

POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

<i>Autor práce</i>	Ing. Lukáš HURDA
<i>Téma DisP</i>	Analysis of Flow Induced Instabilities in a Centrifugal Compressor Stage with Radial Inlet Guide Vanes
<i>Školitel</i>	Ing. Richard Matas, Ph.D.
<i>Studijní program</i>	Theory and Construction of Machines (P0715D270024)

Oponent disertační práce: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

1) Obsahová stránka práce

Disertační práce Ing. Lukáše Hurdy se týká komplexní studie proudění stlačitelných plynů odstředivými kompresory, které se běžně používají v celé řadě průmyslových aplikací a kde je vyžadován vysoký objem a vysoká komprese plynů. Problémem je vznik nestability při jejich provozu a její minimalizace. K řešení bylo realizováno měření na experimentálním zařízení a byly využity moderní experimentální i matematické přístupy od využití rozměrové analýzy až po numerické modelování. Oba přístupy se vzájemně doplňují. Výsledkem jsou doporučení pro návrh stupňů kompresoru s minimálním výskytem nestabilit na vstupu a CFD výpočty na modifikovaném oběžném kole kompresoru. Navíc metodika řešení je kvalitním návodem pro vytváření matematických modelů turbostrojů.

2) Aktuálnost tématu

Téma práce je zabývá nestabilitami proudění plynů odstředivými kompresory a možnostmi jejich minimalizace. Tím se optimalizuje konstrukce zařízení z hlediska efektivity provozu. Vzhledem k využití zařízení v mnoha průmyslových aplikacích je práce aktuální. Celou práci je také možno chápat jako kvalitní metodiku pro tvorbu matematických modelů proudění s přenosem tepla v tepelných výměnících.

3) Předpokládané cíle a přínosy

V úvodní části práce jsou jasně specifikovány cíle definující náplň problematiky. Jednotlivé body se zaměřují na definici a predikci proudových nestabilit, jejich zobecnění, realizaci měření na experimentálním zařízení a programu na univerzální vyhodnocení dat. K předvídání proudových nestabilit se navrhuje řešit parametrickou studii a závěry využít simulaci proudění pomocí CFD analýzy a pro konstrukční vylepšení geometrie kompresoru.

Přínosem práce jsou následující výsledky

- program pro metodičtější vyhodnocování měření, který je široce použitelný a snadno rozšiřitelný na měření průtoku stlačitelné tekutiny pomocí teplotních a tlakových sond.
- rozšíření znalostí o provozu a výhodách odstředivých kompresorů s radiálními IGV na rozdíl od axiálních IGV
- zobecnění proudění ovlivněného odstředivými silami v toroidním kanále je dosaženo rozměrovou analýzou a výpočetními parametrickými studiemi
- identifikace zdroje nestabilit při provozu kompresoru v souvislosti s průtokovými a geometrickými prvky, především prizmatické lopatkování oběžného kola a inovativní testovaný nový návrh.
- vložení IGV do simulací kompresoru a posouzení stability

Tedy cíle práce byly splněny, i když některé části kapitol jsou příliš podrobné. Řada výsledků je významným přínosem pro rozvoj oboru.

4) Postup při řešení zvoleného téma

Předložená práce má 132 stran, 4 kapitoly, seznam literatury, vlastních publikací a dvě přílohy týkající se vyhodnocení variant výpočtu. Zdroje použité literatury jsou řádně citovány a jsou relevantní k dané problematice. Téma práce je komplexní a obsahuje jak teoretickou, tak i experimentální část. Na výsledky dosažené v experimentální části navazuje výpočtová část, která využívá experiment pro vstupní data matematického modelu a následně k jeho verifikaci.

V teoretických kapitolách práce byl proveden rozbor problému na základě detailně analyzovaného současného stavu vědění. Tato část práce sumarizovala tradiční a novější poznatky, publikované zejména v časopisech a odborných studiích. Stěžejními kapitolami jsou rozměrová analýza, principy práce odstředivých kompresorů, návrh oběžného kola. V další části je vysvětlena metodika univerzálního zpracování naměřených dat a vytvořen vlastní univerzální software. Dále je shrnuta obecná teorie výpočetní dynamiky tekutin (CFD) včetně specifik pro simulaci turbostrojů.

První aplikací rozměrové analýzy je popis proudění v toroidním vstupním kanálu bez ohledu na oběžné kolo. Poté jsou vytvořeny jednoduché modely OD, které objasňují proudění v plném rozsahu provozních podmínek na základě stavu sání oběžného kola.

Měření slouží pro identifikaci nestabilních provozních parametrů kompresoru a vyhodnocení úhlu náběhu absolutní rychlosti proudění a zároveň je využito pro numerické simulace především v kritických oblastech a identifikovaných provozních režimech. Nejprve je

navržena a modelována původní náhrada oběžného kola s4 pomocí dvou přístupů generování víření vstupního průtoku. Nová stabilnější konstrukce oběžného kola je pak modelována pouze v jedné variantě včetně IGV.

Po prodiskutování všech přístupů k problému pomocí různých modelů jsou předloženy zobecněné závěry v poslední kapitole, která začíná diskusí o výsledcích jednotlivých modelů. Poté obsahuje doporučení ohledně návrhu kompresoru, definuje na budoucí práci a zdůrazňuje přínosy v oboru.

Především je třeba poznamenat, že práce obsahuje velké množství experimentálních a matematických výsledků, precizně popsaných a zpracovaných tabulkami a graficky.

5) Formální a jazyková úroveň

Práce je na výborné formální úrovni a splňuje požadavky na kvalitu a zpracování disertační práce. Je ale příliš rozsáhlá. Řada teoretických informací a odborných částí kapitol mohla být uvedena například v přílohách, neboť takto napsaná práce ztrácí kontinuitu. V práci se občas vyskytují drobné chyby a formální nedostatky, jejich počet je však minimální a akceptovatelný vzhledem k rozsahu práce.

Formální připomínky:

- Věty jsou příliš dlouhé a složité a jsou komplikací při pochopení podstaty informace
- Rov. (3.1) a další je jen částečně odvozena
- V grafech na obr. 3.17 a dalších je zobrazeno příliš mnoho křivek, některé jsou pak nedohledatelné
- Str. 43, 10 ř. sh. – co znamená pojem volumetric viscosity

6) Publikační činnost

Seznam publikací autora je na str. 127, 128 disertační práce. Presentování výsledků je především na konferencích. Doporučuji vzhledem k rozsáhlému obsahu práce prezentovat výsledky v časopisech.

7) Doplnující otázky na doktoranda

- Jak jsou definovány rovnice (2.15) – (2.17) v cylindrickém válcovém systému, neboť jsou v řešených úlohách takto používány
- Pokud se v proudění objeví bod odtržení mezní vrstvy a víření, pak taková úloha se může stát časově závislou a řešení stacionární varianty nemusí konvergovat. Může se ale řešit jako časově závislá s využitím steady statistics k určení průměrných hodnot. Je to možnost pro úlohy prezentované v práci, nebo důvod odstranění nekonvergujících úloh byl jiný?
- Proč byl testován software OpenFoam, když pro reálnou geometrii nebyl použit?

Předložená disertační práce Ing. Lukáše Hurdy souvisí s aktuální problematikou nestabilit při proudění stlačitelných plynů kompresorovými jednotkami. Doktorand zvolil pro řešení práce metodu matematického modelování a fyzikálního experimentu a vhodně je kombinoval. Prokázal své znalosti a schopnosti v této oblasti vědy a výzkumu. Práce je mimořádná svým teoretickým i praktickým rozsahem, má potenciál uplatnit výsledky v technické praxi. Je významná pro rozvoj vědního oboru a může sloužit jako studijní literatura pro vysokoškolské studenty a doktorandy.

Stanovené cíle byly v disertační práci dosaženy a práce splňuje požadavky na dizertační práci v souladu s § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. **Dizertační práci doporučuji k obhajobě před jmenovanou komisí a po úspěšném obhájení práce doporučuji udělení titulu PhD.**

Ostrava, 5/11/2023

Prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
emeritní profesor
katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení
Fakulta strojní
VŠB-TU Ostrava