

## Oponentský posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Martin Kolářček  
Název práce : Využití tepelně akumulčních materiálů typu PCM ve specifických aplikacích oboru techniky prostředí  
Studijní program: Inženýrská informatika  
Studijní obor: Automatické řízení a informatika  
Školící pracoviště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky  
Školitel: prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
Konzultant: Ing. Martin Zálešák, CSc.

Oponentský posudek jsem zpracoval na základě požadavku děkana doc. Mgr. Milana Adámka, Ph.D. Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, ze dne 19. 7. 2018.

Předložená disertační práce obsahuje 95 stran textu, obrázků, tabulek a příloh. Věnuje se uplatnění tepelně akumulčních materiálů v oboru techniky prostředí se zaměřením na efektivitu akumulčního procesu a využití těchto materiálů při úpravě vnitřního klimatu budov.

### *1. Dosázení v disertaci stanoveného cíle*

Cíle disertační práce jsou stanoveny v kapitole 2. Jednotlivé body jsou formulovány stručně a zahrnují jak obecnější otázky využití vlastností tepelně akumulčních materiálů (PCMs – Phase Change Materials) v technice prostředí, tak aplikaci těchto materiálů v technickém zařízení pro ohřev a chlazení.

Autor k splnění cílů využil metod experimentálního výzkumu, které charakterizuje v kapitole 3. Na základě analýzy procesu akumulace, vlastností využívaných tepelně akumulčních materiálů i rozбором poměrně rozsáhlého souboru literárních zdrojů vyjádřil v závěrečném odstavci kapitoly 3 možnosti aplikací v technice prostředí.

Na základě výsledků experimentálního výzkumu v kapitole 4 mohu konstatovat, že stanovené cíle práce byly splněny.

### *2. Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky*

Zhodnocení současného stavu řešené problematiky je v kapitole 1. Jedná se o problematiku vlastností tepelně akumulčních materiálů, využití těchto materiálů do transparentních prvků budov i aktivní aplikace do prvků vytápění a chlazení budov. Soubor citované literatury (54 citací) je poměrně rozsáhlý a zahrnuje převážně aktuální zahraniční zdroje z období let 2005 až 2018 a také zdroje domácí. Sám doktorand (jako autor nebo spoluautor) v dané oblasti intenzivně publikoval (17 publikací).

### *3. Teoretický a praktický přínos disertační práce*

Práce je orientována na experimentální výzkum. I když přínosy práce jsou tedy převážně praktické, autor prokázal při přípravě a vyhodnocení experimentů oprávněný teoretický přístup. Přínosem práce je vyhodnocení součinitele přestupu tepla u přirozené i nucené konvekce na povrchu desky PCM a diferenční termická analýza sledovaného a referenčního vzorku. Praktickým přínosem (i pro výrobce) je experimentální testování transparentního

prvku s PCM. Využití chladicích stropů s PCM při absorbování tepelné zátěže umožňuje zefektivnit provoz chladicích zařízení.

#### 4. *Vhodnost použitých metod řešení*

K řešení cílů jsou použity převážně experimentální metody. Doktorand využil, upravil a rozšířil experimentální zařízení laboratoře oboru integrovaných systémů budov. Tato zařízení popsaná v disertační práci ukazují na velmi dobrou experimentální techniku a přístrojové vybavení použité při experimentech. Doktorand zde navázal na svoji diplomovou práci a využil jak jednorázová, tak časově závislá měření.

#### 5. *Znalosti doktoranda v daném oboru*

Doktorand prokázal v předložené disertační práci dobré znalosti a přehled v problematice vlastností a využití materiálů PCM. Z výsledků experimentálních prací vyplývá, že velmi dobře zvládl i provádění a vyhodnocení tepelně technických a aerodynamických měření.

#### 6. *Formální úroveň práce*

K formální úrovni práce mám některé připomínky. Práci by prospělo logičtější členění, které by jasně formulovalo závěry jednotlivých kapitol ve vztahu k stanoveným cílům. Rovněž se v práci vyskytují textové přepisy a chyby. Doporučuji, aby doktorand při publikování výsledků disertační práce věnoval této stránce práce pozornost. Věcnou hodnotu práce to však nesnižuje.

Některé připomínky, dotazy:

1. I když disertace navazuje na experimenty v citované diplomové práci doktoranda, považoval bych za účelné pro experimenty, které v disertaci navazují na diplomovou práci, uvést schéma experimentálního zařízení. To platí i pro experimenty při aplikaci PCM do chladicích stropů.
2. Matematický popis numerického modelu PCM na str. 25 je příliš stručný a neuvádí ani možné cíle využití modelu.
3. Z grafu teplotních cyklů na obr. 19 není zřejmá doba trvání testů dle tab. 4.
4. V odst. 4.3 na str.43 jsou uváděny výsledky součinitele přestupu tepla na povrchu termálního panelu. I když je zde odkaz na diplomovou práci, pro účel disertace by oba povrchy – původní a upravený měly být popsány.
5. Proč v práci není uveden postup stanovení časové konstanty a součinitele přestupu tepla v tab. 7.
6. Čím je dán (ovlivněn) rozdíl v hodnotách součinitele přestupu tepla povrchů o různé emisivitě (str. 51, druhý odstavec)?
7. Str. 67, 6. ř. zdola: Jak byla matematicky stanovena celková dodaná energie ?

#### *Závěr*

Doktorand v předložené disertační práci prokázal potřebné znalosti a schopnosti k vědecké práci. Práci doporučuji k obhajobě. Doporučuji, aby v případě úspěšné obhajoby práce byl udělen Ing. Martinu Koláčkovi akademický titul „doktor“, ve zkratce „Ph.D.“



V Praze 30. 7. 2018

prof. Ing. František Drkal, CSc.

---

Oponentský posudek disertační práce doktoranda Ing. Martina Kolářka, vypracované na téma:

## **„Využití tepelně akumulčních materiálů typu PCM ve specifických aplikacích oboru techniky prostředí.“**

Posudek byl zpracován na základě jmenování oponentem děkanem Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně dopisem ze dne 19. 7. 2018. Práce byla podána ve studijním programu Inženýrská informatika v oboru Automatické řízení a informatika.

### Aktuálnost tématu disertační práce

Předložená disertační práce je zaměřena na výzkum chování materiálů s fázovou změnou (PCMs) ve stavebních konstrukcích v souvislosti s ovlivňováním tepelného stavu vnitřního prostředí budov. Práce je ve svých detailech originální a dosažené výsledky mohou být využity pro další vývoj stavebních prvků s integrovanými PCMs v kombinaci s dalšími systémy v budovách, které mohou zefektivnit výsledný účinek na zajištění tepelné pohody vnitřního prostředí. Aktuálnost řešené problematiky je podtržena příspěvkem k zajištění přijatelného teplotního stavu v obytných a pracovních prostorách zejména v teplém období bez instalace klasického chladicího zařízení.

### Dosažení cíle stanoveného v disertaci

Doktorand si v práci stanovil cíl: prohloubit a rozšířit teorii a využívání PCMs ve stavbách a systémech budov zejména experimentálním výzkumem.

Dílčí úkoly specifikované v kapitole 2 byly zaměřeny na definování základních tepelně technických parametrů PCMs při přenosu tepla z materiálu do okolního prostředí, úpravu stávajícího zařízení využívajícího PCM s cílem zefektivnit tepelně akumulční proces, využití nucené konvekce pro zvýšení přenosu tepla na povrchu PCM, ověření tepelně technických vlastností PCM při aktivním působení tepla a chladu a návrh a realizace zařízení využívajícího aktivní ovlivnění chování PCM.

Lze konstatovat, že všechny vytčené dílčí cíle byly splněny.

### Vhodnost použitých metod a postupu řešení

Doktorand ve své práci vychází ze zpracované literární rešerše dané problematiky odrážející světový stav poznání v dané oblasti. Pro řešení použil vhodné teoretické a zejména experimentální metody, které dále rozvíjel. Doktorand při výzkumu chování specifického transparentního prvku i akumulční desky s PCMs a při řešení vybraných experimentů zaměřených na zkoumání procesu krystalizace, teplotních cyklů různých časových úseků, akumulace energie v PCMs ve formě chladu, přenosu tepla z tepelně akumulčních materiálů do okolního prostředí, experimentálního využití nucené konvekce k



zvýšení přestupu tepla z desky s PCMs do okolí, chladnutí termálního panelu, chladnutí tepelně akumulací desky Dupont Energain, obráceného procesu chladnutí (ohřev) PCM desky Dupont Energain, diferenční termické analýzy PCM, funkčního vzorku chladicího stropu (využití aktivní aplikace PCMs) postupoval logicky a metodicky.

#### Teoretický a praktický přínos disertační práce

Hlavními přínosy výsledků disertační práce pro vědu a praxi jsou výstupy uvedené v kapitole 4, kde jsou prezentovány průběhy a závislosti sledovaných parametrů na různých předem definovaných okrajových podmínkách. Významná je také část testování funkčního vzorku panelu chladicího stropu v laboratoři, metodika měření a testování a jejich úpravy.

Praktické využití výsledků spatřuji v uplatnění konstrukcí a systémů s PCMs ve stavebnictví při zajišťování tepelné pohody vnitřního prostředí zejména v teplém období roku.

#### Úroveň znalostí doktoranda v daném oboru

Doktorand prokázal velmi dobrou znalost teorie řešené problematiky i zkušenosti při provádění experimentů. 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 oboru Inženýrská informatika jsou na velmi dobré úrovni.

#### Formální úroveň disertační práce

Práce je logicky členěna a má velmi dobrou grafickou úroveň.

V textu jsou překlepy a některé méně jasné formulace: např. vysoké požadavky nízkoenergetických staveb (str. 8), vychází z požadavků přílišných norem (str. 16), styk kapaliny nebo plynu s povrchem pevné stěny způsobuje přenos energie prouděním (str. 21), množství entalpie (str. 22), schopnost PCM eliminovat špičkové zatížení budov (str. 30), 4180 s tedy téměř 70 minut (str. 52), apod.

#### Přípomínky a dotazy k výsledkům disertační práce

- a) U snímače tepelného toku FQA018C (str. 14) není uveden měřící rozsah.
- b) Chybný vzorec (3.2) na str. 18 a popis změny entalpie v legendě.
- c) Stejně označení entalpie a součinitele přestupu tepla –  $h$  (str. 20, vzorec 3.6)
- d) Hodnoty času v grafech na obrázcích 43 a 44 jsou v podivném kroku 37 minut a 28 až 29 sekund?
- e) Chybí podrobnější popis simulace proudění vzduchu v kapitole 4.3.1?
- f) Nejsou uvedeny nastavené tolerance konstantních teplot v KK?

Dotazy k obhajobě:

- 1) Byl při měření vnitřního prostředí (např. obr. 43) porovnán průběh teploty vzduchu a teploty kulového teploměru? Jsou odlišné?
- 2) Jaké byly okrajové podmínky simulace proudění vzduchu uvedené v kapitole 4.3.1? Jaký byl průběh teploty vzduchu u povrchu panelu?

### Závěrečné vyjádření

Disertant v předložené disertační práci prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat. 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. Martinovi Koláčkovi udělen akademický titul „doktor“, ve zkratce „Ph.D.“

V Brně 21. 8. 2018



prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Logo instituce **Centrum stavebního inženýrství, a.s.**  
Pražská 16  
102 00 Praha 10,

## **OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Název disertační práce:**

*Využití tepelně akumulčních materiálů typu PCM ve specifických aplikacích oboru techniky prostředí*

Autor: **Ing Martin Koláček**  
Oponent: **Ing. Petr Kučera, CSc,**  
**technický ředitel CSI, a.s.**  
**předseda Svazu zkušeben pro výstavbu,**  
**vícepresident Eurolab CZ**

### **Téma práce, jeho aktuálnost a přínos v oblasti poznání**

Téma práce považuji za aktuální, neboť problém přehřívání budov v letním období, kterému se až dosud nevěnovala zvláštní pozornost, vyvolává potíže nejen z hlediska pohody prostředí, ale i z hlediska ohrožení zdraví. Proto navrhované řešení je důležitým příspěvkem k řešení tohoto problému. Významným přínosem v oblasti poznání jsou výsledky testování specifických vlastností akumulčních materiálů. Patří k němu i vypracování metodiky měření chladících prvků a úprava laboratoře pro jejich testování.

### **Definované cíle a jejich splnění**

- a) definování základních tepelně technických parametrů PCMs z hlediska přenosu tepla z materiálu do okolního prostředí,
- b) úprava současného zařízení využívajícího PCMs cílem dosažení efektivnějšího tepelně akumulčního procesu,
- c) využití nucené konvekce ke zvětšení intenzity přenosu tepla z povrchu PCM,
- d) ověření tepelně technických vlastností PCM v aktivní aplikaci ohřevu a chlazení
- e) návrh a realizace zařízení využívající aktivní aplikací PCM.

### **Splnění cílů**

Ad a) Popis vlastností materiálů PCMs je v části 3.7 a 3.8 DP, který je doplněn v části 3.9 popisem využitých tepelně akumulčních materiálů PCMs a částí 3.10, ve které je uvedena aplikace uvedených materiálů v technice prostředí

Ad b) Tato část je popsána v kap. 4 včetně výsledků měření transparentních prvků využívajících PCMs.

Ad c) Při řešení problému nucené konvekce ke zvýšení přestupu tepla z PCMs do okolí zjišťuje disertant, že důležitým prvkem pro ochlazování povrchu materiálů je difuzní prvek, který umožňuje vhodné rozložení proudu vzduchu po celém povrchu daného systému. Na základě simulačního modelu disertant odvodil vhodné vlastnosti difuzního prvku, který byl i následně vyrobený.

Ad d) Ověření tepelně technických vlastností PCM bylo provedeno při zjišťování výkonu chladícího stropu s použitím a bez použití PCMs. Byl rovněž sledovaný vliv přerušování chladícího výkonu stropu s PCMs na průběh povrchových teplot chladícího stropu. Získané výsledky prokazují, že využití chladícího stropu s PCMs významným způsobem zefektivňuje proces akumulace PCM a minimalizuje provozní náklady.

Ad e) Laboratorní vybavení na pracovišti Fakulty aplikované informatiky UTB bylo doplněno tak, že umožňuje měření tepelně akumulčních vlastností materiálů PCM.

Na závěr konstatuji, že vytyčené cíle disertační práce jsou v plné míře splněny.

### **Hodnocení zvoleného postupu řešení**

Zvolený postup řešení je správný a vhodný k dosažení vytýčených cílů.

### **Formální úroveň práce**

Z formálního hlediska by bylo přehlednější uspořádání textu podle vytýčených cílů disertace.

### **Publikační činnost doktoranda**

Je poměrně rozsáhlá – obsahuje příspěvky v časopisech domácích i zahraničních, na konferencích s národní a mezinárodní účastí

### **Doporučení a připomínky**

A) V případě publikování obsahu DP přihlédnout k připomínce uvedené k formální úrovni práce

B) V DP se zdůrazňují „minimální provozní náklady“. Ekonomická efektivnost daného zařízení závisí však nejen na provozních, ale také na pořizovacích nákladech, a jak se uvádí v <https://stavba.tzb-info.cz> - k základním požadavkům při využití materiálů PCM patří přijatelná cena.

### **Otázky k obhajobě**

1 Proč se připojuje při vysvětlení „šíření tepla vedením“ k Fourierovu zákonu i II. Termodynamický zákon? Ten je totiž jednoznačný: hustota tepelného toku je úměrná teplotnímu gradientu. Jestliže je teplotní gradient nulový, šíření tepla vedením neexistuje.

### **Závěrečné hodnocení**

Konstatuji, že předložená dizertační práce splňuje všechny požadavky standardně kladené na dizertační práce vysokoškolským zákonem. Na základě výše uvedených vyjádření

## **doporučuji**

předloženou dizertační práci k řádné obhajobě a po jejím úspěšném průběhu a zodpovězení položených otázek rovněž doporučuji, aby byl panu **Ing. Martinu Kolářkovi** udělen akademický titul „doktor“ (Ph.D).

V Praze dne 22. 08. 2018

  
Podpis oponenta