

## **Posudek na doktorskou dizertační práci**

Autor : Ing. Michal Čížek , ČVUT v Praze

Název: Analýza proudění v labyrintových ucpávkách malého turbovrtulového motoru

Dizertační práce Ing. Čížka se zabývá teoretickým a experimentálním výzkumem proudění v labyrintových ucpávkách leteckého turbínového motoru. Tato úloha je velmi aktuální. Práce má celkem 104 stran a 127 obrázků. Obsahuje 85 odkazů na odbornou literaturu. Dále uvádí 11 publikací, kde je Ing. Čížek autorem nebo spoluautorem . Práce je rozčleněna do devíti základních kapitol.

V první a druhé kapitole je uveden výběr některých důležitých publikací o labyrintových ucpávkách leteckých motorů. Jsou citovány důležité poznatky o mechanismu proudění v tomto komponentu motoru. Avšak oponent postrádá zmínku o některých významných publikacích, např. od autora Denecke a kol., Xin Yan a kol. , které přinášejí do oboru nové poznatky.

V další kapitole jsou formulovány cíle disertační práce. Velká část je věnována výpočtům proudění v labyrintové ucpávce metodou počítačové mechaniky tekutin (CFD). Byly sestaveny výpočtové modely pro různé konstrukční varianty ucpávky s odlišnými hodnotami poměrné výšky radiální mezery  $RC/a = 0,02, 0,04$  a  $0,06$  a pro ucpávky s různým počtem břitů 4 až 6. Autor sledoval vliv několika výpočtových sítí s různým počtem prvků na přesnost výpočtu. Dále byl studován efekt aplikace různých modelů turbulence. Výpočtový model byl založen na předpokladu adiabatického proudění. Byly provedeny rozsáhlé výpočty proudění ve variantách ucpávek při poměrných otáčkách  $n/n_{ref} = 0,14$  až  $1,36$ , kde  $n_{ref} = 36660$  1/min. Autor se soustředil zejména na výsledky přírůstku celkové teploty proudu v ucpávce. Ten hlavně roste s otáčkami hřídele motoru a se snížením výšky radiální vůle.

Vypočtené hodnoty přírůstku celkové teploty plynu byly ověřeny experimentálními výsledky získanými na dvou zařízeních. První laboratorní bylo zkonstruováno a vyrobeno v ČVUT v Ústavu mechaniky, biomechaniky a mechatroniky. Zde byl užit obdélníkový profil břitu s poměrnou radiální vůlí  $RC/a = 0,154$ . Na zařízení bylo dosaženo pouze hodnoty maximálních otáček  $n = 7000$  1/min pro dvě zadání vstupního statického tlaku  $p_{s1} = 253$  a  $355$  kPa. Popis měřicí techniky uvedený v disertační práci je však velmi stručný. Je proveden rozbor dat měření. Z dalších úvah byla vyřazena data měření ve výstupní rovině ucpávky blíže elektromotoru. Souhlas vypočtených hodnot parametrů proudu různých konstrukčních provedení ucpávky jsou v přijatelném souhlasu se změřenými. V disertační práci je také uvedena podrobná analýza chyb měření. Vzhledem k tomu, že na laboratorním zařízení nebylo možné měřit v požadovaném rozsahu otáček ( $n_{ref} = 36660$  1/min), bylo rozhodnuto uskutečnit měření na skutečném leteckém

motoru GE Catalyst. Porovnání změřených a vypočtených přírůstků celkové teploty v ucpávce ukázalo větší rozdíly, než v předchozím případě. Naměřená celková teplota vzduchu na výstupu z ucpávky byla nižší než spočtená. Pro poměrné otáčky  $n/n_{ref} = 1,0$  byl relativní rozdíl vypočtených a změřených celkových teplot  $\delta\Delta T_{ckor} = 0,06$ . To odpovídá rozdílu  $\delta\Delta T_c = 17,3K$ . Tento rozdíl souvisí s přestupem tepla do okolí.

Na konci práce je uveden ideový návrh inovativního konstrukčního řešení labyrintové ucpávky ve dvou provedeních. V prvním je použit akční člen, který by radiální vůli ucpávky měnil v součinnosti se skutečným režimem motoru. U druhé varianty by se měnila radiální vůle pomocí vnějšího zařízení na bázi irisové clony.

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.

### **Připomínky a dotazy do diskuse**

- Bylo by zajímavé ukázat příklad vektorového pole rychlosti proudu v ucpávce s cílem vizualizovat vířivé proudění
- Autor by měl provést fyzikální rozbor proudění v ucpávce na základě získaných teoretických výsledků a vysvětlit, proč dochází k růstu celkové teploty v labyrintové ucpávce za předpokladu adiabatického proudění.
- V práci chybí podrobnější popis měřicí techniky aplikované na zkušebním zařízení v ČVUT. Jedná se o počty a rozmístění teplotních a tlakových sond, měřič otáček a průtokoměr. Podobně je tomu i u experimentu na skutečném motoru.
- Autor uvádí chybu stanovení teploty vzduchu pomocí plášťovaného termočlánku podle literatury (Childs a kol., 2001):  $\pm 2,1 K$ . Tato hodnota se zdá být příliš vysoká pro případ zařízení ČVUT s maximální hodnotou otáček  $n = 7000 \text{ 1/min}$
- Je třeba velmi ocenit výsledky získané měřením ucpávky na motoru GE. Rozdíly mezi vypočtenými přírůstky celkové teploty a změřenými jsou podle autora způsobeny přestupem tepla z ucpávky do okolí. To však nelze výpočtově odhadnout na bázi získaných dat měření. Proto by bylo vhodné realizovat další doplňující zkoušky pro podrobnější rozbor proudění v ucpávce motoru.

### **Celkové hodnocení**

Řešená problematika je velmi obtížná. V literatuře je relativně mnoho podkladů o proudění v labyrintových ucpávkách parních a spalovacích turbín, protože se jedná o důležitý komponent těchto strojů. Disertant uvedl přehled publikovaných prací, které se zabývají prouděním

v ucpávkách leteckých motorů. Bylo velmi těžké vybrat a důkladně prostudovat uvedené práce tak, aby bylo možné výsledky zahrnout do svého řešení.

Vytyčené cíle doktorské dizertační práce byly splněny.

Dosažené výsledky jsou přehledně uspořádány jak v textu práce tak v připojených dodatcích. Provedení obrázků je ve velmi dobré kvalitě. Avšak oponentovi se zdá, že jich je příliš mnoho. Na konci nejrozsáhlejších kapitol autor zařadil shrnutí dílčích závěrů, což usnadnilo orientaci čtenáře v textu. V celé práci je patrná snaha, aby výklad poznatků byl proveden logicky a srozumitelně.

Je třeba také kladně hodnotit vyváženost teoretického a experimentálního řešení v dizertační práci. Oponent si myslí, že v práci lze nalézt mimo jiné i řadu informací pro zdokonalení stávajícího experimentálního zařízení ČVUT.

Hlavní vědecký přínos dizertace je v porovnání výpočtu a měření proudění v labyrintových ucpávkách leteckých motorů. Experiment byl proveden na speciálním zařízení v ČVUT a na skutečném motoru. Z porovnání se dá konstatovat, že použité teoretické metody se osvědčily a jsou připraveny k návrhu nových labyrintových ucpávek leteckých motorů.

### **Závěr**

Dizertační práce Ing. Michala Čížka je na dobré odborné úrovni. Obsahuje nové vědecké poznatky. Publikační činnost lze hodnotit kladně. Proto doporučuji obhajobu dizertační práce 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 13.10.2021