

Oponentský posudek na diplomovou práci

Magisterského studijního programu k získání titulu „Ing.“ v oboru Vodní hospodářství a vodní stavby

Název práce: *Modelování proudění hrubozrnných směsí s neneutonskou nosnou kapalinou v potrubí dvouvrstvým modelem*

Autor práce: *Bc. Lukáš Svoboda*

Zadávací katedra: K141 -Katedra hydrauliky a hydrologie
Fakulty stavební ČVUT v Praze

Diplomová práce obsahuje 94 číslovaných stran včetně 78 stran textu, 66 obrázků a grafů, 3 tabulek, 5 stran datových příloh, seznamu použité literatury a seznamu symbolů. Diplomová práce je psána v českém jazyce s anglickým abstraktem.

Problematika hydro-dopravy vícefázových směsí, do jejíž oblasti předložena diplomová práce spadá, prošla jako vědní obor několika vývojovými etapami. V období po roce 1945 do konce 80. let minulého století lze zaznamenat první pokusy o tvorbu nástrojů k teoretickému i empirické popsání fyzikálních dějů, s cílem sestavit návody na konstruování, dimenzování a provozuschopnost navrhovaných průmyslových systémů. V této době byla hydro-doprava chápána především jako způsob transportu rozplavených hydro-směsí popílků, písků, kaolínů, rud a uhlí. Počátkem 90. let minulého století došlo vlivem společenských změn v České republice i ke změně v průmyslové a energetické oblasti a k mírnému útlumu potřeb dalšího rozvoje této disciplíny. Oživený zájem o tento obor v ČR i ve světovém měřítku, který lze zaznamenat v posledních dvou desetiletích, lze přičíst několika faktorům. V energetice je snaha o rekonstrukci a zefektivnění stávajících provozů, zde se jedná především o hydro-dopravu popílkových směsí a hydro-transport pevné fáze při odsíření spalin. V oblasti těžby surovin je zájem těžebních společností o vytvoření technologií na těžbu vzácných rud z mořského dna, kde klíčovou roli hraje právě hydro-doprava rudných kongregací ze dna na hladinu oceánu. Ropný průmysl usiluje o zavedení a zefektivnění těžby z dehtových písků, kde je prováděn transport vícefázového systému potrubím. Řešená je problematika proudění a dopravy past, suspenzí a směsí v potravinářském a farmaceutickém průmyslu a to ne pouze z pohledu transportu, ale i z pohledu vhodné instrumentace pro měření hmotnostního průtoku, koncentrace a zdánlivé viskozity. S problémy změny klimatu, prováděnými záplavami a přívalovými dešti, souvisí přesuny velkého množství hmot rozplavených ve vodě a k depozici pevných částic v korytech řek, tj. jedná se taktéž o formu hydro-transportu vícefázového systému.

Z výše uvedeného si autor diplomové práce vybral velmi zajímavou a aktuální oblast bádání, jejíž osvojení a rozvíjení je nesporně významné a to jak pro praxi, pro další teoretické poznání, tak i pro osobu diplomanta. Jedná se o řadu složitých technicko-fyzikálních vztahů a charakteristik, které zasahují do několika vědních oborů a které je nutno rozplétat trpělivou analýzou jednotlivých komponent.

Hlavní cíl diplomové práce:

Cílem diplomové práce je sestavit vhodný dvouvrstvý matematický model pro popis tlakového proudění hrubozrnné směsí s neneutonskou nosnou kapalinou a ověřit jeho předpovědní schopnosti porovnáním s výsledky experimentu na trubní lince ve Vodohospodářské laboratoři FSv ČVUT v Praze.

Stěžejní cíle práce jsou:

1. Vyhodnocení vhodného určení součinitele ztráty tření na rozhraních modelovaných vrstev, a to zejména v případě laminárního proudění
2. Vyhodnocení vhodného určení hydraulického poloměru pro stanovení třecího napětí na povrchu sunutého dna jako dolní vrstvy dvouvrstvého modelu
3. Vyhodnocení vlivu reologických parametrů na veličiny popisující proudění v rámci modelu

Pro porovnání budou použity výsledky měření proudění směsí s neneutonskou nosnou kapalinou různých reologických vlastností.

Hodnocení:

Práce ukazuje na značnou složitost obecného modelování pohybu tuhých částic v proudě kapaliny. Řešená úloha je o to složitější, že řeší průnik několika vědních oborů. Jako nosné medium je používána neneutonská kapalina, tj. řešitel musí obsáhnout dostatečné penzum znalostí z oblasti reologie a reometrie. Fyzikálně se popisuje pohybový stav a interakce částic v kapalném prostředí v různém režimu proudění od stratifikovaného přes heterogenní, což je hydraulicky složitá záležitost, zvláště s ohledem na to, že se v odborných časopisech stále objevují práce, zabývající se problémem popisu jedné, ideálně kulové částice, unášené v proudě. Pro výpočet na principu limitního cyklu tj. iteračním postupem si diplomant musel klást otázky týkající se řešitelnosti, jednoznačnosti a chyby výsledného řešení, čili mít osvojené znalosti z numerické matematiky a programování.

Analýza chování systému je provedena pro dvouvrstvý model aplikovaný na proudění hrubozrnné směsi. Fyzikální vztahy jsou sestaveny na základě rovnováhy mezi řídicími a odporovými silami vycházejícími z bilance hybnosti a zákon zachování hmotnosti směsi. Podrobněji je rozpracována problematika mechanického tření mezi pevnými částicemi a stěnou potrubí a na hranici proudě ve smykové vrstvě. K dosažení vytyčeného cíle práce bylo vhodně použito dostupné experimentální zařízení tj. trubní linka pro měření tlakových ztrát – čili trubní viskozimetr a rotační viskozimetr. Postrádána byla kapitola věnující se problematice trubního viskozimetru, na kterém byla prováděna měření a dále diskuse chyby výpočtu a chyby měření. V práci přijatá zjednodušení při teoretických úvahách, jsou prováděna v interakci se současnou odbornou literaturou a v metodologii, kterou tento obor aktuálně používá.

Moje hodnocení z hlediska bodů relevantních pro diplomovou práci k udělení titulu Ing. je následující:

Dosažení stanoveného cíle v diplomové práci:

Pro dosažení vytyčeného cíle se diplomant zaměřil ve své práci na několik oblastí. Na teoretický popis zabývající se problematikou reologických modelů a popisem toku neneutonské kapaliny, navazují kapitoly zaměřené na reometrii, na proces proudění tekutin v potrubí a na modely stratifikovaného proudění. Vyhodnocení součinitele ztrát na rozhraní modelových vrstev, stanovení hydraulického poloměru a stanovení vlivu počátečního napětí, tokového indexu a součinitele konzistence bylo prováděno výpočtem srovnávání modelů dle Matouška a kol. (2015), dle Krupičky (2014) a diplomantem upraveným modelem dle Matouška a kol. (2015). Vlastní práce diplomanta je obsažena v kapitole páté „Experimentální data a měření“, v kapitole šesté „Testování dvouvrstvého modelu“ a v kapitole sedmé věnované diskusi výsledků a závěru. Při experimentální práci na trubní lince diplomant určil dopravní koncentraci, změřil tlakový gradient a stanovil aktuální střední rychlost proudící směsi. Směs byla souběžně testována na rotačním viskozimetru s cílem určit konstanty pro tříparametrický model visko-plastického systému (tj. typu Herschel-Bulkley). Následně diplomant provádí srovnání prediktivních schopností a citlivostní analýzu výše citovaných modelů v závislosti na volbě vstupních dat. Srovnání je vyhodnoceno pomocí grafů. Modelování toku suspenze je prováděno pomocí monodispergovaných technických skleněných kuliček s $d_{50}=1,5$ mm, rozplavených ve směsi vody a Carbopolu – tj. při neneutonské suspenzi. Stěžejní částí diplomové práce je srovnání jednotlivých modelů a přístupů k výpočtu s analýzou parametrů stanovených v cíli práce. Závěr diplomové práce je věnován diskusi výsledků a hodnocení vhodnosti dvouvrstvého modelu pro daný typ úlohy. Soubory naměřených dat jsou uvedeny v tabulkách a v příloze diplomové práce.

Ve smyslu formulace zadání diplomové práce diplomanta cíle práce splnila.

Prokázání znalostí uchazeče v daném oboru:

Diplomant prokázal schopnost porozumět základním fyzikálním mechanismům uplatňujících se při popisu proudění suspenze v kapalině. Z práce je zřejmá schopnost diplomanta běžně používat odbornou terminologii, orientovat se v oborové literatuře a pracovat se vztahy používanými v daném oboru.

Vhodnost použitých metod řešení a způsob jakým byly aplikovány:

V experimentální části práce diplomant zvolil metodiku odpovídající možnostem pracoviště a stanoveným cílům. Bylo použito zařízení dobře vybavené laboratoře. V teoreticko-výpočetní části je využito běžně dostupných programů a účelově pro danou problematiku vytvořených maker. Diplomant měl k dispozici zdrojové kódy již vytvořených modelů a možnost konzultovat s jejich autory. Použité metody a postupy byly aplikovány správně.

Formální úroveň práce:

Práce je vystavěna logicky a přehledně. Grafická úroveň je až na drobné nedostatky při popisu obrázků dobrá. Práce dle mého názoru svým rozsahem a hloubkou řešené problematiky překračuje rámec standardu diplomových prací na technických školách a je škoda, že není psaná v anglickém jazyce. Autor by s ní určitě zaujal i na zahraničních pracovištích.

Připomínky, které uvádím, jsou formálního rázu a nesnižují odbornou úroveň předloženého díla, vzbuzují spíš dojem, že souvisí s časovou tísňí při jeho tvorbě.

str. 10 - deklarované členění do třech kapitol neodpovídá skutečnému členění v sedmi kapitolách

str. 13 - označení veličin za vztahu (2.2) nekoresponduje s veličinami ve vzorci

str. 16 - po odstavci 2.4.1 by měl následovat podrobný popis principu trubního viskozimetru

str. 17 - Obr. č. 9, bylo by vhodné upřesnit v textu veličinu D_{N-W} event. D_{nN-W}

str. 18 - Obr. č. 10, chybí komentář k veličinám, konstantám a koeficientů „ V , a , b , c , ζ , n “

str. 19 - v kapitole 3.1 „Rovnice zachování hybnosti“ – v uvedených vztazích by bylo vhodné hybnost vyjádřit. Zde jsou zavedeny pouze veličiny tlaku, průřezu, smykového napětí, diferenciálu délky potrubí.

str. 35 - ve vztahu (4.39) není jasné, zda je výrazem v hranaté závorce vztah násoben, nebo je jím umocněna třetí rychlost u^*

v textu chybí komentáře a odkazy ke grafům Obr. č. 34, Obr. č. 36, Obr. č. 37, Obr. č. 38, Obr. č. 46 až č. 56

Předložená práce obsahuje všechny náležitosti vč. seznamu použitých veličin a jejich jednotek, seznamu literatury, a seznamu všech obrázků, tabulek a příloh.

V souvislosti s diplomovou prací mám následující dotazy:

1. Nebylo by možné provést měření nenewt. kapaliny na viskozimetru s tím, že by se měření prováděla včetně suspendovaných částic? Tj. volit takové velikosti frakce, ze které by se vytvořila suspenze ve šterbině viskozimetru (při různých koncentracích a v několika režimech nárůstu otáček atd.). Tímto by se získala informace o velikosti a o závislosti reologických parametrů (τ_y , K , n) ve vazbě na koncentraci suspenze a na velikost gradientu smykové rychlosti.

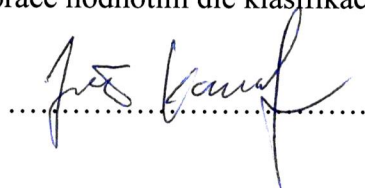
2. Jaké praktické využití vidí diplomant u hydrotransportu s nenewtonským nosným médiem. Jak by se projevil nenewtonské vlastnosti na celkové energetické bilanci, čerpatelnosti, výši přepravní koncentrace v porovnání s newtonským nosným médiem?

Závěr:

Závěrem je možné konstatovat, že diplomant svým rozsahem a odbornou úrovní nejen splnil, ale i přesáhl standardy diplomových prací na školách technického směru. Pomineme-li některé formální nedostatky, je zřejmé, že autor práce prezentoval schopnost odborně se pohybovat v oblastech kladoucích nároky na syntézu znalostí z různých odborných disciplín a tyto znalosti používat při řešení praktických, experimentálních i teoretických problémů.

Celkovou úroveň práce hodnotím dle klasifikace státních závěrečných zkoušek stupněm B.

V Praze dne 8. 2. 2018



Ing. Jiří Konfršt, Ph.D.

Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.
Pod Patankou 30/5, 166 12 Praha 6