

Oponentský posudek disertační práce Ing. Jakuba Broukala „Effervescentní rozprašování a spalování kapalných paliv: Experiment a modelování“

Předložená disertační práce má celkem 123 stran včetně tabulkových příloh. Práce je členěna do šesti kapitol. Je to monotematicky zaměřená práce, avšak s poměrně velkým rozsahem. Práce se zabývá studiem rozprašování u dvoumédiových trysek typu effervescent (ET) a výzkumem atmosférického spalování s využitím těchto trysek. Přístupy zahrnují jak experimenty, tak i numerické simulace.

Výsledky jsou prezentovány jako tematicky uspořádaný soubor sedmi prací, které již byly publikovány nebo jsou před vydáním, a jichž je Ing. Broukal hlavním autorem nebo spoluautorem. První kapitola uvádí řešenou problematiku a definuje cíle práce. Další kapitola je věnována popisu jednotlivých jevů, které jsou předmětem řešení. Třetí a čtvrtá kapitola dokumentuje přístupy, které autor použil při experimentech a v numerických simulacích. Pátá, nejrozsáhlejší část obsahuje 8 podkapitol s jednotlivými publikačními výstupy a v šesté části jsou uvedeny nepublikované výsledky. Poslední kapitola shrnuje dosažené výsledky.

Řešené téma je aktuální, zabývá se problémy, které jsou předmětem současných výzkumů na světových pracovištích.

Student pro experimentální studium sprejů použil adekvátní přístup, fázová Dopplerovská anemometrie je jednou z mála metod, které umožňují provádět současně měření rychlosti a velikosti kapek v hustých, např. dvoumédiových sprejích s vysokým prostorovým rozlišením. Je to pokročilá metoda, která vyžaduje velmi zkušeného experimentátora.

Disertant získal experimentální výsledky a zejména zkušenosti na pracovišti, které je známé zásadními publikacemi z oblasti ET (prof. Lefebvre), pod vedením prof. Sojky, který se zabývá ET od počátků a to na velmi dobré, světové, úrovni.

Numerické simulace jsou prováděny se současným komerčním programovým vybavením, se zahrnutím modelů podstatných jevů. Student používá spíše inženýrský přístup a úroveň modelů, což je zdůvodnitelné charakterem řešení, rozsahem zkoumaného problému a dostupným vybavením.

Úvod práce je věnován stručnému výtahu k teorii a popisu jevů spojených s řešeným problémem. Autor se věnuje zejména obecně atomizaci kapalin, text vychází z klasických monografií (Lefebvre 1989 a Bayvel-Orzechovski 1993) a několika vědeckých článků. Další jevy a aspekty, jako spalování, jsou pouze krátce zmíněny. Úvodní text by bylo vhodné koncipovat jako popis současného stavu řešené problematiky, který byl jedním z cílů práce („Rešerše odborné literatury v oblastech měřicích metod pro analýzu sprejů, effervescentní atomizace a modelování atomizace v prostředí výpočtové dynamiky tekutin“). V tomto směru je málo kritický a málo zaměřený do hloubky problému, např. z kap. 2.4, 2.5 a dalších není dostatečně zřejmý současný stav poznatků v řešené oblasti. Ten lze dovodit z kap. 5, kde jsou v krátké formě součástí zejména úvodních kapitol jednotlivých publikačních výstupů.

Kap. 3 popisuje použité experimentální přístupy. Z popisu však není zřejmé, jaké konkrétní vybavení bylo použito pro měření spreje – tedy popis konfigurace přístroje a jeho nastavení. To není dokumentováno ani v příložených publikacích (kap. 5.5 – 5.7), vzhledem k tomu, že je studován i vliv nastavení přístroje na výsledky a výsledkem práce je i metodika měření spreje, byly by tyto informace velmi užitečné.

První čtyři kapitoly působí celkově poněkud nevyváženě co do rozsahu a hloubky zpracování jednotlivých částí. Text se často duplikuje s obsahem uvedeným v kap. 5; např. první dva odstavce v kap. 3.2 vs. podkap. „Wall Heat Flux Distribution“ v kap. 5.2.1. a první dva odstavce v kap. 4.3.2 vs. třetí odstavec v podkap. „Spray Modelling“ v kap. 5.2.1., text v kap. 4.3.4 se překrývá s textem v podkap. „Droplet Collision“ (str. 51) a text v kap. 4.3.5 s textem v podkap. „Droplet Drag Model“ (str. 51). Spíše by bylo vhodné zpracovat úvodní kapitoly více souhrnným způsobem a doplnit tak obsah již uvedený v kap. 5 s křížovými odkazy na příslušné informace (do kap. 3.2 odkaz na kap. 5.3.2 apod.).

Výsledky uvedené v kap. 5 jsou součástí publikací, které již podstoupily recenzní řízení, z tohoto pohledu je považují za prověřené. U uvedených, zejména experimentálních výsledků, které jsou v publikacích popsány a vyhodnoceny, bych pouze ocenil hlubší fyzikální rozbor a závěry.

Kladem práce je přístup s použitím experimentů i numerických simulací, jejich vzájemné provázání a využití experimentálních dat pro validaci simulací. Hlavními přínosy jsou:

- nové experimentální výsledky vlastností sprejů ET, zejména poznatky o prostorovém rozložení velikosti kapek a potvrzení současných znalostí např. ohledně vlivu GLR na SMD,
- validace numerických modelů spalování (kap. 5.3.) s porovnáním různých modelů turbulence,
- modely histogramů spreje a přístupy k použití v numerických simulacích,
- a přehled publikovaných validací CFD modelů izotermního a reaktivního proudění.

Práce je psána srozumitelným způsobem, s minimem chyb a, pokud mohu posoudit, dobrou angličtinou. Autor používá až na výjimky vhodnou terminologii. Nesprávně jsou používány termíny „Fázový Dopplerovský analyzátor“ a „Fázová Dopplerovská anemometrie“ (str. 13 a 85). V prvním případě jde o přístroj a ve druhém o metodu.

Formální úprava dizertační práce je dobrá, v textu se vyskytují pouze drobné chyby, např. citace u popisu obr. 4.1 není uvedena v seznamu literatury, v seznamu veličin nejsou zahrnuty všechny použité veličiny, některé jsou popsány pouze v textu.

Stručné vyjádření k předloženým tezím

Teze disertační práce jsou zpracovány v přiměřeném rozsahu a dodržují doporučené členění. Mám však několik připomínek k jejich zpracování. V textu se některé informace opakují a zpracování textu pak působí poněkud nepřehledně, např. čtvrtý odstavec v kap. 5.3. na str. 24 opakuje některé informace z předchozích odstavců, podobně na str. 25. v kap. 5.4. druhý odstavec z části popisuje to, co je obsahem předchozího. Kap. 5 dle mého názoru dokumentuje výsledky velmi popisným způsobem, chybí zde uvedení konkrétních zásadních výsledků ve vhodné formě (grafy, tabulky, obrázky). Kap. 2, je úvodem do problematiky a lze ji chápat jako popis současného stavu řešené problematiky. V některých pasážích (kap. 2.1, 2.2, 2.4) je zaměřena příliš obecně s malým důrazem na citace a čerpání informací ze současných prací.

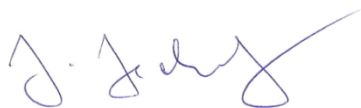
Otázky oponenta

- Cíle práce uvádí jako jeden z úkolů „Experimentální proměření plamene kapalného paliva rozprašovaného effervescentní tryskou“. Jakým přístupem a s jakými výsledky to bylo řešeno?

- Při zpracování metodik měření (řešeno v kap. 3.1.3) je důležité stanovení přesnosti použitých metod. Jakým postupem byste určil nejistoty měření (velikosti kapek nebo rychlosti) u metody PDA?
- Jaké další druhy sil působících na kapku by mohly být zahrnuty do rovnice 4.1? Diskutujte jejich význam pro Vámi sledovaný případ kapek v reaktivním proudění. Jakou povahu a vliv má tzv. „coupling“ u Vašeho případu dvoufázového proudění?
- Čím se odlišuje effervescent atomizace od jiných metod rozprašování s vnitřní tvorbou směsi?
- Popište jaký je mechanismus působení viskozity při primární atomizaci u ET, odhadněte její velikost ve vztahu k vlivu povrchového napětí u Vámi sledovaných trysek a běžných provozních podmínek.
- Jakým jevem byste vysvětlil bimodalitu velikostního rozdělení kapek na okrajích spreje (uvedeno např. v obr. 2 na str. 84)?
- U provedených experimentů a simulací nejsou uvedeny podrobné informace o konstrukci trysek. Byla použita shodná média? Např. z kap. 5.2.2 plyne rozdíl v průtocích u experimentu a simulací, jak to ovlivní vypovídací schopnost validace?
- Při tvorbě CFD modelu je velmi vhodné udělat test na velikost sítě, aby bylo ověřeno, že je síť dostatečně jemná a výsledky jsou v rámci použitých modelů „správné“. Bylo toto provedeno a v kterých případech?
- ET jsou známy tím, že jejich sprej vykazuje vrozené nestability (jsou dány podstatou tvorby dvoufázového toku). Jak se toto projeví v aplikacích pro spalování a jak to lze řešit numericky? Pokuste se odhadnout dopad na výsledky spalování (emise, účinnost spalování) a tedy na rozdíl mezi „stacionárním“ a „nestacionárním“ řešením.
- Jak je v CFD modelech zohledněna rychlost kapek, která závisí na jejich velikosti a poloze?

Předložená dizertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona (č. 111/1998 Sb.). Obsahuje původní a uveřejněné výsledky, student tímto prokázal schopnost a připravenost k samostatné vědecké práci. Práce byla náročná šíří zpracovaného tématu a použitými přístupy. Dosažené výsledky jsou zajímavé pro vědeckou komunitu a mají význam pro rozvoj vědního oboru. Uvedené připomínky nepovažuji za zásadní pro celkové hodnocení přínosů práce. Práci doporučuji k obhajobě a Ing. Broukalovi udělení akademického titulu Ph.D.

V Brně dne 20. 6. 2014



doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

EÚ FSI VUT v Brně