

**ZPŘESNĚNÍ HODNOCENÍ GEOMETRICKÝCH ODCHYLEK PŘI APLIKACI
ODVRTÁVACÍ METODY****THE SPECIFICATION OF THE ASSESSMENT OF THE GEOMETRIC DIFFERENCES
FOR THE APPLICATION OF THE DRILLING METHOD**Jiří Dejmal¹**Abstract :**

In this paper is described the influence of the location inaccuracy of the hole to the center of the gage rosette by the experimental drilling method of the residual stresses analyze, the possible method of the correction of this effect and the error due to this effect in two axial stress field.

Klíčová slova: zbytkové pnutí, excentricita otvoru, porovnání nepřesností

1. Úvod

Oblíbená a často používaná metoda vrtání slepého otvoru při experimentálním zjištění zbytkového pnutí má svá úskalí mimo jiné v samotném zhotovení otvoru. Z principu metody vyplývají na zhotovení otvoru jisté nároky jako jsou ostré hrany na povrchu, ostré rohy na dně, rovné dno, válcový profil otvoru a v neposlední řadě přesné umístění osy otvoru do středu tenzometrické růžice. Jakékoliv nedodržení těchto zásad se odrazí ve zvýšené nepřesnosti analyzovaných hodnot napětí.

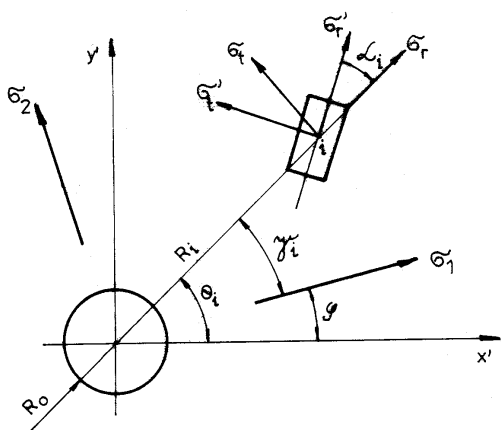
Předkládaný příspěvek pojednává o vlivu excentricity vyvrtaného otvoru vzhledem ke středu instalované tenzometrické růžice na přesnost analyzovaného napětí a možném způsobu jeho korekce.

2. Základní vztahy

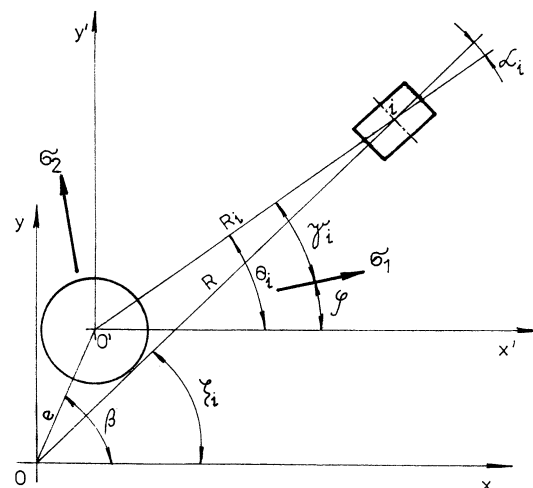
Situaci v okolí otvoru vyvrtaného ve středu tenzometrické růžice (obr.1), při uvažovaném dvouosém napěťovém stavu popisují známé vztahy [1]:

$$\sigma_r = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} r_i^2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} (3r_i^4 - 4r_i^2) \cos 2\gamma_i \quad ,$$

¹ Ing. Jiří Dejmal, ŽDAS a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou, e-mail j_dejmal@mx.zdas.cz



Obr. 1



Obr. 2

$$\sigma_t = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} r_i^2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} 3r_i^4 \cos 2\gamma_i ,$$

$$\tau_{rt} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} (2r_i^2 - 3r_i^4) \sin 2\gamma_i ,$$

kde $r_i = \frac{R_o}{R_i} .$

3. Korekce vlivu excentricity otvoru

Zhotovením otvoru mimo střed tenzometrické růžice dojde ke změně geometrických poměrů vyjádřených velikostí poloměru R_i a úhlu α_i pro jednotlivé tenzometry. V této situaci lze psát pro napětí v osách jednotlivých tenzometrů následující vztahy [2]:

$$\sigma_r' = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{2} \cos 2\alpha_i + \tau_{rt} \sin 2\alpha_i ,$$

$$\sigma_t' = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2} - \frac{\sigma_r - \sigma_t}{2} \cos 2\alpha_i - \tau_{rt} \sin 2\alpha_i .$$

Deformace ve směru jednotlivých tenzometrů růžice jsou pak vyjádřeny vztahem

$$\varepsilon_i = A_i(\sigma_1 + \sigma_2) + B_i(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\varphi + C_i(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\varphi .$$

Na rozdíl od případu centricky vyvrtaného otvoru jsou v tomto případě konstanty popisující geometrické poměry vzájemného uspořádání otvoru a jednotlivých měřících mřížek tenzometrické růžice pro každou mřížku jiné a jsou dány vztahy:

$$A_i = -\frac{1}{2E}(1+\mu)r_i^2 \cos 2\alpha_i ,$$

$$B_i = -\frac{1}{E}\left[(1-\mu)r_i^2 \cos 2\Theta_i + (1+\mu)r_i^2\left(1-\frac{3}{2}r_i^2\right)\cos 2(\Theta_i - \alpha_i)\right] ,$$

$$C_i = -\frac{1}{E}\left[(1-\mu)r_i^2 \sin 2\Theta_i + (1+\mu)r_i^2\left(1-\frac{3}{2}r_i^2\right)\sin 2(\Theta_i - \alpha_i)\right] .$$

Vyjádřením deformace ve směrech všech tenzometrů dostaneme v maticovém zápisu soustavu rovnic

$$\begin{bmatrix} A_a & B_a & C_a \\ A_b & B_b & C_b \\ A_c & B_c & C_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 + \sigma_2 \\ (\sigma_1 - \sigma_2)\cos 2\varphi \\ (\sigma_1 - \sigma_2)\sin 2\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_a \\ \varepsilon_b \\ \varepsilon_c \end{bmatrix} ,$$

jejímž řešením dostaneme vztahy pro korigované hodnoty σ_1 , σ_2 a φ .

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2}\left(\frac{D_2}{D_1} \pm \frac{\sqrt{D_3^2 + D_4^2}}{|D_1|}\right)$$

$$\tan 2\varphi = \frac{D_4}{D_3}$$

kde D_i jsou determinanty výše uvedené soustavy rovnic.

Aby bylo možné v konkrétním případě excentricky vyvrtaného otvoru použít tento postup hodnocení zbytkových pnutí, je třeba určit konstanty A_i , B_i , C_i pro jednotlivé měřící mřížky tenzometrické růžice.

Z geometrických poměrů excentricky vyvrtaného otvoru (obr. 2) lze vyjádřit

$$R_i = \sqrt{(R \sin \zeta_i - e \sin \beta)^2 + (R \cos \zeta_i - e \cos \beta)^2} ,$$

$$\Theta_i = \arctan\left(\frac{R \sin \zeta_i - e \sin \beta}{R \cos \zeta_i - e \cos \beta}\right) ,$$

$$\alpha_i = \zeta_i - \Theta_i$$

kde i je označení příslušné měřicí mřížky.

Hodnoty R_i , Θ_i , α_i se použijí pro výpočet koeficientů A_i , B_i , a C_i . Dosazením těchto koeficientů do soustavy rovnic pro určení deformace ve směru měřicí mřížky a jejím řešením určíme korigované hodnoty hlavních napětí a jejich směr.

4. Vyjádření nepřesnosti vlivem excentricity otvoru

Nepřesnost vlivem excentricity otvoru δ je možné vyjádřit vztahem

$$\delta = \frac{\sigma^* - \sigma}{\sigma} \cdot 100 \quad [\%]$$

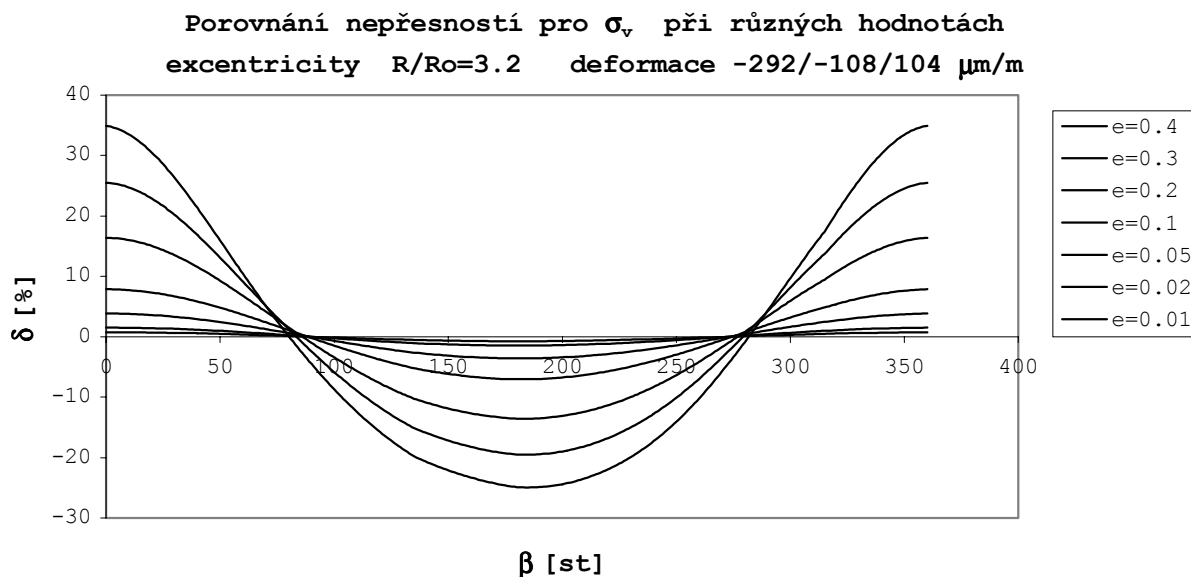
kde σ^* je napětí vypočtené z naměřených deformací bez uvažování excentricity otvoru

σ^* je napětí vypočtené ze stejných deformací při respektování excentricity otvoru výše uvedeným způsobem

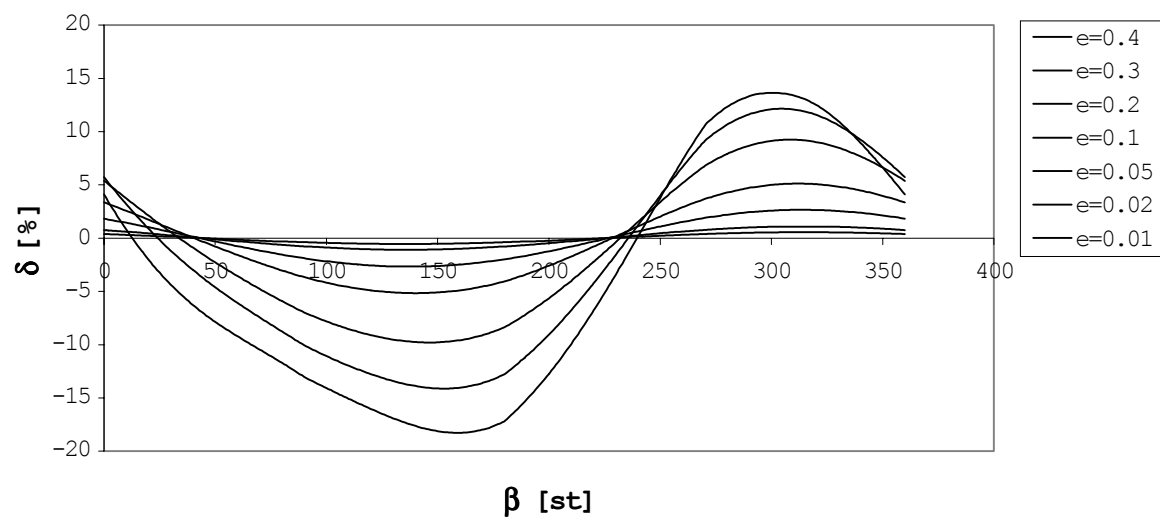
Na následujících obrázcích jsou uvedeny průběhy nepřesnosti δ v závislosti na úhlu β pro různé hodnoty excentricity e a různé hodnoty deformací, které představují různé napěťové stavy. Aby byly průběhy nepřesnosti δ pro různé napěťové stavy srovnatelné, byl jejich výpočet proveden z hodnot výpočtového napětí

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}.$$

Ve všech případech je poměr $R/R_0 = 3.2$.

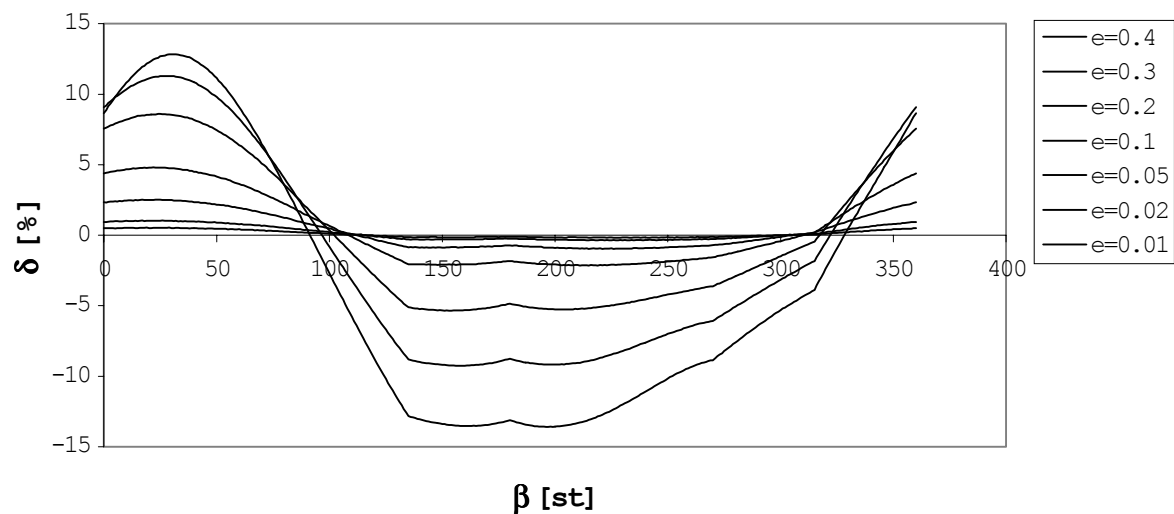


Porovnání nepřesností pro σ_v při různých hodnotách
excentricity $R/R_o=3.2$ deformace $-200/-200/-200 \mu\text{m/m}$



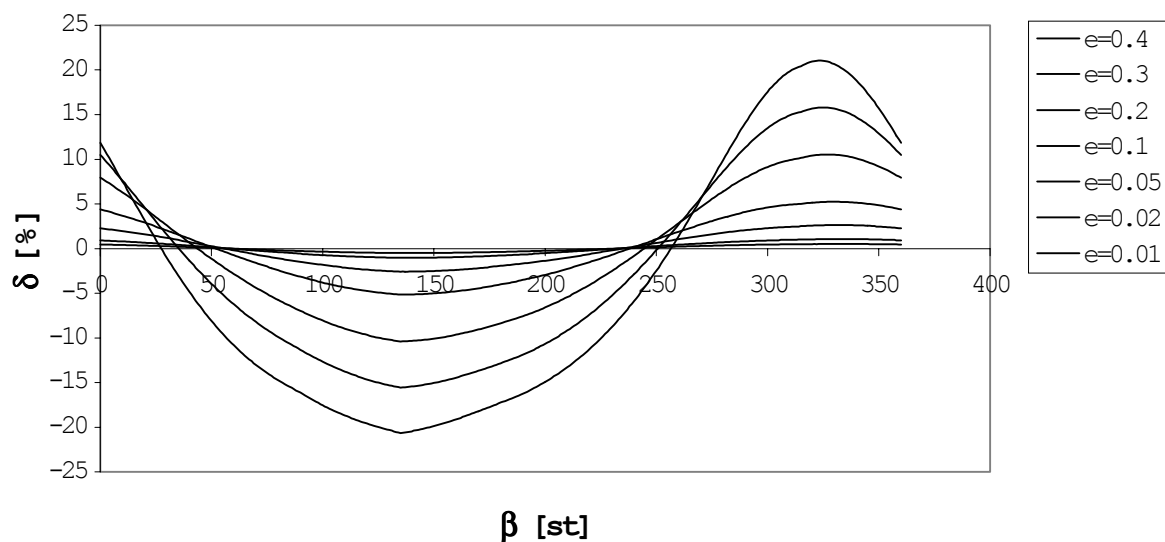
Obr. 4

Porovnání nepřesností pro σ_v při různých hodnotách
excentricity $R/R_o=3.2$ deformace $-100/-80/50 \mu\text{m/m}$



Obr. 5

Porovnání nepřesností pro σ_v při různých hodnotách
excentricity $R/R_0=3.2$ deformace 200/30/-180 $\mu\text{m/m}$



Obr. 6

5. Závěr

Z uvedených průběhů možných nepřesností vzniklých při zanedbání excentricity vyvrtaného otvoru je dobře patrný význam tohoto jevu. Možnost provedení uvedené korekce při výpočtu hlavních napětí a jejich směru je podmíněna možností změření odchylky středu vyvrtaného otvoru od středu tenzometrické růžice.

6. Literatura

1. TN – 503 –3 Measurement Group, Inc.: Measurement of Residual Stresses by the Hole – Drilling Strain Gage Method
2. Wang, Jia – yong: Measurement of Residual Stress by the Hole – Drilling method: General Stress – Strain Relationship and its Solution; Experimental Mechanics, December 1988, pp 255 - 358