

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

COMPARISON OF THE COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL MODELLING RESULTS OF THE HIP JOINT ENDOPROTHESIS BEHAVIOUR UNDER PRESSING ON THE STEM

SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTOVÉHO A EXPERIMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ CHOVÁNÍ HLAVICE KYČELNÍHO KLOUBU NATLAČOVANÉ NA DŘÍK

Vladimír Fuis¹, Pavel Hlavoň²

This paper is concerned with the comparison of the computational and experimental results of the hip joint endoprosthesis ceramic head and stem cone self-adhesive connection. During the experiment according the ISO 7206-5 there were measured the tangential strain on the lower part of the head's sphere and vertically head displacement. The system FEM ANSYS was used for the computational modelling of the system deformation and stresses. The measured shape deflections from ideal cone shapes (from IMS UMPIRE device) were implemented to the FEM model. The comparison of the computational and experimental data were realised for variants with the smooth and toothless stem.

Keywords

Hip joint endoprosthesis, fracture, strain measurement, computational modelling.

Úvod

V současné době se v lékařské praxi nejčastěji používá pro totální náhradu kyčelního kloubu endoprotéza, která se skládá ze dvou komponent: keramické hlavice a dřívku z korozivzdorné oceli. U některých pacientů, kterým byla aplikována česká varianta endoprotézy kyčelního kloubu, došlo k porušení soudržnosti keramické hlavice u nezanedbatelného počtu pacientů. Nejhorší situace z hlediska počtu reoperací kyčelních endoprotéz z důvodu destrukce keramické hlavice je v nemocnici v Havlíčkově Brodě, kde bylo nutné provést již 8 reoperací, což představuje více než 1% všech kyčelních implantací. Z tohoto důvodu bylo realizováno experimentální a výpočtové modelování chování keramické hlavice nasazené na testovací dřív dle ISO 7206-5 (norma na určování statické pevnosti keramických hlavic [1]). Pro zajištění věrohodnosti výpočtově zjištěných hodnot je nutné, aby existoval soulad mezi výsledky získanými experimentálně a výpočtově a touto problematikou se zabývá tento příspěvek.

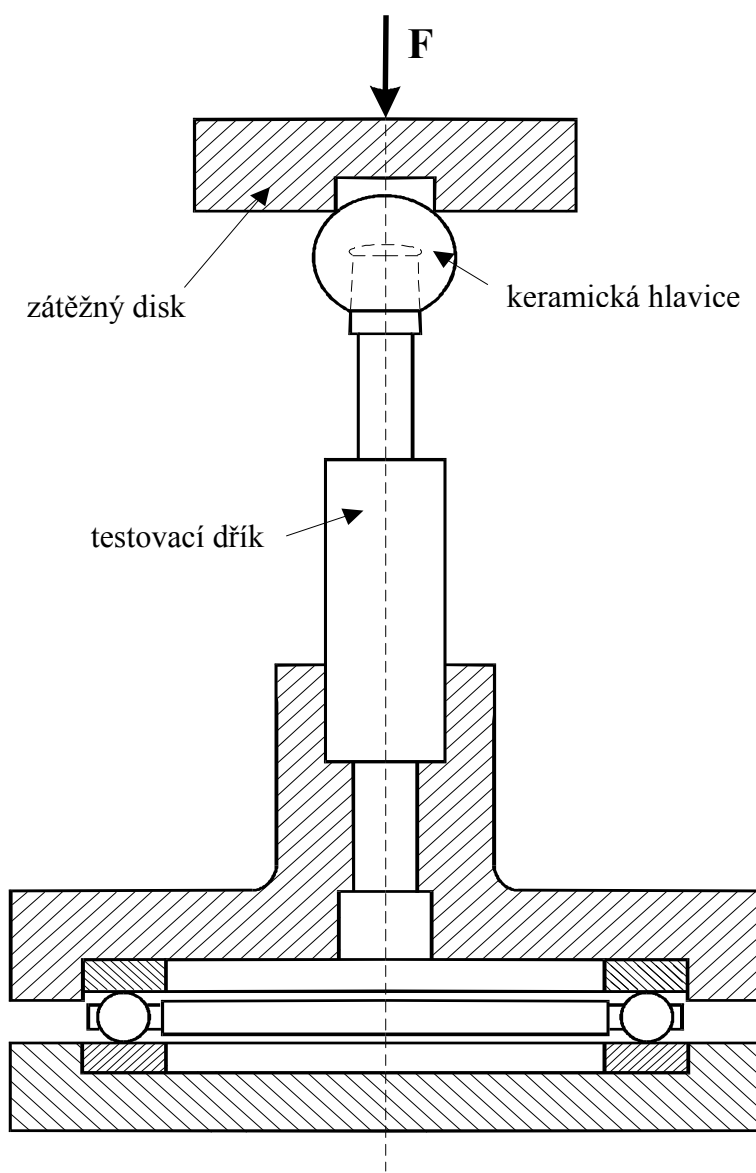
¹ Ing. Vladimír Fuis, Ph.D.: Sdružené pracoviště ÚT AV ČR a ÚMT FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: +420-541 142 891, e-mail: fuis@umt.fme.vutbr.cz

² Ing. Pavel Hlavoň, Ph.D.: Sdružené pracoviště ÚT AV ČR a ÚMT FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: +420-541 142 887, e-mail: hlavon@umt.fme.vutbr.cz

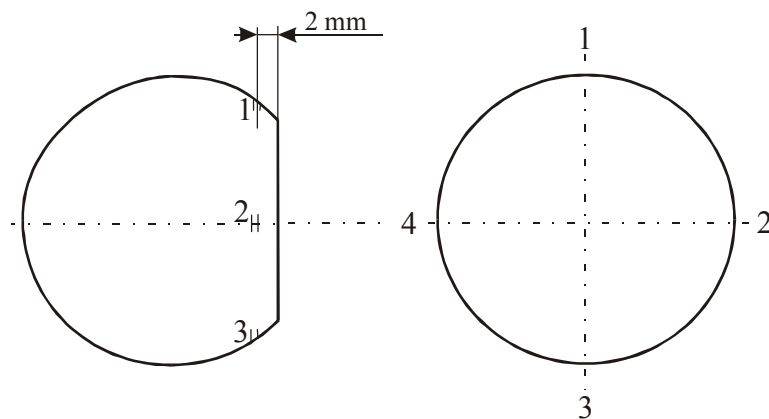
Na konferenci EAN'97 byly publikovány a srovnávány výsledky experimentálního a výpočtového modelování na výpočtovém modelu, který uvažoval pouze rotačně symetrickou výrobní nepřesnost typu „odchylka od nominální kuželovitosti“ viz [2]. V roce 1998 na téže konferenci byly publikovány výsledky srovnávací analýzy pro případ uvažování interakce modelových výrobních nepřesností - rotačně symetrické výrobní nepřesnost typu „odchylka od nominální kuželovitosti“ a ovality kontaktních ploch [3]. Náplní tohoto příspěvku je srovnání výsledků získaných experimentálně a výpočtově na výpočtovém modelu, který již uvažuje reálné tvary kontaktních ploch hlavice a dříku získané měřicím zařízením IMS UMPIRE.

Experimentální modelování

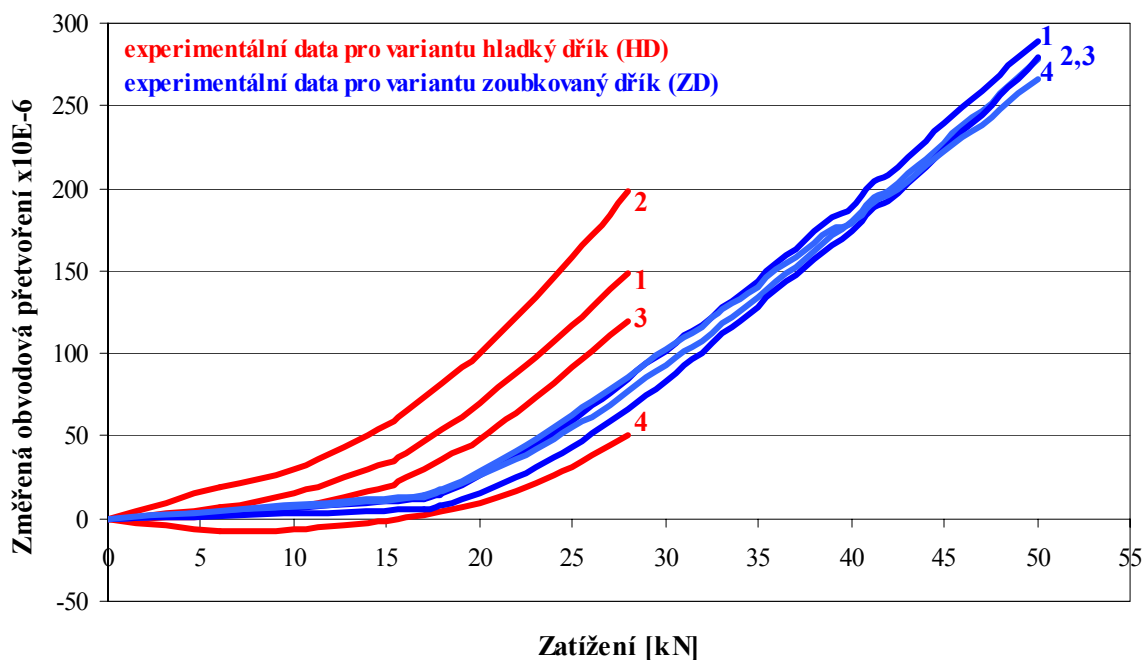
Experimentální modelování bylo realizováno v souladu s ISO 7206-5 na zatěžovacím stroji TIRA TEST 2300. Hlavice je nasazena na testovací dřík, který je upevněn v přípravku a zatěžována



Obr. 1 Uspořádání experimentu dle ISO 7206-5



Obr.2 Poloha tenzometrů na keramické hlavici



Obr. 3 Průběh obvodových přetvoření v závislosti na zatížení soustavy pro variantu HD a ZD

silovým zatížením, jehož výslednice je totožná s osou soustavy (obr. 1). Experimentální modelování bylo realizováno pro dva typy kuželů dříků, které se lišily drsností kuželové kontaktní plochy : dříky hladké – dále označené HD, jejichž drsnost $R_a < 0,4 \mu\text{m}$, a dříky, na jejichž kuželové ploše byly vysoustruženy jemné lichoběžníkové zoubky velikosti řádově desetin milimetru, dále označené jako ZD [4]. Materiál dříků byla konstrukční ocel vykazující elastické chování. Z výpočtového modelování napjatosti a deformace soustavy vyplývá, že maximální tahová napětí a přetvoření, která jsou nejvýznamnější z hlediska křehkého porušení hlavice, mají směr obvodový [4] a maxim nabývají ve spodní části kužele hlavice – viz místo MX na obr. 4. Z tohoto důvodu byly na vnější kulovou plochu hlavice nalepeny tenzometrické snímače (Hottinger 0,6/120LY11) orientované v obvodovém směru – viz obr. 2. Před vlastním experimentálním modelováním bylo realizováno měření výrobních nepřesností kuželového spojení hlavice a dříku na měřícím zařízení IMS UMPIRE.

V průběhu zatěžování soustavy bylo realizováno měření obvodových přetvoření ve čtyřech místech na obvodu hlavice rovnoměrně rozložených po 90° . Výsledky experimentálního

modelování (průběh obvodových přetvoření v závislosti na zatížení) pro oba typy dřívků jsou znázorněny na obr. 3.

Z analýzy výsledků vyplývá:

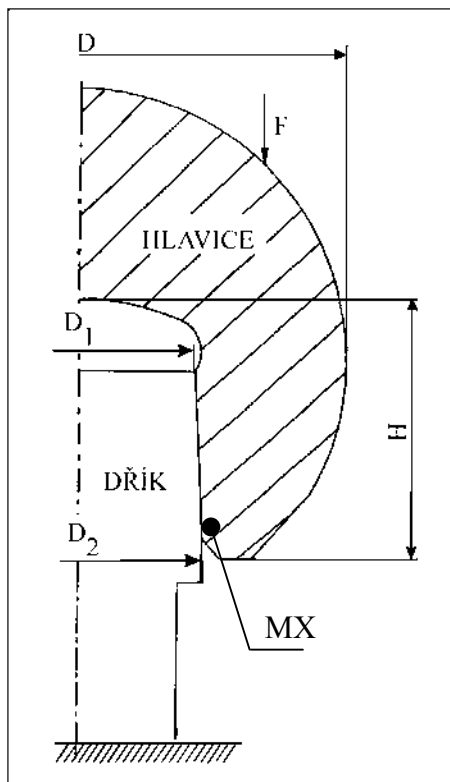
- destrukční síla u HD ($F_{des} = 28 \text{ kN}$) je nižší než u ZD ($F_{des} = 50 \text{ kN}$), přičemž obvodová přetvoření při destrukci hlavice jsou u ZD podstatně vyšší než u HD,
- u HD dochází k nárůstu obvodových přetvoření prakticky ihned od začátku zatěžování, u ZD však dochází k nárůstu obvodových přetvoření až při $F > 17 \text{ kN}$,
- rozptyl hodnot přetvoření je u ZD nižší než u HD.

Dále bylo zjištěno, že v průběhu zatěžování dochází k výraznému otěru kontaktní kuželové plochy dřívku, přičemž platí, že u ZD je velikost otěru podstatně větší a je rovnoměrněji rozložený po kontaktní ploše, ve srovnání s HD.

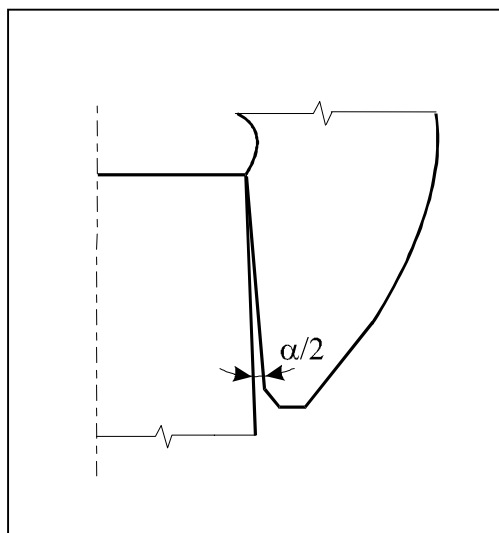
Výpočtové modelování

Pro výpočtové modelování deformace a napjatosti v soustavě byl využit systém MKP ANSYS. Modelová soustava se skládá ze dvou prvků – hlavice a hladkého dřívku (realizace výpočtu na prostorovém modelu s uvažováním zoubkovaného dřívku není v současné době z časového a hardwarového hlediska možná). Uspořádání soustavy odpovídá normě ISO 7206-5 viz obr. 4. Hlavice i dřívku jsou uvažovány jako izotropní kontinua, kontakt mezi hlavicí a dřívkem je modelován jako elastické Coulombovo tření.

Na kuželových plochách dřívku a hlavice byly uvažovány změřené tvarové odchylky, které

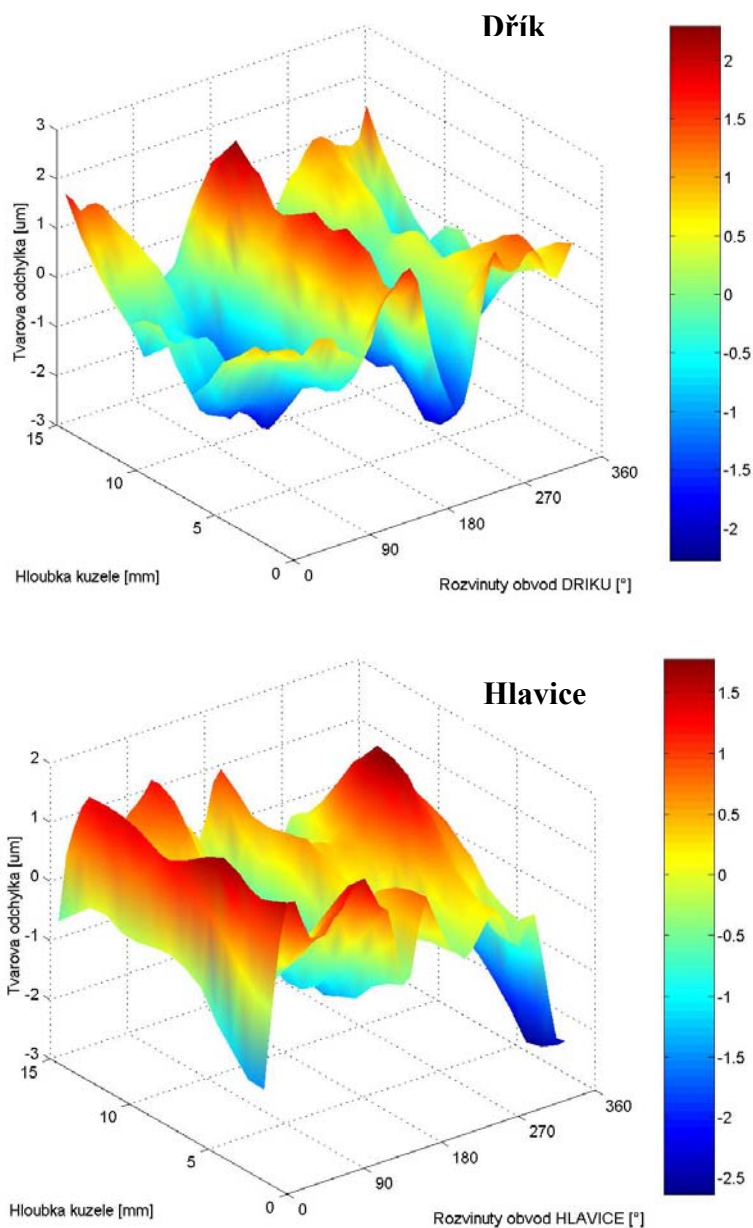


Obr.4 Schéma modelové soustavy



Obr. 5 Konfigurace kontaktních ploch

byly nasuperponovány na kuželové plochy dříku a hlavice se změřenými hodnotami velikosti vrcholového úhlu – pro daný pár je parametrem rozdíl vrcholového úhlu kužele dříku a hlavice – úhel α viz obr. 5). Tvarové odchylky od ideálních kuželových ploch jsou pro ilustraci znázorněny v rozvinutých řezech na obr. 6 (varianta ZD – $\alpha = 7'20''$), u varianty HD byla $\alpha = 6'23''$. Pro srovnání byla uvažována i varianta zahrnující pouze rozdíl vrcholových úhlů kuželů dříku a hlavice.



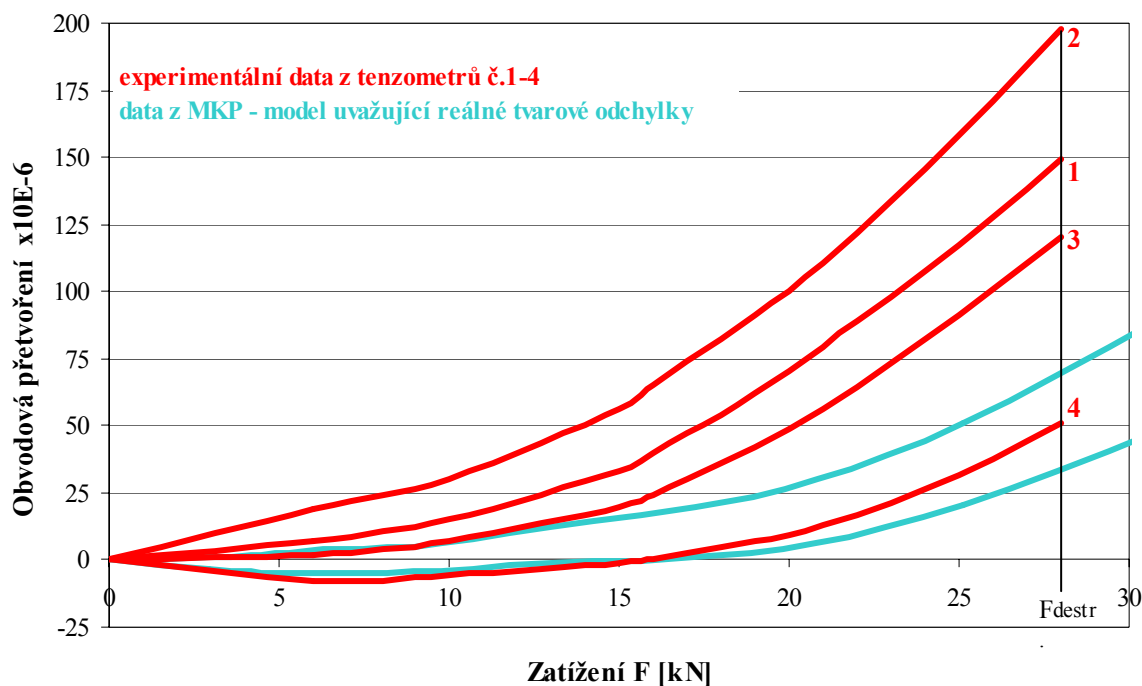
Obr. 6 Grafické znázornění tvarových odchylek od ideálního kuželového tvaru pro dřík a hlavici (varianta ZD)

Srovnání výsledků výpočtového a experimentálního modelování

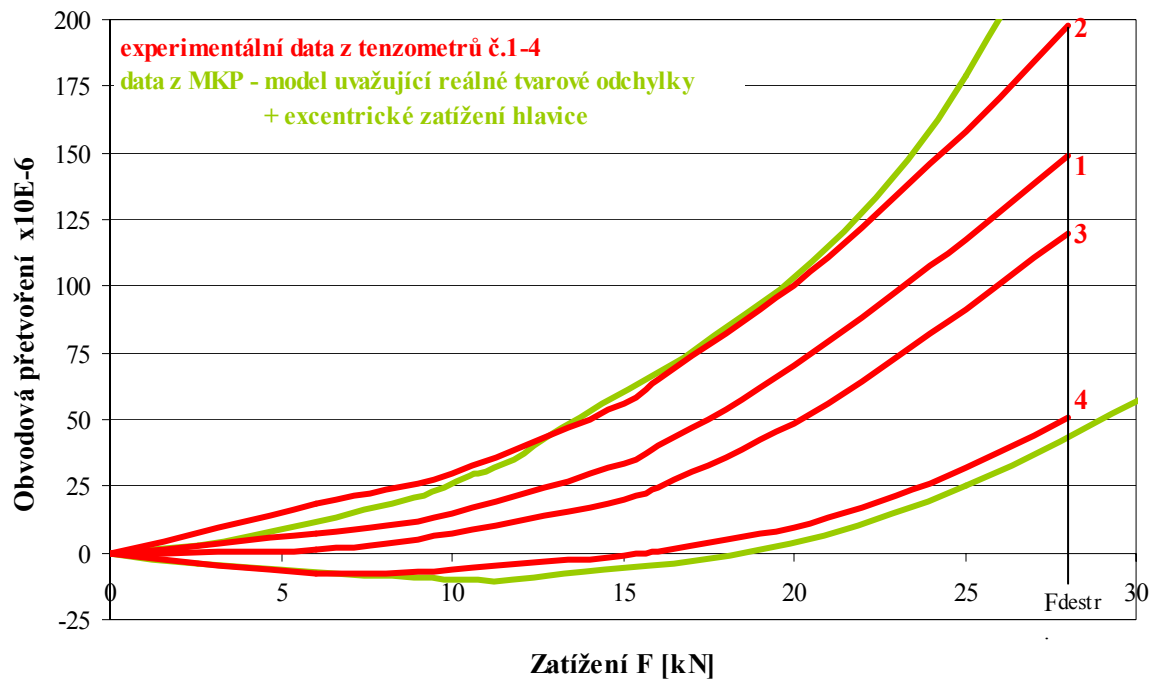
Pro srovnání výsledků výpočtového a experimentálního modelování byly použity hodnoty obvodových přetvoření změřených nebo určených výpočtovým modelováním v oblasti kde byly nalepeny tenzometry. U experimentálně zjištěných výsledků se jedná o hodnoty přímo změřené, u hodnot získaných výpočtovým modelováním se jedná o hodnoty minimální a maximální v analyzované oblasti pro dané zatížení, čímž vznikne určité pásmo hodnot.

Soustava s hladkým dříkem

Průběh hodnot obvodových přetvoření je znázorněn na obr. 3. Srovnání experimentálně určených hodnot s hodnotami získanými výpočtovým modelováním jsou na obr. 7. Z analýzy toho grafu vyplývá nepříliš dobrý soulad mezi vypočtenými a změřenými hodnotami, protože vypočtená data vykazují podstatně nižší rozptyl hodnot přetvoření. Při hledání příčin tohoto nesouladu byly detailně analyzovány kontaktní plochy destruované hlavice, na kterých se nachází produkty výrazného otěru kužele dříku. Bylo zjištěno, že otěr je po obvodu hlavice nerovnoměrný, v jedné oblasti je výrazný po celé výšce hlavice, zatímco ve zbývajících oblastech výrazný není. To vedlo k závěru, že hlavice nebyla nasazena na dřík souose, což způsobilo její nerovnoměrné zatěžování. Pro realizaci srovnání bylo realizováno další výpočet pro zatěžování nerovnoměrné po obvodu, které se realizovalo zatížením pouze v jednom uzlu hlavice. Výsledky z tohoto modelování jsou na obr. 8. Ze srovnání výsledků výpočtového modelování s nerovnoměrným zatížením hlavice a experimentálním modelováním již vyplývá podstatně větší soulad, protože v důsledku nerovnoměrného zatížení hlavice došlo k rozšíření pásu obvodových přetvoření v analyzované oblasti a kontaktní napětí se lokalizovala do oblastí, kde byl zjištěn výrazný otěr.



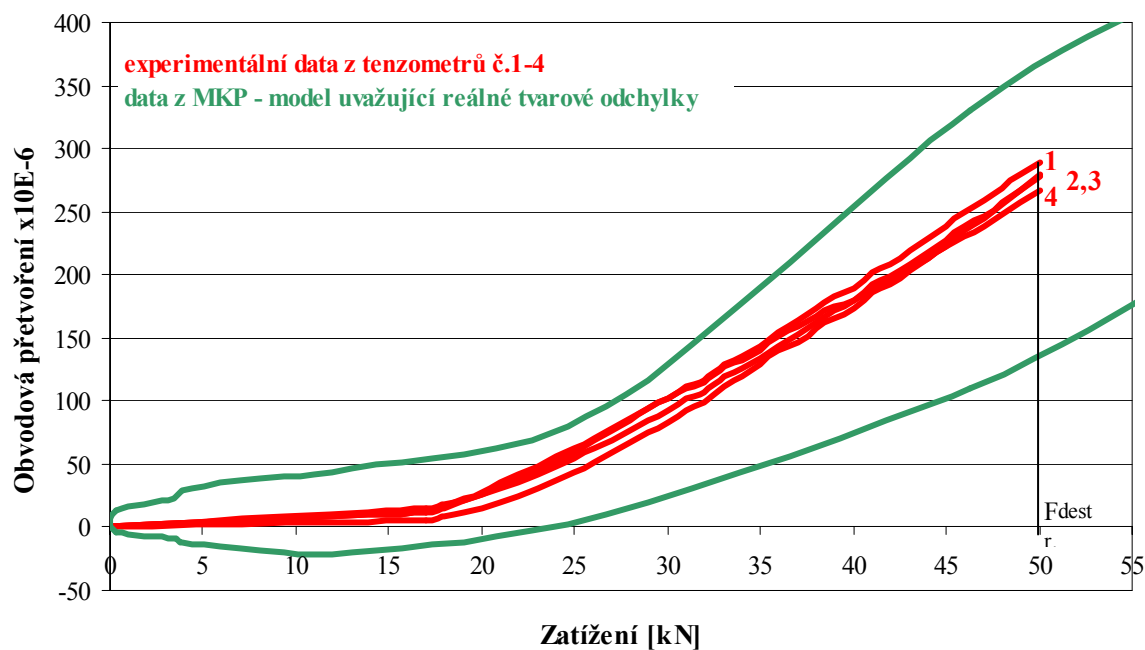
Obr. 7 Průběh experimentálně a výpočtově určených hodnot obvodových přetvoření pro variantu s hladkým dříkem



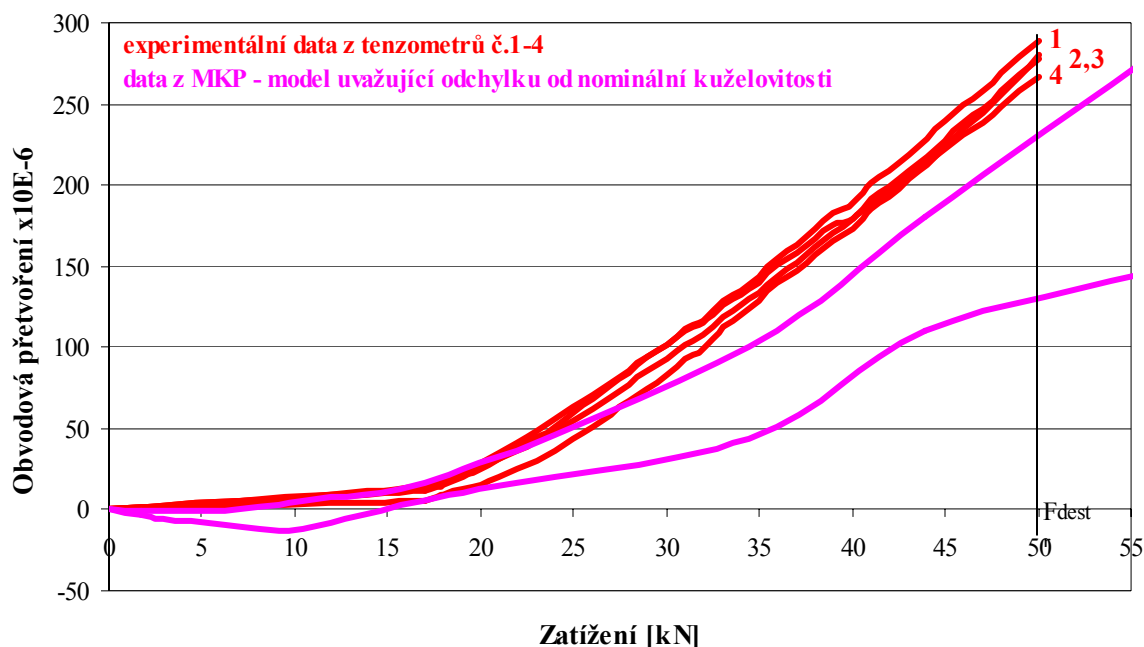
Obr. 8 Průběh experimentálně a výpočtově určených hodnot obvodových přetvoření pro variantu s hladkým dříkem a nerovnoměrně zatíženou hlavici

Soustava se zoubkovaným dříkem

Průběh hodnot obvodových přetvoření je znázorněn na obr. 3. Srovnání experimentálně určených hodnot s hodnotami získanými výpočtovým modelováním jsou na obr. 9. Z analýzy tohoto grafu



Obr. 9 Průběh experimentálně a výpočtově určených hodnot obvodových přetvoření pro variantu se zoubkovaným dříkem



Obr. 10 Průběh experimentálně a výpočtově určených hodnot obvodových přetvoření pro variantu se zoubkovaným dříkem (výpočtový model uvažuje pouze odchylku od nominální kuželovitosti dříku a hlavice

vyplývá, že rozptyl hodnot přetvoření získaných experimentálně je podstatně menší než rozptyl hodnot obvodových přetvoření získaných z výpočtového modelování. To je způsobeno tím, že u soustavy se zoubkovaným dříkem je v průběhu zatěžování výrazný otěr zoubků, čímž se výrazně eliminuje vliv lokálních tvarových odchylek a obvodová přetvoření v místech snímačů vykazují po obvodu hlavice rovnoměrné hodnoty s malým rozptylem. Z hlediska výpočtového modelování není v současné době realizovatelný prostorový model se zoubky na kuželi dříku, což představuje překážku hardwarovou, kterou bude možné překonat s dokonalejším hardwarem. Bariéru při řešení tohoto problému představuje nemožnost modelovat proces otěru a tím přizpůsobování kužele dříku kuželi hlavice v průběhu zatěžování. Z této analýzy tedy vyplývá, že nejsme schopni v současné době dosáhnout souladu experimentálního a výpočtového modelování na soustavě se zoubkovaným dříkem. Můžeme pouze konstatovat, že změřené hodnoty leží v oblasti mezi minimální a maximální hodnotou obvodového přetvoření.

Pro srovnání úrovně modelů bylo realizováno i výpočtové modelování s uvažováním pouze odchylek od ideální kuželovitosti viz obr. 5. Srovnání výsledků výpočtového a experimentálního modelování je na obr. 10, z kterého vyplývá podstatně nižší soulad pro vyšší hodnoty zatěžování, pro něž experimentálně určené hodnoty přetvoření opouští pás definovaný minimální a maximální hodnotou obvodového přetvoření určeného výpočtovým modelováním.

Závěr

Ze srovnání výsledků výpočtového a experimentálního modelování vyplývá, že pro variantu s hladkým dříkem, bylo dosaženo dobrého souladu (při uvažování nerovnoměrného zatížení po obvodu hlavice, což bylo zjištěno experimentálně). Pro soustavu s dříkem zoubkovaným nejsou data určena experimentálně v rozporu s daty určenými výpočtovým modelováním, ale rozptily

jsou nesrovnatelné, což je způsobeno nemožností modelovat proces otěru v průběhu zatěžování, který je u varianty se zoubkovaným dříkem výrazný.

Tato práce byla podporována pilotním projektem GAČR 101/01/P039 a záměrem MŠMT 212600001.

Literatura

- [1] ISO 7206-5: Implants for surgery – Partial and total hip joint prostheses. Determination of resistance to static load of head and neck region of stemmed femoral components. 1992.
- [2] Fuis, V.; Janíček, P.: The role of experiment in the problem of reliability computation of the ceramic head of the hip joint endoprosthesis. Conference Experimental stress analysis EAN'97, pp. 96-101, Olomouc.
- [3] Fuis, V.; Janíček, P.: Analýza chování keramické hlavice zalisovávané na ocelový dřík. Acta Mechanica Slovaca, 2/1998, str. 83-86.
- [4] Fuis, V.: Napjatostní a spolehlivostní analýza keramické hlavice kyčelní endoprotézy. Vědecké spisy VUT v Brně, edice PhD Thesis, sv. 34, Brno, 2000.