

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Matematické modelování neizotermálního turbulentního proudění pro obtékání překážek pomocí mřížkové Boltzmannovy metody
Jméno autora:	Bc. Dominik Horák
Typ práce:	diplomová práce
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
Katedra:	Katedra matematiky
Oponent práce:	Mgr. Vladimír Fuka PhD.
Pracoviště oponenta práce:	Matematicko-fyzikální fakulta UK, Katedra fyziky atmosféry

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
LBM patří k obtížněji uchopitelným metodám simulace dynamiky tekutin a problém přestupu tepla tuto obtížnost navyšuje.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posudte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Všechny body zadání byly splněny.	

Zvolený postup řešení	vhodný
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolené metody řešení odpovídají studovanému problému.	

Odborná úroveň	výborná
<i>Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce je odborně na vysoké úrovni zejména v oblasti matematického popisu.	

Formální a jazyková úroveň	výborná
<i>Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce je psána v češtině dobrým odborným jazykem až na ojedinělé méně formální obraty či velmi ojedinělé gramatické chyby.	

Výběr zdrojů, korektnost citací	průměrné
<i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	
Práce používá správné citační postupy. V kapitole 1 by bylo lépe specifikovat vztah relevanci prací citovaných v prvním odstavci sekce k jednotlivým definicím či odvozením v těchto sekcích představovaných.	

Seznam použité literatury odpovídá normě.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Vytvořená implementace numerického řešiče pro neizotermní proudění splňuje zadání práce. Bohužel jsem ale v práci nenalezl žádnou ukázkou z řešení v podobě pohledu na pole rychlosti a teploty, která by ukazovala šíření tepla pro případ, kdy skutečně probíhá přestup tepla. Obrázky 4.9 a 4.14. Proto lze na správnost implementace usuzovat pouze z grafů 4.2, kde ale není srovnání s žádnou referencí. Vznikající a v práci popsané numerické fluktuace teploty jsou vlastností zkoumané metody a nelze jejich existenci vyčítat, naopak je třeba ocenit jejich kvantifikaci.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uvedte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Práce má jisté nedostatky v práci s teoretickým základem představeným v kapitole 1, kde by mohla pomoci pečlivější použití citací. Rovnice 1.1b-c představují zvláštní kombinaci vektorového a složkového zápisu. Smysl ale zůstává jasný. U měrné tepelné kapacity by měly být rozlišovány měrné tepelné kapacity při konstantním tlaku a konstantním objemu, zejména pokud v praxi budeme používat jako pracovní médium vzduch.

Fourierův vztah není správně brát jako definici tepelného toku, ale jako model pro tento tok, pokud je způsobený molekulární difuzí a platí lineární vztah mezi tepelným tokem a gradientem teploty. Součinitel přestupu tepla se typicky se zavádí v aplikacích, kde nemáme k dispozici teplotní pole v bezprostřední blízkosti rozhraní, případně detailně nerozlišujeme turbulenci, a proto modelujeme přestup tepla teplotami svou prostředí v určité vzdálenosti od jejich rozhraní. V bezprostřední blízkosti rozhraní platí Fourierův zákon.

Vlastnosti prostředí, jako jsou koeficienty vazkosti, tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, jsou dány konkrétní látkou tvořící dané prostředí a stavovými veličinami, např. teplotou a tlakem. Závislost na teplotě je obecně mnohem významnější a pravděpodobně proto řešitel zvolil značení např. $c(x, T)$. V teoretickém úvodu bych doporučil možnou závislost na tlaku alespoň zmínit a zvážil bych jiný způsob značení závislosti na konkrétním médiu, protože souřadnice x umožňuje mnohem obecnější variabilitu.

Popis Reynoldsova čísla "vliv vnitřního tření na odpor prostředí" je nejasný a neodpovídá popisu v citované referenci [18]. Jde o poměr vázkých a setrvačných sil (či convection(inertia) / viscosity podle [18]). Bylo by lepší se vyhnout formulaci "charakteristické difuzi" která by mohla ukazovat na difuzní tok a ne koeficient teplotní difuze.

Nelze přijmout tvrzení, že turbulence je náhodný proces. V rámci mechaniky kontinua jde o proces deterministický popsatelný teorií deterministického chaosu. Za náhodné bychom mohli považovat pohyby molekul tekutiny, ale ty turbulenci ovlivňují jen velmi málo.

V rovnici 2.45 není jasné, proč je hodnotou 1 aproximována hustota na levé straně, ale nikoli v druhém členu na pravé straně.

V kapitole 4 bych u jednotlivých případů uvítal explicitní uvedení okrajových podmínek na "bočních" hranicích (tedy ve směru y).

Pro výpočet Reynoldsova čísla nebyly zvoleny nejvhodnější charakteristická délková měřítka. Konkrétně u úlohy 4.1 by bylo správnější použít tloušťku dílčích kanálů 0,125 m. V úloze 4.2 pak charakteristický rozměr obtékaného tělesa, tedy nejlépe šířku vystavenou proudění, tedy 0,105 m, případně výšku 0,245 m. Obdobně u dalších úloh.

U úlohy 4.1 by byly ovšem zajímavější hodnoty Peclétova čísla, případně Prandtlova čísla, které se pro dílčí kanály liší. Reynoldsovo číslo zde moc důležité není, i když má pravděpodobně vliv na zakřivení profilu v nejspodnějším kanálu.

V úloze 4.2 postrádám vizualizaci pole teploty, protože jde o jedinou úlohu, kde dochází ke skutečnému přestupu tepla mezi tělesem a tekutinou. Z fyzikálního hlediska je nezvyklá kombinace pevné hodnoty součinitele přestupu tepla a proměnné teploty tělesa. Je obtížné představit si proces, který toto způsobuje.

Zavedený český termín, odpovídající anglickému wind tunnel, je aerodynamický tunel, nikoli větrný.

V diskusi uvedená spekulace, že výsledky LBM mohou více odpovídat realitě, oproti běžně používaným řešičům pro nestlačitelné proudění, díky slabé stlačitelnosti, je pochybné. Bylo by možné ho ověřit srovnáním s experimenty, nebo i s výpočty řešičů pro plně stlačitelné proudění. Pro zkoumané případy při velmi nízkých Machových číslech si lze představit zejména fluktuace dané adiabatickou expanzí a kompresí v důsledku zvukových vln. Je ale třeba brát v úvahu, že použitá LBM přes slabou stlačitelnost nepoužívá skutečnou stavovou rovnici pro konkrétní tekutinu.

Dotazy k diskuzi:

Lze pomocí mřížkové Boltzmannovy metody modelovat stlačitelné proudění, kdy by teplota vyplývala přímo z distribučních funkcí použitých pro proudění?

Bude možné současnou metodu použít či rozšířit pro proudění s vlivem tíže, kde hrají roli vztahové síly dané rozdílnou hustotou tekutiny s různou teplotou?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 26.5.2024

Podpis:

