



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**ZKUŠENOSTI Z MĚŘENÍ VÝROBNÍCH NEPŘESNOSTÍ NA KONTAKTNÍCH
PLOCHÁCH DŘÍKU A HLAVICE KYČELNÍ ENDOPROTÉZY A JEJICH
MODELOVÁNÍ**

Vladimír FUIS*, Pavel HLAVONĚ**

Abstrakt: Při posouzení spolehlivosti keramických bioimplantátů - konkrétně hlavice totální kyčelní endoprotézy, je velmi důležité analyzovat pokud možno všechny faktory, které mohou vést ke vzniku tahových napětí v analyzovaném tělese. Z předcházejících studií vyplývá, že výrobní nepřesnosti na kuželovém kontaktním spojení hlavice a dříku mohou výrazně zvýšit tahovou napjatost a tím snížit spolehlivost celého implantátu. Uvažované výrobní nepřesnosti však byly pouze modelové, konkrétně odchylka od nominální kuželovitosti (dvě varianty), odchylka typu ovalita a interakce uvedených výrobních nepřesností. V realitě však jsou na kontaktních površích hlavice a dříku přítomny stochastické výrobní nepřesnosti. Problematikou jejich měření na různých měřicích zařízeních a jejich vyhodnocování a modelování se zabývá tento příspěvek.

Klíčová slova: Kyčelní endoprotéza, výrobní nepřesnosti, kontaktní útvar, modelování.

1. ÚVOD

Problematika napjatosti a spolehlivosti keramických hlavice totální kyčelní endoprotézy s uvažováním výrobních nepřesností na kontaktních kuželech je řešena již několik let. Dosavadní studie však uvažovaly pouze modelové výrobní nepřesnosti, které vycházely z měření kontaktních ploch pouze v několika rovinách. Tímto způsobem bylo možné zjistit pouze makroskopické výrobní nepřesnosti typu odchylka od nominální kuželovitosti, nepřímost povrchu, a nekruhovitost. Z analýzy vlivu těchto modelových výrobních nepřesností na napjatost a spolehlivost keramické hlavice [1] vyplývá výrazný nárůst maximálních tahových napětí, což vede k růstu pravděpodobnosti porušení hlavice. Z tohoto důvodu je žádoucí posoudit vliv „reálných“ výrobních nepřesností, k čemuž je nutné znát odchylky od ideálního kužele hlavice a dříku.

Na první pohled se může zdát, že změření odchylek je banální záležitostí. Navíc byla problematika měření dopředu projednána s výrobcí obou komponent, kteří vlastní 3D měřicí zařízení. Ti neviděli žádný problém v uvedeném měření. Cesta k získání věrohodných dat však byla podstatně komplikovanější, jak dokumentuje následující část příspěvku.

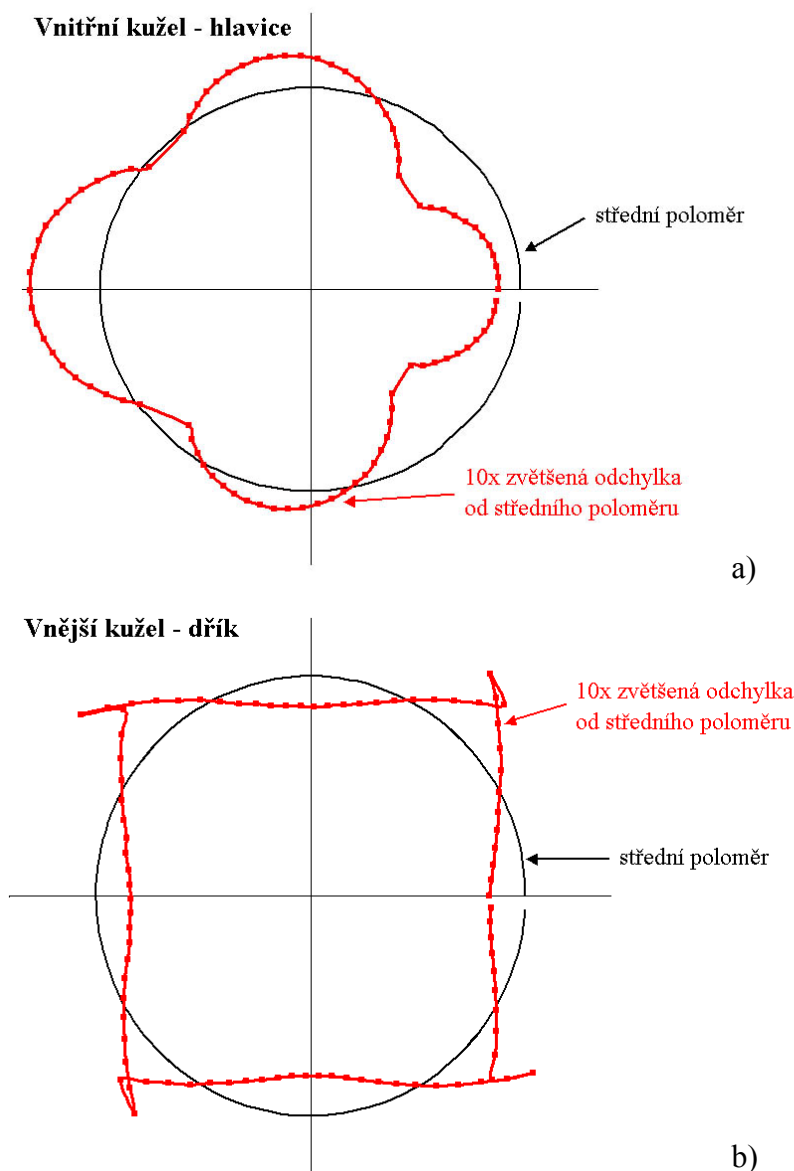
* Ing. Vladimír Fuis, Ph.D. Sdružené pracoviště ÚT AV ČR a ÚMT FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, tel.: +420 5 41142891, fax.: +420 5 41142876, e-mail: fuis@cis.vutbr.cz

** Ing. Pavel Hlavoně Ústav mechaniky těles FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, tel.: +420 5 41142887, fax.: +420 5 41142876, e-mail: hlavon@umt.fme.vutbr.cz

2. REALIZACE MĚŘENÍ VÝROBNÍCH ODCHYLEK NA KUŽELI DŘÍKU A HLAVICE TOTÁLNÍ KYČELNÍ ENDOPROTÉZY

V první fázi řešení problému byla určena počáteční hustota diskretizace měření na kužlech, a to 90 bodů po obvodu kužele (to odpovídá po cca 0,5mm) a po výšce 1mm. Uvedená nerovnoměrnost měření po obvodu a výšce je ovlivněná předpokladem, že změřené výrobní odchylky po obvodu budou vykazovat větší rozdíly než po výšce. Navíc vliv obvodových výrobních nepřesností (modelová nepřesnost typu ovalita) z hlediska zvyšování tahových napětí v hlavici je výraznější než vliv výrobních nepřesností po výšce kužele (odchylka od nominální kuželovitosti) [1].

První plánovaná měření kužele dřívku i hlavice byla u firmy Beznoska s.r.o. (výrobce dřívků kyčelní endoprotézy) na měřicím zařízení IMS IMPACT s měřicím softwarem HTB, které firma využívá pro kontrolu svých výrobků. Po zpracování výsledků měření však byly zjištěny výrazné nesrovnalosti, jak ukazuje obr. 1, na němž jsou vykresleny zvětšené odchylky od střední hodnoty průměru pro vnitřní kužel - hlavici (obr.1a) a pro vnější kužel - dřív (obr.1b). Z analýzy obrázků vyplývá existence systematické chyby měření, kterou bylo neprovedení korekce změřených hodnot

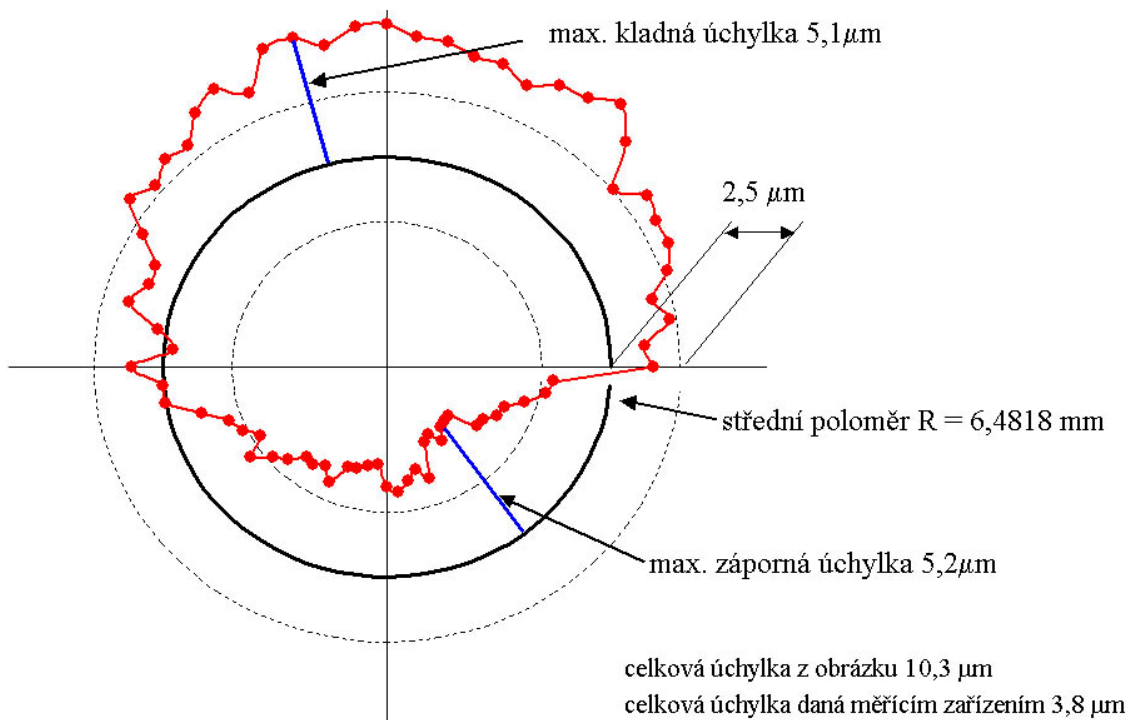


Obr. 1 Zvětšené odchylky pro vnější a vnitřní kužel

z hlediska směru příjezdu měřicího hrotu ke kuželi. Software dodané k měřicímu zařízení sice s korekcí na směr příjezdu hrotu k měřenému objektu počítalo, tzn. byla správně vypočtena kuželovitost a tvarové odchylky, ale nebylo možné se ke zkorigovaným hodnotám dostat. Na výstupu ze zařízení byly pouze nekorigované hodnoty bodů dotyku. Následovaly konzultace s dodavatelem a nakonec i s výrobcem zařízení a programátory softwaru, jejichž výsledkem bylo konstatování, že stávající software neumožňuje požadovaný výstup. Existovaly dvě možnosti, jak situaci řešit. První bylo zakoupení modernějšího softwaru, které však narazilo na problémy s financováním (firma Beznoska nepotřebuje z hlediska jejich měření modernější software), druhou možností byla realizace měření ručně, což nebylo realizovatelné z hlediska časové náročnosti. Z těchto důvodů nebylo možné realizovat uvedená měření ve firmě Beznoska s.r.o.

V době, kdy byly řešeny problémy s měřením ve firmě Beznoska s.r.o. zakoupila firma Saint Gobain Advanced Ceramics s.r.o. (výrobce keramických hlavic kyčelní endoprotézy) podobné, ale modernější měřicí zařízení od stejné firmy, tedy IMS s označením UMPIRE. Naskytla se tedy možnost realizovat měření kuželů na tomto zařízení.

Realizace měření na uvedeném měřicím zařízení IMS probíhá následujícím způsobem. Po upnutí měřené součásti a nastavení typu měřeného útvaru (zde kužele vnějšího či vnitřního) se ručně několika dotyky měřicího hrotu definuje globální poloha kuželové plochy a podstavy kužele. Následuje již naprogramovaná sekvence, která určí základní charakteristiky kužele – bod vrcholu kužele, osu kužele, kuželovitost, nekruhovitost (scanovací etapa). Uvedené hodnoty jsou však pouze odhadem hodnot skutečných, protože jsou získány z řádově 20 dotyků v 8 rovinách. Nyní následuje již vlastní měření s požadovaným počtem dotyků po obvodu a po výšce kužele s tím, že dotyk přijíždí k měřenému kuželi po normále (není tedy nutná korekce na směr příjezdu hrotu, jak tomu bylo u předcházejícího měření). Výstupem z měření je soubor x,y,z souřadnic dotkových bodů.

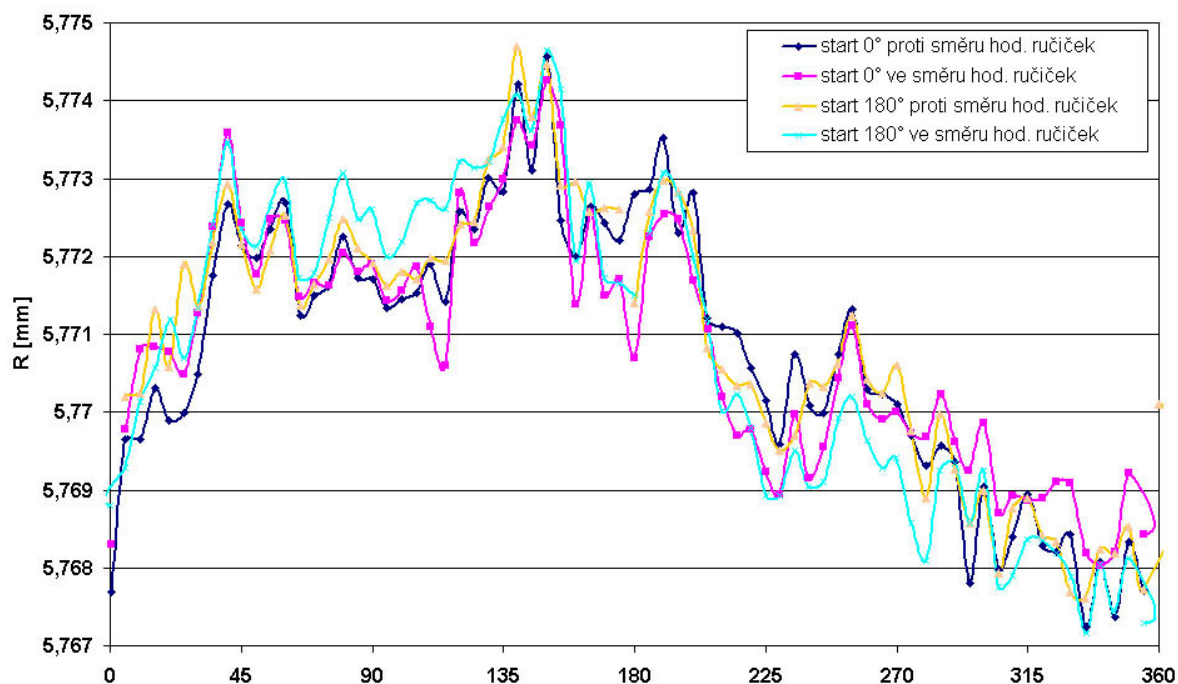


Obr. 2 Zvětšené odchylky pro vnitřní kužel – první měření

Výsledky z měření v jednom řezu kužele jsou znázorněny na obr. 2, na němž je vynesena hodnota středního poloměru a interval $+2,5\mu\text{m}$ a $-2,5\mu\text{m}$, což představuje toleranční pásmo a dále pak zvětšené odchylky od středního poloměru po obvodu kužele (zvětšeno 800x). Z analýzy obr. 2 vyplývá, že maximální tvarová odchylka v daném řezu činí $10,3\mu\text{m}$. Měřicí software však ukazuje podstatně nižší hodnotu tvarové odchylky v daném řezu, a sice $3,8\mu\text{m}$, což bylo potvrzeno i opakovanými měřeními i na dalších kuželech. Z tohoto důvodu byla realizována rozšířená testovací měření, která se zaměřila na:

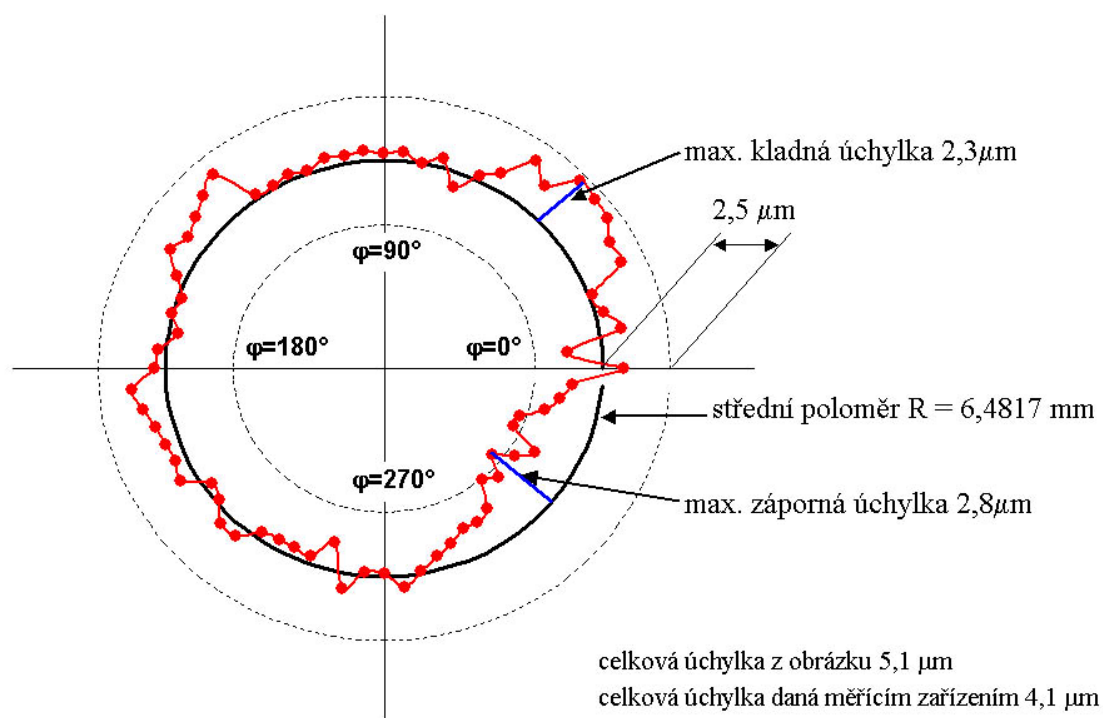
- orientaci pohybu měřícího hrotu vůči kuželi (ve směru a proti směru hodinových ručiček)
- změna polohy začátku a konce vlastního měření kužele (začátek měření v bodě $\varphi=90^\circ$, $\varphi=180^\circ$, $\varphi=270^\circ$ - viz obr.4),
- změnu polohy měřených bodů při prvotním určování globálních charakteristik kužele ve scanovací etapě.

Z výsledků analýzy testovacích měření vyplývá, že orientace pohybu měřícího hrotu ani změna polohy počátku a konce vlastního měření (obr. 3) nemá vliv na změřené hodnoty.

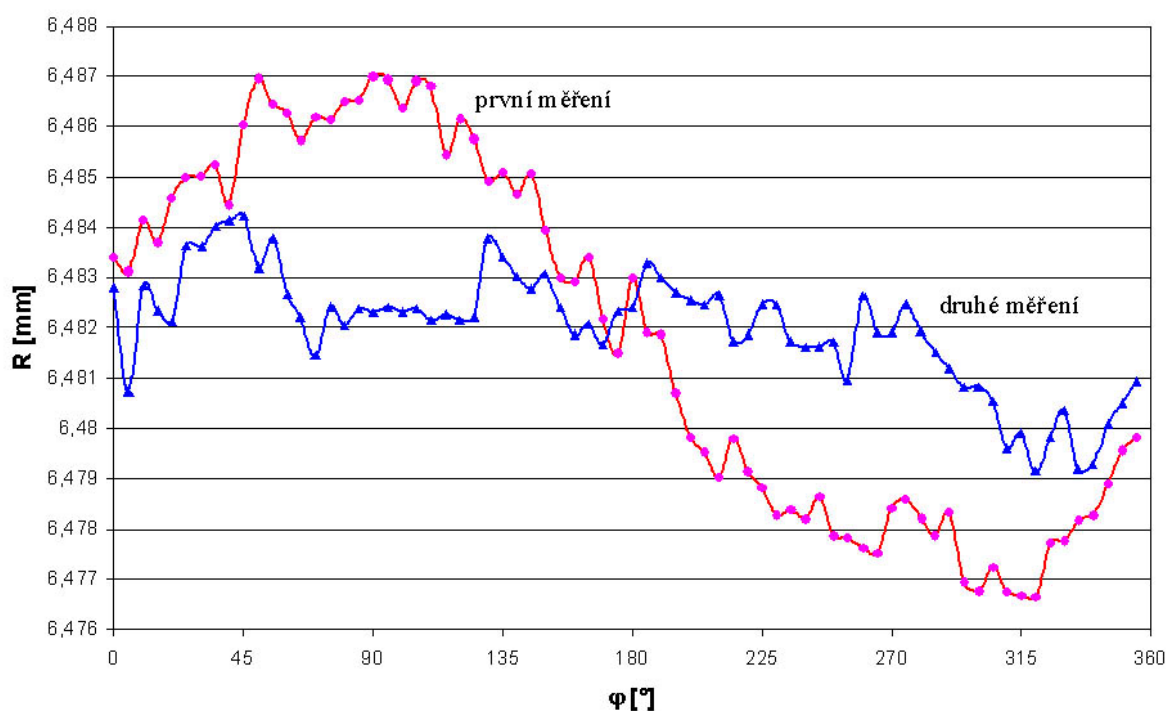


Obr. 3 Změřené hodnoty po obvodu kužele pro různou orientaci pohybu a počátek měření

Realizace měření v jednom řezu pro různé počátky měření ve scanovací etapě při určování globálních charakteristik kužele vedla k různým výsledkům měření, přičemž maximální hodnoty tvarové odchylky byly prakticky stejné obr. 2 a obr. 4 (měření pro stejné kužele, ve stejné hloubce, ale pro různé polohy měřených bodů ve scanovací etapě). V případě druhého měření vykazoval řez úchylku $5,1\mu\text{m}$, celková úchylka daná měřícím zařízením byla $4,1\mu\text{m}$ – ve srovnání s prvním měřením (obr. 2) došlo ke snížení rozdílu naměřených odchylek a odchylek vyhodnocených měřícím zařízením. Z analýzy těchto měření bylo možné usoudit, že změřená data nejsou korigována na vyosení osy měřeného kužele, která se určuje ze scanovacích měření (tvarové odchylky určené měřícím a vyhodnocovacím softwarem však tuto korekci již



Obr. 4 – Zvětšené odchylky pro vnitřní kužel – opakované měření

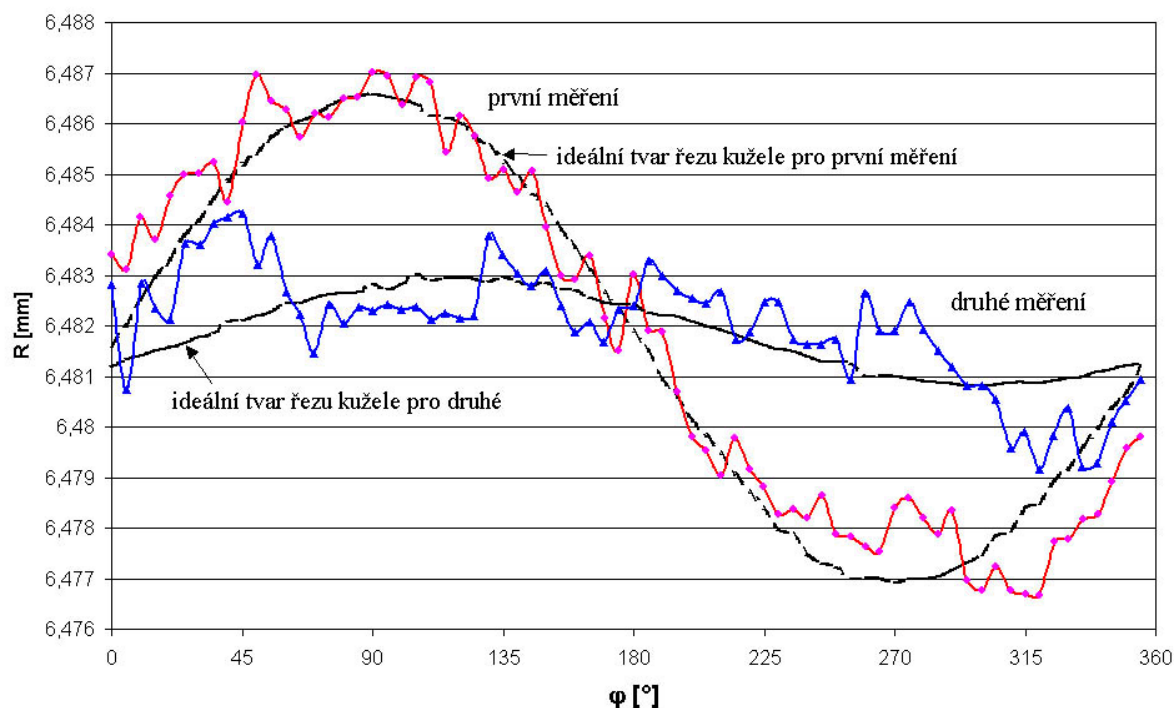


Obr. 5 Rozvinutá měření téhož kužele ve stejném řezu

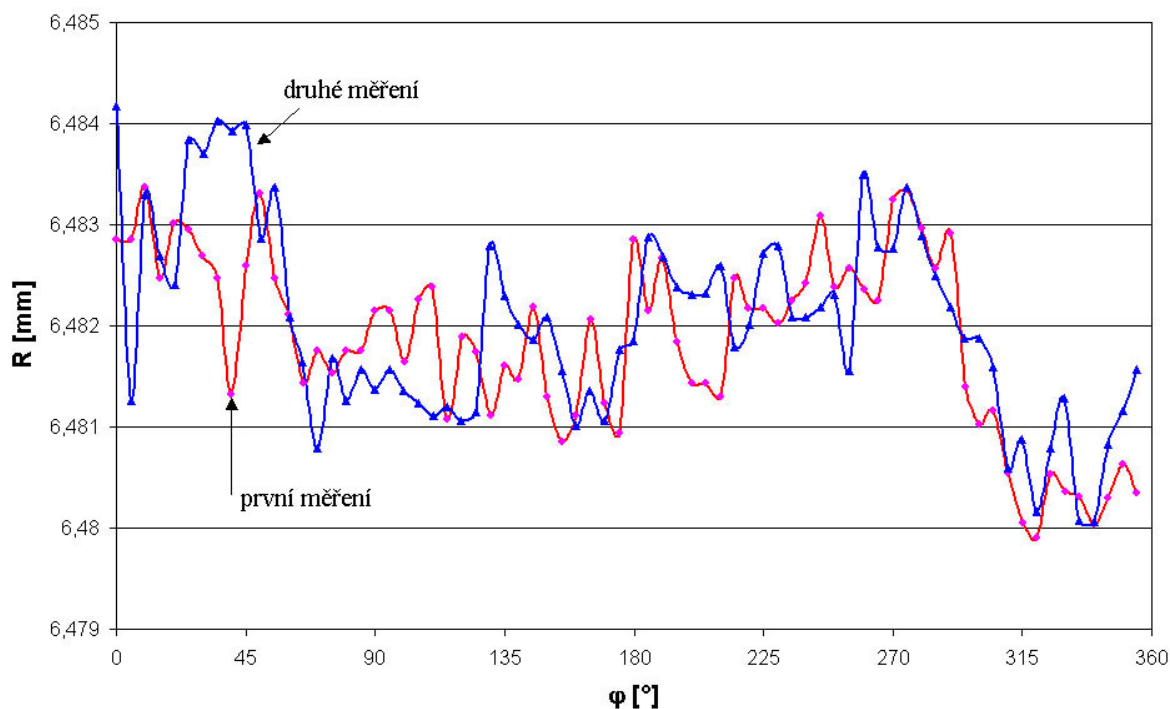
obsahují, a tím je vysvětlen uvedený nesoulad). Pro dosažení souladu bylo nutné kromě polohy změřeného bodu určit i jeho odchylku od ideálního kužele určeného scanováním na začátku každého měření.

Na obr. 5 jsou vykresleny změřené hodnoty z prvního a druhého měření (viz obr. 2 a obr. 4). Následující obrázek – obr. 6 obsahuje navíc i tvar ideálního řezu kužele – je vidět, že se nejedná o přímku s konstantní hodnotou poloměru. Na obr. 7 již

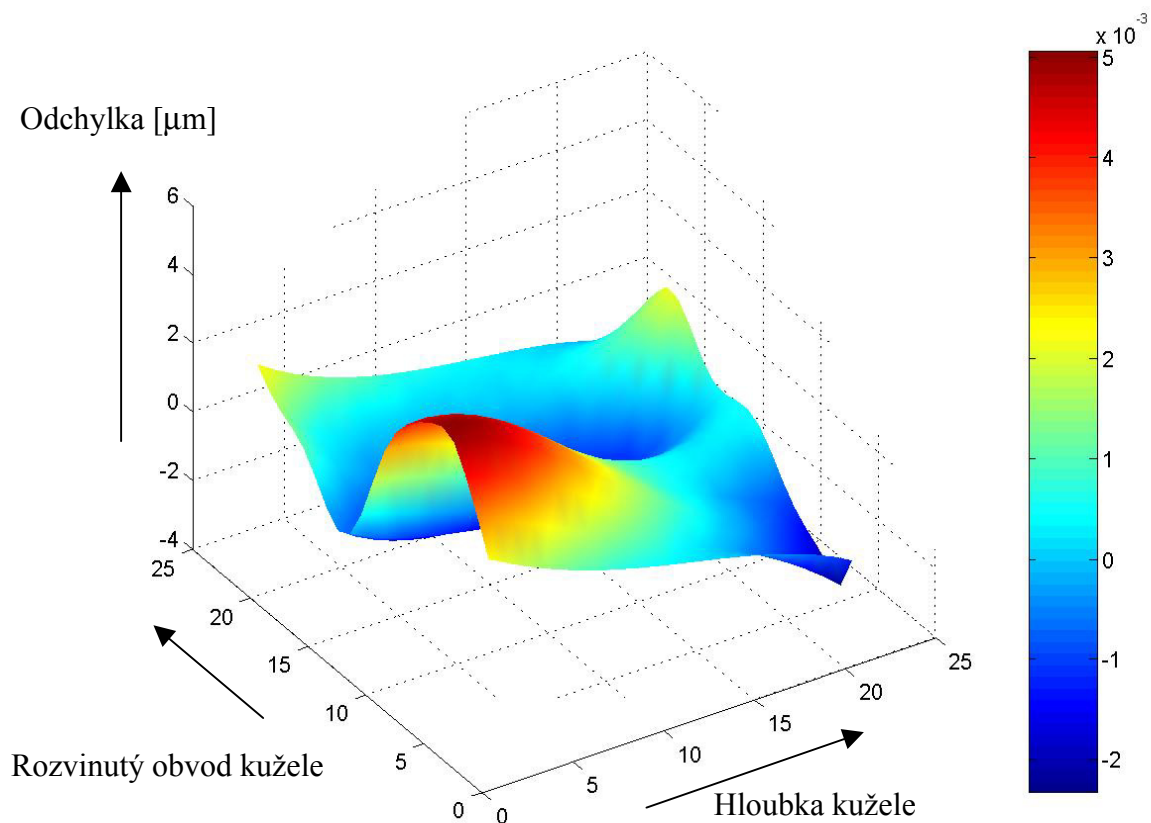
znázorňuje změřená data po obvodu kužele s korekcí na vyosení osy kužele. Z obrázku je patrná dobrá shoda obou měření, i když je výrazný i šum, způsobený tím, že měřené kužele hlavic vykazují malou tvarovou odchylku, která se blíží přesnosti měřicího zařízení. Před implementací do modelů MKP je tedy nutné ještě provést odfiltrování šumu, což se realizovalo v systému Matlab 6.1 pomocí racionálních Bézierových entit. Na obr. 8 je znázorněna odfiltrovaná kontaktní plocha dříku endoprotézy.



Obr. 6 Změřená data doplněná o ideální řez kužele pro každé měření



Obr. 7 Odfiltrovaná změřená data pro obě měření



Obr. 8 Průběh odchylek od ideální kuželové plochy znázorněné na rozvinutém kuželi

Práce byla podporována projektem GAČR 101/01/P039.

LITERATURA

- [1] FUIS, V., JANÍČEK, P.: Stress and reliability analyses of ceramic femoral heads with axisymmetric production inaccuracies. Proceedings IFMBE ISSN 1680-0737. MEDICON 2001 – IX Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing. Part I. pp. 632-635, Pula Croatia, 2001.