

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	TOROIDNÍ MÍCHADLA
Jméno autora:	Bc. Kryštof Dudek
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Oponent práce:	Prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Zadání diplomové práce je z oblasti návrhu a optimalizace nových typů míchadel odvozených od toroidních struktur oběžných kol hydrodynamických strojů. Součástí zadání je nejen návrh geometrie, ale i proměření procesních parametrů a na jejich základě optimalizace tvaru lopatek nových míchadel. Vzhledem k charakteru zadání kombinující ideový návrh tvaru lopatek míchadla s vytvořením 3D modelu a následné experimentální odzkoušení míchadel s ohledem na jejich homogenizační účinky se jedná sice o komplexní práci, ale z pohledu jednotlivých činností o standardní zadání kombinující základní znalosti získané během studia. Z tohoto hlediska spatřuji náročnost zadání jako odpovídající pro diplomovou práci nijak však svou náročností nevybočující.</p>	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Zadání práce a všechny vytyčené cíle byly splněny. Nicméně kvalita zpracování práce a interpretace výsledků zejména v oblasti experimentálního stanovení základních procesních parametrů je podprůměrná a obsahuje velké množství metodických chyb i nedostatečného vyhodnocení získaných dat a jejich interpretace.</p>	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
<p>Pro řešení zadání práce byl zvolen správný postup nicméně jeho aplikace byla zejména v oblasti vyhodnocení experimentálních dat nedostatečná. Na druhou stranu musím vyzdvihnout kreativitu spojenou s návrhem a modelováním jednotlivých typů míchadel, i když v mnohých ohledech se z popisu v práci jednalo o návrh na základě intuice, a ne na základě rozboru hydrodynamiky získané např. z CFD simulace.</p>	

Odborná úroveň	E - dostatečně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
<p>Odborná úroveň zpracování diplomové práce je rozdílná v části zabývající se návrhem nových geometrií míchadel a v experimentální části. Návrh míchadel je proveden systematicky. Diplomát se zaměřuje postupně na jednotlivé parametry toroidní struktury, které postupně mění a v různých vývojových stádiích optimalizuje. Nicméně z popisu tohoto návrhu se mi jeví, že postupuje spíše empiricky a intuitivně, než na základě vyhodnocení jednotlivých procesních parametrů a zejména s využitím poznatků o hydrodynamice míchané vsádky s navrženým konceptem toroidního míchadla, a to i přesto, že v práci jsou uvedeny výsledky vlastních CFD simulací, které by takto bylo možné účelně využít. Na druhou stranu experimentální část zaměřená na sledování nejjednoduššího procesu – homogenizaci jednofázové míchané vsádky je v mnoha ohledech chybná nejen metodicky, ale experimentální data nejsou prakticky vůbec vyhodnocena ani ve formě vhodných korelací a statistického zhodnocení ani v souladu s teoretickým rozбором, který autor v úvodu práce uvádí. Navíc v diskusi je chybně postupováno při porovnání jednotlivých míchadel a sledování vlivu jednotlivých parametrů. Podrobný výčet nedostatků ilustrují konkrétní komentáře a otázky uvedené v další části posudku.</p>	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

D - uspokojivě

Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.

Předložená diplomová práce je zpracována velmi stručně a v mnoha ohledech povrchně. Neobsahuje nejen hlubší zdůvodnění jednotlivých dílčích kroků a interpretaci dosažených výsledků, ale ani mnoho zásadních informací, které musí v rámci experimentální práce být uvedeny. Jazyková i grafická úroveň práce je průměrná. V podobě, v jaké je práce předložena se jedná o neucelenou studii, u které si musí čtenář mnoho informací domýšlet a není zřejmé, zda je autor pouze v práci neuvvedl, nebo zda je prostě neuvažoval. Práce obsahuje i chyby v označení kritérií, významu použitých veličin apod. Tyto chyby jsem vyznačil v tištěném originálu práce.

Výběr zdrojů, korektnost citací

D - uspokojivě

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

V práci jsou všechny použité zdroje citovány a je zřejmé, které informace jsou převzaté z literatury. Nicméně citované zdroje jsou různé odborné úrovně od firemních či popularizačních informací převzatých z internetu až po články publikované v recenzovaných časopisech. Co však spatřuji za velmi závažný nedostatek práce s použitou literaturou je nepoužití či dokonce ignorace v publikacích popsanych metodik a způsobů vyhodnocení a interpretace výsledků totožných experimentů, které diplomant prováděl. Pokud by diplomant tyto postupy aplikoval, tak by se vyvaroval významných chyb a nedostatků, které v posudku popisují. Navíc mohl použít výsledky uvedené v citované literatuře k hlubšímu porovnání účinků jím navržených toroidních míchadel s jinými hydrodynamicky optimalizovanými typy míchadel a tím dokumentovat věrohodnější přínosy jeho návrhu.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Vložte komentář (nepovinné hodnocení).

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uvedte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Diplomová práce je z mého pohledu zpracována na rozporuplné úrovni. Zatímco v oblasti návrhu geometrie nových typů míchadel student předvedl velmi kreativní, i když možná spíše intuitivní a empirickou, činnost vedoucí k návrhu unikátních typů míchadel, tak v experimentální části práce bylo vyhodnocení a interpretace výsledků nedostatečná a neodpovídala znalostem, které student v průběhu studia získal.

K předložené diplomové práci mám následující komentáře a otázky. **Zvýrazněné body požadují při obhajobě zodpovědět příp. diskutovat nebo vložit přímo do úvodní prezentace:**

- 1. Jaký je rozdíl v požadavcích na hydrodynamická oběžná kola používaná v aplikacích pro lodní šrouby, vrtule a rotační míchadla? Dá se z tohoto důvodu očekávat, že toroidní, resp. uzavřená struktura bude mít pro míchání reaktorů a zásobníků očekávané benefity?**
- 2. Jak jste při návrhu struktury lopatek zohlednil základní požadavky kladené na rotační míchadlo použité pro homogenizaci míchané vsádky?**
- 3. Kolikrát bylo opakováno stanovení doby homogenizace pro jedny otáčky jedné testované geometrie míchadla? Proč je nutné vždy pro každou hodnotu otáček provést několik opakovaných stanovení doby homogenizace? Proč jste zvolil pro vyhodnocení homogenizace úroveň dosažení homogenity 98 %?**

Pokud byste pro jednu frekvenci otáčení z minimálně 5-ti opakovaných měření dostal velký rozptyl naměřených hodnot doby homogenizace pro 98 %-ní úroveň co to znamená a nebylo by poté vhodnější méně přísné kritérium homogenity, např. 95 %? Při každém homogenizačním experimentu jste dle popisu vstříkával 2-3 ml slaný roztok do středu nádoby. Tato značkovací látka byla vstříkována vždy pod/na hladinu u hřídele, a to i v případě tvorby středového víru, který dosáhl téměř až k míchadlu? Jakou rychlostí byla značkovací látka nastříkována a nemělo to vliv na rychlost homogenizace? Tyto komentáře poukazují na nedostatky v metodice experimentálního stanovení doby homogenizace.

4. **Homogenizační charakteristika $nt = f(Re)$ nebyla nijak regresně ani statisticky vyhodnocena a interpretována v souladu s uvedeným teoretickým rozбором. Toto vyhodnocení doplňte a diskutujte.** Velký rozptyl získaných hodnot doby, resp. bezrozměrné doby homogenizace souvisí s neprovedením dostatečného počtu opakování měření pro jednu hodnotu frekvence otáčení míchadla, čímž nejsou eliminovány nahodilé nebo autorem popsané vnější vlivy!
5. **Při stanovení příkonu míchadla na základě měření kroutícího momentu na hřídeli míchadla jste použil instalovaný snímač. Jak proběhla kalibrace tohoto snímače, jak jste z měřené eklettické veličiny vyhodnotil hodnotu kroutícího momentu a jak jste při měření eliminoval vliv pasivních odporů v uložení hřídele?**
6. **Nejistoty měření kroutícího momentu, resp. příkonu jste vyhodnocoval na základě fluktuací naměřeného časového záznamu. Souvisí tyto fluktuace pouze s přesností měření veličiny nebo zahrnují i nějaké hydrodynamické jevy na lopatkách míchadla?**
7. **Nedostatečné vyhodnocení příkonové charakteristiky $Po = f(Re)$, stejně jako u homogenizační charakteristiky chybí jakékoli regresní a statistické vyhodnocení a interpretace v souladu s teoretickým rozбором. Toto vyhodnocení doplňte a diskutujte.**
8. CFD simulace v nádobě bez narážek. V této konfiguraci se tvoří významný středový vír, který mění charakter toku v míchané vsádce. Při simulaci nebyl tvar hladiny sledován, což snižuje přesnost výsledků. Navíc postrádám informace o testu kvality sítě. Pro systém bez narážek si také nejsem zcela jistý vhodností volby k-epsilon modelu a stacionárního přístupu. Nicméně to by bylo téměř na samostatnou práci, a tak jako orientační výsledky je možné toto přijmout. **Nicméně z výsledků CFD simulace mohl být vyhodnocen i příkon na hřídeli míchadla, jak byste ho vyhodnotil a je možné toto vyhodnocení doplnit a porovnat s výsledky experimentů?** Stejně tak mohla být provedena podrobnější analýza proudění.
9. Silová analýza namáhání lopatek je provedena na základě zatížení lopatky osamocenou silou dle metodiky firmy Chemineer používané pro základní typy lopatkových míchadel. Nicméně jedna z výhod a opodstatnění toroidních struktur míchadel je eliminace špiček hydrodynamického zatížení lopatek a jeho rovnoměrné rozložení na celou uzavřenou strukturu. Pro tato míchadla použít zatížení osamocenou silou považuji za nevhodné a mělo by být nahrazeno spojitým zatížením rozloženým na celou plochu struktury lopatky. V případě, kdy diplomant provedl základní CFD analýzu proudění mohl z výsledků získat hydrodynamické zatížení celé plochy lopatek míchadla a toto zatížení použít pro následnou pevnostní analýzu.
10. **Porovnání jednotlivých míchadel na základě nt dá informaci o tom, jak rychle míchadlo zhomogenizuje vsádku. Porovnání příkonového čísla míchadla dá informaci pouze o tom, jaký příkon na hřídeli míchadla je pro dané otáčky potřebný pro překonání odporu při rotačním pohybu míchadla v míchané vsádce spojeného s obtékáním jeho lopatek. Nicméně ani jedno s těchto kritérií samo o sobě neříká nic o energetické účinnosti míchadla pro proces homogenizace. **Míchadlo, které má velký příkon a krátkou dobu homogenizace může být energeticky stejně výhodné/nevýhodné jako míchadlo, které potřebuje dlouhou dobu pro dosažení homogenity míchané vsádky, avšak při nižším příkonu. Tzn. Je potřeba porovnávat energii potřebnou pro dosažení požadované homogenity vsádky. K tomu je možné použít bezrozměrné vyjádření energetického kritéria definovaného na základě experimentálně získaných hodnot nt a Po (viz přednášky či skripta z Hydromechanický procesů nebo citované články). Doplňte porovnání míchadel testovaných v rámci diplomové práce na základě tohoto bezrozměrného kritéria!****

- 11. Porovnejte energetickou účinnost homogenizace navrženého toroidního míchadla o optimální geometrii s dalšími typy standardních a zejména hydrodynamicky optimalizovaných míchadel používaných pro stejná proces. Nemusíte vyhledávat další data v literatuře postačí, když použijte data z Vámi citovaných a v práci používaných zdrojů.**

Vzhledem k uvedeným nedostatkům hodnotím předloženou diplomovou práci klasifikačním stupněm **E - dostatečně**. Pokud budou při obhajobě položené otázky zodpovězeny a k práci bude doplněno vyhodnocení naměřených charakteristik a jejich interpretace navrhnou v průběhu obhajoby lepší hodnocení.

Datum: 16.8.2024

Podpis: Prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.