

Oponentský posudek na dizertační práci na téma

CAVITATION INDUCED BY ROTATION OF LIQUID

Kavitace Vyvolaná Rotací Kapaliny

Doktorand: Ing. Jiří Kozák
Energetický ústav
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně

Téma práce je zaměřeno na experimentální a matematický výzkum statických a dynamických vlastností kavitace při proudění vody Venturiho transparentní dýzou s rotací kapaliny a bez rotace. Kavitace je velmi složitý fyzikální jev, který se nachází v řadě technických aplikací v negativním i pozitivním smyslu. Je to velmi aktuální problém, neboť v souvislosti se zvyšujícími se nároky na výkony hydraulických zařízení jsou kladeny stále vyšší nároky na zvýšení spolehlivosti, snížení hlučnosti apod., což bez znalostí dynamického chování nelze zabezpečit.

Práce obsahuje 199 stran. Je členěna do 7 kapitol, seznamem literatury a vlastních publikací. Jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují. Kapitola první je věnována úvodu do kavitace, teoretickým základům a možnostem řešení proudění kavitace včetně turbulence, experimentálním metodám hydraulickým, vizualizačním, tomografickým s využitím statistických metod. Kapitoly druhá a třetí jsou zaměřeny na specifikaci hydraulického obvodu s Venturiho dýzou a vestavbou pro vytvoření rotujícího proudění. Použitím rychlokamery se definovaly kavitační režimy. V kapitole čtvrté se tyto záznamy z rychlokamery analyzují pomocí spektrální analýzy. V páté kapitole se řeší statické a dynamické charakteristiky experimentálních záznamů tlaku, vibrací a hluku. Numerické simulace všech kavitačních režimů jsou řešeny v software OpenFoam, jsou podrobně popsány procedury pro tvorbu sítě, zadání okrajových podmínek, řešení turbulence vícefázového proudění. Metody numerické a experimentální jsou porovnány z hlediska hladiny akustického hluku a vlastních frekvencí s ohledem na výběr matematických modelů turbulence. Poslední část práce se zabývá výzkumem režimů kavitačního proudění metodou počítačové tomografie a zpracováním prostorového signálu. Každá kapitola končí podrobným rozbořem a zhodnocením výsledků. V závěru jsou podrobně zhodnoceny výsledky jednotlivých metod.

Aktuálnost tématu

Téma řešení kavitace je velmi aktuální z hlediska teoretického i aplikačního. Proto je předmětem zájmu teoreticky zvládnout a podrobně popsat moderními matematickými a

experimentálními metodami technickou problematiku kavitace a využít poznatky při dalších aplikacích, nejen hydraulických.

Splnění sledovaných cílů práce

Cíle práce byly shrnuty v závěru. Velmi detailně je provedena validace výsledků modelování metodami se speciálně vytvořenými experimentálními modely pro proudění s kavitací a navíc s rotací díky lopatkové vestavbě. Jednotlivé přístupy popsané v práci umožňují zhodnotit možnosti experimentálního a matematického modelování vícefázového proudění a časovou náročnost jednotlivých přístupů. Splnění cílů bylo velmi náročné jak teoreticky, tak časově z hlediska simulací proudových polí pro různé okrajové podmínky a validace výsledků užitím experimentálních metod.

Význam pro praxi a pro rozvoj vědy a techniky

Přínosem práce je především náročná teoretická studie přenosu hmoty a hybnosti s ohledem na možnosti matematického a experimentálního řešení kavitace a její využití při specifikaci kavitačních režimů z experimentálně připraveného zdroje Venturiho trubice bez lopatkové vestavby a s vestavbou. Na vysoké úrovni byla vypracovaná metodika pro zpracování signálu jak pro fyzikálně získaná, tak pro numerická data. Je třeba vyzdvihnout vytvoření metodiky řešení dynamiky kavitačních režimů proudění s využitím videozáznamů z rychlokamery a záznamů z počítačové tomografie. Obě metody se v oblasti kavitace běžně nepoužívají, proto stanovení možností a limitů těchto metod je velkým přínosem. Následně bylo pro zhodnocení dynamiky využito Fourierovy transformace pro jednorozměrné a vícerozměrné záznamy časových řad, což vyžadovalo dostatečně specifikovat parametry měření a simulací. Významným výsledkem práce je možnost využití metodiky řešení v dalších aplikacích.

Formální úprava dizertační práce

Práce je přehledně členěna do kapitol. Po stránce jazykové je napsána srozumitelně, dle mého názoru je zde minimum překlepů. Grafické zpracování v částech teoretických je názorné a v částech výpočtových vystihuje podstatu řešení. Práce je ale napsána velmi obšírně, některé části kapitol a režimy kavitace by se mohly umístit do příloh. Po metodické a pedagogické stránce by práce zůstala přehledná. Práce může být brána jako kvalitní studijní materiál pro studenty magisterského a doktorského studia.

Poznámky k textu práce:

- Práce dokumentuje obrovské množství experimentálních a numerických výsledků, ale neměla by převyšovat 100 stran, proto je třeba využít příloh pro zdokumentování

všech získaných výsledků a příliš podrobné tvorby geometrického a počítačového modelu. Práce získá na přehlednosti a zvýrazní se vytvořené metodiky pro řešení.

- Velmi pozitivní je částečný přehledný závěr u každé kapitoly.
- Při verifikaci se často používá pojem „téměř shodné“, „trochu vyšší“ atp. Mělo by se použít vyjádření shody v procentech.
- Použití označení ztrátového součinitele je v různých literaturách nejednotné, tj. f vs ζ vs ξ . Tato nejednotnost činí trošku problémy s orientací, ale vzhledem k neexistenci normy je třeba tyto problémy akceptovat.
- V obr.163 a některých dalších je osa x pojmenována jako časová, ale měla být frekvenční.
- V kap. 6 část o hysterezi a vyhodnocení ztrátového součinitele by měla být logicky vložena do kap. 5.
- Pro vyhodnocení hluku je obvyklé používat jednotku dB.

Otázky na doktoranda:

- Str. 115, kap. 5 – jaký turbulentní model, multifázový model a kavitační model byl použit pro řešení? Jaký fyzikální význam má hmotnostní zlomek nerozpuštěného plynu v Singhalově modelu a proč se nevyskytuje v modelu Schnerr and Sauer a může být vložen do modelu kavitace?
- Str. 119, tvorba sítě – je možné použít periodickou oblast (podle počtu lopatek)? Nebylo by pro síťování objektu s lopatkami použití BladeGen, který je sice v ANSYS, ale síť se do OpenFoam přečte.
- Str. 124, Tab. 8 – proč se mění hustota vody, páry a dalších fyzikálních veličin a proč jsou uvedeny právě dvě varianty?
- Byla provedena spektrální analýza z numerických záznamů časových řad do vyšších frekvencí (20 000 Hz) pro orovnění s experimenty (např. hluk)?
- Má doktorand zkušenosti s programem Star CCM+ a ANSYS Fluent versus OpenFOAM se spojitosti s řešenou problematikou? Lze specifikovat výhody resp. nevýhody těchto software?

Doktorand prokázal vysoké odborné znalosti jak v oblasti experimentální tak matematické, které využil při vytvoření metodiky řešení kavitace. Práce je souborem velkého množství kvalitních experimentálních dat a matematických výsledků, což prezentuje schopnosti doktoranda pracovat systematicky na řešení daného problému, teoreticky zdůvodnit vyhodnocení, upravovat vstupní data pro DFT. Použité software (i když velmi

komplexní) jsou zde opravdu „jen“ nástrojem k řešení. Doktorand dosáhl stanovených cílů dizertační práce.

Výsledky vědecké práce doktoranda byly publikovány na konferencích a časopisech. Dizertační práce je na vysoké teoretické a aplikační úrovni a obsahuje původní výsledky vědecké práce a metodiku pro řešení kavitace. Práci je možno považovat za základ k rozvoji tohoto vědního oboru s výhledem na rozvoj experimentálních metod a matematických modelů a jejich kombinace pro řešení podobných problémů. Práce splňuje požadavky na dizertační práci v souladu s § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a proto doručuji k obhajobě na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně.

Ostrava, 11/01/2020

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