

## Oponentský posudek

na disertační práci pana **Lukáše Hájka** nazvanou

### **Numerical solution of turbulent flow using DES model with mesh adaptation**

Disertační práce Lukáše Hájka obsahuje v souladu se zákonem o vysokých školách č. 111/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů, původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění. Práce se zabývá matematickým modelováním komplexních fyzikálních jevů a její výsledky mají bezpochyby potenciální praktické využití. Práce má tedy jak teoretický, tak aplikační rozměr.

Autor se zaměřuje na vývoj a implementaci numerického modelu turbulentního stlačitelného vazkého proudění. Jsou využity hybridní RANS-LES přístupy a implicitní metoda konečných objemů s přibližnými řešiči Riemannových problémů.

Práce má 125 stran a je rozdělena do šesti kapitol. První kapitola je úvodem, je v ní dostatečně obsáhle popsán současný stav problematiky a shrnuje také základní cíle disertační práce a její strukturu. Kapitola druhá je věnována podrobnějšímu popisu matematického modelu (RANS rovnice, modely turbulence, počáteční a okrajové podmínky). Ve třetí kapitole jsou rozebrány použité numerické techniky (metoda konečných objemů, HLLC přibližný řešič Riemannova problému, numerické konvektivní tokové funkce pro modely turbulence, numerické tokové funkce pro difuzní členy, aproximace zdrojových členů, implementace okrajových podmínek, časová diskretizace a aproximace derivací tokových funkcí podle neznámých, adaptivní zjemňování sítí). V kapitole čtvrté je pak popsáno několik testovacích příkladů. V kapitole páté je studován hlavní řešený problém – numerická simulace neustáleného trhání proudu dvěma válcovými tyčemi umístěnými za sebou. V závěrečné kapitole jsou shrnuty získané poznatky a nastíněny směry dalšího výzkumu v dané oblasti.

Základním cílem disertační práce je, jak již bylo zmíněno, studium matematického a numerického modelování turbulentního stlačitelného vazkého proudění. Numerické modely jsou založeny na metodě konečných objemů prvního a druhého řádu s implicitní časovou diskretizací za využití technik

duálního času a adaptivního zjemnění sítě. Autor navrhl, implementoval numerický model a realizoval několik numerických experimentů.

Přínosem autora je i podrobný rozbor těchto numerických experimentů.

K práci mám níže uvedené připomínky a otázky. Dovoluji si pouze konstatovat, že česká verze abstraktu by mohla zpracována po stylistické stránce lépe.

Předložená disertační práce splnila cíle uvedené v jejím úvodu, splňuje požadovaná kritéria i po stránce grafického zpracování. Nejsem anglický rodilý mluvčí, nebudu tedy posuzovat jazykovou úroveň práce. Jsem toho názoru, že Lukáš Hájek prokázal své znalosti jak v oblasti matematického a numerického modelování, tak i v oblasti návrhu numerických algoritmů a jejich efektivní implementace. Je evidentní, že má předpoklady k tvůrčí práci v oboru.

Mám následující otázky:

Na str. 34 je zmínka o zanedbání některých členů. Zde by bylo vhodné tento krok vysvětlit, příp. se odkázat na odbornou literaturu.

Na str. 35 a dále by bylo vhodné odlišit vektor neznámých  $\mathbf{W}$  od vektorů jejich aproximací.

Na str. 37 není jasné, co přesně znamenají symboly  $w_i$ . Obecně vzato by bylo vhodné rozlišit přesné řešení, integrální průměry, bodové hodnoty a aproximace těchto veličin.

Mělo by být osvětleno, proč byly použity MUSCL schéma a Barthův–Jespersenův limiter (str. 37).

Obdobně by mohlo být naznačeno, proč je použit HLLC přibližný řešič (str. 39).

Alespoň stručně by měla být osvětlena aproximace difuzních členů (str. 41) a opět vysvětleno, proč byl zvolen právě tento přístup.

Není jasné, jakým způsobem jsou využity hodnoty ve fiktivních buňkách za hranicí oblasti. Je i na hranici použit přibližný řešič Riemannova problému?

K časové diskretizaci je použito BDF2 schéma. Opět není vysvětleno, proč bylo zvoleno (a není ani odkázáno na literaturu, ve které bychom zdůvodnění našli).

Není jasné, jaké důsledky má zjednodušený výpočet Jacobiho matic tokových funkcí (str. 46 a 47).

Vyjádření, že je brán zřetel pouze na členy se záporným znaménkem jejich derivace, není příliš srozumitelné (str. 55).

Oceňuji podrobný rozbor získaných numerických výsledků a jejich srovnání s experimenty. Přesto by bylo užitečné text doplnit o jakési strukturované shrnutí poznatků (příčemž uznávám, že rozhodně nejde o snadnou úlohu).

Na závěr kapitoly o numerických metodách by čtenář ocenil schématický popis celkového algoritmu.

Hlavní přínos autora spočívá v návrhu a implementaci efektivních algoritmů pro numerické modelování proudění tekutin. Autor navrhl řadu nových postupů a realizoval mnoho výpočetních experimentů. Konstatuji, že autor ve své práci splnil stanovené cíle. Použité metody a techniky odpovídají současným trendům ve zkoumané oblasti a lze je rozhodně označit za vhodné. Výsledky, které autor získal, mají velký aplikační potenciál a mohou být přínosem v řadě technických oblastí. Mezi podklady jsem obdržel seznam publikovaných prací: jde o dva texty ve sbornících konferencí. Jeden text je v přípravě.

**Závěr:**

**Disertační práci doporučuji k obhajobě v rámci doktorského studijního programu Strojní inženýrství (obor Matematické a fyzikální inženýrství) na Fakultě strojní Českého vysokého učení technického v Praze. Za předpokladu úspěšné obhajoby disertační práce doporučuji, aby panu Lukáši Hájkovi byl udělen akademický titul „doktor“ ve výše uvedeném studijním programu.**

V Plzni dne 11. března 2024

Doc. Ing. Marek Brandner, Ph.D.  
oponent