

## Posudek disertační práce

**Autor práce:** Ing. Richard Slávik  
**Název práce:** Hygrotermálna odozva stavebných konštrukcií  
**Studijní obor:** Pozemní stavby

**Oponent:** doc. Ing. Marián Vertaľ, PhD.  
 Stavebná fakulta Technickej univerzity v Košiciach

Datum zadání posudku: **17.08.2018**

### Aktuálnosť tématu disertační práce

Dizertačná práca sa zaoberá prenosom tepla a vlhkosti stavebnými konštrukciami. Je potrebné povedať, že téma dizertácie je z pohľadu vedy a výskumu nesmierne náročná, no z pohľadu potrieb vedy a praxe vysoko aktuálna.

Aktuálnosť témy dizertačnej práce ďalej zvyrazňuje:

- jasne formulovaný vedecky cieľ,
- vhodne teoreticko-výpočtové a experimentálne metódy riešenia overované konfrontáciou numericko-výpočtových a in situ experimentov.

Je potrebné vysoko kladne hodnotiť prehľad dizertanta o súčasnom stave riešenia problematiky u nás i v zahraničí, vrátane experimentálnych metód vedeckej práce v analyzovanej problematike. To mu umožnilo aj optimalizovať aplikované vedecké metódy experimentálnej časti dizertačnej práce, čo považujem za vysoký klad dizertácie. Téma spracovaná v dizertačnej práci je vysoko aktuálna.

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

### Splnění cílů disertační práce

Doktorand si v práci vytýčil neľahký cieľ preskúmať potenciál nestacionárnych výpočtových metód prenosu tepla a vody a jeho priblíženie stavebnej praxi. Pri spracovaní uvedenej témy sa vybral náročnou cestou vývoja vlastného výpočtového algoritmu a prototypu meracích zariadení pomocou ktorých boli realizované in situ merania v rámci dizertačnej práce. Takýto prístup ku riešeniu analyzovanej problematiky osobne považujem za mimoriadne precízny a aj na poli kvalitného výskumu za celkom ojedinelý. Ciele definované v dizertačnej práci boli splnene na optimálnej úrovni.

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

## Postup řešení problému – metody zpracování

Metódy spracovania predloženej práce vhodne kopírujú vytýčené ciele. Dizertant v práci používa literárne zdroje v oblasti najuznávanejších kapacít. Precízne pochopenie naštudovanej problematiky je rozpoznateľné pri formulovaní čiastkových cieľov práce a pri interpretácii matematickofyzikálneho aparátu. Predložená dizertačná práca analyzuje tepelnovlhkostné správanie stavebných konštrukcií v reálnych klimatických podmienkach formou in situ meraní a numerického experimentu (simulácie). Pre realizáciu in situ meraní si dizertant skonštruoval potrebnú infraštruktúru, čím osvedčil vedomosti a zručnosti z elektroniky. Pri príprave výpočtového algoritmu pre numerické analýzy tepelnovlhkostnej odozvy stavebných konštrukcií preukázal dizertant znalosti vyššej matematiky a programovania. Predstavený výpočtový algoritmus bol najprv odladený pomocou Benchmarkov. Po preukázanej výpočtovej zhode je algoritmus použiteľný pokročilé pre analýzy tepelnovlhkostnej odozvy stavebných konštrukcií. Vzájomné porovnanie nameraných a vypočítaných dát je trendom súčasného výskumu a objavuje sa v prácach mnohých významných autorov. Namerané klimatické parametre a dáta tepelnovlhkostnej odozvy testovaných stenových konštrukcií môžu ďalej slúžiť na odladzovanie existujúcich výpočtových algoritmov alebo na ich vylepšenie.

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

## Význam disertační práce pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

Za prínos dizertácie pre ďalší rozvoj vedy v odbore Pozemní stavby považujem:

- vysokú úroveň spracovania doterajších poznatkov z oblasti komplexného transportu tepla vody (vrátane experimentálnych metód) obvodovými stenami budov v európskom merítke. Tento prínos je zvlášť využitelný v pedagogickej praxi,
- vytvorenie v práci verifikovaného výpočtového algoritmu na hodnotenie tepelnovlhkostného správania obalových konštrukcií budov, ktorého pozitívom oproti komerčným nástrojom HAM je jeho otvorenosť,
- vývoj vlastného zariadenia na zber dát z v práci uvedených in situ experimentov, ktorého použitie prevyšuje potreby meraní v tejto práci,
- realizáciu in situ meraní realizovaných na testovacích segmentoch budov v Rajeckých Tepliciach a Mokrych Lazcoch pri Ostrave. Výsledky meraní boli analyzované v rámci dizertačnej práce no ich kvantita umožňuje v budúcnosti ďalšie analýzy inšpirujúce k formulácii nových záverov,
- rozsiahle porovnanie kvázistacionárnych výpočtových metód s metódami komplexnými na jednej strane a in situ nameraných výsledkov s komplexnými, v práci navrhnutým výpočtovým algoritmom vypočítanými, na strane druhej. Predovšetkým porovnanie in situ experimentu s navrhnutým algoritmom vytvára priestor pre ďalšie úvahy ladenia výpočtového algoritmu a definovania jeho ďalších vývojových etáp.

Za prínos dizertácie pre prax v oblasti fyzikálnej kvantifikácie stavebných konštrukcií považujem:

- Rozsiahle analýzy kvazistacionárnych (obvyklých) výpočtových metód a určenie limitov z pohľadu prenosu vody v stavebných konštrukciách
- Pokus o rôzne úpravy navrhovaného komplexného výpočtového algoritmu s cieľom jeho zjednodušenia pre účely praxe

Hodnocení:

<input checked="" type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
--	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

### Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Po grafickej stránke je predložená dizertační práca vypracovaná na mimoriadne vysokej úrovni. Kvalita obrázkov, schém a grafov je vysoko kvalitná a výborne čitateľná. Jazyková úroveň je dobrá, žiaľ s množstvom gramatických chýb, mätúcich formulácií a skladbami viet napríklad:

...vlhkost' nemusí ničomu vadit' (str. 113), ....stena z vnútorným zateplením (str. 157), ...obsahoch vlhkosti (str. 176), ...kým zjednodušené modeli (str. 177) a mnohé iné.

Spomenuté nedostatky neznižujú mimoriadne vysokú kvalitu práce. Ďalšie publikovanie práce, prípadne jej častí, odporúčam až po dôslednej jazykovej korektúre.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrná	<input type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

### Hodnocení publikační a jiné činnosti doktoranda

Dizertant má pomerne bohatý publikačný prejav, nechýbajú domáce a zahraničné časopisecké publikácie a publikácie v preferovaných databázach Web of Science, resp. SCOPUS.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrná	<input type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

### Poznámky a připomínky k textu práce

Nejednotnosť označení pre metódy výpočtu kvantifikácie vody v stavebných konštrukciách. Pre metodiku EN 13 788 je používané raz označenie ako medzinárodná, inokedy európska (napr. str. 107), podobne je to s označením numerických metód (komplexnejšie, resp. komplexné, str. 108)

Str. 137 pre výpočet boli skutočne použité povrchové teploty? Aký bol na to dôvod?

Kapitole 8 chýbajú hlbšie závery. Mimoriadne presne sú síce rozanalyzované jednotlivé vplyvy na presnosť simulačného výpočtu, no stále je to len hodnotenie jednej stavebnej konštrukcie. Každý z uvedených vplyvom si zaslúži hlbšie zamyslenie.

## Kapitola 9

Akým spôsobom bola uvažovaná počiatočná podmienka pre množstvo vody? Bolo uvažované presné časopriestorové rozloženie vody v profile tehlovej steny alebo bola koncentrácia vody uvažovaná rovnaká naprieč jej profilom?

Nemohli byť posuny v teplotných priebehoch a krivkách relatívnej vlhkosti spôsobené lokálnou zmenou koncentráciou vodnej pary v tepelnom izolante? Priebehy nameraných teplôt na obrázkoch 117 a 118 by tomu mohli nasvedčovať.

Prečo je časový priebeh teplôt na obrázku 120 iný ako na ostatných. Čo spôsobilo cca. 0.6 K osciláciu s hustým časovým krokom?

Modelovaný je 1D prenos tepla a vody cez stavebnú konštrukciu. Reálna konštrukcia je minimálne dvojrozmernou problematikou. Bola počas dlhodobých meraní monitorovaná hmotnostná vlhkosť tehlového muriva? Nie je možné, že do steny sa dostáva voda iným spôsobom ako sorpciou zo vzduchu? Nie je možné vztlákanie vody formou kapilárneho transportu od základovej konštrukcie?

Podkapitola: Porovnanie vlhkosti v segmentoch

Analyzovaná stenová konštrukcia vysychá rýchlejšie po aplikovaní ETICS na báze minerálnej vlny v porovnaní s penovým polystyrénom (EPS). Vzhľadom na difúziu otvorenosť vláknitej tepelnej izolácie je to logické. Z obrázku 138 (priebeh do mája 2015) je na priebehu hmotnostnej vlhkosti vidieť, že tehlové murivo skutočne vysychá rýchlejšie aplikovaním MW. Ak vezmeme do úvahy, že sa jedná o zimné obdobie s difúznym tokom orientovaným ku exteriérovému povrchu konštrukcie sa dá očakávať transport vody do materiálu s nižším difúznym odporom MW. Vo vypočítaných priebehoch je to však naopak, prečo?

## Kapitola Diskusia

Str. 174 väčšina nástrojov pre kvázistacionárne analýzy dnes ponúka 2D a 3D riešenia (Physibel, Therm, Antherm, apod.)

Str. 175, podkapitola rozdiely medzi kvázistacionárnymi a komplexnejšími metódami. Záverečné porovnanie týchto dvoch prístupov by mohlo vymenovať aj prípady, kedy sú komplexné simulačné algoritmy jediným použiteľným nástrojom numerického určovania tepelnovlhkostného správania stavebných konštrukcií. Sú to procesy ako vztlákanie, letná kondenzácia, použitie kapilárne aktívnych tepelných izolácií (napr. kalcium silikátové dosky), inteligentné (difúzne variabilné) parozábrany alebo PCM materiály. Podobne platí pre analýzu tepelnovlhkostného správania budov pamiatkovo chránených alebo budov nezatepliteľných (napr. z dôvodov energetickej chudoby), kde transport vody kapilármi predstavuje dominantný transportný mechanizmus. Pri sanačných opatreniach alebo obnove tejto kategórie budov a pri hodnotení efektivity navrhovaných riešení zohrávajú

simulačné nástroje kategórie HAM čoraz významnejšiu rolu. Inšpiratívnym príkladom môžu byť mnohé štúdie Fraunhofer Institutu für Bauphysik a aplikácie simulačných nástrojov WUFI v procese návrhu a hodnotenia kvality obnovy historických budov.

## Záver

Predložená dizertačná práca je modernou výskumnou prácou na mimoriadne aktuálnu tému prenosu tepla a vody v stavebných konštrukciách. Pri spracovaní dizertačnej práce zvolil dizertant Ing. Richard Slávik optimálne metódy vedeckej práce. Realizáciou obsiahlych in situ meraní a numerických experimentov pomocou vlastného výpočtového algoritmu úplne naplnil stanovené ciele dizertačnej práce. Dizertačná práca predstavuje prínos pre vedný odbor Pozemní stavby aj stavebnú prax. Pri spracovávaní predloženej dizertačnej práci preukázal dizertant mimoriadne hlboké znalosti nielen na poli stavebnej fyziky ale aj v oblasti numerickej matematiky, pokročilých metód programovania a elektroniky. Tvorivé schopnosti, kreativita a usilovná práca sa prejavili najmä pri príprave in situ experimentu, výrobe vlastnej meracej infraštruktúry a numerického algoritmu. Záverom konštatujem, že dizertant Ing. Richard Slávik splnil vytýčené ciele dizertačnej práce a jeho dizertačná práca „Hygrotermálna odozva stavebných konštrukcií“ spĺňa požiadavky štandardne kladené na dizertačné práce v príslušnom odbore.

Uchazeč zpracovaním dizertačnej práce prokázal spôsobilosť k samostatnej tvůrčí vědecké práci ve smyslu § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a změnách a doplnění dalších zákonů.

Doporučuji, aby dizertační práce **byla** přijata k obhajobě a aby v případě jejího úspěšného obhájení byl

Ing. Richardovi Slávikovi

udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce „Ph.D.“ uváděné za jménem).

Datum: 29.10.2018

Podpis oponenta práce: .....