

## ***Oponentský posudek na disertační práci na téma***

# **Analýza rychlostních a tlakových polí kapaliny využitím křivočarých souřadnic**

**Doktorand: Ing. Jiří Stejskal**  
**Fakulta strojního inženýrství**  
**Energetický ústav, odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana**  
**Vysoké učení technické v Brně**

Téma disertační práce je zaměřeno na teoretický výzkum proudění v lopatkových strojích v souvislosti s možnostmi návrhu tvaru lopatkového kola a jeho optimalizace. Téma je velmi aktuální, neboť v praxi se stále zvyšují nároky na výkony strojů a zařízení obecně a tedy také na výkony hydraulických strojů.

Práce obsahuje 115 stran, je členěna do 7 základních kapitol, jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují. Kapitola první je věnována stručnému úvodu problematiky týkající se proudění v oběžném kole čerpadla s využitím křivočarých souřadnic a následně souvisejícího matematického aparátu k řešení, přitom metodika je aplikována v závěru na vybraných příkladech. Kapitola první je věnována teoretickému základu vektorové analýzy a dále vlastnostem tenzorového počtu. Přejdem na křivočaré souřadnice v kapitole druhé bylo možno zabývat se speciálními druhy proudění až po návrh lopatky pomocí křivočarého souřadného systému. V kapitole třetí a čtvrté je vytvořena metodika návrhu meridiálního řezu oběžného kola a dále hydraulického návrhu oběžného kola v Lagrangeových souřadnicích. Pro řešení proudění v mezilopatkovém prostoru je nejdříve definována diskretizace prostoru a vytvořena elementární matice a následně je využito numerické metody konečných prvků a metody LSFEM pro vyřešení problému. Významnou kapitolou je kapitola o stabilizaci metody. Metodika je pak aplikována na dvě úlohy hydraulického návrhu oběžného kola a závěr, který obsahuje shrnutí výsledků.

### **Aktuálnost tématu**

Problém definovaný v disertační práci je velmi aktuální, neboť je zaměřen na vytvoření metodiky pro návrh geometrie oběžného kola hydrodynamického stroje. Dosud se používala při návrhu oběžného kola řada poloempirických metod založených na teoretickém základě potenciálového proudění a jeho zdokonalování na základě experimentu. Metodika popsaná v práci umožňuje díky kvalitnímu matematickému a numerickému aparátu teoreticky se zabývat prouděním a přiblížit se proudění skutečné kapaliny v oběžném kole s využitím podmínek nevířivého proudění a křivočarého souřadného systému. Aplikace této metodiky umožní připravit návrhy oběžných kol pracujících při vysokých výkonech. Proto je

předmětem zájmu teoreticky zvládnout a podrobně popsat moderními matematickými a experimentálními metodami takové proudění.

### **Splnění sledovaných cílů práce**

Cíle práce byly shrnuty v závěru a byl vyhodnocen význam jednotlivých metod a aplikace na reálné oběžné kolo. Tedy základní cíle práce týkající se analýzy rychlostních a tlakových polí kapaliny využitím křivočarých souřadnic byly splněny. Vzhledem k pozitivním výsledkům při daném postupu je možné využití této technologie v budoucnu.

### **Postup řešení problému**

Pro návrh geometrie oběžného kola byla vybrána a podrobně rozpracována metoda matematického řešení proudění v kombinaci s analytickým rozpracováním rovnic proudění v různých variantách a následně numerické simulace. Tento postup není zcela běžný, vyžaduje výborné znalosti uživatele z oblasti matematické analýzy a numerického modelování. Výsledek splňuje dané předpoklady o parametrech oběžného kola jako je měrná energie a požadované zatížení lopatky na náboji a věnci. Je třeba poznamenat, že autor postupoval obezřetně při aplikaci těchto moderních metod řešení se závěrem, že je nutné zabývat se jejich verifikací, tzn. mít k dispozici kvalitní fyzikální experiment nebo věrohodný matematický model.

### **Význam pro praxi a pro rozvoj vědy a techniky**

Přínosem práce je především velmi náročná kvalitní studie pro návrh a realizaci nových oběžných kol hydrodynamických čerpadel s využitím moderních metod řešení a vytvořena metodika řešení ve velmi aktuální problematice. Na základě zobecnění výsledků je možno rozšířit oblast použití. Práci je možno považovat za základ k rozvoji tohoto vědního oboru s výhledem na rozvoj matematických modelů a experimentálních metod pro další významné aplikace.

### **Formální úprava dizertační práce**

Práce je přehledně členěna do kapitol. Po stránce jazykové je zde minimum překlepů. Grafické zpracování v částech teoretických je názorné a v částech výpočtových je na výborné úrovni. K práci mám následující poznámky:

Poznámky:

- Kapitola první, která se týká matematického úvodu, by mohla být zkrácena na stručný přehled nejvýznamnějších pojmů a podrobné vysvětlení mohlo být uvedeno v příloze.

- V textu by nemělo být používáno množné číslo u sloves, protože práce je individuálním výsledkem autora.
- Odkaz a komentář k obr. 23, 24, a 25 na str. 69 je velmi strohý

Otázky na doktoranda:

- Proč byla pro řešení rovnice (2.24) na str. 80 vybrána metoda konečných prvků a jakým software po sestavení elementární matice byla vyřešena?
- Jaký komentář o reálnosti řešení lze přiřadit po srovnání rychlosti vypočítané metodou LSFEM a Galerkinovou metodou, viz obr. 34?
- Je možné použít pro konstrukční návrh oběžného kola optimalizační metodu, kterou lze nalézt např. v ANSYS Fluent, tj. Adjoint solver?

Doktorand prokázal vysoké odborné znalosti a schopnosti při vytvoření a řešení nového konstrukčního návrhu oběžného kola hydrodynamického čerpadla. Práce je souborem velkého množství kvalitních analytických výsledků z oblasti proudění kapalin, což prezentuje schopnosti doktoranda pracovat systematicky na daném konstrukčním návrhu.

Dizertační práce obsahuje původní výsledky vědecké práce. Doktorand je schopen samostatně vytvářet nová technická řešení, používat vysoce odborný matematický aparát v aplikacích na oběžná lopatková kola a řešit teoreticky i numericky matematické modely. Práce je na vysoké teoretické a aplikační úrovni. Proto doporučuji dizertační práci k obhajobě.

Ostrava, 5/6/2017

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