

Oponentní posudek bakalářské práce

Kristiny VOŠAHLÍKOVÉ

(ZČU v Plzni, FAV, *studijní program*: B3918 Aplikované vědy a informatika, *obor*: Mechanika)

zpracované na téma

Proudění krve v rozvětveném cévním řečišti

K posouzení byla předložena bakalářská práce o rozsahu 31 stran textu včetně příloh, která se zabývá numerickou simulací laminárního proudění krve v rozvětvené nepoddajné trubici (bifurkaci) pomocí profesionálního výpočtového systému ANSYS Fluent. Rozvětvená trubice modelovaná ve 3D reprezentuje část cévního řečiště vyskytujícího se např. v játrech. Cílem práce bylo porovnat numerické výsledky proudění krve, jež byla modelována jako nestlačitelná newtonská kapalina, v rozvětvené trubici s nepropustnou a nedeformovatelnou stěnou s výsledky získanými užitím redukovaného 1D modelu proudění a dále analyzovat, jaký vliv má úhel větvení na výsledné proudové pole v bifurkaci. Z formulovaných cílů vyplývá, že přínosem celé práce měla být taková analýza výsledků, která by jednoznačně stanovila, jaké chyby se dopustíme, použijeme-li redukovaný 1D model proudění namísto časově a paměťově náročných 3D numerických simulací proudění krve v rozvětveném cévním řečišti.

Hodnocení práce:

V celé práci se vyskytuje řada formulačních nepřesností a věcných chyb. Jen z úvodu práce lze zmínit následující: „...je znázorněno proudění žil a tepen v játrech...,...je řešen matematický popis proudění...,...kde se vytvořily výřezy rychlosti proudění...“. Mám výhradu k názvu bakalářské práce, který nevystihuje její obsah. V práci se totiž neřeší proudění krve v rozvětveném cévním řečišti, nýbrž proudění krve v rozvětvené trubici, resp. v bifurkaci. Rovněž klíčová slova nejsou vybrána šťastně, jsou příliš obecná a nic neříkající. Nemohu souhlasit s tvrzením, že mezi buňky můžeme řadit aminokyseliny, či hormony, viz odstavec 2.1. Tvrzení o křečových žilách na str. 9 je také poněkud nepřesné. V odstavci 3.2 autorka píše, že krev považuje za nestlačitelnou vazkou neneutonskou kapalinu, přitom ale dynamickou viskozitu uvažuje konstantní. Výhradu mám i ke vztahu (3.1). Autorka dále uvádí, že rovnice (3.3) – (3.6) jsou Navierovy-Stokesovy. Chtěl bych upozornit na to, že rovnice (3.3) není Navierova-Stokesova rovnice, ale rovnice kontinuity pro nestlačitelnou kapalinu. Rovnice (3.3) – (3.6) však tvoří *systém Navierových-Stokesových rovnic* popisující laminární proudění nestlačitelné newtonské kapaliny, a to je něco jiného. Navíc, užije-li autorka pojem Navierovy-Stokesovy rovnice, myslí se tím automaticky jejich tvar pro stlačitelnou vazkou tekutinu. Proto musí vždy specifikovat, že používá jejich upravený tvar pro případ nestlačitelné vazké kapaliny. Rovněž mám výhradu k formulaci typu: „Pro výpočet numerického řešení nelineárního systému...jsme zvolili prostředí výpočtového programu Fluent“, viz str. 18. V rámci diskuse bych autorce rád položil následující dotazy:

1. Co znamená tvrzení: „Pro vytvoření prostorové sítě jsme použili CFD mesh, která dokáže vytvořit mezní vrstvu“? (str. 15)
2. Jak si mám vysvětlit tvrzení: „Výpočty byly prováděny několikrát pro ověření správnosti výsledků“? (str. 5)

3. Mohla by autorka komentovat tvrzení: „Jsou zde shrnuta všechna naměřená data spolu s grafickou úpravou“? (str. 5) Autorka měla k dispozici i nějaké experimentální výsledky?
4. Proč autorka zvolila pro numerické řešení řešič typu „pressure-based“? (str. 18)
5. Proč nepoužila pro řešení energetickou rovnici? (str. 18)
6. Autorka použila jako okrajovou podmínku na vstupu parabolický rychlostní profil zadaný pomocí funkce UDF. Za jakých předpokladů by mohla zadat na vstupu konstantní rychlostní profil? Jakou hodnotu má Reynoldsovo číslo na vstupu?
7. Autorka na str. 19 uvádí, že volila zastavovací podmínku pro rovnici kontinuity 10^{-5} a že nastavila 600 iterací. Má jistotu, že úloha zkonvergovala k zastavovací podmínce? Vždy je potřeba ke každému výpočtu vykreslovat historii konvergence.
8. Z jakého důvodu autorka numericky simulovala právě případ, kdy součet ploch výstupních průřezů je roven ploše vstupního průřezu trubice? Z redukovaného 1D modelu proudění, který neuvažuje ztráty třením, je zřejmé, že vstupní rychlost bude rovna výstupní rychlosti v obou větvích, viz rovnice (3.8). Nebylo by zajímavější zkoumat jiný případ?
9. O čem vypovídá graf na obr. 5.5?
10. Testovala autorka, zda jsou její numerické výsledky nezávislé na kvalitě výpočetní sítě?
11. Jak si mám vysvětlit tvrzení v závěru práce: „Výpočet tolika iterací pro tolik modelů byl velice časově náročný“?

Cíle práce byly splněny, chybí však hlubší analýza dosažených numerických výsledků, která by vedla k formulaci užitečných závěrů. Pole výsledné rychlosti na obr. 5.6 – 5.11 by bylo možná lepší vykreslit např. formou izochar, z nichž by bylo patrné i zachycení recirkulačních zón. Rychlostní profily vykreslené na obr. 5.12 – 5.14 nemají vypovídající hodnotu, neboť chybí měřítko.

Závěr:

Grafická úprava práce je velice pěkná, její obsahové zpracování však poněkud pokulhává. Kristina Vošahlíková prokázala, že se naučila smysluplně využívat různé výpočtové a podpůrné systémy pro řešení složitých problémů mechaniky. Vzhledem však k mým výše uvedeným připomínkám a komentářům hodnotím předloženou bakalářskou práci známkou

velmi dobře.



doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
oponent bakalářské práce

V Plzni, dne 8. srpna 2012