

Určování zbytkových napětí z pole přetvoření v okolí odvrtné díry

Richard Horák

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Problémová situace

Metoda digitální korelace obrazu (DIC) / tenzometrické měření

- bezkontaktní metoda / nutnost aplikace růžice (vliv excentricity)
- neomezená volba geometrie díry / omezení velikostí růžice
- celé pole přetvoření / tři hodnoty radiálních přetvoření

Celé pole přetvoření

Znalost průběhů kalibračních konstant na tomto poli

Výpočet zbytkových napětí

Kalibrační konstanty - $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}, \bar{e}$

- Pro průchozí díru – analyticky
- Pro neprůchozí díru – numericky nebo experimentálně

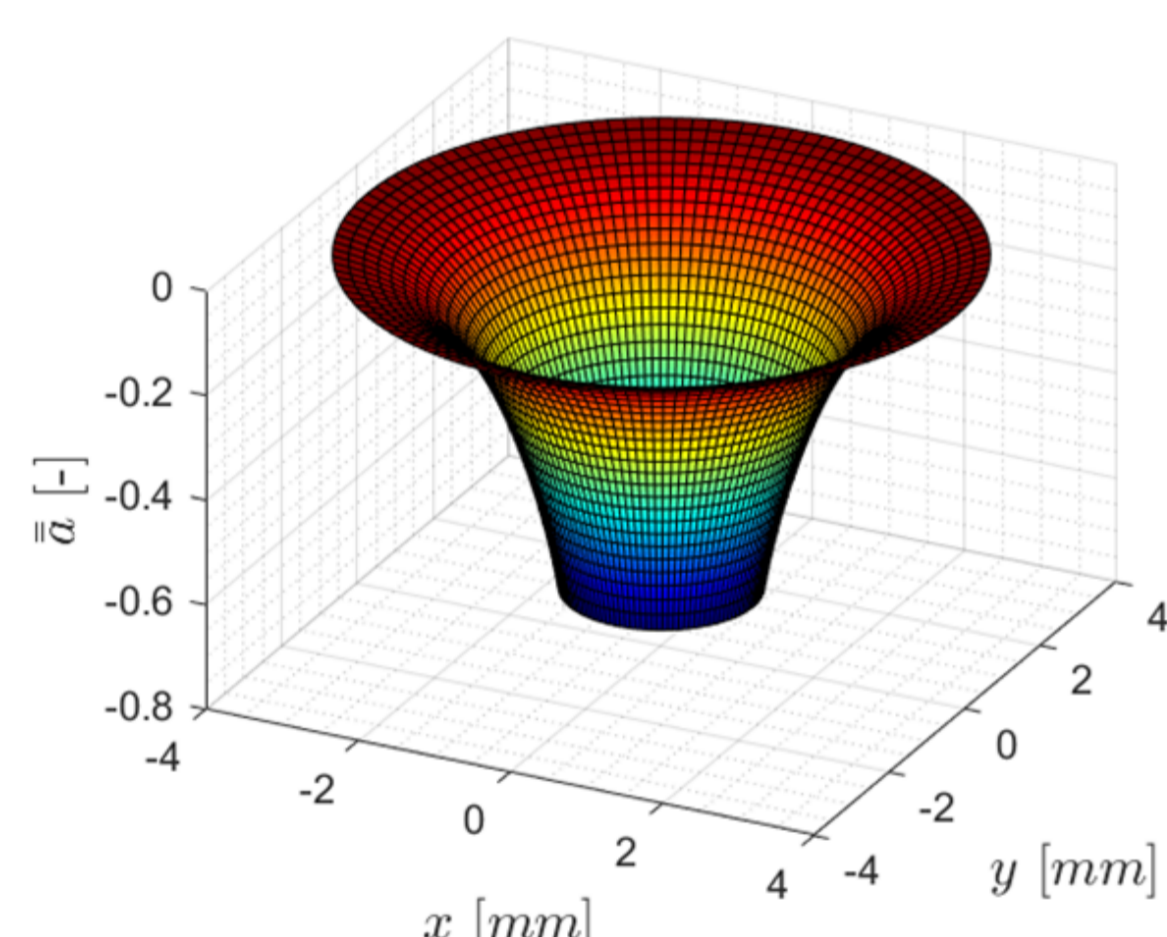
$$\varepsilon_r = \bar{a} \frac{(1+\mu)}{2E} (\sigma_x + \sigma_y) + \bar{b} \frac{1}{2E} [(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta + 2\tau_{xy} \sin 2\theta]$$

$$\varepsilon_\theta = -\bar{c} \frac{(1+\mu)}{2E} (\sigma_x + \sigma_y) + \bar{d} \frac{1}{2E} [(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta + 2\tau_{xy} \sin 2\theta]$$

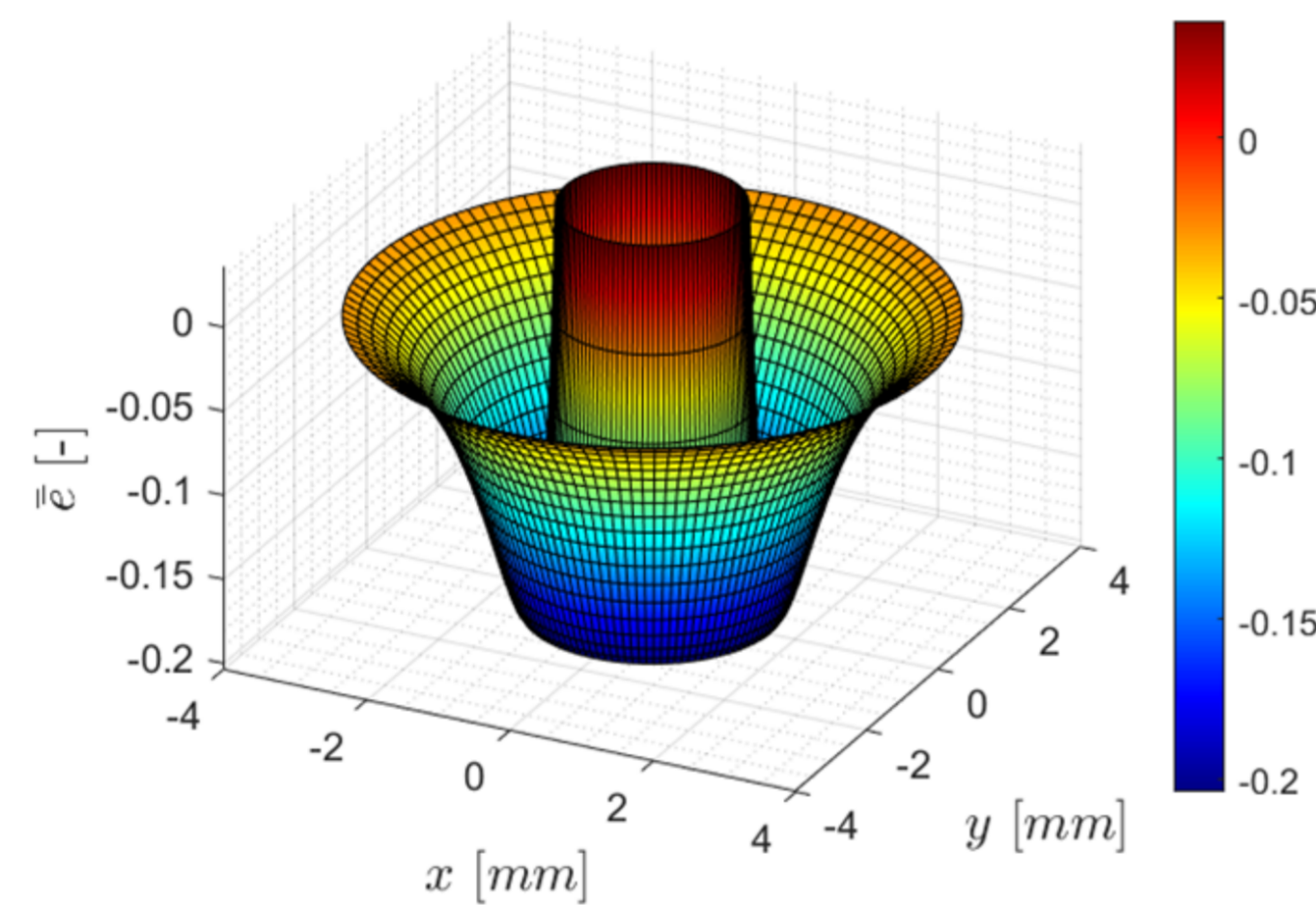
$$\varepsilon_{r\theta} = \bar{e} \frac{(1+\mu)}{2E} [(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\theta - 2\tau_{xy} \cos 2\theta]$$

Analýza kalibračních konstant

Pole kalibrační konstanty \bar{a} a \bar{e}



Obr. 1: Pole kalibrační konstanty \bar{a} .



Obr. 2: Pole kalibrační konstanty \bar{e} .

Funkční závislosti kalibračních konstant

- Aproximace polynomem 5 stupně:

$$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}, \bar{e} = k_1 \left(\frac{r_0}{r}\right) + k_2 \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 + k_3 \left(\frac{r_0}{r}\right)^3 + k_4 \left(\frac{r_0}{r}\right)^4 + k_5 \left(\frac{r_0}{r}\right)^5$$

- Závislost koeficientů polynomu na poměru h/d_0 :

$$k_1, \dots, k_5 = l_2 \left(\frac{h}{d_0}\right)^2 + l_3 \left(\frac{h}{d_0}\right)^3 + l_4 \left(\frac{h}{d_0}\right)^4 + l_5 \left(\frac{h}{d_0}\right)^5 + l_6 \left(\frac{h}{d_0}\right)^6 + l_7 \left(\frac{h}{d_0}\right)^7 + l_8 \left(\frac{h}{d_0}\right)^8 + l_9 \left(\frac{h}{d_0}\right)^9$$

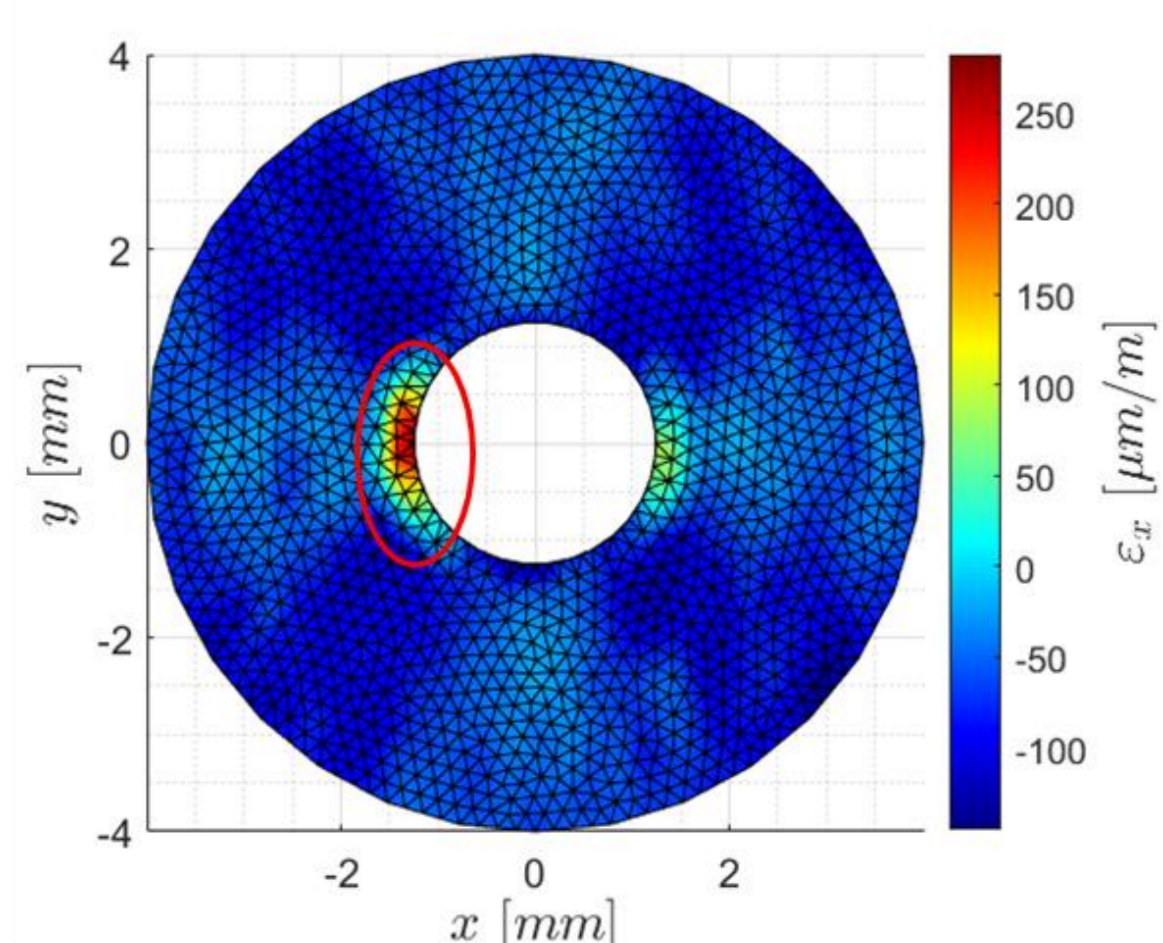
- Výstup: tabulky koeficientů l_2, \dots, l_9 , kterými lze popsat kalibrační konstanty v okolí odvrtné díry - celkem 200 koeficientů.

Experimentální data

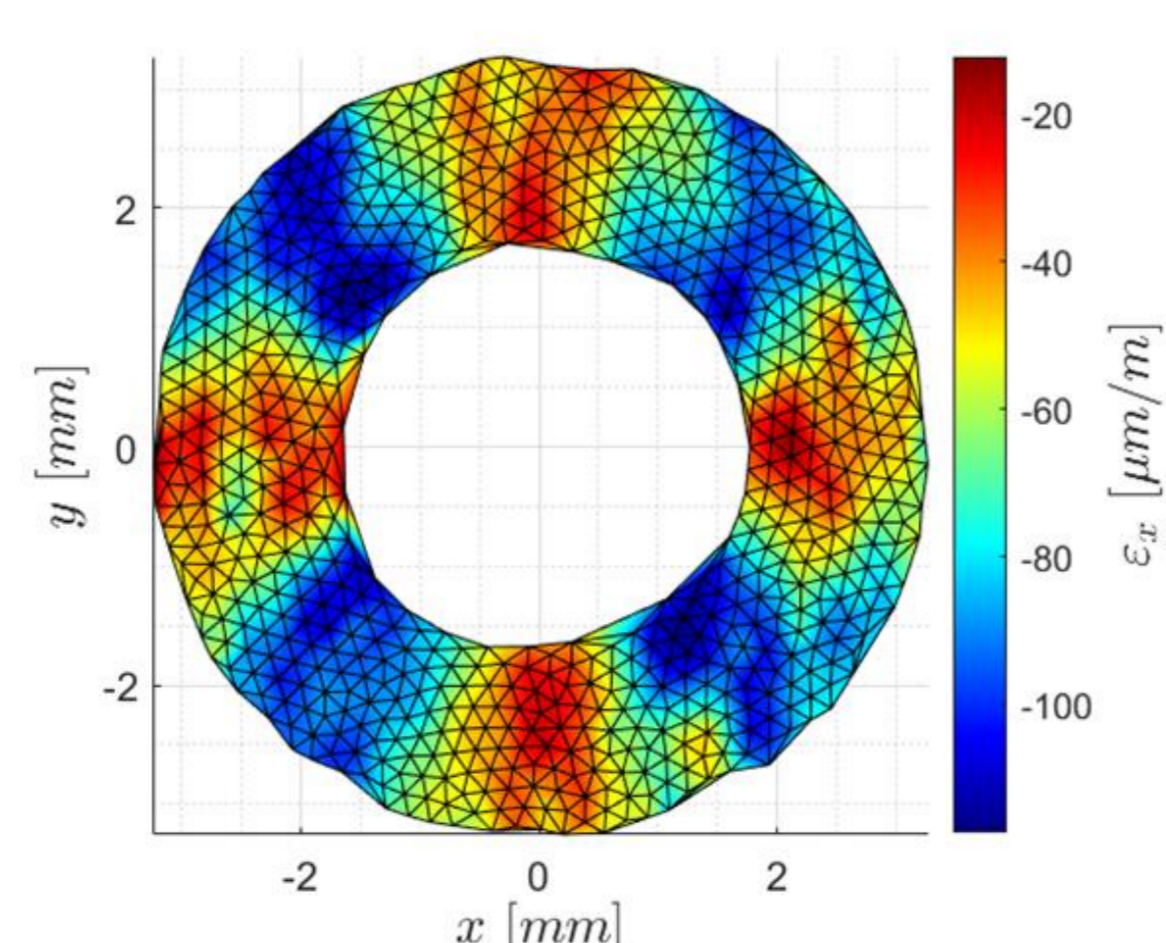
Působící napětí: $\sigma_y = 40$ MPa

Vyhodnocené působící napětí: $\sigma_y = 38$ MPa (rel. ch. 6,0 %)

Vyhodnocené působící napětí po korekci: $\sigma_y = 39$ MPa (rel. ch. 3,5 %)



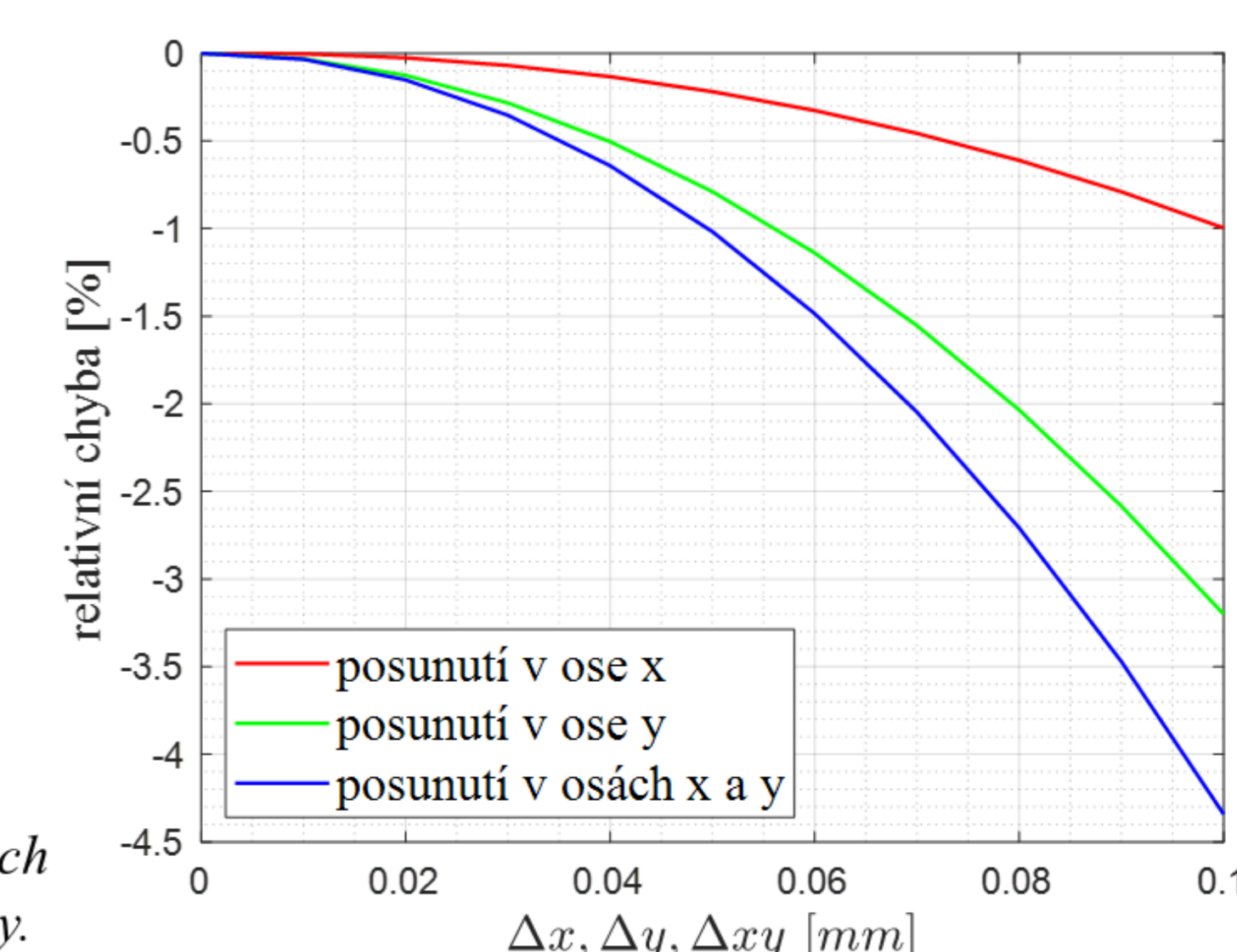
Obr. 3: Pole přetvoření ε_x před korekcí.



Obr. 4: Pole přetvoření ε_x po korekci.

Citlivostní analýza

- Modul pružnosti v tahu: $\pm 5,0$ % $\pm 5,0$ % ve zbytkových napětích
- Poissonův poměr: $\pm 5,0$ % $\mp 0,3$ % ve zbytkových napětích
- Průměr díry: $\pm 5,0$ % $\mp 8,0$ % ve zbytkových napětích
- Posunutí středu díry:



Obr. 5: Relativní chyby vyhodnocených zbytkových napětí v závislosti na posunutí středu vrtné díry.