

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Stanislava Sehnálka

Výzkum aerodynamických parametrů vybraných prvků vzduchotechnických systému

Autor v kap. 3 Cíl práce uvádí, že práce je zaměřena na návrh rekuperační tratě, způsob měření potřebných veličin v rámci této tratě a analýzu proudění v rekuperačním boxu. Dle mého názoru tyto cíle naprosto neodpovídají názvu práce.

Práce je v podstatě rozdělena na tři části, obsahující současný stav řešení, metody zpracování a výsledky práce.

V rešeršní části nazvané “Současný stav řešené problematiky“ se autor práce pouze odkazuje na normy, definuje účinnosti charakterizující výměník a věnuje se vlivu usměrňovačů proudění. Pokud cíle práce byly stanoveny, jak je autor uvádí v kap. 3, tak mi zde chybí rešerše zaměřená na podobné měřicí tratě, rozbor jejich konstrukcí možnosti způsobu měření a jich zhodnocení.

V části „Zvolené metody zpracování“ se autor věnuje spíše popisně jednotlivým částem měřicí trati. V této části bych očekával hlubší rozbor návrhu trati vzhledem k očekávaným parametrům trati, se zaměřením na dimenzování jednotlivých prvků trati a měření jednotlivých veličin. V práci se autor vůbec nevěnuje chybám měření a měřicího řetězce jako celku.

Kapitola věnující se hlavním výsledkům je rozdělena na šest oblastí:

- 1) Komparační měření snímačů diferenčního tlaku, kde autor popisuje stanovení průtoku třemi různými způsoby clonou, multidýzovou komorou a Prandtlovou trubicí. Pokud má být tato část, jako jedna z hlavních výsledků práce očekával bych zde podrobnější zhodnocení jednotlivých metod.
- 2) Návrh trati pro měření rekuperačních výměníků, tato část je spíše koncepčním popisem trati než návrhem.
- 3) Měření veličin, zde jsou popsány instalované snímače pro měření jednotlivých veličin bez jakéhokoli rozboru nejistot měření.
- 4) Rekuperační box, v této nejobsáhlejší části se autor věnuje návrhu různých variant tohoto boxu, jejich analýze jak pomocí experimentů tak i numerickými simulacemi. V případě numerických simulací se autor stručně věnuje modelům turbulence, přičemž zde není jasné jaký model a proč v simulacích použil. Dále zde také není popsáno, jak autor volil hustotu výpočetní sítě a zda prováděl test na hustotu výpočetní sítě. Rovněž by mne zajímalo, jakým způsobem byl simulován rekuperační výměník.

- 5) Návrh softwarové a elektronické části tratě, zde autor píše, že bylo využito stávajícího softwarového a hardwarového vybavení. Z jakého důvodu je potom tato část vydávána za jeden z hlavních výsledků práce?
- 6) Ověřovací měření a vyhodnocení měření účinnosti DRV, zde autor popisuje srovnání měření účinnosti DRV s dvěma akreditovanými laboratořemi. Přičemž v práci jsou uvedeny výsledky srovnání pouze s jednou z laboratoří a z textu není jasné s kterou. Rovněž zde nejsou uvedeny podmínky za, kterých tato srovnání byla realizovaná.

Závěrem chci konstatovat, že práce se věnuje zajímavému tématu a pečlivější a systematictější zpracování by přispělo k vyšší kvalitě práce. Při obhajobě by měl autor prezentovat v čem spatřuje největší přínos této práce. Práci doporučuji k obhajobě.

V Brně dne 30. 10. 2020



Digitálně podepsal doc. Ing. Jaroslav
Katolický, Ph.D.
Datum: 2020.11.03 14:44:26 +01'00'

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

Oponentský posudek disertační práce doktoranda Ing. Stanislava Sehnálka, vypracované na téma:

„Výzkum aerodynamických parametrů vybraných prvků vzduchotechnických systémů“

Posudek byl zpracován na základě jmenování oponentem děkanem Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně dopisem ze dne 25. 9. 2020, v souladu se Studijním a zkušebním řádem UTB (2017). Práce byla podána ve studijním programu Inženýrská informatika (P3902) v oboru Automatické řízení a informatika (3902V037). Školitelem byl prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

Aktuálnost tématu disertační práce

Předložená disertační práce svým zaměřením souvisí s trendem EU v oblasti energetické účinnosti a zajištěním kvality a efektivnosti provozu vzduchotechniky v budovách. Autor se zaměřuje na měření rekuperačních výměníků, které budou navrhovány a provozovány s ohledem na energetické úspory do většiny vzduchotechnických systémů. Z tohoto hlediska je práce velmi aktuální a v souladu s požadavky Směrnice EPBD III (2018/844/EU).

Splnění cílů stanovených v disertační práci

Doktorand v kapitole 3. popsal obecný cíl: návrh nové rekuperační tratě. V souvislosti s tím, dále uvádí, že řešil způsob měření potřebných veličin jako jsou teplota, vlhkost a průtok vzdušiny. Důraz kladl především na měření průtoku pomocí snímačů diferenčního tlaku a jejich správné zabudování do této trati. Realizoval navržená řešení a ověření komparačním měřením. Zabýval se problematikou proudění vzdušiny v rekuperačním boxu a navrhl nový rekuperační box s lepšími aerodynamickými parametry, což vedlo ke snížení tlakové ztráty celé tratě. Řešené varianty podrobil vizualizaci proudění za pomoci metody PIV a vytvořil numerickou simulaci pro komparaci s měřením.

Předpokládám, že v popisu cílů doktorand uvede dílčí vytčené cíle a jejich splnění bude uvedeno v závěrech. Přesto mohu konstatovat, že cíl: návrh nové rekuperační tratě a související úkoly byly splněny.

Postup řešení problému a výsledky disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda

Doktorand ve své práci vychází ze zpracované literární rešerše současného stavu problematiky o způsobu měření energetických a hydraulických parametrů vzduchotechnických rekuperátorů dle ČSN EN 308 - Heat exchangers – Test procedures for establishing performance of air to air heat recovery components (2009).

Pro řešení použil vhodné vědecké metody, především experimentální, které doplnil numerickou simulací proudění pro porovnání s experimentem.

Přínosem doktoranda, kromě vlastního návrhu trati pro měření rekuperačních výměníků, který je komplexním výstupem disertace, jsou: komparační měření snímačů diferenčního tlaku mezi clonou, multidýzovou komorou a traverzací Prandtlovou trubicí; variantní měření, výpočet a vyhodnocení tlakových ztrát boxu rekuperátoru; numerická simulace rekuperačního boxu; vizualizace a vyhodnocení proudění v rekuperačním boxu; návrh nového rekuperačního boxu na základě vlastních výsledků zkoumání a návrh softwarové a elektronické části měřicí trati.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru

Hlavní přínosy výsledků disertační práce pro vědu a praxi shrnul disertant v kapitole 6. Význam pro praxi má vytvoření měřicí tratě rekuperačních výměníků (srovnatelné se zahraničím), která umožní v Laboratoři techniky prostředí UTB provádění testovacích měření nově navržených a vyrobených rekuperačních výměníků a dále také vlastní autorův návrh inovačního řešení rekuperačního boxu. V oblasti rozvoje vědního oboru považuji za přínos ověření teoretických postupů při řešení návrhu měřicí tratě.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Formální úprava disertační práce odpovídá požadavkům na tento typ závěrečných kvalifikačních prací. Práce je logicky členěna a má velmi dobrou grafickou i jazykovou úroveň. Vytknout se dá pouze horší čitelnost obrázků h-x diagramů na str. 18, 20, 21 a 23 a drobné textové chyby uvedené v následujících připomínkách.

Publikační činnost doktoranda

Doktorand je veden jako akademický výzkumný pracovník v databázi Web of Science, kde z celkových 12 publikačních výstupů je 7 indexováno ve Web of Science, počet citací je 18 a jeho H-index je 3. V databázi Scopus má evidovaných 17 publikací a 30 citací. Ve své disertační práci uvádí celkem 35 publikačních a výzkumných výstupů, zapojení do vědeckých a výzkumných projektů a řadu absolvovaných školení v oboru v ČR i v zahraničí.

Publikační činnost doktoranda mohu hodnotit jako nadprůměrnou.

Připomínky a dotazy k disertační práci

- a) Na str. 14 v rovnici (2.5) nejasný výraz „standardní hustota vzduchu“. Spíše hustota vzduchu za standardních podmínek.
- b) Výpočtové schéma na obr. 2.3 na str. 17 nekoresponduje s tab. 2.2. Θ_{e4} v tabulce chybí, Θ_{e2} jiná teplota, liší se hodnoty V.
- c) Str. 20. h-x diagram na obr. 2.5 a nerovnováha energetické změny rozdílu entalpií a chybí označení pracovních bodů. ($\Delta h_{ODV} = 28,7 - 10,1 = 18,6 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ s.v.}$ a $\Delta h_{PRI} = 11,3 - (-13,0) = 24,3 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ s.v.}$).
- d) V některých částech textu nepoužívá autor správně mezeru mezi číslem a jednotkou (např. str. 28, kap. 4.2.1 u vzduchového průtoku a tlakové ztrátě: ... „při maximální tlakové ztrátě 2kPa“.

Správně: ... „při maximální tlakové ztrátě 2 kPa“, tedy *dva kilopascal* nebo ... „při maximální 2kPa tlakové ztrátě“, tedy *dvoukilopascalové*.

- e) Některé indexy nejsou uvedeny v seznamu zkratk a znesnadňuje to tak porozumění textu, např. „ Θ_s , Θ_m .“ na str. 30 dole.
- f) Nejednotné označování interiéru a exteriéru ve schématech (e, i, ODO, IDO).
- g) Místo pojmu termodrát používat termočlánek (viz str. 37, 48, 49).

Dotazy k obhajobě:

- 1) Prosím o detailnější komentář k výsledkům uvedeným v tabulce 5.4 na str. 64. Z tabulky není zjevné, že se jedná o komparaci k referenčnímu prvnímu řádku (bez DRV) a o jaké kombinace úprav jde (zda poslední dva řádky zahrnují čtvrtou úpravu)?
- 2) Nenašel jsem zmínku o prototypu nebo funkčním vzoru měřící tratě. Uvažujete o tom?

Závěrečné vyjádření

Disertant v předložené disertační práci prokázal velmi dobrou znalost teorie řešené problematiky a schopnost samostatně vědecky pracovat. Bohatá publikační činnost v domácích i zahraničních časopisech a ve sbornících konferencí svědčí o výrazných aktivitách disertanta a průběžném zveřejňování dílčích výsledků zkoumané problematiky. Na základě posouzení předložené práce a z publikačních výstupů disertanta mohu konstatovat, že jeho znalosti ve studijním programu Inženýrská informatika jsou na velmi dobré úrovni.

K práci nemám zásadní kritické výhrady. Připomínky a dotazy uvedené v posudku slouží k objasnění a doplnění dílčích výsledků práce. Předloženou **disertační práci doporučuji k obhajobě**.

Doporučuji, aby po úspěšné obhajobě disertační práce **byl Ing. Stanislavu Sehnálkovi udělen akademický titul „doktor“**, ve zkratce „Ph.D.“

V Brně 25. 10. 2020

(za nouzového stavu Covid-19)



prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Oponentský posudok dizertačnej práce

Doktorand : Ing. Stanislav Sehnálek
Názov dizertačnej práce : Měřicí trat' pro měření energetických a hydraulických parametrů rekuperačních výměníků
Školiteľ : prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

Oponentský posudok predloženej doktorandskej dizertačnej práce (DDP) zaoberajúcou sa návrhom a podrobným hodnotením meracej trate na meranie rekuperačných výmenníkov tepla vzduch-vzduch bol vypracovaný na základe menovania funkciou oponenta dekanom Fakulty aplikovanej informatiky Univerzity Tomáše Bati v Žiline. Rozsah posudzovanej DDP, ktorá má 84 strán textu vrátane kvalitných obrázkov a tabuliek, 3 príloh, 33 literárnych prameňov, 34 publikácií a iných výstupov autora a krátkeho životopisu zodpovedá charakteru doktorandskej práce a zložitosti riešenej problematiky. Práca je logicky a prehľadne členená do siedmych kapitol včítane úvodu a záveru.

1. Aktuálnosť témy dizertačnej práce

Dizertačná práca sa zaoberá problematikou merania rekuperačných výmenníkov tepla (VT) vzduch-vzduch určených na spätné získavanie tepla v komunálnej výstavbe. Na problém znižovania energetickej náročnosti zabezpečenia tepelnej pohody v interiéri nielen zateplením obvodových plášťov budov, ale aj využitím ďalších technických prostriedkov upozorňujú celým radom legislatívnych opatrení v ostatnom čase aj výkonné orgány Európskej únie. Ku znižovaniu spotreby primárnej energie výrazne prispievajú vďaka jasným benefitom (jednoduchá konštrukcia, cena materiálu, spoľahlivosť pri prevádzke) aj rekuperačné výmenníky tepla vzduch-vzduch. Intenzifikácia prenosu tepla a niekedy aj vlhkosti vzduchu si vyžaduje nielen aplikáciu CFD metód pri nových konštrukčných návrhoch výmenníkov tepla, ale aj spoľahlivú validáciu ich parametrov.

V DDP doktorand vykonal podrobnú analýzu súčasného stavu merania energetických a hydraulických parametrov rekuperačných VT, navrhol postup na optimalizáciu geometrie meracieho boxu pre VT, ktorý otestoval na ním navrhnutom experimentálnom zariadení a výsledky meraní porovnal s modelmi prúdenia získaných pomocou CFD metód a pomocou vizualizácie prúdenia v meracom boxe.

Téma DDP je vzhľadom na možnosť komplexnejšieho prístupu k návrhom rekuperačných VT vzduch-vzduch vysoko aktuálna a potrebná.

2. Splnenie cieľov dizertačnej práce

Cieľom tejto práce je návrh novej meracej trate na meranie tepelnej efektívnosti rekuperačných výmenníkov tepla vzduch-vzduch a verifikácia jej parametrov pomocou komparačných meraní. Ďalším cieľom bola aj optimalizácia aerodynamických vlastností rekuperačného boxu z hľadiska zníženia jeho tlakových strát. Navrhnuté konštrukčné úpravy boli posudzované na základe vizualizácie prúdenia pomocou héliových bublín ako aj pomocou numerických simulácií prúdenia v prechodových úsekoch. Na základe komparačných meraní sa dokázala opodstatnenosť konštrukčných úprav vstupov a výstupov z meracieho boxu.

Podľa môjho názoru všetky stanovené ciele dizertačnej práce boli splnené na vysokej odbornej úrovni odpovedajúcej charakteru vedecko-výskumnej práce.

3. Zvolené metódy spracovania a výsledky dizertačnej práce

Doktorand riešil zadanú náročnú tému návrhu a realizácie meracej trate na meranie rekuperačných VT vzduch-vzduch ako nadstavbu kompenzovanej kalorimetrickej komory, ktorá slúžila ako zdroj prúdov vzduchu definovaných parametrov. Konštrukčný návrh meracej trate bol limitovaný požiadavkami príslušných noriem pre meranie a dispozičným priestorom nad kalorimetrickou komorou. Z toho dôvodu musel riešiť ustálenie prúdenia na kratších úsekoch pomocou návrhu i realizácie usmerňovačov prúdenia typu Zanker a étoile a namerať ich stratový koeficient. Meranie hmotnostných prietokov realizoval pomocou meracích cloniek s iteráčnym spôsobom výpočtu hmotnostného toku a priamym určením pomocou výpočtu súčiniteľa expanzie a prietokového súčiniteľa len na pomere rozdielov statických tlakov a statického tlaku pred clonou. Merania prietoku realizoval aj pomocou rýchlostných profilov traverzovaním Prandtlovej sondy v troch osiach do vypočítaných bodov. Meranie teploty sa realizovalo termočlánkami typu T umiestnenými v kruhovom priereze tak, aby merali teplotu príslušného segmentu (3 snímače pred VT a 5 snímačov za VT). Značnú pozornosť doktorand venoval experimentálnemu určeniu tlakových strát boxu na meranie doskových rekuperačných VT, ako aj numerickej simulácii prúdenia pre všetky varianty meraní tlakovej straty. Na validáciu výstupov z CFD použil metódu vizualizácie prúdového poľa v priehľadnom boxe pomocou vysokorýchlostnej kamery a héliových bubliniek. Podrobná experimentálna i numerickej analýza rezultovala do návrhu upraveného rekuperačného boxu, ktorý vykazoval výrazne nižšie tlakové straty ako box pôvodný. V závere práce sa celá navrhnutá meracia trať validovala na základe porovnania výsledkov merania vzorky rekuperačného výmenníka s výsledkami merania akreditovaného laboratória. Predložená práca doktoranda dokazuje jeho systémový prístup k návrhu a realizácii meracej trate na určenie energetických, hydraulických a vlhkosťných parametrov rekuperačných VT vzduch-vzduch. Za veľmi cenné považujem aj kapitoly, v ktorých autor uvádza výsledky numerickej simulácie prúdenia v rekuperačnom boxe po konštrukčných úpravách a aj aplikáciu vizualizačnej metódy na prúdenie v boxe.

4. Prínos pre ďalší rozvoj vedného odboru a pre prax

Prínosom pre vedný odbor je podľa môjho názoru systémový prístup k problematike spoľahlivého merania parametrov rekuperačných výmenníkov tepla vzduch-vzduch. Výsledkom dizertačnej práce je reálne experimentálne zariadenie, na ktorom sa môžu realizovať všetky potrebné merania VT pri ich vývoji a optimalizácii. Za zaujímavý prínos rozvoja vedného odboru považujem aj využitie vizualizácie prúdenia v rekuperačnom boxe, jeho vyhodnotenie a porovnanie s výsledkami numerickej simulácie.

Navrhnutá meracia trať môže byť využitá aj na verifikáciu parametrov nových VT, ktoré sú výsledkom vývoja vo firmách zaoberajúcimi sa VZT zariadeniami.

5. Formálne pripomienky k dizertačnej práci

S.12 ... Je skutočne základným energetickým parametrom účinnosť rekuperátora (v zmysle definície fyzikálnej účinnosti)?

S.13 a iné... Ak sa uvádza zoznam použitých symbolov a skratiek v úvode práce, považujem za zbytočné popisovať použité veličiny znova za vzťahmi.

S.16 ... Je označenie relatívnej vlhkosti na vstupe $p_{11}(\%)$ správne?

S.25 ... Snímače diferenčného tlaku nemenia svoj výkon.

S.65 ... Chýba označenie obrázka 5.25.

Otázky k dizertačnej práci:

- 1) Aký tvar má definícia teplotnej účinnosti výmenníka tepla pri rôznych hmotnostných tokoch teplého a studeného prúdu.?

- 2) V čom spočívajú veľmi veľké úspory ak možno predpovedať súčiniteľ prietoku meracej clony (s.38)?
- 3) Aké iné konštrukčné riešenie Prandtlovej sondy by umožňovalo nasnímať tlakový údaj pri stene potrubia (s.42)?
- 4) Aký vplyv by mal podľa dizertanta na priebeh profilov rýchlosti vzduchu v použitých osiach merania dlhší rovný úsek potrubia za clonou (s. 44)?
- 5) Čo viedlo doktoranda k uprednostneniu merania teplôt pomocou termočlánku typu T pred meraním teplôt odporovými teplomeri?

Celkové zhodnotenie dizertačnej práce a záver:

Predkladanú prácu považujem za prácu na výbornej vedecko-odbornej úrovni, so snahou o nové, komplexnejšie riešenie problematiky spôsobu merania a efektívneho navrhovania meracej trate so špecifickými vlastnosťami pre meranie rekuperačných VT vzduch-vzduch.

Doktorand vo svojej práci vykonal celý rad systematicky pripravených, pre teóriu i technickú prax užitočných analýz, hlavne v oblasti prípravy algoritmov výpočtu hmotnostného prietoku na meracej clone, pri analýze prúdových polí v rekuperačnom boxe a pri validácii výsledkov numerických simulácií na zaklade meraní.

Metódy použité v riešení témy dizertačnej práce považujem za originálne zodpovedajúce požiadavkám na vedeckú prácu.


Z obsahu a formy predloženej dizertačnej práce, ktorá je na veľmi dobrej odbornej i grafickej úrovni, môžem konštatovať, že **Ing. Stanislav Sehnálek** má hlboké teoretické vedomosti aj výrazné programátorské skúsenosti v oblasti matematického modelovania prúdenia vo VZT prvkoch a je schopný riešiť komplexné vedecké problémy včítane realizácie experimentu. Preukázal ovládanie vedeckej práce ako aj predpoklady na tvorivú samostatnú vedecko-technickú činnosť.

Predloženú dizertačnú prácu Ing. Stanislava Sehnálka odporúčam na obhajobu a po jej úspešnej obhajobe odporúčam, aby Ing. Stanislavovi Sehnálkovi bola udelená vedecká hodnosť

„ philosophiae doctor - PhD.“

v študijnom programe Inžinierska informatika (P3902) v študijnom odbore Automatické riadenie a informatika (3902V037).

V Žiline, 22. 10. 2020


prof. RNDr. Milan Malcho, CSc.