

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Ing. Katarína E. Hellová

Autoreferát dizertačnej práce

Modelovanie transportu vlhkosti a tepla pórovitými stavebnými
materiálmi

na získanie: vedecko-akademickej hodnosti philosophiae doctor

Odbor doktorandského štúdia: 3659 Technológia stavieb

Študijný odbor: Stavebníctvo

Forma: denná

Bratislava, 2021

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre materiálového inžinierstva a fyziky Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: **Ing. Katarína E. Hellová**
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra materiálového inžinierstva a fyziky
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: **prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.**
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra materiálového inžinierstva a fyziky
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Oponenti: **1. prof. RNDr. Igor Medved', PhD.**
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra materiálového inžinierstva a fyziky
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

2. Ing. Peter Matiašovský, PhD.
Ústav stavebníctva a architektúry SAV
Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava 45

3. doc. Ing. Alena Sičáková, PhD.
Stavebná fakulta TUKE v Košiciach
Oddelenie materiálového inžinierstva
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

Autoreferát bol rozoslaný dňa: 26. júla 2021

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa 25.8.2021 o 10.00 hod. online pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce na Katedre materiálového inžinierstva a fyziky Stavebnej fakulte STU v Bratislave.

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Dekan Stavebnej fakulty

Obsah

1	Úvod.....	4
2	Tézy, metódy, riešenia a ciele na vypracovanie stanovených cieľov	4
2.1	Tézy	5
2.2	Metódy riešenia	5
2.3	Ciele.....	6
3	Praktická časť.....	6
3.1	Vlhkosť a tepelnoizolačné materiály	7
3.2	Postupy laboratórnych meraní, metódy a princípy	7
3.3	Použité prístroje a pomôcky	8
3.4	Stanovenie rovnovážnej vlhkosti.....	9
3.5	Určenie tepelnej vodivosti.....	10
4	Výsledky experimentu	10
4.1	Vzorky	10
4.2	Stanovenie hygroskopických sorpčných vlastností - výsledky merania rovnovážnej vlhkosti	11
4.3	Stanovenie tepelnej vodivosti - výsledky merania súčiniteľa tepelnej vodivosti	13
4.4	Diskusia k nameraným výsledkom.....	15
5	Diskusia a záver	16
6	Teoretické a praktické prínosy práce	20
6.1	Poznatky pre ďalší rozvoj.....	20
6.2	Poznatky pre prax	20
	Vybraný zoznam použitej literatúry	21
	Zoznam publikačnej činnosti.....	22

1 Úvod

Porézne materiály sú pri styku s okolitou atmosférou neustále vystavované procesom, ktoré ovplyvňujú ich životnosť. Štruktúru týchto materiálov tvorí okrem pevnej časti, nazývanej aj matrica, póry, ktoré sú v suchom stave vyplnené vzduchom a pri bežných podmienkach obsahujú vodu a paru. Stavebné materiály sa prakticky vôbec nevyskytujú v suchom stave. Ich životnosť je závislá od ich odolnosti voči degradácii zapríčinennej vplyvom prostredia. Hlavným dôvodom degradácie pórovitých materiálov je vlhkosť a k nej sa ďalej pridávajú ďalšie aspekty ako sú geologická lokácia, teplo, soli a aj rôzne neželané biologické faktory, ktoré môžu urýchliť degradáciu. Prejavy takeéhoto poškodenia môžu byť v rôznej forme, napr. zafarbenie povrchu vplyvom spomínanej biokorózie, praskliny, štiepenia až následný rozpad celej štruktúry.

Výskum či už teoretický alebo experimentálny sa upriamuje na vnútornú štruktúru poréznych materiálov a systémov vnútorných štruktúr pórov a procesov prebiehajúcich v nich. V rôznych publikáciách sa rieši matematické modelovanie transportu vlhkosti a tepla a sú k dispozícii výpočtové a simulačné programy pre posúdenie konštrukcie z hľadiska teplototechniky a celkového správania konštrukcie v čase a priestore. Pre analýzu vlhkosťného správania materiálu je potrebné poznať charakteristiku prenosu vlhkosti a parametre materiálu. Experimentálne štúdie sa zaoberajú vo veľkej miere na určenie vlhkosti materiálu a na stanovenie všetkých zákonitostí, ktorými sa šírenie vlhkosti a tepla riadi.

Preto sa táto práca zaoberá podrobnejším rozborom metód pre hodnotenie transportu tepla a vlhkosti v konštrukciách. Analyzované sú ako stacionárne a kvazistacionárne metódy používané v stavebnej praxi dodnes, tak metódy nové, ktoré ešte v stavebnej praxi nenašli také široké uplatnenie. Ciele sú orientované nie len na rozbor metód, ale na praktické demonštrovanie poznatkov.

2 Tézy, metódy, riešenia a ciele na vypracovanie stanovených cieľov

V súčasnosti sa v oblasti stavebníctva kladie veľký dôraz na úspory energií, ochranu životného prostredia a ľudského zdravia. Počítačové simulácie fyzikálnych interakcií v budovách umožňujú optimalizovať projekt budovy s dôrazom na spomenuté požiadavky. Súčasná simulačná nástroje pri jasne definovaných podmienkach umožňujú predpovedať budúce správanie konštrukcií či budovy s vysokým stupňom presnosti.

Porézne materiály majú široké využitie v praxi pre svoje tepelno-izolačné vlastnosti. Štruktúra týchto materiálov je tvorená sústavou pórov rôznych veľkostí, v ktorých prebiehajú rôzne chemické procesy [1]. Štúdium pórovitých štruktúr je aktuálne či už v geológii pri ťažbe alebo pri zatepl'ovaní a výstavbe budov.

2.1 Tézy

Jedným z hlavných cieľov bolo prispieť a objasniť tieto procesy v poréznej štruktúre, a jednotlivé ciele boli nastavené takto:

- rešerš a zhrnutie súčasného stavu v danej problematike u nás a v zahraničí
 - úvodná teoretická časť práce pozostáva z rešerš odborných publikácií a technických noriem. Celkovo bolo k problematike získaných 98 publikácií. Okrem knižných publikácií sú v práci použité aj poznatky z iných dizertačných prác a odborných článkov. Cieľom je teoretické zhrnutie aktuálneho stavu problematiky v oblasti transportu vlhkosti a tepla v poréznej stavebnej konštrukcii a jej historického vývoja.
- analýza a prehľad simulačných programov
- analýza javov pri cykloch teploty a relatívnej vlhkosti v poréznych materiáloch
- praktický výskum – experiment v klimatickej komore
 - zmena vybraných teplo-technických parametrov pri zmene relatívnej vlhkosti vzduchu
- spracovanie výsledkov výskumu

2.2 Metódy riešenia

V experimentálnej časti dizertačnej práce budem riešiť výber porézneho materiálu, jeho charakteristiku a tepelno-technické vlastnosti. Bude sa riešiť štruktúra, jednotlivé zložky, výroba a skúmané vlastností. Bude sa skúmať rovnovážna vlhkosť, súčiniteľ tepelnej vodivosti a vzájomné závislosti medzi nimi. Všetky namerané hodnoty a grafické výstupy boli spracované do tabuliek a grafov. Sorpčné a desorpčné charakteristiky, tepelno-technické a hygroskopické vlastnosti materiálov budú sledované pri 20%, 50%, 80%, a 95% relatívnej vlhkosti. Z tepelno-technických vlastností to bude predovšetkým súčiniteľ tepelnej vodivosti (λ) a z hygroskopických vlastností rovnovážna vlhkosť. Vzorky budú testované v klimatickej komore v niekoľkých cykloch, kedy prebehne sorpcia a následne desorpcia.

Jednotlivé zistenie zmien vlastností týchto materiálov pri zmene relatívnej vlhkosti a ich porovnanie, nám umožňuje zistiť, ich výhody a nevýhody, a taktiež či daný porézny materiál je vhodný na zabudovanie do konštrukcie stavby.

Ďalšie ciele, ktoré boli naplnené počas experimentálnej časti dizertačnej práce:

- výber poréznych materiálov a ich štúdium a charakteristika
- štúdium sorpčných a desorpčných charakteristík a sledovanie tepelno-technických a hygroskopických vlastností vybraných poréznych materiálov, pri rôznych relatívnych vlhkostiach
 - testovanie vzoriek v klimatickej komore
 - pri stálej teplote a zmene relatívnej vlhkosti pomocou simulácie
 - zistenie sorpčných a desorpčných charakteristík pri zmene relatívnej vlhkosti;
 - sledovanie zmien tepelno-technických vlastností materiálov pri zmene relatívnej vlhkosti;
 - sledovanie zmien hygroskopických vlastností pri zmene relatívnej vlhkosti;
 - posúdenie nameraných a vypočítaných hodnôt;
 - spracovanie a porovnanie výsledkov

2.3 Ciele

Cieľom práce bude definovanie zmien parametrov a vlastností vybraných poréznych materiálov pri pôsobení vlhkosti a tepla a ich následné porovnanie s deklarovateľnými hodnotami.

3 Praktická časť

Experimentálna časť je zameraná na štúdium a sledovanie sorpčných charakteristík, tepelno-technických a hygroskopických vlastností vybraných tepelnoizolačných materiálov. Experiment prebehol v laboratórnych podmienkach pri rôznych relatívnych vlhkostiach. Väčšina sledovaných izolácií je ekologická, porézna a teda aj s vysokou sorpčnou schopnosťou. Výsledok meraní slúži ako posudok k vhodnosti zabudovania týchto materiálov do konštrukcie stavby.

V súčasnosti sa prikladá veľký dôraz na výstavbu nízkoenergetických úsporných stavieb s takmer nulovou spotrebou energie. Jedným z faktorov, ovplyvňujúcich spotrebu energie, je aj zateplenie vonkajšieho plášťa budovy. Dizertačná práca bola zameraná predovšetkým na ekologické tepelnoizolačné materiály, ktoré majú pozitívny dopad na životné prostredie a kvalitu bývania.

3.1 Vlhkosť a tepelnoizolačné materiály

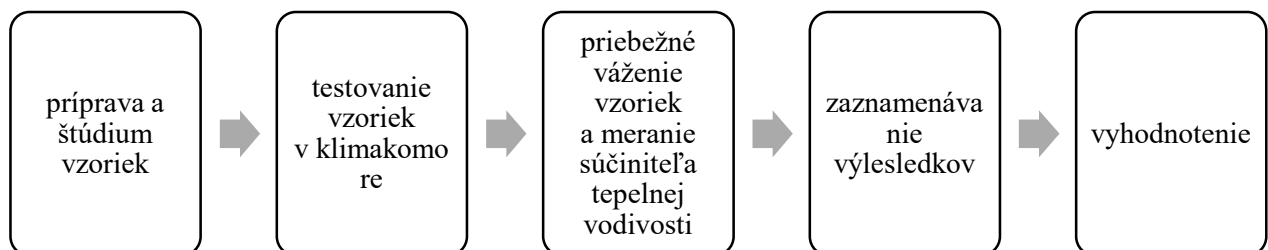
Vplyv vlhkosti na tepelnoizolačný materiál závisí od miesta použitia (exteriér alebo interiér), a zloženia použitého materiálu. Už pred zabudovaním do konštrukcie obsahuje určitú vlhkosť [2]. Túto vlhkosť je možné prijať: zo stavebnej činnosti (doprava, skladovanie); zo zemnej vlhkosti; z klimatických podmienok; sorpciou; kondenzáciou (plynná látka sa mení na kvapalnú); pri prevádzkovej vlhkosti (užívanie budov, napr. varenie, dýchanie, málo vetrania).

Pri vysokej rovnovážnej vlhkosti môžu nastať tvarové zmeny a fyzikálne zmeny izolácie. Je dôležité nezanedbať výber vhodnej izolácie, nepodceniť poveternostné podmienky a zvoliť správnu technológiu a postup výstavby, aby sme predišli kontaktu izolácie s vodou. Tým vytvoríme stavebnú konštrukciu s optimálnou prirodzenou klímou, bez rizika vzniku plesní a degradácie izolácie aj samotnej konštrukcie.

3.2 Postupy laboratórnych meraní, metódy a princípy

Vďaka firmám, ktoré dodali vzorky materiálov – Tepore s.r.o., Izoleko s.r.o. a KnaufInsulation s.r.o. boli vykonané merania vybraných fyzikálnych a tepelno-technických vlastností.

Experiment prebehol v nasledujúcich krokoch:



Obrázok Obrázok 3.2-1 Priebeh experimentu (autor)

Jednotlivé vzorky boli následne označené, zmerané a prebehlo ich štúdium. Boli zaradené do jednotlivých tried izolácií, zaznamenané ich fyzikálne a mechanické vlastnosti garantované výrobcom.

Merania prebiehali v laboratórnych podmienkach v UVP na Stavebnej fakulte, Slovenskej technickej univerzite v Bratislave.

Experiment bol nasimulovaný v klimatickej komore. Relatívna vlhkosť vzduchu sa v komore postupne menila. Počiatočná vlhkosť bola 20% následne sa menila na 50%, 80% a 95%, počas desorpcie zase vzostupne od 95% až nakoniec 20%. Teplota vzduchu v komore bola nemenná a teda 20°C.

Na experiment sa použila jedna vzorka z každého materiálu; vlastnosti použitých materiálov sú uvedené v nasledujúcich kapitolách. Vzorky boli uložené v klimatickej komore, kým sa nedosiahla rovnovážna vlhkosť vzoriek, a teda kým sa hmotnosť skúšobných vzoriek počas opätovného váženia už nezmenila. Ustálenie vzoriek trvalo približne 40 dní pre jednu relatívnu vlhkosť. Vzorka sa považovala za ustálenú, keď po váženiach tri dni po sebe idúcich dní nebol rozdiel v hmotnosti 0,1%.

Vzorky boli vážené na laboratórnych váhach. Po dosiahnutí rovnovážnej vlhkosti vzoriek sa meral koeficient tepelnej vodivosti λ v ustálenom stave prístrojom ISOMET 2114.

Počas doby merania boli vzorky mimo klimatickej komory, ale skladovali sa v plastovej nádobe na zabezpečenie konštantnej vlhkosti.

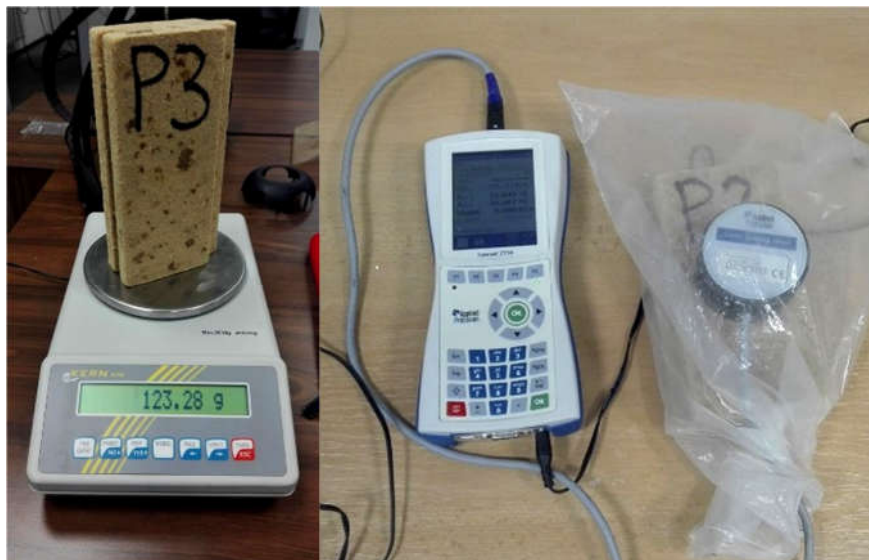
3.3 Použité prístroje a pomôcky

Na experiment sú potrebné nasledujúce zariadenia:



Obrázok 3.3-1 Klimatická komora (autor)

- a) **Klimatická komora** – umožňuje vykonávanie klimatických testov na základe zmeny vlhkosti prostredia. Komora s názvom Binder, model 240, sa používa na simuláciu rýchlych zmien teploty s reguláciou vlhkosti. Pomocou komory bolo následné vytvorené prostredie so stálou relatívnou vlhkosťou.
- b) **Laboratórne váhy** – pre vysokú presnosť merania hmotnosti. Laboratórne váhy s označením SBS-LW-2000A.



Obrázok 3.3-2 Laboratórne váhy a ISOMET 2114 (autor)

- c) **ISOMET 2114** – prenosný systém na meranie vlastností prenosu tepla materiálov. Princíp merania je vo vysielaní impulzov tepelného toku do izolačného materiálu. Táto dynamická metóda umožňuje rapídne skrátiť čas merania v porovnaní s inými metódami merania. Teplotný rozsah prístroja s povrchovou sondou je od $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ v rozmedzí $0,04$ až $6,0\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Presnosť merania (pri $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) je 5% z nameranej hodnoty, keď je $\lambda = 0,015$ až $0,70\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Keď je $\lambda = 0,70$ až $6,0\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, vtedy je presnosť merania 10% z nameraných dát.

3.4 Stanovenie rovnovážnej vlhkosti

Vysušené vzorky sme odvážili a uložili do klimatickej komory s relatívnou vlhkosťou vzduchu 20% . Takto uložené boli vystavované prostrediu necelých 40 dní. Vzorky sa následne znova odvážili a vložili do klimatickej komory, v ktorej sa zvýšila relatívna vlhkosť na 50% . Postup sa ďalej opakoval pri 80% a 95% relatívnej vlhkosti, tým vznikla izoterma sorpcie. Po 95% relatívnej vlhkosti nasledovala klesajúca tendencia, čím sme dostali izotermu desorpcie.

Vzorec na výpočet zmeny rovnovážnej vlhkosti:

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100 [\%] \quad \text{Rovnica 3.4-1}$$

kde:

w – hmotnostná vlhkosť materiálu [%],

m_v – hmotnosť vzorky ovplyvnenej vlhkosťou [g],

m_s – hmotnosť suchej vzorky [g].

3.5 Určenie tepelnej vodivosti

Súčiniteľ tepelnej vodivosti sa stanovil pomocou meracieho prístroja ISOMET 2114. Jeho špecifikácia je popísaná v predchádzajúcej kapitole.

Meranie isometom prebiehalo vždy po zmene relatívnej vlhkosti vzduchu v klimatickej komore a po ustálení rovnovážnej vlhkosti jednotlivých vzoriek. Hodnoty boli zaznamenané do tabuľky a následné vykreslené do grafu počas oboch prebiehajúcich procesov (sorpcie aj desorpcie).

4 Výsledky experimentu

4.1 Vzorky

Simulácia prebiehala s 21 vzorkami rôznych tepelnoizolačných materiálov. Bližšia špecifikácia vzoriek je v predchádzajúcich kapitolách.

Tepelnoizolačné materiály pozostávajú z Ekopanelu E40, ktorý je na báze slamy, z drevovláknitých dosiek PAVATEX a STEICO, zo vzorky izolácie na báze ľanu a konope. Všetky spomenuté materiály sú ekologické, recyklovateľné a z obnoviteľných zdrojov. Porovnávané boli navzájom a s izolačnými materiálmi na báze ropných produktov (EPS, XPS) a s minerálnou vlnou značky Knauf Insulation.

Typ tepelnej izolácie	Značka tepelnej izolácie	Typ izolácie	Hrúbka (mm)
Slamená izolácia	Ekopanel	E 40	38
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Pavaflexlight	60
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Pavatherm Profil	60
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Diffuboard	60
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Pavadentro	40

Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	PavathermCombi	40
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Isorooft	40
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Isolair	35
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Softboard	12
Drevovláknitá izolácia	PAVATEX	Softboard	8
Drevovláknitá izolácia	STEICO	Flex 038	50
Drevovláknitá izolácia	STEICO	Isorel	8
Drevovláknitá izolácia	STEICO	Therm	40
Drevovláknitá izolácia	STEICO	Protect	40
Drevovláknitá izolácia	STEICO	Universal	35
Drevovláknitá izolácia	STEICO	Specialdry	40
Ľanová izolácia	Prírodná izolácia	Ľanová izolácia	50
Konopná izolácia	Prírodná izolácia	HEMP 90	100
Minerálna vlna	Knauf Insulation	Minerálna vlna	50
Expandovaný polystyrén	Isover	EPS	50
Extrudovaný polystyrén	Isover	XPS styrodur	50

Tabuľka 4.1-1 Zoznam použitých materiálov

4.2 Stanovenie hygroskopických sorpčných vlastností - výsledky merania rovnovážnej vlhkosti

Zistené hodnoty nameranej rovnovážnej vlhkosti boli zaznamenané podľa normy ISO 12571 – Tepelno-vlhkostné vlastnosti stavebných materiálov - Stanovenie hygroskopických sorpčných vlastností. Norma rieši dve metódy. Prvú s použitím exikátorov a druhú s použitím klimatizačnej komory.

Na vykreslenie grafov sa použila sorpčná krivka skladajúca sa z aspoň štyroch relatívnych vlhkostí. Sorpčná krivka nazýva aj adsorbčná. To znamená, že táto krivka vybraného materiálu sa vykresľuje postupne sériou narastajúcich rovnovážnych vlhkostí v závislosti od relatívnych vlhkostí pri určitej teplote. Pri desorpčnej krivke naopak vlhkosti klesajú. Referenčné sorpčné krivky sa určili pri teplote 23°C.

Použité vzorky by mali byť v zmysle normy reprezentatívne s minimálnymi rozmermi 100 x 100 mm a minimálnou hmotnosťou 10g.

Vzorky sa vložili do klimatickej komory a po ustálení na prvú relatívnu vlhkosť boli vzorky vybraté a odvážené. Takýmto spôsobom sa na krivke vytvoria postupne štyri body prislúchajúce k jednotlivým rovnovážnym vlhkostiam. Vzorky sa považovali za ustálené, keď

sa tri po sebe nasledujúce váženia po minimálne 24 hodinách nelíšia o viac ako 0,1% hmotnosti vzorky.

Ustáľovanie trvalo od 30-50 dní. V prípade efektívnejšieho adsorbovania by bolo riešenie vzorky zmenšiť. V tomto prípade ale bola snaha experiment previesť podľa normového postupu.

Hmotnostná vlhkosť, respektíve rovnovážna vlhkosť, sa pri každej skúšobnej vzorke vypočítala pomerom hmotnosti rozdielu vlhkej a suchej vzorky k suchej vzorke. Rovnica je popísaná v kapitole 3.4.

VZORKA	Proces	Zmena rovnovážna vlhkosť (%hm.) pri rôznej relatívnej vlhkosti vzduchu (%)			
		20%	50%	80%	95%
EKOPANEL E 40	Sorpcia	1.21	1.66	5.61	15.71
	Desopcia	3.7	0.61	8.02	
PAVATEX Pavaflexlight	Sorpcia	0.33	3.2	9.95	39.52
	Desopcia	3.74	1.14	8.46	
PAVATEX Pavatherm Profil	Sorpcia	0.05	3.68	7.26	17.68
	Desopcia	0.35	4.26	10.65	
PAVATEX Diffuboard	Sorpcia	0.11	3.49	6.44	13.67
	Desopcia	0.62	3.62	8.8	
PAVATEX Pavadentro	Sorpcia	0.19	3.44	8.06	20.43
	Desopcia	0.5	3.94	10.37	
PAVATEX PavathermCombi	Sorpcia	0.11	3.46	6.56	15.64
	Desopcia	1.01	3.31	8.76	
PAVATEX Isoroof	Sorpcia	0.15	3.34	7.32	15.82
	Desopcia	0.17	4.14	10.15	
PAVATEX Isolair	Sorpcia	0.17	3.31	6.58	15.28
	Desopcia	0.84	3.48	8.83	
PAVATEX Swissisolant	Sorpcia	0.29	3.92	6.62	16.63
	Desopcia	0.84	3.72	8.72	
PAVATEX Softboard	Sorpcia	0.3	4,25	7.25	13.75
	Desopcia	0.82	4.01	9.67	
STEICO FLEX 038	Sorpcia	0.3	3.18	8.6	30.03
	Desopcia	3.48	0.66	7.93	
STEICO Isorel	Sorpcia	0.32	3.3	5.97	14.76
	Desopcia	0.86	3.94	8	
STEICO Therm	Sorpcia	0.01	3.44	7.38	19.61
	Desopcia	0.69	3.62	9.72	
STEICO Protect	Sorpcia	0.02	2.85	7.26	20.8
	Desopcia	0.49	3.74	9.91	

STEICO Universal	Sorpcia	0.002	3.22	7.25	17.03
	Desopcia	0.36	3.76	9.59	
STEICO Specialdry	Sorpcia	0.08	3.06	5.68	13.06
	Desopcia	0.83	2.95	7.32	
Panová izolácia	Sorpcia	0.34	0.41	6.82	17.05
	Desopcia	5.79	2.49	2.71	
HEMP 90	Sorpcia	0.05	2.61	6.71	14.52
	Desopcia	0.55	2.34	6.9	
minerálna vlna Knauf	Sorpcia	2.027	1.92	1.89	1.98
	Desopcia	1.62	1.79	1.81	
EPS	Sorpcia	0	0	0.03	0.12
	Desopcia	0.3	0.36	0.34	
XPS	Sorpcia	0	0	0.02	0.23
	Desopcia	0.12	0.15	0.12	

Tabuľka 4.2-1 Hodnoty nameranej rovnovážnej vlhkosti

4.3 Stanovenie tepelnej vodivosti - výsledky merania súčiniteľa tepelnej vodivosti

Skúška stanovenia tepelnej vodivosti bola zrealizovaná podľa STN EN 12667:2001 - Tepelnotechnické vlastnosti stavebných materiálov a výrobkov. Stanovenie tepelného odporu metódou chránenej teplej dosky a metódou meradla tepelného toku. Výrobky s vysokým a stredným tepelným odporom.

Na merania boli použité rovnaké vzorky ako pri meraní rovnovážnej vlhkosti. Po ustálení vzoriek sa Isometom zmeral súčiniteľ tepelnej vodivosti. Každá vzorka bola po jednom vybratá z komory a uzatvorená do plastovej nádoby kvôli zabezpečeniu stálej vlhkosti.

Na Isomete sa prednastavili parametre meraní a to: názov, špecifikácia materiálu, opakovateľnosť merania a predpokladaný rozptyl hodnôt súčiniteľa tepelnej vodivosti. Vďaka prednastaveného rozptylu prístroj vyberá, aké teplo má do materiálu vyslať, aby bola správne určená tepelná vodivosť.

VZORKA	Proces	Súčiniteľ tepelnej vodivosti pri rôznej relatívnej vlhkosti vzduchu (%)				
		počiatočná	20%	50%	80%	95%
EKOPANEL E 40	Sorpcia	0.099	0.0961	0.154	0.153	x
	Desopcia		x	x	x	
PAVATEX Pavaflexlight	Sorpcia	0.038	0.0536	0.0541	0.065	0.0873
	Desopcia		0.054	0.0572	0.0675	
	Sorpcia	0.043	0.0655	0.0744	0.0761	0.0904

PAVATEX Pavatherm Profil	Desopcia		0.0666	0.0716	0.0818	
PAVATEX Diffuboard	Sorpcia	0.044	0.072	0.0832	0.0895	0.0684
	Desopcia		0.0715	0.0737	0.0844	
PAVATEX Pavadentro	Sorpcia	0.043	0.0642	0.0708	0.0741	0.0844
	Desopcia		0.0676	0.0678	0.0778	
PAVATEX PavathermCombi	Sorpcia	0.041	0.0616	0.0663	0.0699	0.0526
	Desopcia		0.0629	0.0615	0.0725	
PAVATEX Isorooft	Sorpcia	0.046	0.0691	0.072	0.0771	0.0876
	Desopcia		0.0667	0.0667	0.0583	
PAVATEX Isolair	Sorpcia	0.047	0.073	0.0768	0.0812	0.0886
	Desopcia		0.0684	0.0658	0.0807	
PAVATEX Swissisolant	Sorpcia	0.046	0.632	0.0722	0.0884	0.0926
	Desopcia		0.0681	0.0708	0.0816	
PAVATEX Softboard	Sorpcia	0.046	0.0624	0.0742	0.0894	0.0933
	Desopcia		0.0696	0.0729	0.0833	
STEICO FLEX 038	Sorpcia	0.038	0.0554	0.0569	0.0695	0.0818
	Desopcia		0.0594	0.0592	0.0695	
STEICO Isorel	Sorpcia	0.05	0.0646	0.0726	0.0888	0.0898
	Desopcia		0.0676	0.0698	0.0783	
STEICO Therm	Sorpcia	0.038	0.0658	0.0696	0.0774	0.0867
	Desopcia		0.0685	0.0711	0.0792	
STEICO Protect	Sorpcia	0.048	0.0693	0.0808	0.0784	0.0882
	Desopcia		0.0704	0.0747	0.081	
STEICO Universal	Sorpcia	0.048	0.0759	0.0817	0.0855	0.0962
	Desopcia		0.0839	0.0815	0.0892	
STEICO Specialdry	Sorpcia	0.04	0.0647	0.0749	0.0734	0.0829
	Desopcia		0.0717	0.0681	0.0748	
Ľanová izolácia	Sorpcia	0.039	0.054	0.059	0.0639	0.0755
	Desopcia		0.0567	0.0574	0.689	
HEMP 90	Sorpcia	0.042	0.0551	0.0635	0.0768	0.077
	Desopcia		0.0568	0.0617	0.086	
minerálna vlna	Sorpcia	0.035	0.0462	0.0521	0.051	0.0492
	Desopcia		0.0475	0.0498	0.0524	
EPS	Sorpcia	0.035	0.0406	0.0446	0.046	0.045
	Desopcia		0.0408	0.041	0.043	
XPS	Sorpcia	0.035	0.0392	0.041	0.047	0.048
	Desopcia		0.0402	0.0449	0.045	

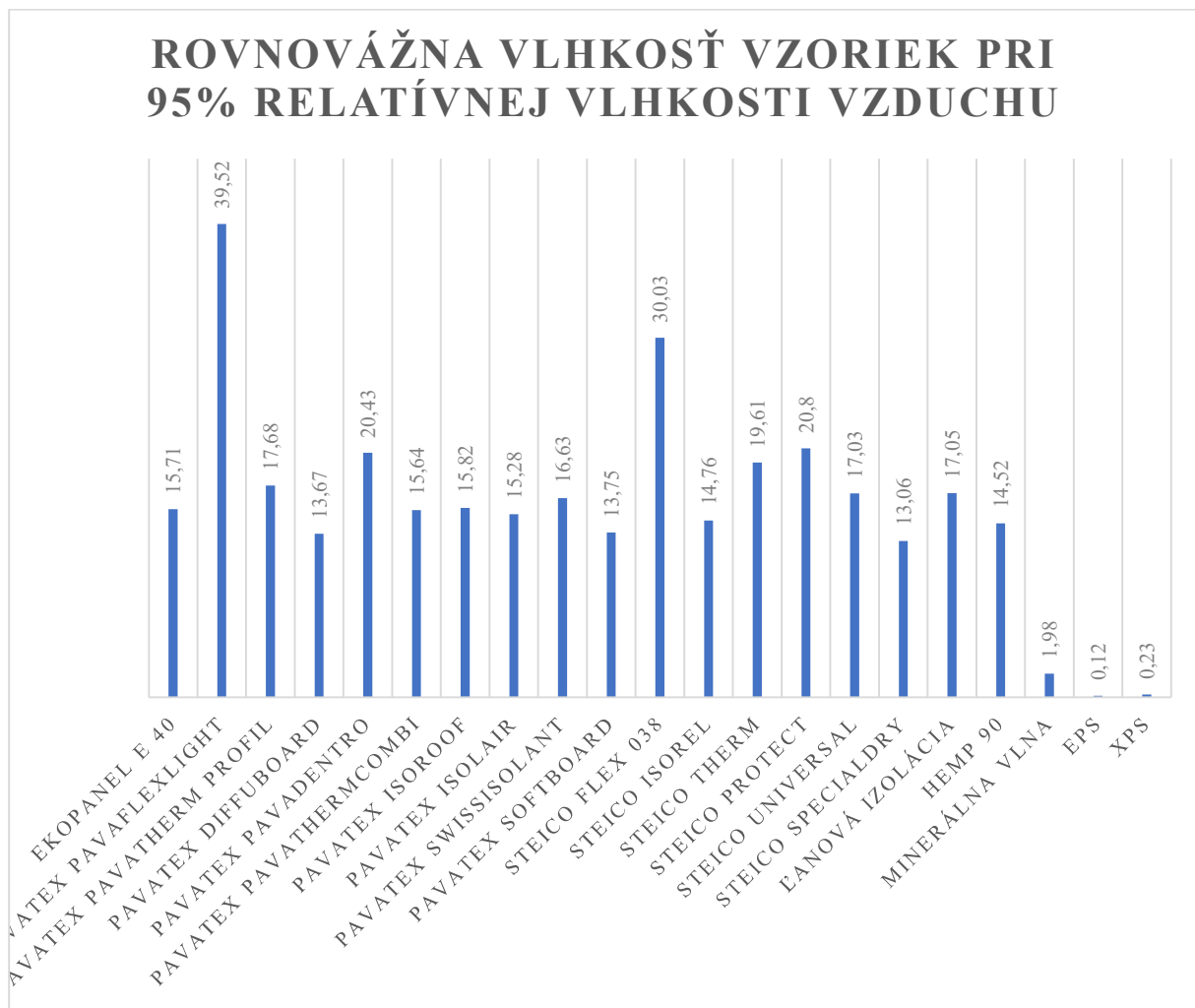
Tabuľka 4.3-1 Výsledky súčiniteľa tepelnej vodivosti pri rôznej relatívnej vlhkosti

Merania začínali prebiehať pri 20% relatívnej vlhkosti vzduchu, bez sušenia alebo akejkoľvek úpravy vzoriek.

Pre tieto tepelnoizolačné materiály sa nastavil rozptyl hodnôt na ISOMETE 0,04 – 0,3 W/m.K. Merania plošnou sondou trvali približne 30 minút pri materiáloch ustálených na 50% relatívnu vlhkosť. Pri materiáloch ustálených na 80% trvali merania plošnou sondou dlhšie, približne 35 minút. Po zmeraní sa s prístroja odčítala zmeraná tepelná vodivosť – λ . Meranie tepelnej vodivosti na každý materiál prebehlo len 1-krát, kvôli veľkému počtu vzoriek.

4.4 Diskusia k nameraným výsledkom

Experiment a samotná simulácia dokázala, že s narastajúcou relatívnou vlhkosťou vzduchu, narastá aj rovnovážna vlhkosť materiálov. Zmena rovnovážnej vlhkosti pri organických materiáloch dosiahla až 30% zvýšenie rovnovážnej vlhkosti počas 95% relatívnej vlhkosti vzduchu oproti pôvodnému suchému stavu.



Graf 4.4-1 Graf zmeny rovnovážnej vlhkosti pri 95% relatívnej vlhkosti vzduchu

Nárast vo veľkej miere znížil kvalitu tepelných izolácií. Medzi vláknitými materiálmi ako sú konopné, drevovláknité a ľanové izolácie a izolácie na anorganickom základe ako je minerálna vlna či polystyrén, bol rozdiel rovnovážnej vlhkosti materiálov približne 28% pri 95% relatívnej vlhkosti vzduchu.

Zvýšením rovnovážnej vlhkosti vzoriek sa zvyšovala aj hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti, čo malo za následok zníženie tepelno-technických vlastností materiálov. Pri opätovnom znížení relatívnej vlhkosti a teda aj rovnovážnych vlhkostí jednotlivých vzoriek materiálov sa tepelno-technické vlastnosti už nevrátili na pôvodné hodnoty, pred začatím experimentu.

Rovnako ako pri sledovaní rovnovážnej vlhkosti materiálov, náchylnejšími na zmeny sú organické materiály. Hodnoty lambdy pri týchto materiáloch boli stanovené výrobcami na približne 0,04 W/m. K. Počas simulácie pri 95% relatívnej vlhkosti vzduchu sa hodnota približovala k 0,08 W/m. K. Tento nárast preto predstavoval až 100% zhoršenie súčiniteľa tepelnej vodivosti.

Pri vzorkách polystyrénu a minerálnej vlny bol deklarovaný súčiniteľ tepelnej vodivosti 0,035 W/m. K. a následne pri 95% relatívnej vlhkosti vzduchu v klimateckej komore sa hodnota lambdy zvýšila na 0,047 W/m. K. Tento nárast predstavoval 34% zhoršenie súčiniteľa tepelnej vodivosti.

5 Diskusia a záver

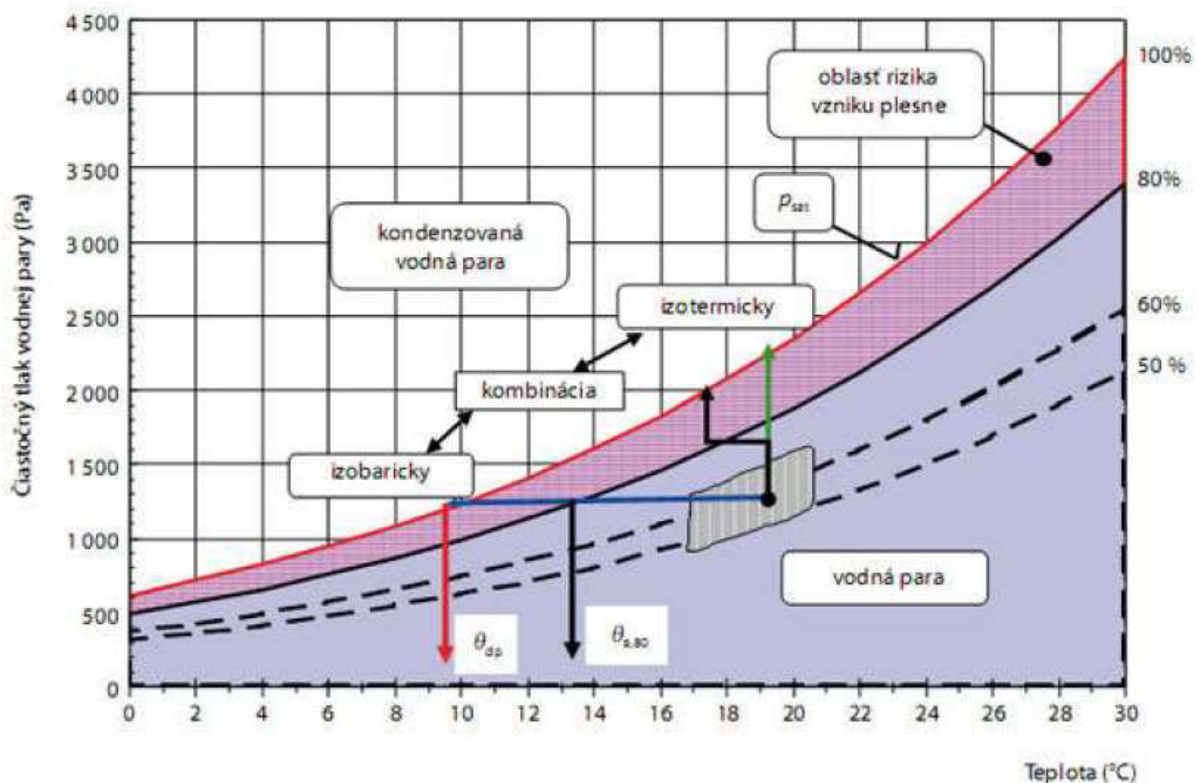
Dizertačná práca bola komplexne zameraná na štúdiu tepelno-vlhkostného správania poréznych materiálov. Experimentálna časť dizertačnej práce bola zameraná na výber porézneho materiálu, jeho charakteristiku a tepelno-technické vlastnosti, vrátane zatriedenia týchto materiálov a ich mechanických vlastností. Vybrané tepelnoizolačné materiály zastúpili širokú škálu zatepl'ovacích prvkov používaných na Slovensku aj v zahraničí.

V dizertačnej práci sa experimentálne zistili a overili vlastnosti materiálov na báze dreva, konope, ľanu, čadiču ale aj ropy a porovnali sa s dostupnými dátami od výrobcov. Skúmala sa rovnovážna vlhkosť, súčiniteľ tepelnej vodivosti a vzájomné závislosti medzi nimi.

Všetky namerané hodnoty a grafické výstupy boli spracované do tabuliek a grafov. Adsorpčné izotermy materiálov sa znázornili pomocou 4 bodov. Hygroskopické vlastnosti materiálov boli sledované pri 20%, 50%, 80%, a 95% relatívnej vlhkosti, bez predchádzajúceho

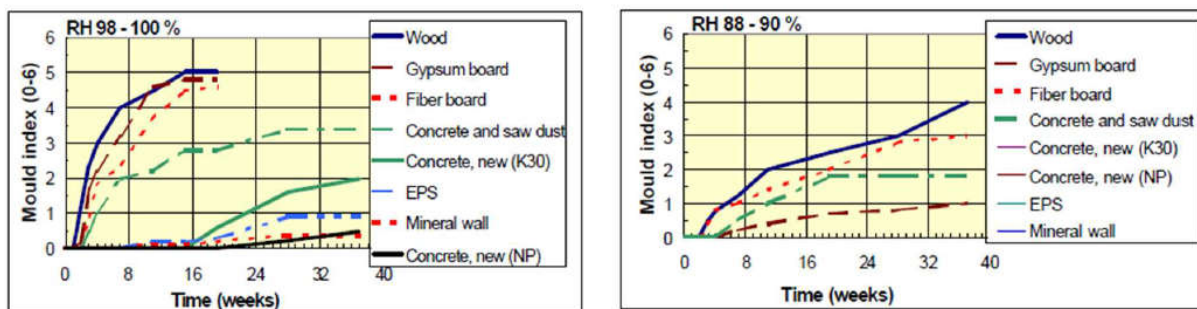
sušenia. Experiment dokázal, že sorpčná schopnosť je približne o 10% vyššia pri tvrdých vláknitých izoláciách a až o 50% vyššia pri mäkkých vláknitých izoláciách. Vláknité dosky sa radia medzi difúzne otvorené materiály, preto aj vznikajú odchýlky pri meraniach a pri takto priepustných materiáloch nehrajú v skutočnom správaní konštrukcie veľkú rolu. Problém môže nastať, keď v nich kondenzuje vlhkosť a vznikajú plesne.

Vystavenie konštrukcie vysokej vlhkosti, spôsobuje vznik mikroorganizmov a rozpad materiálov. Podľa [99] pri vývoji plesní existuje minimálna kritická požiadavka na vlhkosť povrchu konštrukcie, ktorá je medzi 80 a 95%. Táto požiadavka je závislá aj od teplota okolia, času expozície, kvalita, zloženia a povrchové podmienky stavebných materiálov. Nasledujúci graf zobrazuje oblasť vzniku plesní, ktorá je tesne nad pôsobením 80% relatívnej vlhkosti vzduchu.



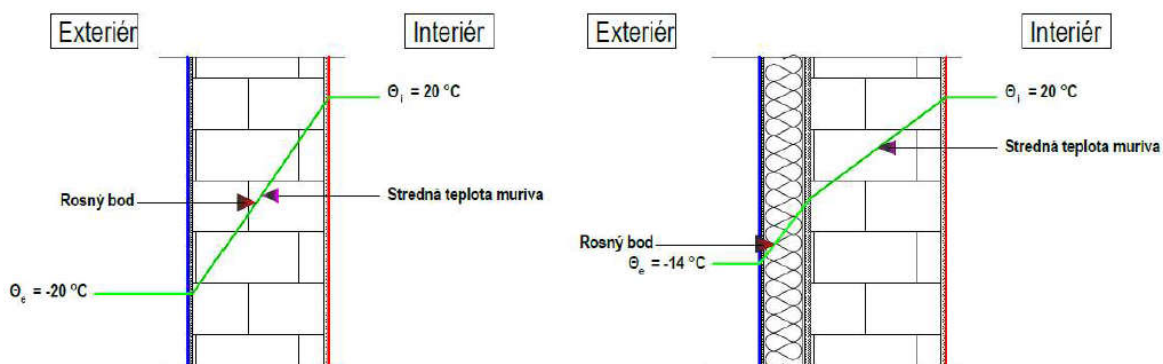
Obrázok 5-1 Diagram vplyvu vlhkosti a teploty na vznik plesní [3]

Na ďalšom grafe je zobrazený samotný rast plesní na rôznych stavebných materiáloch pri relatívnej vlhkosti 98-100 % a pri relatívnej vlhkosti 88-90 %. Graf pozostáva z porovnania indexu rastu plesní (mould index 0-6) počas pôsobenia času (v týždňoch) [3].



Obrázok 54.4-2 Rast plesní na rôznych stavebných materiáloch pri relatívnej vlhkosti 98-100 % a pri relatívnej vlhkosti 88-90 % [3]

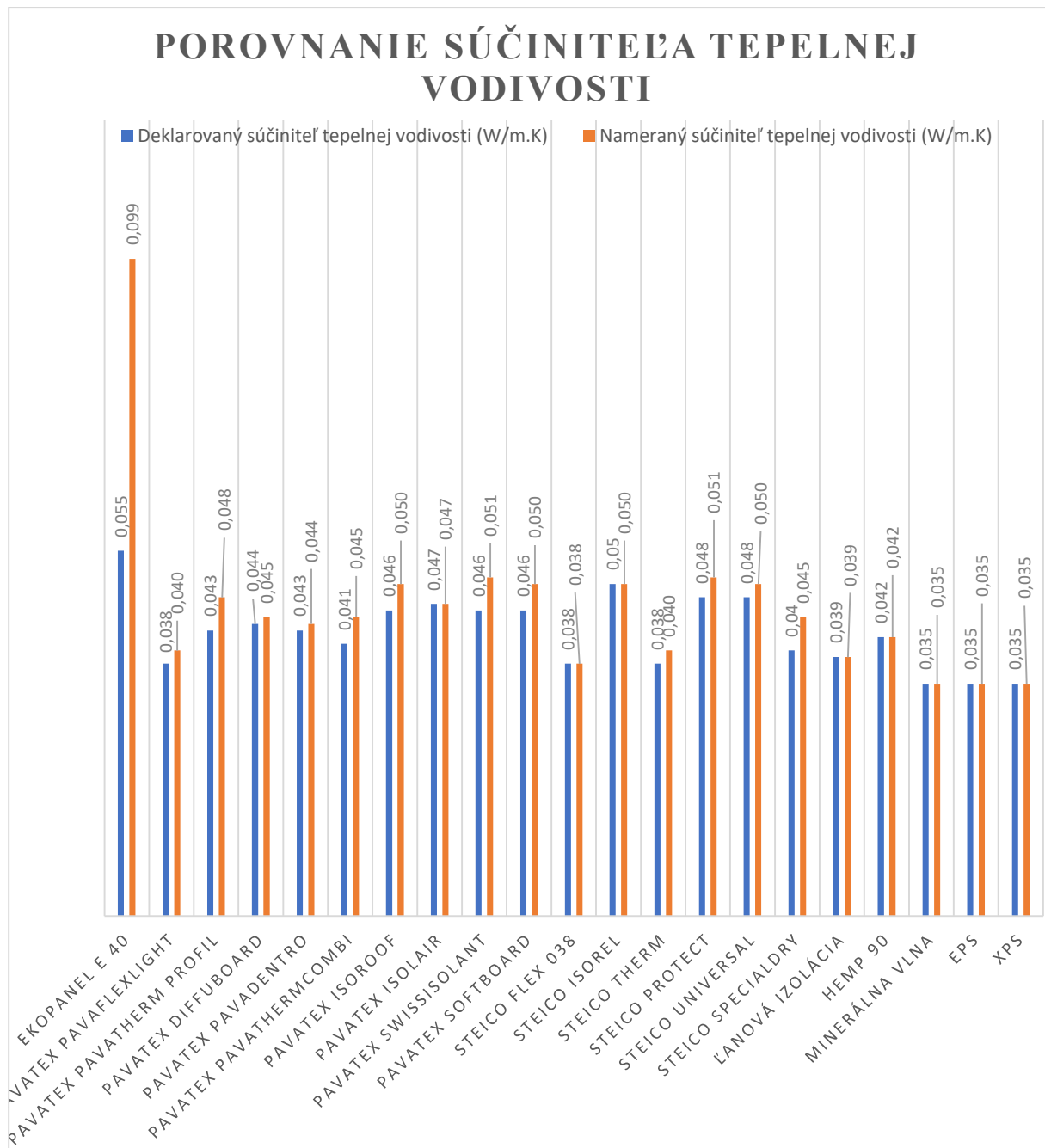
Pri kontaktnom zatepl'ovacom systéme sa vlhkosť vyskytuje hlavne v konštrukcii medzi vrstvami podľa toho, kde je umiestnený rosný bod. Pri aplikácii kontaktného zatepl'ovacieho systému je snaha o posunutie rosného bodu z interiéru do oblasti exteriéru obvodovej konštrukcie, preto je potrebné navrhnuť dostatočne efektívnu tepelnú izoláciu. Zase v takomto prípade nastáva prehrievanie konštrukcie z vnútornej strany. Opäť má ale na vznik plesní vplyv viacero faktorov, napríklad aj orientácia konštrukcie. Podľa [3], kde sa porovnávajú konštrukcie z betónu a z pórobetónu s polystyrénovým zateplením systémom ETICS s hrúbkou 10 cm, sa skúmala hrúbka izolácie a jej vplyv na hydrotermálne vlastnosti. Bolo zistené, že východne a južne orientované steny predstavujú menšie riziko na nárast plesní a mikroorganizmov ako severné a západné steny.



Obrázok 5-3 Príklad priebehu teplôt na nezateplenej a zateplenej konštrukcii a umiestnenie rosného bodu [3]

Pre rovnaké materiály sa prostredníctvom obdobných štyroch bodov určili závislosti súčiniteľa tepelnej vodivosti od vlhkosti pri nemennej teplote 23°C . Experiment potvrdil, že tepelná vodivosť sa s narastajúcou relatívnou vlhkosťou zvyšuje. Hodnoty deklarované

výrobcom sa vo väčšine prípadov nezhodovali s hodnotami nameranými pred experimentom. Je však potrebné dodať, že meranie lambdy výrobcami prebieha neprebieha metódou s Isometom a vonkajšie podmienky sa tiež nezhodujú s okrajovými podmienkami meraní v tejto práci.



Graf 5-1 Súčiniteľ tepelnej vodivosti deklarovaný výrobcami vs. nameraný isometom

Lambda, ktorá je udávaná v technických listoch materiálov je totiž meraná pri teplote 10°C. Preto pri použití parametrov od výrobcov sa môžu zdať konštrukcie vyhovujúce. V prípade, že by boli do simulačných programov použité reálne hodnoty a nie hodnoty deklarované výrobcami, mohla by posudzovaná konštrukcia už nevyhovovať STN 73 0540.

6 Teoretické a praktické prínosy práce

6.1 Poznatky pre ďalší rozvoj

Získané poznatky je možné využiť v ďalšom výskume a nadviazať na prácu, napríklad obdobným porovnaním meraní v exsikátoroch. Taktiež rozšírenie druhov materiálov, vykonanie viacerých skúšok ako sú objemová hmotnosť, stanovenie prestupu vodnej pary a počítačové simulácie. V kombinácii so simuláciou a skúškami na celej konštrukcii môže ísť o komplexný výskum. Ideálnym prípadom je metodika pozostávajúca s aplikácie zabudovaných čidiel v konštrukcii a sledovanie vlhkovstného a teplotného správania izolácie.

Práca sa dá použiť aj ako podklad pri pedagogickom procese, napríklad pri výuke predmetu – Technológia stavieb, Stavebné materiály, Teplototechnika a Stavebná fyzika.

Tému je možné ďalej rozvíjať a súbor informácií o reálnom stave vlhkovstných a teplotných podmienok v kompletnej konštrukcii so zateplením je možné neskôr využiť v ďalších výskumoch vlastností obvodovej konštrukcie a zateplenia alebo pri simulácií prostredia v oblasti zisťovania životnosti takejto konštrukcie.

6.2 Poznatky pre prax

Vzhľadom na reálnu prax výstavby nízkoenergetických a ultranízkoenergetických budov stavebná prax vyžaduje, čo najpresnejšie údaje rovnovážnej vlhkosti a súčasne jej zodpovedajúceho súčiniteľa tepelnej vodivosti stavebných materiálov v rôznych klimatických podmienkach stavby a tiež funkčného využitia stavby. Z toho dôvodu aj výstupy tejto práce budú dôležité pre zefektívnenie projekčnej činnosti, pri výpočte tepelnej náročnosti a energetickej efektívnosti budov. Predmetné dáta sú tiež potrebné pre spracovanie konštrukčných detailov stavby, potrebných pre BIM systémy moderného projektovania a posudzovania stavieb.

*Experiment bol podporovaný grantom z Programu na podporu mladých výskumníkov 2018.
Materiálové zabezpečenie experimentu a všetky použité vzorky boli dodané firmami Tepore
s.r.o., Izoleko s.r.o. a Knauf Insulation s.r.o.*

Laboratórne podmienky a samotný experiment prebehol na Stavebnej fakulte v UVP.

Vybraný zoznam použitej literatúry

- [1] Yortos, Y. C., Stubos, A. K.: Colloid Interface Sci 6, 2001.
- [2] Mrlík, F.: Vlhkostné problémy stavebných materiálov a konštrukcií. Bratislava: Alfa, 1985.
- [3] Belániová, B.: Patológia kontaktných zatepľovacích systémov. Využitie technológie „Double ETICS“ pri obnove zateplenia s biokoróziou. Dizertačná práca. Bratislava: SvF, STU, 2020
- [4] Hellová, K. E.: Porovnanie bilancie vlhkosti v závislosti od materiálovej skladby rôznych ekologických obvodových konštrukcií drevostavieb. Diplomová práca. Bratislava: SvF, STU, 2017.
- [5] Fokin, F. K.: Stavebná tepelná technika príľahlých častí budov, 1953
- [6] Glaser, H.: Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. Kältetechnik, 1958
- [7] Halahyja, M.: Nové tepelnotechnické problémy pozemných stavieb. Bratislava: Vydavateľstvo SAV, 1968
- [8] Řehánek, J.: Tepelná akumulace budov. Praha: ČKAIT, 2002. 80-86364-59-3.
- [9] Halahyja, M.: Tepelná technika z hľadiska stavebných konštrukcií. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1959
- [10] Šála, J., a kolektív. Komentár k ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Praha: ČKAIT, 2008, ISBN: 978-80-87093-30-6
- [11] Ponechal, R.: Simulácie Budov. Žilina: EDIS, 2015, ISBN 978-80-554-1066-1
- [12] Bielek, M.: Budova a Energia. Banská Bystrica: Vidas, 1995, ISBN: 80-85306-07-7
- [13] Künzel, H.: WUFI. Dostupné online 3. 8 2019: <http://www.wufi.de/>
- [14] Grunewald, J.: Diffusiver und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen. Dresden: TU Dresden, 1996, Dizertačná práca
- [15] Slávik, R.: Hygrotermálna odozva stavebných konštrukcií, VUT Brno, 2019, Dizertačná práca
- [16] Pedersen, C. R.: Combined heat and moisture transfer in building construction, Lyngby TU Denmark, 1990, Dizertačná práca

- [17] STN 73 0540 - Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Bratislava, Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo, 2012
- [18] EN ISO 13 788 - Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Brussels, Comité Européen de Normalisation, 2012
- [19] Husek, P.: Obvodový plášť rámovej drevostavby z pohľadu tepelne vlhkosťného chovania, Brno: 2008
- [20] D. Fidiriková: Úloha vody v poréznych štruktúrach, Dizertačná práca, Fyzikálny ústav SAV, Bratislava, jún 2012
- [21] Pel, L.: Moisture transport in porous building materials, Technische Universiteit Eindhoven, 1995
- [22] Matiašovský, P., Veselský, J., Koronthályová, O., Puškár, A.: Komplexný prenos tepla, vzduchu a vody v konštrukciách budov, Slovenská technická univerzita v Bratislave 2007
- [23] Kunzel, H. M.: Simultaneous heat and moisture transport in buildings components, Fraunhofer Institute of buildings Physics, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1995
- [24] Krums, M., Kunzel, H. M., Kiessl, K.: Use of advanced measuring and calculative procedures for moisture assessment of building elements, Fraunhofer Institute of buildings Physics, Holzkirchen
- [25] Hassanizadeh, S. M., Celia, M.A., Dahle, H. K.: Dynamic Effect in the Capillary Pressure Saturation Relationship and its Impacts on Unsaturated Flow, Vados Zone Journal, 2002
- [26] Strečková, E.: Měření tepelně-vlhkostních vlastností materiálů na bázi dřeva. Diplomová práca, ČVUT Praha, 2017

Zoznam publikačnej činnosti

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

- ADE01 **HELLOVÁ, Katarína Eva - STRUHÁROVÁ, Alena - LAJOŠOVÁ, Tatiana.**
Prehľad a porovnanie rôznych skladieb murovaných obvodových konštrukcií. In *Czech Journal of Civil Engineering [elektronický zdroj]*. Vol. 5, iss. 1 (2019), online, s. 68-74. ISSN 2336-7148.

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

- ADF01 **HELLOVÁ, Katarína Eva** - UNČÍK, Stanislav - CABANOVÁ, Terézia. Sorpčné charakteristiky tepelnoizolačných materiálov na báze ľanu a konope. In *Mladá veda [elektronický zdroj]*. Vol. 8, No. 1 (2020), online, s. 92-100. ISSN 1339-3189.
- ADF02 **HELLOVÁ, Katarína Eva** - ŠŤASTNÝ, Patrik. Experimentálne sledovanie sorpčných charakteristík minerálnej vlny v klimatickej komore. In *Mladá veda [elektronický zdroj]*. Vol. 8, no. 2 (2020), online, s. 1-8. ISSN 1339-3189.

ADN Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

- ADN01 **HELLOVÁ, Katarína Eva** - UNČÍK, Stanislav - CABANOVÁ, Terézia. Sorption Properties of Thermal Insulation Composed of Flax or Hemp Fibers. In *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 28, no. 3 (2020), s. 47-52. ISSN 1210-3896. V databáze: DOI: 10.2478/sjce-2020-0023 ; WOS: 000580598300007.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- AFC01 **HELLOVÁ, Katarína Eva** - STRUHÁROVÁ, Alena - KOSTELECKÁ, Michaela. The Comparison of Moisture Balance of Diffusion-Open and Diffusion-Closed Structure of a Building Envelope. In *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings : proceedings of the 19th Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings. Praha, ČR, 23. - 24. 11. 2017*. 1. vyd. Zurich : Trans Tech Publications, 2018, S. 23-28. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-1361-9. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85053039552 ; DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.776.23.
- AFC02 **HELLOVÁ, Katarína Eva** - STRUHÁROVÁ, Alena - LAJOŠOVÁ, Tatiana - KOSTELECKÁ, Michaela. Design and Comparison of the Different Material Compositions of the External Masonry Construction of the Building. In *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings III : selected peer-reviewed full text papers from 21st Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings, November 28-29, 2019, Prague, Czech Republic*. 1. vyd. Baech (Switzerland) : Trans Tech Publications,

2020, S. 79-85. ISSN 1013-9826. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85096425251 ; DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.868.79.

AFC03 **HELLOVÁ, Katarína Eva - CABANOVÁ, Terézia.** Skúmanie tepelnoizolačných materiálov pri zmene relatívnej vlhkosti počas experimentálnej simulácie v klimateckej komore. In *Juniorstav 2021 [elektronický zdroj] : sborník príspevků. 23. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 28.1.2021 = Juniorstav 2021, proceedings of the 23th International Conference of Doctoral Students. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2021, online, s. 584-589. ISBN 978-80-86433-75-2.*

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 **HELLOVÁ, Katarína Eva - STRUHÁROVÁ, Alena.** Optimization of thermal insulation of external walls of wooden frame constructions. In *Construmat 2018 [elektronický zdroj] : Herľany, SR, 13. - 15. 6. 2018. 1. vyd. London : IOP Publishing, 2018, online, art. no. 012017, [7] s. ISSN 1757-8981. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85051387766 ; DOI: 10.1088/1757-899X/385/1/012017.*

Ohlasy:

1. [1] BIRJUKOV, Aleksandr - DOBRYSHKIN, Evgeniy - BIRJUKOV, Yurii - TISHCHENKO, Vladimir. Complex approach to organizations' capital assets reproduction. In *E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 157, pp. ISSN 2555-0403.*, Registrované v: SCOPUS
2. [1] BIRJUKOV, Aleksandr - LEBEDKIN, Anatoly - BIRJUKOV, Yurii - PCHELKIN, Viktor. Determination of the type of repair work based on the results of survey and monitoring of the technical condition of buildings. In *E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 157, pp. ISSN 2555-0403.*, Registrované v: SCOPUS
3. [1] BIRYUKOV, Yu - MAKAROV, R. - DOBRYSHKIN, E. Method for justification options for housing stock reconstruction. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 945, no. 1, pp. ISSN 1757-8981.*, Registrované v: SCOPUS

AFD02 **HELLOVÁ, Katarína Eva.** Programové porovnanie množstva skondenzovanej vodnej pary v obvodovej konštrukcii drevostavby. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 28th Annual PhD Student*

Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 24th 2018, Bratislava. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2018, CD-ROM, s. 123-128. ISBN 978-80-227-4864-3.

AFD03 **HELLOVÁ, Katarína Eva.** Rôzne skladby obvodových konštrukcií so zateplením ETICS. In *CTM 2019 - Construction Technology and Management [elektronický zdroj] : proceedings of the International Scientific Conference. December 12-13, 2019 Kočovce, Slovakia.* 1. vyd. Brno : Tribun EU, 2019, CD-ROM, s. 66-72. ISBN 978-80-263-1549-0.

AFD04 **HELLOVÁ, Katarína Eva.** Porovnanie skladieb murovaných obvodových konštrukcií s dodatočným zateplením ETICS. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 29th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 16th 2019, Bratislava.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 79-85. ISBN 978-80-227-4972-5.

AFD05 **HELLOVÁ, Katarína Eva.** Sledovanie sorpčných charakteristík tepelných izolácií s organickým a anorganickým základom. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 109-117. ISBN 978-80-227-5052-3.

AFD06 STRUHÁROVÁ, Alena - **HELLOVÁ, Katarína Eva**. Pôsobenie hydrofobizačného prostriedku na vlhkosť v murivách z pórobetónu. In *Construmat 2017 - International Conference on Structural Materials [elektronický zdroj]* : zborník recenzovaných príspevkov z XXIII. medzinárodnej konferencie. Kočovce, SR, 31. 5. - 2. 6. 2017. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2017, CD-ROM, s. 39-43. ISBN 978-80-227-4689-2.

BCI Skriptá a učebné texty

BCI01 STRUHÁROVÁ, Alena - LAJOŠOVÁ, Tatiana - **HELLOVÁ, Katarína Eva**. *Materiály pre obvodové plášte nízkoenergetických budov*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020. 83 s. Edícia skrípt. ISBN 978-80-227-5044-8.

BDF Odborné práce v ostatných domácich časopisoch

BDF01 BLADOVÁ, Diana [Bladová, Diana] - UNČÍK, Stanislav - **HELLOVÁ, Katarína Eva**. 3D printing and its current state in civil engineering. In *Buildustry [elektronický zdroj]*. Roč. 4, č. 1 (2020), CD-ROM, s. 18-21. ISSN 2454-0382.

BDF02 **HELLOVÁ, Katarína Eva** - BLADOVÁ, Diana [Bladová, Diana] - BEDERKA, Marián. Comparison of the External Masonry Wall Parameters Insulated by the ETICS System with regard to the Thermal Technical Standard. In *Buildustry [elektronický zdroj]*. Roč. 4, č. 1 (2020), CD-ROM, s. 22-25. ISSN 2454-0382.