

INFLUENCE OF THE MEASURED CONTACT CONE SHAPE DEFLECTIONS OF THE HIP JOINT ENDOPROSTHESIS ON THE STRESS AND RELIABILITY VALUES

V. Fuis*, P. Hlavoň*

Summary: *The paper presents the results of the computational modelling of the stress states in the ceramic head of the hip joint endoprosthesis. The analysed system is loaded according the ISO 7206-5, the connection between the head and the stem is realised by the self-adhesive cone joint. 3D shape deflections of the mentioned cone areas are considered in the analysed systems. The values of the shape deflections were obtained from the measure device IMS UMPIRE (deflections from the roundness in each measured point of the cone areas and the global shape deflection – conicity of the cone). These measured values were implemented to FEM model. The stress and reliability analyses follow. The values of maximum tensile stresses in the head and head's fracture probability curves create dispersion for random head putting on the stem cone.*

1. Úvod

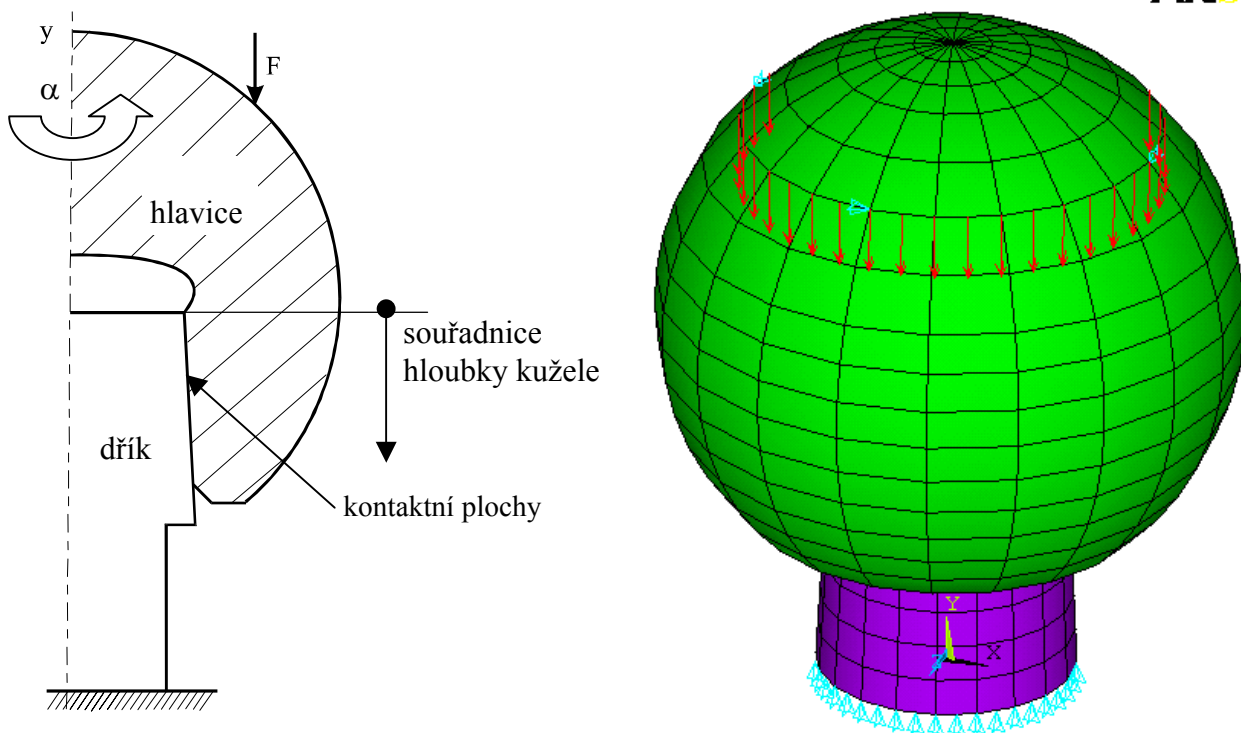
Implantáty se v současné době velmi hojně užívají v klinické praxi k navrácení funkčnosti různých částí lidského těla. Jednou velkou skupinu tvoří implantáty kloubů, přičemž jedním z nejčastěji operovaných kloubů lidského těla je kloub kyčelní. U jednoho konstrukčního řešení kyčelní endoprotézy, které používalo keramické hlavice, docházelo k jejich destrukcím *in vivo*. To byl důvod, proč se začala intenzivně řešit problematika napjatosti a spolehlivosti keramických hlavic totální kyčelní endoprotézy. V průběhu výpočtového modelování se zjistilo, že výrazný vliv na napjatost a tím i na spolehlivost keramické hlavice mají globální a lokální nerovnosti kontaktních kuželových ploch hlavice a dříku obr 1. Dosavadní napjatostně spolehlivostní studie uvažovaly pouze vliv modelových výrobních nepřesností typu odchylka od nominální kuželovitosti a nekruhovitost kontaktních ploch (ovalita) a jejich interakce (Fuis, 2000). Na skutečných kontaktních plochách však existují reálné výrobní nepřesnosti, které se mohou od modelových výrazně lišit. Z tohoto důvodu bylo realizováno měření tvarových odchylek kuželů dříků a hlavic na měřícím zařízení IMS UMPIRE (Fuis, Hlavoň 2002). Obsahem tohoto příspěvku je analýza napjatosti a spolehlivosti v keramické hlavici s uvažováním těchto změřených odchylek kontaktních ploch hlavice a dříku.

* Ing. Vladimír Fuis, PhD., Ing. Pavel Hlavoň, PhD.: Centrum mechatroniky – sdružené pracoviště ÚT AV Č a ÚMT FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, tel.: +420 541 142 891, fax: +420 541 142 876, e-mail: fuis.umt.fme.vutbr.cz

2. Výpočtové modelování

Výpočtové modelování napjatosti se realizuje na soustavě, která se skládá z testovacího ocelového dříku a keramické hlavice. Hlavice je nasazena na kužel testovacího dříku a zatížení této soustavy je v souladu s ISO 7206-5 – obr.1, což je norma pro určování statické pevnosti keramických hlavic kyčelní endoprotézy. Z hlediska geometrických vstupů je možné tvarové odchylky od ideálních tvarů rozdělit na dvě skupiny a to na globální, kterou je odchylka od nominální kuželovitosti dříku či hlavice (rozdíl vrcholových kuželů hlavice a dříku, která pro pár hlavice a dříku č.1 činila $7'20''$, pro pár č.2 činila $5'12''$), a na lokální, které představují tvarové odchylky od ideálního kužele s danou kuželovostí, viz obr.2. a obr. 3. Odchylky od ideálního kužele dříku jsou znázorněny pro pár č.1 v rozvinutém řezu kužele na obr. 2a, na obr. 2b jsou znázorněny tvarové odchylky kužele hlavice. Pro pár č.2 jsou tvarové odchylky znázorněny na obr.3. Z analýzy obr.3b je jasně vidět, že na kuželi hlavice se vyskytovala výrazná lokální tvarová odchylka velikosti $17\ \mu\text{m}$.

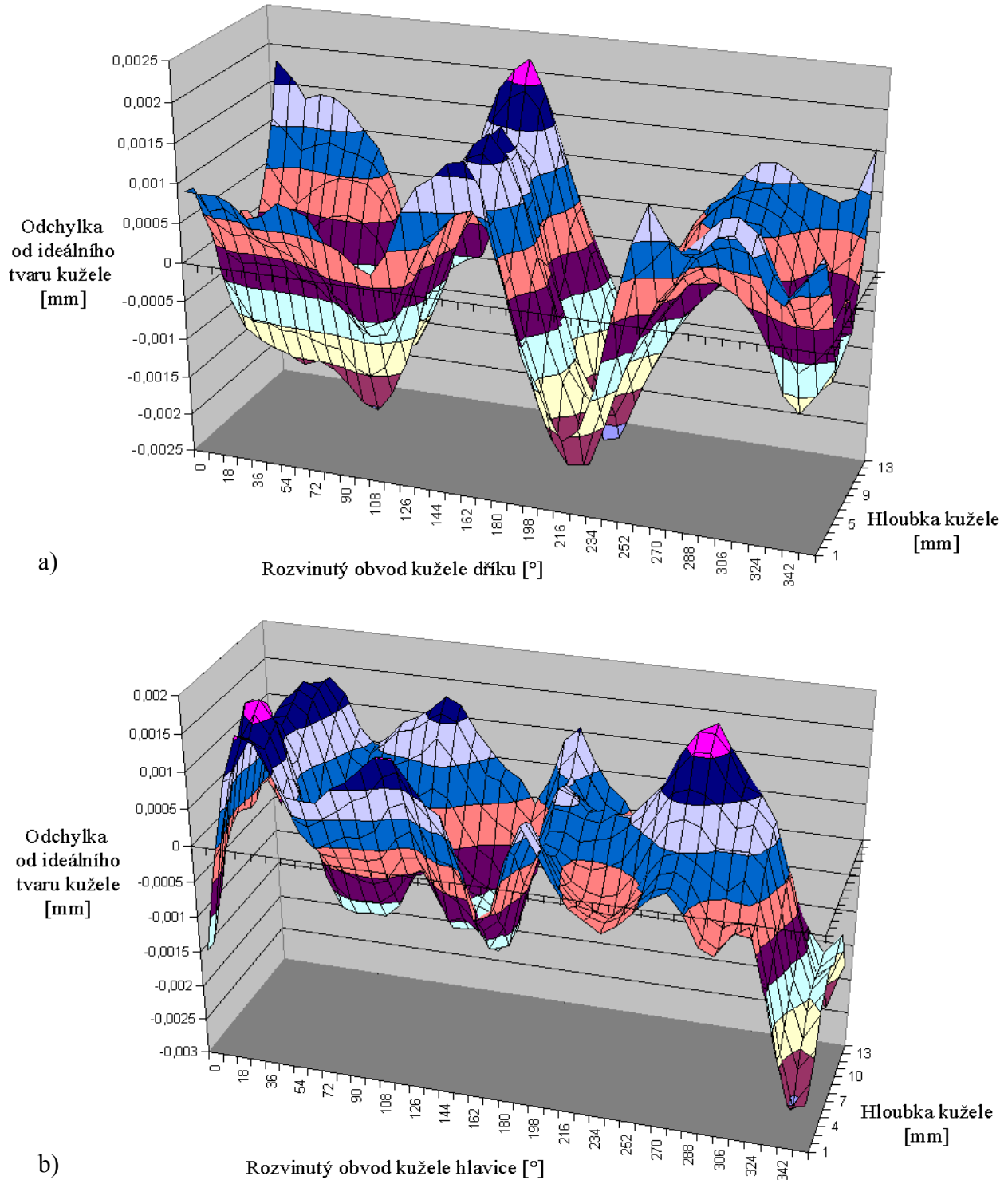
ANSYS



Obr. 1 Schéma a diskretizace analyzované soustavy s okrajovými podmínkami a zatížením

Cílem práce je určení napjatosti a spolehlivosti keramické hlavice endoprotézy *in vivo*, což může výrazně ovlivnit proces implantace endoprotézy, při němž chirurg nasadí hlavici na kužel dříku, který je již vsazen do femuru. Nasazení hlavice na kužel dříku je náhodným procesem z hlediska vzájemné polohy hlavice vůči dříku (ve smyslu natočení hlavice okolo osy y , definované úhlem α – obr. 1). Vzniká tedy otázka, jestli lokální tvarové odchylky kuželů nemohou při náhodném zkompletování vyvolat vysoká tahová napětí, která mohou snížit spolehlivost hlavice. Z tohoto důvodu bude realizována sada výpočtů pro různou polohu hlavice vůči dříku.

Hlavice i dřík jsou modelovány jako lineární izotropní kontinuum, součinitel tření mezi hlavicí a dříkem $f=0,15$. Pro modelování napjatosti v soustavě byl použit systém MKP ANSYS 6.1. Z hlediska vazeb soustavy lze konstatovat, že kromě kontaktu hlavice – dřík, bylo zamezeno posuvu spodní části dříku. Pro zaručení konvergence bylo nutné ještě zamezit rotaci hlavice na dříku. Zatížení soustavy odpovídá normě ISO 7206-5 - silové působení se realizuje jako liniové na kružnici o poloměru 10 mm ve směru osy soustavy (osy y).

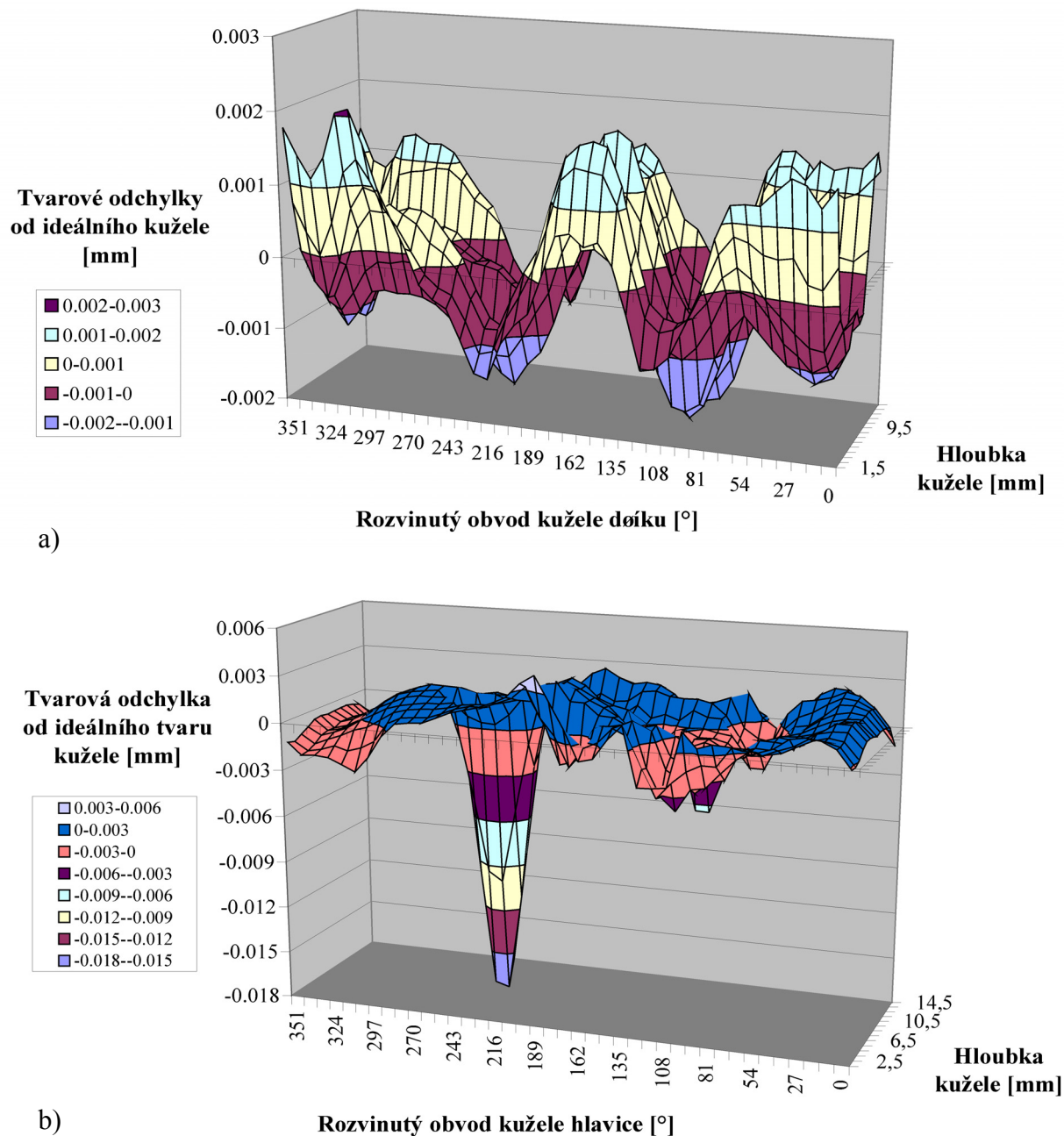


Obr. 2 Odchylky od ideálního tvaru kužele páru č.1: a) kužel dříku, b) kužel hlavice

U spolehlivostní analýzy se realizuje výpočet pravděpodobnosti porušení keramické hlavice, který vychází z 3-parametrické Weibullové teorie nejslabšího článku, kterou je možné použít pro daný druh materiálu. Pro vlastní výpočet platí vztah (Bush, 1993) :

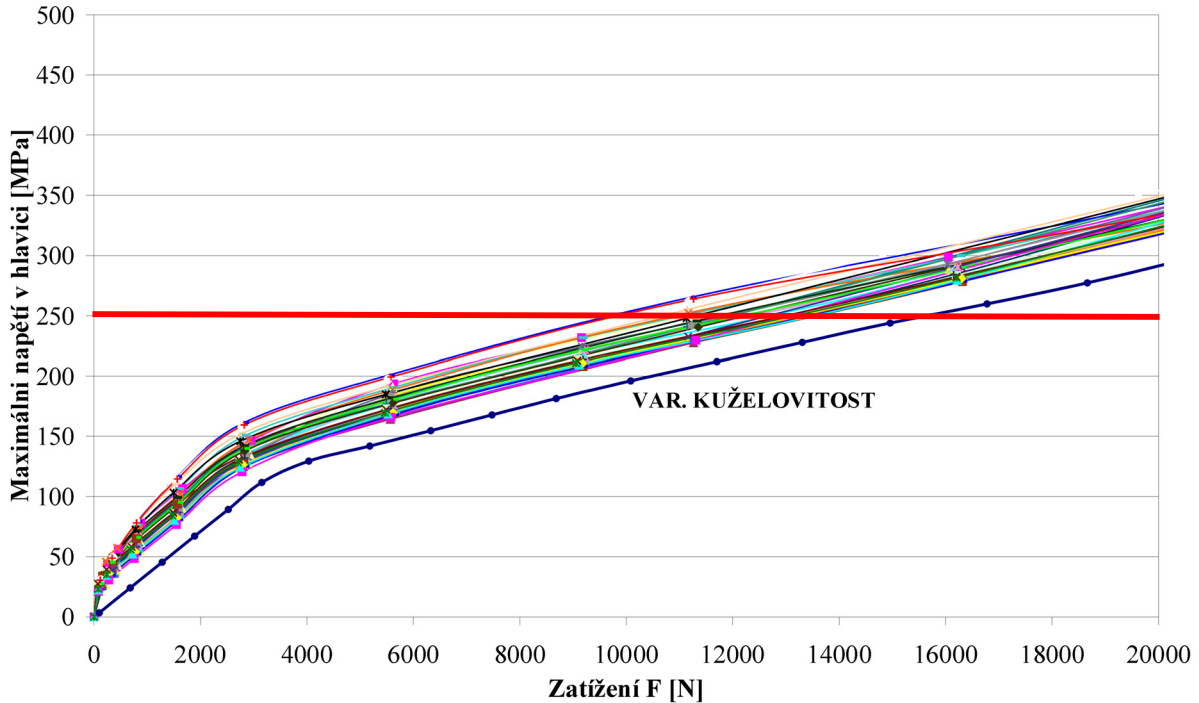
$$P_f = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_i - \sigma_u}{\sigma_o} \right)^m \Delta V_i}, \sigma_i \geq \sigma_u, \quad (1)$$

kde: n - celkový počet prvků, na které je hlavice rozdělena, V_i - objem prvku i , σ_i - napětí σ_1

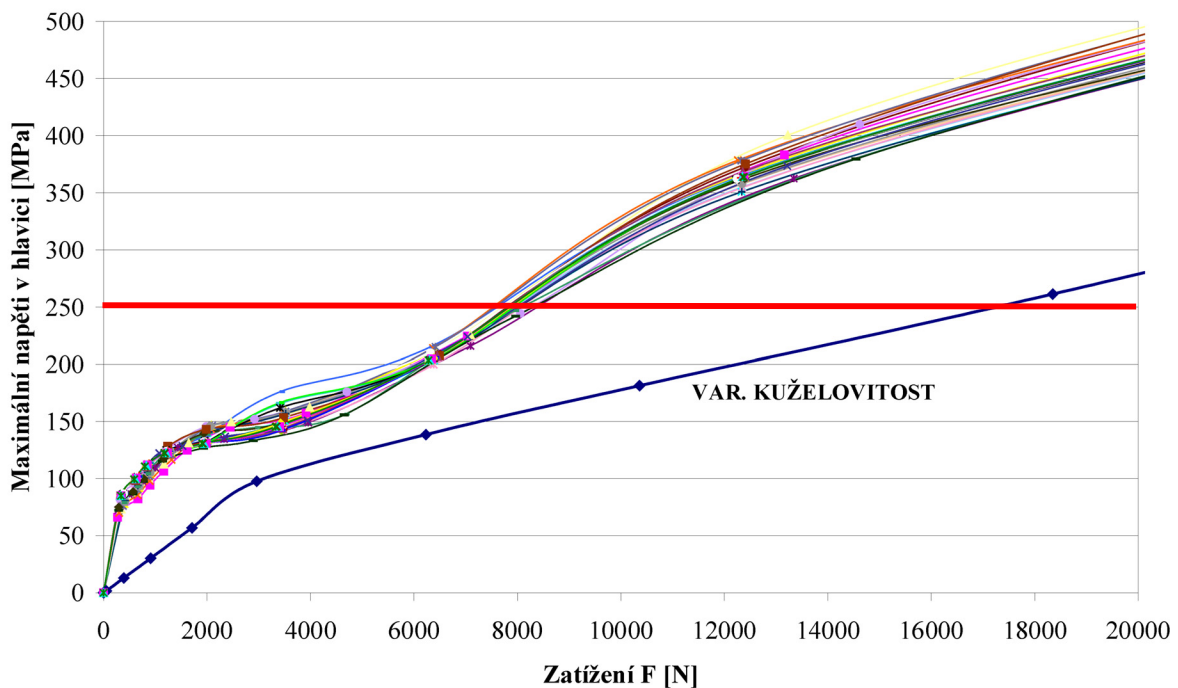


Obr. 3 Odchylky od ideálního tvaru kužele páru č.2: a) kužel dříku, b) kužel hlavice

v objemu V_i , σ_u , σ_o a m jsou materiálové charakteristiky, které se získají ze statistického zpracování výsledků zkoušek 3-bodovým nebo 4-bodovým ohybem vzorků. Z analýzy výsledků ze zkoušek 3-bodovým ohybem vyplývá, že nejlepší soulad experimentálně získaných dat pravděpodobnosti porušení s teoretickými hodnotami je



Obr. 4 Průběh maximálního tahového napětí v hlavici v závislosti na zatížení pro pár č.1



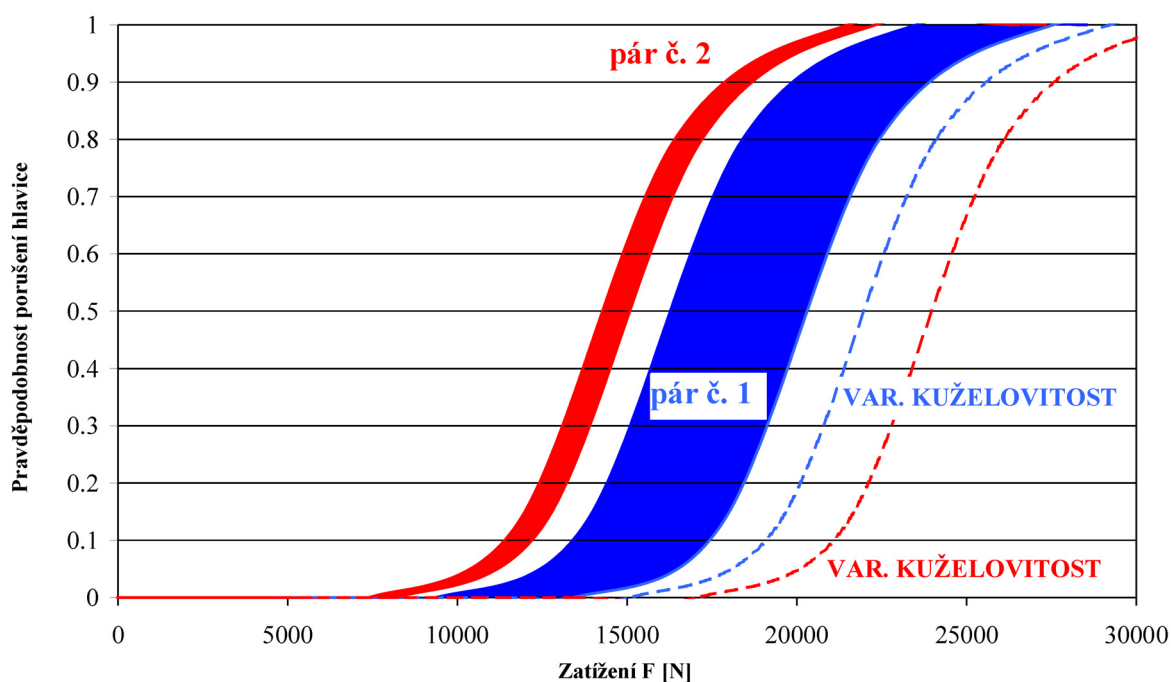
Obr. 5 Průběh maximálního tahového napětí v hlavici v závislosti na zatížení pro pár č.2

pro případ $\sigma_u = 250 \text{ MPa}$. (zbývající materiálové parametry jsou $m = 3,2$ a $\sigma_0 = 238 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{3/3,2}$ (Fuis, 2000)). Obecně lze konstatovat, že v případě použití výše uvedených materiálových parametrů ve spolehlivostní analýze bude hlavice vykazovat nenulovou pravděpodobnost porušení až při maximálním tahovém napětí převyšujícím σ_u , tedy 250 MPa.

3. Analýza výsledků výpočtového modelování

Z hlediska mezního stavu křehké pevnosti keramické hlavice jsou nejvýznamnější první hlavní napětí, která v tomto analyzovaném případě odpovídají napětím obvodovým (Fuis, Janíček, 2001). Na obr.4 a obr.5 je znázorněn průběh maximálních tahových napětí v hlavici (σ_{max}) pro různé polohy natočení hlavice vůči dříku v závislosti na zatížení pro oba analyzované páry. Tyto obrázky jsou doplněny i závislostí σ_{max} pro případ, že se uvažuje pouze odchylka od nominální kuželovitosti a neuvažuje se lokální nekruhovitost – tyto varianty je označeny jako VAR.KUŽELOVITOST. Na obr. 6 jsou znázorněny polohy křivek resp. pásu pravděpodobnosti porušení keramické hlavice pro oba analyzované páry hlavic a dříků. Z analýzy obr.4 až obr.6 vyplývají následující skutečnosti:

- varianty s uvažováním lokálních tvarových odchylek vykazují vyšší hodnoty σ_{max} než VAR.KUŽELOVITOST, což je, způsobeno kontaktem lokálních mikronerovností,
- křivky σ_{max} pro různý úhel α mezi hlavicí a dříkem vytvářejí určitý pás, jehož vertikální šířka je pro pár č.1 je okolo 50 MPa. Šířka pásu závislosti σ_{max} ukazuje, v jakém rozsahu se mohou v hlavici vyskytovat napětí při náhodném nasazení hlavice na dřík při operaci.
- šířka pásu σ_{max} pro pár č.2 je menší než pro pár č.1 což je způsobeno přítomností výrazné lokální tvarové odchylky (obr. 3b) a právě tato tvarová odchylka zvyšuje tahovou napjatost v hlavici při jakémkoliv jejím natočení vůči dříku (ke kontaktu dochází v místě tvarové odchylky při libovolném natočení a maximální tahová napjatost odpovídá napjatosti v této oblasti (Fuis, (2003)). Tento jev je také patrný ze srovnání polohy křivky



Obr. 6 Průběh pravděpodobnosti porušení hlavice v závislosti na zatížení

pro VAR.KUŽELOVITOST a varianty s mikronerovnostmi. U páru č.2 je posun těchto křivek podstatně větší než u páru č.1, což znamená že se u páru č.2 objevila výše zmíněná výrazná tvarová odchylka.

- křivky pravděpodobnosti porušení keramické hlavice vytvářejí podobně jako křivky σ_{max} určité pásy, jejichž šířky odpovídají šířkám pásů σ_{max} .

4. Závěr

Z analýzy výsledků výpočtového modelování napjatosti a pravděpodobnosti porušení keramické hlavice totální kyčelní endoprotézy vyplývá, že při náhodném nasazení hlavice vůči dříku a následném zatížení soustavy dle ISO 7206-5 vykazují hodnoty maximálních tahových napětí rozptyl, jehož hodnota závisí na typu tvarových odchylek. Dále došlo k nárůstu hodnot σ_{max} ve srovnání s variantou uvažující pouze globální tvarovou odchylku, což znamená, že byla zvýšena úroveň výpočtového modelování. Poněvadž je pravděpodobnost porušení hlavice závislá na její napjatosti, vykazují křivky pravděpodobnosti porušení hlavice určité rozptyly srovnatelné s rozptyly σ_{max} . Celkově lze konstatovat, že vliv lokálních tvarových odchylek kontaktních ploch hlavice a dříku endoprotézy není zanedbatelný a jejich analýza je z hlediska spolehlivosti keramických hlavic významná.

5. Poděkování

Tato práce vznikla za podpory grantu GAČR č. 101/01/P039 a výzkumného záměru MSM 262100001.

6. Literatura

- Bush, D. (1993) Designing ceramic components for structural applications. Journal of Materials Engineering and Performance, ASM Int., 2, pp. 851-862.
- Fuis, V., Janíček, P. (2001) Stress and Reliability Analyses of Ceramic Femoral heads with Axisymmetric Production Inaccuracies. Proc. IFMBE ISSN 1680-0737. MEDICON 2001 – IX Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing. Part I. pp. 632-635, Croatia.
- Fuis, V., Hlavoň P. (2002) Experiences with the Measuring of the Manufacturing Inaccuracies of the Hip Joint Endoprosthesis Stem and the Head Contact Areas. Proc. Conference Engineering Mechanics 2002, pp. 59-60, Svatka.
- Fuis, V. (2000) Stress and Reliability Analyses of the Hip Joint Endoprosthesis Ceramic Head. Scientific record of Brno University of Technology, edition PhD Thesis, Vol. 34, Brno.

Fuis, V. (2003) Stress and reliability analyses of the hip joint endoprosthesis ceramic head with measured manufacturing inaccuracies. Conference Applied Mechanics 2003, Jaworzynka, Poland (v tisku).