

## EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF THE CHARACTERISTICS OF SILICONE MED 4550 FOR FEM SIMULATION

**J. Koukalová\*, Z. Horák\*, P. Tichý\***

**Summary:** *The Laboratory of Human Biomechanics, CTU in Prague is engaged in development of spinal replacement, among others on the basis of silicone. The design of the new type of spinal replacement assumes the restoration of the physiological properties in spine segment especially its normal mobility. One of the methods to predicate the functional properties of these replacements is a computer simulation using Finite Element Method. The necessary condition for relevant simulation of polymer material is the determination of their material properties that are not readily available. From that reason was necessary to perform the experimental measurement of the silicone material characteristics. On basis of the measured characteristics it was possible to determine the material parameters for several description of the material that are implemented in the environment of Finite Element Method solver.*

### 1. Úvod

Degenerativní onemocnění páteře je problémem nejenom medicínským, ale i sociálním a v neposlední řadě také problémem ekonomickým. V klinické praxi se jeví jako nejefektivnější léčebný postup pokročilých stádií degenerativního onemocnění páteře operativní léčba postižených segmentů. Pro operativní řešení se uplatňují s ohledem na stupeň poškození dva rozdílné přístupy. Prvním je pevné spojení sousedních obratlových těl tzv. fúzí a druhým je implantace pohyblivých náhrad meziobratlového kloubu. Ve světě se již úspěšně vyrábí a implantuje několik typů pohyblivých náhrad (např. SB Charité III, ProDisc) tyto náhrady však mají své nevýhody (nulová torzní tuhost, malé nebo žádné tlumení axiálních sil, nutnost zevní fixace) a jejich použitelnost je proto omezena na velmi úzké spektrum cca 5% pacientů s nízkým stupněm degenerací páteře. Proto je celosvětovým trendem vývoj nových typů totálních spinálních náhrad, které by co nejpřesněji kopírovali fyziologické poměry v páteři.

Pracoviště laboratoře biomechaniky při ČVUT v Praze se zabývá vývojem spinálních náhrad, mimo jiné na bázi silikonu MED 4550. Jednou z metod predikce funkčních vlastností těchto náhrad je simulace pomocí MKP. Nutnou podmínkou pro relevantní simulaci polymerních materiálů je určení jejich materiálových vlastností, které nejsou běžně dostupné. Z tohoto důvodu bylo nutno provést experimentální měření charakteristik silikonu.

\* Ing. Jana Koukalová, Ing. Zdeněk Horák, Ing. Petr Tichý: Laboratoř biomechaniky, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky; Technická 4, 166 07, Praha 6; Tel: +420 224 352 527, Fax: +420 233 322 482; email: [koukalov@biomed.fsid.cvut.cz](mailto:koukalov@biomed.fsid.cvut.cz)

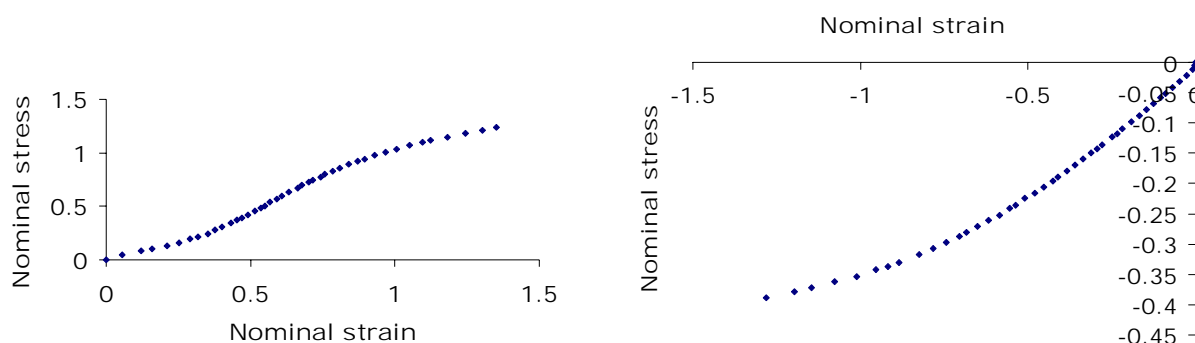
Na základě naměřených charakteristik bylo možno určit materiálové parametry pro příslušné popisy materiálu, které jsou implementovány v prostředí MKP řešiče.

## 2. Metody

Experimentální měření charakteristik silikonu MED 4550 bylo provedeno podle normy ČSN ISO 37 - Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Stanovení tahových vlastností a ISO 7743:2004 Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of compression stress-strain properties.



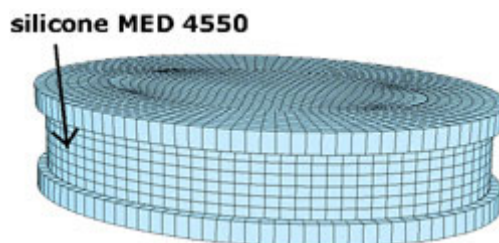
Obrázek 1 Testovací zařízení MTS 858.2 mini Bionix



Obrázek 2 Naměřené charakteristiky silikonu MED 4550

Ve výpočetním programu ABAQUS se pro elastomerní materiály používá materiálový model hyperelastického materiálu. K vyjádření potenciálu deformační energie je k dispozici několik modelů – polynomický (včetně speciálních případů například redukovaný

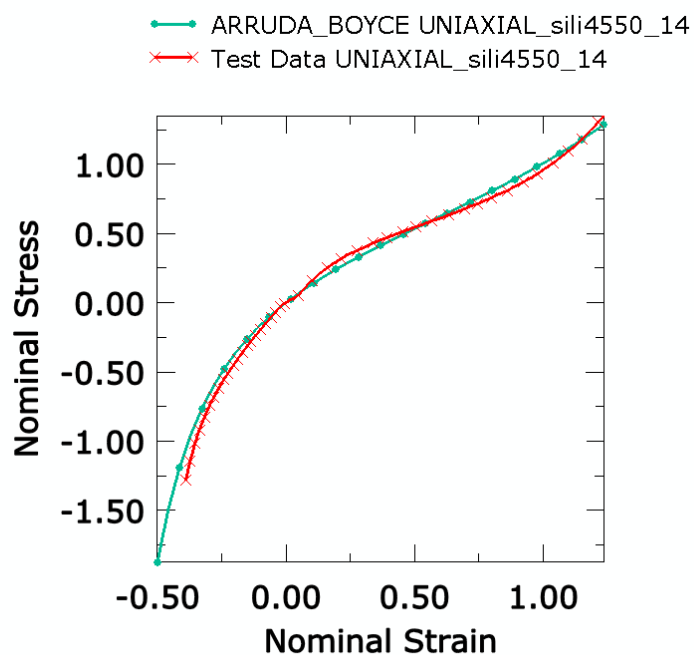
polynomický, Neo-Hook, Mooney-Rivlin a Yeoh), Ogden, Arruda-Boyce, Van der Waals a Marlow. Na základě naměřených experimentálních dat z jednoosých tahových a tlakových zkoušek byla provedena ověřovací analýza vhodnosti použití jednotlivých modelů.



Obrázek 3 MKP model spinální náhrady

### 3. Závěr

Materiálový model Arruda-Boyce nejlépe odpovídá experimentálním datům.



Obrázek 4 Porovnání naměřených dat s materiálovým modelem Arruda- Boyce

Tvar potenciálu deformační energie pro model Arruda-Boyce je

$$U = \mu \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{\lambda_m^{2i-2}} (\bar{I}_1^i - 3^i) + \frac{1}{D} \left( \frac{J_{el} - 1}{2} - \ln J_{el} \right) \quad , \quad (1)$$

kde  $U$  je potenciál deformační energie;  $J_{el}$  je elastický objemový koeficient;  $\bar{I}_1$  je první invariant; a  $\mu, \lambda, C_i$  a  $D$  jsou materiálové konstanty.

#### 4. Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Ministerstva školství: Transdisciplinární výzkum v biomedicínkém inženýrství 2, No. MSM 6840770012 a grantu No. 106/05/2174 Grantové agentury České republiky.

#### 5. Literatura

- M.J. Faber, M.C. Schamhardt (1999) Determination of 3D spinal kinematics without defining a local vertebral coordinate system *Journal of Biomechanics* 32, pp. 1355 – 1358.
- R. Eberlin, G.A. Holzapfel, C.A.J. Schulze – Bauer (October 2000) An anisotropic constitutive model for annulus tissue and enhanced finite element analyses of intact lumbar disc bodies *Computational Biomechanics*, Austria.
- Callaghan JP, Patla AE, McGill SM (1999) Low back three-dimensional joint forces, kinematics and kinetics during walking. *Clin Biomech* 14 203-216.