

Posudek disertační práce Ing. Jana Baráka:

„Fázová přeměna vlhkého vzduchu při jeho ochlazování pod teplotu rosného bodu aplikovaná na podlahovém konvektoru“

Vypracoval oponent: Dr. Ing. Jaroslav Synáč

vedoucí Katedry energetických strojů a zařízení,
Fakulty strojní, Západočeské univerzity v Plzni

Při zpracování posudku jsem respektoval doporučená stanoviska zasláná děkanem Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci panem prof. Dr. Ing. Petrem Lenfeldem.

1. Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Disertační práce byla napsána v rámci studijního programu P2301 Strojní inženýrství a studijního programu Aplikovaná mechanika. Za hlavní cíl své disertační práce si její autor zvolil řešení kondenzace atmosférické vlhkosti vzduchu v podlahovém výměníku obytné místnosti. A to ve smyslu stanovení objemu vodního kondenzátu vznikajícího při chlazení vzduchu na lamelovém výměníku typu voda-vzduch. Významem pro vědní obor je rozšíření znalostí termodynamických stavových veličin vlhkého vzduchu a jejich použití s výstupem pro technickou praxi. Práce je tedy dobře využitelná pro výrobce tepelných výměníků, které zvyšují tepelný komfort v obytných místnostech budov.

2. Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle

V úvodní kapitole se autor zaměřil, kromě popisu výměníku tepla voda-vzduch a vysvětlení fyzikální podstaty matematického modelu kondenzace atmosférické vlhkosti vzduchu, na kritickou rešerši literatury vztahující se k řešenému tématu. Rešerše celkem 18 literárních zdrojů je provedena pečlivě a poměrně rozsáhle, takže je přínosem disertační práce. Autor cíleně hledal ty práce, které jsou využitelné pro řešení zadání disertační práce, ale i ty s možným aplikačním potenciálem pro výrobce výměníků. Jeho přínosem je zejména rozpoznání nedostatků rešeršních zdrojů, které by pomohly zvolit vhodný přístup pro řešení cílů disertace.

Další hlavní kapitola práce je věnována vlastní práci autora, která vede k původním výsledkům a přínosům termodynamiky vlhkého vzduchu a jeho aplikaci jako ochlazovaného média výměníkem vzduch-voda.

V příloze A disertační práce se doktorand podrobně zabýval termodynamickými parametry nutnými pro úplný popis vlhkého vzduchu. Způsob jakým je použil pro řešení tématu své disertační práce, dokládá jeho hluboké znalosti termodynamiky.

V příloze B je uveden původní zdrojový kód pro výpočet stavových veličin v MATLABu. Tuto přílohu lze považovat také za původní přínos disertační práce.

Z uvedeného lze uzavřít, že doktorand Ing. Jan Barák splnil cíl své disertační práce.

3. Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu autora disertační práce

Výsledky disertační práce jsou původní a pro jejich dosažení autor použil prvky novosti. Lze uvést nově vytvořený zdrojový kód v MATLABu, protože nebyl nalezen vhodný softwarový prostředek pro výpočet stavových veličin mokrého vzduchu. Doktorand navrhl experimentální zařízení a provedl měření pro validaci výsledků výpočtů. Vytvořil úplný popis matematického modelu pro stanovení objemu zkondenzované vody z atmosférického vzduchu.

4. Případné další vyjádření, zejména vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Disertační práce se napsána přehledně s odpovídající formální úpravou a členěním. Jazyková úroveň je bez připomínek, snad jen na str. 88 je častá chyba ve slově a jeho odvozenin „měřící“ versus „měřící“. Disertační práce má dostatečný rozsah daný nejen počtem stránek, ale i v počtu 109 citací. Významná je představa autora o dalším směřování práce. Jasně jsou formulovány navazující cíle.

5. Vyjádření k publikacím studenta DSP

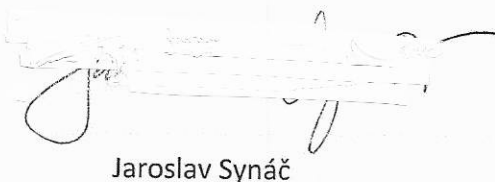
Doktorand přiložil celkem 12 publikací. Z nich 9 v textu své disertační práce, ty charakterizuje jako významné. Jedná se vesměs o příspěvky domácích a zahraničních konferencí a články ve sbornících, které se zabývají tematikou přímo související s řešeným zadáním disertační práce. Publikační činnost doktoranda považují za vyhovující ve vztahu k obhajobě disertační práce.

6. Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje nebo nedoporučuje disertační práci k obhajobě

Předložená disertační práce je originálně a kvalitně zpracovaná. Způsob a řešení zadaného tématu obsahuje významné prvky novosti.

Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.

V Plzni dne 4. 5. 2021



Jaroslav Synáč

Oponentní posudek disertační práce

Autor: Ing. Jan Barák
Název: Fázová přeměna vlhkého vzduchu při jeho ochlazování pod teplotu rosného bodu aplikovaná na podlahovém konvektoru
Oponent: Prof. Ing. Karel Adámek, CSc.

Úvod

Rozsáhlá disertační práce shrnuje výsledky teoretické i experimentální práce autora v oblasti, která je výstižně popsána nadpisem práce. Obsahuje 139 stran textu, z toho je na 13 stranách seznam 109 položek citované literatury a seznam 9 významných prací autora z mezinárodních konferencí, vztahujících se k tématu disertace. Důležité rozsáhlé přílohy A a B (celkem 34 stran) jsou popsány dále.

Význam práce pro obor

Jak je uvedeno v rešeršní části práce, téma kondenzace vzdušné vlhkosti je velmi významné v řadě oborů – jako žádoucí, typicky při průmyslovém vysoušení vzduchu, tak i nežádoucí, typicky v komfortních zařízeních pro úpravu stavu vlhkého vzduchu, kde vznikají problémy při nesprávném či nedostatečném odvodu kondenzátu aj.

Postup řešení, použité metody a splnění stanoveného cíle

Po provedené rešerši byly v rozsáhlé příloze A práce (22 stran) shromážděny termofyzikální parametry vlhkého vzduchu spolu s příslušnými rovnicemi k výpočtu těchto parametrů. Tyto podklady byly v následující fázi použity ve vlastním vytvořeném zdrojovém kódu pro výpočet stavových veličin vlhkého vzduchu (rozsáhlá příloha B, 12 stran). Uvedené podklady byly použity pro matematický model kondenzace i pro její numerickou simulaci. Tyto teoretické výsledky numerického modelu se konfrontovaly s vlastními experimenty, prováděnými na elementu podlahového konvektoru. Pro oba postupy byly použity stejné okrajové a počáteční podmínky.

Stanovený cíl – vyřešení kondenzace atmosférické vlhkosti v podlahovém výměníku tepla – byl splněn, Autor vyřešil zadané téma několika způsoby – teoretickým výpočtem, numerickou simulací i experimentálně. Po podrobné a hluboké diskusi získaných výsledků konstatuje, že výsledky různými metodami mají shodný charakteristický průběh. Ale současně se konstatuje, že vlastní numerický model dává asi o třetinu vyšší hodnoty vznikajícího kondenzátu než vlastní experiment. Autor podotýká, že tento závěr je v souladu s výsledky uvedenými v několika citovaných pracích.

Výsledky disertace a význam původního konkrétního přínosu autora disertace

Jak je uvedeno výše, stanovený cíl disertace byl splněn. Na rozdíl od několika citovaných prací autor pokračuje dál a na základě svých výsledků uvádí další možnosti, jimiž by bylo možné zmenšit rozdíl zjištěný mezi výsledky simulace a experimentu. Velmi přínosné je i to, že rozsáhlé podklady v přílohách A (termofyzikální vlastnosti a rovnice vlhkého vzduchu) a B (vlastní zdrojový kód pro výpočet stavu vlhkého vzduchu) jsou dány k dispozici pro další použití jiných autorů.

Další vyjádření

Kladně hodnotím srozumitelný a logický popis řešeného problému, systematičnost a logický postup prací na rozsáhlém výzkumu složitého problému, přehlednou a průkaznou diskusi dosažených výsledků, jak je dokladováno v práci.

Úvodní část na 25 stranách popisuje vlhký vzduch v tepelném výměníku, fyzikální podstatu kondenzace a matematické modely turbulentního proudění a kondenzace. Hlavní část práce shrnuje na ca 60 stranách přesný výpočet stavových veličin vlhkého vzduchu s pomocí podkladů shromážděných do přílohy A, dále vlastní experiment, virtuální model kondenzace, bilanci hmoty a energie, porovnání výsledků matematického modelu a experimentu a možnosti optimalizace proudění v kanálu s vloženým výměníkem. V závěru jsou souhrnně uvedeny hlavní možnosti pokračování, jak vyplynuly z vlastních dosažených výsledků a z jejich rozborů. Na intenzitu kondenzace vzdušné vlhkosti mají vliv na příklad znečišťující látky ve vzduchu, povrchové úpravy lamel výměníku, úpravy geometrie výměníku pro intenzifikaci chlazení proudícího vzduchu atd. Velmi zajímavým a náročným tématem bude úprava použitého a ověřeného modelu i pro tvorbu kapkového kondenzátu.

Na základě vlastní dlouhodobé praxe ve VÚTS Liberec i dlouhodobé spolupráce s VZLÚ Praha podtrhuji, že pro řešené téma byla správně vytvořena velmi jemná výpočetní síť u povrchů, na nichž dochází k přestupu tepla a ke kondenzaci vody z vlhkého vzduchu. S takovou jemnou sítí se u stěny vytvoří plynulý gradient proudového pole, ve kterém probíhají studované přestupy tepla a fázové změny, které jsou hlavním tématem celé této disertační práce. S velmi jemnou sítí u stěny lze simulovat děje tak, jak ve skutečnosti opravdu probíhají a které s použitím standardního modelu mezní vrstvy nejsou vůbec zjištěitelné.

Standardní aplikace komerčního modelu mezní vrstvy sice sníží nároky na rozsah řešené úlohy, ovšem v takovém modelu je v první vrstvě síť na stěně nulová rychlost a v sousední vrstvě skokově rychlost nenulová. Takové skoky se v přírodě nevyskytují. Použití takového modelu mezní vrstvy je vhodné k řešení klasického proudění ve větších objemech (potrubí, větrání,...), kde skok rychlosti v příčném směru nevadí, ale v takových nereálných skocích veličin proudového pole nelze zachytit jejich změny těsně u stěny, což je právě u případů přestupu tepla a změny skupenství podstatné.

Publikace

V závěru práce je uvedeno 9 významných prací autora z mezinárodních konferencí, které mají vztah k řešené problematice. Jejich počet i témata považuji za vhodné.

Připomínky a dotazy

K formální úpravě snad jen to, že v tuzemsku je zvykem uvádět čísla s desetinnou čárkou, ne tečkou. I když výsledky z komerčního softwaru jsou s tečkou.

Obecně se doporučuje pro získání výchozí představy na začátku simulovat víc jednoduchých případů ve 2D, i když zcela neodpovídají realitě a podle získaných závislostí pak vyřešit menší počet komplexních modelů 3D, bližších k realitě.

Dále si myslím, že je zbytečné uvádět teplotu na 9 desetinných míst (tab. 5, str. 73).

Neměl by být podnadpis na str. 99 obráceně, tj. Test nezávislosti řešení na výpočetní síti?

Bylo by možné použít řešení v disertaci pro kondenzaci chladiva v chladicím zařízení?

K citátům bych si dovolil doplnit i Michaela Faradaye: Pracuj, dokonči, publikuj.

Závěr

Na základě výše uvedeného doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělení akademického titulu PhD.

Karel Adámek
Liberec, duben 2021

Doc. Ing. Jiří Polanský, Ph.D.
Prosincová 46
Plzeň 321 00

Posudek disertační práce
Ing. Jana Baráka
Fázová přeměna vlhkého vzduchu při jeho ochlazování pod teplotu rosného bodu
aplikovaná na podlahovém konvektoru

K oponování byla předložena disertační práce Ing. Jana Baráka o rozsahu 177 stran, včetně příloh, seznamu použité literatury a seznamu vlastních publikací. Práce je členěna do 4 kapitol a zabývá se stanovením množství kondenzátu z atmosférické vlhkosti, který vzniká při ochlazování proudícího vlhkého vzduchu z místnosti v podlahovém tepelném výměníku.

Dosažení stanovených cílů v disertační práci

Hlavním cílem předložené disertační práce je vyřešení kondenzace atmosférické vlhkosti v podlahovém výměníku tepla. Pro dosažení hlavního cíle definoval autor i dílčí problémy, kterými se práce zabývá:

- Definování vlhkého vzduchu a jeho stavových veličin při proudění výměníkem v obytných místnostech.
- Zjištění aktuálního stavu problematiky kondenzace za podmínek odpovídajících obytným místnostem.
- Provedení technického popisu tepelného výměníku a rozbor jednotlivých částí.
- Prověření způsobů nahrazení kondenzace vlhkého vzduchu matematickým modelem pro návrh a optimalizaci výměníků ve virtuálním prostředí.

Za účelem řešení zvolené problematiky byl vytvořen, a v práci prezentován, počítačový model. Ambicí tohoto modelu je predikce množství kondenzátu z atmosférické vlhkosti pro specifické okrajové a počáteční podmínky.

Rozbor současného stavu dané problematiky

V kapitole 2.5 se autor detailně věnuje rozboru použité literatury. Je zřejmé, že zde čerpá poznatky jak pro nastavení vlastního numerického modelu, tak pro návrh laboratorního zařízení. Kritické poznatky z literatury shrnuje v následujících bodech:

- statistické vyhodnocení kondenzace je často prováděno bez hlubší znalosti fázové přeměny v mikroměřítku, a to až na úroveň molekul a atomů
- významná závislost experimentálních výsledků na dodržení konstantních podmínek během celé doby provádění experimentu
- významná závislost numerických výsledků na použitém SW, numerickém řešiči a zvolených okrajových podmínkách
- neúnosná časová náročnost detailních výpočtů na jemných sítích, s hlubším respektováním fyzikálního modelu proudění a kondenzace
- nutnost validace numerického modelu a experimentu se shodnými okrajovými podmínkami

V této části disertační práce autor poněkud osciluje mezi mikroskopickým přístupem k problematice změny fáze, až k makroskopickému, inženýrskému přístupu.

Vhodnost použitých metod řešení a způsob jejich aplikace

Cílů disertační práce bylo dosaženo volbou následujících metod:

- výpočty stavových vlastností vlhkého vzduchu pomocí programu MathWorks MATLAB

- výpočty proudění a přestupu tepla za účelem modelování kondenzace atmosférické vlhkosti pomocí CFD ANSYS CFX ve verzi 18.0.
- experimentální měření kondenzace na vlastním laboratorním zařízení.

Volba metod koresponduje s možnostmi pracoviště a je vhodná pro předkládanou studii.

Znalost doktoranda v oblasti řešení problematiky

Rozborem současného stavu problematiky výměníků tepla, kondenzace a rozbořem použitých numerických i experimentálních metod autor jasně prokázal znalost dané problematiky, a to jak z hlediska úpravy kvality vzduchu, tak z hlediska přenosu tepla a hmoty.

Formální stránka zpracování disertační práce

Práce je sepsaná v českém jazyce a je v dobré grafické kvalitě. Pozastavuji se nad vyčleněním určitých teoretických partií až do závěrečné části disertační práce. Některé partie uvedené v přílohách mohly být logickou součástí popisu vlastního modelu.

Připomínky a dotazy

K předložené studii nemám zásadnější připomínky. Předkládám dílčí komentáře a dotazy k práci:

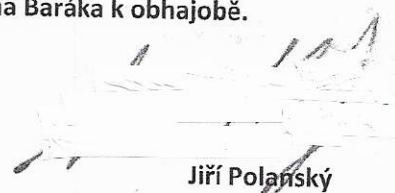
- Připomínka k obrázku 42. vizualizace y^+ . Proč je doporučená hodnota méně než jedna u modelu k-omega SST? Nesouhlasím s tím, že by vysoké hodnoty y^+ souvisely s numerickou stabilitou. Považuji to spíše za otázku kvality modelování mezní vrstvy, a tím by se měl autor při modelování kondenzace hlouběji zabírat. Uveďte více detailů o zvoleném přístupu k modelování mezní vrstvy a doložte jejich vhodnost pro danou aplikaci.
- Teplotní a rychlostní pole na obrázcích nevypadají jako okamžité, ale spíše jako by v čase ustředěné, ačkoli to v popisech obrázků není uvedené. Blíže popište Váš způsob vyhodnocení a zobrazení vybraných veličin.
- Připomínka ke grafu 8, vliv velikosti sítě na numerické výsledky. V textu pouze naznačujete, z jakých důvodů musí být výpočtová síť jemná (mezní vrstva, tvorba kapiček a pod). Proveďte hlubší rozbor. Vysvětlete, proč Vámi zvolená síť (kvalita, hustota) je dostačující pro danou aplikaci. Uveďte jako příklad tepelné a proudové jevy, které Váš model z principu svého zjednodušení už není schopen podchytit.
- Připomínka k obrázku 40, součinitel přestupu tepla. I zde bych očekával hlubší rozbor vypočteného součinitele. Jedná se o reálné hodnoty při kondenzaci? Jaký vliv má laminární a přechodová část mezní vrstvy na celkový součinitel? Jak je přechodová část zohledněna v prezentovaném numerickém modelu?
- Dotaz na shodu numerického a experimentálního modelu. Popis numerického i experimentálního modelu je v práci předložen. Do jaké míry se oba modely shodují? Jsou údaje z reálného modelu přeneseny do numerického? Je například v numerickém modelu zohledněna kvalita povrchu použitých komponent? Jsou některé změřené veličiny či profily použity pro okrajové podmínky?

Závěrečné zhodnocení

Předložená disertační práce vyhovuje podmínkám stanovených pro doktorandské studium. Doktorand Ing. Jan Barák prokázal odbornou způsobilost, jak v oblasti mechaniky tekutin a termomechaniky, tak i v problematice experimentálního a numerického modelování.

Vytčené cíle považuji za splněné a doporučuji disertační práci Ing. Jana Baráka k obhajobě.

V Plzni, 21.5.2021


Jiří Polanský