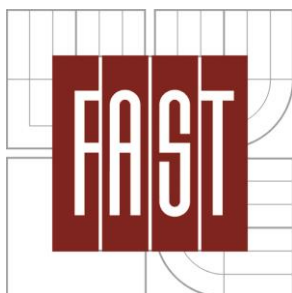


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS
AND COMPONENTS

VÝVOJ A VÝZKUM ENVIRONMENTÁLNĚ ÚSPORNÝCH IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ

DEVELOPMENT AND TESTING OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY INSULATION MATERIALS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

OBOR

3911V006 FYZIKÁLNÍ A STAVEBNĚ MATERIÁLOVÉ
INŽENÝRSTVÍ

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. Bc. JITKA HRODOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2013

Klíčová slova:

Izolační materiály, přírodní vlákna, tepelně izolační a akustické vlastnosti, sorpční vlastnosti, technické konopí, len.

Key words:

Insulation materials, natural fibres, thermal insulation and acoustic properties, sorption properties, technical hemp, flax.

Název pracoviště:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

OBSAH

1 ÚVOD	5
2 CÍL PRÁCE	5
3 METODIKA PRÁCE.....	6
4 VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH ETAP.....	9
4.1 <i>Výsledky etapy I</i>	9
4.2 <i>Výsledky etapy II</i>	9
4.3 <i>Výsledky etapy III.....</i>	10
4.4 <i>Výsledky etapy IV.....</i>	12
4.5 <i>Výsledky etapy V</i>	18
5 ZÁVĚR.....	19
6 POUŽITÁ LITERATURA	20
7 CURRICULUM VITAE	22
ABSTRACT	28

1 ÚVOD

Současná moderní doba klade velký důraz na vývoj nových perspektivních stavebních materiálů, které nebudou mít negativní dopad na životní prostředí, budou finančně dostupné a budou disponovat optimálními vlastnostmi vzhledem k jejich použití. Izolační materiály byly a jsou stále velmi důležitým článkem při provádění stavebních konstrukcí. Jejich vhodná aplikace a správná funkce ve stavebních objektech má velký podíl na stav životního prostředí, které výrazně ovlivňuje podmínky pro život obyvatelstva Země. Proto je možné sledovat neustálý zájem mnoha vědeckých týmů po celém světě vyvíjet nové, perspektivní, environmentálně úsporné izolační materiály. Celosvětovým trendem se v posledních letech stává návrat k využití přírodních surovinových zdrojů, případně využití recyklovaných či odpadních materiálů.

K nejstarším, od pradávna používaným, tepelně izolačním materiálům patřily především materiály na bázi přírodních surovin, např. rákos, sláma, seno, len, konopí, lišejníky. S rozvojem společnosti a se zvyšujícími se nároky na provádění a kvalitu staveb byly tyto materiály postupně nahrazeny novými, syntetickými materiály, ve větší míře se jednalo o polymerní materiály, např. polystyren, polyuretan, polyvinylchlorid (PVC), polyetylen (PE) a anorganické syntetické materiály, např. minerální vlna. [1]

Výroba, v současnosti používaných, izolačních materiálů je značně náročná nejen po stránce energetické, surovinové, ale i finanční. Proto je snaha o nalezení snadno dostupných alternativních surovinových zdrojů, přičemž z environmentálního hlediska a z hlediska trvale udržitelného rozvoje se jeví jako velmi výhodné využít snadno obnovitelné, lokální surovinové zdroje, nezatěžující životní prostředí, za předpokladu následného zpracování s nízkou energetickou náročností. Což je také v souladu s energeticko-klimatickým balíčkem „20-20-20“ schváleným Evropským Parlamentem a Radou v roce 2008, uzákoněným v červnu 2009. [2] Snadno obnovitelné materiálové zdroje jsou významné i z pohledu udržitelnosti materiálových zdrojů, která je jednou z šesti prioritních oblastí zaměření VaVaI v ČR do roku 2030 (dle usnesení vlády č. 552 ze dne 19. 7. 2012).

Jednou z možností řešení je využití přírodních surovinových zdrojů původem ze zemědělství. Další perspektivní variantu řešení představují odpadní průmyslové látky, případně průmyslové recykláty. Efektivním využitím jejich vlastností je možné budovat moderní stavby vytvářející tepelnou pohodu a dobré vlhkostní mikroklima.

Používání kvalitních tepelně izolačních materiálů, správný návrh energeticky úsporných stavebních konstrukcí a v neposlední řadě dodatečné zateplování stávajících konstrukcí má klíčový význam ve snížení jejich energetické náročnosti. Tím dochází k omezení emisí plynů, sazí a prachu, což má přímý vliv na zlepšení životního prostředí. V současnosti je tato problematika obzvláště významná s přihlédnutím k negativním aspektům globálního oteplování a dále z pohledu podmínek Kjótského protokolu, který Česká republika ratifikovala v říjnu roku 2001, dále pak s přihlédnutím ke směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU a požadavkům zákona č. 406/2000 Sb. - o hospodaření energií a souvisejících předpisech (ve znění zákona 318/2012 Sb. ze dne 3. 10. 2012), a dále již výše zmíněným energeticko-klimatickým balíčkem „20-20-20“. [3]

2 CÍL PRÁCE

Obliba přírodních tepelných izolací ve světě neustále stoupá. Vzhledem k tomu, že v blízké budoucnosti bude dle Zákona č. 318/2012 Sb. snaha o výstavbu budov s nulovou spotřebou energie, lze očekávat zvyšující se poptávku po izolačních materiálech, což bude mít i pozitivní vliv na využití netradičních, alternativních izolací na bázi přírodních vláken.

Cílem disertační práce je vývoj a výzkum vlastností environmentálně úsporných izolačních materiálů na bázi alternativních surovinových zdrojů, zejména přírodních, snadno obnovitelných zdrojů či odpadních materiálů z průmyslové produkce, které by našly uplatnění ve stavebnictví. Tyto materiály by měly disponovat dobrými fyzikálními, akustickými, případně i mechanickými vlastnostmi, přičemž jejich tepelně technické vlastnosti by měly být srovnatelné s vlastnostmi klasických tepelně izolačních materiálů běžně používaných ve stavebnictví.

Hlavní náplní disertační práce je studium tepelně vlhkostních charakteristik vyvinutých izolačních materiálů, což je největším přínosem této práce. Získané poznatky slouží jako podklady pro provedení výpočtových simulací, na základě jejichž výsledků je možné provést návrh možného uplatnění vyvinutých izolačních materiálů v novodobých konstrukcích.

3 METODIKA PRÁCE

Řešení disertační práce bylo rozčleněno do pěti na sebe navazujících etap.

Vzhledem k tomu, že práce byla zaměřena na vývoj environmentálně úsporných izolačních materiálů z alternativních surovinových zdrojů, jejichž vlastnosti budou srovnatelné s běžně používanými izolačními materiály na stavebním trhu, byla v rámci **první etapy** provedena analýza možného využití přírodních vláken (ze snadno obnovitelných surovinových zdrojů) pro výrobu zkušebních těles. Nejprve byl proveden průzkum v oblasti již využívaných přírodních zdrojů na základě dostupných literárních podkladů, dále pak byly vyhledány další možné alternativní surovinové zdroje, kde stěžejní podmínkou byla navíc snadná dostupnost pro vědecké účely. [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] Jako základní surovinový zdroj pro získání izolačních materiálů na přírodní bázi byla zvolena vlákna technického konopí, která byla porovnávána s dalšími vybranými přírodními vlákny, jednalo se o vlákna ze lnu setého, juty a odpadní vlákna ovčí vlny. K těmto přírodním vláknům byla zvolena klasická pojiva, dnes nejčastěji používaná polyesterová bikomponentní vlákna pro termické pojení. Jedná se o vlákna tvořená 2 složkami, jádro tvoří vrstva vysokoteplotního polyesteru, který odolává teplotám 140 °C, obal vlákna je tvořen nízkoteplotním polyesterem, který díky této vlastnosti dokáže při výrobě za zvýšené teploty spojit jednotlivá přírodní vlákna. Tato část etapy byla dále zaměřena na provedení základních měření u získaných vláknitých surovinových zdrojů, konkrétně se jednalo o stanovení tloušťky vláken a součinitele tepelné vodivosti. Na základě zjištěných vlastností pak byl proveden výběr vhodných vstupních surovin. Mezi základní kritéria patřily nejenom užitné vlastnosti, ale také ekonomické aspekty jednotlivých vstupních složek.

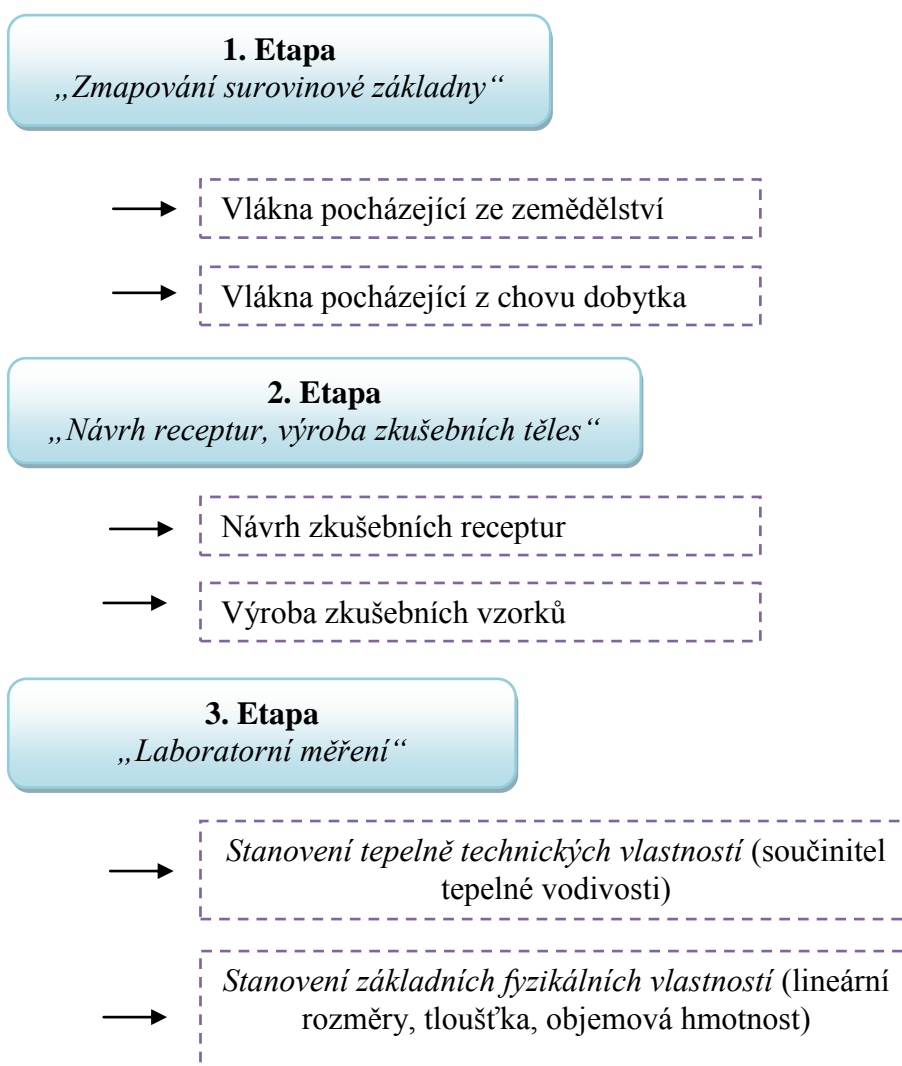
Na základě provedeného průzkumu v první etapě byl proveden v **druhé etapě** návrh devíti zkušebních receptur z vytipovaných vstupních surovin (z etapy I). Jednalo se o vlákna technického konopí, lnu, juty a pojivová bikomponentní vlákna. Při návrhu kompozice zkušebních vzorků byl brán zřetel na jejich předpokládanou oblast využití v konstrukci (izolace lehkých příček, izolace šikmých střech, izolace lehkých obvodových plášťů, izolace podlahových konstrukcí). Zkušební tělesa byla vyrobena o daném složení a definovaných rozměrech pro následná laboratorní testování na výrobní lince umožňující zpracování vláknitých materiálů, kterou vlastní firma CANABEST, s.r.o. v Břeclavi-Poštorné (technologie termického pojení).

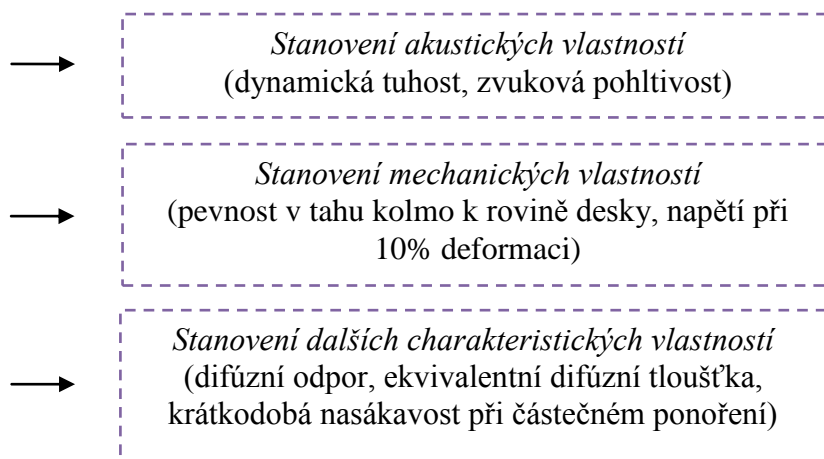
Náplní **třetí etapy** bylo provedení a vyhodnocení základních laboratorních měření klíčových vlastností na připravených zkušebních vzorcích o normových rozměrech. Jednalo se o provedení stanovení: základních fyzikálních vlastností (stanovení tloušťky, lineárních rozměrů a objemové hmotnosti), tepelně technických vlastností (stanovení součinitele tepelné vodivosti), akustických vlastností (stanovení dynamické tuhosti a činitele zvukové pohltivosti), mechanických vlastností

(stanovení napětí při 10% deformaci a pevnosti v tahu kolmo k rovině desky) a dalších vlastností (stanovení faktoru difúzního odporu, ekvivalentní difúzní tloušťky a krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření).

Čtvrtá etapa byla věnována studiu tepelně vlhkostního chování zkušebních vzorků z vyvinutých izolačních materiálů za účelem získání dalších podkladních dat pro výpočtové posouzení jejich chování po zabudování do stavební konstrukce. Bylo provedeno stanovení sorpčních vlastností vyvinutých materiálů a studium závislosti součinitele tepelné vodivosti na nejvýznamnějších faktorech, tj. teplotě, vlhkosti a objemové hmotnosti. Poté byl proveden optimalizační výpočet za účelem výběru vhodných zkušebních receptur pro dané aplikace v konstrukci. Na základě naměřených dat a výsledků optimalizačního výpočtu byly provedeny výpočtové simulace reálného chování vyvíjených materiálů ve stavební konstrukci po zabudování (pro výpočty byly využity programy WUFI[®]2D a Therm). V závěru etapy bylo provedeno celkové zhodnocení možnosti použití vyvinutých materiálů pro plánované aplikace v reálných stavebních konstrukcích.

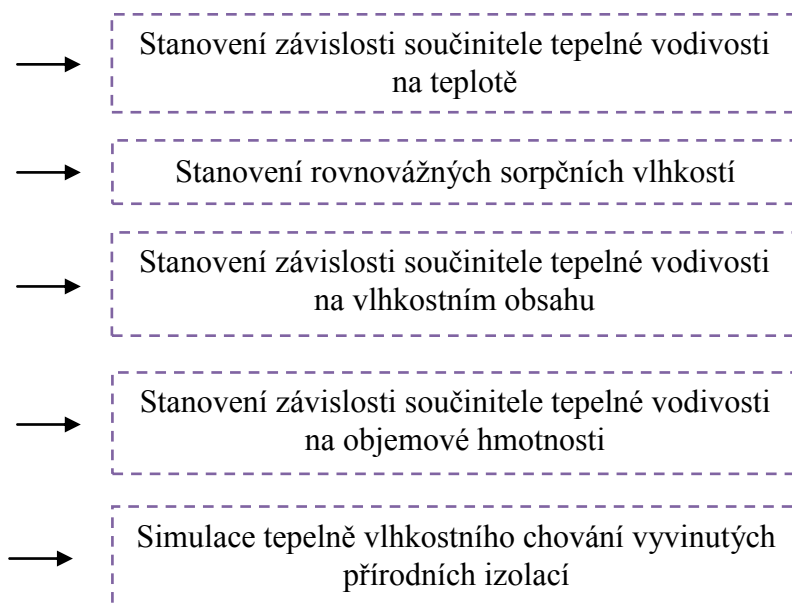
Závěrečná **pátá etapa** byla věnována celkovému vyhodnocení jednotlivých dílčích etap a zhodnocení vlastností vyvinutých přírodních materiálů na bázi přírodních vláken. Získané charakteristiky u nově vyvinutých přírodních izolací byly porovnány s dnes běžně dostupnými izolačními materiály na trhu. Byl proveden návrh možné aplikace materiálů v reálných konstrukcích.





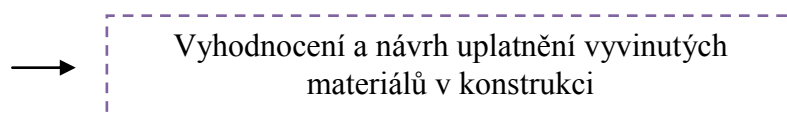
4. Etapa

„Stanovení sorpčních charakteristik a simulace chování vyvinutých materiálů v praxi“



5. Etapa

„Závěrečné vyhodnocení a uplatnění vyvinutých materiálů v praxi“



Obr. 1 Schéma jednotlivých etap disertační práce

4 VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH ETAP

4.1 VÝSLEDKY ETAPY I

Na základě provedené rešerše z dostupných odborných příspěvků, uveřejněných v odborných zahraničních databázích (Thomson Reuters, Scopus) a zmapování dostupné materiálové základny byly vybrány následující skupiny vstupních surovinových zdrojů pro vývoj izolačních materiálů:

- vlákna pocházející ze zemědělství (technické konopí (ČR), len (ČR), juta (Asie)),
- vlákna pocházející z chovu dobytka (odpadní ovčí vlna – typ A, typ B (ČR)).

Výše uvedené přírodní surovinové zdroje, zejména konopná vlákna, lněná vlákna a vlákna z ovčí vlny, byly v minulosti hojně využívány ve stavebnictví, zejména pro izolaci staveb, avšak vzhledem k modernizaci a vývoji moderních kompozitních a plastických hmot byly postupně jimi vytlačeny a nahrazeny. S ohledem na cíl této práce byl zvolen právě návrat k těmto přírodním zdrojům.

Na vzorcích přírodních vláken byl proveden mikroskopický rozbor, přičemž na reprezentativním vzorku 30 vláken (od každé suroviny) byla stanovena průměrná tloušťka a distribuce tloušťky vláken. Dále pak bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti na vrstvě vláken uložených za laboratorních podmínek (teplota 23 °C, relativní vlhkosti 50 %), která byla zhuštěna na objemovou hmotnost 25 kg.m⁻³, přičemž převažující orientace vláken byla kolmo na směr tepelného toku. Měření bylo provedeno v ustáleném stavu při střední teplotě +10 °C a teplotním spádu 10 K. Vyhodnocení tloušťky a součinitele tepelné vodivosti je uvedeno v tabulce 1 níže.

Tab. 1 Přehled vlastností vláken

<i>Druh vláken</i>	<i>Průměrná tloušťka vláken $d_m [\mu\text{m}]$</i>	<i>Součinitel tepelné vodivosti v ustáleném stavu $\lambda_{10} [W.m^{-1}.K^{-1}]$</i>
Konopná vlákna	155,2	0,0620
Lněná vlákna	111,1	0,0650
Jutová vlákna	94,2	0,0580
Ovčí vlna – typ A	23,2	0,0410
Ovčí vlna – typ B	33,1	0,0450

Na základě zjištěných skutečností lze konstatovat, že v současné době existuje v ČR široká škála potenciálních surovinových zdrojů, které mohou být využity při výrobě přírodních izolačních materiálů s použitím ve stavebním průmyslu. Tyto ekologické, vstupní suroviny představují vysoký potenciál pro možné zpracování do podoby měkkých izolačních rohoží. Jako stěžejní pro výzkumnou činnost a vývoj přírodních izolačních materiálů byla zvolena konopná a lněná vlákna. Ačkoliv odpadní vlákna z ovčí vlny vykazovala nejlepší tepelně izolační vlastnosti, z dlouhodobého hlediska není možné zaručit dostatečnou a flexibilní dodávku vláken, která by byla potřebná pro velkoobjemovou výrobu stavebních izolací. U vláken juty vyvstává naopak problém s komplikovaností dodávky.

4.2 VÝSLEDKY ETAPY II

Návrh jednotlivých zkušebních receptur řešených v rámci disertační práce byl proveden na základě získaných informací z literárních rešerší z předchozí etapy I, s ohledem na předpokládané

využití izolačních rohoží ve stavební konstrukci. Záměrně byly zvoleny různé poměry základních tří složek (vlákna:pojivová vlákna:pazdeří). V podstatě se jednalo o čtyři typy poměrů: 1) 68:20:12, 2) 48:20:32, 3) 64:20:16, 4) 49:10:41. Výroba zkušebních těles proběhla na výrobní lince firmy Canabest, s.r.o. v Břeclavi-Poštorné. Téměř všechny zkušební sady vykázaly požadované hodnoty objemových hmotností.

Tab. 2 Přehled jednotlivých receptur

Označení zkušební sady	Typ vlákna	Hmotnostní procentuální podíl jednotlivých vstupních komponent [%]		
		Přírodní vlákna	Pojivová vlákna	Pazdeří
1	Juta	68	20	12
2	Len	68	20	12
3	Konopí	48	20	32
4	Konopí	68	20	12
5	Konopí	48	20	32
6	Konopí	48	20	32
7	Konopí	48	20	32
8	Konopí	64	20	16
9	Konopí	49	10	41

4.3 VÝSLEDKY ETAPY III

Jelikož se jedná o vývoj izolačních materiálů, jak tepelně izolačních, tak i akusticko izolačních, bylo provedeno stanovení níže uvedených klíčových vlastností v souladu s platnými normovými postupy z řady norem pro tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví a z oblasti akustiky.

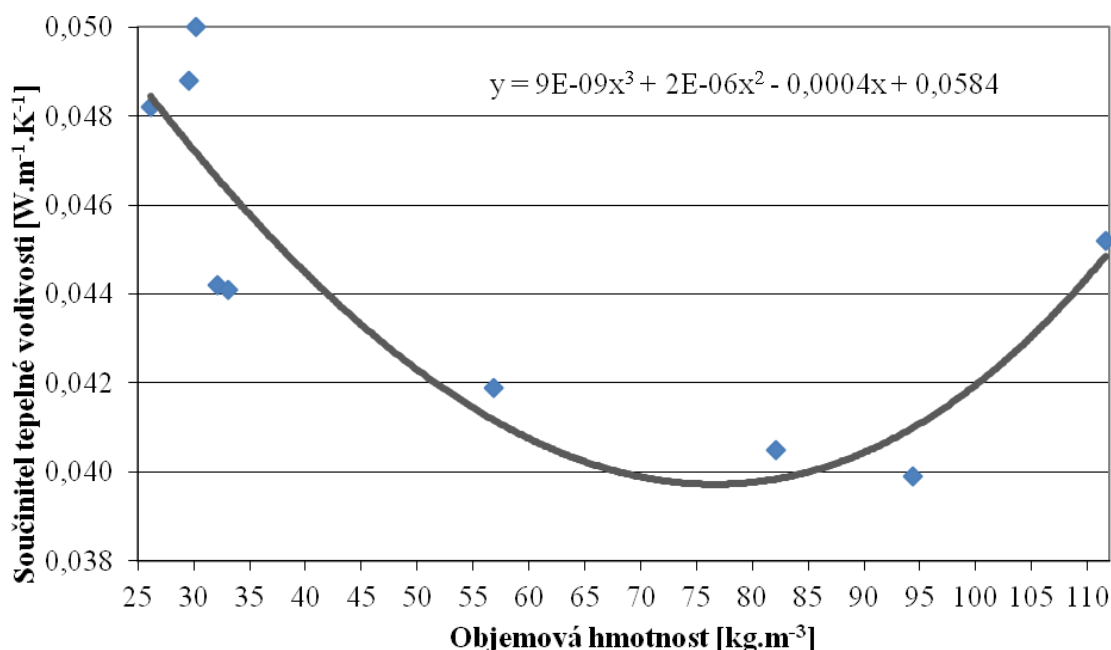
Provedeny byly následující zkoušky: Stanovení tloušťky a lineárních rozměrů vzorků (dle ČSN EN 822, ČSN EN 823, ČSN EN 12085), Stanovení objemové hmotnosti (dle ČSN EN 1602), Stanovení součinitele tepelné vodivosti (dle ČSN 72 7012-3, ČSN EN 12667, ISO 8301), Stanovení faktoru difúzního odporu, ekvivalentní difúzní tloušťky (dle ČSN EN 12086), Stanovení napětí při 10% deformaci (dle ČSN EN 826), Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky (dle ČSN EN 1607), Stanovení dynamické tuhosti (dle ČSN ISO 9052-1), Stanovení činitele zvukové pohltivosti (dle ČSN ISO 10534-1), Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření (dle ČSN EN ISO 12571). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3 níže.

Tab. 3 Přehled výsledků průměrných hodnot získaných v rámci laboratorních měření

Zkušební sada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d [mm]	81,2	77,4	77,9	79,6	67,0	30,3	9,4	40,2	38,4
ρ [kg.m ⁻³]	26,1	32,1	30,2	29,6	56,8	33,1	111,6	82,1	95,5
λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,0482	0,0442	0,0500	0,0488	0,0419	0,0441	0,0452	0,0405	0,0399
s' [MPa.m ⁻¹]	3,1	3,6	3,0	3,1	4,0	7,2	20,8	7,4	8,5
α_w [-]	0,40 (M)	0,40 (M)	0,45 (M)	0,40 (M)	0,55 (M)	0,25 (M)	0,15 (M)	0,35 (M)	0,40 (M)
σ_{mt} [kPa]	6,25	7,75	15,56	16,23	21,75	23,47	25,00	15,00	18,80
σ_{10} [kPa]	1,0	0,4	0,6	0,8	6,7	0,5	36,9	11,2	21,0
s_d [m]	0,17	0,22	0,22	0,18	0,25	0,12	0,05	0,17	0,15
μ [-]	2,1	2,9	2,8	2,2	3,8	3,8	5,3	4,2	3,9
W_p [kg.m ⁻²]	2,203	0,795	1,831	1,394	1,294	1,160	0,926	1,255	1,325

Kde: d ... průměrná tloušťka [mm], ρ ... objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], λ ... součinitel tepelné vodivosti v laboratorních podmínkách [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], s' ... dynamická tuhost [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$], α_w ... vážený činitel zvukové pohltivosti [-], σ_{mt} ... napětí v tahu kolmo k rovině desky [kPa], σ_{10} ... napětí při 10% deformaci [kPa], s_d ... ekvivalentní difúzní tloušťka [m], μ ... faktor difúzního odporu [-], W_p ... krátkodobá nasákavost při částečném ponoření [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$].

Z vyhodnocení podrobného studia fyzikálních a tepelně technických vlastností byla potvrzena hypotéza, že při vyšší objemové hmotnosti zkušebních vzorků má vyšší obsah pazdeří pozitivní vliv na tepelně izolační vlastnosti. Jako optimální oblast objemové hmotnosti z pohledu tepelně izolačních vlastností se jeví rozmezí 70 až 80 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, viz obr. 2.



Obr. 2 Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti

Tento úsudek byl potvrzen u zkušebních receptur č. 5 a 9. Nicméně vyšší objemová hmotnost materiálu je spojena také s vyššími výrobními náklady, vzhledem ke spotřebě většího množství surovin, potřebných k výrobě jednotkového objemu izolantu.

Téměř všechny zkušební receptury na bázi vláken technického konopí vykázaly velmi dobré hodnoty součinitele tepelné vodivosti, které nejsou výrazně odlišné od hodnot dnes běžně užívaných izolačních materiálů (tepelně izolační vlastnosti jsou srovnatelné například s minerální vlnou, jejíž výroba je však v porovnání s produkcí přírodních materiálů, výrazným způsobem energeticky náročnější). Při hledání závislosti mezi tloušťkou vláken a součinitelem tepelné vodivosti bylo zjištěno, že vliv objemové hmotnosti je dominantnější než vliv tloušťky vláken. Pro sledování závislosti tloušťky vláken a tepelně izolačních vlastností byla závislost stanovena pouze u zkušebních těles srovnatelných objemových hmotností, která potvrdila obecný předpoklad, že v případě organických vláken ze zemědělských plodin dochází se zvyšující se tloušťkou vláken k degradaci tepelně izolačních vlastností materiálů.

Při sledování akustických vlastností byla všechna zkušební tělesa zaříděna dle dosažených výsledků dynamické tuhosti do I. kategorie podložek. Na základě stanovení tříd zvukové pohltivosti byly všechny receptury určeny jako třídy D, s výjimkou zkušebních sad 6 a 7, kdy bylo

provedeno zařídění do třídy E. V daném případě se však jedná o orientační hodnoty, protože v oblasti zvukové pohltivosti dochází ke změně akustických vlastností spolu se změnou tloušťky materiálu.

Z vyhodnocení mechanických vlastností vyplývá, že zkušební tělesa z technického konopí dosáhla velmi dobrých hodnot pevností v tahu kolmo k rovině desky. Byla dokázána platnost hypotézy, že zkušební tělesa s vyšší objemovou hmotností vykazovala nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu kolmo k rovině desky. Ze stanovených hodnot napětí při 10% deformaci je zřetelný vliv objemové hmotnosti. Zkušební tělesa s vyšší objemovou hmotností vykazovala dostačující hodnoty napětí při 10% deformaci. Je nutné však podotknout, že tato vlastnost je přínosná pouze pro určité typy izolací, dle jejich umístění v konstrukci.

Dále bylo experimentálně zjištěno, že tyto přírodní materiály jsou difúzně otevřené. Na podkladě experimentálních měření byly stanoveny nízké hodnoty difúzních odporů, nejnižší hodnota byla stanovena u receptury č. 1. Při sledování naměřených dat při stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření byla potvrzena vyšší nasákavost přírodních materiálů.

4.4 VÝSLEDKY ETAPY IV

Podmínky prostředí (teplota, relativní vlhkost) výrazně ovlivňují finální vlastnosti stavebních materiálů (především tepelně izolační). Z tohoto důvodu bylo cílem čtvrté etapy posoudit míru vlivu podmínek prostředí na tepelně izolační vlastnosti vyvinutých materiálů, především vlivu teploty a vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti při reálných či extrémních podmínkách, tj. při zvýšené vlhkosti, vyšší teplotě prostředí. V daném případě bylo provedeno stanovení sorpčních charakteristik a studium závislosti:

- součinitele tepelné vodivosti na teplotě,
- součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti,
- součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti,
- součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti.

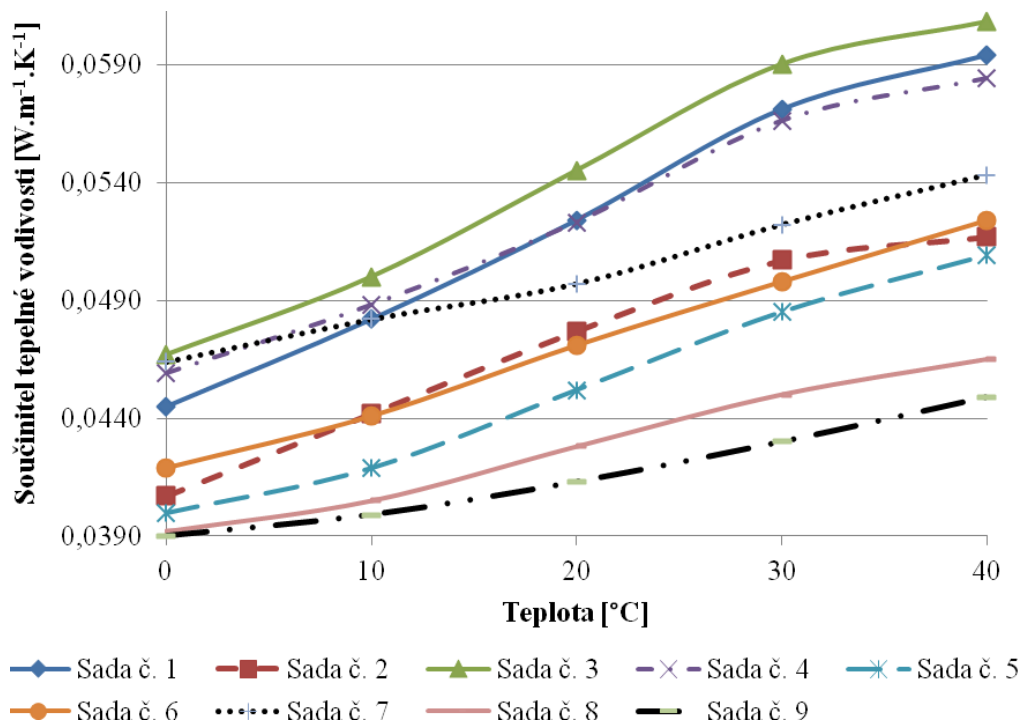
Na základě vyhodnocení experimentálně získaných dat byly potvrzeny následující hypotézy.

Se vzrůstající teplotou dochází ke zhoršení tepelně izolačních vlastností. Také vlivem zvyšující se vlhkosti dochází k degradaci tepelně izolačních schopností vyvinutých materiálů. Pokud se však nebude jednat o extrémní podmínky, tyto materiály zachovají dobré vlastnosti i při běžné teplotní a vlhkoštní zátěži, viz následující obrázky 3, 4 a 5. Experimentálně naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti a teplotě byly aproximovány exponenciálními funkcemi v souladu s ČSN EN ISO 14056, přepočtení převodní činitelé pro vlhkost f_u a teplotu f_T jsou níže v tab. 4.

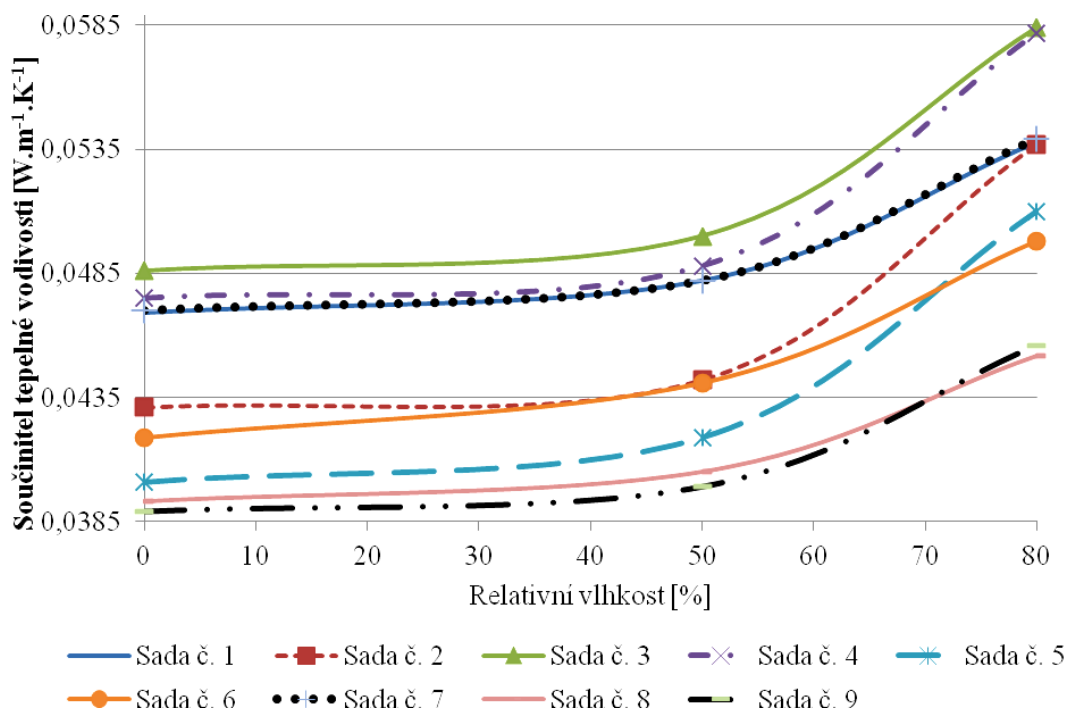
Tab. 4 Přehled převodních činitelů f_T a f_u

Sada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_T [1/K]	0,0083	0,0075	0,0077	0,0068	0,0062	0,0057	0,0038	0,0045	0,0031
f_T^* [1/K]	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0035	0,0040	0,0035	0,0035	0,0035
f_u [-]	0,964	1,471	1,376	1,565	2,148	1,567	1,221	1,196	1,218
f_u^* [-]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

f_T^* a f_u^* ... dle ČSN EN ISO 10456

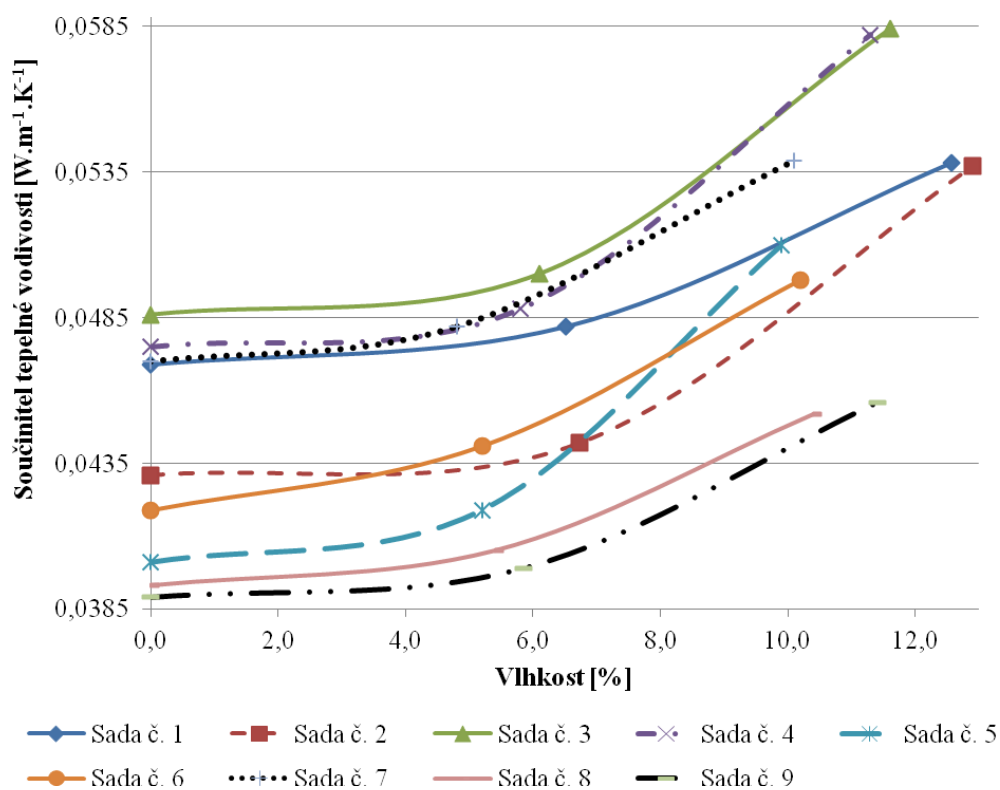


Obr. 3 Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě



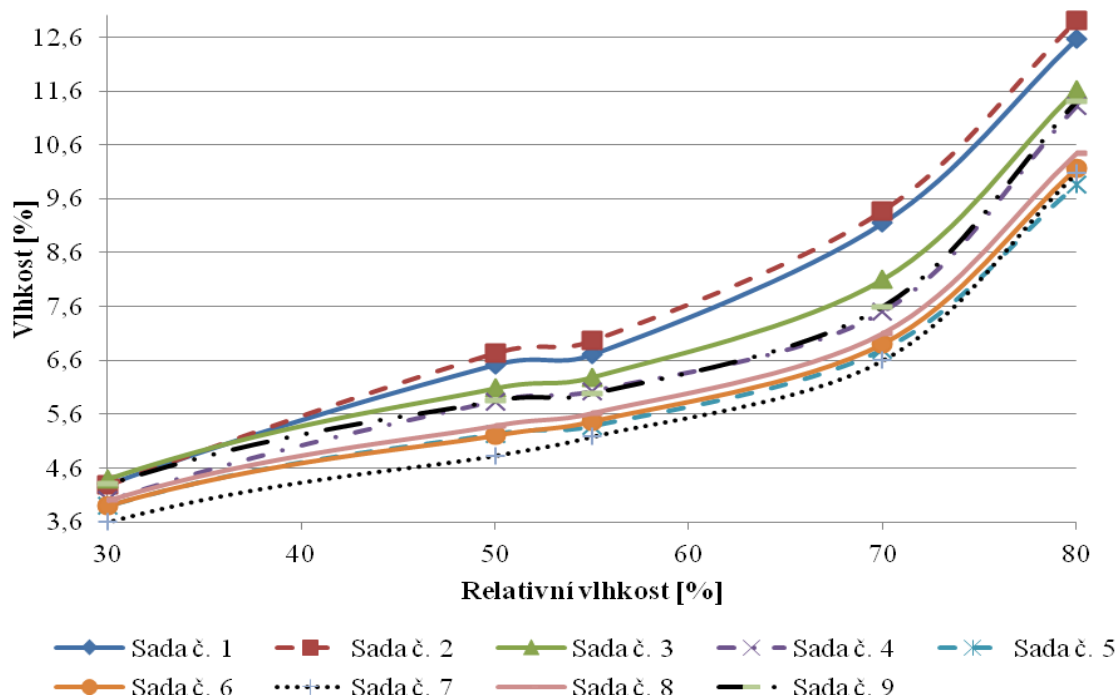
Obr. 4 Závislost součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti

Obecně lze tedy konstatovat, že vyvinuté materiály jsou teplotně i vlhkostně citlivější oproti klasickým, běžně dnes užívaným izolačním materiálům (EPS, minerální vlna). Proto by bylo vhodné při výrobě těchto materiálů hydrofobizovat vstupní vlákna.



Obr. 5 Závislost součinitele tepelné vodivosti na materiálové vlhkosti

Na základě zjištěných dat byly pro jednotlivé receptury sestaveny sorpční křivky, viz obr. 6.



Obr. 6 Sorpční křivky vyvinutých izolačních materiálů

V další části této etapy byla provedena optimalizace vyvinutých materiálů pro konkrétní aplikaci ve stavební konstrukci. Pro vyhodnocení vlastností vyvinutých izolačních materiálů bylo zvoleno několik kritérií, dle jejich možné aplikace v konstrukci (objemová hmotnost, součinitel tepelné vodivosti, faktor difúzního odporu, napětí při 10% deformaci, pevnost v tahu kolmo k rovině desky, dynamická tuhost, činitel zvukové pohltivosti). Vyhodnocení proběhlo na základě metody multikritériálního srovnání. Pro výpočet váhy jednotlivých kritérií f_i [-] byla zvolena metoda kvantitativního párového srovnání. Optimalizační proces byl proveden pro mechanicky zatížené konstrukce (podlahy) a konstrukce bez mechanického zatížení (příčky, střechy). Využití v oblasti fasád nebylo uvažováno z důvodu absence hydrofobizačního ošetření, které je nutné aplikovat pro správnou funkci těchto materiálů v zateplovacím systému.

V případě optimalizace izolačních materiálů vhodných pro aplikaci do podlah byla největší váha zvolena pro napětí při 10% deformaci a dynamickou tuhost. Na základě vyhodnocení lze konstatovat, že optimální vyvinutou recepturou, vhodnou pro izolaci podlahových konstrukcí, se stala zkušební sada č. 9. Tato receptura byla zvolena díky dobrým mechanickým, akustickým a tepelně izolačním vlastnostem. Největší váhu v optimalizačním procesu pro izolace příček a střech tvořily zejména součinitel tepelné vodivosti a činitel zvukové pohltivosti. Jako optimální izolace příček a střech byly vyhodnoceny zkušební sady č. 5 a 9, které vykazovaly na základě provedených laboratorních měření dobré tepelně izolační, mechanické a akustické vlastnosti.

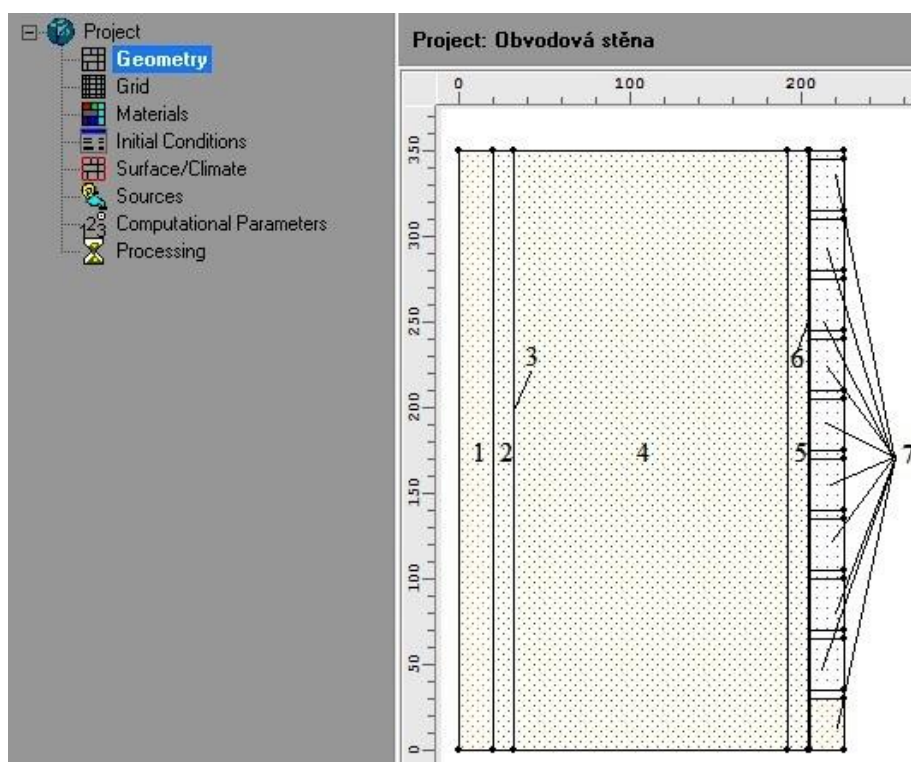
Záměrem této etapy bylo také provést posouzení chování vybraných zkušebních receptur v daných konstrukčních detailech, s ohledem na požadavky dle použití těchto materiálů ve stavebních konstrukcích. Laboratorně získaná data vlastností, včetně sorpčních křivek, byly podkladem pro vyhodnocení jejich tepelně vlhkostního chování v reálné konstrukci. Pro výpočty byly využity výpočtové programy WUFI[®] 2D a Therm.

Tyto materiály, vzhledem k jejich přírodnímu původu, by mohly nalézt uplatnění při výstavbě dřevostaveb. Z tohoto důvodu byly pro další výpočty zvoleny modelové skladby jednotlivých konstrukcí typických pro dřevostavbu. Pro simulace tepelně vlhkostního chování vyvinutých izolací na bázi přírodních vláken byly zvoleny detaily:

- obvodové stěny,
- podlahové konstrukce,
- obvodové stěny s předstěnou.

Dále bylo provedeno posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska tepelně technického (prostup tepla a vodní páry). Byl vypočten tepelný odpor a součinitel prostupu tepla, dále vnitřní povrchové teploty, pokles dotykové teploty podlahové konstrukce, rozložení teplot a tlaků vodní páry v konstrukci a oblasti možného vzniku kondenzace a roční bilance zkondenzované vodní páry dle požadavků ČSN 730540-2 a postupů v ČSN 730540-4, ČSN EN ISO 6946 a ČSN EN ISO 13788. Okrajové podmínky byly zvoleny typicky dle ČSN 73 0540-3 pro Brněnskou oblast a dále byly pro výpočty využity klimatické údaje z databáze programu WUFI pro oblast jižní Moravy (Brno). Z pohledu vnitřního prostředí bylo uvažováno vždy normální užívání konstrukce s návrhovými hodnotami dle ČSN 73 0540-3 a nepřerušované vnitřní vytápění po dobu otopné sezony.

Pro simulaci tepelně vlhkostního chování v lehké obvodové stěně u dřevostavby byla zvolena zkušební sada č. 9. Kompozice obvodové stěny u dřevostavby, s využitím vyvinuté přírodní izolace, je uvedena na níže uvedeném obrázku č. 7. Pro výpočet byl zvolen typický detail konstrukce mimo nosné a výztužné prvky.



Obr. 7 Detail obvodové stěny u dřevostavby ze strany interiéru (1) k exteriéru (7); (1- dubová bideska (20 mm); 2- OSB Eurostandard (12 mm); 3- parotěsná fólie Jutafol Al (0,3 mm); 4- konopná izolace (160 mm); 5- OSB Eurostandard (12 mm); 6- Fólie Dorken Delta fasade S (1 mm); 7- dřevěný deskový rošt (20 mm))

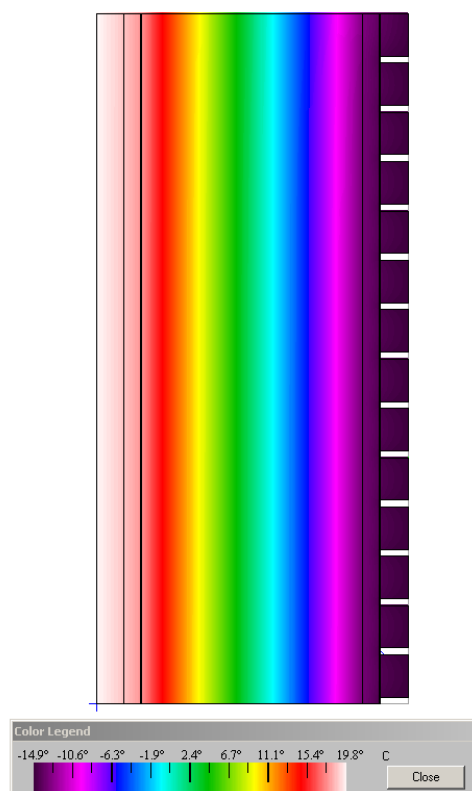
V následující tabulce je uvedeno vyhodnocení tepelně technických vlastností daného konstrukčního detailu. Z těchto hodnot je patrné, že daná konstrukce vyhovuje požadavkům dle ČSN 73 0540-2 dle bodů 5.1 a 5.2, tedy z pohledu nejnižší povrchové teploty, a dále z pohledu požadované hodnoty součinitele prostupu tepla (požadovaná nejvyšší hodnota součinitele prostupu tepla $U_{N,20} = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).

Tab. 5 Tepelně technické vlastnosti konstrukce

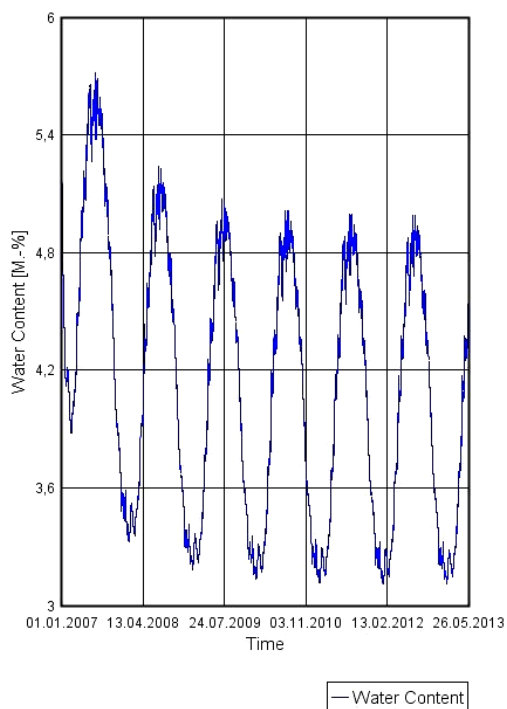
Vlastnost	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}^1\cdot\text{W}^{-1}$]	R [$\text{m}^2\cdot\text{K}^1\cdot\text{W}^{-1}$]	θ_{sim} [$^{\circ}\text{C}$]	N_y [-]	P_{si} [hod]
Hodnota	0,2754	3,631	3,466	19,75	34,5	4,7

Kde: U ... součinitel prostupu tepla, R_T ... celkový tepelný odpor, R ... tepelný odpor při přestupu tepla uvnitř konstrukce, θ_{sim} ... minimální povrchová teplota ze strany interiéru, N_y ... teplotní útlum konstrukce, P_{si} ... fázový posun teplotního kmitu.

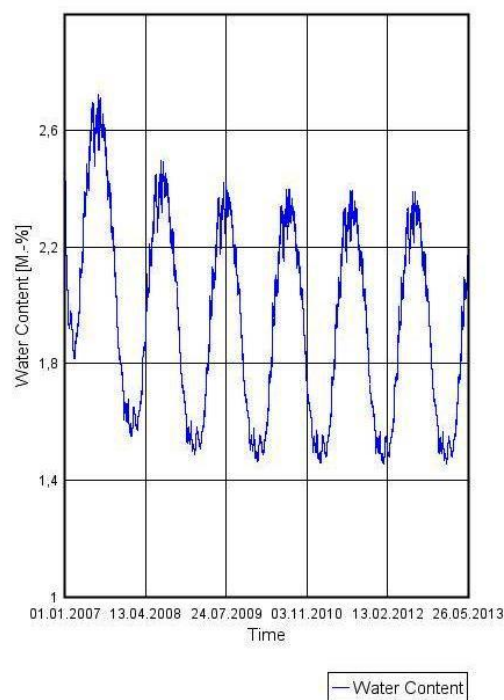
Na obr. 8 je uveden teplotní průběh v obvodové stěně při okrajových podmínkách: $\theta_1 = \theta_i = +21 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\theta_2 = \theta_e = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejnižší povrchová teplota ze strany interiéru činila $19,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále bylo ověřeno, že v konstrukci navržené lehké obvodové stěny nedochází ke kondenzaci vlhkosti a je tedy splněna podmínka ČSN 73 0540-2 dle bodů 6.1 a 6.2. Poté byly provedeny simulace tepelně vlhkostního chování vyvinuté izolace v konstrukci a pro porovnání byla provedena totožná simulace s minerální vlnou. Na obr. 9 je uveden vlhkostní obsah v konopné izolaci, na obr. 10 vlhkostní obsah v izolaci minerální vlny.



Obr. 8 Teplotní průběh v obvodové stěně



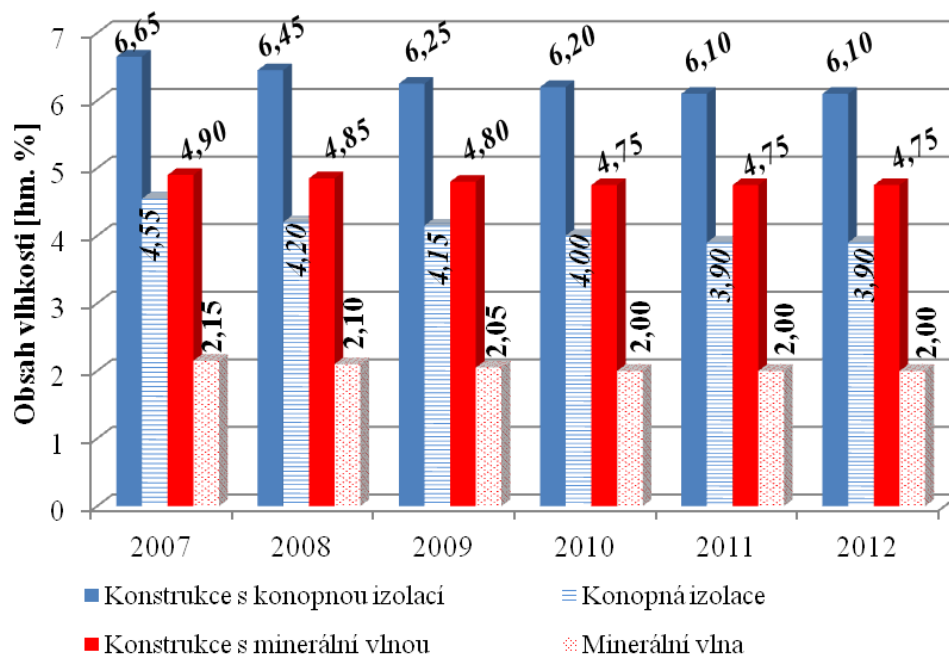
Obr. 9 Obsah vlhkosti v izolačním materiálu na bázi technického konopí [hm. %]



Obr. 10 Obsah vlhkosti v minerální vlně [hm. %]

Na základě provedených simulací vlhkového chování reálné konstrukce s využitím vyvinutých přírodních izolačních materiálů na bázi konopných vláken a materiálů klasických (minerální vlna), tak i vlhkového chování samotných izolačních materiálů, lze konstatovat, že u izolačního materiálu z technického konopí dochází k větším vlhkovým výkyvům v komparaci s minerální

vlnou. Avšak tento periodický vlhkostní průběh vykazuje, že nedochází k navyšování vlhkosti, ať již v samotné konstrukci s aplikací vyvíjeného materiálu, tak i v samotném izolantu na bázi konopných vláken. Navíc po 3 až 4 letech realizace dochází k ustálení průměrné hodnoty vlhkostního obsahu. Při užití minerální vlny do konstrukce dochází k tomuto ustálení dříve, přibližně po 2 letech od realizace. Důvodem rychlejšího vlhkostního ustálení přispívá fakt, že u minerální vlny byl uvažován nižší součinitel difúzního odporu ($\mu = 1,3$) v porovnání se součinitelem difúzního odporu vyvíjené izolace na bázi konopných vláken ($\mu = 3,8$). Zjištěné ustálené hodnoty vlhkostí v hm. % však nikterak nenarušují tepelně izolační schopnosti konstrukčního detailu.



Obr. 11 Porovnání obsahu vlhkosti [hm. %]

Výpočtovými simulacemi bylo dokázáno, že pokud jsou tyto materiály vhodně aplikovány a nejsou zatíženy vysokou relativní vlhkostí, není nutné se obávat degradace jejich tepelně izolačních vlastností a funkčnosti v konstrukci.

4.5 VÝSLEDKY ETAPY V

Na základě dosažených výsledků v podobě základních fyzikálních, tepelně technických, akustických vlastností vyvinutých izolačních materiálů a jejich studia hydrotermálního chování lze usuzovat, že tyto materiály jsou perspektivními alternativami k dnes běžně užívaným izolačním materiálům na evropském stavebním trhu, kterými jsou zejména expandovaný polystyren a minerální vlna. Z výsledků experimentální činnosti vyplývá, že tyto materiály disponují minimálně srovnatelnými vlastnostmi jako klasické izolace. Je však nutné neopomenout vyšší vlhkostní citlivost těchto přírodních materiálů. Proto je nutné při praktické realizaci tyto materiály vhodně aplikovat, např. do konstrukce zabudovat v rámci systému. Jak je z dosažených výsledků patrné, jako nejvhodnější aplikace se jeví použití pro izolace podlah, stěnových příček a lehkých obvodových konstrukcí.

Další výzkum izolačních materiálů na přírodní bázi by měl být zaměřen na oblast řešení nasákavosti a hořlavosti těchto materiálů. Dále by měla být řešena také otázka možnosti snížení

nákladů na samotné surovinové zdroje, produkované v zemědělství, a nalézt vhodnou úspornou výrobní technologii.

5 ZÁVĚR

V rámci disertační práce byly vyvíjeny a následně zkoumány environmentálně úsporné izolační materiály s uplatněním ve stavebnictví. Stěžejní část disertační práce byla zaměřena na studium tepelně vlhkostního chování vyvinutých materiálů na bázi přírodních vláken.

Cílem bylo nalézt přírodní, snadno obnovitelné surovinové zdroje, případně druhotné suroviny na bázi odpadních materiálů z průmyslu, které by byly vhodné pro výrobu izolačních materiálů, jež by byla energeticky, ekologicky a ekonomicky úspornější v komparaci s výrobou dnes používaných izolačních materiálů v praxi (minerální vlna, EPS, PUR). Snahou vývoje bylo získat materiály s dobrými fyzikálními, mechanickými, akustickými a tepelně technickými vlastnostmi, které by se staly vhodnou alternativou k dnes běžně užívaným izolačním materiálům.

Pro prvotní výzkum vlastností vláken byly zajištěny 4 druhy vláken, a sice vlákna z juty, lnu, technického konopí a ovčí vlny. Z důvodu špatné lokální dostupnosti ovčích vláken, byla tato vlákna vyloučena pro další výzkum. Jako nejvíce vhodné surovinové zdroje, pro následné, možné využití v České republice, při vývoji izolačních materiálů, byla klasifikována vlákna technického konopí a lnu setého. Důvodem byla především jejich snadná dostupnost, cena a tepelně izolační vlastnosti vláken.

Co se týče experimentálně zjištěných fyzikálních charakteristik u vyvíjených zkušebních sad izolačních materiálů na bázi juty, lnu a technického konopí, byly připraveny směsi s širokým spektrem objemových hmotností. Toto pak umožňuje jejich širší možné využití v konstrukcích, např. izolace šikmých střech, lehkých obvodových stěn, podlah, příček, případně i fasád. Z pohledu tepelně technických vlastností bylo zjištěno, že optimální oblast objemové hmotnosti je v rozmezí od 70 do 80 kg.m⁻³. Z hlediska dosažených hodnot součinitele tepelné vodivosti za laboratorních podmínek byla vybrána jako optimální receptura č. 9, která se skládala ze 49 % vláken technického konopí, 10 % bikomponentních vláken a 41 % pazdeří.

Zkoumáním akustických vlastností bylo zjištěno, že vyvinuté materiály jsou z hlediska dynamické tuhosti vhodné pro použití do konstrukcí plovoucích podlah (těžkých i lehkých – v závislosti na objemové hmotnosti izolantu). Všechny zkušební receptury byly zaříděny dle ČSN 73 0532 do I. kategorie podložek. Vyhodnocením váženého činitele zvukové pohltivosti byly vyvinuté izolační materiály určeny do tříd D a E.

Vyhodnocením mechanických vlastností bylo zjištěno, že použití technického konopí má pozitivní vliv na pevnost v tahu kolmo k rovině desky, v porovnání s testovanými recepturami lnu a juty. Hodnoty napětí při 10% deformaci jsou stěžejní zejména pro vybrané materiály, s požadavky na vyšší pevnost v tlaku. Což bylo také poznatkem při vlastním měření napětí při 10% deformaci. Vzhledem k různým objemovým hmotnostem zkušebních receptur nelze tyto hodnoty navzájem porovnávat, a jak již bylo řečeno, tato vlastnost je významná pouze pro dané aplikace izolačních materiálů v konstrukci.

Při uvážení vlhkostního a tepelně vlhkostního chování vyvinutých materiálů, prokázaly se tyto materiály jako difúzně otevřené, s malým difúzním odporem. Nejnižší hodnota byla určena u zkušební sady č. 1 z juty, a to $\mu = 2,1$. Nejvyšší difúzní odpor byl stanoven, jak bylo předpokládáno, u zkušební sady č. 7 s nejvyšší objemovou hmotností, a sice $\mu = 5,3$.

Obecně je známo, že přírodní vláknité materiály jsou teplotně i vlhkostně citlivé, přičemž vlivem zvýšené teploty i vlhkosti dochází k degradaci jejich tepelně izolačních vlastností. Toto

bylo také podnětem pro zkoumání chování vyvinutých přírodních izolačních materiálů v případě vystavení zvýšené vlhkosti, teplotě. Experimentálním měřením bylo zjištěno, že materiály z technického konopí jsou v porovnání s jinými přírodními materiály (dřevo, ovčí vlna, ...) méně vlhkostně citlivé. Z tohoto pohledu byly vyhodnoceny, jako nejméně vlhkostně citlivé, zkušební sady č. 1, 8, 9 a 7. Pokud jsou vyvinuté přírodní materiály exponovány v prostředí s relativní vlhkostí do 60 %, nedochází k významným tepelně izolačním změnám. Na základě vyhodnocení závislosti součinitele tepelné vodivosti na materiálové vlhkosti lze konstatovat, že do 6 % materiálové vlhkosti nedochází k významným změnám součinitele tepelné vodivosti. Byla sledována také teplotní citlivost zkušebních sad, kdy jako nejvíce citlivá byla určena receptura z jutových vláken, naopak nejmenší teplotní citlivost byla zaznamenána u zkušební sady č. 9.

Závěrem lze říci, že při vhodně zvolených okrajových podmínkách mohou být tyto materiály tedy bezproblémově použity při rekonstrukcích, sanacích stavebních konstrukcí či při zateplování stavebních konstrukcí, kde je kladen důraz na zachování klasických způsobů výstavby a použití snadno obnovitelných zdrojů. Případně mohou být do konstrukce zabudovány v rámci systému, kde budou dostatečně dobře chráněny před vlhkostí. Z výše uvedeného se jako optimální jeví zkušební receptury č. 5 a 9, na bázi technického konopí.

Přínosy disertační práce lze rozdělit do několika oblastí. Z hlediska základního výzkumu se jedná o studium tepelně vlhkostního chování těchto materiálů na přírodní bázi, které patří k největšímu přínosu této práce. Z hlediska ekologického se jedná o materiály s velkým potenciálem vzhledem k jejich nízkým hodnotám PEI vstupních vláken, v porovnání s klasickými vlákny (skelná vlákna apod.). Na základě provedených výpočtových simulací lze konstatovat, že tyto materiály jsou vhodnou alternativou k dnes běžně používaným materiálům, což představuje přínos i v oblasti aplikovaného výzkumu.

V rámci případného navazujícího výzkumu bude třeba se zaměřit na otázku hořlavosti a nasákavosti přírodních izolačních materiálů.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Chybík, J. *Přírodní stavební materiály*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. 272 s. ISBN978-80-247-2532-1.
- [2] *Climate Action* [online]. Last revision 10th of September 2012 [cit. 2012-10-15]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm>.
- [3] KABELÉ, Karel. Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. *TZB-info* [online]. 30. 8. 2010 [cit. 2012-01-15]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>>. ISSN 1801-4399.
- [4] MACDOUGALL, Colin. *Natural Building Materials in Mainstream Construction: Lessons from the U. K.*. Journal of Green Building. Volume: 3 Issue: 3 Pages: 3-14, 2008.
- [5] VEJELIENE, Jolanta; GAILIUS, Albinas; VEJELIS, Sigitas; et al. *Evaluation of Structure Influence on Thermal Conductivity of Thermal Insulating Materials from Renewable Resources*. *Materials Science-Medziagotyra*. In National Conference on Materials Engineering, Volume 17, Issue 2, strany 208-212, 2011.
- [6] MURPHY, D. P. L.; BEHRING, H. *Arable crop materials for insulation in buildings*. *Biomass for Energy and Industry*. In 10th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Strany: 176-179, 1998.
- [7] BROUWER, W. D. *Natural fibre composites: Where can flax compete with glass?* *Sampe Journal*, Volume 36, Issue 6, Strany: 18-23, 2000.
- [8] IBRAHEEM, S. A.; ALI, Aidy; KHALINA, A. *Development of Green Insulation Boards From Kenaf Fibres Part 2: Characterizations of Thermal and Water Absorption*. Fracture

- and strength of solids VII, Part 1 and 2, Book Series: Key Engineering Materials. In 8th International Conference on Fracture and Strength of Solids (FEOFS), Volume 462-463, Strany 1331-1336, 2011.
- [9] IBRAHEEM, S. A.; ALI, Aidy; KHALINA, A. *Development of Green Insulation Boards From Kenaf Fibres Part 1: Development and characterizations of Mechanical Properties*. Fracture and strength of solids VII, Part 1 and 2, Book Series: Key Engineering Materials. In 8th International Conference on Fracture and Strength of Solids (FEOFS), Volume 462-463, Strany 1343-1348, 2011.
- [10] MUKHOPADHYAY, S.; ANNAMALAI, D.; SRIKANTA, R. *Coir Fiber for Heat Insulation*. *Journal of natural fibers*, Volume 8, Issue 1, Strany 48-58, 2011.
- [11] IBRAHEEM, S. A.; ALI, Aidy; KHALINA, A. *Development of Green Insulation Boards from Kenaf Fibres and Polyurethane*. *Polymer-plastics technology and engineering*. Volume 50, Issue 6, Strany 613-621, 2011.
- [12] ASHOUR, Taha; WIELAND, Hansjoerg; GEORG, Heiko; et al. *The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings*. *Materials & Design*, Volume 31, Issue 10, Strany 4676-4685, 2010.
- [13] LI, Y.; LUO, Y.; HAN, S. *Multi-Scale Structures of Natural Fibres and Their Applications in Making Automobile Parts*. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. In International Conference on Natural Fibres. Volume 4, Issue 2, Special Issue: SI, Strany: 164-171, 2010.
- [14] PECENKA, Ralf; FUERLL, Christian; IDLER, Christine; et al. *Fibre boards and composites from wet preserved hemp*. *International Journal of Materials & Product Technology*. In International Conference on Innovative Natural Fibre Composites for Industrial Applications. Volume 36, Issue 1-4, Strany 208-220, 2009.
- [15] JANULAITIS, T.; PAULAUSKAS, L. *Structural Analysis of Fibrous Thermo Insulation Materials*. *Mechanika 2009 – Proceedings of the 14th International Conference*, Book Series: Mechanika Kaunas University of Technology, Strany 152-155, 2009.
- [16] BICA, Smaranda; ROSIU, Liliana; RADU, Radoslav. *What Characteristics Define Ecological Building Materials*. *Proceedings of the 7th IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'09)*. Strany 159-164, 2009.
- [17] GLASNOVIC, Zvonimir; HORVAT, Jasna; OMAHIC, Dino. *Straw as a Building Material. Energy and the Environment 2008*. In 21st Scientific Conference on Energy and the Environment. Volume 1, Strany 479-488, 2008.
- [18] YILMAZ, Oe.; ERSOY, S. *Measurement of sound absorption properties of industrial organic waste material*. *Mechanika 2008*, Proceedings Book Series: Mechanika Kaunas University of Technology. In 13th International Conference on Mechanika Location: Kaunas Univ Technol, Kaunas, LITHUANIA, strany 168-173, 2008.
- [19] PAULAUSKAS, L.; JANULAITIS, T. *Experimental analysis of usage of thermo insulation materials from technological refuse*. *Mechanika 2008*, Proceedings Book Series: Mechanika Kaunas University of Technology. In 13th International Conference on Mechanika, strany 394-397, 2008.
- [20] COSTANZO, S.; CUSUMANO, A.; GIACONIA, C.; et al. *Thermal characterisation of bio-based building materials. Sustainable city IV: Urban regeneration and sustainability*, Book Series: WIT Transactions on Ecology and the Environment, Volume 93, Strany 39-46, 2006.
- [21] WIELAND, Hansjoerg; MOELLER, Frank; BOCKISCH, Franz-Josef. *Thermotechnical and technological aspects of insulation and building materials from renewable raw materials*. *Landbauforschung Volkenrode*, Volume: 57, Issue: 1, Strany 87-93, 2007.
- [22] Paudel, S. K. *Engineered bamboo as a building material. Modern bamboo structures*. In 1st International Conference on Modern Bamboo Structures, Strany 33-40, 2008.

7 CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Jitka Hroudová
Datum a místo narození: 3. 10. 1982
Stav: svobodná
Trvalé bydliště: Dolní 1735/15, 591 01 Žďár nad Sázavou

Dosažené vzdělání:

1998–2002 Gymnázium Žďár nad Sázavou
2002–2006 Masarykova univerzita, Fakulta přírodovědecká, Obor: Matematika se zaměřením na vzdělávání, Chemie se zaměřením na vzdělávání, získán titul bakalář
2003–2008 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Obor: Stavebně materiálové inženýrství, získán titul inženýr
2008–dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, doktorský studijní program, Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství, Státní doktorská zkouška absolvována 26. 5. 2010

Pracovní zkušenosti:

2008–2009 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, technický pracovník
2010–dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, technicko-hospodářský pracovník
04/2013–dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, vědecký pracovník

Publikační činnost:

- [1] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J.; GAILIUS, A.; KORJENIC, A. Development of advanced insulation materials based on easy renewable row-sources from agriculture. *WULFENIA*. 2013. 20(6). p. 59 - 69. ISSN 1561-882X. (IF(2012)=0,467).
- [2] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J.; HELA, R.; KORJENIC, A. Advanced, Thermal Insulation Materials Suitable for Insulation and Repair of Buildings. *Advanced Materials Research*. 2013. 688(3). p. 54 - 59. ISSN 1022-6680.
- [3] ZACH, J.; HELA, R.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Development of Thermal Insulation Plasters for Insulating and Sanitation of Building Constructions. *International Journal of Engineering and Technology*. 2013. 5(3). p. 395 - 397. ISSN 1793-8236.
- [4] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; HORSKÝ, A. *Akustické zdivo*. Brno, ERA Média, s. r. o. 2013. p. 83 - 85.
- [5] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Alternativní izolační materiály jako výplň dutin cihelných tvarovek. In *Construction materials*. 1. Nitra, SPU Nitra, technická fakulta. 2013. p. 250 - 256. ISBN 978-80-552-1031-5.
- [6] BODNÁROVÁ, L.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; VÁLEK, J. Development of Concretes with Resistance to High Temperatures in the Czech Republic and Surrounding European Countries. *Advanced Materials Research*. 2013. 651 (2013)(1). p. 120 - 125. ISSN 1022-6680.
- [7] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J.; SEDLMAJER, M. *Development of Masonry Blocks with Thermal Insulation*. Civil Engineering, Abstracts 3rd Annual International Conference on Civil Engineering. Athény, Recko, Athens Institute for Education and Research. 2013. p. 28 - 28. ISBN 978-960-9549-58-5.

- [8] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; ŽIŽKOVÁ, N. Development of Materials Based on Flax for Thermal Insulation and Thermal Rehabilitation of Structures. *Advanced Materials Research*. 2013. 688(3). p. 153 - 157. ISSN 1022-6680.
- [9] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; BROŽOVSKÝ, J.; KREJZA, Z.; GAILIUS, A. Development of thermal insulating materials on natural base for thermal insulation systems. *Procedia Engineering*. 2013. 57(5). p. 1288 - 1294. ISSN 1877-7058.
- [10] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; KORJENIC, A.; SEDLMAJER, M. Možnosti využití tepelně izolačních omítek pro sanaci problematických detailů stavebních konstrukcí. In *ZBORNÍK z konference s mezinárodní účastí PORUCHY A OBNOVA OBALOVÝCH KONŠTRUKCÍ BUDOV 13*. 1. Košice, Technická univerzita v Košiciach - Stavebná fakulta. 2013. p. 70 - 77. ISBN 978-80-553-1393-1.
- [11] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J. Studium možností úpravy přírodních izolací pro omezení jejich vlhkostní citlivosti a nasákavosti. In *17. Mezinárodní konference Výzkumného ústavu stavebních hmot, a. s. EKOLOGIE A NOVÉ STAVEBNÍ HMOTY A VÝROBKY*. Brno, Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s. 2013. p. 78 - 81. ISBN 978-80-87397-14-5.
- [12] ZACH, J.; KORJENIC, A.; HROUDOVÁ, J. Study of behaviour of advanced silicate materials for heating and moisture rehabilitation of buildings. *Advanced Materials Research*. 2013. 649 (2013)(1). p. 167 - 170. ISSN 1022-6680.
- [13] ZACH, J.; HUBERTOVIČOVÁ, M.; HROUDOVÁ, J. Study of Thermal Technical Properties of Lightweight Concrete with Utilization of Non Stationary Hot-Wire Method. *Advanced Materials Research*. 2013. 650(1). p. 333 - 338. ISSN 1022-6680.
- [14] ZACH, J.; BÄRTLOVÁ, M.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Využití metakaolinu při vývoji lehkých tepelně izolačních omítek. In *CONSTRUCTION MATERIALS*. Nitra, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 2013. p. 243 - 249. ISBN 978-80-552-1031-5.
- [15] ZACH, J.; BÄRTLOVÁ, M.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Využití popílků při vývoji tepelně izolačních omítek. In *POPÍLKY ve stavebnictví 2013, Sborník přednášek*. Brno, NOVOPRESS, s.r.o. 2013. p. 105 - 110. ISBN 978-80-87342-17-6.
- [16] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J. Vývoj přírodních izolačních materiálů s ohledem na jejich reakci na oheň. In *JUNIORSTAV 2013*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Stavební fakulta. 2013. p. 1 - 5. ISBN 978-80-214-4670-0.
- [17] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M.; HORSKÝ, A. Vývoj zdicích tvarovek pro zdivo zatížené zvýšeným účinkem vlhkosti. In *ZBORNÍK z konference s mezinárodní účastí PORUCHY A OBNOVA OBALOVÝCH KONŠTRUKCÍ BUDOV 13*. 1. Košice, Technická univerzita v Košiciach - Stavebná fakulta. 2013. p. 132 - 137. ISBN 978-80-553-1393-1.
- [18] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J. Development and study of the possibilities to use natural materials for thermal-insulation systems of ETICS. *Advanced Materials Research*. 2012. 587 (2012)(9). p. 31 - 35. ISSN 1022-6680.
- [19] ZACH, J.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Development of building elements with thermal insulation filler based on secondary raw material. *Advanced Materials Research*. 2012. 649(1). p. 147 - 150. ISSN 1022-6680.
- [20] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Development of ceramic blocks for masonry constructions with thermal insulation filling on the basis of easily renewable raw materials and by-products. In *15th International Brick and Block Masonry Conference*. Floriánopolis, Brazílie, University Federal de Santa Catarina. 2012. p. 52 - 54. ISBN 978-85-63273-10-9.
- [21] DROCHYTKA, R.; ZACH, J.; KORJENIC, A.; HROUDOVÁ, J. Improving the energy efficiency in buildings while reducing the waste using autoclaved aerated concrete made from power industry waste. *ENERGY AND BUILDINGS*. 2012. 58 (2013)(3). p. 319 - 323. ISSN 0378-7788. (IF=2,679).
- [22] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti stanovení součinitele tepelné vodivosti u keramických zdicích tvarovek. *GRANT Journal*. 2012. 2012(1). p. 1 - 4. ISSN 1805-0638.

- [23] ZACH, J.; KORJENIC, A.; PETRÁNEK, V.; HROUDOVÁ, J.; BEDNAR, T. Performance Evaluation and Research of Alternative Thermal Insulations based on Sheep Wool. *ENERGY AND BUILDINGS*. 2012. 49(6). p. 246 - 253. ISSN 0378-7788. (IF=2,679).
- [24] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J. *Přehled současných druhů omítek používaných ve stavebnictví*. Brno, ERA Média, s.r.o. 2012. p. 82 - 83.
- [25] ZACH, J.; HELA, R.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Tepelně izolační omítky k zateplování a sanaci stavebních konstrukcí. *Realizace staveb*. 2012. VII(5). p. 28 - 29. ISSN 1802-0631.
- [26] ZACH, J.; HELA, R.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Tepelnoizolačné omietky na zateplóvanie a sanáciu stavebných konštrukcií. *Stavebné materiály*. 2012. 6/2012(10). p. 54 - 55. ISSN 1336-7617.
- [27] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Utilization of Alternative Insulation Materials for Thermal Insulating Ceramics Blocks Production. *Advanced Materials Research*. 2012. 482-484(2). p. 1570 - 1575. ISSN 1022-6680.
- [28] HELA, R.; KRIVENKO, P.; ZACH, J.; PETRÁNEK, V.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Utilization of non-traditional binders for lightweight thermal insulation mortars and plasters production. In *18. Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht - Band 1, Tagungsbericht - Band 2*. Weimar, F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde. 2012. p. 2-1018 (8 p.). ISBN 978-3-00-034075-8.
- [29] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J. Utilization of recycled polyurethane granulate for thermal insulating materials production. *Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Materials and Systems*. 2012. 1(9). p. 119 - 124. ISSN 2068-0783.
- [30] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J. Využití recyklovaného PUR granulátu ve stavebnictví. In *SBORNÍK ANOTACÍ KONFERENCE JUNIORSTAV 2012*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno. 2012. p. 1 - 4. ISBN 978-80-214-4393-8.
- [31] ZACH, J.; HELA, R.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Vývoj lehkých, tepelně izolačních omítek na silikátové bázi. In *XVI. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. Brno, Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s. 2012. p. 152 - 155. ISBN 978-80-87397-11-4.
- [32] HROUDOVÁ, J.; ZACH, J.; HELA, R.; SEDLMAJER, M. *Vývoj lehkých tepelně izolačních omítek na silikátové bázi*. Ostrava, NAKLADATELSTVÍ MISE, s.r.o. 2012. p. 40 - 41.
- [33] ZACH, J.; HELA, R.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Vývoj tepelně izolačních omítek pro zateplování a sanaci stavebních konstrukcí. In *ZBORNÍK z konferencie s medzinárodnou účasťou PORUCHY A OBNOVA OBALOVÝCH KONŠTRUKCIÍ BUDOV*. Košice, Technická univerzita Košice, Fakulta stavební. 2012. p. 121 - 126. ISBN 978-80-553-0798-5.
- [34] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Determination of thermal technical properties of ceramics masonry components. *The e-Journal of Nondestructive Testing*. 2011. 16(12). p. 1 - 8. ISSN 1435-4934.
- [35] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Determination of thermal technical properties of ceramics masonry components. In *DIRECTORIO*. Cancun, Mexiko, Pan American Nondestructive Testing Committee and Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C. (IMENDE, A.C.). 2011. p. 1 - 8. ISBN 978-968-9288-10-7.
- [36] KORJENIC, A.; PETRÁNEK, V.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *ENERGY AND BUILDINGS*. 2011. 43(9). p. 2518 - 2523. ISSN 0378-7788. (IF=2,386).
- [37] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; PETRÁNEK, V.; KOSÍKOVÁ, J.; KORJENIC, A. Investigation of Thermal Insulation Materials Based on Easy Renewable Row Materials from Agriculture. *Advanced Materials Research*. 2011. 2011(335-336). p. 1412 - 1417. ISSN 1022-6680.

- [38] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; KOUT, P. Komplexní hodnocení vlastností přírodních izolačních materiálů z technického konopí určených do podlah. *TZB-info*. 2011. 2011(3). p. 1 - 1. ISSN 1801-4399.
- [39] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti stanovení součinitele tepelné vodivosti u keramických zdicích tvarovek. In *Inovace ve stavebnictví*. Hradec Králové, ČR, Magnanimitas Ass. 2011. p. 146 - 153. ISBN 978-80-904877-5-8.
- [40] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti využití izolačních materiálů na bázi odpadních textilních vláken v podlahách. *TZB-info*. 2011. 2011(11). p. 1 - 5. ISSN 1801-4399.
- [41] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti využití izolačních materiálů na bázi odpadních textilních vláken v podlahových konstrukcích. In *PODLAHY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY VE STAVEBNICTVÍ 2011*. Praha, BETONCONSULT, s.r.o. 2011. p. 155 - 159. ISBN 978-80-260-0166-9.
- [42] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. *Novodobé povrchové úpravy stavebních konstrukcí*. Brno, ERA Média, s.r.o. 2011. p. 82 - 83.
- [43] HROUDOVÁ, J.; KORJENIC, A. Stanovení tepelně technických vlastností u přírodních tepelně izolačních materiálů z technického konopí. In *JUNIORSTAV 2011 13. Odborná konference doktorského studia*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2011. p. 1 - 6. ISBN 978-80-214-4232-0.
- [44] DROCHYTKA, R.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Studium chování pórobetonu po zabudování do konstrukce z tepelně-vlhkostního hlediska. *TZB-info*. 2011. 2011(10). p. 1 - 4. ISSN 1801-4399.
- [45] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; KORJENIC, A. Studium chování přírodních tepelných izolací za stanovených teplotních a vlhkostních podmínek. In *XV. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. Brno, Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s. 2011. p. 146 - 149. ISBN 978-80-87397-06-0.
- [46] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Studium vybraných vlastností izolačních materiálů z alternativních surovinových zdrojů. *Waste forum*. 2011. 2011(3). p. 163 - 171. ISSN 1804-0195.
- [47] ZACH, J.; BODNÁROVÁ, L.; HROUDOVÁ, J.; BROŽOVSKÝ, J. The study of thermal technical behavior of thermal insulating materials based on natural fibers. In *3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY SOURCES & ENERGY EFFICIENCY - Conference Proceedings*. Nicosia-Cyprus, Cyprus University of Technology. 2011. p. 393 - 397. ISBN 978-9963-567-02-7.
- [48] ZACH, J.; HELA, R.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Utilization of Lightweight Aggregate from Expanded Obsidian for Advanced Thermal Insulating Plasters Production. *Advanced Materials Research*. 2011. 2011(335-336). p. 1199 - 1203. ISSN 1022-6680.
- [49] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Utilization of the ultrasonic pulse method for determining mechanical characteristics for lightweight thermal-insulating plasters. In *DIRECTORIO*. Cancun, Mexico, Pan American Nondestructive Testing Committee and Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos. 2011. p. 1 - 7. ISBN 978-968-9288-10-7.
- [50] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Utilization of the ultrasonic pulse method for determining mechanical characteristics for lightweight thermal-insulating plasters. *The e-Journal of Nondestructive Testing*. 2011. 16(12). p. 1 - 7. ISSN 1435-4934.
- [51] HROUDOVÁ, J.; KORJENIC, A.; PETRÁNEK, V.; ZACH, J. Utilization of thermal insulating materials based on technical hemp for insulating of building structures. In *Building Materials and Building Technology to Preserve the Built Heritage*. Brno, Academic Publishing CERM, Ltd. 2011. p. 280 - 285. ISBN 978-3-937066-21-9.
- [52] HROUDOVÁ, J. *Využití přírodních izolačních materiálů ve stavebnictví*. Bruntál, Stavební svět. 2011. p. 1 - 8.
- [53] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; KOUT, P. Využitie technického konope na výrobu izolačných materiálů určených do podlah. *Stavebné materiály*. 2011. 2011(6). p. 14 - 16. ISSN 1336-7617.

- [54] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Vývoj tepelně izolačních materiálů z odpadních textilních vláken. In *CONSTRUMAT 2011, Zborník príspevkov zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Košice, Technická univerzita v Košiciach. 2011. p. 193 - 196. ISBN 978-80-553-0685-8.
- [55] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. *Zateplení šikmých střech*. Brno, ERA Média, s. r.o. 2011. p. 82 - 83.
- [56] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. *Aktuální přehled z oblasti zděných konstrukcí*. ERA 21. 2010. 10(1/2010). p. 74 - 74. ISSN 1801-089X.
- [57] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Development and study of anti-noise barriers based on alternative raw material sources. In *Construction Waste Recycling and Civil Engineering Sustainable Development, ICWEM 2010, Proceedings of the 2nd International Conference on Waste Engineering and Management*. Bagneux-France, RILEM Proceedings PRO 73. 2010. p. 305 - 313. ISBN 978-2-35158-102-5.
- [58] ZACH, J.; HELA, R.; HROUDOVÁ, J. Development of thermal-insulating plasters intended for saving the historical objects. In *The 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques - Selected papers - Vol. I*. Lithuania, VGTU. 2010. p. 335 - 339. ISBN 978-9955-28-593-9.
- [59] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. *Izolace užívané v konstrukcích plochých střech*. ERA 21. 2010. 2010(3). p. 72 - 72. ISSN 1801-089X.
- [60] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; KOUT, P. Izolační materiály z technického konopí. *Podlahy a interiér*. 2010. 2010(11-12). p. 20 - 21. ISSN 1214-391X.
- [61] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; KOUT, P. Komplexní hodnocení vlastností přírodních izolačních materiálů z technického konopí určených do podlah. In *PODLAHY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY VE STAVEBNICTVÍ 2010*. Praha, BETONCONSULT, s.r.o. 2010. p. 75 - 81. ISBN 978-80-254-7298-9.
- [62] DROCHYTKA, R.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Problematika stanovení návrhových tepelných hodnot u pórobetonového zdiva. In *Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví. Brno, VUT v Brně*. 2010. p. 279 - 287. ISBN 978-80-214-4144-6.
- [63] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Research and development of thermal-insulating materials based on natural fibres. In *The 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques - Selected papers - Vol. I*. Lithuania, VGTU. 2010. p. 330 - 334. ISBN 978-9955-28-593-9.
- [64] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Studium chování tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních obnovitelných surovinových zdrojů. In *XIV. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. Brno, Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s. 2010. p. 153 - 156. ISBN 978-80-87397-02-2.
- [65] DROCHYTKA, R.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Study of influence of moisture on microstructure and properties of cellular concrete. In *8th International Conference NDT 2010 Non-Destructive Testing in Engineering Practice*. 1. Brno, AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM. 2010. p. 30 - 35. ISBN 978-80-7204-723-9.
- [66] ZACH, J.; BYDŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J.; KEPRDOVÁ, Š. TECHNICKÉ KONOPÍ A JEHO MOŽNÉ APLIKACE VE STAVEBNICTVÍ. In *Udržitelná energie a krajina 2010, sborník příspěvků z mezioborové konference*. Brno, ZO ČSOP Veronica. 2010. p. 64 - 70. ISBN 978-80-87308-05-9.
- [67] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Technické konopí pro konstrukce plovoucích podlah. *Interiér*. 2010. 13(1). p. 54 - 55. ISSN 1214-4584.
- [68] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Utilization of technical hemp for thermal insulating materials production. In *Second International Conference on SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES*. Ancona, Italy. 2010. p. 1385 - 1394. ISBN 978-1-4507-1490-7.
- [69] HROUDOVÁ, J. Využití přírodních izolačních materiálů ve stavebnictví. In *Sborník anotací JUNIORSTAV 2010*. Brno, VUT FAST Brno. 2010. p. 1 - 7. ISBN 978-80-214-4042-5.

- [70] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; HALFAR, D. Vývoj ekologických izolačních materiálů na bázi organického odpadu a anorganických pojiv. In *RECYCLING 2010 "Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství ve spolupráci s Asociací pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v ČR. 2010. p. 93 - 99. ISBN 978-80-214-4061-6.
- [71] HELA, R.; ZACH, J.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Vývoj izolačních omítek pro sanaci a zateplování historických objektů. In *SANACE A REKONSTRUKCE STAVEB 2010*. Ostrava, Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ. 2010. p. 76 - 81. ISBN 978-80-02-02273-2.
- [72] HELA, R.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Vývoj pokročilých tepelně izolačních omítek pro historické objekty. *Stavebné hmoty*. 2010. 6.(4-5). p. 44 - 46. ISSN 1336-6041.
- [73] HELA, R.; STŘÍBNÝ, Z.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Vývoj tepelně izolačních omítek pro historické objekty. In *SBORNÍK PŘEDNÁŠEK konference s mezinárodní účastí - Praha dne 19. 4. ÚSPORY ENERGIE V HISTORICKY CENNÝCH BUDOVÁCH*. Praha, TOP EXPO CZ. 2010. p. 1 - 29.
- [74] ZACH, J.; BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, J. Investigation of anti-noise absorptions walls development with utilization of waste from agriculture. In *IABSE SYMPOSIUM BAGKOK 2009. Švýcarsko, IABSE-AIPC-IVBH*. 2009. p. 502 - 503. ISBN 978-3-85748-121-5.
- [75] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti uplatnění izolačních materiálů z technického konopí pro konstrukce plovoucích podlah. In *Podlahy 2009*. Praha 4, BETONCONSULT, s.r.o. 2009. p. 271 - 277. ISBN 978-80-254-5231-8.
- [76] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti výroby tepelných izolací z odpadní ovčí vlny. In *XII. mezinárodní vědecká konference u příležitosti 110. výročí založení FAST VUT v Brně a XIV. výročí založení Stavebních veletrhů Brno*. Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno. 2009. p. 219 - 222. ISBN 978-80-7204-629-4.
- [77] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. Možnosti využití odpadního EPS při výrobě tepelně izolačních materiálů. In *IDEAS 09*. Ostrava - Poruba, VŠB - TU Ostrava. 2009. p. 95 - 96. ISBN 978-80-248-2091-0.
- [78] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Možnosti využití organických vláknitých odpadů pro výrobu tepelných a akustických izolací. In *RECYCLING 2009 "Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"*. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2009. p. 107 - 113. ISBN 978-80-214-3842-2.
- [79] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. *Okna na počátku 21. století*. ERA 21. 2009. 9(2/2009). p. 76 - 78. ISSN 1801-089X.
- [80] HROUDOVÁ, J. Porovnání přesnosti kvantifikace mineralogického složení slinků určené pomocí metody Rietveldovského vypřesnění a spektrofotometrického stanovení chemického složení. In *Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2009*. 1. Brno, VUT FAST Brno. 2009. p. 1 - 8. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [81] ZACH, J.; HUBERTOVIČ, M.; HROUDOVÁ, J. Possibilities of determination of thermal conductivity of lightweight concrete with utilization of non stationary hot-wire method. *The e-Journal of Nondestructive Testing*. 2009. 2009(1). p. 207 - 213. ISSN 1435-4934.
- [82] ZACH, J.; HUBERTOVIČ, M.; HROUDOVÁ, J. Possibilities of determination of thermal conductivity of lightweight concrete with utilization of non stationary hot-wire method. In *"APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING"*. Ljubljana, Slovinsko. 2009. p. 207 - 776. ISBN 978-961-90610-7-7.
- [83] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Possibilities of HPC consistency determination with utilization of penetration. In *Proceedings of 5th International Conference Concrete and Concrete Structures*. 1. Žilina, EDIS. 2009. p. 181 - 187. ISBN 978-80-554-0100-3.
- [84] HROUDOVÁ, J.; KEPRDOVÁ, Š. *Provádění vnějších kontaktních zateplovacích systémů*. ERA 21. 2009. 2009(5). p. 80 - 80. ISSN 1801-089X.

- [85] HELA, R.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Studium vlastností kalcium silikátových izolačních desek pro vnitřní zateplení. *Zpravodaj WTA CZ*. 2009. 2009(3-4). p. 21 - 23. ISSN 1213-7308.
- [86] HELA, R.; ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Studium vlastností kalcium silikátových izolačních desek pro vnitřní zateplení. In *ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2009*. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2009. p. 323 - 329. ISBN 978-80-214-3951-1.
- [87] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Thermal technical properties of insulation materials made from easy renewable row sources. In *UPDATES IN COMPUTATIONAL CIVIL ENGINEERING. Iasi, Romania, Academice "Matei - Teiu Botez"*. 2009. p. 155 - 163. ISBN 978-973-8955-68-4.
- [88] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Thermal technical properties of insulation materials made from easy renewable row sources. *Journal Intersections*. 2009. 2009(6). p. 3 - 11. ISSN 1582-3024.
- [89] ZACH, J.; HROUDOVÁ, J. Utilization of waste from agriculture for production thermal insulation. In *XIIIth International Conference of Research Institute of Building Materials; Ecology and new building materials and products*. Brno, Research Institute of Building Materials, JSC. 2009. p. 65 - 68. ISBN 978-80-254-4447-4.
- [90] GAZDIČ, D.; KULÍSEK, K.; HROUDOVÁ, J. Belitický cement s využitím betonového recyklátu. In *Cement 2008 - Inovačné trendy vo výrobe stavebných látok*. 1. Stará Lesná, Vysoké Tatry. 2008. p. 120 - 124.

ABSTRACT

Increasing demand for new progressive construction materials requires development of modern environmentally friendly materials with excellent end-use properties and reasonable price. One of the main objectives of material research in building industry is using renewable resources of raw materials of industrial waste for development of new construction materials. Current trend of thermal insulation of building constructions results in development of environmentally friendly insulation materials based on renewable material resources from agriculture and stock farming, which could become alternative for current common use insulation materials in the future. The thesis describes research and development of insulation materials based on natural fibres of agricultural origin; in particular fibres of hemp, flax and jute. Hydrothermal behavior of developed materials is studied including computational simulation of behavior of researched materials after building in the construction.