

Posudek na doktorskou dizertační práci

Autor : Ing. Jindřich Hála

Název: Compressible Fluid Flow through Narrow Channels

Dizertační práce Ing. Hály se zabývá teoretickým a experimentálním výzkumem stlačitelného vazkého proudění úzkými kanály. Práce má celkem 108 stran a 65 obrázků. Obsahuje 45 odkazů na odbornou literaturu, z toho u 7 publikací je Ing. Hála autorem nebo spoluautorem. Práce je rozčleněna do desíti základních kapitol.

V úvodu jsou vysvětleny základní fyzikální jevy, které se vyskytují při proudění vazké stlačitelné tekutiny úzkými kanály. Dále jsou realizovány rozborů výsledků popsanych v dostupné literatuře. Velká pozornost je věnována analýze dat získaných dříve měřeními v ÚT AVČR zejména v souvislosti se vznikem aerodynamického ucpání. Autor konstatuje nedostatek spolehlivých podkladů o proudění tekutiny v úzkých štěrbinách.

Na základě svých rozborů Ing. Hála formuluje základní cíle své dizertace, jež souvisí s podrobným vyšetřením proudění v úzkých kanálech obdélníkového průřezu s vysokým poměrem šířky a výšky ($b/h = 25$ až 200) při použití různých sond a teoretické metody CFD. Předpokládá se výška kanálu $0,5$ až $4,0$ mm. Povrch stěn kanálu byl hladký nebo drsný se dvěma typy drsnosti. Délka a šířka obdélníkového kanálu byla stejná $l = b = 100$ mm. Cílem bylo změřit podmínky přechodu laminárního proudu do turbulentního a vzniku aerodynamického ucpání proudu v kanálu. V dizertační práci jsou uvedeny výsledky simulace proudu dle komerčního programu ANSYS Fluent. Změřené průběhy veličin podél délky kanálu ve směru proudu jsou porovnány s teoretickými s různými modely turbulence a přechodu.

Nejrozsáhlejší kapitola dizertační práce je věnována popisu výsledků měření a jejich rozboru. Zkoušky proběhly na vysokorychlostním aerodynamickém tunelu Ústavu termomechaniky AV ČR v Novém Kníně.

Před vlastním měřeními byly provedeny kalibrace měřicí techniky ve speciálním kalibračním zařízení o výšce kanálu 10 mm. Zde byly také provedeny v několika typických rovinách sondáže proudu Pitotovou sondou v 11 místech po výšce kanálu. U vyšetřovaných úzkých kanálů v této práci, kde výška byla $h = 0,5$ až 4 mm, bylo toto měření realizováno pouze v blízkosti výstupní roviny.

Z rozborů vyplynulo, že proudění v úzkém kanálu bylo u většiny zkoumaných variant s přechodem laminárního proudu do turbulentního. Výjimku tvořil případ s výškou kanálu $h = 0,5$ mm, kde proudění bylo turbulentní. Proto při simulacích proudu byly užity příslušné modely turbulence.

V práci je uveden podrobný popis kalibrace sondy se žhaveným filmem. Tato data byla aplikována při stanovení smykového tření při různých drsnostech stěny kanálu. Z porovnání výsledků měření smykového napětí podél kanálu a dat výpočtu CFD vyplynul přijatelný souhlas u výšky kanálu $h = 0,5$ mm pro hladký a drsný povrch. Zato u výšky $h = 2$ mm bylo možné pozorovat relativně velké rozdíly. Vysvětlení plyne z charakteru proudění. U výšky $h = 0,5$ mm resp. $h = 2$ mm bylo proudění vyvinuté turbulentní resp. přechodové.

Byly stanoveny také hodnoty ztrátového součinitele podél celé délky úzkého kanálu s různými povrchy při třech typických hodnotách tlakového poměru ($\pi = 0,3, 0,6$ a $0,8$). Relativně menší hodnoty tlakových ztrát byly zjištěny pro případy drsné stěny v porovnání s případem hladké stěny kanálu.

V závěru disertační práce byla věnována velká pozornost otázce aerodynamického ucpání proudu v kanálu. K tomuto jevu dochází při nižším podtlaku, než odpovídá ideálnímu případu beze ztrát.

V závěrečné kapitole jsou shrnuty nejdůležitější dosažené výsledky. Je konstatováno splnění vytyčených cílů. Jsou vymezeny konkrétní vědecké přínosy autora práce. Také jsou uvedeny náměty na další pokračování výzkumu.

Otázky do diskuse:

- autor se zmiňuje na str.13 o možné aplikaci výsledků své dizertace při konstrukci radiální turbíny a odstředivého kompresoru malých rozměrů. Mohl by podrobněji vysvětlit tuto myšlenku s použitím výkresové skici ?
- podél kalibračního úzkého kanálu v několika rovinách byla provedena sondáž proudu pomocí Pitotovy sondy. Byly měřeny i statické tlaky na stěně kanálu. V práci jsou znázorněny profily celkového tlaku v kanále o výšce 10 mm, viz obr.21 až 23. Bylo provedeno porovnání hodnot průtoku vzduchu v různých sondážních rovinách a ve vstupní rovině? Zde se předpokládá vyhodnocení z dat vstupní dýzy.
- jaké bylo použito kritérium konvergence výpočtu veličin proudu v úzkém kanále při aplikaci komerčního programu CFD? Bylo možné pozorovat vliv některých parametrů (např. tlakového součinitele π a výšky kanálu) na počet iterací?

Celkové hodnocení

Řešená problematika je velmi obtížná. V literatuře není mnoho podkladů o proudění v relativně úzkých obdélníkových kanálech. Získané výsledky řešení Ing. Hály jsou původní a velmi cenné. Vytyčené cíle doktorské disertační práce byly splněny.

Dosažené výsledky jsou přehledně uspořádány jak v textu práce tak v připojených dodatcích. Provedení obrázků je ve velmi dobré kvalitě. Čtenář se v nich dobře orientuje. Oponent není

schopen posoudit správnost formulací anglického textu. V celé práci je však výklad poznatků proveden logicky a srozumitelně.

Oponent kladně hodnotí podrobné rozborů jevů , jež vyplývají z dat měření a z porovnání změřených a vypočtených výsledků. V některých případech autor navrhuje další měření , aby bylo možné dopřesnit výklad mechanismu proudění.

Je třeba také kladně hodnotit vyváženost teoretického a experimentálního řešení v dizertační práci.

Hlavní přínos dizertace je v obecné vnitřní aerodynamice. Byly získány nové poznatky o stlačitelném vazkém proudění v úzkých kanálech při použití nejmodernější měřicí techniky (miniaturní tlakové sondy, sondy se žhaveným filmem a drátkem , optické sondy a pod.). K tomu pomohla při rozbořech aplikace výsledků simulace dle metody CFD s různými modely turbulence. Dá se konstatovat, že použité metody se osvědčily a jsou připraveny k řešení nových úkolů spojených s vývojem dílů malých leteckých motorů či turbodmychadel.

Závěr

Dizertační práce Ing. Jindřicha Hály je na velmi dobré odborné úrovni. Obsahuje nové vědecké poznatky. Publikační činnost lze hodnotit kladně. Proto doporučuji obhajobu dizertační práce a následné udělení titulu Ph.D. v souladu s příslušnými ustanoveními zákona ČR o vysokých školách č. 111/1998 Sb. a prováděcích předpisů.

Zpracoval : Prof. Ing. Václav Cyrus, DrSc., AHT Energetika, Praha 9 – Běchovice,
Podnikatelská 550, PSČ 190 11

V Praze, dne 2.7.2021