

**Oponentský posudek  
na diplomovou práci Jany Turjanicové**

**„Elecro-Mechanical Coupling in Porous Bone Structure – Homogenization Metod  
Application“**

Diplomová Jany Turjanicové se věnuje velmi složitému problému mechaniky kontinua: modelování makroskopického chování struktury, které je silně závislé na složitě, často i hierarchicky uspořádané mikrostruktuře. Diplomantka vychází z prací školitele, který se dlouhodobě věnuje pokročilým homogenizačním technikám. Diplomová práce je zaměřena na modelování chování poroelastického materiálu a elektro-mechanické vazby v porézní struktuře kostí. Jde o velmi složitou strukturu, která se skládá z pevné matrice a tekutinou prosycených kanálů. Klíčovým modelovým předpokladem pro použití homogenizace je periodičnost dané struktury. To samozřejmě není u živých tkání splněno prakticky nikdy, nicméně pro vystižení podstatných souvislostí mikrostruktury a makroskopického chování jde o předpoklad velmi rozumný.

**Popis práce**

Práce je členěna na šest kapitol včetně úvodu a závěru. V úvodu je stručně, avšak výstižně popsána motivace k tomu zabývat se takovým problémem, přehled posledních prací z této oblasti, cíle diplomové práce a její struktura. Druhá kapitola přehledně shrnuje základní strukturní a morfologické poznatky týkající se kostí a kostní tkáně, důležité je rozdělení na trabekulární a kortikální tkáň a přítomnost tekutiny v kostní tkáni. Třetí kapitola se věnuje otázce porozity a je klíčová pro následné modelování. Kortikální kostní tkáň je zde představena jako struktura se dvěma úrovněmi porozity: mikroskopickou a mesoskopickou.

Čtvrtá kapitola je již rozsáhlá a věnuje se homogenizaci zohledňující čistě mechanické chování poroelastické struktury. Je zde naznačena základní idea homogenizace a obecné principy této metody. Výklad je ovšem směřován k popisu poroelastické struktury. Je zejména objasněna volba reprezentativní periodické buňky, která zohledňuje definovanou mikrostrukturu speciálního poroelastického materiálu – kortikální kostní tkáně. Na této mikroskopické úrovni jsou formulovány rovnice mechanické rovnováhy včetně slabé formulace. Přechod k homogenizovaným rovnicím je proveden rozvojem v parametru  $\epsilon$ , který kvantifikuje vztah mikro- a meso- úrovně. Tato homogenizace se provádí současně na testovacích funkcích a tak jsou konzistentním způsobem získány fyzikální rovnice přímo ve slabé formulaci. Je provedeno srovnání s fenomenologickým modelem poroelasticity (Biotův model). Kapitola je završena numerickými simulacemi a parametrickými studiemi navrženého modelu.

Pátá kapitola se zabývá elektro-difúzí v porézní struktuře kortikální kostní tkáně. Přítomnost iontů v pórech vede k řadě zajímavých fyzikálních jevů (mikroskopický pohyb iontů uvnitř jednotlivých pórů vyvolává makroskopicky pozorovatelný elektrokinetický jev). Velmi zajímavým je piezoelektrické chování, kdy jsou změny v mikroelektrickém chování indukovány mikrodeformacemi. Diplomantka v této části formuluje mikroskopické elektrostatische rovnice a rovnice popisující pohyb jednotlivých iontů. Rovnice jsou opět zformulovány ve slabé formulaci a je provedena homogenizace. Pak je sestaven diskretizovaný makroskopický model, který je vhodně implementován pro FE řešení. Na závěr jsou popsány numerické simulace provedeny v jazyku StePy.

považuje jako teplota lidského těla?). Uvítal bych i diskusi o realističnosti předpokladů modelových aproximací.

5. Diskuse k velmi zajímavým výsledkům numerických simulací v 5.11.6 je poměrně stručná. Uvítal bych obsírnější diskusi a zejména zřetelnější vysvětlení otázky, kterou si diplomantka klade v závěru této části.
6. Naznačené piezoelektrické chování v 5.3 je zajisté velmi složitým problémem. Bylo by možno alespoň naznačit možné zahrnutí tohoto jevu do modelování elektro-osmózy?

## **Závěr**

Práce má vysokou odbornou úroveň, věnuje se velmi důležitému tématu a přináší nové výsledky, které je dále možno rozvíjet a publikovat v kvalitních časopisech. Vysoce hodnotím schopnost diplomantky zvládnout za relativně krátký časový úsek tak náročné téma.

Práci hodnotím známkou **výborně**.

V Plzni, 21. 6. 2013



Doc. RNDr. Miroslav Holeček, Dr.  
Západočeská univerzita v Plzni