

Posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Miloslav Novotný
Název práce: Optimalizace návrhu provětrávaných fasádních systémů
Studijní obor: Pozemní stavby

Oponent: prof. Ing. Boris Bielek, PhD.
Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava,
boris.bielek@stuba.sk

Datum zadání posudku: **9.08.2024**

Úvod

Na základe dekrétu dekana Fakulty stavební VUT v Brne prof. Ing. Rostislava Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c. zo dňa 9.08.2024, ktorým ma v zmysle čl. 46 Studijního a zkušebního řádu VUT vymenoval za oponenta dizertačnej práce doktorandského štúdia Ing. Miloslava Novotného, podávam nasledovný posudok.

Doktorand dennej formy doktorandského štúdia Ing. Miloslav Novotný vypracoval dizertačnú prácu pod vedením školiteľa doc. Ing. Karla Šuhajdu, Ph.D. v roku 2024.

Dizertačná práca je prehľadne členená do 8 kapitol. Kapitulu 1 tvorí Úvod, v ktorom dizertant nastoľuje predmet práce dvojplášťové prevetrávané fasády s hlbším zameraním na prúdenie vzduchu ich dutinou. Kapitola 2 sa venuje prehľadu súčasného stavu problematiky dvojplášťových fasád, kde popisuje ich funkcie, skladby a materiálové možnosti predsadeného plášťa, výhody a nevýhody oproti jednoplášťovým fasádam, podrobne analyzuje vlhkosť režim konštrukcií, účinok vetra na konštrukcie, energetické toky konštrukciami zo slnečného žiarenia, konštrukčne rozdeľuje dvojplášťové fasády na difúzne uzavreté a difúzne otvorené a analyzuje spektrálne vlastnosti povrchových vrstiev predsadeného plášťa. Kapitola 3 definuje predmet, ciele a metodiku dizertačnej práce a venuje sa 3 experimentálnym programom :

1. in-situ meraní rýchlosti prúdenia a teplôt v prevetrávanej vrstve dvojplášťovej fasády na administratívnej budove vo Vsetíne,
2. spolupráci na vytváraní algoritmu pre výpočet tepelnotechnických vlastností fasády s prevetrávanou vzduchovou vrstvou s výstupom formou korigovaného súčiniteľa prechodu tepla zahŕňajúceho bodové činitele tepelných mostov pri kotevnom systéme fasády a algoritmu energetického správania fasády s prevetrávanou vrstvou a spolupráci pri tvorbe matematického CFD modelu v projekte skúmanej fasády s doloženým výstupom meranej a výpočtovým softwarom FSVM posudzovanej juhovýchodnej fasády s prevetrávanou vzduchovou vrstvou Juhomoravského Inovačného Centra v Brne,
3. in-situ experimentálnemu meraniu na drevostavbe EXDR1 s rôznymi skladbami dvojplášťových obvodových stien s prevetrávanou vzduchovou vrstvou difúzne uzavretých a difúzne otvorených.

Kapitola 4 podrobne popisuje metodiku numerickej simulácie, prináša matematickú definíciu CFD modelu, výpočtového algoritmu založeného na zákone zachovania hmoty, pohybovej rovnici a zákone zachovania energie a numerickej metóde konečných objemov s diskretizáciou 1D, 2D a 3D rovníc prúdenia, popisuje numerické viacsieťové riešenia a modelovania turbulencie s rozdelením turbulentných modelov. V závere prináša výsledky CFD numerickej simulácie prevetrávanej dvojplášťovej fasády Juhomoravského Inovačného Centra v Brne za využitia softwaru FSVM. Kapitola 5 prináša diskusiu a analýzu výsledkov in-situ experimentálnych meraní a numerických simulácií a ich vzájomnú komparáciu. Kapitola 6 zahŕňa výsledky dizertačnej práce, Kapitola 7 sumarizuje prínosy dizertácie pre prax a Kapitola 8 prínosy práce pre ďalší rozvoj vedy.

Aktuálnosť tématu dizertačnej práce

Dvojplášťové fasádne konštrukcie s prevetrávanou vzduchovou vrstvou majú vzhľadom na svoje nesporné výhody oproti jednoplášťovým konštrukciám rozsiahle uplatnenie v modernej architektúre. Základným predpokladom ich správnej funkcie je neustály pohyb vzduchového prúdu ich dutinou a to za každej klimatickej situácie, aj za bezvetria, kedy je tento pohyb zabezpečený konvektívnym vztlakom vzduchu. Správne geometrické a konštrukčné dimenzovanie vzduchovej dutiny má teda zásadný vplyv na funkciu dvojplášťovej fasády. Z uvedeného jednoznačne vyplýva, že posudzovaná dizertácia na tému Optimalizácie návrhu provetřovaných fasádních systémů je vysoko aktuálna a môže významne obohatiť poznatky v uvedenej oblasti.

Hodnocení:

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

Splnění cílů dizertačnej práce

Dizertácia si stanovila dva hlavné ciele smerujúce ku analýze prevetrávania vzduchovej dutiny dvojplášťovej fasádnej konštrukcie a to :

1. overenie funkčnosti prevetrávaných fasádnych systémov a popis fyzikálnych javov, ku ktorým dochádza vo vetraných fasádnych dutinách formou in-situ experimentálnych meraní, výsledky ktorých by mali byť etalónom pre odladenie matematických simulácií,
2. vytvorenie relevantného matematického modelu pre výpočet funkčnosti prevetrávaných fasádnych systémov s cieľom optimalizácie návrhu dvojplášťových fasád.

Posudzovaná dizertácia má jasne formulovaný predmet i ciele a využíva moderné metódy vedeckej práce. Po dôslednom preštudovaní dizertačnej práce môžem zodpovedne konštatovať, že vyššie uvedené presne definované ciele dizertácie boli jej obsahom v plnom rozsahu splnené.

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

Pri spracovaní dizertačnej práce doktorand použil nasledovné metódy výskumu:

- laboratorne merania spektrálnej pohltivosti rôznych povrchov fasádnych panelov na zariadení Mid-IR Integrat IR TM,
- experimentálne in-situ merania rýchlosti prúdenia vzduchu a teplôt v prevetrávanej dutine dvojplášťovej fasády s vonkajšou plášťovou hmotou vo forme metalického „bondového“ obkladu na administratívnej budove vo Vsetíne,

- experimentálne in-situ merania parametrov prúdenia vzduchu (rýchlosť a teplota) v prevetrávanej dutine juhovýchodnej dvojplášťovej fasády Juhomoravského Inovačného Centra v Brne,
- experimentálne in-situ merania charakteristík prúdenia vzduchu v dutine rôznych skladieb dvojplášťových obvodových stien s prevetrávanou vzduchovou vrstvou difúzne uzavretých a difúzne otvorených na drevostavbe EXDR1,
- kvantifikácia energetických parametrov dvojplášťovej fasády s prevetrávanou vzduchovou vrstvou Juhomoravského Inovačného Centra v Brne za využitia FSVM softwaru, na tvorbe ktorého sa doktorand aktívne podieľal,
- numerickú simuláciu prúdenia vzduchu prevetrávanou dutinou dvojplášťovej juhovýchodnej fasády objektu Juhomoravského Inovačného Centra v Brne za pomoci CFD softwaru FSVM,
- konfrontáciu výsledkov z experimentálnych meraní s výsledkami získanými numerickými simuláciami,
- syntézu poznatkov získaných pri analýze výsledkov z laboratórnych experimentov a numerických simulácií.

Zvolené metódy sú obvyklými metódami používanými pri vedecko-výskumnej činnosti, ktoré umožňujú riešiť zvolenú problematiku prúdenia vzduchu v prevetrávaných dutinách dvojplášťových fasád. Z tohto pohľadu možno postup riešenia hodnotiť ako vhodne zvolený.

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

Velký význam práce pro prax má podiel dizertanta na vývoji algoritmu pre výpočet tepelnotechnických vlastností fasády s prevetrávanou vzduchovou vrstvou s výstupom formou korigovaného súčiniteľa prechodu tepla zahŕňajúceho bodové činitele tepelných mostov pri kotevnom systéme fasády a algoritmu energetického správania fasády s prevetrávanou vrstvou a pri tvorbe matematického CFD modelu pre software FSVM v rámci spolupráce na projekte Technologické agentury ČR č. FW03010062 s názvom „Chytrá fasáda s optimalizovanými energetickými vlastnosťmi“ v programe FW – TREND, podprogram 1 – Technologičtí lídři. FSVM software je voľne dostupná webová aplikácia podporovaná Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě.

Realizované in-situ experimentálne merania charakteristík prúdenia vzduchu v dutine dvojplášťových obvodových stien s prevetrávanou vzduchovou vrstvou na troch objektoch môžu slúžiť ako vhodný etalón pre odladenie a verifikáciu výsledkov výpočtových programov a simulácií.

Prezentované výsledky práce jednoznačne rozširujú poznanie v oblasti dvojplášťových prevetrávaných fasád a prispievajú k novým poznatkom v tejto oblasti.

Hodnocení:

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

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Dizertačná práca má 153 strán formátu A4 textu, obrázkov a tabuliek. Jej súčasťou je zoznam literatúry, ktorý zahŕňa 49 literárnych prameňov, internetových zdrojov a odkazov na normové predpisy, zoznam obrázkov a tabuliek, ako aj zoznam použitých znakov a symbolov a zoznam používaných skratiek. V zozname uvedené literárne pramene korešpondujú s textom i obrázkovými prílohami dizertácie. Do komplexnosti štruktúry vedeckej práce však postrádam prehľad

publikačných aktivít dizertanta, jeho účasť na vedecko-výskumných projektoch, jeho tvorivé aktivity a prehľad jeho sťaží, zahraničných pobytov a absolvovaných kurzov.

Na základe podrobného preštudovania práce môžem konštatovať, že posudzovaná dizertácia má logickú štruktúru, je napísaná zrozumiteľne a gramaticky správne a spĺňa všetky formálne náležitosti vedeckej práce.

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

Publikačná a odborná činnosť doktoranda mi bola na vyžiadanie doložená ako samostatná príloha. Doktorand Ing. Miloslav Novotný vykázal za obdobie svojho doktorandského štúdia ako autor alebo spoluautor spolu 9 odpublikovaných článkov, z toho jeden článok je kategórie Q2, jeden článok je odpublikovaný v časopise evidovanom v databáze Web of Science, 6 článkov je v zborníkoch evidovaných v databázach WoS alebo Scopus a jeden článok je v odpublikovaný v domácom časopise. Podľa podmienok akreditácie Ph.D. je potrebné mať 1 článok WoS alebo Scopus, alebo 2 recenzované články v ČR, čo doktorand svojou publikačnou činnosťou výrazne prekračuje.

Počas doktorandského štúdia sa doktorand aktívne zapojil do riešenia mnohých dielčích úloh a vedecko-výskumných projektov riešených na Ústave pozemného staviteľství FAST VUT. Bol riešiteľom 3 juniorských projektov špecifického výskumu :

- Špecifický výzkum SV 2017 FAST-J-17-4692 "Experimentální měření a simulace vnitřního mikroklimatu provětrávané fasády v závislosti na tloušťce a opláštění konstrukce",
- Špecifický výzkum SV 2018 FAST-J-18-5627 "Měření a simulace vnitřního mikroklimatu provětrávané fasády v závislosti na tloušťce a opláštění konstrukce",
- Špecifický výzkum SV 2019 FAST-J-19-5960 "Měření a simulace vnitřního mikroklimatu provětrávané fasády v závislosti na opláštění konstrukce".

Ďalej spolupracoval na projekte Technologické agentury České republiky (TAČR) číslo FW03010062 "Chytrá fasáda s optimalizovanými energetickými vlastnostmi", v programe FW-TREND, podprograme 1- Technologičtí lídři - 20% úvazok, člen výskumného tímu.

V rámci odbornej činnosti spolupracoval na Znaleckom posudku 37/2023 "Znalecký posudek o stavu repasovaných dřevěných okenních výplní objektu Gymnázia Ústí nad Orlicí, T.G.Masaryka 106, 562 01 Ústí nad Orlicí" (posudok bol vypracovaný pod záštitou znaleckého ústavu Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno).

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

V práci som našiel niekoľko formálnych nedostatkov :

- str.25 – Obr.2 : Zdroj [38] by sa mal nachádzať aj za popisom obrázku a všetky symboly nachádzajúce sa v obrázku (v našom prípade 1, 2) by mali byť vysvetlené v texte popisu obrázku. Obdobné nedostatky sa vyskytli vo viacerých obrázkoch (napr. Obr.3, Obr.19, ...),
- str.26 – Tab.2 Rovnovážná sorpční vlhkost u_{ms} některých stavebních látek : podľa môjho názoru ide o prebratú tabuľku a v tomto prípade postrádam za popisom tabuľky jej zdroj. Obdobný nedostatok som zaregistroval u viacerých tabuliek (napr. Tab.3, Tab.4, ...),
- niektoré obrázky či tabuľky nemajú odvolávku v texte (napr. Obr.3 na str.30, Tab.7 na str.53, ...),

- str.28 : v popise symbolov vzťahu (5) sú jednotky vyjadrené vo forme $Jxkg^{-1}$, $Jxkg^{-1}xK^{-1}$, zatiaľ čo v Tab3 a aj v ostatnom texte práce vo forme $KJ.kg^{-1}$, $kg.m^{-2}.s^{-1}$. Dizertačná práca by mala mať jednotný systém označovania symbolov (určite by som preferoval systém s bodkami),
- str.85 – Obr.43 a str.86 – Obr.44 : Označenie pozícií senzorov na pohľade je nečitateľné,
- str.88 – Obr.45, Obr.46 a str.89 – Obr.47, Obr.48 : na grafoch priebehu teplôt sú vykreslené krivky pre kanály 2, 4, 6, 8, 10 a 12 a na grafoch rýchlosti prúdenia krivky pre Radu 2, 3, 4, 5, 6 a 7. Vzhľadom na nečitateľnosť označenia pozícií senzorov na pohľadoch (Obr.47, Obr.48) je veľmi ťažké identifikovať, ktorá krivka je pre ktorý senzor.

K posudzovanej dizertácii mám niekoľko poznámok a pripomienok:

- str.14 – Skladebné usporiadání provětrávané fasády : v popise skladby prevetrávané fasády sa píše : „Vrstva tepelné izolace by měla být opatřena na vnější straně orientované ke vzduchové vrstvě souvislou větotěsnou fólií, která zabrání u pórovitých izolantů ochlazování vnějšího povrchu proudícím vzduchem. Větrotěsná fólie by měla být odolná proti UV-záření a případně zabránit zvlhčení hnaným deštěm.“ Veľmi dôležité je doplniť, že by sa malo jednať o difúzne otvorenú fóliu (to spomína dizertant v texte až na str.15), ktorá má v ešte jednu dôležitú úlohu a to eliminovať úlet vlákien z vysokoúčinného tepelného izolantu na báze minerálnej vlny.
- str.14 – Tepelně technické vlastnosti provětrávaných fasád : v texte sa píše : „Proudění vzduchu provětrávanou vzduchovou vrstvou fasády nastává většinou přirozeně, necené větrání se používá u dvojitých fasád.“ Je potrebné konštatovať, že aj pri dvojitých transparentných fasádach sa v prevažnej miere využíva prirodzený pohyb vzduchu medzipriestorom, nútené vetranie sa používa iba pri dvojitých transparentných fasádach s uzavretým okruhom v zimnom období, ktoré tvoria iba nepatrnú časť z realizovaných aplikácií.
- str.30 – v texte : „Pohyb vody v pórech zdiva difúzi vodní páry je znázorněn na Obr.3“ je uvedené nesprávne číslo obrázku – správne by mal byť Obr.4,
- str.35 – v texte : „Koefficient difúzního odporu μ označuje ...“ je terminologicky nesprávne vyjadrený faktor difúzneho odporu,
- str.65 – Obr.24 Schéma difúzně uzavřeného souvrství předsazené fasády : skladba s parotesnou fóliou na vonkajšej strane tepelného izolanta by mala nepriaznivý vlhkosťný režim. Parotesná fólia musí byť nahradená difúzne otvorenou fóliou. Zle zvolená ukážka difúzne uzavretého súvrstvia na nosnej konštrukcii z muriva. Vhodnejšou by bola obvodová stena na báze dreva a vysokoúčinných izolantov s parozábranou na vnútornej strane pod interiérovou plášťovou hmotou,
- str.70 – Obr.28 Schéma detailu ostění otevřeného souvrství předsazené fasády : domnievam sa, že v dizertačnej práci by mali byť prezentované ukážky správnej konštrukčnej tvorby fasádnej konštrukcie vrátane detailu styku s okennou konštrukciou. V uvedenom detaile na obrázku nie je napojený vysokoúčinný tepelný izolant obvodovej steny na prerušenie tepelného mostu v hliníkovej okennej konštrukcii (ktoré tvorí tepelnú izoláciu rámového profilu okna) a vzniká tak výrazný tepelný most s nežiadúcimi dôsledkami nízkej povrchovej teploty na interiérovej strane styku okna s obvodovou stenou (možná kondenzácia vodnej pary a riziko vzniku plesní). Prekrytie vodivého exteriérového hliníkového profilu rámového vlysu kovového okna s PTM tepelnou izoláciou má na teplotniku okna minimálny vplyv. Hliníkové okno v uvedenom detaile jednoznačne patrí do rovinatej súvislosti s vysokoúčinným tepelným izolantom obvodovej steny (tzv. predsadená montáž, ktorá sa v súčasnom období čoraz viac predšadzuje),

- str.105 – str.106: v práci prezentovaný experimentálny program 3 – in-situ meranie charakteristík prúdenia vzduchu v dutine rôznych skladieb dvojplášťových obvodových stien s prevetrávanou vzduchovou vrstvou difúzne uzavretých a difúzne otvorených na drevostavbe EXDR1 neprináša v práci žiadne výsledky. Zdôvodnite prosím prečo.
- str.138 – Komparace výsledků měření „in situ“ a numerické simulace : pokiaľ chceme vzájomne porovnávať výsledky in-situ experimentálneho merania so simuláciou, musíme namodelovať totožnú fasádu za rovnakých okrajových podmienok. V texte práce je uvedené: „Experimentální měření in situ probíhalo na fasádě administrativní budovy ve Vsetíně s výškou 8,775 m. Numerická simulace byla provedena části fasády s výškou 15 m a v poli o šířce 1 bm.“ Z uvedeného vyplýva, že sa modelovala geometricky absolútne odlišná fasáda než pre akú bola realizovaná simulácia. Prosím o zdôvodnenie.

Závěr

Po dôslednom preštudovaní posudzovanej doktorandskej dizertačnej práce Ing. Miloslava Novotného konštatujem, že dizertant ňou preukázal :

- vysoké odborné vedomosti v oblasti riešeného problému,
- schopnosť formulovať vedecký problém i ciele vedeckej práce,
- schopnosť orientácie v moderných metódach vedeckej práce,
- že ovláda širokú škálu experimentálnych i výpočtových metód vedeckej práce
- a výsledne schopnosť samostatne systémovo a tvorivo vedecky pracovať.

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

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

Ing. Miloslavovi Novotnému

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

Datum: 14.08.2024

Podpis oponenta práce: 