



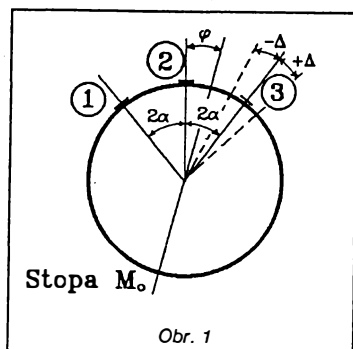
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ROTATIONAL ELEMENTS AT A LIMITED ACCESS FROM THE SURFACE

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ PŘI OMEZENÉ PŘÍSTUPNOSTI POVRCHU

Jiří Michalec a Jan Řezníček

The evaluation of all errors which may occur when performing an experiment should be an important part of an experimental work. An analysis of main errors connected with the long-time measuring on rotationally symmetric elements with a limited access from the surface is performed. Error sources were: inaccurate installation of strain-gauges and inaccuracies in the measuring devices. The comparison between the real experimental results and theoretical analysis of the possible errors is shown in the conclusion.

Při experimentální analýze stavu napjatosti se v praxi někdy setkáváme s případy, kdy povrch analyzovaného objektu je jen částečně přístupný. Úlohu tohoto typu jsme před časem řešili na našem pracovišti. Jednalo se o experimentální analýzu stavu napjatosti trubek vysokotlakého chladiče, kde byla přístupná pouze část povrchu trubek odpovídající středovému úhlu cca 130° . Kromě vnitřního přetlaku $p = 16,5 \text{ MPa}$ zde byl i značný vliv teploty (110°C), takže vzhledem ke komplikovanému uložení trubek bylo



Obr. 1

možno předpokládat kromě napjatosti od samotného přetlaku též přídatná osová napětí, a to jak od osově síly, tak od ohybového momentu. Ideální uspořádání tří osových tenzometrů, které by umožnilo experimentální stanovení výsledného stavu napjatosti, je rozmístění pod středovým úhlem 120° . To zde ale z výše uvedených důvodů nebylo možné. Pro optimální možnost dostatečně přesné instalace tenzometrů byl použit středový úhel $2\alpha = 50^\circ$ (obr. 1). Aby bylo možno posoudit jak se tato skutečnost promítne do naměřených

hodnot a do zjištěného stavu napjatosti, byl proveden rozbor chyb.

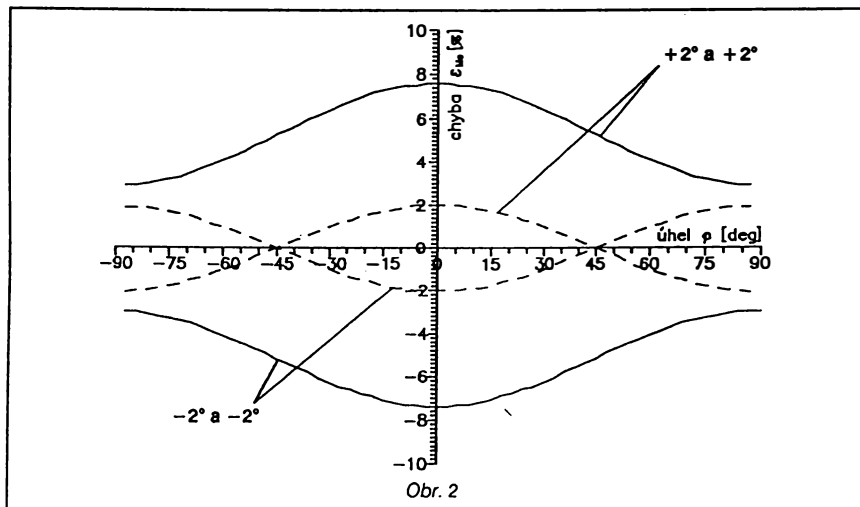
Ten se soustředil zejména na ustálený provozní stav - konečný stav napjatosti (výkon reaktoru 100%, provozní tlak $p = 16,5$ MPa a teplota na vstupu do chladiče cca 110°C), kdy byly ohybové a tahové poměrné osově deformace prakticky vyrovnané a jejich hodnoty dosáhly cca $1000 \mu\epsilon$.

Zdroje chyb naměřených hodnot jsou v podstatě dva :

- 1) Chyba vlivem nepřesné instalace tenzometrů.
- 2) Chyba měřícího řetězce vlivem podmínek, při kterých se měření uskutečnilo.

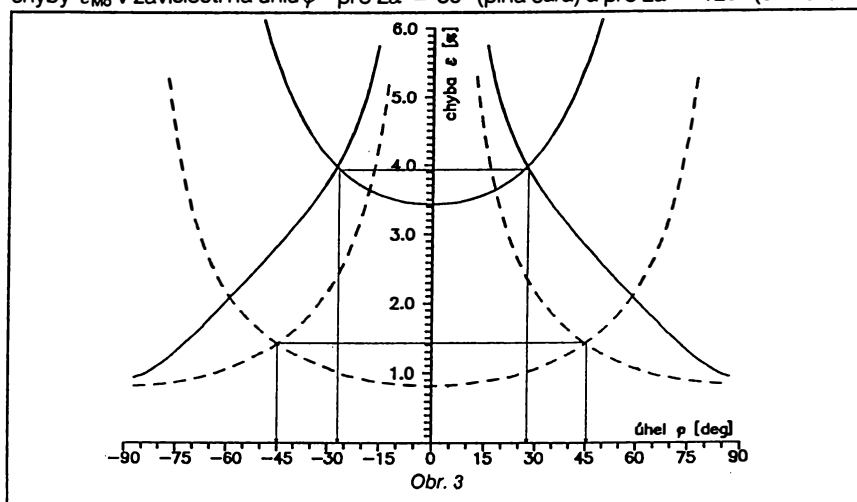
1) Chyba vlivem nepřesné instalace tenzometrů.

Protože přesnost metody značně závisí na dodržení velikosti středového úhlu 2α , je třeba provádět instalace co možná nejpřesněji. Proto byl pro vlastní instalaci vyroben přípravek s jehož pomocí bylo možno instalovat tenzometry s přesností $\pm 0,5$ mm. Tomu při průměru trubky $D = 31,8$ mm odpovídá chyba ve středovém úhlu $\Delta = \pm 2^{\circ}$ (obr. 1). Chyby ve stanovení poměrné ohybové deformace ϵ_{Mo} , poměrné osově deformace ϵ_N i samotného úhlu ϕ jsou závislé na velikosti úhlu ϕ . Vyšetřování chyby bylo proto provedeno pro celý rozsah úhlu ϕ (-90° až $+90^{\circ}$) a pro různé kombinace chyb u tenzometrů 1 a 3. Rozbor ukázal, že při chybě $\Delta = \pm 2^{\circ}$ u jednoho z uvedených tenzometrů je maximální chyba stanovené poměrné ohybové i osově deformace vždy menší než 5% a maximální chyba v určení úhlu $\phi \pm 2^{\circ}$. Při chybě $\Delta = 2^{\circ}$ současně na obou tenzometrech závisí na orientaci této chyby. Při kombinaci $+$, $-$ nebo $-$, $+$ je maximální chyba ve stanovení ϵ_{Mo} 4,5%, ϵ_N 6,3% a úhlu ϕ $3,5^{\circ}$. Nejnejpříznivější vychází stav při kombinaci chyb shodné orientace. Maximální chyba ϵ_{Mo} (obr. 2) je 7,5 %, ϵ_N je také 7,5% a maximální chyba v určení úhlu ϕ zde klesá na $1,5^{\circ}$. V obr. 2 jsou čárkovaně vyneseny odpovídající průběhy chyb při optimálním uspořádání tenzometrů ($2\alpha = 120^{\circ}$).



2) Chyba měřicího řetězce.

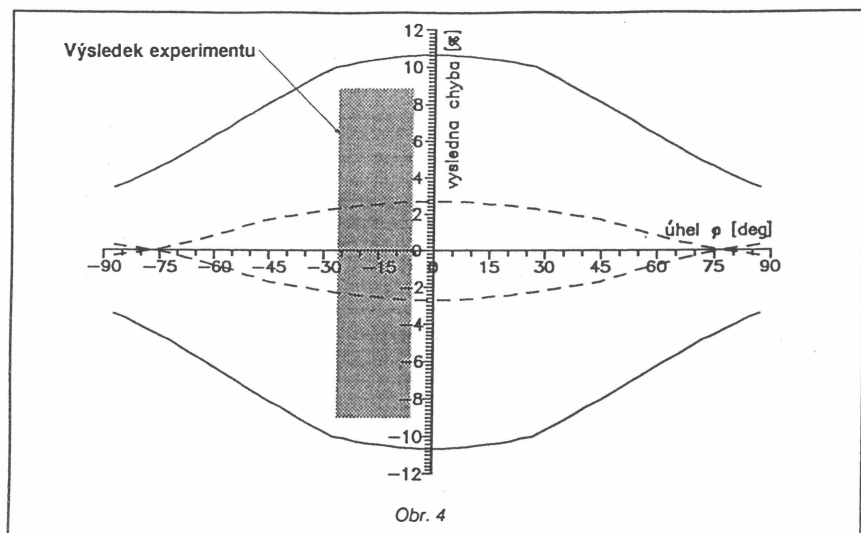
Tato chyba je způsobena jednak aparaturou a jednak podmínkami, za kterých měření probíhalo (měření venku, teplota -10°C až $+10^{\circ}\text{C}$, vlhkost 70% až 100%, déšť, sníh). S ohledem na tyto skutečnosti bylo před vlastním měřením provedeno několikahodinové testování stability. Výsledek testu stability měřicího řetězce ukázal, že chyba naměřených poměrných deformací není větší než $\pm 10\mu\text{i}$. Poměrná deformace odpovídající samotnému ohybu ε_{M0} a samotné osově síle ε_N bude mít potom chybu, kterou lze určit aplikací teorie chyb na výpočtové vztahy pro ε_{M0} a ε_N . Obr. 3 ukazuje velikost chyby ε_{M0} v závislosti na úhlu ϕ pro $2\alpha = 50^{\circ}$ (plná čára) a pro $2\alpha = 120^{\circ}$ (čárkovaná



čára). Při optimální konfiguraci ($2\alpha = 120^{\circ}$) by chyby ε_{M0} byly cca třetinové než při použití úhlu $2\alpha = 50^{\circ}$, kde je maximální chyba 4%. Z obrázku je také možno stanovit v jakém rozsahu úhlu ϕ je nejvýhodnější použití dvou výpočtových vztahů pro určení ε_{M0} z hlediska minimální vzniklé chyby. Pro optimální velikost úhlu ($2\alpha = 120^{\circ}$) je tento hraniční úhel $\pm 45^{\circ}$, pro použitou konfiguraci ($2\alpha = 50^{\circ}$) je hodnota úhlu $\pm 27,5^{\circ}$.

Chyba poměrné osově deformace není závislá na úhlu ϕ a pro určitý úhel 2α je konstantní. Pro použitý úhel $2\alpha = 50^{\circ}$ je tato chyba 2,7%, pro optimální úhel $2\alpha = 120^{\circ}$ se snížila na 0,6%. Chyba úhlu ϕ je v tomto případě závislá na velikosti ϕ , dosahuje maxima pro úhel $\pm 90^{\circ}$, a to $\pm 3,5^{\circ}$. Pro optimální uspořádání ($2\alpha = 120^{\circ}$) je chyba ϕ nezávislá na hodnotě ϕ a činí $\pm 0,8^{\circ}$.

Pro zhodnocení výsledného vlivu posuzovaných chyb na stanovený stav napjatosti provedeme superpozici chyb týkajících se ohybové a osově poměrné deformace a vztáhneme ji na superponovanou výslednou poměrnou deformaci v osovém směru. To ukazuje obr. 4, který vyjadřuje možnou procentuální chybu naměřeného výsledného osového napětí v trubce. Vzhledem k tomu, že během popisovaného experimentu byly měřeny současně 4 trubky, je v tomto obrázku vyznačena i směrodatná odchylka



vypočtená z napětí určených na jednotlivých trubkách. Z obrázku je vidět, že směrodatná odchylka souboru je v odpovídající oblasti úhlu ϕ menší než možná chyba.

Literatura:

- [1] Michalec, J., Valenta, F., Kuliš, Z., Konvičková, S., Řezníček, J., Halamka, V.: *Analýza napjatosti trubek chladiče Voest Alpine AG*, Výzkumná zpráva FS 211-93-4, ČVUT v Praze, 1993
- [2] Michalec, J.: *Aplikace experimentální metody pro stanovení vnějších účinků na rotačně symetrický prut*, 26. celostátní konference EAN 1988, str. 86-87.



Doc. Ing. Jiří MICHALEC, CSc., Ing. Jan REZNÍČEK, CSc.
 Katedra pružnosti a pevnosti, strojní fakulta
 České vysoké učení technické v Praze
 Technická 4, 166 07 Praha 6
 tel.: (02) 332 25 09, 332 25 17
 fax: (02) 331 27 68