

Poznámky k vyhodnocování creepových zkoušek

Konstitutivní vztah

rychlost creepové deformace v sekundárním stádiu

$$\dot{\epsilon}_{min} = A \sigma^n \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$$R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Vyhodnocení zkoušek pro $T = \text{konst.}$

$$\log \dot{\epsilon}_{min} = \log B + n \log \sigma$$

Vyhodnocení zkoušek pro $\sigma = \text{konst.}$

$$\ln \dot{\epsilon}_{min} = \ln C - \frac{Q}{RT}$$

Extrapolace dat porušení

Monkman - Grant

$$\log \dot{\epsilon}_{min} = K - m \log t_R$$

modifikovaný Monkman - Grant

$$\log \frac{\dot{\epsilon}_{min}}{\epsilon_R} = K - m \log t_R$$

Sherby-Dorn

$$\log \frac{\tilde{C}}{A(\sigma)} = P_{SD}$$

$$P_{SD} = \log t_R - \frac{Q}{RT} \log(\exp)$$

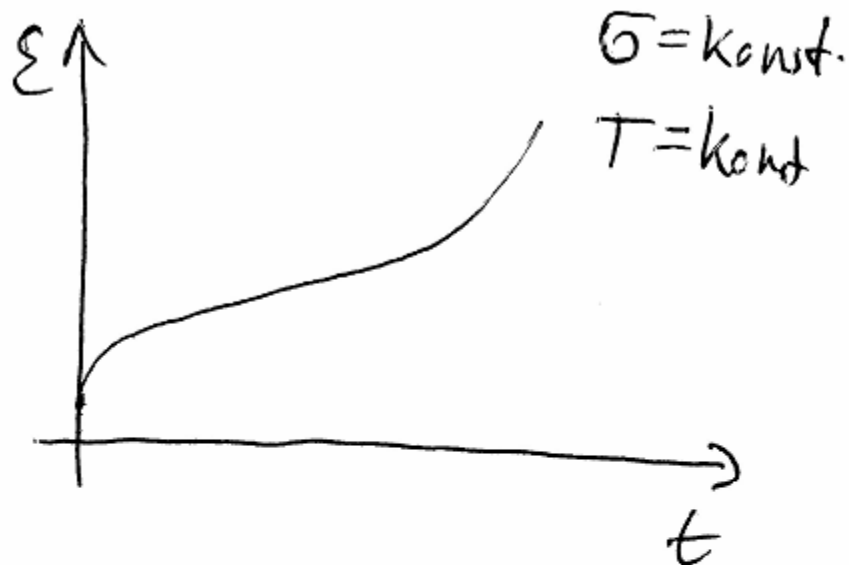
Larson-Miller

$$\frac{Q(\sigma)}{R} \log(\exp) = P_{LM}$$

$$P_{LM} = T \left(\log t_R + \tilde{K} \right)$$

Zpracování creepových dat

Výstupem z creepových zkoušek jsou creepové křivky



Lze využít údaje o:

$$\sigma, T, \dot{\epsilon}_{\min}, t_{1/2}, t_R$$

Pro sekundární creep lze zapsat např.

$$\dot{\epsilon}_{\min} = A \sigma^m e^{-\frac{Q}{RT}}$$

$$Q \text{ [J} \cdot \text{mol}^{-1}\text{]}$$

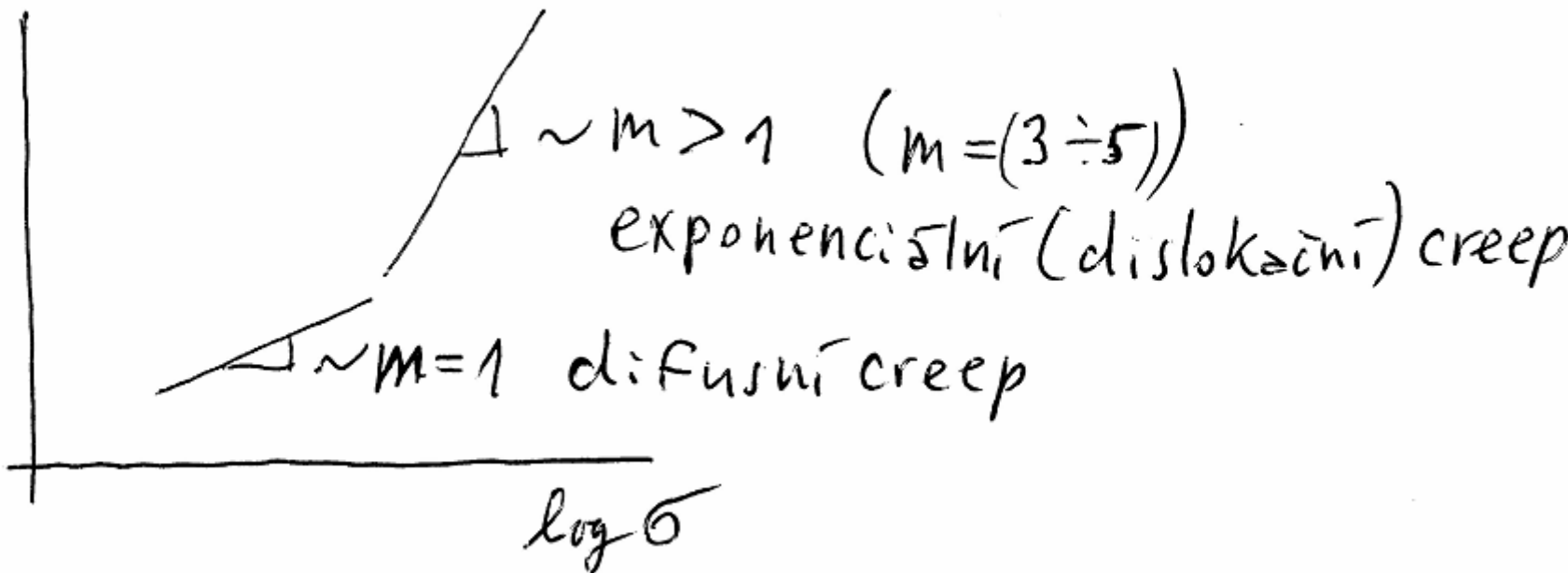
$$R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Zkoušky $T = \text{konst.}$, $\bar{\sigma} = \text{konst.}$

$$\dot{\epsilon}_{\min} = B \bar{\sigma}^m$$

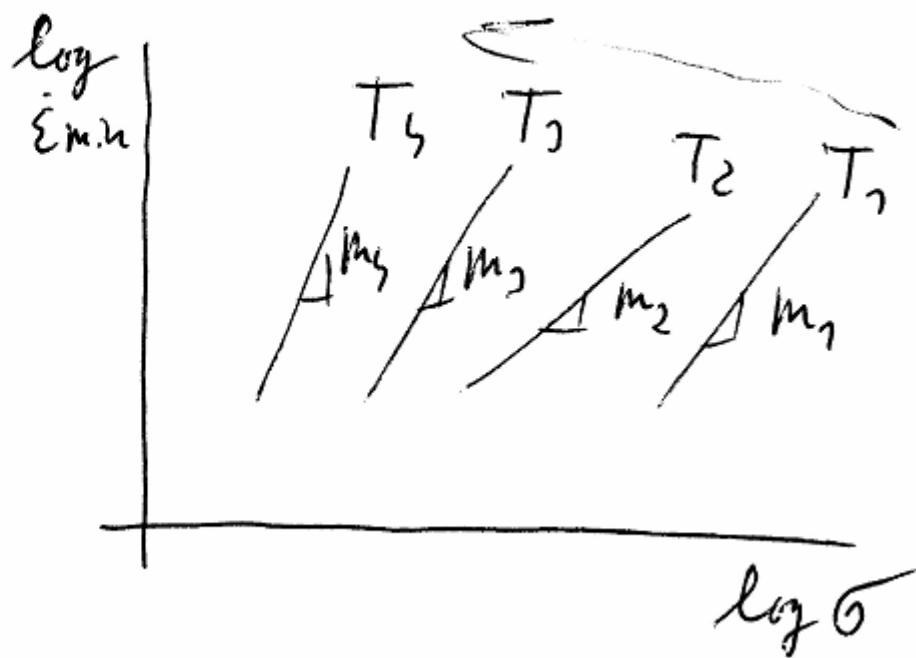
$$\log \dot{\epsilon}_{\min} = \log B + m \log \bar{\sigma}$$

$\log \dot{\epsilon}_{\min}$



různě zkoušky při $T = \text{konst.}$

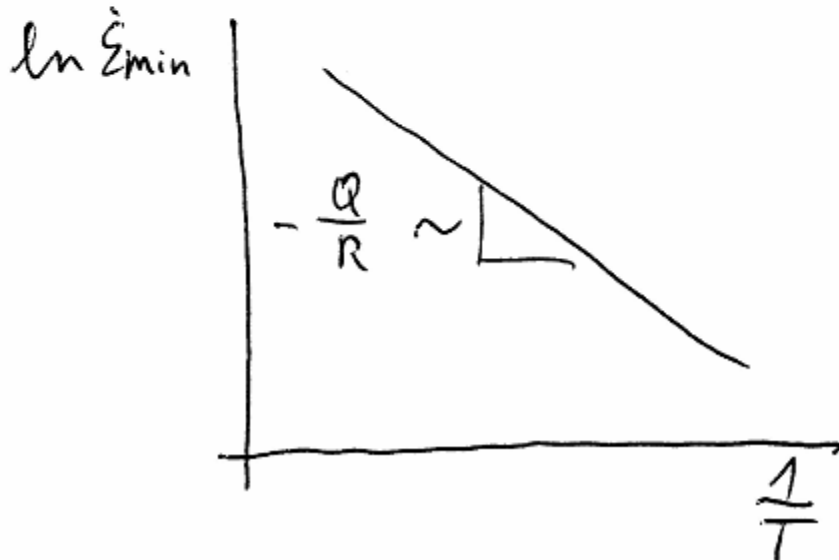
| T | B | m |
|---|---|---|
| — | — | — |
| — | — | — |



zkoušky $\sigma = \text{konst.}$, $T = \text{konst.}$

$$\dot{\epsilon}_{\min} = c e^{-\frac{Q}{RT}}$$

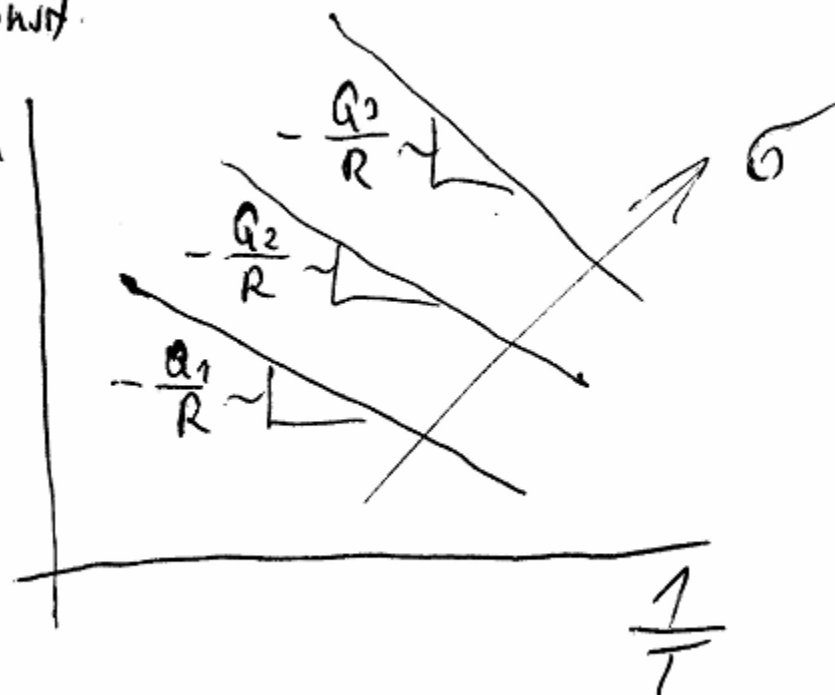
$$\ln \dot{\epsilon}_{\min} = \ln c - \frac{Q}{RT}$$



různě zkoušky při $\bar{\sigma} = \text{konst.}$

| $\bar{\sigma}$ | C | $-Q$ |
|----------------|-----|------|
| — | — | — |
| — | — | — |
| — | — | — |

$\ln \dot{\epsilon}_{\min}$



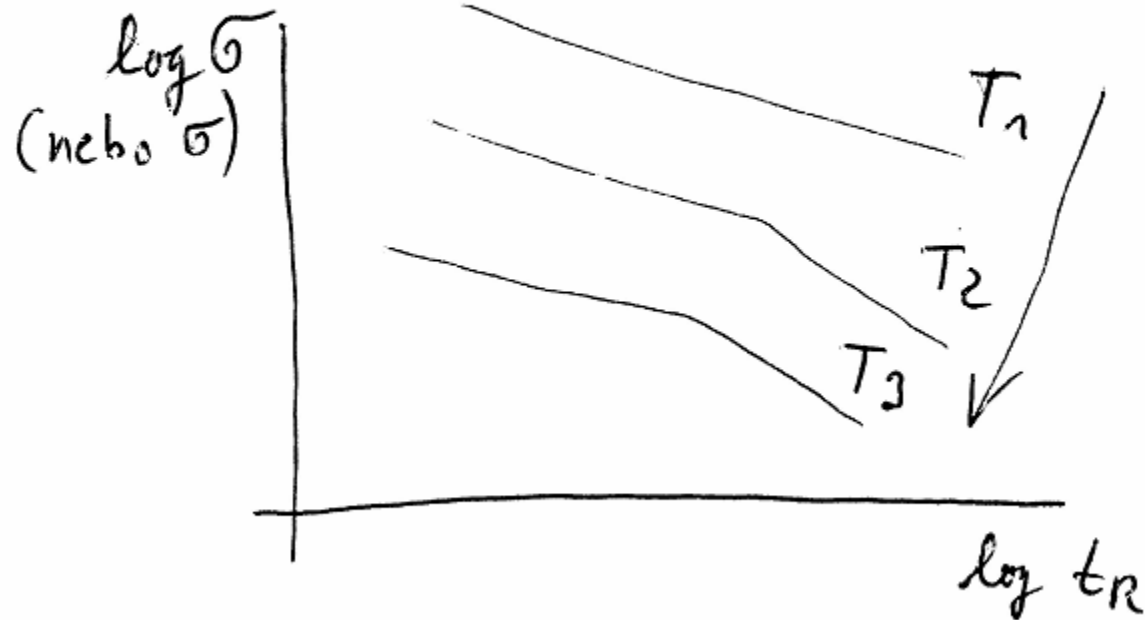
Cílem zkoušek je také predikovat dlouhodobé chování

- Zkoušky do lomu
- Závislost $d\varepsilon_{\min}/dt - t_R$
- Teplotně kompenzovaný čas

Pravidla pro testování a extrapolace

- Zkouška musí trvat minimálně 10 % předpokládané doby provozu.
- Mechanismus creepu se nesmí měnit s časem, teplotou a napětím .

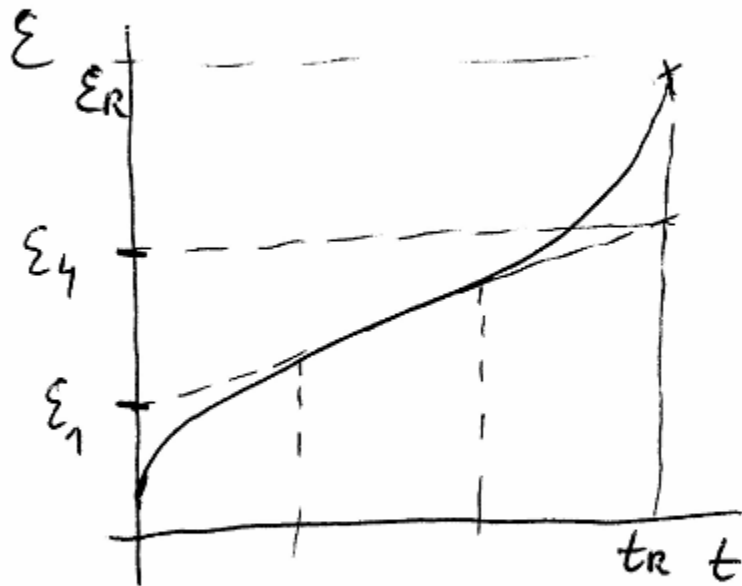
a) Zkoušky do lomu



Jednoduché pro odhad napětí vs. čas do lomu
v testovacím rozsahu napětí a času do lomu.

Extrapolace problematická při změně mechanismu
porušení.

b) Závislost $d\varepsilon_{\min}/dt - t_R$



$$\dot{\varepsilon}_{\min} = \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_1}{t_R} = \frac{C}{t_R}$$

$$\dot{\varepsilon}_{\min} t_R = C$$

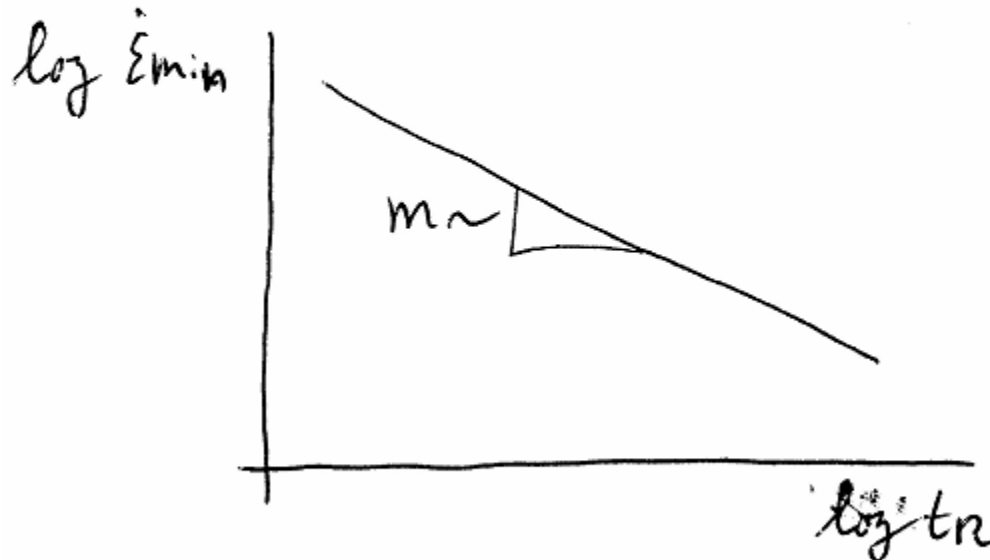
$$\dot{\varepsilon}_{\min}^* t_R^m = C$$

Monkman-Grant

$$C \dots 0,05 \div 0,5$$

$$m \approx 1$$

$$\log \dot{\epsilon}_{min} = \log C - m \log t_r$$



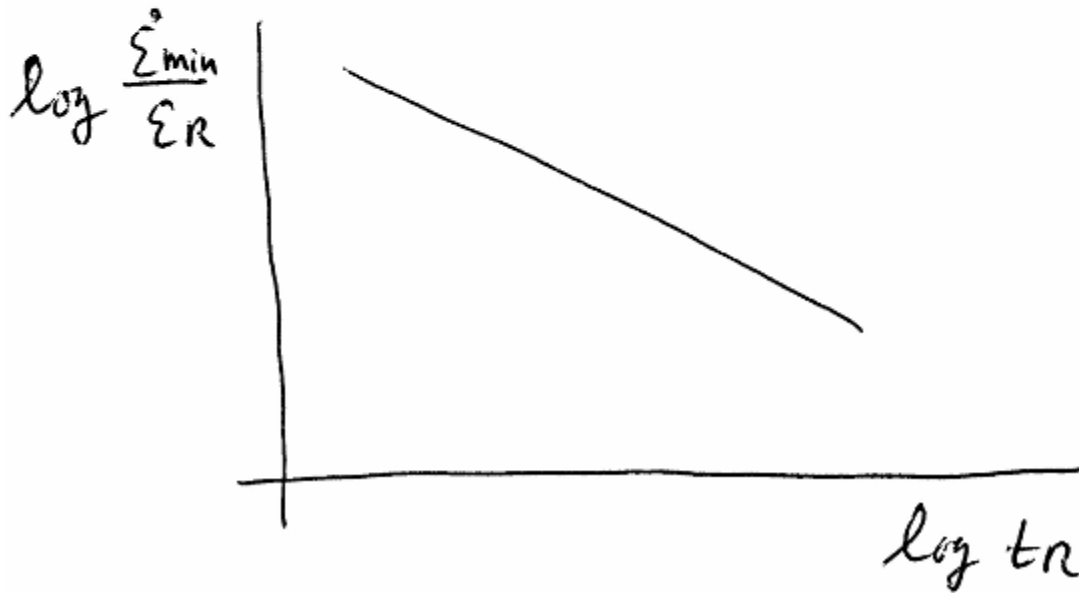
Body odpovídající zkouškám při různém napětí a teplotě by měly ležet na přímce.

Lze predikovat čas do lomu měřením (výpočtem) min. rychlosti deformace.

$$\frac{\dot{\Sigma}_{\min} t_R^m}{\varepsilon_R} = C$$

modifikovaný Monkman-Grant - zmenšení pásma rozptylu

$$\log \frac{\dot{\Sigma}_{\min}}{\varepsilon_R} = C - m \log t_R$$



c) Teplotně kompenzovaný čas

- U těchto metod jsou data z krátkodobých zkoušek provedených při vyšších T než uvažovaných provozních použity k predikci t_R při nižších provozních T .
- Předpokladem je, že při zrychleném zkoušení se mechanismus porušení vzhledem k uvažovanému provoznímu stavu nemění a není tedy funkcí teploty a času.
- Založeno na použití parametru vyjadřujícího ekvivalenci teploty a času (teplotně kompenzovaný čas)

c) Teplotně kompenzovaný čas

Parametr Sherby-Dorn

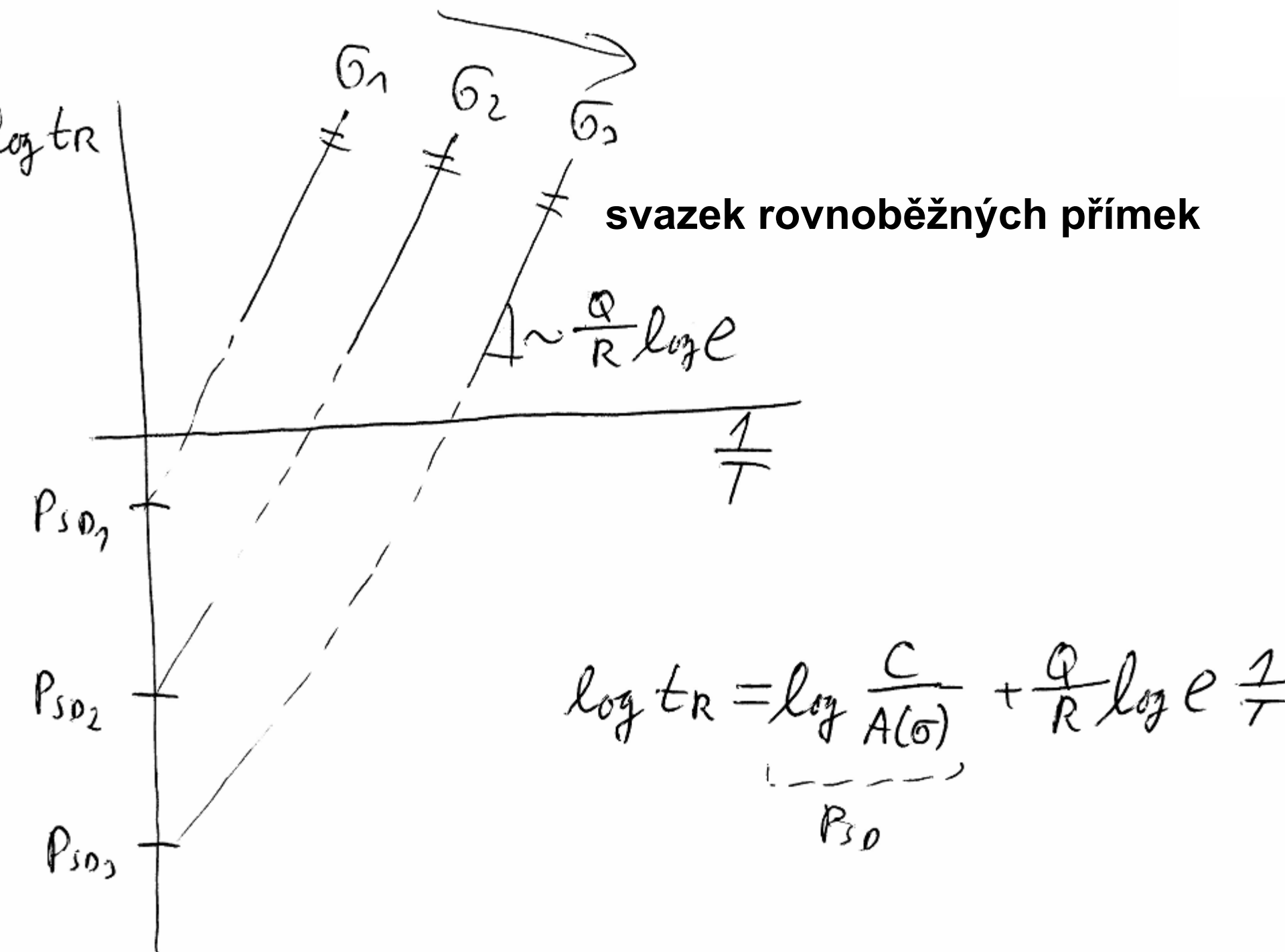
$$\dot{\epsilon}_{\min} = A(\sigma) e^{-\frac{Q}{RT}} \quad \dot{\epsilon}_{\min} = \frac{C}{t_R}$$

$$\frac{C}{t_R} = A(\sigma) e^{-\frac{Q}{RT}}$$

$$\frac{C}{A(\sigma)} = t_R e^{-\frac{Q}{RT}}$$

$$\log \frac{C}{A(\sigma)} = \underbrace{\log t_R - \frac{Q}{RT} \log e}$$

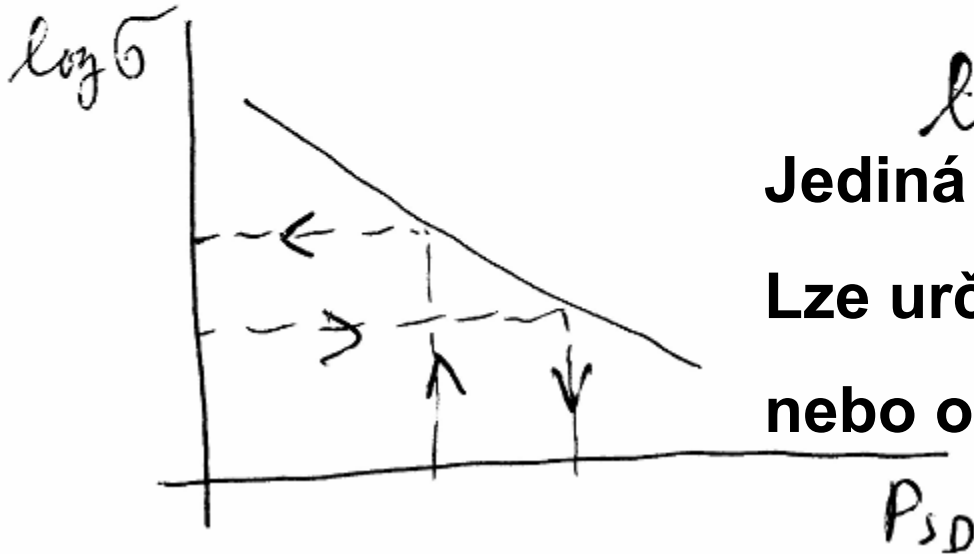
P_{SD} Sherby-Dorn



$$A(\sigma) = B\sigma^m$$

$$\log \frac{C}{B\sigma^m} = P_{SD} \Rightarrow \log \left(\frac{C}{B} \sigma^{-m} \right) = P_{SD}$$

$$\log \frac{C}{B} - m \log \sigma = P_{SD}$$



$$\log \sigma = \frac{1}{m} \log \frac{C}{B} - \frac{1}{m} P_{SD}$$

Jediná křivka (zde přímka)

**Lze určit σ pro kombinaci t_R a T
nebo obráceně.**

Parametr Larson-Miller - přímky $\log t_R = \log t_R (1/T)$ mají tendenci konvergovat k jednomu bodu, potom

$$\log \frac{C}{A} \neq f(\sigma)$$

$$Q = f(\sigma)$$

$$-C_1 = \log t_R - \frac{Q(\sigma)}{RT} \log e$$

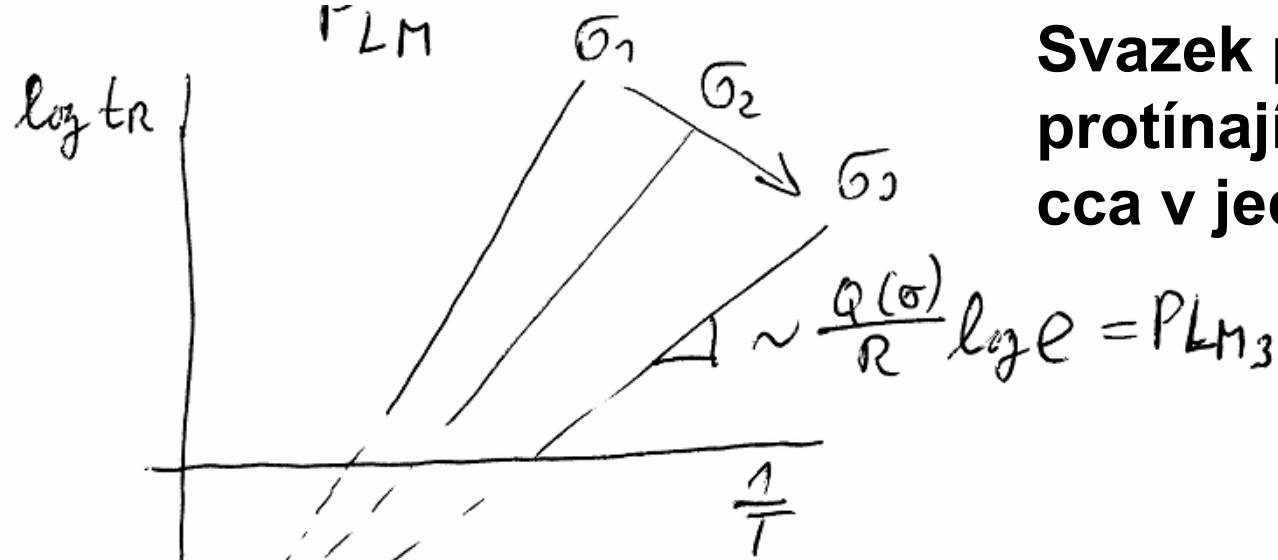
$$-C_1 T = \log t_R T - \frac{Q(\sigma)}{R} \log e$$

$$T(\log t_R + C_1) = \frac{Q(\sigma)}{R} \log e$$

$\underbrace{\hspace{10em}}$

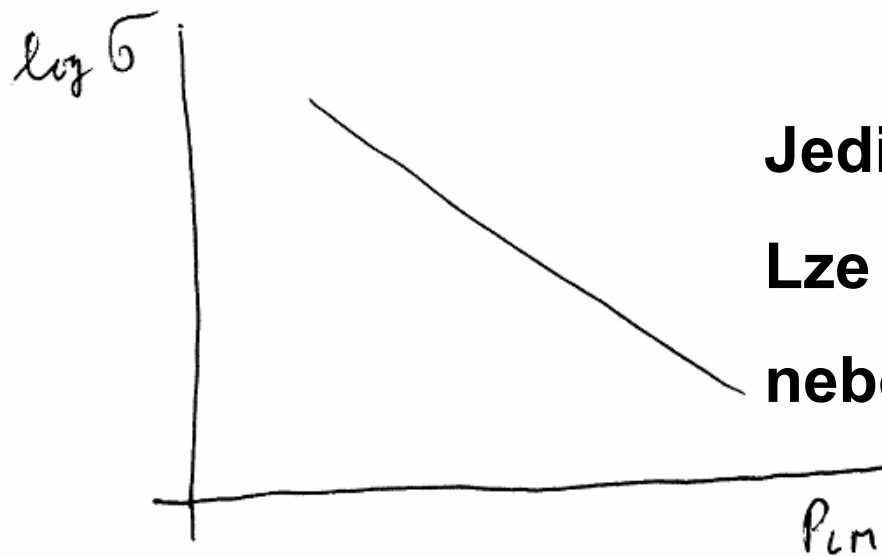
P_{LM}

Larson-Miller



**Svazek přímek
protínajících se
cca v jednom bodě**

$$\log t_R = -C_1 + \underbrace{\frac{Q(\sigma)}{R} \log e}_{PLM} \frac{1}{T}$$



Jediná křivka

**Lze určit σ pro kombinaci t_R a T
nebo obráceně.**

Poznámky k vyhodnocení tahových křivek (plasticita)

Hodnoty smluvních napětí $\sigma_{smluvní}$ a deformací $\varepsilon_{smluvní}$ pro použití při numerických simulacích přepočteny na hodnoty skutečného napětí σ a logaritmické deformace ε dle následujících vztahů

$$\sigma = \sigma_{smluvní} (1 + \varepsilon_{smluvní}) , \quad (1.1)$$

$$\varepsilon = \ln (1 + \varepsilon_{smluvní}) . \quad (1.2)$$

Pro potřeby elasto-plastických výpočtů dále určena plastická deformace ε^{pl} jako rozdíl celkové deformace ε a elastické deformace ε^{el}

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon - \varepsilon^{el} = \varepsilon - \frac{\sigma}{E} , \quad (1.3)$$