Posudek oponenta diplomové práce

Heleny MLYNAŘÍKOVÉ

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

zpracované na téma

Matematické modelování turbulentního proudění

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou matematického modelování turbulentního proudění stlačitelné tekutiny. Jejím hlavním cílem je implementace vybraných modelů turbulence do vlastního software pro numerické řešení turbulentního proudění a použití vyvinutého řešiče pro numerické simulace turbulentního proudění v rámci vybrané testovací úlohy.

V první kapitole práce je uveden nelineární systém Navierových-Stokesových rovnic sloužící k matematickému popisu proudění tekutin. Z hlediska modelování turbulentního proudění je důležitou součástí této kapitoly detailní popis středování podle Reynoldse a podle Favra, na základě kterého je poté odvozen systém středovaných Navierových-Stokesových rovnic podle Favra pro stlačitelné proudění. Dále je také popsán způsob výpočtu Reynoldsových turbulentních napětí a aproximace dalších členů obsahujících fluktuační složky rychlosti. Další kapitola je věnována rešerši několika různých modelů turbulence, které slouží k výpočtu turbulentní vazkosti. Vedle nejjednodušších algebraických modelů turbulence (model Cebeciho a Smithe, model Baldwina a Lomaxe) jsou popsány také modely jednorovnicové (model Baldwina a Barthe, model Spalarta a Allmarase) a z dvourovnicových modelů autorka zaměřila svoji pozornost na známé modely k-ε a k-ω a na jejich kombinovaný model.

K numerickému řešení turbulentního proudění stlačitelné tekutiny je v této práci použita metoda konečných objemů, jejíž implementace je popsána ve třetí kapitole. Pro aproximaci nevazkého numerického toku je použito AUSM schéma s lineární rekonstrukcí pomocí minmod limiteru a vazký numerický tok je aproximován centrálně pomocí tzv. duálních buněk. Důležitou součástí této práce je také popsání způsobu implementace turbulentního k-ε modelu, který je společně s algebraickým modelem Baldwina a Lomaxe použitý pro numerické řešení testovací úlohy, v jejímž rámci je provedena numerická simulace ustáleného dvourozměrného turbulentního proudění stlačitelné tekutiny v úzkém obdélníkovém kanálu. Výsledky numerického řešení této úlohy jsou porovnány s výsledky poskytnutými Ústavem termomechaniky AV ČR. Těmi jsou jednak experimentální výsledky a jednak výsledky získané numericky v komerčním systému ANSYS Fluent pomocí jednorovnicového modelu turbulence Spalarta a Allmarase. Vzájemné srovnání numerických výsledků vykazuje dobrou shodu.

Detailním zpracováním a algoritmizací numerické metody pro řešení turbulentního proudění a její aplikací na numerické řešení konkrétní testovací úlohy autorka prokázala hluboké znalosti v oblasti dynamiky tekutin. Je důležité si uvědomit, že na pracovišti Katedry mechaniky FAV ZČU je tato práce první diplomovou prací zabývající se implementací numerické metody pro řešení turbulentního proudění do vlastního software. Jako velký přínos práce vidím skutečnost, že se autorka ve své práci věnuje nejen teorii, ale detailně popisuje i způsob algoritmizace vybrané numerické metody včetně řady užitečných podrobností. Práce včetně vyvinutého software proto může na katedře mechaniky do budoucna sloužit jako kvalitní základ pro další vývoj numerických metod v oblasti turbulentního proudění.

Práce je napsána pečlivě, je přehledná a má velmi dobrou grafickou i jazykovou úroveň. Zajímavé by jistě bylo použití vyvinutého software pro numerické řešení dalších úloh turbulentního proudění, což bude pravděpodobně náplní plánovaného autorčina doktorského studia.

K předložené diplomové práci pokládám následující dotazy:
Byl nějakým způsobem posuzován vliv hustoty sítě na výsledky numerického řešení?
Jaká je časová náročnost výpočtu s algebraickým modelem oproti dvourovnicovému modelu?
Je chystána (byla testována) aplikace vytvořeného software na řešení nějaké další úlohy turbulentního proudění? Jaké?

Závěrem je nutné konstatovat, že cíle vytyčené pro tuto diplomovou práci byly splněny. Práci hodnotím známkou

výborně.

V Plzni dne 20. června 2012

Ing. Marek Hajžman
oponent diplomové práce