

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Liliana Chabannese
s názvem

„Design of very low specific speed pump“

- Doktorand: Ing. Lilian Chabannes - VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav
- Školitel: doc. Ing. Pavel Rudolf, Ph.D. – VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav
- Oponent: doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Posudek byl zpracován na základě dopisu doc. Ing. Jaroslava Katolického, Ph.D., děkana FSI VUT v Brně ze dne 7. 10. 2021.

Aktuálnost tématu disertační práce

Ing. Chabannes se ve své disertační práci zaměřil na problematiku radiálního čerpadla s nízkou hodnotou specifických otáček. V praxi se pro aplikace s malým průtokem a vysokou dopravní výškou používají obvykle hydrostatická čerpadla. Přesto mohou být i pro tyto podmínky hydrodynamická odstředivá čerpadla vhodnou volbou, pokud dosáhnou požadované kombinace obou parametrů s dobrou účinností. Oceňována je jejich robustnost, spolehlivost, odolnost proti opotřebení, a jsou proto preferovaná v mnoha průmyslových odvětvích. To je podnětem pro hledání nových konstrukčních řešení, která směřují k potlačení negativních vlivů týkajících se diskových ztrát, vzniku lokálního víru v lopatkovém kanále, objemových ztrát, třecích ztrát ve spirále a v důsledku toho celkové účinnosti a stability charakteristiky čerpadla. Téma práce je aktuální, což potvrzují i dostupné publikace a internetové a zdroje.

Splnění stanoveného cíle

Cíle a rozsah disertační práce jsou definovány v kapitole 1. Hlavním cílem disertační práce bylo na základě studia dostupných informačních zdrojů a zkušeností školícího pracoviště navrhnout a ověřit vliv konstrukčních úprav oběžného kola a spirály jednostupňového radiálního spirálního čerpadla se specifickými otáčkami $n_s=32\text{min}^{-1}$. V prvním případě byl návrh zaměřen na vložení mezilopatek do kanálů oběžného kola, testování jejich počtu, umístění a výstupního úhlu s ohledem na dosahované parametry a stabilitu charakteristiky H-Q. Jednotlivé návrhy byly podrobeny CFD analýze, která umožnila vyhodnotit vliv na posuzované parametry čerpadla. Byla studována disipace energie ve vnitřních prostorách jednotlivých hydraulických částí čerpadla (kanály oběžného kola, spirála, mezery rotoru a statoru). Následně byl zkoumán vliv tvaru a rozměrů spirály jako východisko pro návrh nové spirály nekonvenčního tvaru. Tři navržené geometrie oběžného kola (základní varianta se 4 lopatkami a varianta s jednou a dvěma mezilopatkami) byly realizovány metodou 3D tisku a použity pro experimentální ověření výkonových charakteristik na hydraulické zkušební odboru fluidního inženýrství Viktora Kaplana. Srovnání výsledků numerické simulace s výsledky experimentálních testů potvrdily, že přístup CFD lze účelně použít ke zkoumání proudového pole ve vnitřních prostorách čerpadla. **Lze konstatovat, že cíle práce byly splněny.**

Postup řešení, výsledky disertační práce a konkrétní přínos doktoranda

Doktorand v kapitole 2 zpracoval podrobně proces transformace energie v čerpadle s nízkými specifickými otáčkami a jednotlivé negativní faktory, které se podílejí na vzniku energetických ztrát. Tato analýza umožnila posoudit podíl jednotlivých funkčních částí čerpadla na výsledné účinnosti a případné nestabilitě charakteristiky. Na základě provedené rešerše pak doktorand zvolil úpravy vedoucí zejména k potlačení lokálního víru v lopatkovém kanále oběžného kola a snížení hydraulických ztrát ve spirále.

V další kapitole 3 zpracoval doktorand potřebná teoretická východiska pro vlastní práci. Jako hlavní nástroj zvolil numerické modelování proudění v prostředí ANSYS-CFX. Podrobně popsal postup při definování geometrie oblasti, tvorbu sítě včetně ověření její kvality, volbu modelu turbulence a přístupu k modelování v blízkosti stěny, definici okrajových podmínek a diferenčních schémat, způsob řešení rotace oběžného kola čerpadla, atd. Výsledky numerických analýz byly částečně verifikovány realizovaným experimentálním měřením, jehož základní postupy a použité měřicí přístroje jsou v této části rovněž uvedeny.

Výzkumná část práce je rozdělena do 3 samostatných studií (kapitola 4 a 5). První z nich byla zaměřena na vyšetření vlivu mezilopatek na výkonové parametry čerpadla. Stacionární i časově závislý výpočet byl proveden pro 8 variant geometrie oběžného kola s mezilopatkami. Byl vyhodnocen vliv tří návrhových parametrů (délky, umístění v lopatkovém kanále, výstupního úhlu) a jejich vzájemné kombinace na dopravní výšku, účinnost a krouticí moment. Dosažené výsledky se shodovaly s poznatky uvedenými v literárních zdrojích a byly využity v navazující studii.

Zde bylo cílem vyšetřit vliv druhé mezilopatky vložené do kanálů oběžného kola. Pro podrobnou numerickou analýzu s následným experimentálním ověřením bylo navrženo oběžné kolo s menším výstupním průměrem a spirálou, jejíž geometrie byla upravena na základě výstupů studie 3. Numerické analýze byla podrobena 3 oběžná kola (se 4 základními lopatkami, s jednou a dvěma vloženými mezilopatkami), která byla následně vyrobena metodou 3D tisku a testována na hydraulické zkušebně. Výsledky získané oběma přístupy byly porovnány. Tato část práce je nejobsáhlejší a přináší nejvíce nových poznatků o charakteru proudění, disipaci energie v jednotlivých funkčních částech a vlivu mezilopatek na dynamické jevy generované v čerpadle.

Ve třetí studii, jak již bylo uvedeno, byla pozornost zaměřena na proudění ve spirále, včetně volby vhodného přístupu k modelování proudění v blízkosti stěny a jeho vlivu na predikci energetických ztrát. Numericky bylo modelováno proudění pro 3 návrhy spirály s odlišnou plochou hrdla. Na základě získaných poznatků pak byl proveden návrh nové geometrie aplikované ve studii 2.

Lze konstatovat, že doktorand zvolil vhodné metody řešení pro dosažení cílů své disertační práce a použil je pro ověření teoretických předpokladů a získání nových konkrétních poznatků

Význam pro praxi a rozvoj vědního oboru

Závěry práce mohou být východiskem pro navazující výzkum v této oblasti. Je otázkou, jak se snížení specifických otáček projeví dále na kavitačních vlastnostech čerpadla, hydrodynamických silách, provozním rozsahu, vibracích, atd. a jestli je reálné a účelné jejich hodnoty dále snižovat.

V praxi je vložení mezilopatek do kanálů oběžného kola čerpadel s nízkými specifickými otáčkami pro zvýšení jejich výkonu již používáno. Z výsledků práce je zřejmé, že je důležité podrobně analyzovat jejich vliv na změnu rychlostního a tlakového pole a s tím související ztráty

ve všech částech čerpadla, zejména ve spirále. Metody a výpočetní postupy aplikované k tomuto účelu v disertační práci jsou využitelné v praxi.

Formální úprava a jazyková úroveň práce

Předložená disertační práce obsahuje 110 stran textu. Je členěna do šesti kapitol, obsahuje odkaz na 52 informačních zdrojů. Ve dvou uvedených publikacích je doktorand prvním autorem.

Práce je napsána v anglickém jazyce, text je srozumitelný, doprovázen obrázky, z nichž některé jsou převzaty z literatury s odkazem na zdroj, a grafy, které shrnují výsledky provedených analýz. V závěru hlavních kapitol je vždy provedeno shrnutí a komentář k dosaženým výsledkům.

K formální stránce práce mám několik připomínek:

V seznamu označení použitých veličin nejsou uvedeny jednotky. Některé veličiny uvedené v textu v něm chybí, případně je uveden pouze jeden z významů, které mají.

Specifické otáčky n_s nejsou na rozdíl od rychloběžnosti n_b bezrozměrným kritériem a mají rozměr otáček min^{-1} .

Některým obrázkům by prospěla legenda, např. Fig. 3.9, jiným označení os, např. Fig. 4.2.

U obrázků Fig. 4.12, 4.13 a 4.14 neodpovídá jejich název vyhodnocené charakteristice.

Otázky k rozpravě:

- Jak je definováno Re číslo dle Gülicha v souvislosti s rovnicí pro odhad diskových ztrát (rov. 2.3)?
- Jak je definována specifická disipace ω vzhledem k turbulentní kinetické energii k ?
- Pro realistické modelování daného problému je důležité definovat intenzitu turbulence na vstupu do oblasti. Jaká byla její hodnota?
- Byl testován jiný typ okrajové podmínky pro vstup a výstup z modelované oblasti, než je uvedeno?
- Na straně 34 je zdůrazněn význam drsnosti stěny pro přesné CFD predikce. Byla drsnost v numerické simulaci zahrnuta?
- Může mít drsnost povrchu oběžného kola a spirály vliv na odlišné hodnoty účinnosti predikované numerickým modelem a fyzikálním experimentem? Byl povrch disků oběžného kola po 3D tisku ještě dále upravován?
- Odpovídaly řezy zvolené pro vyhodnocení parametrů z numerického modelu na vstupu a na výstupu z modelované oblasti poloze tlakových snímačů na zkušebně?
- Mohlo dojít k rozměrovým odchylkám mezi virtuálním 3D modelem a vytištěnými oběžnými koly?
- Na obrázku Fig. 4.35 je provedeno vyhodnocení radiálních sil pro oběžná kola bez a s mezilopatkami. Byla tato analýza provedena také pro navržené varianty spirály?
- Zabýval jste se ve své práci také účinkem mezilopatek na kavitační vlastnosti čerpadla, ať už formou CFD analýzy nebo experimentálního měření?

Vyjádření k tezí disertační práce:

Předložené teze disertační práce o rozsahu 26 stran mají požadovanou strukturu a shrnují základní poznatky a výstupy dosažené v průběhu jejího řešení. Doporučuji doplnit seznam označení použitých v textu.

Závěr:

Téma předložené disertační práce Ing. Liliana Chabannese souvisí s aktuální problematikou návrhu radiálních čerpadel s nízkou hodnotou specifických otáček. Cílem je úpravami geometrie oběžného kola a spirály přispět ke zvýšení účinnosti a stability charakteristiky H-Q. Doktorand zvolil ke své práci dostupné metody numerické a experimentální analýzy, které lze aplikovat na řešení dalších inženýrských úloh. Prokázal, že má předpoklady pro systematickou vědeckou práci, která směřuje k dosažení stanovených cílů. Práce poskytuje prostor pro další navazující výzkumnou činnost a přináší nové poznatky pro vědní obor i praxi.

Stanovené cíle disertační práce byly dosaženy, práce splňuje požadavky na doktorskou práci ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., doporučuji ji k obhajobě a po jejím úspěšném vykonání navrhuji udělení vědecko-akademické hodnosti Ph.D.

Ostrava, 19. 11. 2021



doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D.

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava