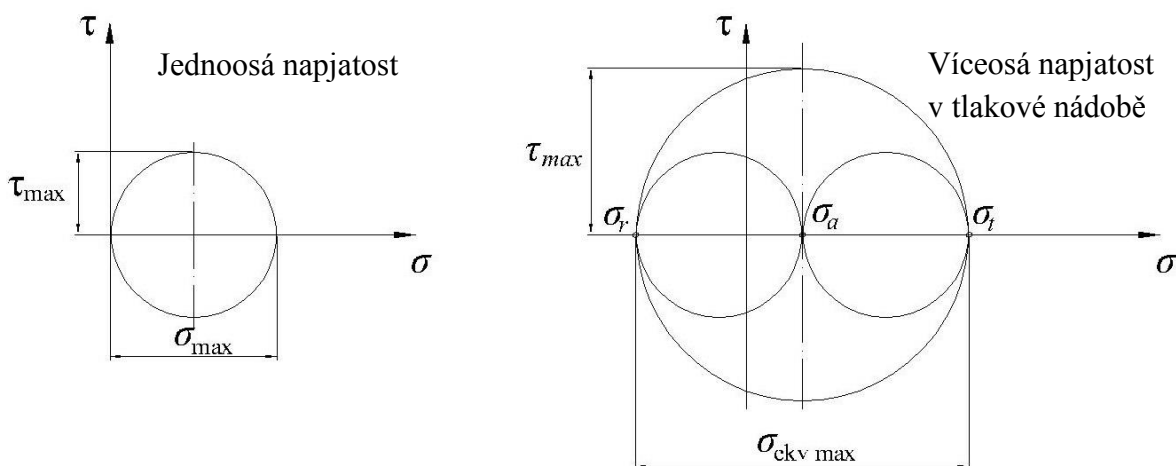
- a) $\sigma \leq \sigma_k$ lineární část ve které platí Hookův zákon
- b) Oblast plastických deformací, které se rozvíjejí při konst napětí
 $\sigma = \sigma_k$

Trescova podmínka plasticity

- o vzniku plastického stavu a o jeho rozvoji rozhoduje maximální smykové napětí

$$\tau_{\max} = \tau_k \quad \tau_k - \text{smykové napětí na mezi kluzu}$$

Pro jednoduchou jednoosou napjatost $\tau_k = \frac{\sigma_k}{2}$



Plastické deformace v tlakové nádobě

- 1) podmínka rovnováhy musí být splněna i v plastickém stavu

$$\sigma_r + r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} - \sigma_t = 0$$

- 2) Trescova podmínka plasticity

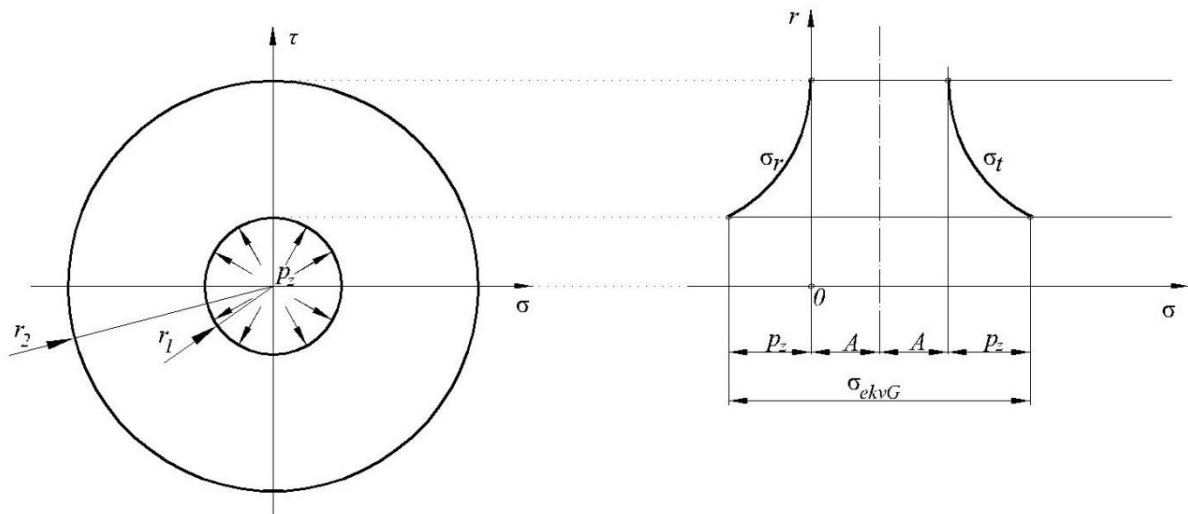
$$\frac{\sigma_t + \sigma_r}{2} = \frac{\sigma_k}{2} \quad \rightarrow \text{dosadíme do podmínky rovnováhy}$$

$$-\sigma_k + r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = 0 \Rightarrow \sigma_r = \sigma_k \ln r + c$$

$$\Rightarrow \sigma_t = \sigma_k (1 + \ln r) + c$$

Příklad:

Tlaková nádoba $r_1 = 150$ mm, $r_2 = 300$ mm, $E = 2 \cdot 10^5$ MPa, $\nu = 0,3$, $\sigma_k = 450$ MPa je zatížena tlakem $p_z = 150$ MPa, jaká je bezpečnost vzhledem k mezi kluzu?



$$n_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{ekvG}} = \frac{\sigma_k}{2(A + p_z)} \quad A = \frac{p_z \cdot r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = 50 \text{ MPa}$$

$$n_k = \frac{450}{400} = 1,25$$

První plastické deformace by vznikly na vnitřním okraji nádoby při tlaku p_1 , který určíme z podmínky

$$2(A_1 + p_1) = \sigma_k, \text{ kde } A_1 = \frac{p_1 r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

$$p_1 = 168,75 \text{ MPa}$$

Při tomto tlaku plekvivalentní napětí na vnitřním okraji právě dosáhne mezi kluzu, ale celý plášť nádoby je ještě v elastickém stavu.

Plastický stav v celém plášti nádoby by vznikl při tlaku p_{MEZ} , který určíme z okrajových podmínek

$$\begin{aligned} \sigma_r(r_1) &= -p_{MEZ} \\ \sigma_r(r_2) &= 0 \end{aligned}$$

Za σ_r však musíme dosadit funkci $\sigma_r = \sigma_k \ln r + c$, která platí v plastickém stavu. Z druhé podmínky $c = -\sigma_k \ln r_2$ a tedy $\sigma_r = \sigma_k \ln \frac{r}{r_2}$ a $\sigma_r = \sigma_k \left(1 + \ln \frac{r}{r_2} \right)$.

Mezní tlak určíme z první okrajové podmínky

$$p_{MEZ} = -\sigma_k \ln \frac{r_1}{r_2} = 312 \text{ MPa}$$

Autofretáž

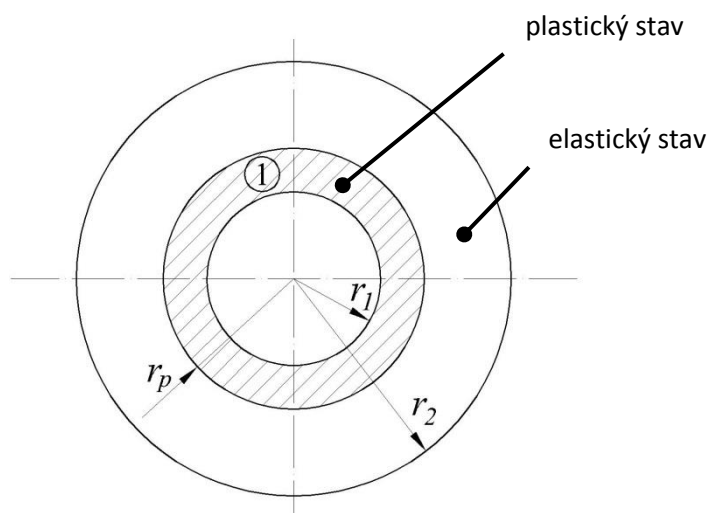
– procedura kdy tlaková nádoba je podrobena velkému vnitřnímu tlaku, který způsobí plastický stav ve vnitřní části nádoby.

Důsledkem je tlakové obvodové zbytkové napětí na vnitřním okraji nádoby.

Tato technika se užívá v případě válců vysokotlakých čerpadel, hlavní kanonů a u systémů pro vstřikování paliva dieslových motorů.

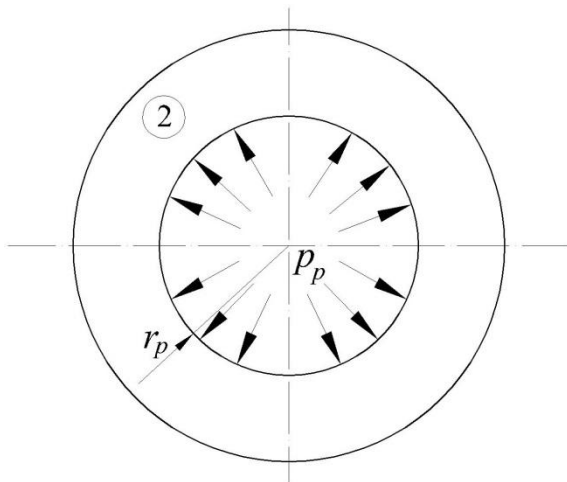
Příklad:

Pro danou nádobu určíme potřebný tlak p_M k rozšíření plastického stavu až na poloměr $r_p = 180$ mm, určíme zbytková napětí a napětí po zatížení provozním tlakem a bezpečnost nádoby.

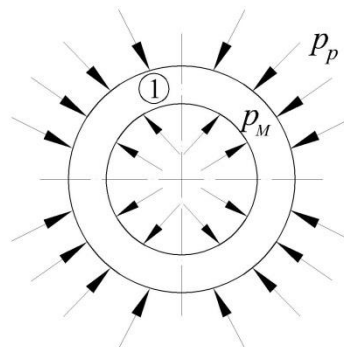


Radiální napětí ($\sigma(r_p)$), které vznikne při zatížení tlakem p_M na vnitřním poloměru, je rovno tlaku, který působí mezi elastickou a plastickou částí p_p .

ELASTICKÁ ČÁST



PLASTICKÁ ČÁST



V elastické části 2 je na poloměru r_p ekvivalentní napětí právě rovno σ_k .

$$2(A_E + p_p) = \sigma_k \Rightarrow p_p = 144 \text{ MPa}$$

$$\swarrow A_E = \frac{p_p \cdot r_p^2}{r_2^2 - r_p^2} = 50 \text{ MPa}$$

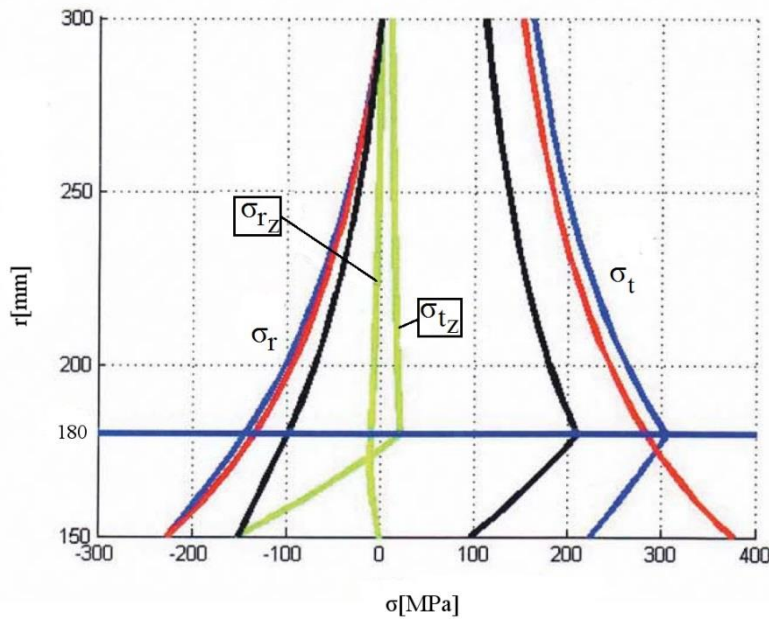
V plastické části 1 je $\sigma_r = \sigma_k \ln r + c$.

$$\text{Okrajové podmínky } \sigma_r(r_1) = -p_M \quad \sigma_r(r_p) = -p_p$$
$$\sigma_k \ln r_p + c = -p_p \Rightarrow c = -(\sigma_k \ln r_p + p_p)$$

$$\text{po dosazení } \sigma_r = \sigma_k \ln \frac{r}{r_p} - p_p$$

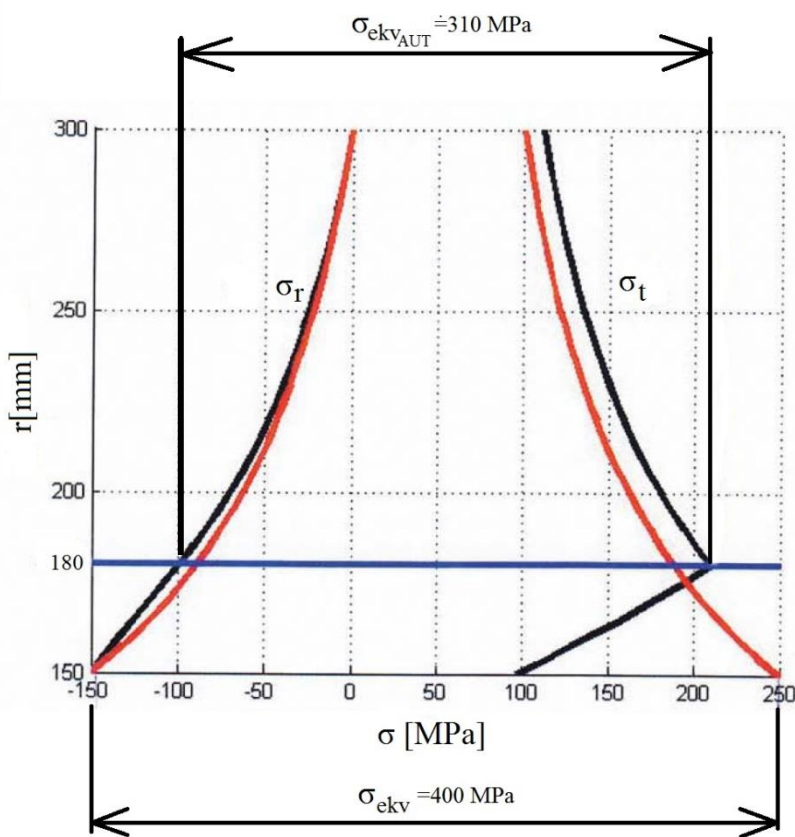
$$\text{Z druhé podmínky } p_M = p_p - \sigma_k \ln \frac{r_1}{r_p} = 226 \text{ MPa}$$

Grafy napětí



- Modrá
– napětí v plastickém stavu
- Červená
– napětí elastické odpovídající poloze
- Zelená
– zbytková napětí
- Černá
– napětí po zatížení provozním tlakem

Srovnání



- Černá
– napětí po zatížení provozním tlakem po autofretáži
- Červená
– napětí po zatížení provozním tlakem bez autofretáže