

**Doc. Ing. Dalibor ROZEHNAL, Ph.D.**  
**Katedra letecké techniky**  
**Univerzita obrany**  
**Kounicova 65**  
**662 10 BRNO**

## **Oponentní posudek disertační práce**

**Název práce:** **Analýza proudění v labyrintových ucpávkách malého turbovrtulového motoru**

**Autor práce:** **Ing. Michal ČÍŽEK**

Předložená doktorská disertační práce s názvem „**Analýza proudění v labyrintových ucpávkách malého turbovrtulového motoru**“ je zaměřena do oblasti vnitřní aerodynamiky proudění plynů v leteckých lopatkových motorech (LLM). Práce se detailně zabývá změnami stavových veličin, především celkové teploty, proudícího plynu při jeho průchodu labyrintovými ucpávkami LLM.

### **A. Aktuálnost zvoleného tématu**

Téma disertační práce je velmi aktuální a žádané. Je zaměřené na proudění plynu v labyrintových ucpávkách motoru, které významně ovlivňuje výkonové parametry LLM. Práce obsahuje jak numerické modely řešení, tak i jejich ověření na experimentálním laboratorním zařízení a měření na skutečném malém proudovém motoru.

### **B. Cíle práce** (*zhodnocení vytčených cílů práce a zhodnocení, jak disertant stanovené cíle splnil*)

Vytčené cíle doktorské práce jak teoretické, tak i praktické jsou uvedeny na str. 8. Cíle práce jsou formulovány jasně, reálně a srozumitelně ve třech bodech. Jsou zaměřeny na vytvoření modelu pro výpočet teploty plynu v labyrintové ucpávce leteckého turbínového motoru, dále na ověření a porovnání hodnot získaných z CFD simulací a z experimentálních měření jak na zkušebním zařízení, tak i měření na malém LLM. Posledním cílem práce je návrh inovativního přístupu k hodnocení proudění v labyrintových ucpávkách LLM.

### **C. Zvolené metody zpracování a postup řešení** (*vyjádření ke zvoleným metodám a k postupu řešení problému*)

Práce obsahuje jak teoretickou část, která obsahuje numerické modely řešení využívající CFD simulací, tak i experimentální ověření teoretických výsledků. Použité metody jsou zvoleny komplexně tak, aby zahrnovaly ucelený přístup k řešení problematice a umožnily jejich srovnání resp. objasnění výhod a nedostatků při aplikaci jednotlivých přístupů řešení. Disertant využíval při řešení proudění plynu v labyrintových ucpávkách LLM moderní profesionální SW nástroj Ansys CFX. Pro získání celkových hodnot teplot a tlaků proudícího

plynu v labyrintové ucpávce využil zkušební zařízení ústavu a měřicího stanoviště s malým proudovým motorem.

**D. Zhodnocení výsledků dosažených disertantem** (vyjádření k výsledkům práce s uvedením konkrétního přínosu studenta)

Disertant ve své práci na str. 46 detailně zpracoval a analyzoval výsledky numerického řešení proudění plynu v labyrintové ucpávce tvořené čtyřmi, pěti a šesti břity a to pro tři různé radiální vůle. Vyhodnocovanými veličinami byly průběhy statických tlaků, celkových teplot, hmotnostního průtoku, celkové entalpie, průtokového koeficientu, Machova a Reynoldsova čísla. Vypočtené vyhodnocované veličiny byly ověřovány měřeními na laboratorním zařízení při 14-ti otáčkových režimech a dvou radiálních vůlích. Na zkušebním motoru, který měl konstantní radiální vůli, bylo realizováno měření při 10-ti různých otáčkových režimech.

**E. Význam pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru** (vyjádření k významu pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru)

Práce je zaměřena do oblasti proudění plynu sekundárními vzduchovými cestami – labyrintovými ucpávkami LLM. Zpřesňování výpočtu hmotnostního průtoku těmito cestami umožňuje objektivněji naladit termodynamický výpočet celého motoru. Předložená práce přináší nové poznatky o významu vlivu celkové teploty proudícího plynu v labyrintové ucpávce LLM na jeho výkonové parametry.

Dosažené výsledky řešené v disertační práci a z nich formulované výstupy mají dostatečné teoretické i praktické uplatnění.

**F. Publikáční činnost autora**

Autor v práci uvádí 11 publikací souvisejících s disertační prací. Počet uvedených publikací je vyhovující.

**G. Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň** (vyjádření ke struktuře disertační práce, k formálnímu zpracování a k jazykové úrovni)

Vlastní práce je rozdělena do devíti kapitol a je zpracována v rozsahu 104 stran A4 včetně odkazů, příloh a přehledu publikační činnosti autora. Po jazykové stránce je práce zpracována kvalitně a obsahuje minimum nedostatků, které neovlivňují kvalitu vlastní práce. Výhrady mám k některým grafickým a numerickým výstupům.

- Většina obr. s grafy např. 15 až 47 je velmi malých a vynášené průběhy jsou zbytečně obtížně čitelné. Na zbylé části stránky je následně volné místo.
- Ve sloupcích vynášené hodnoty nemají stejný počet desetinných míst a především platných míst viz. str. 33 průtokový koeficient „ $\mu$ “.
- V rovnici 26 str. 34 je nesprávně stanovený vztah pro počítaný koeficient „ $e$ “.
- Na str. 43 obr. 62 chybí celkové schéma zařízení s umístěním posuzovaných segmentů.
- Na str. 49 je obr. 66 neúplný a nejasný. Nejsou zřejmé pozice umístěných teplotních a tlakových sond.
- Na str. 52 Tab. 19 – je pod tabulkou uvedený zcela nevhodný popis.
- Na str. 58 konec prvního odstavce  $\Delta T_{Ccorr} = 0,0219$  je nesprávná hodnota má být  $\Delta T_{Ccorr} = 0,0153$  viz. Tab. 18.
- Na str. 61 Obr. 81 chybí stupnice na ose „ $x$ “.

**V rámci obhajoby žádám disertanta o názory a zodpovězení následujících otázek:**

- 1) Vysvětlete, proč jste testovat na zkušebním zařízení radiální vůli  $RC_{corr} = 0,15$ . Jaký to mělo mít význam, když numerickým výpočtem jste řešil vůle  $RC_{corr} = 0,02, 0,04$  a  $0,06$  a na testovaném motoru je konstantní  $RC_{corr} = 0,04$ ?
- 2) Zdůvodněte, proč je na obr. 25 str. 22 na 1. břitu pro  $RC_{corr} = 0,02$  tak vysoká hodnota průtokového koeficientu „ $\mu$ “. Měla by být nižší než na obr. 18 a vyšší než na obr. 32.
- 3) Vysvětlete, jak lze chápat hodnotu počítaného koeficientu „ $e = 3,87$ “ uvedenou pro laminární proudění na str. 34 s hodnotou „ $e$ “ ze str. 35 obr. 49 kde je pro laminární proudění uvedená nejvyšší hodnota „ $e = 2,55$ “? Rozdíl v těchto hodnotách je více než 40%.
- 4) Vysvětlete, jak chápat tvrzení na str. 45, že Re číslo se zvyšuje díky větší rychlosti proudění a **zvětšující** se kinematické viskozitě?
- 5) Vysvětlete proč je dosahováno nejvyšších hodnot Machova čísla na posledních břitech labyrintových ucpávek obr. 20, obr. 27, obr. 34, když je uvažovaný konstantní hmotnostní průtok plynu a nárůst celkové teploty plynu?

**Závěrečné zhodnocení** (*celkové zhodnocení disertační práce a jednoznačné vyjádření, zda oponent práci doporučuje nebo nedoporučuje k obhajobě*)

Na základě dosažených výsledků a závěrů uvedených v práci lze konstatovat, že autor ve své disertační práci splnil všechny cíle, které si stanovil.

Závěrem konstatuji, že předložená disertační práce splňuje podmínky stanovené §47, odst. 4, zákona č. 111/1998 o vysokých školách. Zpracováním práce disertant prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat.

**K disertační práci nemám žádné vážné výhrady, je zpracována v odpovídajícím rozsahu a kvalitě a doporučuji ji k obhajobě. Po jejím úspěšném obhájení navrhuji, aby Ing. Michal ČÍŽEK obdržel akademický titul Ph.D.**

V Brně dne 11. listopadu 2021

Doc. Ing. Dalibor ROZEHNAL, Ph.D.