

Oponentský posudek disertační práce Ing. Jaroslava Strnadela na téma:

Pád tuhé osamocené kulové částice v neneutonských kapalinách

Práce se zabývá pádem osamocených částic v neneutonských kapalinách. Literární rešerše je založena na četných publikacích na uvedené téma a je z ní patrné, že zejména v oblasti vlivu viskoelastického chování je prostor pro další výzkum. Proto je zejména na sledování vlivu viskoelastickosti zaměřena oponovaná práce.

Práce je založena jak na numerických výpočtech, tak na experimentálním sledování pádové rychlosti většinou kulových, ale okrajově i eliptických a válcových částic. Disertant plně využil dlouholetých zkušeností školitele v oblasti proudění v soustavách kapalina - pevné částice a špičkového experimentálního vybavení mateřského pracoviště zejména v oblasti reometrie. Dosažené výsledky jsou přínosem k poznání sledované problematiky. Naměřené i vypočtené hodnoty byly kriticky porovnány a ze srovnání byly vyvozeny závěry odpovídající složitosti řešené problematiky zejména s ohledem na obtížnost komplexního popisu reologického chování viskoelastických kapalin.

Disertační práce je zpracována pečlivě a nemám k ní žádné významné připomínky, které by snižovaly její hodnotu a přínos. Snad jen po formální stránce by přehlednosti práce prospělo, kdyby v seznamu symbolů byla u veličin definovaných v práci uvedena čísla definičních rovnic (např. u Debořiných čísel nebo relativní viskozity).

Z výše uvedených důvodů jednoznačně doporučuji přijmout práci k obhajobě.

V Praze 20. 4. 2012



Prof. Ing. František Rieger, DrSc.

Oponentský posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Jaroslav Strnadel
Školitel: prof. Ing. Ivan Machač CSc.
Název práce: **Pád tuhé osamocené kulové částice v neneutonských kapalinách**

Předložená práce se zabývá pohybem kulových částic v reologicky složitých kapalinách v plouživé a na začátku přechodové oblasti proudění. Byl sledován vliv reologických vlastností a vliv stěn zařízení na pádovou rychlost osamocené tuhé částice kulového tvaru.

S řešením problémů souvisejících s neneutonským chováním kapalin se čím dál častěji setkáváme u řady technických operací, zejména tam, kde přicházejí do technologických procesů roztoky nebo taveniny vysokomolekulárních látek přírodního původu nebo jako produkty syntézy chemie polymerů. Předložená práce řeší téma, jehož hlubší zpracování je aktuální z hlediska teoretického i praktického. Cílem práce bylo ověřit možnost výpočtu charakteristik pádu kulové částice z numerického řešení parciálních diferenciálních rovnic. Získané hodnoty porovnat s výsledky výpočtů získaných experimentální cestou a se vztahy ze známých publikací.

Práci tvoří soubor vyvážených na sebe navazujících kapitol v tradičním uspořádání, počínaje popisem dosavadních poznatků přes teoretickou a experimentální část s diskusí výsledků. V tabulkové příloze uložené na CD je souhrn výsledků experimentálních měření. Domnívám se, že teoretické části mohlo být věnováno více pozornosti, numerické metodě konečných prvků, která byla použita pro řešení matematického modelu proudění newtonské, mocninové a Carreauovy kapaliny v okolí kruhové, eliptické a válcové částice.

Experimentální část představuje soubor úctyhodného počtu měření. Bylo provedeno 9000 stanovení pádových rychlostí ve 37 typech modelových kapalin za použití 17 druhů kulových částic. Experimenty byly realizovány ve válcových kolonách o osmi různých průměrech. U všech modelových kapalin bylo vyhodnoceno jejich reologické chování.

Autor dospěl k závěru, že pro danou oblast měření bylo dosaženo dobré shody výsledků numerického a experimentálního postupu. Výsledky jsou v přiměřené shodě s publikovanými závislostmi. Pouze pro případ silně elastických pseudoplastických kapalin je nutno výsledky brát s rezervou. V příloze II v grafech č.40-45 závěry doložil v grafické podobě.

Konstatuji, že autor splnil zadání disertační práce. Přesto mám dvě připomínky, které by bylo vhodné v rámci diskuse při obhajobě vysvětlit.

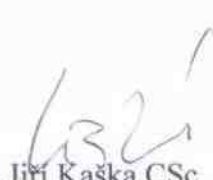
1. Je některý z použitých aproximativních výrazů pro výpočet charakteristik pádu kulových částí možno považovat za původní?
2. V Oldroydově modelu se používá termínu „viskozita rozpouštědla“ a „viskozita polymeru“. Polymery jako vysokomolekulární látky jsou většinou za normálních podmínek pevné látky (str.83 obr. 16).

Tyto připomínky žádným způsobem nesnižují celkovou úroveň práce. Velmi kladně hodnotím skutečnost, že parciální výsledky byly publikovány v odborných časopisech a prezentovány na odborných konferencích formou přednášek nebo vývěsek.

Závěr: po prostudování práce jsem dospěl k závěru, že tato splňuje požadavky kladené na disertaci v oboru Teorie chemické techniky. Doktorand prokázal schopnost samostatné a systematické vědecké práce. Disertační práce je v souladu s požadavky uveřejněnými ve studijním a zkušebním řádu v doktorandských studijních programech na Fakultě chemicko technologické Univerzity Pardubice.

Doporučuji přijmout předloženou disertační práci k obhajobě.

V Pardubicích 18.4.2012


Ing. Jiří Kaška CSc.

Oponentský posudek disertační práce

„Pád tuhé osamocené částice v nenewtonských kapalinách“

Autor: Ing. Jaroslav Strnadel

Oponent: Ing. Jaroslav Tihon, CSc., Ústav chemických procesů AVČR, v.v.i., Praha

Základní charakteristika:

Podle studijního a zkušebního řádu Univerzity Pardubice má disertační práce mít následující náležitosti:

(1) Disertační práce je výsledkem řešení konkrétního vědeckého úkolu a musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky, případně výsledky přijaté k uveřejnění.

Práce vznikla jako součást řešení doktorského grantového projektu GAČR 104/08/H055 „Transportní a reakční procesy v komplexních vícefázových systémech“ a shrnuje výsledky numerických simulací a experimentálních měření pádové rychlosti tuhých částic v nenewtonských kapalinách. Dílčí výsledky práce byly prezentovány na konferencích a uvedeny v příslušných sbornících (17 příspěvků). Předkladatel je hlavním autorem jedné publikace v recenzovaném časopise.

(2) Obsah a forma disertační práce se řídí zvyklostmi publikování vědeckých výsledků v daném oboru a požadavky oborové rady.

Předložená disertační práce je zpracována na 135 stranách v českém jazyce. Práce má standardní členění a je sepsána srozumitelně a s velkou pečlivostí. Vzhledem k jejímu širokému tematickému záběru se ale ne vždy podařilo dát čtenáři plné informace (např. podrobnější popis a analýza numerických výpočtů či hlubší analýza výsledků reologických měření relaxačního času).

(3) Disertační práce musí obsahovat:

a) přehled o současném stavu problematiky, která je předmětem disertace,

Literární rešerše je shrnuta systematicky v kapitole 3. Práce obsahuje 70 literárních odkazů, dobře pokrývajících studovanou problematiku. Přesto v seznamu chybí některé hodně citované práce oboru (např. Haider and Levenspiel, *Powder Technology*, **58**, 63-70, (1989) či Baaijens, *J.Non-Newt.Fluid Mech.* **79**, 361-385 (1998)). V závěru kapitoly bych též uvítal kritické zhodnocení uvedených poznatků s ohledem na stanovení cílů práce.

b) cíle disertační práce,

Cíle práce jsou explicitně a podrobně formulovány v kapitole 4. Přestože jsou tyto cíle poměrně ambiciózní, lze konstatovat, že je práce v rámci časových a materiálových možností splnila.

c) zvolené metody zkoumání,

Autor odvedl velké množství práce (zahrnující rozsáhlé numerické simulace pro různé modelové kapaliny a různé typy částic, 5 různých typů reologických měření, či 9000 pádových experimentů). Takto široký rozsah prací však vedl k částečné disipaci energie. Možná by bylo lepší téma zúžit a síly více koncentrovat. Hodnotit metodiku numerických simulací se necítím být kompetentní, dosažené výsledky však naznačují její úspěch. Stanovit relaxační časy viskoelastických kapalin je obecně obtížný úkol, který se podařilo zvládnout současným využitím několika měřicích technik. Drobnou výhradu mám k pracnému a nepříliš přesnému měření času při pádových experimentech pomocí ručních stopek.

d) *výsledky disertační práce s uvedením nových poznatků,*

Nejdůležitější výsledky práce jsou detailně rozvedeny v závěrečné kapitole. Za výrazný výsledek, který najde uplatnění v procesech sedimentace a fluidace, považuji navrzení (na základě numerických simulací) a ověření (rozsáhlým experimentem) vztahu pro výpočet korekčního faktoru pro koeficient součinitele odporu pro kulové částice v čisté viskózní nenewtonské kapalině. Přínosem je též návrh, jak korelovat hodnoty součinitele odporu v případě viskoelastických kapalin, tj. využití hodnoty Debořina kritéria získaného z měření normálových napětí v proudící kapalině.

Další připomínky a náměty do diskuze:

- **Str.32-55:** V literární rešerši by asi měla být kniha Clift: „Bubbles, Drops, Particles“ (1978) a některé významnější práce za poslední tři roky (jsou-li takové).
- **Str.33:** V kapitole „Pádová rychlost ...“ by se měl objevit Stokesův vztah pro ni a též vztah pro odporovou sílu (viz. dále rov.118). Pro přechodovou oblast by měla být zmíněna též Ossenova aproximace na setrvačné síly (viz. Clift 1978).
- **Str.35 a dále:** V rovnicích pro odporový součinitel a pádové rychlosti se objevují tři korekční faktory: X (typ kapaliny), F_w (vliv stěn), a ϕ (tvar částic). Pro čtenáře by bylo lepší, kdyby byly definovány všechny stejně, tj. buďto vzhledem k rychlosti, nebo vzhledem k odporu.
- **Str.42:** „Bogerova kapalina umožňuje studovat odděleně vliv pseudoplasticity a elasticity“. Pouze vliv elasticity!
- **Str.43:** Termín „kapalina s vysokou/nízkou roztahitelností“ použitý v legendě Grafu.2 je poněkud zavádějící.
- **Str.57:** Numerické výpočty by měly být zopakovány i pro jinou rychlost než $U=0,02$ m/s. Jsou výsledky pro nenewtonské kapaliny nezávislé na U ?
- **Str.67 a 76:** Korekční faktor je definován jinak pro mocninnou a jinak pro Carreauovu kapalinu (viz. Rov. 120 a 122). Pro odlišné charakteristické smykové rychlosti $\gamma \rightarrow U/d$ a 0, jsou potom i odlišné hodnoty viskozity a X (>1 a <1 , pro vliv pseudoplasticity).
- **Str.86-92:** Chybí vysvětlení, proč je pro korelaci dat získaných pro nekulové částice využit tvarový faktor d_v/d_n .
- **Str.87-88:** Obrázky 18 a 19 by měli spíše detailně ukázat oblasti u hran částice, kde jsou změny rychlosti deformace největší.
- **Str.95:** Proč byly použity tříslložkové modelové kapaliny (složitá reologie)? Při počtu 37 modelových nenewtonských kapalin by asi bylo vhodné provést aspoň jedno referenční měření s newtonskou kapalinou.
- **Str.97:** Měření času pádu částice ručními stopkami je při vzdálenosti 350 mm a dosahovaných rychlostech až 200 mm/s zatíženo značnou chybou. Doporučoval bych snímání pohybu částice rychloběžnou kamerou.
- **Str.100:** Určení parametru η_∞ je pro reologická data uvedená v Grafu 28 značně problematické.
- **Str.98-110:** Chybí podrobnější analýza a srovnání relaxačních časů získaných z odlišných reologických experimentů a jasnější klasifikace použitých modelových kapalin.
- **Str.110-120:** Získané experimentální pádové rychlosti částic by bylo vhodné porovnat s obdobnými dříve publikovanými výsledky jiných autorů.
- **Str.116:** Graf 39 názorně dokumentuje, který reologický parametr (tj. N_1) nejlépe vystihuje elasticnost modelových kapalin. To by mělo být zdůrazněno.

Závěr:

Na závěr lze konstatovat, že autor připravil a provedl originální numerické simulace a experimenty, zaměřené na zajímavou a aktuální oblast hydrodynamiky. Výzkum byl systematický a interpretace výsledků je přesvědčivá. Autor jasně prokázal schopnost úspěšně vědecky pracovat.

Práci jsem prostudoval a shledal, že splňuje podmínky Studijního a zkušebního řádu Univerzity Pardubice, a proto ji

doporučuji

přijmout k obhajobě jako základ řízení pro udělení vědecko-akademické hodnosti „philosophiae doctor“ (PhD).

V Praze dne 13.4.2012

Ing. Jaroslav Tihon, CSc.

