

V Liberci, 28. dubna 2019

Oponentský posudek disertační práce
Ing. Vladislava Skály
na téma
**Zkrácený přechod mezní vrstvy do turbulence při nepříznivém
gradientu tlaku**

Předložená disertační práce se věnuje experimentálnímu vyšetřování nepříznivého tlakového gradientu na mezní vrstvu v proudě viskózní tekutiny při zkráceném přechodu laminární mezní vrstvy do turbulence. Výzkum obtékání rovinné desky (umístěné v uzavřeném aerodynamickém tunelu) byl proveden metodou HWA v režimu CTA. Výsledky analyzoval autor metodou TERA a použil je pro zpřesnění modelu pro numerické simulace.

Dosažení stanovených cílů

Autor si ve druhé kapitole stanovil následující cíle:

1. Úprava metodiky při určování přechodové oblasti.
2. Vyhodnocení průběhu intermitentního faktoru z časových záznamů okamžité rychlosti, tj. tzv. přímým postupem.
3. Vyhodnocení průběhu intermitentního faktoru tzv. nepřímým postupem, včetně porovnání výsledků cíle 2 a 3.
4. Zobecnění výsledků. Zpřesnění matematického modelu zkráceného přechodu.

Cíl podle bodu 1 byl v práci splněn. Autor provedl HWA experimenty s různými kombinacemi okrajových podmínek, jako byla různá intenzita turbulence vnějšího volného proudu (0.5%, resp. 3%) či druh obtékaného povrchu (hydraulicky hladký, resp. drsný), obtékání rovinné desky. Určení přechodové oblasti přímým postupem ovlivňuje volba prahové hodnoty kritériální funkce, autor se proto ve své práci zabýval nalezením její optimální hodnoty. Pro metodu TERA autor navrhl pomocné kritérium „kvalita aproximace průběhu intermitentního faktoru“.

Cíl podle bodu 2 byl splněn. Autor vyhodnotil intermitentní faktor pomocí postupu TERA, pro analýzu byl autorem vytvořen program v prostředí LabView. Pro aplikaci metody TERA autor empiricky stanovil odhad prahové hodnoty kritériální funkce. Ověřil, že metodu TERA pro vyhodnocování intermitentního faktoru lze dobře použít jak pro případ obtékání desky bez tlakového gradientu v hlavním proudu, tak i pro nepříznivý tlakový gradient v hlavním proudu.

Cíl podle bodu 3 byl v práci splněn. Autor vyhodnotil intermitentní faktor pomocí integrálních charakteristik jednotlivých rychlostních profilů podél mezní vrstvy, resp. pomocí určení hodnot tvarových parametrů v laminární a turbulentní oblasti mezní vrstvy. Výsledky získané přímým a nepřímým postupem vyhodnocení intermitentního faktoru autor porovnává jak graficky jako závislost průběhu intermitentního faktoru na Reynoldsově čísle vztaženému k impulzové tloušťce mezní vrstvy, tak v tabulce, kde uvádí polohy začátku a konce přechodové oblasti. Zároveň autor okomentoval rozdíly u získaných výsledků.

Cíl podle bodu 4 byl v práci splněn. Autor své výsledky zobecnil pro případ leteckých či lopatkových profilů obtékaných nabíhajícím proudem s nenulovým úhlem náběhu. V případě matematického modelování se pak autor zabýval vlivem parametru produkce a šíření turbulentních skvrn $n\delta$.

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Autor provedl rešerši současného stavu problematiky (mezní vrstvy, podmínky přechodu do turbulence, určení intermitentního faktoru, vysvětlení metody TERA, atd.) v kapitole 1.2 a jejích podkapitolách, kde se zabývá detailním rozbohem prací ostatních autorů, a to jak zahraničních, tak rozbohem výsledků vniklých na pracovišti autora. Kapitola 1.3 pak přináší shrnutí prací vniklých na pracovišti autora zabývajících se konkrétně přechodem mezní vrstvy do turbulence.

Rešerše byla provedena na dobré úrovni a autor se zabýval i rozbohem problému, nikoliv „pouhou“ citací článků.

Teoretický přínos disertační práce

Za teoretický přínos práce lze považovat rozbor dané problematiky, analýzu získaných dat a okomentování výsledků.

Praktický přínos disertační práce

V práci jsou prezentované výsledky měřené metodou HWA v režimu CTA pro 8 vyšetřovaných případů přechodu do turbulence při nulovém a nepříznivém tlakovém gradientu podél hlavního proudu s různými případy okrajových podmínek (intenzita turbulence 0.005, resp. 0.030, povrch desky hladký, resp. drsný, úhel rozevření stěn proudového kanálu, v němž byla umístěna deska, 0°, resp. 5°) při konstantní hodnotě rychlosti vnějšího nabíhajícího proudu (10 m/s). Výsledky jsou prezentovány ve formě průběhů faktoru intermitence vyhodnoceného ze záznamů okamžité rychlosti metodou TERA a vzájemného porovnání faktoru intermitence pro různé okrajové podmínky. Autor rovněž porovnává průběh intermitentního faktoru pro různé vzdálenosti od povrchu obtékané desky.

Autor zpracoval a vyhodnotil naměřená data v programu používaného na jeho pracovišti (autor RNDr. P. Jonáš, DrSc.), který však byl autorem dizertace dále dopracován.

Vhodnost použitých metod řešení

Experimentální metoda HWA je zde použita správně. Důležitou část práce pak představovalo vyhodnocení naměřených dat, pro něž autor použil jak vyhodnocení přímé pomocí metody TERA, tak nepřímé. Autor metodu TERA vhodně doplnil o kritérium umožňující objektivně určit prahovou hodnotu tzv. kritériální funkce.

Způsob, jakým byly použité metody aplikovány

Autor podrobně popsal nastavení experimentu, postup měření a zpracování získaných dat. Tyto pak ukázal v grafech, popř. tabulkách, které dostatečně okomentoval. Autor rovněž ve své práci rozebral nejistoty měření, resp. nejistoty experimentálních hodnot.

Prokázání odpovídajících znalostí v oboru

Autor v práci prokázal znalosti v oblasti experimentální mechaniky tekutin. Autor byl schopen připravit kvalitní experiment (měření rychlostí, včetně přídavných experimentů pro určení tlaku a teploty) a provést správnou analýzu dat. Tyto výsledky pak dokázal aplikovat v případě zpřesnění modelu pro numerické simulace.

Autor je rovněž spoluautorem osmi publikací zaměřených přímo na danou problematiku publikovaných na zahraničních konferencích a spoluautorem dalších 20 publikací zaměřujících se na oblast experimentální a numerické mechaniky tekutin.

Formální úroveň práce

Práce je psaná v českém jazyce, obsahuje překlepy (včetně špatně označených veličin v textu, které se neshodují s veličinami uváděnými v rovnicích, např. $R(u)$ vs. $K(u)$ v (1.5) či $K(y)$ vs. $Z(y)$ v (3.5)), v práci lze také najít opakující se slova ve větách či přímo opakující se kusy vět. V „Seznamu všech prací autora“ pak došlo ke zdvojení publikace č. III a VIII a zařazení dvou stránek s pořadovým č. 91, kde se však liší počtem publikací. V práci lze najít chybné odkazy na rovnice (např. na str. 34 odkaz na (1.34) místo na (1.39)). Autor se rovněž odkazuje na obrázky, které v práci nejsou uvedeny, viz odkaz na str. 58 na obr. 3.2 či na str. 50 odkaz na obr. 3.2 a 3.3 (číslování obrázků v kap. 3 však začíná až číslem 3.4), nebo se na ně odkazuje chybně (např. na str. 69 na obr. 5.3 místo 5.7). Oponent musí rovněž vytknout úpravu práce, neboť některé odstavce nejsou zarovnány do bloku, popř. je text v půlce věty nepochopitelně oddělen na další odstavec.

Autor používá jak vlastní, tak i převzaté grafy a obrázky, které mají dobrou grafickou úroveň (vyjma obr. 1.14, kde není poznat, které body odpovídají metodě TERA a M-TERA).

Seznam veličin a jednotek by bylo vhodné řadit abecedně.

Autor se na straně 3 až 5 odkazuje na „velké množství badatelů“, kteří se danou problematikou zabývali, či „velice bohatou“ literaturu vztahující se k danému tématu, avšak již neodkazuje na příslušné citace. Odkazy na práce ostatních autorů pak zvláště chybí v kapitole 1.2 „Současný stav problematiky“ a 1.2.1 „Úvod do problematiky mezních vrstev“.

Kapitolu „Náměty pro další práci“ by oponent doporučoval uvést spíše jako podkapitolu v „Závěru“.

Oponent se rovněž domnívá, že práce takovéto úrovně by měla být psaná v angličtině.

Závěr

Disertační práce obsahuje výsledky autorových původních experimentů, z nichž některé publikoval na mezinárodních konferencích.

Přínos disertační práce:

- Provedení rešerše dané problematiky jak z pohledu experimentů, tak z pohledu numerických simulací.
- Popis přípravy a nastavení experimentu, včetně vysvětlení jednotlivých kroků postupu (což je důležité pro případné opakování měření).

- Adaptování vyhodnocovacího programu dr. Jonáše pro aktuální strukturu záznamu měřených dat.
- Upravení metody TERA pro přímé určení faktoru intermitence.
- Rozbor nejistot měření.

Za nedostatky považuji:

- Připomínky popsané v kapitole „Formální úroveň práce“, neboť dizertace by měla ukazovat také schopnost autora prezentovat vlastní práci.

Hodnocení

Předložená disertační práce Ing. Vladislava Skály „Zkrácený přechod mezní vrstvy do turbulence při nepříznivém gradientu tlaku“ se zaměřuje primárně na provedení experimentů, které byly správně navrženy, provedeny a zpracovány. Autor v rámci dizertace upravil metodu TERA pro určování přechodové oblasti. Byly porovnány výsledky vyhodnocení průběhu intermitentního faktoru jak přímým, tak nepřímým postupem vyhodnocení. Tyto výsledky pak posloužily pro zpřesnění matematického modelu zkráceného přechodu mezní vrstvy do turbulence.

Přes výše uvedené připomínky v kapitole „Formální úroveň práce“ má dizertace velmi dobrou úroveň.

Disertační práce Ing. Vladislava Skály splňuje podmínky stanovené zákonem č. 111/1998 Sb. a studijními předpisy ČVUT v Praze pro závěrečné práce doktorského studia, a proto ji doporučuji k obhajobě.

prof. Ing. Tomáš Vít, Ph.D.

Dotazy k práci:

1. Jak dlouhý je „dostatečně dlouhý“ časový interval pro výpočet RMS odchylky v metodě TERA? (viz info na str. 27) A je tento interval skutečně dostatečný?
2. Na str. 76 uvádíte, že zkoumáte proudové pole pomocí 3D PIV. Ve člancích, na které se odkazujete, však používáte systém pouze se 2 kamerami (DANTEC Stereo PIV). Jak byste tyto úlohy tedy skutečně měřil pomocí 3D PIV, čím se bude lišit PIV setup pro 3D měření?