

Doc. Ing. Zdeněk Pátek, CSc., MS.  
Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.  
Beranových 130  
199 05 Praha – Letňany  
a Fakulta strojní ČVUT v Praze

**Oponentský posudek**  
**disertační práce Ing. Jindřicha Hály**  
**Compressible Fluid Flow through Narrow Channels**

Posuzovaná práce byla předložena na Fakultě strojní ČVUT v Praze v roce 2021. Vlastní práce čítá 91 stranu a 21 stranu dodatků.

Práce se zabývá prouděním vazké stlačitelné tekutiny úzkými kanály obdélníkového průřezu s vysokým poměrem šířky k výšce.

V první kapitole Introduction autor práce vysvětluje důvody, které vedly k volbě tématu.

V následující kapitole Literature Review popisuje současný stav znalostí o problematice.

Třetí kapitola Aims of the Work definuje v návaznosti na předchozí dvě kapitoly tři hlavní cíle práce.

Čtvrtá kapitola Philosophy of Approach – Design of Experiments představuje základní přístup k dosažení vytyčených cílů.

Pátá kapitola Experimental Facilities & Measurement Techniques seznamuje s modelem kanálu, na kterém probíhala měření, a se všemi použitými experimentálními technikami. Stručně obecně zmiňuje nejistoty měření.

Šestá kapitola Numerical Simulations popisuje metodu a přístup k numerickým výpočtům.

Sedmá kapitola Hot-Film Sensor Calibration Procedure se věnuje zvládnutí techniky měření smykového napětí snímačem se žhavenou ploškou.

Osmá kapitola Narrow Channel Measurements popisuje postup měření v modelovém kanálu.

Nejrozsáhlejší devátá kapitola Results & Discussion shrnuje výsledky měření různými metodami a výsledky výpočtů.

Poslední kapitola Conclusions shrnuje dosažené výsledky.

Dosažení stanoveného cíle

Vytyčené cíle formulované v kapitole 3 – tj. experimentálně a výpočetně určit charakter proudění v kanálu, zjistit, zda se v proudění reálného plynu kritické podmínky oddělují od sonických podmínek, zjistit, zda se mezní vrstva v blízkosti výstupu z kanálu ztenčuje – byly celkově splněny.

Úroveň rozboru současného stavu

Rozbor současného stavu je dosti stručný a zasloužil by si hlubší propracování. Dostatečně však vystihuje současnou úroveň znalostí a ukazuje dobrou orientaci autora práce v problematice.

### Teoretický přínos práce

Práce přináší nové poznatky o stlačitelném proudění v úzkých kanálech, zejména o vývoji mezní vrstvy, o vlivu poměru tlaku na výstupu k tlaku na vstupu a o vlivu drsnosti povrchu kanálu. Pro případ úzkého kanálu rovněž diskutuje rozdíly mezi prouděním reálného plynu a ideálního plynu. Některé z výsledků patří spíše k neočekávaným, zvláště pokud se jedná o vliv drsnosti povrchu.

Cenné jsou zejména experimentální výsledky, které byly získány několika měřicími technikami.

### Praktický přínos práce

Výsledky práce přidaly další příspěvek k poznávání velmi komplexní problematiky. Experimentální část výsledků může též posloužit jako podklad při zpřesňování a validaci matematických modelů přechodu mezní vrstvy i jako základ pro další experimentální i teoretické studium problematiky. Zanedbatelné nejsou ani poznatky související s praktickým použitím různých experimentálních technik, zejména senzoru se žhaveným filmem a senzoru s plůtkem (fence probe) a jejich kalibrací.

Výsledky práce mohou potenciálně přispět ke zpřesnění metod aplikovaných při vývoji lopatkových strojů.

### Vhodnost použitých metod řešení

Experimentální zařízení, experimentální techniky a postupy použité autorem jsou vhodné. Je potřeba poznamenat, že měření v prostorově velmi omezených podmínkách patří k obtížným experimentálním úlohám. Autor práce zvládl několik náročných experimentálních technik včetně vývoje vhodného kalibračního zařízení.

Matematický i fyzikální model jsou popsány správně. Použité modely turbulence a model přechodu jsou vhodné pro vnitřní aerodynamiku. Tvar výpočetní oblasti dobře postihuje geometrii zájmového prostoru, typy a hodnoty okrajových podmínek jsou zvoleny a zadány správně. Ale ukázalo se, že metoda RANS a použitý model přechodu nejsou zřejmě zcela vhodné pro řešení počátečního vývoje mezní vrstvy ve velmi úzkých kanálech. To by mohlo být příčinou rozdílů mezi experimentálními a numerickými výsledky.

### Způsob aplikace použitých metod řešení

Použité metody řešení byly aplikovány vhodným způsobem. Vzhledem k náročnosti měření ve stísněném prostoru musel autor práce nepochybně zvládnout mnohá úskalí, a to i v oblasti kalibrací měřicích zařízení. Výzkum byl prováděn na kanálu se systematicky měněnými rozměry, drsností povrchu a tlakovými poměry na vstupu a výstupu, takže výsledky umožňují získat ucelenější představu o vlivu jednotlivých parametrů.

U některých metod není v práci zmíněna problematika nejistot. Nejistoty měření tlaku by si kromě Fig. 24 a 25 zasloužily i slovní komentář nebo tabulku.

U výpočetní metody byla provedena důkladná analýza hustoty sítě (počtu buněk sítě) na výsledky simulace.

### Průkaz odpovídajících znalostí v oboru

Disertační prací autor prokázal, že dosáhl v oboru termomechaniky a mechaniky tekutin znalostí a vědomostí odpovídajících doktorské úrovni. Za zmínku stojí zejména praktické zvládnutí řady experimentálních metod v prostorově stísněných podmínkách velmi úzkého kanálu.

### Formální úroveň práce

Práce je dobře strukturovaná, grafy a obrázky jsou přehledné a dobře čitelné. Občas se vyskytuje nepříliš šťastné zalomení obrázků do textu, např. Fig. 12 a Fig. 37 jsou zalomeny do jiných kapitol, než ke kterým náleží.

V práci, např. v příloze, by měly být identifikovány konkrétní použité exempláře měřicích přístrojů (např. výrobním číslem), aby bylo umožněno potenciální opakování měření nebo kontrola výsledků.

Jazykovou úroveň oponent nemohl celkově posoudit, protože není rodilým mluvčím v anglickém jazyce. Občas se vyskytují překlepy, které ale nesnižují srozumitelnost textu.

### Otázky

- 1) Co by mohlo být příčinou zvýšení efektivního průřezu kanálu podélnou drsností (str. 57) ?
- 2) Co by mohlo být příčinou nečekaného vlivu drsnosti na ztrátu celkového tlaku (Figure 37) ?
- 3) Intenzita turbulence v tab. 3 na str. 31 je určena ze všech tří složek ? Jak vypadaly jednotlivé složky fluktuace rychlosti v úzkém kanálu ?
- 4) Bylo by možné zkusit odhadnout nejistotu měření pomocí čidla se žhaveným filmem ?

### **Závěr**

Práci považuji za zdařilou, doporučuji ji k obhajobě a doporučuji udělení akademického titulu doktor (Ph.D.) podle §47 zákona 111/1998 Sb. v platném znění.

V Praze 29. června 2021

Zdeněk Pátek