

Oponentský posudek na disertační práci na téma

Analýza proudění v potrubí kruhového i nekruhového průřezu metodou využívající rozložení hustoty vířivosti po průřezu

**Doktorand: Ing. Lubomír Soukup
Fakulta strojního inženýrství
Energetický ústav
Vysoké učení technické v Brně**

Téma disertační práce je zaměřeno na vytvoření metodiky při analýze rychlostních profilů v potrubí kruhového i nekruhového průřezu s využitím matematických analytických metod. Práce je zaměřena na teoretické zkoumání proudění v oblasti laminárního i turbulentního proudění, kde přináší řadu nových poznatků při specifikaci rychlostních profilů.

Dizertace obsahuje 160 stran a přílohy. Je členěna do 15 základních kapitol, jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují. První tři kapitoly jsou věnovány stručnému úvodu problematiky, zhodnocení současného stavu a přehledu existujících rychlostních profilů. Kapitoly 4 až 7 jsou zaměřeny na metody získání profilů jak experimentálně s vyhodnocením měření od různých autorů, dále na numerickou simulaci těchto experimentů za účelem definování optimálního turbulentního modelu, který byl získán porovnáním experimentálních a numerických výsledků. V kapitole 8 jsou definovány cíle dizertační práce, jejichž naplnění je v následujících kapitolách, týkajících se odvození rychlostních profilů indukovaných vírovou stěnou v různých průtočných průřezích. Takto získané profily se aproximují různými analytickými funkcemi. Nejdůležitější částí dizertace je kapitola 14, kde jsou porovnány nově odvozené rychlostní profily s numerickými výsledky pro oblast turbulence a laminarity v různých geometriích. V kapitole 15 je provedeno závěrečné zhodnocení výsledků.

Aktuálnost tématu

Problém zpracovaný v dizertační práci je velmi aktuální v oblasti teoretické, neboť umožňuje použití analytického vyjádření rychlostního profilu pro oblast laminárního i turbulentního proudění s existencí spojitě první a druhé derivace profilu. Má zatím svá úskalí a bude nutné tuto metodu dále dopracovat, protože je předmětem zájmu teoreticky zvládnout a podrobně popsat analytickými matematickými metodami obecné rychlostní profily v kruhových i nekruhových průřezích.

Splnění sledovaných cílů práce

Naplnění cílů práce je shrnuto v závěru, kde byly vyhodnoceny nově odvozené rychlostní profily a verifikovány s numerickým řešením případně s experimentálními daty měřeními ve shodné geometrii průtočné plochy. Tedy základní cíle práce byly splněny.

Vzhledem k pozitivním výsledkům při zkoumání jednotlivých profilů je možné využití této teorie při odstranění nevýhod použité metody.

Zvolené metody zpracování

Pro řešení byly vybrány tři metody řešení – matematická analytická metoda, matematická numerická metoda a experimentální metoda. Metody experimentální byly specifikovány a výsledky částečně převzaty z literatury. Numerická metoda řešení začíná být kvalitním standardem při řešení úloh proudění se složitou geometrií a významně napomáhá jako verifikační metoda při analytických řešeních. Je třeba poznamenat, že autor postupoval obezřetně při aplikaci těchto moderních metod řešení se závěrem, že platnost modelů je omezena, proto je nutné zabývat se jejich verifikací, tzn. mít k dispozici kvalitní fyzikální experiment nebo věrohodný matematický model.

Přínos pro rozvoj vědy a techniky

Přínosem práce je především velmi náročná kvalitní studie analyticky definovaných rychlostních profilů v kruhovém průtočném průřezu a návrh a verifikace nových profilů v nekruhových průtočných průřezích odvozených na základě indukce rychlosti vírovou stěnou s využitím moderních metod řešení. Pro tuto velmi aktuální problematiku byla vytvořena metodika řešení. Na základě zobecnění výsledků je možno rozšířit oblast použití pro další významné aplikace.

Práce je přehledně tématicky členěna do kapitol. Po stránce jazykové je zde minimum překlepů. Grafické zpracování v částech teoretických je velmi názorné a v částech výpočtových je na výborné úrovni. K práci mám následující poznámky:

Poznámky:

- V práci se vyskytují překlepy, které se týkají jmen vědeckých osobností (str. 19 – Boussinesq, str. 26 - Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen, Jean-Louis-Marie Poiseuille, str. 29 - A. D. Troskolansky)
- Chybí odkazy, např. str. 22, Obr. 5, nejsou důsledně číslovány rovnice
- Str. 23, 1. odst. sh. – opravdu profily od vyjmenovaných autorů platí pro všechna proudění, tj. laminární i turbulentní?
- Str. 23, posl. odst. – co znamená pojem zdánlivé turbulentní napětí?

- Str. 28, 1. odst. sh. – je skutečně u_1 na ose x_1 , když závisí na x_2 , které je pak v Obr. 8 označeno jako y ?
- Str. 38, obr. 13 a text za obr. – neshoduje se označení střední rychlosti v obr. 13 a v textu, chybí odkaz na literaturu
- Str. 46, kap. 6.1 – pro přehlednost by bylo vhodné zobrazit možné odchylky mezi jednotlivými modely a autory. Graf na Obr. 22 by měl mít stejný rozsah os jako ostatní obrázky.
- Str. 50 obr. 29 – není uvedeno Reynoldsovo číslo, tj. zda je proudění opravdu laminární a kritické Re číslo
- Str. 58 – je lepší použít váženou (normovanou) hodnotu, v tabulce na obr. 43 je pak ale jiná informace
- Str. 65 a další – není uveden odkaz na literaturu
- Str. 65, kap. 9.2 – špatné indexování pro tenzor ϵ_{ijk}
- Str. 67, obr. 53 – indexy se střídavě zapisují v závorce a bez závorky, označení Ω v obr. 53 a 54 nesouhlasí, co se týče indexu
- Str. 68, vzorec pro intenzitu – Ω a n jsou vektory, jinak nelze definovat skalární součin, nebo musí být použita Einsteinova sumace, druhá tečka pak už není skalární násobení (dS nemá index), zápis je z toho pohledu nejasný
- Str. 70, rov. 18 – označení dr není nejvhodnější pro proudění mezi deskami, avizuje to proudění v potrubí, str. 85, rov. 38 – lze použít zjednodušení pro součet kosinů
- Str. 111 – nelze dohledat, že pro $u=\gamma$ je $du=\gamma$
- Str. 122, 3. ř. zd. – překlep: Hodnota střední rychlosti v potrubí kruhového průřezu
- Str. 128, 1. vztah a následný řádek – formálně dochází k záměně ω za w
- Str. 140, obr. 104 – není uveden popis všech křivek

Otázky na doktoranda:

- Str. 23, posl. odst. – co znamená pojem „zdánlivé turbulentní napětí“?
- Str. 41 – bylo také provedeno měření na kruhovém potrubí, kde by bylo dosaženo ustálení rychlostního profilu dříve?
- Str. 44 – bylo pro základní testování kvality sítě, modelů turbulence atd. použito také jednodušší 2D geometrie (alespoň pro potrubí)? Je možné v těchto úlohách použít periodické podmínky (str. 45, 1. odst.)?
- Str. 55 – jak byla určována třetí rychlost pro experiment?
- Str. 78, 1. ř. sh. – co je Euklidovská norma?
- Str. 106, kap. 12.3 – zdůvodněte, proč se prokládá právě vytvořená funkční závislost polynomickou funkcí, přičemž lze očekávat větší či menší chybu aproximace.

Doktorand prokázal vysoké odborné znalosti a matematické schopnosti při vytvoření metodiky pro odvození nových analytických funkcí rychlostních profilů v potrubí kruhového a především nekruhového průřezu. Práce je navíc souborem velkého množství kvalitních výsledků jak z oblasti modelování, tak z oblasti experimentu, což prezentuje schopnosti doktoranda pracovat systematicky na daném problému.

Dizertační práce obsahuje původní výsledky vědecké práce. Doktorand je schopen samostatně vytvářet nová řešení, používat vysoce odborný matematický aparát v aplikacích na rychlostní profily, řešit matematické modely a verifikovat výsledky. Práce je na vysoké teoretické a aplikační úrovni. Proto doporučuji dizertační práci k obhajobě.

Ostrava, 17/10/2016


Prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení
Fakulta strojní
VŠB-TU Ostrava