

Oponentský posudek

na disertační práci pana **Vladimíra Hrice** nazvanou

Numerické řešení proudění mokré páry s nerovnovážnou kondenzací

Disertační práce Vladimíra Hrice 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 jednoho komplexního fyzikálního jevu a její výsledky mají potenciální praktické využití. Má tedy jak teoretický, tak aplikační rozměr.

Autor se zaměřuje na návrh matematického modelu a vývoj a implementaci numerického modelu proudění mokré páry s nerovnovážnou kondenzací. Matematický model sestává z Eulerových rovnic popisujících nevazké proudění mokré páry a soustavy popisující bilanci kapalně fáze. Použitý numerický model je založen na metodě konečných objemů na nestrukturovaných sítích a přibližných řešících Riemannových problémů.

Práce má 118 stran a je rozdělena do šesti kapitol. První kapitola je stručným úvodem a shrnuje také motivaci, základní cíle disertační práce a literární rešerši. Kapitola druhá je věnována problematice kondenzace. Ve třetí kapitole je popsán matematický model (Eulerovy rovnice, stavová rovnice, interpolační metoda pro IAPWS, Eulerovy rovnice pro směs, rovnice kapalně fáze). V kapitole čtvrté jsou pak popsány všechny komponenty numerického modelu, tj. diskretizace metodou konečných objemů, schéma pro numerický tok HLLC, časová diskretizace, implementace okrajových podmínek). Kapitola pátá je věnována numerickým simulacím proudění v Barschdorffově, Bakhtarově a Gyarmathyho dýzách a v nízkotlaké turbíně White. V závěrečné kapitole jsou shrnuty získané poznatky a nastíněny směry dalšího výzkumu v dané oblasti. Zde považuji za vhodné zmínit, že některé výstupy z numerických experimentů již byly publikovány v kvalitních odborných periodikách.

Základním cílem disertační práce je, jak již bylo zmíněno, návrh matematického modelu a vývoj a implementaci numerického modelu proudění mokré páry s nerovnovážnou kondenzací. Numerické modely jsou založeny na metodě konečných objemů prvního řádu Godunovova typu, na vhodných časových diskretizacích a aproximacích řešení stavové rovnice. Autor navrhl,

implementoval numerický model a realizoval řadu numerických experimentů. Přínosem autora je i zasvěcený a podrobný rozbor těchto numerických simulací.

K práci nemám zásadních připomínek. Pouze si dovoluji konstatovat, že některé pasáže jsou z hlediska čtenáře pojaty příliš stručně a zhuštěně. I rešerše by v některých místech mohla být rozšířena. Chápu však, že rozsah disertační práce je třeba shora omezit. Narazil jsem i na několik drobných jazykových neobratností.

Předložená disertační práce splnila cíle uvedené v úvodu práce, splňuje požadovaná kritéria i po stránce stylistické a stránce grafického zpracování. Jsem toho názoru, že Vladimír Hric v práci jednoznačně prokázal svoje 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 a připomínky:

Je nutné spojovat bodové hodnoty v případě metody prvního řádu s těžištěm stěny? (str. 74) Formulace, že výpočet numerického toku přes stěnu konečného objemu se provádí jako přibližné řešení Riemannova problému, je poněkud nešťastná.

V práci je použita po částech konstantní rekonstrukce v prostorové proměnné. Předpokládám, že je možné použít rekonstrukci pomocí polynomů vyššího stupně. Půjde o standardní rozšíření algoritmu, nebo jde pro zvolený matematický a numerický model o obtížnou záležitost?

Je použita formulace Eulerových rovnic v normálovém směru. Souvisí to s použitím metody konečných objemů (využití 1D řešičů Riemannových problémů) a rotační invariancí Eulerových rovnic? Pokud tomu tak je, bylo by vhodné v textu tyto souvislosti zmínit.

Z textu není jasné, co je míněno řešičem PVRs. Jde o tzv. Primitive Variable Riemann Solver?

Formulace „Pro systém (4.38) použijeme implicitní LU-SGS schéma v stacionární verzi [30]. Toto schéma budeme uvažovat obecně pro integraci mezi časy t_n a t_{n+1} . Nepřehlédneme tudíž k časům uvedeným v (4.38).“ není úplně srozumitelná. Může být tato formulace objasněna?

- V závěru práce je zmíněn obecnější model (dvoutekutinový, s modelem vodního filmu a modelem turbulence). Pracuje se již na některém z těchto zobecnění?

Hlavní přínos autora spočívá v návrhu a implementaci efektivních algoritmů a numerických modelů proudění mokré páry. Autor navrhl řadu nových postupů a realizoval mnoho výpočetních experimentů. Konstatuji, že autor ve své práci splnil stanovené cíle. 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 devět textů v mezinárodních odborných časopisech nebo sbornících mezinárodních akcí. Z toho je zřejmé, že autor disertační práce prezentoval své výsledky také na mezinárodním fóru.

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 Vladimíru Hricovi byl udělen akademický titul „doktor“ ve výše uvedeném studijním programu.

V Plzni dne 10. listopadu 2021

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