
Oponentský posudek disertační práce doktoranda Ing. Jana Skovajsy, vypracované na téma:

„Integrace materiálů s fázovou změnou do systémů stropního chlazení a větrání“

Posudek byl zpracován na základě jmenování oponentem děkanem Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně dopisem ze dne 18. 10. 2022. Práce byla podána ve studijním programu Inženýrská informatika (P3902) v oboru Automatické řízení a informatika (3902V037).

Školitelem byla prof. Ing. Dagmar Janáčková, CSc. a konzultantem Ing. Martin Zálešák, CSc.

Aktuálnost tématu disertační práce

Předložená disertační práce je zaměřená na integraci materiálů s fázovou změnou do systému stropního chlazení a větrání. Zkoumá vliv na tepelnou stabilitu v letním a přechodném období a zajištění vyšší úrovně tepelného komfortu. Toto téma přispívá k řešení snižování energetické náročnosti a naplňování cílů v oblasti životního prostředí. Téma disertační práce považuji za velmi aktuální.

Dosažení cíle stanoveného v disertaci

Doktorand si ve své práci stanovil několik dílčích cílů, které vyjadřují logický postup v řešení problematiky. Návrh a realizace jednotlivých prvků a komplexního systému stropního chlazení s akumulací energie. Příprava metodik laboratorních zkoušek. Provedení zkoušek a stanovení skutečných provozních parametrů. Příprava a parametrizace komplexních simulačních modelů. Stanovení vlivu aplikace systému na tepelný komfort a spotřebu energií v budovy. Disertant v kapitole 5. disertační práce prezentoval hlavní výsledky své výzkumné činnosti, na jejichž základě lze konstatovat, že všechny vytčené dílčí cíle byly splněny.

Vhodnost použitých metod a postupu řešení

Doktorand ve své práci vychází ze zpracované literární rešerše, která zahrnuje současný stav řešené problematiky v oblasti spotřeby energie v budovách, tepelné stability budov, akumulace tepla/chladu, materiálů s fázovou změnou vhodných pro akumulaci a jejich aplikování v oblasti chlazení.

Pro řešení použil vhodné teoretické a experimentální metody. Využil vybavení a možnosti experimentálního měření v laboratoři techniky prostředí výzkumného centra CEBIA-Tech FAI UTB ve Zlíně. Zvolil dostupný prvek s vhodnými materiály PCM pro návrh prototypu stropního chlazení.

Připravil metodické postupy pro dílčí měření parametrů systému s vlastním prototypem. Využil simulační software Ansys (SpaceClaim a Fluent) a TRNSYS pro návrh 3D modelů chladicích stropních boxů a provedení dynamických simulací.

Zvolené metody a postupy považuji za vhodné pro řešení zkoumané problematiky.

Teoretický a praktický přínos disertační práce

Hlavní přínosy výsledků disertační práce pro vědu a praxi shrnul disertant v kapitole 6. Jedná se hlavně o teoretické i experimentální řešení unikátního prvku chladicího stropu, u kterého je možné v aktivním režimu kromě externího chlazení a ohřevu teplotnosným médiem využít i kombinaci s nuceným prouděním vzduchu integrovaného větracího systému a ovlivňovat energetické chování vhodného komponentu s materiálem PCM. K rozvoji vědy přispějí také výsledky simulace komplexního systému, které přináší významné informace o chování budovy a prostředí. Praktický význam vychází z realizace systému a jeho ověření v laboratorním provozu.

Úroveň znalostí doktoranda v daném oboru

Doktorand prokázal velmi dobrou znalost teoretického řešení problematiky a schopnost propojení vhodných simulačních a experimentálních úloh. Bohatá publikační činnost doložená 52 výstupy uvedenými v seznamu publikací autora v závěru disertační práce, která zahrnuje články v domácích i zahraničních periodikách, konferenčních sbornících a výzkumných zprávách 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 oboru Inženýrská informatika jsou velmi dobré úrovní.

Formální úroveň disertační práce

Práce je členěna dle požadavku na závěrečné kvalifikační vědecké práce a obsahuje všechny předepsané části. Text v kapitolách je má logickou strukturu a práce má velmi dobrou grafickou úroveň.

Mám výhrady k některým odborným výrazům použitým v disertaci. Jedná se především o použití slova energie v množném čísle (zejména v rešeršní část) a spojení slov výroba energie (str. 15), která odporuje zákonu o zachování energie, který říká, že energii nelze vyrobit ani zničit, ale pouze přeměnit na jiný druh energie. Dále jsou to např. teplá užitková voda (str. 19) – nově teplá voda, termovize (str. 81) – raději termografie, a několik překlepů v textu (v symbolech uveden dvakrát teplotní rozdíl, dolní index u CO₂, apod).

Připomínky a dotazy k výsledkům disertační práce

- a) Na str. 12 pod obr. 2.1 je uvedena tzv. intenzita spotřeby energie vztažená na čtvereční metr podlahové plochy. V ČR je definovaná tzv. energeticky vztažená plocha budovy a energie vztažená na metr čtvereční energeticky vztažené plochy. Viz Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov.
- b) Chybí zdroj informací a oblast platnosti (ČR, EU, svět?) pro procentní změny uvedené v textu v posledním odstavci na straně 12. Obdobně není u obr. 2.2 na straně 13 uvedeno, zda se jedná o přehled spotřeby energie v budovách dle využití v ČR nebo EU či na celém světě.
- c) V kapitole 2.2 Tepelná stabilita budov na str. 16 ve třetím odstavci je uvedeno, že se navrhování a ověřování splnění požadavku provádí podle norem a bez započtení vnitřních

tepelných zisků. Jaký je váš názor na teoretický výpočet a provoz systému chlazení a chování budovy s reálnými tepelnými zisky?

- d) U rovnice (2.7) na str. 20 chybí popis veličin Δh a T_{pc} .
- e) V kapitole 5. uvádíte, že během zkoušek bylo třeba zajistit, aby nejnižší povrchové teploty chladicích stropů a teplovodního potrubí byly vyšší, než je teplota rosného bodu okolního vzduchu. Uvádíte, že v průběhu zkoušek byl rosný bod udržován pod 10 °C. Jaké jsou doporučené okrajové podmínky pro teplotu a vlhkost v interiéru pro provozní stavy s ohledem na teplotu rosného bodu na povrchu stropního prvku?

Dotaz k obhajobě:

- 1) Řízení provozu systému využívajícího kombinovaný stropní prvek bude vyžadovat řadu informací pro zvolení správného nastavení. Uvažoval jste o zpracování metodiky v této oblasti?

Závěrečné vyjádření

Doktorand v předložené disertační práci prokázal schopnost samostatně vědecky řešit téma disertační práce vhodnými metodami a jasně formulovat výsledky a výstupy své výzkumné aktivity. K práci nemám zásadní kritické výhrady. 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. Janu Skovajsovi udělen akademický titul „doktor“, ve zkratce „Ph.D.“

V Brně 12. 11. 2022

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Posudek na dizertační práci ing. Jan Skovajsy s názvem: Integrace materiálů s fázovou změnou do systému stropního chlazení a větrání.

Shrnutí a popis obsahu dizertační práce:

Práce má celkem sedm kapitol včetně Závěru, doplněných na začátku o Seznam obrázků, Seznam tabulek a Seznam použitých symbolů a zkratk, na konci pak o Seznam použité literatury, Seznam publikací autora a Životopis.

Ve stručném Úvodu je shrnuto členění dizertace na jednotlivé části, a čemu se věnují. Kapitola 2 je věnována shrnutí současného stavu poznání a je přehledně členěna do pěti podkapitol, které se věnují zejména problematice tepelné stability budov s důrazem na akumulaci tepla. Je zde popis materiálů s fázovou změnou PCM, stručný popis různých typů a aplikace PCM do aktivních a pasivních systémů. V kapitole 3 jsou uvedeny cíle dizertace.

Dvě stěžejní kapitoly jsou kapitola 4 a 5.

V kapitole 4 je velmi detailní popis laboratoře, v které bude realizován výzkum stropních trámčů s PCM panely. Dále je zde podrobný popis technického řešení prototypu stropních boxů, jejich parametry a realizace, včetně přípravy laboratorního zázemí. V další části této kapitoly, která je zásadní pro pochopení výsledků měření, se autor věnuje popisu metodiky měření při různých režimech ustáleného aktivního a pasivního chlazení a ohřevu a v režimu náběhu a doběhu systému. V poslední části 4. 6. této kapitoly je popis simulací pomocí softwaru Trnsys a Ansys. Trnsys byl nejprve použit pro simulaci experimentu a následně pak pro simulaci čtyř rozdílných prostorů, tj. obývací místnost v RD ve třech variantách stavební konstrukce a pro velkoplošnou kancelář.

V kapitole 5 jsou výsledky měření, a to postupně akumulační kapacity, dynamického chování systému a celkových výkonových parametrů systému. V části 5.4 jsou dokumentovány výsledky pomocí měření termokamerou a v části 5.5 jsou pak prezentovány výsledky ze simulačního nástroje Trnsys.

V kapitole 6 je shrnut přínos práce pro vědu a praxi.

Připomínky a dotazy:

1. Str. 40 – ve vztahu 4.1 je uváděn charakteristický rozměr pro vodorovnou vyhřívanou desku. Jak se pro takovou geometrii určuje charakteristický rozměr?
2. Str. 41 – jakým způsobem vznikl vztah 4.2? A co to je emisní konstanta C_0 v tomto vztahu a jak souvisí se Stefan Boltzmannovou konstantou? V seznamu označení pod vztahem 4.2 je asi omylem uvedeno h_T místo h_R
3. Str. 42 – vztah 4.6 je uváděn pro rovinnou konfiguraci, ale součinitel přestupu tepla na straně vody je pro kruhovou trubku. Je to tak správné anebo má mít vztah 4.6 jiný tvar? Prosím uvést u obhajoby přesně schéma geometrie, aby bylo možné posoudit skladbu vrstev.
4. Str. 43 a 44 – prosím uvést u obhajoby názornější schéma detailu řezu PCM panelem a stropním boxem.
5. Str. 47, kap. 4.5.1 – v části *Příprava vzorků* – o jaké všechny povrchy se jedná při jejich tepelné izolaci a co všechno tepelný odpor R obsahuje?
6. Str. 48 – část *Chlazení, vybíjení*: jak se zjistí, zda dochází k hysterezi?
7. Str. 49 – část *Příprava vzorků*: jakým způsobem bylo zjišťováno, zda existuje rovnoměrné proudění vzduchu kolem vzorků a nedocházelo k jejich vzájemnému ovlivňování?

8. Str. 57 – V části o simulacích je uvedeno, že byl použit i simulační software Ansys Fluent. K jakým účelům byl použit Fluent? Z dizertace to není zřejmé.


Vyjádření k dizertační práci:

1. Práce je velmi aktuální, řeší závažné téma tvorby tepelné pohody v obytných místnostech s důrazem na ekonomický provoz současně s dosažením kvalitní tepelné pohody.
2. Cíle stanovené v dizertační práci byly splněny. Práce má výrazné aplikační zaměření s důrazem na vlastní sestavu měřených objektů a jejich systematické proměření a vyhodnocení.
3. Postup řešení a výsledky dizertační práce vykazují významný přínos doktoranda. Prokázal dobrou experimentální přípravu a schopnost kombinovat základní poučky v inženýrském přístupu k přestupu tepla a jejich implementaci při návrhu testovaných systémů.
4. Práce má význam pro bezprostřední praxi při návrhu radiačních stropních panelů s PCM.
5. Formální úprava je velmi dobrá, s minimem překlepů a formálních chyb.
6. Publikační činnost s ohledem na praktické zaměření dizertace je zcela dostatečná a odpovídá požadavkům.

Dizertační práci doporučuji k obhajobě.

V Brně dne 14.11.2022

Prof. Ing. Miroslav Jícha, CSc
Odbor termomechaniky a techniky prostředí
Energetický ústav
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně
Technická 2896/2
61669 Brno
Email: jicha@fme.vutbr.cz

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně	
	
u t b z e s 8 3 2 1 6 d 4 d	
Doručeno dne:	21 -11- 2022
ČJ:	4TB/22/024227
Počet listů:	1 lis./sv. příloh:
Druh příloh:	

Posudok dizertačnej práce

Doktorand:	Ing. Jan Skovajsa
Téma dizertačnej práce:	Optimalizace spotřeby energie systémů techniky prostředí s obnovitelnými zdroji energie
Názov dizertačnej práce:	Integrace materiálů s fázovou změnou do systémů stropního chlazení a větrání
Študijný odbor:	Automatické řízení a automatika (P3902)
Školiace pracovisko:	Fakulta aplikované informatiky
Školiteľ:	prof. Ing. Dagmar Janáčová, CSc.
Konzultant:	Ing. Martin Zálešák, CSc.

Oponentský posudok predloženej doktorandskej dizertačnej práce (DDP) zaoberajúcou sa problematikou prenosu a akumulácie tepla v systémoch stropného chladenia a vetrania bol vypracovaný na základe menovania funkciou oponenta dekanom Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíne. Rozsah posudzovanej DDP, ktorá má 122 strán textu vrátane príloh, obrázkov, tabuliek a 78 literárnych prameňov zodpovedá charakteru dizertačnej práce a zložitosti riešenej problematiky. Práca je logicky a prehľadne členená do siedmich kapítol, včítane úvodu, záveru a samostatnej časti pre použitú literatúru, publikácie autora a životopis.

1. Aktuálnosť témy dizertačnej práce

Doktorand sa vo svojej práci venuje efektívnemu využitiu energií pri zabezpečovaní tepelnej pohody v interiéri budov rôznych stavebných konštrukcií pomocou akumulácie tepla a chladu do moderných tepelno-akumulačných materiálov a konštrukčných prvkov. Hlavné stavebné konštrukcie z ľahkých materiálov narážajú na problém tepelnej stability a dodržiavanie prípustných hodnôt operatívnych teplôt v letnom období. Tento problém, ako aj problém racionálnejšej spotreby energie v iných typoch budov, je možné riešiť práve akumuláciou tepla a chladu. Doktorand sa zameriava na rôzne princípy akumuláciu tepla a chladu reálne využiteľné v technike prostredia. Podrobnejšie popisuje akumulačné materiály s fázovou zmenou v rozsahu teplôt 10 °C - 60 °C a analyzuje možné aplikácie v pasívnych a aktívnych systémoch chladiacich stropov, poprípade zakomponovanie týchto materiálov s fázovou premenou (PCM) do stavebných materiálov. Navrhnuté riešenia sú realizované, podrobne experimentálne verifikované a slúžia aj na validáciu simulačných modelov na hodnotenie parametrov interiéru a spotreby energie.

Vzhľadom na možnosť prakticky prispieť k riešeniu kardinálneho problému energetiky Európskej únie, t.j. akumulácie energie v oblasti masívneho využívania tepla a chladu pre zabezpečenie tepelnej pohody, považujem posudzovanú DDP za aktuálnu a potrebnú.

2. Splnenie cieľov dizertačnej práce

Ciele DDP uvedené v krátkej samostatnej tretej kapitole a sú logicky štruktúrované. Doktorand má vo svojej práci zadané logické a experimentálne náročné ciele vzhľadom na rozsah a nóvum sledovanej problematiky využitia akumulovaného tepla v systémoch stropného ohrevu a chladenia v oblasti zabezpečenia tepelnej pohody interiéru pri výkyvoch externej teploty.

Cieľ dizertačnej práce všeobecne formulovaný aj v jej názve a jeho dosiahnutie bolo podmienené splnením čiastočných cieľov pri návrhu a realizácii prvkov systému stropného chladenia a akumulácie energie, pri príprave a realizácii laboratórných meraní a pri parametrizácii simulačných modelov chovania sa navrhnutých systémov v reálnych podmienkach rôznych typov budov.

V DDP sú uvedené výsledky a vyhodnotenia celého radu časovo náročných experimentov a meraní v univerzálnej kompenzovanej kalorimetrickej komore. Z výsledkov uvedených v dizertačnej práci vyplýva, že sa podarilo z experimentálne určených závislostí a numerických simulácií získať veľmi užitočné poznatky pre aplikáciu navrhnutých stropných systémov s akumuláciou tepla a chladu v praxi.

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

3. Postup riešenia problému a výsledky dizertačnej práce

Výskum prenosu tepla v stropných systémoch s akumuláciou tepla na báze PCM ako netriviálneho transportu tepla a hmoty je široký fyzikálny problém. Táto problematika doktorandskej práce bola spracovaná kombináciou viacerých metód vedecko-výskumnej práce. V teoretickej časti práce je uskutočnená solídna analýza spotreby energií v oblasti budov a ich tepelnej stability. Autor sa podrobne venuje aj vlastnostiam materiálov s fázovou zmenou a ich aplikáciám v oblastiach pasívnych a aktívnych systémov chladenia

Podstatnou časťou dizertačnej práce bol experiment, takže bolo potrebné zvládnuť aj náročné experimentálne činnosti v kompenzovanej kalorimetrickej komore pri meraní termokinetických parametrov potrebných na kvantifikovanie vlastností stropných systémov s akumuláciou tepla a chladu. Predložená práca doktoranda dokazuje jeho systémový prístup k experimentálnemu i numerickému modelovaniu zložitých procesov prenosu tepla a hmoty v zariadeniach využívajúcich špecifické vlastnosti látok s fázovou premenou pri vhodných teplotách a k ich využitiu pre potreby zabezpečenia tepelnej pohody so snahou o znižovanie energetického zaťaženia životného prostredia pomocou akumulácie tepla.

Zvolené metódy spracovania dizertačnej práce považujem za správne a výsledky, ktoré doktorand získal, za užitočné pre prax i ďalšie vedecké analýzy a optimalizácie stropných systémov s akumuláciou tepla do PCM materiálov.

4. Prínos pre rozvoj vedného odboru a pre prax

Prínosom pre vedný odbor je podľa môjho názoru rozsiahly súbor experimentálnych výsledkov získaných na prototypoch stropných boxov s akumuláciou tepla v PCM materiáli a vytvorenie komplexných simulačných modelov aplikovateľných na reálne priestory. Použitie kompenzovanej kalorimetrickej komory ako jedinečného experimentálneho zariadenia umožnilo stanovenie akumulačných kapacít a dynamických vlastností stropných boxov, ako aj meranie ich výkonových parametrov. Získané dáta sú využiteľné aj na overenie simulačných modelov parametrov prostredia v rôznych typoch budov.

Za významný prínos pre prax považujem aj vytvorenie simulačného modelu ako analytického nástroja slúžiaceho na predikciu teplotných priebehov a potreby tepla v rôznych konfiguráciách stavebných konštrukcií.

5. Formálna úprava dizertačnej práce

Dizertačná práca obsahuje všetky požadované náležitosti stanovené vnútornou legislatívou Univerzity Tomáše Bati ve Zlíne. Je napísaná starostlivo, našiel som len niekoľko drobných chýb, jazykovú stránku nemôžem zodpovedne posúdiť.

Formálne pripomienky:

S.21 ... Možno by bolo vhodnejšie použiť v popise veličín vo vzťahu (2.2) indexy i ($A \rightarrow A_i$ a pod.)

S.36 ... Nemá byť v *Tab. 4.1 Tepelné a fyzické parametry PCM Energain* pri parametri *Plošná hmotnosť* uvedená aj hrúbka materiálu?

S.49 ... Namiesto *vodní okru* zrejme *vodní okruh*.

S.52 ... Pod *záťažovými figúrami* sa zrejme myslia valcové zdroje tepla s podžeravými žiarovkami.

6. Publikačná činnosť doktoranda

Doktorand predložil celkom bohatý zoznam svojej publikačnej činnosti, či v odborných periodikách alebo zborníkoch. Participoval aj na desiatkach výskumných správ z odboru Technika prostredia pri riešení projektov a zmluvného výskumu. Publikačná činnosť úzko súvisí s odborným zameraním doktoranda.

Otázky k dizertačnej práci:

- 1) Aký má doktorand názor na pieskové zásobníky tepla?
- 2) Aké aditíva sa používajú na zvýšenie tepelnej vodivosti puzdier na PCM?
- 3) Ako vychádzajú porovnania použitia TES bez PCM s modelmi TES s PCM v reálnych aplikáciách?
- 4) Ako vplyva vlhkosť vzduchu na prevádzkovanie chladiacich stropov na báze PCM?
- 5) Ako vychádza porovnanie časovej konštanty τ určenej podľa vzťahu (4.7) s časovou konštantou reálneho boxu?
- 6) Eliminoval sa vplyv tepelnej izolácie (pridanej hmotnosti) všetkých povrchov boxu pri meraní akumulácie kapacity stropných boxov?
- 7) Ako rýchlo prebiehali zmeny teplôt v komore pri prechode z pasívneho ohrevu na pasívne chladenie ?
- 8) Aká je neistota merania tepelného výkonu stropného boxu pri rozdielnej vstupnej a výstupnej teplote 2 K? Použili sa spárované snímače teploty?

Záverečné hodnotenie práce

Celkovo hodnotím predloženú doktorandskú dizertačnú prácu ako veľmi kvalitnú prácu so snahou o nové komplexnejšie riešenie problematiky návrhov stropných systémov chladenia so špecifickými vlastnosťami a s možnosťou racionálnejšieho využitia tepla a chladu vo vetracích systémoch budov.

Predloženú dizertačnú prácu Ing. Jana Skovajsa odporúčam na obhajobu a po jej úspešnej obhajobe odporúčam, aby Ing. Janovi Skovajsovi bola udelená vedecká hodnosť „philosophiae doctor – Ph.D.“.

V Žiline, 15. 11. 2022

prof. RNDr. Milan Malcho, CSc.