

Oponentní posudek diplomové práce

Aleše Halamy

zpracované na téma

Vybrané aplikace problémů proudění tekutin řešené pomocí lattice Boltzmannovy metody

Práce zabývající se náročnou problematikou matematického modelování proudění nestlačitelných newtonovských kapalin, která byla předložena k posouzení, je rozdělena do čtyř kapitol.

V první kapitole jsou uvedeny základní rovnice používané ve výpočtové dynamice tekutin. Autor zde nejprve popisuje jednotlivé zákony zachování a následně uvádí nelineární systém Navierových-Stokesových rovnic doplněný o stavovou rovnici pro ideální plyn. Lattice Boltzmannova metoda je založena na tzv. mezoskopickém přístupu a tedy zkoumá proudění na detailnější úrovni, než makroskopický popis kontinua. Z tohoto důvodu autor dále popisuje základy kinetické teorie plynů a z ní následně odvozuje Boltzmannovu rovnici. Z přehledného výkladu v této části práce je zřejmá velmi dobrá studentova znalost dané problematiky. Oceňuji pečlivost, s jakou je tato část práce zpracována a je po obsahové stránce na velmi dobré úrovni. Za drobný nedostatek bych jen uvedl zabíhání některých částí do zbytečných podrobností, které mírně odvádějí čtenářovu pozornost od důležitých věcí.

Druhá kapitola práce se nejprve věnuje odvození základního diferenčního schématu metody, tedy diskretizaci Boltzmannovy rovnice. Následně jsou zde rozebrány některé aproximace složitého kolizního operátoru, počáteční a okrajové podmínky, a způsob, jakým jsou převáděny fyzikální jednotky do systému jednotek, se kterými pracuje lattice Boltzmannova metoda. V závěru této kapitoly student popisuje základní algoritmus metody. Z této části práce, která je provázena množstvím názorných obrázků, je rovněž zřejmé, že student dané problematice velice dobře rozumí. Oceňuji zahrnutí Chapmannova–Enskogova rozšíření, pomocí kterého lze z lattice Boltzmannovy rovnice odvodit tvar Navierových-Stokesových rovnic pro nestlačitelnou vazkou kapalinu.

Zbývající části práce, třetí a čtvrtá kapitola, jsou věnovány již vlastním numerickým simulacím. Konkrétně zde student prezentuje dvě testovací úlohy. Protržení hráze vodní nádrže a proudění v mikrokanálu. Obě uvedené úlohy byly řešeny pomocí vlastního vyvinutého softwaru ve výpočtovém prostředí MATLAB.

První úloha i přes velmi jednoduchou geometrii, konkrétně obdélníkovou nádobu, v jejíž levé polovině je kapalina, však popisuje relativně komplexní numerický problém. Důvodem je přítomnost volné hladiny, jejíž rozřešení výrazně komplikuje základní algoritmus metody. Zde se domnívám se, že umístění popisu algoritmu pro sledování pohybu volného povrchu až v této kapitole lehce ubírá na jeho důležitosti. Nicméně uvedený teoretický popis je velmi kvalitně zpracován. Dovolím si zde poznámku, že užití

normálového vektoru při formulaci okrajové podmínky na volném povrchu, bylo v některých studiích prokázáno jako příčina určitého druhu nestabilit. Autorem dosažené numerické výsledky jsou však velmi dobré a student je důsledně porovnává s numerickými a experimentálními výsledky z literatury.

Druhá testovací úloha se zabývá mikroprouděním, tedy diametrálně odlišným druhem proudění než předchozí simulace. Student aplikuje lattice Boltzmannovu metodu na řešení úloh v režimech Knudsenových čísel, kde již selhává aplikace klasického kontinuálního přístupu popsaného nelineárním systémem Navierových-Stokesových rovnic doplněných o skluzové okrajové podmínky prvního řádu. Dosažené numerické výsledky simulace proudění v mikrokanálu jsou opět porovnány s výsledky uvedenými v dostupné literatuře, konkrétně jsou srovnány normalizované rychlostní profily. Studentem prezentované profily vykazují velmi dobrou shodu.

K diplomantovi bych měl v rámci obhajoby následující dotazy:

- V rámci popisu simulace protržení hráze vodní nádrže uvádíte hodnoty relaxačních koeficientů jednotlivých momentů distribučních funkcí. Jsou to jediné hodnoty, které jste použil? Ověřoval jste citlivost simulace na jejich změny?
- Mohl by diplomant zmínit, na jaké síti a s jakým turbulentním modelem bylo simulováno protržení hráze vodní nádrže v literatuře, se kterou porovnává jím dosažené výsledky? Dále bych rád znal názor studenta na příčiny rozdílů mezi simulací s a bez turbulentního modelu.

Po formální stránce je diplomová práce na velice dobré úrovni. Má logickou strukturu, je napsána přehledně a relativně dobrou češtinou. Mohu konstatovat, že všechny cíle formulované v zadání diplomové práce byly splněny. Předložená diplomová práce splňuje všechny požadavky kladené na kvalifikační práce tohoto druhu. Výše uvedené připomínky nesnižují nijak kvalitu této práce, a proto ji hodnotím známkou „výborně“ a jednoznačně ji doporučuji k obhajobě před komisí SZZ na Katedře mechaniky Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

V Plzni dne 20. července 2020

Ing. Václav Heidler Ph.D.