

Oponentní posudek disertační práce na téma:

Studie vlivu vnitřních a vnějších podmínek na kvalitu prostředí v místnostech a budovách

Autor práce: Ing. Jan Barák

Fakulta strojní

Studijní program P2301 – Strojírenské inženýrství

Studijní obor 3901 V003 – Aplikovaná mechanika

Technická univerzita v Liberci

Kvalita vnitřního prostředí, zejména z hlediska respiračních problémů, má významný vliv na zdraví, efektivitu pracovního výkonu, spokojenost i na mezilidské vztahy na pracovišti i bydlišti. Z těchto důvodů je detailní teoretický a hlavně experimentální výzkum faktorů majících vliv na prostředí značně přínosný. Jistě nejde jen o tepelnou pohodu, výskyt polutantů, rozložení vlhkosti, systémy klimatizace ale též výrazně o studium rozložení rychlostního pole a spektrum turbulencí proudícího prostředí, vyvolaného nucenou konvekcí z klimatizačních jednotek či konvektorů. Motivace práce spočívá též v aplikaci na vývoj a optimalizaci podlahového vytápění a chlazení u realizátora – společnosti LICON Liberec.

Této problematice jsou vymezeny tyto cíle práce:

- stanovení množství kondenzátu, které vzniká při různých režimech vlhkého vzduchu
- návrh a realizace měřicí trati pro komparaci s výsledky vytvořeného virtuálního modelu
- numerickou simulací kondenzačního procesu odladit a implementovat stavové a procesní parametry z dostupných literárních zdrojů
- výpočetní kód (volně šiřitelný) má umožnit efektivnější vývoj nových teplosměnných aparátů ve virtuálním prostředí

Hodnocení:

V úvodní části práce (kap. 1.1 až 1.3) jsou formulovány motivace výzkumu, vymezení problému, formulace cílů práce, použité metody pro realizaci vlastního experimentu a formulaci podmínek pro vytvoření virtuálního digitálního modelu kondenzace na voštinovém chladiči.

V kapitole „Teorie“ jsou formou rozsáhlé rešerše (96 literárních odkazů) uvedeny významné nástroje pro dosažení optimálnějšího stavu životního prostředí v budovách, kvalitu ovzduší, kontaminanty chemické, biologické i aerosolové.

Činitele, rozhodující o tepelně vlhkostní pohodě prostředí, by bylo vhodné doplnit k rychlosti proudění vzduchu ještě spektrum turbulence či alespoň intenzitu turbulence, která výrazně ovlivňuje psychickou pohodu v prostředí.

V kapitole 2.2. v rozsahu cca 20 listů jsou soustředěny vlastnosti, definující vlhký vzduch a to ve formě zpravidla regresních rovnic, vhodných k naprogramování v MATLABu.

Souhrn (kap. 2.4.), z rozsáhlé rešerše světových publikací o kondenzaci atmosférické vlhkosti, je přehledně uveden a je velmi cenným podkladem pro experiment a zejména pro formulaci vlastního virtuálního modelu kondenzace na speciálním chladiči.

Matematický model turbulentního toku s implementovaným modelem kondenzace je volen v komerčním software ANSYS – CFX. Turbulentní model $k - \omega$ SST, který byl použit považují však pro průtok lamelami výměníku za ne zcela oprávněný. Vlastní model kondenzace pracuje s variabilním složením směsi (VCM) na vstupu a s homogenní binární směsí (VBN) na výstupu ze sledované oblasti. Výpočet respektuje jen blánovou kondenzaci, je v principu oprávněný, neboť zpravidla kapičková kondenzace se časem přetransformuje na blánovou.

Stěžejní částí práce je obsah kapitoly „Výsledky kondenzace vlhkosti“ s partiiemi 3.2. „Experiment“, 3.3. „Virtuální model kondenzace“ a 3.5. „Komparace vlastních měření a numerické simulace“.

V závěru práce autor formuluje zhodnocení přínosu práce a nastínění dalšího směřování výzkumu. Pozoruhodným výsledkem práce je výrazné nadhodnocení množství vzniklého kondenzátu výpočtem z virtuálního modelu ve srovnání s experimentem. V rámci tří příloh jsou mj. detailně specifikovány typy kontaminantů v ovzduší.

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor:

„Ježíš proměnil vodu ve víno, autor disertační práce proměňuje vzduch ve vodu“ Tento proces - proces kondenzace je velmi složitý komplexní problém, jehož efektivita je dána souhrnem celé řady proměnných, jako sací či tlačná ventilace, smáčivost povrchu lamel, kovový styk lamel s potrubím protékaném chladícím prostředím, periodickými pulzy toku, charakterem turbulence na vstupu do chladiče i v mezižebních prostorách, tepelným spádem, okamžitou hodnotou rosného bodu, polutanty, fyzikální podstatou kondenzace (blánová kondenzace, kapičková kondenzace, jinovatka či ledová námraza). Charakter

kondenzace bývá v reálných podmínkách doprovázen časovou i prostorovou nestabilitou. Komplexně není tento problém dosud vyřešen a zde autor výrazně přispívá k poznání v oboru. Byla též provedena citlivostní analýza parametrů, majících rozhodující vliv na predikci tvorby kondenzátu z virtuálního modelu.

b) Postup řešení a použité metody

Autor vychází z teoretické formulace problému, navrhl a vyhodnotil vlastní experimenty a jeho přístup odpovídá současným trendům v oblasti studia kondenzačních procesů. Využil náročnou měřicí techniku včetně termoanemometrické metody DANTEC pro stanovení rychlostních profilů. Byly naplněny dané cíle disertace a formulována doporučení pro další návazný výzkum.

c) Výsledky disertační práce – původnost

Autorsky zpracoval výpočetní kódy pro analýzu experimentu i počítačové simulace kondenzace na bázi ANSYS – CFX pro blánovou kondenzaci. Zdrojová data i procesy jsou dostatečnou podrobností citovány a tedy jsou zřejmé podmínky, za kterých byly experimenty i simulace provedeny. Autorské programy jsou přiloženy a volně dostupné. Významný konkrétní přínos autora disertační práce, dle mého názoru, spočívá hlavně v komparaci digitálního řešení s originálními výsledky na autorem realizované zkušební trati.

d) Systematičnost, přehlednost, formální a jazyková úroveň

Text je psán přehledně s logickou posloupností kapitol. V poměrně rozsáhlé kapitole o kvalitě životního prostředí v budovách postrádám zmínku o dánských a japonských studiích vlivu turbulence proudícího vzduchu na psychický stav dotčených osob. Překlepy a chyby v textu jsou jen ojedinělé, některé matematické výrazy – rovnice nejsou v homogenním tvaru (117 a j). Např. obr. 4. je poněkud matoucí a nevěřím, že indický autor to takto publikoval.

e) Publikační činnost studenta DSP

Seznam publikací studenta v práci není uveden s výjimkou vlastní diplomové práce z roku 2013. Předpokládám však, že se autorsky účastnil na publikacích o výzkumu pro realizátory.

K práci mám následující otázky:

- 1) Jsou podlahové konvektory pro chlazení vzduchu s odvlhčováním efektivnější než podstropní, jaká je motivace pro chladiče v podlaze s nucenou ventilací?
- 2) V čem spočívá hlavní přínos disertace ve srovnání s DP na téma „*Kondenzace atmosférické vlhkosti ve výměníku tepla pomocí CFD*“?
- 3) Můžete, alespoň řádově, kvantifikovat množství energie spotřebované na produkci jednoho kg vody z atmosférického vzduchu?
- 4) V návaznosti na výsledky, znázorněné na grafu 10. „Porovnání tvorby kondenzátu“ můžete zdůvodnit příčiny nesymetrie produkce kondenzátu vzhledem k úhlu natočení výměníku?

5) Proč model blánové kondenzace vykazuje více než dvojnásobnou efektivitu simulované tvorby kondenzátu ve srovnání s experimentem kde je pozorována kapičková kondenzace, která by měla mít 2 až 20krát větší kondenzační výkon?

6) Na čem hlavně závisí typ vznikající kondenzace?

Závěr – doporučení

Předložená disertační práce Ing. Jana Bartáka tvoří kompaktní celek a přináší nové vědecké poznatky z oblasti experimentálního výzkumu kondenzace a numerické simulace procesu blánové kondenzace na lamelovém chladiči. Doktorand dobře zpracoval dané téma a naplnil vytčené cíle. Samostatně navrhl měřicí trať s generováním chladícího prostředí s teplotou pod rosným bodem vlhkého vzduchu, trať otestoval, kalibroval snímače a provedl množství vlastních experimentů, které konfrontoval s virtuálním digitálním modelem.

Dosažené výsledky jsou původní a obecně využitelné pro daný obor, jsou formulovány podmínky a směry dalšího výzkumu.

Pokud autor prokáže odpovídající vlastní publikační činnost, budu moci konstatovat, že předložená práce splňuje ustanovení § 72 odst. 3 Zákona č. 111/1998 o vysokých školách a proto ji doporučit k obhajobě a po jejím úspěšném ukončení též doporučit udělení akademického titulu PhD na Fakultě strojní Technické univerzity v Liberci.

20.února 2020



doc. Ing. Jiří Unger, CSc

Posudek disertační práce

Jméno kandidáta:	Ing. Jan Barák (Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci)
Název disertační práce:	STUDIE VLIVU VNITŘNÍCH A VNĚJŠÍCH PODMÍNEK NA KVALITU PROSTŘEDÍ V MÍSTNOSTECH A BUDOVÁCH, 2019
Školitel/konzultant:	Prof. Ing. Karel Fraňa, Ph.D.
Studijní doktorský program/obor:	Strojní inženýrství/Aplikovaná mechanika
Oponent:	Doc. Ing. Petr Eret, Ph.D. (Katedra energetických strojů a zařízení, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni)
Termín odevzdání posudku:	do 26. 02. 2020

Obsah doktorské práce

Disertační práce pana Ing. Jana Baráka se zabývá procesem odstranění atmosférické vodní páry z vlhkého vzduchu. Dává si za cíl pomocí experimentu stanovit množství kondenzátu, které vzniká v jednoduchém tepelném výměníku, a validovat příslušné numerické simulace. Obsahuje 4 kapitoly a má 135 stran včetně seznamů a příloh. V úvodní kapitole autor specifikuje motivaci práce, vymezuje řešený problém a cíle práce a definuje použité metody. Kapitola č. 2 obsahuje popis vlhkého vzduchu a jeho matematický model, charakterizuje tepelný výměník typu voda-vzduch určený pro úpravu teploty a vlhkosti v obytných prostorách. Součástí této kapitoly je stručná rešerše literatury a matematický model pro turbulentní prodělení a kondenzaci. Rešerše popisuje několik málo zdrojů na téma kondenzace atmosférické vlhkosti, kombinace CFD a experimentu je pouze uvedena okrajově. Jádrem disertační práce je v kapitole 3, kde jsou prezentovány popisy experimentu, CFD modelování a stěžejní výsledky vzájemného srovnání. Přínosy práce jsou shrnuty v kapitole 4 společně s možným dalším výzkumem.

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Téma disertační práce je zajímavé a úspěšné zvládnutí problému může mít význam pro několik oborů typu „Aplikace numerických metod v mechanice tekutin/Aplikovaná mechanika“ či „Znečištění a kontrola vzduchu“. Jenomže práce má nedostatky, zejména se nepodařilo validovat numerický model pomocí experimentálních dat. Její vědecký přínos je poněkud skromný.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle

Autor využívá pro řešení problému CFD komerční nástroj ANSYS CFX, ale podobné programy jako jsou ANSYS Fluent či OpenFoam nejsou komentovány z pohledu vhodnosti pro daný úkol. Dle rozboru na str. 65, řádek 4 umí ANSYS CFX řešit pouze filmovou kondenzaci a v praxi daleko častější kapičková kondenzace není do programu zahrnuta. Tento mechanismus kondenzace je ovšem pozorován v experimentu (str. 110, řádek 7) a tedy použití softwaru ANSYS CFX pro danou situaci je v principu nevhodné. Pro řádnou validaci numerických dat by bylo správné využít příkladu filmové kondenzace či implementovat příslušný model do vhodného otevřeného řešiče. Jak je navrženo autorem - zavedení opravných koeficientů (str. 114, řádek 3), které by v praxi uvažovaly vznik kapičkové kondenzace - není vědecky zdravé. Otázkou zůstává, do jaké míry jsou ve skutečnosti oba mechanismy kombinovány (stripwise condensation). Zde by se v rámci disertace hodila diskuze a z toho plynoucí možné opodstatnění použití řešiče pro filmovou kondenzaci. Autor používá periodický mezi-žebrový model

kanálu a výměníku s okrajovými podmínkami z experimentu. Tento přístup se zdá efektivní, ale už není jasné, jak se srovnává napočtené množství kondenzátu s naměřenými hodnotami, které jsou platné pro celý výměník, a tedy zahrnují i vliv bočních stěn kanálu. Navíc nebylo ověřeno (a tím pádem odůvodněn princip periodicity), že je proud rovnoměrný podél šířky kanálu a žebra výměníku jsou identická s konstantní roztečí. Aplikovaný model turbulence a citlivostní analýza výpočetní sítě jsou přípustné. Experiment je jednoduchý i přesto má nedostatky, kterých si je autor většinou vědom. Nejistota v měření veličin není reflektována do finálních výsledků. Příkladem, dle specifikace na str. 81 má měření teploty pomocí dataloggeru přesnost $\pm 0,5$ °C v rozsahu -10 až +40 °C. Pro parametry uvažované v numerických simulacích, tj. teplota 4,7 °C, RH = 83,5 % a tlak 48 kPa, se nejistota v měření teploty odráží na teplotě rosného bodu přibližně $2,15 \pm 0,5$ °C (a zároveň do hmotnostního zlomku vodní páry $0,0045 \pm 0,00016$). To představuje značný vliv na predikované množství kondenzátu. Pozice dataloggeru je těsně za výměníkem (str. 83, str. 87) a kvůli nemalým rozměrům vůči rozměrům kanálu odklání proud vzduchu ve středu kanálu od spodní stěny. Lze očekávat nějaký vliv této překážky na proudění média mezi žebry výměníku? Toto není zahrnuto do modelu či okomentováno. Okrajové podmínky pro numerický výpočet nejsou úplně korektní s ohledem na experiment. Oponent nesouhlasí s tvrzením, že se rychlostní profil během proudění kanálem 1 ustaluje a dochází k jeho rovnoměrnějšímu rozprostření (str. 97, řádka 10). Pokud nebudeme uvažovat vliv stěn (str. 97, graf 6), rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou rychlosti na výstupu z domény je cca 3 m/s a podobný rozdíl lze pozorovat na vstupu, ale pro vyšší střední hodnotu rychlosti proudění. Jako stěžejní cíl práce si autor klade stanovit množství kondenzátu experimentálně i numericky a vzájemným porovnáním validovat simulační nástroj. Podíly mezi predikovaným a skutečným množstvím kondenzátu jsou v rozmezí od 1,92 do 2,87 dle úhlu natočení dvojice trubek výměníku ke směru proudění (str. 109, graf 10) a je zřejmé, že tyto výsledky nejsou postačující. Hlavní cíl práce je naplněn pouze s omezením.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu autora disertační práce

Numerické výsledky množství vytvořeného kondenzátu jsou značně odlišné od experimentu, ač vykazují trendovou podobnost. Autor poznamenává že, numerický model systematicky predikuje větší množství kondenzátu oproti experimentu (str. 113, řádka 5), avšak analýza rozporu výsledků simulace a naměřených dat by zasloužila více úsilí. Například zde chybí úvahy nad množstvím zadrženého kondenzátu, které zůstává na povrchu výměníku a neodkapává do jímky (kde se posléze měří a srovnává se simulacemi), odhad množství drobných kapiček, které proud unese dále než je jímací nádoba, či vliv zpětného odpařování kondenzátu v blízkosti výměníku. Autor vymezuje tři přínosy práce (str. 113, odst. 4.1). Prvním je popis výpočtu stavových veličin vlastností vlhkého vzduchu. Je uveden 20 stránkový výčet, ale v podstatě to obor nijak neobohacuje; podklady lze najít v příslušné literatuře či přehledně ve studijních materiálech (např. Termodynamika vlhkého vzduchu, Šafařík a Vestfálová, ČVUT, 2016). Jako další přínos je definována tvorba numerického modelu a jeho nastavení. Zde je benefit opět omezený, protože se model kondenzace nehodí na zkoumanou situaci, ale způsob modelování kanálu se zdá přijatelný. Za největší přínos práce lze považovat vytvoření funkčního experimentálního zařízení; tento koncept je snadno využitelný pro případné upřesňující studie.

d) Případné další vyjádření, zejména k systematickosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Celkově je práce uspořádaná a přehledná. Grafické provedení disertace a jazyková úroveň mají dobrou úroveň. Pravopisné omyly či překlepy se téměř nevyskytují (např. str. 60, řádek 3: „hladicí voda“).

e) Vyjádření k publikacím studenta DSP

Dle seznamu publikací na CD v disertační práci je kandidát autorem/spoluautorem 10 příspěvků. Z toho bylo 6 článků prezentováno na konferencích – převážně mezinárodních, ale neindexovaných. Autor tak

není v největších citačních a abstraktových databázích recenzované vědecké literatury Scopus a Web of Science a jeho práce nemají odezvu. Publikace mají souvislost k problematice řešené v rámci disertace, přestože mnohé ukazují výsledky diplomové práce autora, která je obdobou předložené práce. Kandidát je schopen vědeckých výstupů, ale chybí (a pravděpodobně bude chybět) významnější publikovaná práce, která by v budoucnu mohla mít ohlas.

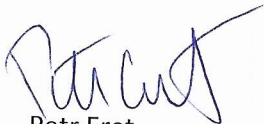
f) Jednoznačné vyjádření oponenta k doporučení či nedoporučení disertační práce k obhajobě (dle zákona č. 111/1998 Sb. 47)

Předložená disertace není fundovaná, ale je vodítkem pro další výzkum. Práci doporučuji k obhajobě za předpokladu, že se v průběhu obhajoby autor vyjádří uspokojivě k nedostatkům uvedených v bodech **b)** a **c)** tohoto posudku a zodpoví následující otázky.

Otázky

- 1) Z interpolačních křivek (str. 109, graf 10) je možno ze simulací vyzorovat maximální množství vytvořeného kondenzátu pro úhel natočení výměníku cca 100° (a trochu více u experimentu). Lze pro to najít nějaký fyzikální důvod?
- 2) Výsledky měření na str. 96 naznačují, že vstupní rychlostní pole do kanálu 1 bude značně turbulentní. Byla na vstupu do kanálu definována nějaká intenzita turbulence či kinetická turbulentní energie?
- 3) Dle tabulky 9 na str. 99 je jako vstupní parametr do numerických výpočtů použita hodnota hmotnostního zlomku vodní páry 0,0045405, která odpovídá tlaku 98 kPa, teplotě 4,7 °C a RH 83,5 % (výpočty na str. 75). Tomuto stavu ovšem neodpovídá žádný z uvedených případů v tabulce naměřených dat během experimentu (str. 84). Prosím vysvětlit.
- 4) Není zřejmé, jaké plochy byly nastaveny jako kondenzační, je uvažován i odvod tepla hliníkovým žebrem při procesu kondenzace?

V Plzni dne 26. 02. 2020



Petr Eret

Posudek disertační práce

Studie vlivu vnitřních a vnějších podmínek na kvalitu prostředí v místnostech a budovách

autor Ing. Jan Barák

Fakulta strojní TU v Liberci

Studijní program Strojní inženýrství, studijní obor Aplikovaná mechanika

Disertační práce v rozsahu celkem 137 stran obsahuje celkem 4 kapitoly, seznam obrázků, tabulek a grafů, seznam symbolů, použité literatury a 3 přílohy.

Práce se zabývá problematikou kvality životního prostředí. Zaměřuje se na životní prostředí v budovách a v místnostech s ohledem na teplotu a vlhkost vzduchu. Úprava teploty a vlhkosti vzduchu v místnosti pomocí podlahového výměníku je řešena experimentálně i numericky se zaměřením na ochlazování vzduchu. V úvodu jsou kromě motivace popsány cíle práce a použité metody. Jedním z cílů práce je stanovit pomocí různých metod množství kondenzátu, které vzniká při různých režimech proudění vlhkého vzduchu v tepelném výměníku. Dalším cílem je vytvoření matematického modelu tepelného výměníku pro numerické simulace proudění a přenosu tepla s využitím komerčního software ANSYS CFX 18 umožňujícím provádět výpočty proudění se změnou fáze proudící tekutiny.

Druhá kapitola obsahuje velmi rozsáhlou studii současného stavu problematiky, zaměřenou na kvalitu prostředí v budovách a možnosti jejího zlepšení, detailní popis vlastností vlhkého vzduchu a jeho termodynamických parametrů a způsobu jejich určení. Dále je popsán použitý podlahový výměník typu voda-vzduch, možnosti použití vhodného materiálu z hlediska koroze a je uveden souhrn získaných poznatků ze studia literatury, zabývající se kondenzací vlhkého vzduchu. V další podkapitole jsou popsány matematické modely turbulentního proudění a kondenzace. Pohybové rovnice tvořené zákony zachování hmoty, hybnosti a energie jsou uzavřeny dvourovnicovým SST modelem turbulence. Navier-Stokesovy rovnice jsou doplněny gravitační silou. Uvedené rovnice jsou převzaty jednak z manuálu programu CFX 18 a jednak ze skript. V práci se předpokládá kondenzace na stěně, která může být podle charakteru proudění a vlastností povrchu stěny filmová nebo kapičková. Detailně je popsána zejména filmová kondenzace na stěně pro laminární a turbulentní proudění. Toto omezení na filmovou kondenzaci je zřejmě dáno možnostmi programu ANSYS CFX.

Vlastní výsledky jsou uvedené ve 3. kapitole nazvané „Výsledky kondenzace vlhkosti“. V první části je popsán výpočet stavových hodnot vlhkého vzduchu pomocí programu Matlab. Další část popisuje experimentální zařízení, použité měřicí přístroje a zpracované výsledky měření. Poslední část se zabývá numerickým výpočtem pro uspořádání podle experimentu. Je popsána výpočetní oblast odpovídající výměníku, použitá výpočetní síť, okrajové a počáteční podmínky, výsledky simulace a jejich porovnání s experimentem. Výpočetní oblast byla rozdělena na dvě části a výsledky ze vstupní části byly použity jako vstupní podmínky pro druhou část s výměníkem. Výsledky jsou prezentovány rychlostními a teplotními poli ve výměníku a profily rychlosti a teploty na výstupu. Dále je uvedena bilance hmoty a energie. Výsledky získané pro jeden režim ukazují závislost množství kondenzátu na úhlu natočení výměníku vzhledem ke směru proudění. Výpočet přitom dává více než dvojnásobné množství kondenzátu.

V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky experimentu a výpočtu pro dosažení stanovených cílů, tj. na základě podrobné rešerše a provedených měření vytvořit numerický model výměníku, použitelný pro výpočty proudění vlhkého vzduchu se změnou fáze. Rovněž jsou uvedeny možnosti dalšího výzkumu.

Připomínky a dotazy

K práci nemám zásadní připomínky, týkající se přístupu k řešení zadaného problému. V textu je řada chyb a nepřesností. Dále uvádím některé připomínky a dotazy k textu:

- 1) Symboly pro některé veličiny jsou v práci použité dvakrát, např. k je tepelná vodivost podle seznamu označení, ale též turbulentní energie, t je teplota i čas, η je dynamická vazkost a současně vektor normály.
- 2) V seznamu literatury jsou některé odkazy neúplné, např. [28], [67], [77], [81], [88]. Při uvádění dostupnosti se používá odkaz na „doi“, který je ale zpravidla uveden v citaci práce.
- 3) Názvy některých podkapitol jsou česko-anglické nebo anglické: 2.2.27 Wet Bulb Globe Temperature, 2.2.45 Parts per million – objemové zastoupení, 2.2.46 Parts per million – hmotnostní zastoupení.
- 4) Pohybové rovnice na str. 61 nejsou uvedeny ve středovaném tvaru, takže nejsou zřejmé přídavné členy – turbulentní napětí a turbulentní přenos tepla.
- 5) V popisu experimentálního zařízení zcela chybí rozměry. Ty lze částečně odhadnout z popisu geometrie výpočetní oblasti na str. 89.
- 6) Způsob popisu okrajových podmínek je velmi poplatný použitému komerčnímu software.
- 7) Podle str. 92 je pro Reynoldsovo číslo $Re = 15\,752$ proudění turbulentní a plně vyvinuté. To nemusí být pravda, protože ještě záleží na turbulenci proudu a na délce vstupního úseku.
- 8) Na grafu 8 jsou vyneseny rychlostní a teplotní profily na výstupu výpočetní oblasti. Rychlost je označena jako normálová. Jedná se tedy o složku rychlosti do osy x nebo y ?
- 9) V rov. (89) na str. 62 je člen C_d , který není popsán ani uveden v seznamu označení. Rov. (92) není omezení turbulentní vazkostí, ale přepínač mezi modelem s turbulentní vazkostí a jednoduchým modelem turbulentních napětí. V které oblasti proudění se používá omezení turbulentní vazkostí resp. produkce turbulentní energie?
- 10) Podle odst. 3.3.2 na str. 90 je řešeno proudění pomocí SST modelu turbulence v kombinaci s modelem přenosu tepla, který není nikde popsán, ale dále na str. 92 se uvádí, že při výpočtu bylo řešeno mj. neisotermické proudění s konstantní vazkostí. Jak je to myšleno?
- 11) Na str. 93 se uvádí, že rychlostní profil na výstupu z ventilátoru byl stanoven pomocí drátkové anemometrie v jednodimenzionálním prostoru v aerodynamickém tunelu Centra excelence v Telči. Co znamená jednodimenzionální prostor? Byla stanovena intenzita turbulence?
- 12) Podle textu na str. 90 „... použitý SST model turbulence v kombinaci s modelem přenosu tepla vyžaduje velice pečlivé vymodelování mezní vrstvy, tedy hodnota y^+ musí být na rozhraní pevných těles a vlhkého vzduchu pod hodnotou 1. Zároveň musí být vymodelováno více než 10 elementů ve viskózní podvrstvě s nízkým koeficientem růstu velikosti. Takovéto zjemnění sítě je nutné, jelikož model turbulence nemá stěnové funkce, které by elementy sítě nahradily vhodným matematickým modelem...“. I když by vzdálenost prvního uzlu sítě od stěny měla být přibližně $y^+ \approx 1$, toto tvrzení se týká spíše $k-\epsilon$ modelu turbulence. Pro odpovídající výpočet je třeba použít u stěny zjemněnou strukturovanou čtyřúhelníkovou síť. Jaká síť byla použita v blízkosti stěny?
- 13) Experimenty byly provedeny pouze pro jeden režim proudění. Proč nebyl při velkém rozdílu mezi experimentem a výpočtem vyšetřen vliv některého z parametrů, jako např. teploty nebo rychlosti? Značný rozdíl mezi experimentem a výpočtem může být rovněž způsoben použitým modelem přenosu tepla, což je zřejmě model jednoduché gradientové hypotézy, který dává konstantní turbulentní Prandtlovo číslo.

Závěr a hodnocení

Disertační práce se zabývá úpravou teploty a vlhkosti vzduchu v místnosti pomocí podlahového výměníku se zaměřením na ochlazování vzduchu. Problém je řešen experimentálně i numericky. Téma práce je velmi složité a patrně by stačilo zabývat se jen experimentem nebo výpočtem.

Vyšetřování bylo zaměřeno na stanovení množství kondenzátu v závislosti na natočení výměníku pro jeden režim. Závislost byla porovnána s numerickým výpočtem dané konfigurace za předpokladu filmové kondenzace pomocí komerčního programu ANSYS CFX 18. Výsledky byly publikovány na několika mezinárodních konferencích.

Ing. Jan Barák splnil stanovené cíle disertace. Disertace splňuje všechny podmínky podle §47 zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů a proto ji doporučuji k obhajobě. Vzhledem ke značné složitosti řešené problematiky by měl při obhajobě prokázat vlastní vědecký přínos k dané problematice.

V Praze dne 15. března 2020

