

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta,
Matematický ústav UK

Posudek na PhD práci v oboru F11 „Matematické a počítačové modelování“
Název práce: **Self-excited oscillations of elastic tubes induced by fluid-structure interaction**

Autor práce: Vítězslav Štembera

Pana Mgr. Vítězslava Štemberu znám od r. 2002 kdy jsem byl vedoucím jeho diplomové práce s názvem „The flow through visco-elastic tubes“. V této práci se velmi podrobně zabýval vznikem a numerickou simulací samobuzených oscilací při proudění vazké tekutiny elastickou trubicí v 1D aproximaci. Již z jeho diplomové práce bylo patrné, že má o studovanou problematiku velký zájem a proto si podobné téma- jeho pokračování- zvolil jako téma doktorské disertace.

Předkládaná doktorská práce se zabývá matematickou formulací a návrhem výpočtového algoritmu pro numerické simulování interakce proudového pole tekutiny s elastickým trubicí. Zvýšená pozornost je věnována materiálovému popisu stěny trubice, která je uvažována jako nelineární hyperelastický materiál Neo-Hookeovského typu s anisotropií typickou pro cévy. Zvolený typ anisotropie modeluje dva nezávislé systémy kolagenních vláken zvyšujících elasticitu ve zvolených směrech. Zahrnutím této anisotropie se materiálový model cévy velmi přibližuje skutečné cévě studované in vitro.

Hlavním cílem práce bylo nalezení a numerická realizace algoritmu umožňujícího modelovat samobuzené oscilace při proudění elastickými trubicemi blízkými svými vlastnostmi lidským tepnám. Ke splnění tohoto cíle bylo třeba:

- formulovat anisotropní vlastnosti tepenné stěny
- nalézt stabilní numerický algoritmus, zvláště pak při realizaci podmínek interakce pevná stěna – kapalina
- ověřit numerický algoritmus na vhodných testovacích příkladech
- otestovat navržený algoritmus s dostupnými experimentálními výsledky .

Vypracovaná metoda umožňuje modelovat velké 3D deformace pevného nestlačitelného materiálu Neo-Hookeova typu v interakci s nestlačitelnou vazkou tekutinou. Proudění tekutiny je z důvodů časové náročnosti výpočtu modelováno jen v 1D přiblížení.

Vlastním přínosem autora je jednak velmi obecná formulace materiálových vlastností cévní stěny v 3D přiblížení a unikátní postup při popisu silové interakce, která vede k nutnosti respektovat nespojitost statického tlaku na hranici obou kontinuí. Metoda v práci nazvaná jako „strong coupling“ je založena na několika subiteracích v každém časovém kroku s cílem dosáhnout silové rovnováhy na přechodu stěna kapalina. Jediná proměnná, která se při subiteracích mění je tlak v kapalině. Po dosažení „rozumné“ přesnosti je změněn průřez trubice a následně i průtok trubicí. Tímto postupem je možno popsat i nástup samobuzených oscilací, což je v současné době základní problém všech numerických metod modelujících „fluid structure interaction“.

Dalším přínosem je sestavení a odladění vlastního výpočtového programu umožňujícího operativně měnit materiálové vlastnosti, okrajové podmínky a geometrii řešení

oblasti a velmi názorné zobrazení výsledků. Provedené numerické výsledky ukazují na mimořádný rozsah práce a na vhodnost navržených postupů.

Složitost řešeného problému dokumentuje i skutečnost, že není dosud ve světové literatuře uvedeno numerické řešení ani jeho matematická analýza popisující samobuzené oscilace. Dalším nezanedbatelným přínosem práce je porovnání (byť zatím jen více kvalitativní) s experimenty provedenými jednak v laboratoři Biomechaniky ÚT AVČR a v jednak v laboratoři Biomechaniky FSI ČVUT v Praze.

Hodnocení

Předložená doktorská práce ukazuje, že pan **Mgr. Vítězslav Štembera** ovládá potřebné oblasti fyziky a numerické matematiky tak, že dokáže úspěšně matematicky modelovat i složité fyzikální problémy. Je schopen aktivně pracovat s odbornou literaturou a je schopen využívat nejen moderní výpočetní techniku ale i všechny dostupné použitelné programy patřící do třídy *free ware*.

Vzhledem k vysoké odborné úrovni předložené práce, dobrým odborným znalostem jsem přesvědčen, že podaná práce má úroveň doktorské práce a po jejím řádném obhájení přísluší **Vítězslavu Štemberovi** titul **PhD**.



V Praze dne 26. 5. 2010

Prof. Ing. František Maršík, DrSc.
Ústav termomechaniky AV ČR
školitel