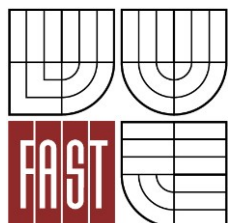




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

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

VÝVOJ NETRADIČNÍCH KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ ETICS NOVÉ GENERACE NA BÁZI DRUHOTNÝCH SUROVIN.

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE COMPOSITE SYSTEMS ETICS ON THE BASIS OF A NEW
GENERATION OF SECONDARY RAW MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL KOVÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. MICHAL KOVÁČ
Název	Vývoj netradičních kompozitních systémů ETICS nové generace na bázi druhotných surovin.
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

MACHATKA, M., ŠÁLA, J., SVOBODA, J. Kontaktní zateplovací systémy, ČKAIT, Praha 1998, 48 s

JUCHELKOVÁ, D., Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi, 1.vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0753-X, 100 s.

<http://www.sciencedirect.com/>

Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. v platném znění. Příslušné technické normy, články v odborných časopisech a sbornících, jiná odborná literatura.

Zásady pro vypracování

V současné době se stavebně technické úpravy a technická řešení zaměřená na zlepšení tepelně izolačních parametrů obvodových stěn stávajících budov i novostaveb, realizují především jejich zateplováním. Kromě tradičně používaných materiálů je snaha o nalezení nových druhů izolantů, které by využívaly druhotné suroviny a tím šetřily přírodu.

1. Souhrnně zpracujte získané poznatky o systému ETICS a vypracujte rešerši stávajícího stavu v ČR i v zahraničí.
 2. Popište vlastností volné slámy a proveďte návrh a teoretický výběr vhodných pojiv (pro pojení slámy) vzhledem na kompatibilitu materiálu. Navrhněte vhodný poměr jednotlivých složek kompozitu, popište pracovní postup výroby a technologii.
 3. U experimentálně zhotovených vzorků proveďte zkoušky určující tepelně technické a mechanické vlastnosti. Dále proveďte výběr nejvhodnějšího kompozitu pomocí optimalizace na základě kritérií zohledňujících technologické, ekonomické a ekologické hledisko.
 4. Přehledně zpracujte možnosti technologie zpracování jednotlivých druhů druhotných surovin a zvolte optimální technologii pro jejich zpracování.
 5. Dále navrhněte a vyzkoušejte vhodné povrchové úpravy nového izolantu a proveďte kompatibilitu vybraných surovin a technologií.
- Práce bude řešena v návaznosti na projekt MPO TIP č. FR-TI2/339 s názvem: „Vnější tepelně-izolační kompozitní systémy využívající alternativní surovinové zdroje“.

Předepsané přílohy

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ANOTACE

Tato diplomová práce uplatňuje využití alternativních surovinových zdrojů k vytvoření zateplovacího systému ETICS nové generace pro rodinné domy. V teoretické části se zabývalo vysvětlením pojmu ETICS a výběrem vhodných surovin k jeho inovování. V navazující praktické části byly využity vybrané suroviny k vytvoření nového tepelného izolantu ze slámy a pojícího materiálu z cementu, kaseinového lepidla, bikomponentních vláken a mycelia dřevokazné houby. Na závěr byly nanесeny varianty základní vrstvy povrchové úpravy z hliněné a minerální stěrky na novém tepelném izolantu, ze kterých se vybírala optimální varianta. Ze spojení optimálního tepelného izolantu a vhodné základní vrstvy povrchové úpravy byl proveden návrh finální podoby nového zateplovacího systému ETICS.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

ETICS, kontaktní zateplovací systém, tepelná izolace, odpad, druhotné suroviny, sláma, povrchová úprava.

ABSTRACT

This master's thesis applies utilization of alternative raw materials in thermal insulation system of the ETICS of new generation for houses. The theoretical part dealt with the explanation of the ETICS and the selection of suitable raw material for his innovating. In the following practical part were used selected materials to create a new thermal insulation made of straw and binding materials of cement, casein glue, bicomponent fibers and mushroom mycelium. At the end have been applied the variants of base coat of clay and mineral screed on new thermal insulation, from which was selected the optimal variant. From optimal thermal insulation and suitable base coat was conducted proposal of final version of new ETICS.

KEYWORDS

ETICS, thermal insulation system, thermal insulation, waste, secondary materials, straw, render coating.

Bibliografická citace VŠKP

KOVÁČ, Michal. *Vývoj netradičních kompozitních systémů ETICS nové generace na bázi druhotných surovin*. Brno, 2012. 126 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.1.2013

.....
podpis autora
Michal Kováč

Poděkování:

Úvodem této diplomové práce bych rád poděkoval vedoucímu práce prof. Ing. Rostislavu Drochytzkovi, CSc., za odborné rady a připomínky, kterými mi velmi pomohl při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli potřebné informace k dané problematice, nebo se osobně přičinili k jejímu vypracování. Jmenovitě je to Ing. Petra Kejha, Ing. Nikol Žižková, Ph.D., Ing. Daniel Kopkáně a zkušená mykologička Ing. Dagmar Palovčíková z Lesnické a dřevařské fakulty, Mendelovy univerzity v Brně.

Děkuju svým rodičům a přítelkyni za podporu a vytvoření pohody potřebné při zpracování této diplomové práce.

Práce byla řešena v návaznosti na projekt MPO TIP č. FR-TI2/339 s názvem: „Vnější tepelně-izolační kompozitní systémy využívající alternativní surovinové zdroje“.

OBSAH

1	ÚVOD.....	- 11 -
2	CÍLE PRÁCE.....	- 12 -
3	METODIKA PRÁCE.....	- 13 -
4	TEORETICKÁ ČÁST	- 18 -
4.1	EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS – ETICS.....	- 18 -
4.1.1	Vývoj ETICS v ČR.....	- 20 -
4.1.2	Vývoj ETICS v zahraničí	- 21 -
4.1.3	Izolační materiály v etics.....	- 22 -
4.1.4	Lepicí hmota	- 24 -
4.1.5	Základní vrstva.....	- 24 -
4.1.5.1	Stěrková hmota	- 24 -
4.1.5.2	Výztužná síťovina	- 24 -
4.1.6	Penetrační nátěry	- 25 -
4.1.7	Kotvení.....	- 25 -
4.1.8	Konečné povrchové úpravy.....	- 25 -
4.1.8.1	Omítky.....	- 26 -
4.1.8.2	Obklady	- 26 -
4.2	ZDROJE DRUHOTNÝCH SUROVIN PRO STAVEBNICTVÍ.....	- 27 -
4.3	TEORETICKÝ VÝBĚR SUROVIN ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU ETICS NOVÉ GENERACE.....	- 29 -
4.3.1	Primární materiál – sláma	- 30 -
4.3.1.1	Charakteristika slámy a její trendy ve využívání	- 31 -
4.3.1.2	Technologie zpracování slámy	- 32 -
4.3.2	Sekundární materiál – pojiva	- 35 -
4.3.2.1	Obecný popis navržených pojících materiálů	- 40 -
5	PRAKTICKÁ ČÁST.....	- 43 -
5.1	VYTVOŘENÍ NOVÉHO TEPELNÉHO IZOLANTU ZE SLÁMY	- 43 -
5.1.1	Popis jednotlivých surovin použitých při výrobě nového izolantu	- 44 -
5.1.1.1	Sláma.....	- 44 -
5.1.1.2	Voda	- 44 -
5.1.1.3	Cement	- 44 -
5.1.1.4	Kaseinové lepidlo	- 45 -
5.1.1.5	Bikomponentní vlákna	- 46 -
5.1.1.6	Mycelium dřevokazné houby	- 46 -
5.1.1.7	Cena jednotlivých složek tepelných izolantů ze slámy	- 49 -
5.1.2	Zkoušky prováděné na novém tepelném izolantu.....	- 49 -

5.1.3	<i>Sláma pojená cementem</i>	- 50 -
5.1.3.1	Návrh hmotnostních poměrů	- 50 -
5.1.3.2	Vytváření slaměno-cementových tepelně-izolačních desek	- 52 -
5.1.3.3	Charakteristika vlastností slaměno-cementových desek	- 53 -
5.1.4	<i>Sláma pojená kaseinem</i>	- 59 -
5.1.4.1	Návrh hmotnostních poměrů	- 60 -
5.1.4.2	Vytváření slaměno-kaseinových tepelně-izolačních desek	- 62 -
5.1.4.3	Charakteristika vlastností slaměno-kaseinových desek	- 64 -
5.1.5	<i>Sláma pojená bikomponentními vlákny</i>	- 70 -
5.1.5.1	Návrh hmotnostních poměrů	- 70 -
5.1.5.2	Vytváření slaměno-bikomponentních tepelně-izolačních desek	- 71 -
5.1.5.3	Charakteristika vlastností slaměno-bikomponentních desek	- 73 -
5.1.6	<i>Sláma pojená myceliem dřevokazné houby</i>	- 78 -
5.1.6.1	Předpříprava před výrobou vzorků	- 79 -
5.1.6.2	Vytváření referenčních slaměno-myceliových tepelně-izolačních desek	- 83 -
5.1.6.3	Charakteristika vlastností referenčních slaměno-myceliových desek	- 85 -
5.1.7	<i>Porovnání naměřených výsledků na slaměných deskách</i>	- 89 -
5.1.8	<i>Optimalizace výběru nové tepelné izolace slaměné desky</i>	- 94 -
5.1.9	<i>Diskuze a shrnutí výsledků výběru nového izolantu z alternativních surovinových zdrojů</i>	- 98 -
5.2	NÁVRH VHDNÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY	- 100 -
5.2.1	<i>Výběr jednotlivých materiálů základní vrstvy</i>	- 100 -
5.2.2	<i>Popis jednotlivých surovin základní vrstvy povrchové úpravy</i>	- 101 -
5.2.2.1	Minerální stěrková hmota	- 101 -
5.2.2.2	Hliněná stěrková hmota	- 102 -
5.2.2.3	Skleněná výtlačná síťovina	- 103 -
5.2.2.4	Jutová perlina	- 103 -
5.2.3	<i>Zkoušky prováděné na základních vrstvách</i>	- 104 -
5.2.4	<i>Vytvoření základních vrstev na tepelnou izolaci</i>	- 105 -
5.2.5	<i>Charakteristické vlastnosti základních vrstev</i>	- 106 -
5.2.6	<i>Optimalizace výběru vhodné základní vrstvy</i>	- 111 -
5.2.7	<i>Diskuze a shrnutí výsledků výběru vhodné povrchové úpravy</i>	- 114 -
6	TEORETICKÝ NÁVRH SKLADBY SYSTÉMU ETICS NOVÉ GENERACE	- 116 -
7	ZÁVĚR	- 117 -
8	POUŽITÁ LITERATURA	- 119 -
	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	- 121 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 123 -
	SEZNAM TABULEK	- 125 -
	SEZNAM GRAFŮ	- 126 -

1 ÚVOD

Ještě začátkem 20. století se stavěli obvodové zdi rodinných domů převážně z organických a anorganických materiálů z blízkého okolí bydliště. Jako tepelné izolace bylo použito velké množství hmoty z pálených a nepálených cihel, kamene a dřeva, které ve značné tloušťce měly výborné akumulární i izolační vlastnosti. Z důvodu použití velkého množství materiálu, byly ale stavební práce namáhavé a zdoluhavé. Postupným vývojem společnosti a to zejména průmyslových odvětví byla snaha o zvýšení úrovně komfortu obyvatelstva. S tím byla spojena také mnohem větší efektivita při výstavbě objektů. Použití cementu a pálených cihel mělo za následek výrazné snížení tloušťky konstrukcí a tím využití zvětšených obytných místností, z důvodů větší tuhosti stěn. Mělo to také další výhody jako například rychlost stavění a úsporu materiálů, ale paralelně s vývojem také výrazný pokles izolačního potenciálu.

V časech kdy bylo zdrojů pro vytápění dostatek a cena paliva, jehož množství v současnosti rapidně klesá a s ním taky enormně narůstá cena, nepříliš ovlivňovala chod domácností. Znamenalo to, že snížení tloušťky stěn bylo vykompenzováno objemem palivových surovin a z pohledu oproti současnosti je možné konstatovat, že dění, které ovlivnilo i pozdější generace, můžeme označit jako plýtvání a nebylo správné. [1]

Globální změny klimatu a neustálé zvyšování cen energií stále více zdůrazňují nutnost snižování množství energie na vytápění budov. Na snižování finanční náročnosti při udržení tepelné pohody v budovách jsou používané tepelně-izolační materiály o vysokém tepelném odporu při průchodu tepelného toku. Většina z těchto tepelně-izolačních výrobků jsou v současné době vyráběny z ropy, resp. jejích derivátů, čímž se stávají těžko rozložitelnými. Tento fakt bude do budoucnosti představovat možné ekologické riziko a z hlediska jeho eliminace bude potřeba vynaložit další finanční prostředky.

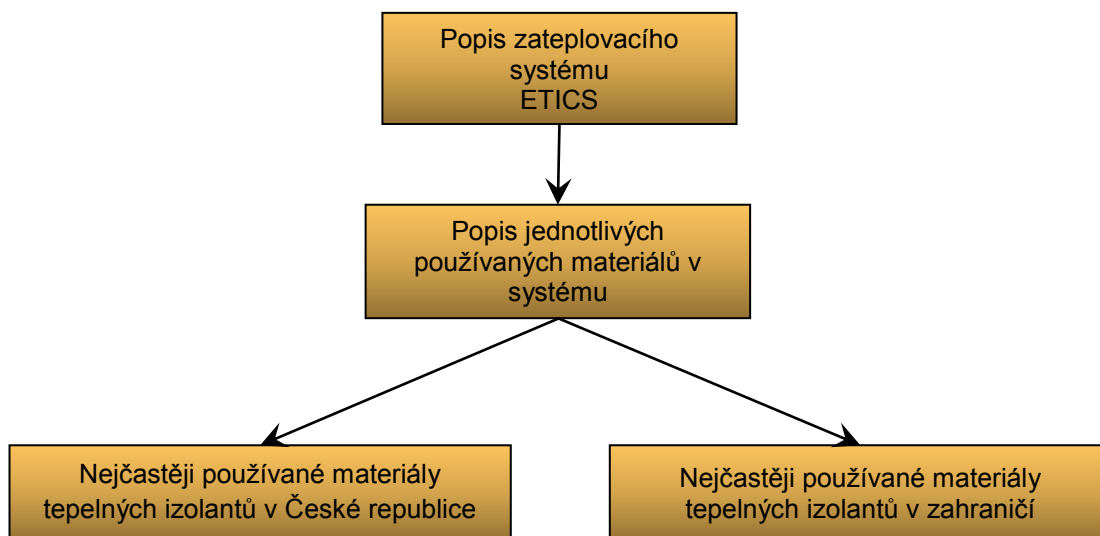
Pohled do budoucnosti ukazuje jasný signál, že je potřebné se zaměřit také na ekologickou stránku, kdy se uchovají jak přírodní surovinové zdroje, tak zdroje finanční. Z hlediska trvale udržitelného rozvoje se uvažuje použití alternativních surovinových zdrojů k výrobě tepelných izolací, které budou po úpravě konkurenceschopné jak z finančního hlediska, tak funkčního a přitom budou ekologicky nezávadné.

2 CÍLE PRÁCE

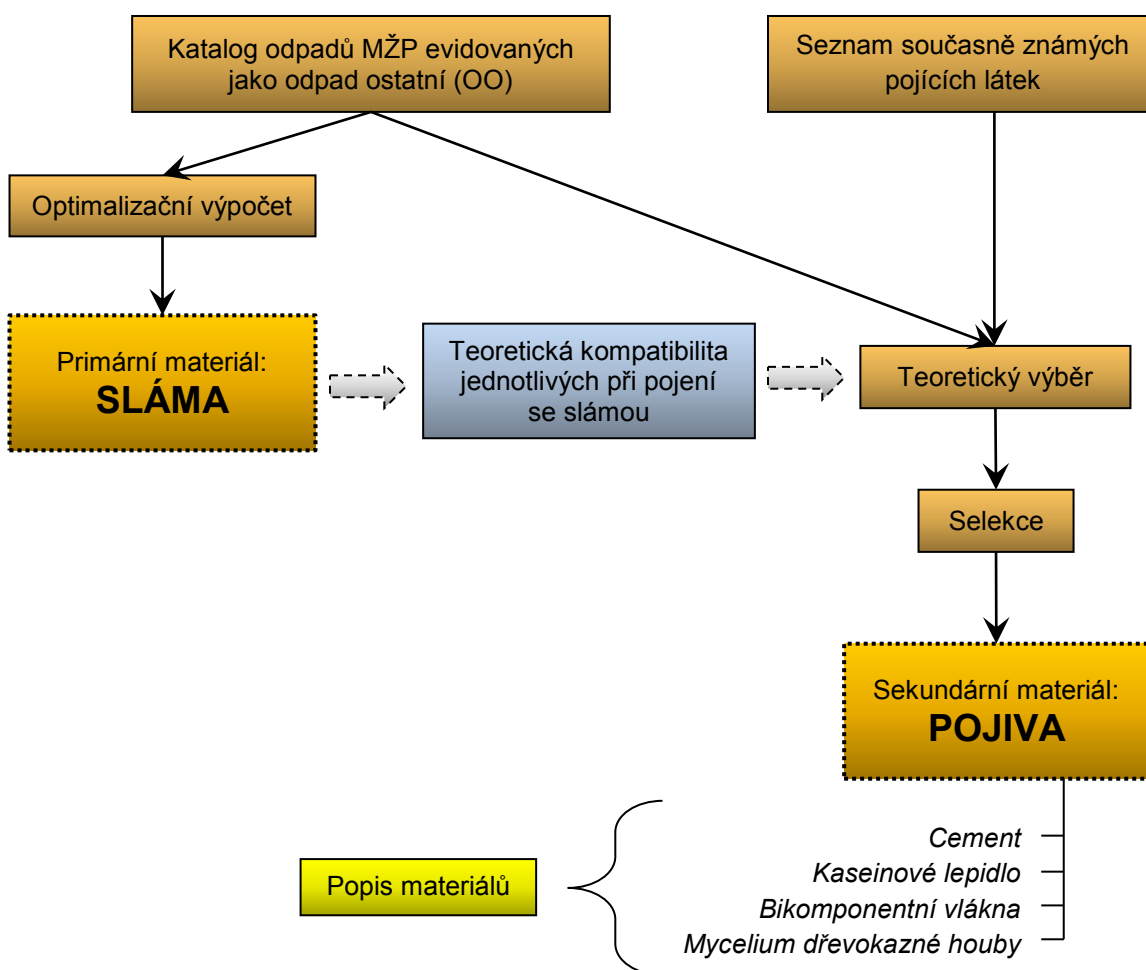
Cílem této diplomové práce je navržení alternativního zateplovacího systému ETICS nové generace, určeného primárně k zateplování ekologicky koncipovaných rodinných domů. Tento zateplovací systém by měl být inovován po materiálové stránce s využitím alternativních surovinových zdrojů, v tomto případě slámy. V diplomové práci by měly být prakticky odzkoušeny nejdůležitější prvky ETICS a to konkrétně nová tepelná izolace a vhodná povrchová úprava.

3 METODIKA PRÁCE

I. ETAPA - Rešerše stávajícího stavu ETICS v ČR i v zahraničí

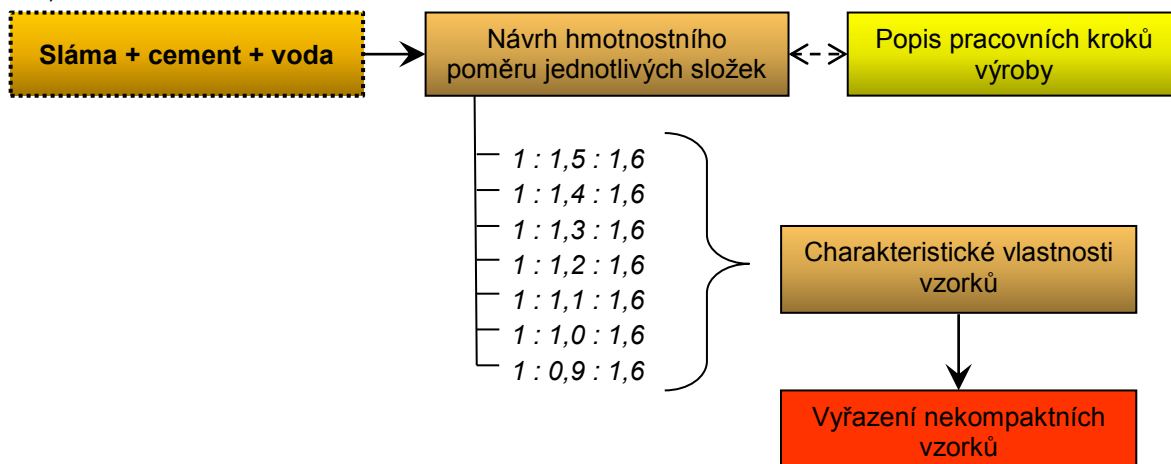


II. ETAPA - Výběr alternativních materiálů k vytvoření nového tepelného izolantu v návaznosti na bakalářskou práci (BP)

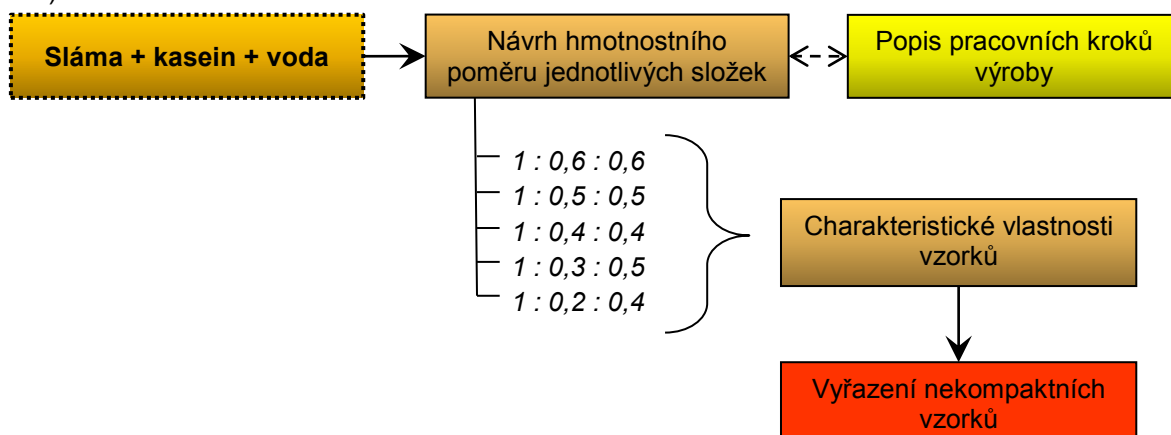


III. ETAPA - Zpracování desek tepelných izolantů ze slámy

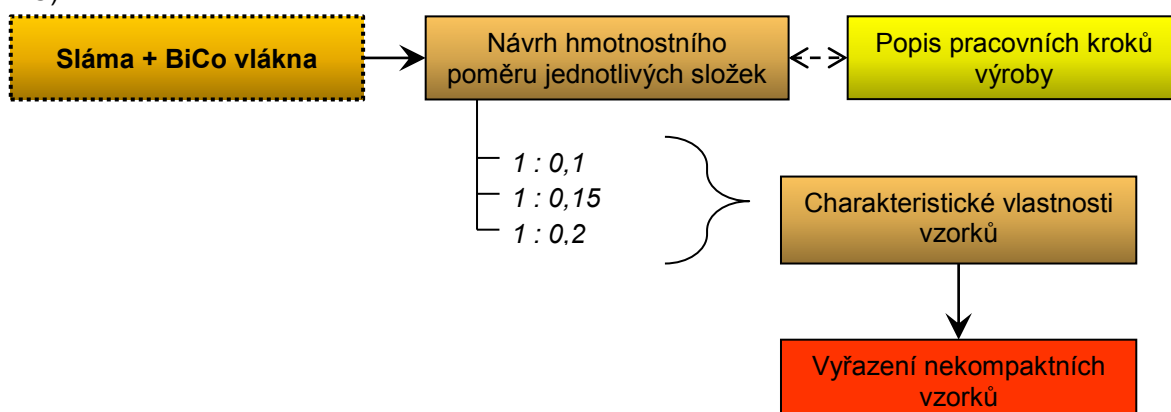
A)



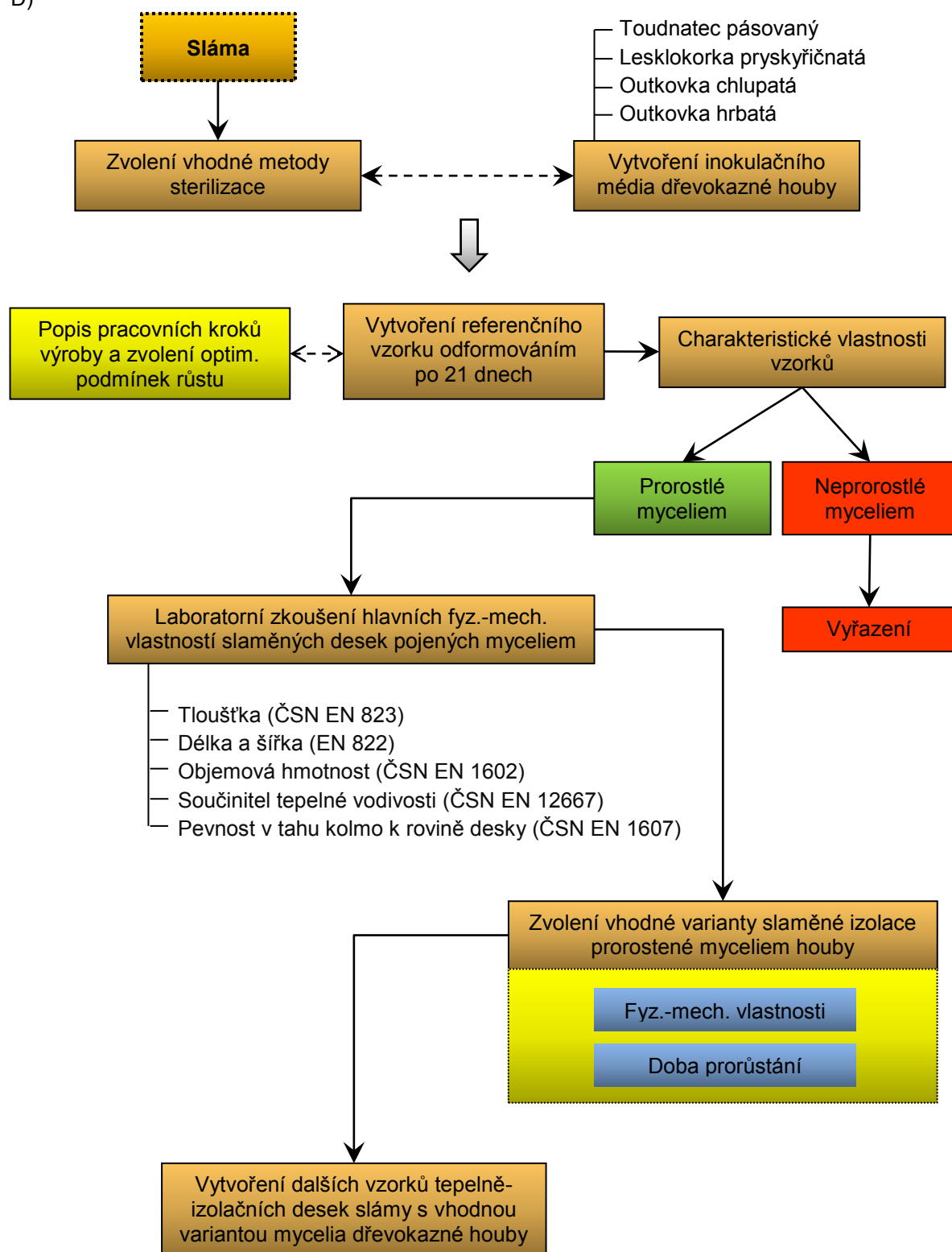
B)



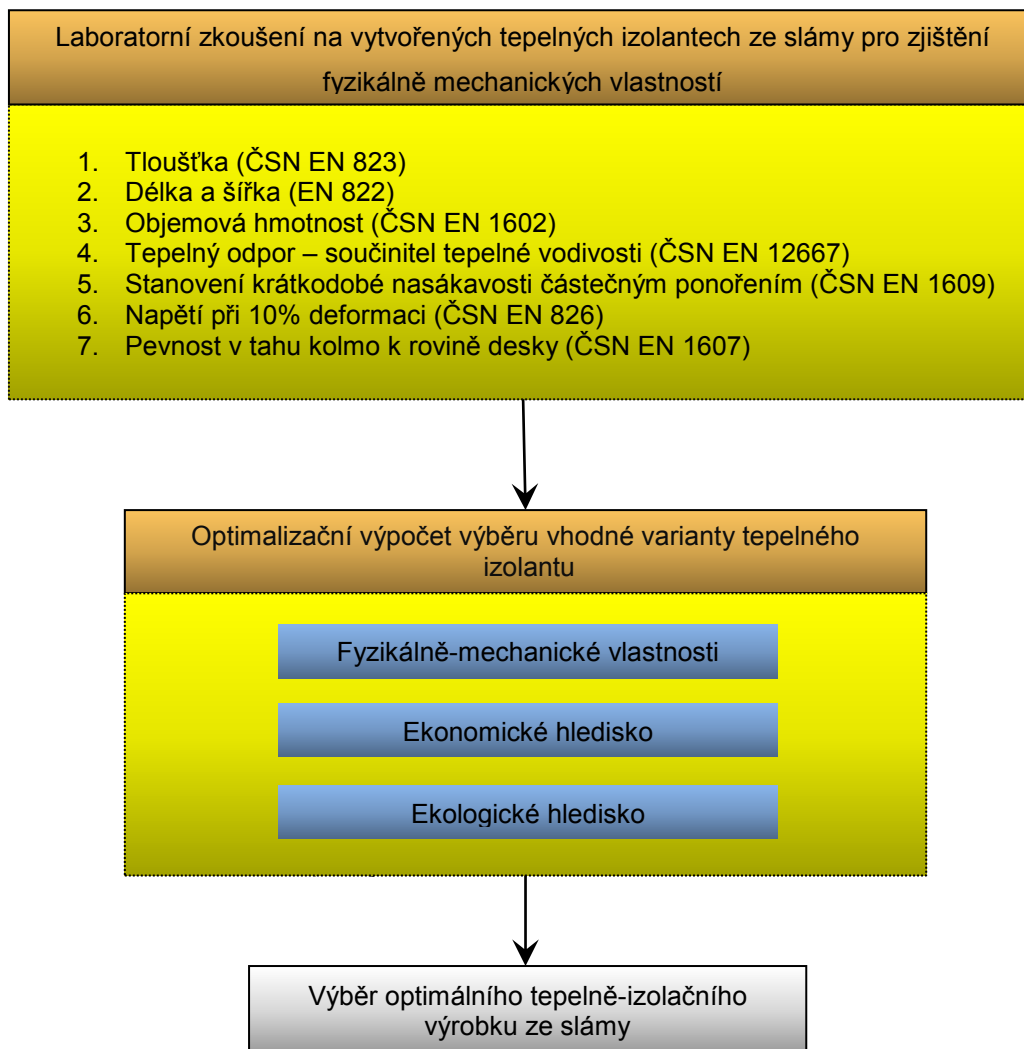
C)



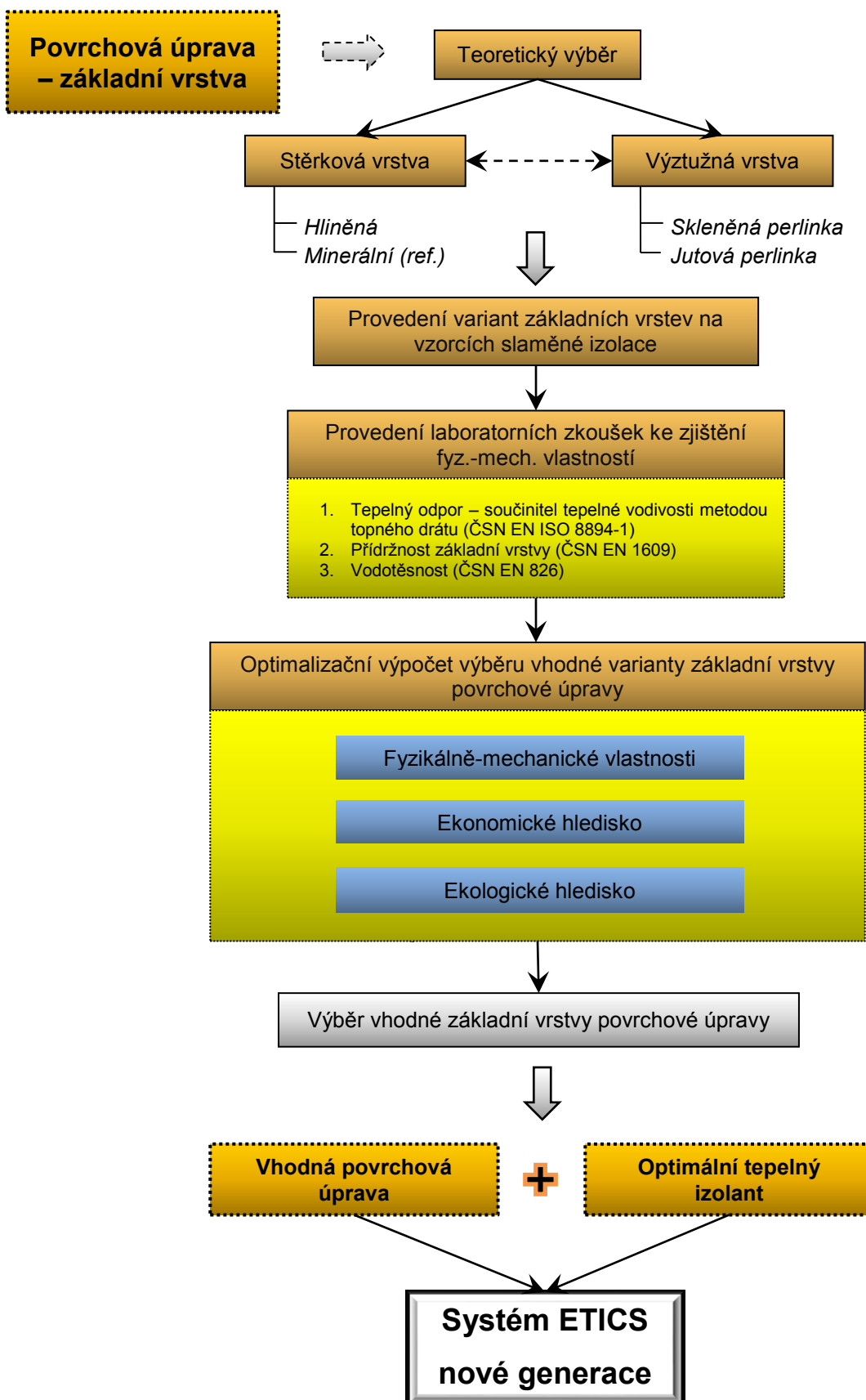
D)



IV. ETAPA - Laboratorní zkoušení a výběr vhodné varianty tepelné izolace ze slámy



V.ETAPA - Výběr vhodné varianty povrchové úpravy na optimálním tepelném izolantu z předchozí etapy pro nový systém ETICS



4 TEORETICKÁ ČÁST

4.1 EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS

– ETICS

Pod pojmem ETICS chápeme vnější tepelně izolační kompozitní systém, který je složený z průmyslově zhotovených výrobků a výrobce ho dodává jako ucelený systém – jako konkrétní pevnou certifikovanou skladbu, jehož vlastnosti musejí být certifikovány pro výrobek jako celek, ale také každá část musí splňovat charakteristické požadavky pro kompatibilitu celého systému.

V ČR, obdobně jako ve většině sousedních zemí, se nyní realizuje nejvíce tepelně izolačních úprav stávajících obvodových stěnových konstrukcí i konstrukcí nově budovaných právě těmito vnějšími tepelně izolačními kontaktními systémy ETICS.

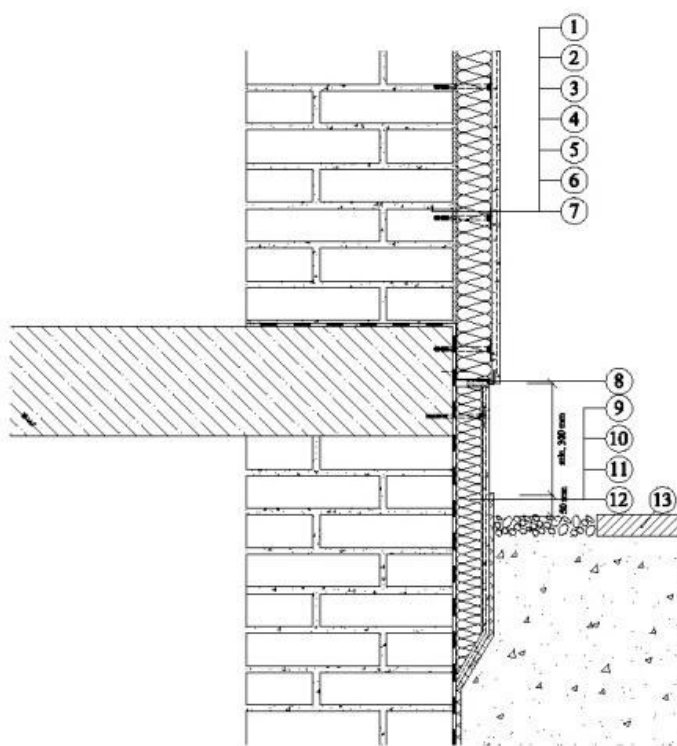
Jedná se o systémy bez provětrávané mezery určené pro aplikaci na vnějších stranách obvodových konstrukcí. Mají lepenou, a ve většině případů i hmoždinkami kotvenou, tepelnou izolaci. Na tepelné izolaci je prováděna tzv. základní vrstva, a to stěrkovou hmotou výztužnou síťovinou. Na tuto základní vrstvu se aplikuje omítková povrchová úprava různého barevného a povrchového ztvárnění. V některých případech je tato povrchová úprava opatřena i nátěrem.

Z hlediska legislativy představuje zateplovací systém tzv. stanovený výrobek, a je proto nutné dodržovat zásady a požadavky směrnice 89/106/EHS pro stavební výrobky. V rámci této normy se hodnotí u výrobku šest základních požadavků: mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, ochrana zdraví a životního prostředí, ochrana proti hluku, bezpečnost při užívání, úspora energie a tepelná ochrana. Z toho vyplývá povinné hodnocení shody zajišťované výrobcem podle zákona č. 22/1997 Sb., ve znění pozdějších a navazujících předpisů. ETICS je možno hodnotit podle evropských předpisů (ETAG 004) NV č. 190/2002 Sb. nebo podle národních předpisů (technické návody) NV č. 163/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů. [1]

Skladba tepelně izolačního kompozitního systému ETICS se mění dle druhu použitého materiálu v jednotlivých vrstvách. Obecně se skládá z těchto částí:

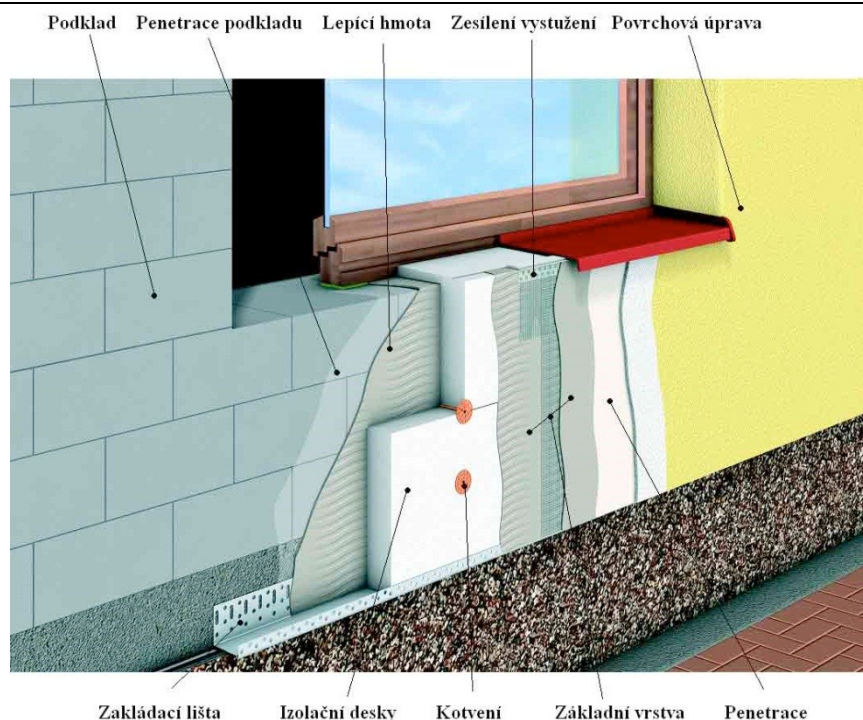
1. Lepicí hmota
2. Tepelný izolant
3. Výztužná síťovina
4. Stěrková hmota
5. Povrchová úprava

Ukázková skladba certifikovaného tepelně izolačního systému ETICS a její popis je uveden na obrázku 4.1 a 4.2.



Obr. 4.1 : Řez vnějším zateplovacím systémem ETICS [1]

1 – Obvodová konstrukce, 2 – Lepicí hmota, 3 – Tepelná izolace,
4 – Talířová hmoždinka, 5 – Lepicí a stěrková hmota, 6 – Výztužná síťovina,
7 – Tenkovrstvá omítka, 8 – Těsnicí páska, 9 – Tepelná izolace, 10 – Základní
vrstva, 11 – Tenkovrstvá omítka, 12 – Nopová delta fólie, 13 – Okapový chodníček



Obr. 4.2: Ukázková skladba kontaktního zateplovacího systému ETICS v pohledu [1]

4.1.1 Vývoj ETICS v ČR

Vývoj izolačních materiálů v České republice navazuje na vývoj nových materiálů a jejich použití ve stavebnictví také ze zahraničí. V současné době otevřeného obchodu a přístupu k informacím tento trend vede k rychlému reagování na novinky v zahraničních trzích. Z tohoto důvodu dá se říci, že rozdíly mezi státy jsou nepatrné a liší se zejména v objemu použitých určitých druhů materiálů v závislosti na požadavcích vyplývajících např. z technologické vyspělosti států, z různých klimatických podmínek a bohatství surovin pro výrobu tepelně izolačních materiálů.

Zateplovací systém ETICS se poprvé začal využívat České republice zejména až v roce 1993, kdy byl použit přibližně na půl milionu metrů čtverečných zástavby. V současné době je již tento systém prováděn na většině stávajících i nově zkonstruovaných budov. Objem současné produkce tohoto výrobku činí kolem 16 mil. m², což řadí Českou republiku na popřední místo produkce na jednoho obyvatele v Evropě.

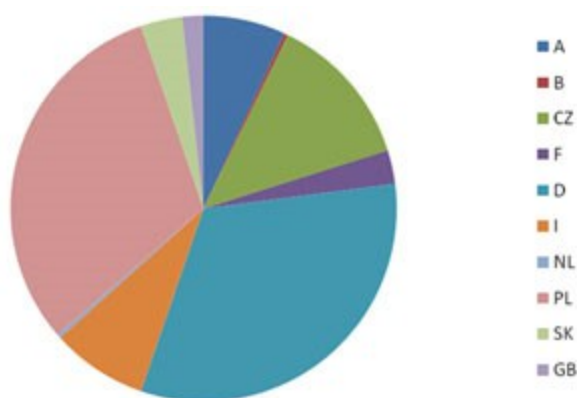
Tyto objemy vyprodukovaného ETICS jsou dělena zejména mezi tepelně izolační materiály z polystyrenu a minerální vlny. Dále jsou využívána i jiné deskové materiály jako polyuretan, dřevitá vlna, pěnové sklo, fenolická pěna, která jsou

zatím využívána v mnohém menší míře, proto jsou pak nazývány jako alternativy k dosavadně nejpoužívanějším typům. [1]

4.1.2 VÝVOJ ETICS V ZAHRANIČÍ

Systém ETICS, v Irsku a Velké Británii se nazývá jako External Wall Insulation Systems (EWIS), v Kanadě a USA se nazývá Exterior Insulation and Finish Systems (EIFS). Zatímco ve Spolkové republice Německo (SRN) a Rakousku se tento systém nazývá Wärme-dämmverbundsystem (WDVS). V SRN byl WDVS poprvé uveden na trh kolem roku 1960 a od této doby tam bylo použito kolem 500 mil m² tohoto systému. V těchto letech byly využívány materiály stejného charakteru, jako je k tomu i dnes, ale ovšem s kvalitativně nižším hodnocením oproti současnosti. To znamená např., že polystyren nebyl dostatečně odolný vůči UV záření a působení klimatických podmínek, zejména tepla, způsobující tzv. sublimaci polystyrenu. Obdobně tomu bylo i u použitých povrchových úprav, které v současnosti tvoří polymerní maltovinové směsi.

Podobně jako v SRN, tak i v jiných státech jako Rakousko, Polsko, Česko, Slovensko, je podíl zateplovacího systému ETICS oproti jiným systémům na trhu většinový. V současnosti se ETICS v Evropě provádí přibližně v objemu okolo 100 mil. m² ročně. Největšími výrobci jsou zejména SRN, Polsko, Česká Republika (viz obrázek 4.3). Systém technologie montáže je obdobný pro všechny státy, rozdíly jsou zejména v druzích používaných izolačních materiálů. V ekonomicky silnějších státech jako SRN a Rakousko je na rozdíl, např. od České republiky, větší potenciál využívat jako tepelný izolant např. pěněný polystyrén s grafitem, protože vzhledem k jeho vlastnostem oproti obyčejnému polystyrenu má také vyšší cenu. [1]



Obr. 4.3: Podíly jednotlivých států na produkci ETICS [1]

4.1.3 IZOLAČNÍ MATERIÁLY V ETICS

Izolační vrstva zateplovacího systému, jakožto nejdůležitější složka bývá často zdokonalována. V současné době je snaha ve využívání i méně známých materiálů izolantů a vytvoření konkurenceschopnosti k nejvíce využívaným zateplovacím systémům ETICS s polystyrenem a minerální vlnou. Výběr konkrétního druhu izolantu záleží nejenom na jeho izolačních vlastnostech, ale také např. na mechanických vlastnostech, difúzní otevřenosti, reakci na oheň, chování v exteriéru (mikroorganismy), ekologické nezávadnosti a v neposlední řadě nízký zájem prováděcích firem zkoušet nové druhy izolantů. Tyto firmy provádějící zateplovací systémy ETICS spíše vsázejí na tradici a dosavadní zkušenosti s klasickými izolanty. Výpis nejdůležitějších výhod a nevýhod jednotlivých izolantů, které je možno v zateplovacím systému ETICS spatřit je zpracován v tabulce 4.1.

Izolační materiál		λ ($W.m^{-1}K^{-1}$)	Výhody	Nevýhody
PS - Polystyren	EPS - pěněný	0,037 - 0,040	Odolnost vůči převážné většině kyselin, zásad a roztoků org. i anorg. solí	Smršťování vyvoláno únikem nadouvadla až 4 %
			Nevytváří živnou půdu pro mikroorganismy	Hořlavost (třída reakce na oheň E)
			Odolnost proti stárnutí až 50 let při ochraně vůči UV záření	Faktor difúzního odporu $\mu = 20 - 40$
			Jednoduchá manipulace a tvarová variabilita	
	EPS s grafitem	0,03 - 0,032	Odolnost vůči převážné většině kyselin, zásad a roztoků org. i anorg. solí	Smršťování vyvoláno únikem nadouvadla až 4 %
			Nevytváří živnou půdu pro mikroorganismy	Hořlavost (třída reakce na oheň E)
			Odolnost proti stárnutí až 50 let při ochraně vůči UV záření	Faktor difúzního odporu $\mu = 20 - 40$
			Jednoduchá manipulace a tvarová variabilita	Vyšší cena oproti obyčejné EPS přibližně o 60 %
			Snížený součinitel tepelné vodivosti na hodnotu $\lambda = 0,03 - 0,032 W.m^{-1}.K^{-1}$	
	XPS - extrudovaný	0,029 - 0,045	Odolnost vůči převážné většině kyselin, zásad a roztoků org. i anorg. solí	Hořlavost (třída reakce na oheň E)
			Nevytváří živnou půdu pro mikroorganismy	Slabá difúzní otevřenost $\mu = 80 - 250$
			Odolnost proti stárnutí až 50 let při ochraně vůči UV záření	
			Jednoduchá manipulace a tvarová variabilita	
			Pevnost v tlaku 200 - 300 kPa (použití pro více namáhaná místa)	

Izolační materiál		λ ($W.m^{-1} K^{-1}$)	Výhody	Nevýhody
MW - Minerální vlna Sklenná i kamenná		0,035 - 0,045	Teplotní odolnost až 750 °C	Vysoká plošná nasákavost 5 - 30 $kg.m^{-2}$
			Difúzní otevřenost $\mu = 1,2 - 1,5$	Bez hydrofobizace nasákavost až 300 % hmotnostních
			Nepodporují vznik plísní	Respirabilita - při manipulaci vylučuje do ovzduší malé částičky vláken
			Třída reakce na oheň A1	
PF - Fenolická pěna		0,021 - 0,024	Krátkodobá teplotní odolnost až 200 °C, trvale do 150 °C	Navlhavost při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 60 % činí 0,2 %
			Třída reakce na oheň D	Nasákavost až 11 % objemu
			Nevytváří živnou půdu pro mikro-organismy	Křehkost
			Součinitel tepelné vodivosti λ cca 0,024 $W.m^{-1}.K^{-1}$	
			Jednoduchá manipulace a tvarová variabilita	
PUR - Polyuretanová pěna		0,026 - 0,030	Teplotní odolnost krátkodobá až +200 °C, trvale do 120 °C	Při trvalém vystavení vlhkosti nastává degradace (štěpení polyuretanů)
			Nasákavost 1 - 3 % hmotnostní	Odolnost proti stárnutí jenom 10 let při ochraně vůči UV záření
			Součinitel tepelné vodivosti λ cca 0,03 $W.m^{-1}.K^{-1}$	Třída reakce na oheň E
			Jednoduchá manipulace a tvarová variabilita	
CG - Pěnové sklo		0,038 - 0,050	Teplotní odolnost od -260 °C až 450 °C	Cena až 8 krát vyšší než u EPS
			Nasákavost téměř nulová	Faktor difúzního odporu $\mu = \infty$
			Životnost více než 50 let	Křehkost - opatrné zacházení při manipulaci
			Třída reakce na oheň A1	
			Odolnost vůči mikroorganismům	
			Odolnost proti ředidlům, běžným kyselinám (kromě kys. fluorovodíkové) i ropným produktům	
			Tvarová variabilita	
			Pevnost v tlaku až 1,6 MPa (použití pro více namáhaná místa)	

Tab. 4.1: Výhody a nevýhody tradičních i méně používaných tepelných izolantů v zateplovacím systému ETICS

4.1.4 LEPICÍ HMOTA

Lepicí hmota je určena k lepení izolačních desek na vyrovnaný povrch fasády. [1]

Podle druhu pojiva se rozděluje na:

- Disperzní, (jedná se o hmotu, kde převažujícím pojivem jsou syntetické polymery dispergovatelné ve vodě)
- Minerální, (jedná se o hmotu, kde převažujícím pojivem je cement)
- Jiná (např. polyuretan)

4.1.5 ZÁKLADNÍ VRSTVA

Základní vrstva je v systému specifikovaná vrstva, uplatňovaná přímo na tepelně izolační materiál. Obsahuje stěrkovou hmotu a výztužnou síťovinu. [1]

4.1.5.1 STĚRKOVÁ HMOTA

Stěrková hmota je určená k vyrovnání povrchu izolačních desek na fasádě a k ochraně výztužné síťoviny. Vytváří podklad pod konečnou povrchovou úpravu v minimální tloušťce. Se skleněnou síťovinou tvoří základní vrstvu ETICS a podle druhu pojiva může být:

- Disperzní, (jedná se o hmotu, kde převažujícím pojivem jsou syntetické polymery dispergovatelné ve vodě)
- Minerální, (jedná se o hmotu, kde převažujícím pojivem je cement)
- Jiná (např. anhydrit, epoxid)

V některých případech může být podle dokumentace výrobce ETICS stěrková hmota totožná s lepicí hmotou. [1]

4.1.5.2 VÝZTUŽNÁ SÍŤOVINA

Výztužná síťovina slouží jako výztužný prvek proti namáhání tahem vlivem smršťování a roztahování stěrkové hmoty od působení povětrnostních podmínek. Z materiálů je nejpoužívanější materiál ze skleněné síťoviny. Na více namáhaná místa se doporučuje použít např. pancéřovou výztužnou síťovinu. Skleněná síťovina musí být opatřena konečnou úpravou odolávající alkáliím. [1]

4.1.6 PENETRAČNÍ NÁTĚRY

Penetrační nátěr je výrobek pro úpravu povrchu před nanášením následné vrstvy. Tento nátěr je určený ke zpevnění podkladu a snížení jeho nasákavosti, čímž dochází ke zvýšení přídržnosti nanášené hmoty k podkladu. Jeho druh a barva se určuje dle složení a barvy vrstvy na něho nanášejí. [1]

Penetrační nátěr může být např. pod:

- Disperzní omítkou, kde hlavní složkou je akrylátová disperze
- Silikonovou omítkou, kde převažujícím pojivem je silikonová disperze
- Jinou (např. silikátovou, minerální)

4.1.7 KOTVENÍ

Kotvení tepelně izolační vrstvy je prováděno hmoždinkami. Pokud to není vyžadováno, tak jsou tepelně izolační desky pouze lepeny na lepicí hmotu anebo nejčastěji jejich kombinace. Hmoždinky jsou mechanické připevňovací prostředky, které zabezpečují přídržnost systému k podkladu, působící proti sacím silám větru. Možnosti osazování se mohou lišit dle zvoleného typu hmoždinek:

- Zatloukáací hmoždinka se osazuje zatloukáním do dřívku hmoždinky ocelovým nebo plastovým trnem
- Šroubovací hmoždinka je specifikována šroubováním ocelového šroubu do dřívku hmoždinky
- Jiná (např. tekutá)

V případě, že konkrétní materiál na stavbě je jiný než materiály, které jsou součástí deklarace, je potřebné provádět stanovení odolnosti hmoždinky proti vytržení podle předepsaných postupů dle zkušebního předpisu ETAG 014 přímo na stavbě. [1]

4.1.8 KONEČNÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Povrchová úprava jako poslední prvek systémového zateplení plní vícero funkcí najednou. Hlavními úlohami povrchových úprav je poskytovat mechanickou, biologickou i fyzikálně-chemickou ochranu a zároveň plní estetickou stránku. Důležitou vlastností této vrstvy je odolnost proti mechanickému poškození a odolnost proti pronikání srážkové vody. [1]

4.1.8.1 OMÍTKY

Omítkové směsi KZS ETICS obsahují tzv. modifikační přísady zvyšující vodotěsnost. Zároveň je nutné, aby tato vrstva umožňovala prostup vodních par, difundujících z vnitřního do vnějšího prostředí přes obvodovou konstrukci. [1]
Povrchové úpravy se dělí podle omítkové směsi na:

- Disperzní, (jedná se o omítku, kde převažujícím pojivem jsou syntetické polymery na bázi akrylátu dispergovatelné ve vodě)
- Minerální, (jedná se o omítku, kde převažujícím pojivem je cement)
- Silikonová, (jedná se o omítku na bázi polymerních disperzí a silikonových emulzí)
- Silikátová, (jedná se o omítku na bázi polymerních disperzí a vodního skla)
- Jiná (např. vápenná, hliněná apod.)

4.1.8.2 OBKLADY

Obklad je povrchová úprava osazována do rámců kotvených v nosné konstrukci, která může být různých materiálů, např. keramický obklad, skleněné desky, apod., což znamená, že to jsou prvky povrchové úpravy zateplovacích systémů s provětrávanou mezerou. [1]

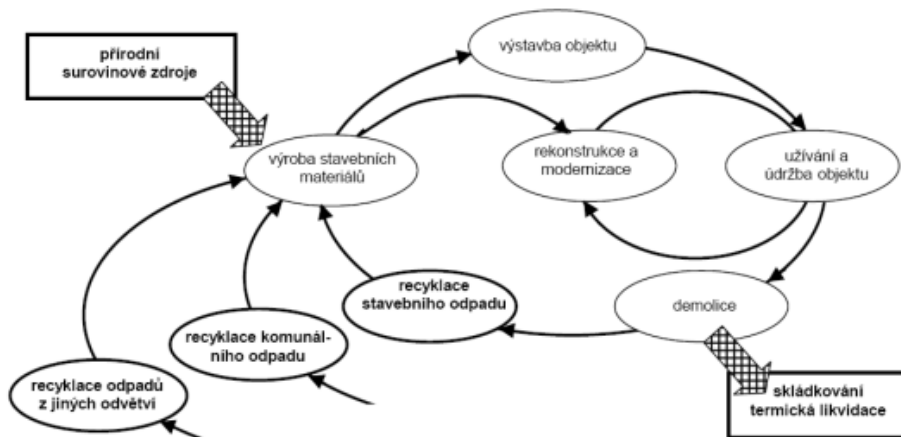
V současné době je snaha o ekonomické a ekologické využití odpadů ve všech dílčích částech zateplovacího systému ETICS. Například využití popílků anebo betonových recyklátů v povrchových úpravách apod. V následující kapitole 4.2 je popsána problematika využívání odpadů, zatřídování do skupin a zdroje odpadů pro využití ve stavebnictví.

4.2 ZDROJE DRUHOTNÝCH SUROVIN PRO STAVEBNICTVÍ

Odpadem je, podle zákona č. 185/2001 Sb., každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č.1 k tomuto zákonu. Druhotnou surovinou se nazývají suroviny získané z odpadů, které po určité úpravě např. separací, nebo bez úpravy, jsou způsobilé k dalšímu využití. Z toho lze usoudit úzký vztah mezi pojmy, a proto mohou být navzájem častokrát nahrazované. Využití druhotných surovin se stává současným trendem vzhledem k velkému narůstání objemu odpadních surovin z odvětví průmyslu. Význam použití odpadu s druhotným využitím je hlavně v úspoře nebo v úplném vyloučení vstupu primárních surovin do výroby a tím ochrana životního prostředí a ekonomická výhodnost. Primární suroviny ve stavebnictví pocházejí ve většině případů z neobnovitelných přírodních zdrojů, a proto použití recyklovaných odpadů kladně působí na životní prostředí v těchto aspektech:

- snížení zátěže prostředí škodlivými účinky odpadů,
- úspora přírodních surovinových zdrojů,
- úspora energie a snížení škodlivých účinků spojených se zpracováním primárních surovin

Od devadesátých let minulého století po pádu sovětského svazu se v ČR začalo mnohem více přihlížet na ekologii, což mělo vliv také na stavebnictví, jež je podstatným producentem odpadů, ale také s poměrně velkým potenciálem různorodý odpad druhotně využívat. Na obrázku 4.4 jsou vidět zdroje druhotných surovin v současnosti využívané resp. s potencionálním využitím ve stavebnictví. [1]



Obr. 4.4: Zdroje druhotných surovin spotřebovávané ve stavebnictví [1]

Odpadní produkty průmyslných odvětví a komunální spotřeby se obecně dělí podle jejich dopadu na okolí, na odpady nebezpečné, ostatní a zvláštní. Nebezpečný odpad (NO) je jakýkoliv odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností. Posouzení škodlivosti či nebezpečnosti odpadu se provádí na základě tzv. Seznamu nebezpečných vlastností odpadů, který je součástí zákona o odpadech č. 185/2001 Sb., jako příloha č.2.

Těmito vlastnostmi jsou:

- | | |
|---|--------------------|
| • Výbušnost, | • Karcinogenita, |
| • Hořlavost, | • Akutní toxicita, |
| • Oxidační schopnost, | • Pozdní účinek, |
| • Dráždivost, | • Žíravost, |
| • Ekotoxicita, | • Infekčnost, |
| • Schopnost odpadů uvolňovat
při styku se vzduchem nebo
vodou jedovaté plyny, | • Radioaktivita, |
| | • Mutagenita |

Zvláštními odpady (ZO) jsou látky, na jejichž sběr a odstraňování jsou kladeny zvláštní požadavky např. radioaktivní odpad jaderných elektráren.

Mezi ostatní odpad (OO) jsou zařazeny tedy všechny ostatní odpady tyto nebezpečné vlastnosti nevykazující. [1]

Snahou v této diplomové práci je využití odpadních materiálů v zateplovacím systému ETICS v co největší míře. Jak již bylo zmíněno dříve, tepelný izolant je v zateplovacím systému ETICS nejdůležitější složkou. V kapitole 4.3 byl proveden výběr odpadů pro vytvoření nového tepelného izolantu a to jak pro tepelně izolační, tak pro pojící materiál. Oba teoretické výběry byly provedeny za pomoci katalogu o odpadech Ministerstva životního prostředí.

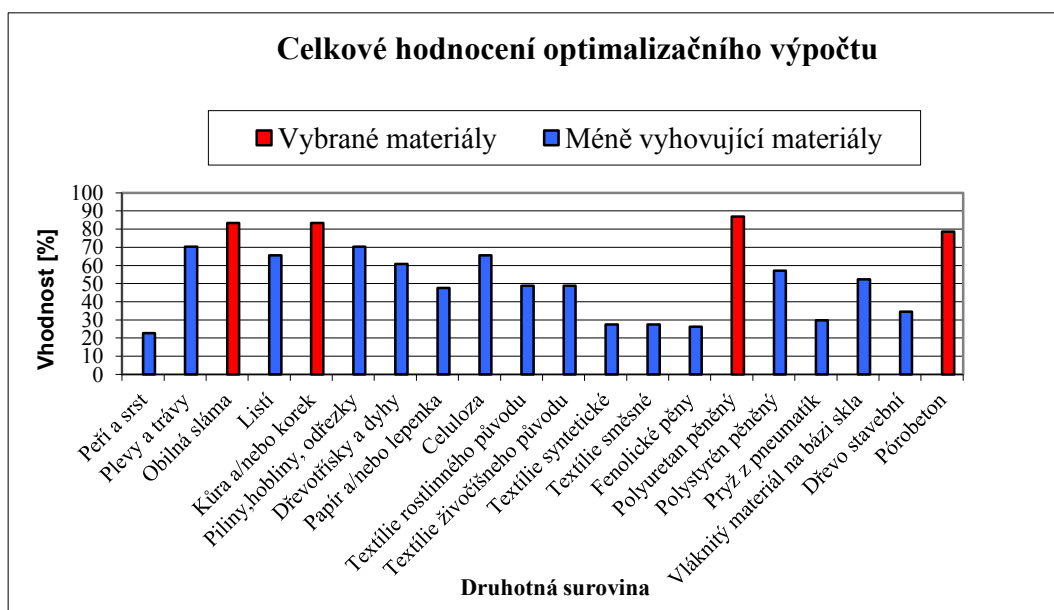
4.3 TEORETICKÝ VÝBĚR SUROVIN ZATEPLOVACÍHO

SYSTÉMU ETICS NOVÉ GENERACE

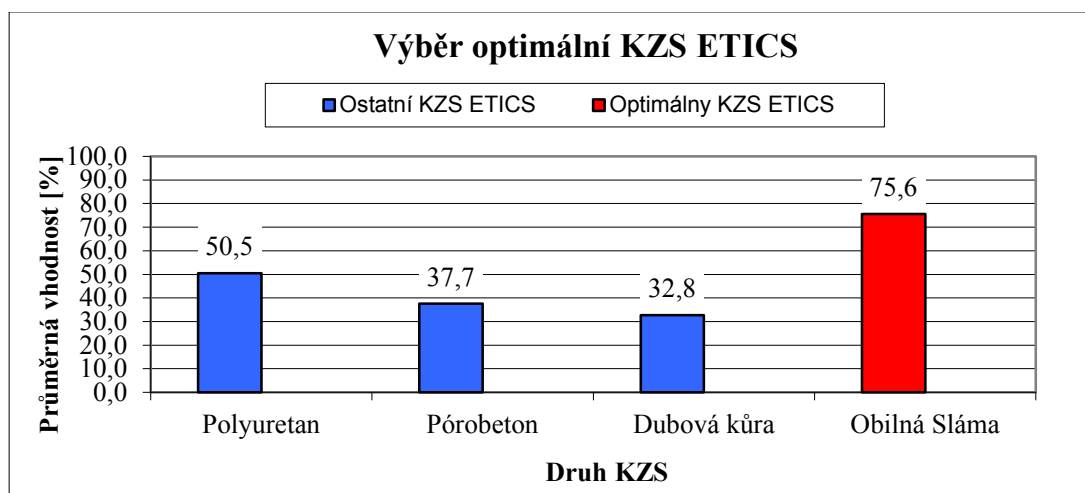
Na základě předchozího průzkumu z bakalářské práce (BP) pro výběr alternativního materiálu z druhotných surovin k zateplení a vytvoření nového systému ETICS, se jako nejoptimálnější varianta ukázala sláma. Tento materiál disponuje řadou výhod jako např. dostupnost a využitelný objem, z čeho následně vyplývá velmi příznivá cena. Dále tento přírodní materiál pochází z obnovitelných zdrojů a je přirozeně rozložitelný, čímž si v současné době může snadno najít cestu ke spotřebitelům kladoucím důraz na zdravotní a biologickou nezávadnost.

Postup, jakým se dospělo k tomuto závěru je následující. Nejdříve byl vytvořen výpis odpadních a druhotných surovin z katalogu odpadů Ministerstva životního prostředí, z něhož byly postupně na základě teoretického předpokladu vyselektovány odpadní materiály potenciálně vhodné pro zateplení. Následně byl vytvořen optimalizační výpočet výběru nejvhodnějších variant odpadů a druhotných surovin (viz graf 4.1). Mezi nevhodnějšími materiály se nacházely čtyři materiály a to odpadní pórobeton, polyuretan, dubová kůra a sláma. Pro tyto materiály byly teoreticky navrhnuté skladby nového systému ETICS a posléze proběhl optimalizační výpočet na základě ekonomických a ekologických kritérií. Z výpočtu byla zjištěná nejvhodnější varianta zateplovacího systému (viz graf 4.2).

Graf 4.1: Výběr nejvhodnějších odpadních surovin pro zateplení [1]



Graf 4.2: Výběr optimálního teoreticky navrženého KZS ETICS [1]



Z optimalizačního výpočtu (viz graf 4.2) bylo zjištěno, že optimálním typem skladby nového kontaktního zateplovacího systému (KZS) s využitím alternativních surovinových zdrojů je systém využívající slámu. Tento teoretický návrh skladby dosahoval téměř 76% vhodnost u stanovených kritérií. Z těchto poznatků se následně vycházelo při výběru tzv. primárního (hlavního) materiálu nového izolantu mající tepelně-izolační charakter, pro diplomovou práci. Pro další výzkum v diplomové práci byla použita sláma jako nosný materiál nového tepelného izolantu, která předává budoucímu izolantu hlavní charakteristické rysy (fyzikálně-mechanické vlastnosti, barva, atd.). Dále byly použity pojiva jakožto sekundární materiál, které tyto hlavní charakteristické rysy upravují.

4.3.1 PRIMÁRNÍ MATERIÁL – SLÁMA

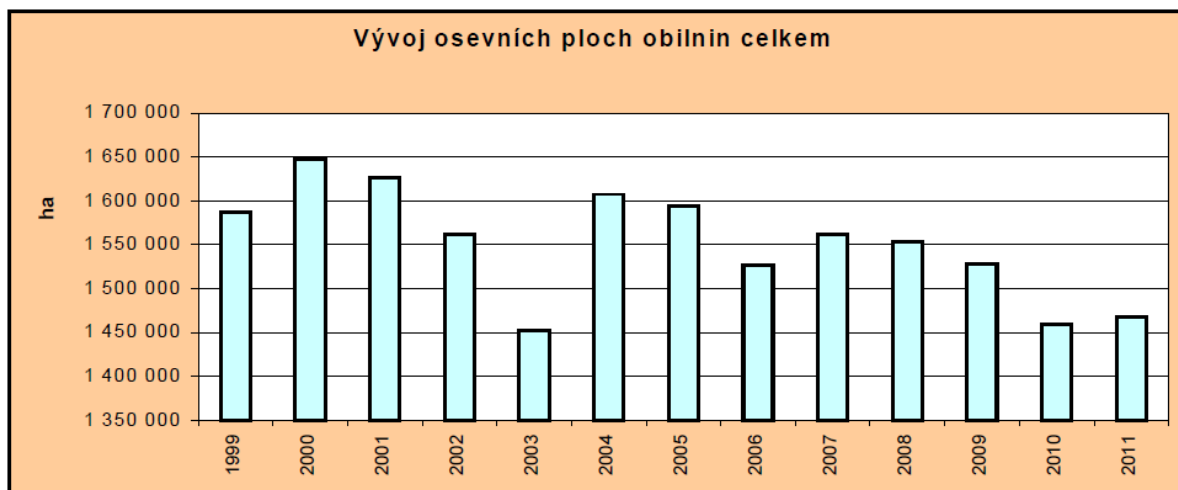
Trendy ve využívání slámy se mění s časem, požadavky spotřebitelů a technické vyspělosti. V současnosti se setkáváme s oživením tradičních materiálů, jako je např. sláma ve spojení s novými technologiemi výroby stavebních materiálů. Zde se naskýtají nové příležitosti k zařazení těchto tradičních materiálů mezi plnohodnotné stavební materiály.

4.3.1.1 CHARAKTERISTIKA SLÁMY A JEJÍ TRENDY VE VYUŽÍVÁNÍ

Sláma je přírodní materiál vyschlých vymlácených stonků všech polních obilovin např. ječmen, oves, žito. Obecně se dá říci, že fyzikálně-mechanické vlastnosti všech druhů slámy jsou teoreticky přibližně stejné.

Obiloviny zaujímají v ČR 59,0 % plochy zemědělské půdy (údaj platný k 3.1. 2012). [2]

Vývoj ploch obilovin v letech 1999 až 2011 je naznačen v grafu 4.3.



Graf 4.3: Vývoj osevních ploch obilnin v ČR [2]

V dlouhodobém horizontu lze počítat s roční produkcí cca 6 mil. tun. Celkový výnos slámy (pšeničná, žitná, ovesná, ječná) není možno v plné míře využít. Z celkového množství vyprodukované obilné slámy lze pro nezemědělské využití uvažovat cca 30 %. Zbývající sláma zůstává v zemědělských podnicích ke krmení a na stelivo, část slámy zůstává na polích k zaorání. Okolo 2 % je využíváno pro energetické účely, přičemž výhledově by to mohlo být až cca 10 %. Roční nadprodukce obilné slámy je tedy nyní téměř 30 % a kolem 20 % výhledově, což představuje nejméně 1,2 mil. tun materiálu, který lze využít ke stavebním a tepelně-izolačním účelům. [3]

Využívání potenciálu slámy ve stavebnictví bylo donedávna často opomíjeno, zejména propagací polymerních hmot. Do konce 20. století končilo její využívání, jak již bylo zmíněno, zejména v zemědělském sektoru jako krmivo a stelivo pro dobytek a také jako biologická složka v kompostu. Vzhledem k tomu, že sláma se jako stavební materiál do současnosti takřka nevyužíval, nevztahují se k ní prozatím žádné oficiální normy prokazující její vlastnosti.

Prvními náznaky o legalizování slámy jako stavebního materiálu se nacházejí zejména v zemích jako USA, Francie, Německá spolková republika, Rakousko a Dánsko, kde se sláma ve formě balíků začíná stále více využívat ke stavění slaměno-hliněných domků. V těchto zemích se dá legálně použít pouze sláma, která je suchá, zlatožluté barvy, bez plísní a balíky z ní vytvořené musí mít objemovou hmotnost minimálně 90 kg.m^{-3} . Tepelně-technické vlastnosti těchto balíků se pohybují kolem hodnot $U = 0,178 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,065 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. [4]

V minulosti byla sláma využívána ve stavebnictví zejména jako střešní krytina. Sláma jako izolant v botách měla podle některých výzkumů srovnatelnou roli s moderními funkčními membránami typu gore-tex a i okřídlený řečnický obrat, podle něhož někomu kouká sláma z bot, velmi pravděpodobně vychází z běžné praxe chudších vrstev obyvatelstva v minulosti. [5]

V současné době se trend ve využívání přírodních materiálů odrazil v zásadní míře i ve stavebnictví. Poptávka po těchto biologicky nezávadných materiálech způsobila to, že je sláma znovu využívána např. ve zdech slaměno-hliněných domků jako zdivo i tepelně-izolační materiál zároveň. Dále existují výrobky z lisované slámy známé pod názvem Ekopanel, které slouží jako stavební prvky jako jsou obklady, zdi a zejména příčky. Kromě této diplomové práce, proběhlo nebo probíhá několik studií s využitím slámy na různé účely.

V roce 2003 bylo například publikováno na internetovém vědeckém portálu Science Direct možné využití bělené pšeničné slámy chlornanem sodným, která byla pojená sójovým proteinovým izolátem. Chlornan sodný způsobuje to, že povrch stébel slámy, který obsahuje siliku a vosk, ztratí svůj hydrofobní účinek a tak sójová pryskyřice může lépe přilnout na stébla. To má za následek zlepšování mechanických vlastností materiálu. Tato sláma pojená sójovým proteinovým izolátem by měla sloužit jako ekologická náhrada dřevotřískových desek pojené močovino-formaldehydovou pryskyřicí. [6]

4.3.1.2 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ SLÁMY

Technologie zpracování slámy jakožto vedlejšího produktu zemědělské činnosti závisí zejména od jejího dalšího použití po sklizni. Pro uskladnění většího množství slámy je důležité, aby nezabírala velký prostor. Proto optimálním řešením

se jeví její balíkování. Pro potřeby skladování existuje obecný technologický postup skládající se ze:

- Sušení
- (Domlácování) – odstraňování zbytkového zrna
- Lisování za současného vázání

Sušení je prováděno zejména samovolně při dozrávání, nebo je možno jej vysoušet po dokončení sběru v letních měsících na poli. Po sušení by mělo být zaručeno odstranění veškerého zrna, kvůli možnému napadení živočišnými škůdci během skladování. Lisování lze provádět na jednoduchých přístrojích na balíkování. Sláma obecně je lehce hořlavý materiál, paradoxně ale při zabudování do balíků nastává samo hašení. Nevýhodou je, že tento materiál je nutno trvale chránit od dlouhodobě zvýšené vlhkosti, při které tento materiál hnije a tleje. [1]

4.3.1.2.1 SUŠENÍ SLÁMY

Proces sušení nastává již při zrání obilí na poli. Po sklizni ale obsahuje určité množství čerstvého plevelu, nedozrálých výhonků a vlhkou spodní část výhonků dozrálých. Z tohoto důvodu je nutno tuto slámu nechat sušit přirozeně na poli po dobu 5 – 7 dní, v závislosti na intenzitě slunečního svitu a větru. V případě vysoké relativní vlhkosti vzduchu, nebo deštivého počasí v době přirozeného sušení je nutno tuto slámu pravidelně obracet. Eventuálně lze použít např. teplovzdušnou bubnovou nebo komorovou sušárnu se souproudým provozem při teplotách ne vyšších než $\theta = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, z důvodu požární bezpečnosti.

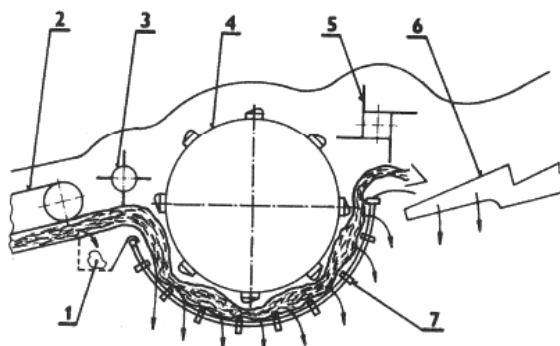
Podmínkou je dosáhnout maximální vlhkosti $w = 15\text{ }\%$. Při působení dlouhodobé relativní vlhkosti nad $\varphi = 75\text{ }\%$ může obsah vlhkosti ve slisované slámě dosáhnout hodnoty $w = 16$ až $17\text{ }\%$, z čeho je patrné, že použití do prostor s vyšší relativní vlhkostí může ovlivňovat kvalitu samotné slámy. Při vyšších vlhkostech $w = 20\text{ }\%$ obsažených ve slisovaných balících slámy nastává totiž proces hnití a tlení, který má za následek degradaci materiálu a brání využití jako stavebního prvku, kde tato hodnota nesmí být překročena ani krátkodobě. Vysušená a slisovaná sláma, musí být na čas celé doby skladování chráněná od vysoké vlhkosti, uskladněna ve větraných místnostech a izolovaná také od zemní vlhkosti pomocí palet. Takto izolovaná může být vhodně využita i po několikaletém uskladnění. [1]

4.3.1.2.2 DOMLACOVÁNÍ SLÁMY

Proces domlakování a vytřásání může nastat pouze u špatně vymláčených stébel obilovin, obsahující 5 – 40 % množství z celkového objemu zrn, které má negativní vliv na odolnost vůči živočišným škůdcům. Tyto zařízení se skládají obecně z těchto hlavních částí:

- Mláticí buben
- Odmítací buben
- Vytřasadlo

Mláticí buben slouží k uvolnění zrna z klasů tzv. výtěrem a nárazem, kde odmítací buben slouží v systému proto, že zamezuje zanášení slámy zpět k bubnu a k usměrňování toku slámy (hrubého omlatu) na vytřasadlový mechanismus. Vytřasadla tvoří tzv. klávesy, které jsou vedle sebe umístěny na klikových hřídelích. Díky posuvu kláves nastává další separace a natřásání hrubého omlatu. Zbylé zrno obsažené ve slámě díky pohybu propadáva roštem, který je umístěn na vytřasadlech, do čistícího mechanismu viz obrázek 4.5. [1]



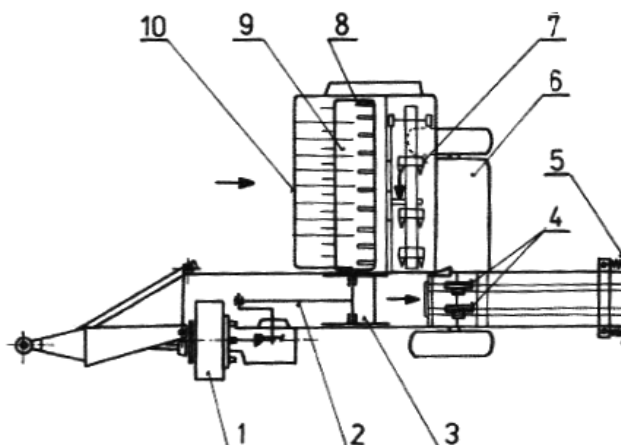
Obr. 4.5: Schéma mlátičího mechanismu [1]

1 – Zachycovač kamení, 2 – Šikmý dopravník obilí, 3 – Vkládací buben,
4 – Mláticí buben, 5 – Odmítací buben, 6 – Vytřasadlo, 7 – Mláticí koš.

4.3.1.2.3 LISOVÁNÍ SLÁMY

V případě sklizně slámy lisováním se v zemědělské praxi využívá téměř výhradně technologie lisování do hranolových nebo válcových balíků. Měrná hmotnost balíků se v závislosti na zhutnění a obsahu vody pohybuje od 100 do 250 kg/m³. Lisování do hranolových balíků je energeticky i finančně náročnější než produkce balíků válcových. Většina linek pro další technické nebo energetické využití slámy je však konstruována pro příjem hranolových balíků. [5]

Na obrázku 4.6 je možné spatřit schéma lisu na výrobu malých hranolových balíků.



Obr. 4.6: Půdorysní schéma lisu na malé balíky [1]

1 – Setrvačnick, 2 – Ojnice, 3 – Píst, 4 – Vázací mechanizmy, 5 – Šrouby pro regulaci slisovanosti, 6 – Zásobník motouzu, 7 – Příčný dopravník, 8 – Podélný dopravník, 9 – Sběrač, 10 – Přítlačovací rošt.

Slámu, zvolenou jakožto primárním materiálem je nutno určitým způsobem pojit. Pojiva, v tomto případě označována jako sekundární materiál izolantu byly vybírány teoretickým výběrem v následující kapitole a dále prakticky odzkoušeny.

4.3.2 SEKUNDÁRNÍ MATERIÁL – POJIVA

Výběr vhodného pojiva závisí zejména na teoretické kompatibilitě materiálů se slámou. Dalšími kritérii je také kontakt samotných pojících materiálů s externím prostředím, tepelně-izolační vlastnosti, biologická odbouratelnost, pojící potenciál, popřípadě cena, je-li obecně známa. Pro teoretický výběr vhodného pojiva byl sestaven výpis z katalogu odpadů Ministerstva životního prostředí (MŽP) evidovaných jako odpad ostatní (OO) (viz tabulka 4.2) a seznam současně známých pojících látek (viz tabulka 4.3). Z obou seznamů byly následně vypsány teoreticky vhodné materiály pro pojení se slámou. Další selekce je odůvodněná omezenou dostupností některých materiálů a proto nemohou být odzkoušeny všechny varianty.

Tab. 4.2: Teoretický výběr pojiva slámy z katalogu odpadů (OO) MŽP

Č.	Materiál	Popis / Specifikace	Teoretická kompatibilita při pojení se slámou	Teoretický výběr	Vhodnost/Nevhodnost pro :	
1.	Odpad z těžby rud	Odpady z těžby nerostných surovin	Hlušiny kamenouhelné	NE	Pojící potenciál; Tepelně-izolační vlastnosti	
2.	Odpad z těžby nerud		Vápenec, kaolín, jíł	NE		
3.	Odpad z úpravy rud		Uhelné prachy a kaly	NE		
4.	Hlušina		Kamenivo a zemina	NE		
5.	Štěrk a/nebo kamenivo		Kamenivo velkého zrna	NE		
6.	Písek a/nebo jíł		Jíł čistý a/nebo písčítý	NE		
7.	Nerudný prach		Vápenný prach	NE		
8.	Odpad z praní a čistění nerud		Živec, kaolín, jíł	NE		
9.	Odpad ze zpracování kamene		Odprašky a kaly	NE		
10.	Odpad s obsahem barytu		Kaly	NE		
11.	Odpad s obsahem chloridů		Prach a/nebo kal	NE		
12.	Peří a srst	Odpady ze země- dělství a potrav.	Čistě, odmaštěné	NE	Pojící potenciál	
13.	Otruby		Z čistění všech obilnin	NE		
14.	Plevy a trávy		Čistě, vysušené	NE		
15.	Odpad krmiv rostlinného původu		Všechny druhy	NE		
16.	Obilná sláma		Všechny druhy, suchá	NE		
17.	Zvířecí trus	Odpady z dřevozpra- cování a papírenství	Čistý kravský a koňský	NE	Ovlivnění degradace slámy	
18.	Zbytky obilí a zrnin		Všechny druhy	NE		
19.	Kůra a/nebo korek		Kůra z dubu a smrku	NE		
20.	Piliny, hobliny, odřezky	Odpady z dřevozpra- cování a papírenství	Čistě	NE	Pojící potenciál	
21.	Dřevotřískové desky a dřevěné dýhy		Pojené pouze přírodním lep.	NE		
22.	Zbytek a kal ze surového louhu		Při sulfátové výrobě celul.	NE	Obsah síry a jiných chem. látek; Pojící potenciál	
23.	Kal z bělení papíru		Obsahující chem. látky	NE		
24.	Kal z výroby buničiny		Vápněná buničina	NE	Pojící potenciál	
25.	Výmět z recyklace papíru a lepenky		Kovové spony, plast.pásky	NE	Tep.-izol. vlastnosti, pojící potenciál	
26.	Papír a/nebo lepenka		Drť a celuloza	NE		
27.	Textilní vlákno rostlinného původu	Odpad z textilií	Len, bavlna, konopí	NE	Pojící potenciál	
28.	Textilní vlákno živočišného původu		Srst, ovčí vlna	NE		
29.	Textilní vlákno syntetické		Polyester	ANO	Měknutí vlivem teploty; Tep.-izol. vlastnosti	
30.	Textilní vlákno směsné			ANO		
31.	Kompozitní tkanina	Odpady z chemického průmyslu	Elastomer, plastomer	NE	Pečlivé třídění	
32.	Organické polymerní odpady (plasty)		Fenolové pryskyřice	NE		
			Melaminové pryskyřice	NE		
			Epoxidové pryskyřice	NE		
			Pěněný polyuretan	NE		
			Pěněný polystyrén	NE		
			PVC	NE		
			Plexisklo	NE		
			Polyetylén	NE		Již vytvrzený nebo vypěněný materiál potencionálně nevhodný při pojení slámy z hlediska pojícího potenciálu
			Polyakrylát	NE		
33.	Pryžový granulát, moučka a prach	Odpady z energetiky	Z pneumatik	NE	Pojící potenciál	
34.	Struska		Jemné podíly	NE		
35.	Popílek		Z rašeliny, dřeva a uhlí	NE		
36.	Tuhý reakčný produkt z odsiřování spalín	Odpady ze sklářství	Sadrovec	NE	Užití pouze ve vnitřním prostředí; Tepelně-izolační vlastnosti	
37.	Kalový reakčný produkt z odsiřování spalín		Kal obsahující sadrovec	NE		
38.	Sklářský kmen před zpracováním		Písek, soda a jiné přísady	NE		
39.	Sklo	Odpady ze stavebnictví	Zmetky	NE	Ušlechtilá surovina, pojící potenciál	
40.	Vyzdívka a/nebo žárovzdorný materiál		Šamot / aluminobeton	NE		
41.	Vláknitý materiál na bázi skla		Odpad z minerální vlny	NE	Pojící potenciál	
42.	Vytěžené zeminy		Obsahující jíly	ANO		
43.	Vytěžené hlusiny		Kamenivo a zemina	NE	Pojící potenciál; Tepelně-izolační vlastnosti	
44.	Beton		Jemné podíly	NE		
45.	Pórobeton		Hrubozrná i jemnozrná drť	NE		
46.	Cihly		Jemné podíly	NE		
47.	Keramika		Jemné podíly	NE		
48.	Sádrová stavební hmota		Omítky	NE		
49.	Dřevo	Podlahy, trámy, rámy	NE	Pojící potenciál		
50.	Sklo	Výplně oken, dveří	NE			
51.	Plasty	Komunální odpad	Viz. plasty chem. průmyslu	NE	Viz. plasty chemického průmyslu	
52.	Asfalt bez dehtu		Hydro izolační pásy	ANO		
53.	Kovy		Ocel, měď, aj.	NE	Ušlechtilá surovina	
54.	Štěrk a/nebo kamenivo		Kamenivo velkého zrna	NE		
55.	Písek a/nebo jíł		Jíł čistý a/nebo písčítý	ANO	Tep.-izol. vlastnosti a pojící potenciál	
56.	Papír a/nebo lepenka		Drť a celuloza	NE		
57.	Sklo a skleněný obalový materiál		Flašky, poháře	NE	Pojící potenciál, Tep.-izol. vlastnosti	
58.	Plasty		Směs plastů	NE		
59.	Drobné kovové předměty		Plechovky, spreje	NE	Nutnost pečlivého třídění	
60.	Dřevo		Znečištěné jinými odpady	NE		
61.	Kompostovatelný odpad z parků	Komunální odpad	Listí	NE	Pojící potenciál	
62.	Organický kuchyňský odpad		Kostí, jídlo	NE		
63.	Oděvy a jiný textilní materiál		Neznečištěné	ANO	Syntetická - Měknutí vlivem teploty Biologické rozložení	
64.	Odpad z tržišť		Ovoce, zelenina	NE		
65.	Elektrotechnický odpad		Směs kovů a plastů	NE		Nutnost pečlivého třídění

Tab. 4.3: Teoretický výběr pojiva ze současně známých pojivových materiálů

Č.	Materiál	Specifikace	Teoretická kompatibilita pojení se slámou	Teoretický výběr	Vhodnost/Nevhodnost pro :
1.	Cement	Minerální pojivo	ANO	ANO	Pojící potenciál
2.	Vápno		ANO	ANO	
3.	Sádra		ANO	NE	V exteriéru degraduje vlivem vlhkosti
4.	Hlína	Jíly a písek	ANO	NE	Tepelně-izolační vlastnost; Nízký pojící potenciál
5.	Kaseinové lepidlo	Přírodní lepidlo	ANO	ANO	Pojící potenciál
6.	Epoxidové lepidlo	Polymer	ANO	NE	Degradace vlivem UV záření; Vysoká cena
7.	Fenol-formaldehydové lepidlo		NE	NE	Potencionální biologická závadnost - únik formaldehydu; [*]
8.	Močovinoformaldehydové lepidlo		NE	NE	
9.	Melaminofomaldehydové lepidlo		NE	NE	
10.	Polyuretanové lepidlo		NE	NE	[*]
11.	Kaučukové lepidlo		ANO	ANO	Pojící potenciál
12.	Silikonové lepidlo		ANO	NE	Vysoká cena
13.	Polyvinylacetátové lepidlo		ANO	ANO	Pojící potenciál
14.	Polyvinylalkoholové lepidlo		ANO	ANO	Pojící potenciál
15.	Polyvinyletherové lepidlo		ANO	ANO	Pojící potenciál
16.	Polyesterové lepidlo		ANO	ANO	Pojící potenciál
17.	Lepidlo z chlorovaného PVC		ANO	ANO	Pojící potenciál
18.	BiCo vlákna		ANO	ANO	Pojící potenciál; Zkušenosti s využitím v izol. materiálu
19.	Lepidlo z kukuřičného škrobu	Přírodní lepidlo	ANO	ANO	Pojící potenciál
20.	Sójový proteinový izolát	Přírodní lepidlo	ANO	ANO	Pojící potenciál
21.	Dřevokazná houba	Živý organizmus	ANO	ANO	Přírozně obnovitelný materiál; Využíván v izol. mat.

[*] - Nekompatibilita nepolárního a hydrofobního povrchu slámy s polární a hydrofilní přirozeností formaldehydových a polyuretanových pryskyřic [7]

Ze seznamu současně známých pojiv, byly na základě teoretického výběru zvoleny následující materiály:

- Cement
- Vápno
- Kaseinové lepidlo
- Kaučukové lepidlo
- Polyvinylacetátové lepidlo
- Polyvinyletherové lepidlo
- Polyesterové lepidlo
- Lepidlo z chlorovaného PVC
- Bikomponentní vlákna
- Lepidlo z kukuřičného škrobu
- Sójový proteinový izolát
- Mycelium dřevokazné houby

Ze seznamu odpadů Ministerstva životního prostředí, registrovaných jako odpad ostatní (OO) byly na základě teoretického výběru označené jako vhodné následující materiály:

- Textilní vlákno syntetické
- Textilní vlákno směsné
- Asfalt bez dehtu
- Oděvy a jiný textilní materiál

Všechny tyto materiály s teoretickým pojícím efektem se slámou není možné v této diplomové práci odzkoušet z časových důvodů. Proto proběhla další selekce a byly upřednostňovány materiály, které jsou zejména lépe biologicky odbouratelné, relativně lehce dostupné anebo, které jsou již využívány v tepelných izolantech na bázi jiných materiálů. Ostatní pojící materiály z teoretického výběru by mohli být předmětem dalšího zkoumání. Návrh pojiv pro pojení se slámou, které budou prakticky zkoušeny je následující:

1. Cement
2. Kaseinové lepidlo
3. Bikomponentní vlákna
4. Mycelium dřevokazné houby

Cement jako pojivo pro pojení se slámou byl zvolen zejména kvůli jeho dostupnosti a alkalickému charakteru. Protože sláma je relativně lehce degradabilní materiál, alkalické prostředí by ji teoreticky mohlo chránit před biologickou degradací. Cement je v současnosti nejpoužívanější materiál ve stavebnictví a zde působí také jako zástupce minerálních pojiv.

Hlavními důvody výběru kaseinového lepidla je jeho biologická nezávadnost a podobně jako u cementu, jeho alkalický charakter.

Upřednostněním bikomponentních (BiCo) vláken, před vlákny syntetickými ze seznamu odpadů sehrál roli fakt, že BiCo vlákna se již v tepelně izolačních materiálech využívají. Také existuje předpoklad, že když bude sláma schopna pojení s polymerními vlákny BiCo, a spolu budou vykazovat pozitivní fyzikálně a mechanické vlastnosti, tak dalším výzkumem by mohlo být prokázáno, je-li možné pojení slámy i s jiným vláknitým materiálem např. s odpadním textilem. V tomto případě by měla vlákna BiCo tvořit referenci pro odpadní vlákna.

Výběr pojícího materiálu na bázi mycelia dřevokazných hub ovlivnila informace o americké společnosti Ecovative, která využívá inovativní způsob využití dřevokazných hub na výrobu obalových materiálů. Tyto obalové materiály se stávají ekologickou náhradou pěněného polystyrenu EPS a po spotřebování jsou plně rozložitelné. V současné době se tato společnost snaží o vývoj tepelně-izolačních materiálů vyráběné obdobným způsobem.

Tyto výrobky označovány jako EcoCradle™ a Greensulate™ jsou složeny z vedlejších produktů zemědělské výroby např. rostlinné stonky a slupky. Tento organický materiál je následně naočkován zárodky mycelia houby dle firemního know-how. Výroba těchto výrobků trvá od 5 do 7 dní ve tmě, bez vlhčení a petrochemických přísad. [8]



Obr. 4.7: Ukázky použití obalových výrobků EcoCradle™ [9]



Obr. 4.8: Ukázky tepelných izolací Greensulate™ [10]

Tepelně izolační výrobky společnosti Ecovative mohou konkurovat fyzikálními i mechanickými vlastnosti i takovým materiálům jako např. pěnový polystyrén a minerální vlna.

Hodnoty uvedené v tabulce 4.4 vycházejí z amerických technických norem ASTM (American Society for Testing Materials) C165-07, C203-5, E96, E1354, C1134. Výhodami tohoto materiálu je jeho nehořlavost díky chitinu obsaženého v buněčných stěnách mycelia a v ohni neuvolňuje žádné toxické látky. [11]

Tab. 4.4: Vlastnosti tepelně-izolačních výrobků Greensulate™ [11]

	Medium Density	High Density	Jednotky
Objemová hmotnost	100	180	kg.m ⁻³
Součinitel tepelné vodivosti	0,048	0,048	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Pevnost v tlaku (při 10% def.)	170	290	kPa
Modul pružnosti v tlaku	2,17	3,69	GPa
Pevnost v tahu	170	200	kPa
Modul pružnosti v tahu	1,63	2,16	GPa
Difuze vodní páry	Class 1 Vapor Retardant		
Reakce na oheň	Class 1 Fire Rating		
Nasákavost	7 % po 1 týdnu ponoření		

4.3.2.1 OBECNÝ POPIS NAVRŽENÝCH POJÍCÍCH MATERIÁLŮ

4.3.2.1.1 CEMENT

Cement je nejčastěji využívaný pojící materiál ve stavebnictví.

Dle obsahu slínku a ostatních hydraulických přísad se podle ČSN EN 197-1 klasifikuje do pěti hlavních skupin:

1. CEM I – portlandský cement
2. CEM II – portlandský cement směsný
3. CEM III – vysokopecní cement
4. CEM IV – pucolánový cement
5. CEM V – směsný cement

Portlandský cement CEM I obsahuje ze všech cementů nejvíce slínku (95 -100 %). Vyznačuje se rychlým nárůstem pevnosti a vývojem hydratačního tepla. U dalších cementů se podíl slínku snižuje pomocí různých příměsí jako např. vysokopecní struska, křemičitý úlet, elektrárenský popílek, aj. Snižování obsahu slínku a nahrazování jinými hydraulickými příměsí ovlivňuje zejména cenu výsledného cementu. Pomocí těchto materiálů se mění také jeho vlastnosti např. pevnost počáteční i konečná, odolnost proti vysokým teplotám, agresivnímu prostředí atd.

4.3.2.1.2 KASEINOVÉ LEPIDLO

Kasein je kompletní sloučenina mléčné bílkoviny, která je získávána z odtučněného tvarohu nebo mléka. Je to přírodní lepidlo ve formě bílého prášku, do kterého se přidávají také dalšími složky k úpravě vlastností jako např. mramorová krupice, vápenný hydrát, klouzek, porcelánová hlína a soda aj. Kaseinové lepidlo se vytvoří smícháním kaseinového prášku a vody za vytvoření disperze. V současné době je využíváno např. k lepení linolea, korkových desek atd. Kaseinové lepidlo je vzhledem ke svému obsahu vápenného hydrátu zásadité, čímž by teoreticky mohlo zamezit tvorbě plísní při vlhkostním namáhání slámy. V externím prostředí by mohlo dlouhodobě sloužit pouze v případě, že by izolant byl chráněn proti promáčení resp. opršení a to z toho důvodu, že lepidlo je i po zatvrdnutí pořád ve vodě rozpustné a ztrácí svoje pojivové vlastnosti.

4.3.2.1.3 BIKOMPOENTNÍ (BiCo) VLÁKNA

BiCo vlákna jsou polymerní vlákna složené ze dvou různých vrstev a různých materiálů. Jádro vlákna je vyráběno z polypropyleny a povrch vlákna je tvořen polyetylénem, který slouží k různým účelům jako např. zjemnění povrchu na omak. Po ohřátí na teplotu cca 130 °C polyetylén působí jako spojovací složka vláken. Tyto bikomponentní vlákna se již používají při výrobě konopných izolací, kde se potvrzuje, že spojení BiCo vláken s rostlinnými vlákny je kompatibilní a při osazení do externího prostředí jsou vlákna BiCo trvanlivá.

4.3.2.1.4 MYCELIUM DŘEVOKAZNÉ HOUBY

Houby se vyvíjely jako destruenti organické hmoty z různých vývojových základů. Společným znakem je absorpce živin buněčnou stěnou a cytoplazmatickou membránou. Nejsou schopny fotosyntézy, rovněž nemají vyvinuty žádné speciální vnitřní orgány k přijímání živin jako živočichové. Z hlediska koloběhu uhlíku je významná skupina dřevních hub, které jako jediné organizmy jsou schopny rozkládat kromě celulózy také lignin. K houbovým patogenům dřevin náleží jak houby stopkovýtrusé (Basidiomycota), tak i houby vřeckovýtrusé (Ascomycota). Dřevokazné houby můžeme dále rozlišovat na houby bílého a hnědého tlení. Houby bílého tlení rozkládají všechny sacharidické polymery (celulóza, hemicelulóza, lignin, pektin), které jsou obsaženy ve dřevě. Tlející dřevo v průběhu rozkladu většinou světlá, jindy se v něm vyskytují pouze světlé pruhy, nebo se tvoří nápadné dvůrky, často vyplněné bílou, nerozloženou celulózą. Dřevo ztrácí na hmotnosti,

nikoliv na objemu. Skupina hub bílého tlení je druhově početnější než skupina hnědého tlení a rozklad těmito houbami zpravidla převažuje. Dřevo napadené bílou hnilobou v počáteční fázi rozkladu mění své fyzikální a mechanické vlastnosti: je tvrdé, bílé a téměř nehořlavé. Zástupcem hub bílého tlení jsou zejména houby stopkovýtrusé.

V buněčných stěnách stopkovýtrusých hub převládá chitin (nehořlavá látka) a glukomannany. Mycelium těchto hub se dělí na primární a sekundární. Primární mycelium vyrůstá z vyklíčené spory. Sekundární mycelium vzniká splynutím dvou pohlavně různě laděných primárních mycelií a představuje vegetativní tělo houby. Toto sekundární mycelium se vyskytuje ve formě substrátového a povrchového mycelia. Substrátové mycelium proniká do dřeva, které rozkládá a následně absorbuje jednoduché cukry a další živiny. Povrchovým myceliem se houba rozšiřuje a rozrůstá do plochy ztloustlými buněčnými stěnami. [12]

Využití dřevokazných hub při výrobě tepelně-izolačního materiálu spočívá v jejich potenciálu prorůst hmotu slámy, čímž vyplní prostor mezi stébly, spojí je a zároveň zabráni přenosům tepla v izolantu vlivem proudění (konvekce). Prorůstání by mělo být podporováno také složením slámy, která obsahuje přibližně 45 % celulózy. Při výrobě tepelných izolantů pomocí dřevokazné houby se předpokládá, že po ukončení procesu prorůstání a následném vysušení by měl být růst houby inaktivován.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V této kapitole se řeší technologický postup při vytváření slaměných izolačních vzorků v laboratorním prostředí. Jedná se o slámu pojenou cementovým mlékem, kaseinovým lepidlem, bikomponentními vlákny a posledním materiálem je sláma pojená myceliem dřevokazné houby. V podkapitolách jednotlivých izolantů se nacházejí výsledky naměřených hodnot dle platných technických předpisů a norem uvedených v kapitole 5.1.2. Na základě prokázaných vlastností slaměných izolantů byl vybrán nejlepší, na kterém se dál následně nanášeli povrchové úpravy pro specifikaci k vytvoření nového zateplovacího systému ETICS.

5.1 VYTVOŘENÍ NOVÉHO TEPELNÉHO IZOLANTU ZE SLÁMY

Z požadavků stanovených projektem bylo zapotřebí vytvořit nové formy, které by zabezpečili výrobu tepelně izolačních vzorků ze slámy v laboratorním prostředí o plošných rozměrech 300x300 mm a tloušťce 80 mm.

K tomuto účelu byly zkonstruovány otevírací dřevěné formy o vnitřních rozměrech 300x300x130 mm. Z hlediska vlastnosti slámy, tedy jejího značného objemu před stlačením byla tedy na formách vytvořena rezerva činící 50 mm tloušťky. Konstrukce formy obsahuje také přítlačnou desku o rozměrech 295x295 mm a zarážky. Přítlačná deska spolu se zarážkami slouží jako blokátor proti pružným silám stlačené slámy a tím zachování rozměrových tolerancí tlouštěk vzorků.



Obr. 5.1: Dřevěná rozebiratelná forma o vnitřních rozměrech 300x300x130 mm

5.1.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH SUROVIN POUŽITÝCH PŘI VÝROBĚ NOVÉHO IZOLANTU

5.1.1.1 SLÁMA

V této diplomové práci byla použita sláma žitná (dále jen sláma), zlatožluté barvy z okolí Slavkova, která byla dopravena ve formě balíků o rozměrech cca 400x500x800 mm a při objemovou hmotností cca 130 kg.m^{-3} . Balíky obsahovaly slámu s délkami stébel cca od 30-350 mm s krátkodobou nasákavostí při úplném ponoření cca 490 % hmotnostních (dle ČSN EN ISO 15148) a vlhkostí 12 % (dle ČSN EN ISO 12570). Sláma byla využívána ve volně sypané formě, která dosahovala objemové hmotnosti cca 20 kg.m^{-3} dle ČSN 72 7302.



Obr. 5.2: Volně sypaná sláma

5.1.1.2 VODA

Voda použitá pro výzkum v diplomové práci pochází z vodovodní sítě Brněnské vodárny.

5.1.1.3 CEMENT

Cement, který byl na výrobu izolačních desek používán, vyrábí firma Českomoravský cement, a.s. a jedná se o cement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R dodaný v 25kg pytli. Cement CEM II byl vybrán kvůli tomu, že oproti cementu CEM I je levnější variantou. Ostatní druhy cementu (CEM III, IV a V) obsahují velké

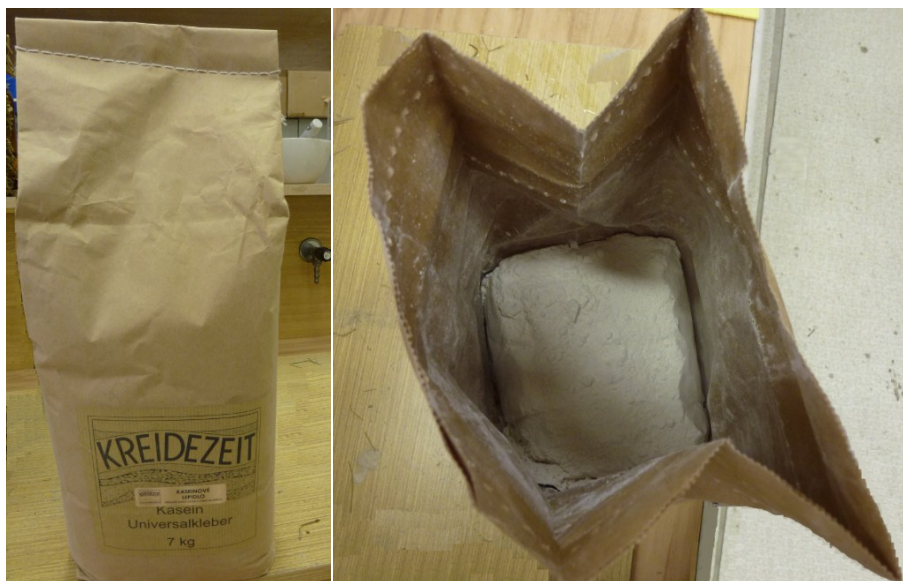
množství hydraulických příměsí a tyto cementy se využívají spíše na speciální použití. Z hlediska času počátku tuhnutí a tvrdnutí byla zvolena varianta cementu s označením „R - rapid“, která by měla zabezpečit rychlejší odformování a zabránila tak hnití slámy.



Obr. 5.3: Cement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R – 25kg pytel

5.1.1.4 KASEINOVÉ LEPIDLO

Kasein, který byl na výrobu izolačních desek používán, vyrábí firma Kreidezeit působící ve Spolkové republice Německo a jak je uvedeno v technickém listě, jedná se o tradiční přírodní recepturu používanou více než tři desetiletí. Kasein byl dodaný ve formě prášku v pytli o hmotnosti 7 kg.



Obr. 5.4: Kaseinové lepidlo společnosti Kreidezeit - 7kg pytel

5.1.1.5 BIKOMPONENTNÍ VLÁKNA

BiCo vlákna, která byla pro výrobu izolačních desek používána, vyrábí firma FAR EASTERN působící na Taiwanu. BiCo vlákna byla dodána o hmotnosti cca 2 kg v kartónovém obalu. Vlákna byla odebrána z tzv. big bag-u o hmotnosti 300 kg. Vlákna od společnosti FAR EASTERN byla dodána v bílé barvě o kvalitě dtex 4,4/51 mm, kde hodnota 4,4 označuje jemnost a hodnota 51 označuje délku vláken v mm. Na omak je tento materiál podobný hygienické vatě.



Obr. 5.5: Vzorek BiCo vláken firmy FAR EASTERN

5.1.1.6 MYCELIUM DŘEVOKAZNÉ HOUBY

Výběr a vytvoření vhodného inokulačního (očkovacího) média houby probíhal za pomoci odborníků z oboru mykologie na Ústavu ochrany lesů a myslivosti, Lesnické a dřevařské fakulty, Mendelovy univerzity v Brně. Nejdříve bylo nutné specifikovat vlastnosti, které měla houba splňovat při prorůstání slámy. Jednalo se konkrétně o to, aby dokázala parazitovat na slámě a tak měla potřebnou výživu pro svůj růst. Dalším podstatným kritériem byla doba prorůstání (do 10-14 dnů) a mechanické vlastnosti mycelia (zejména pevnosti). Po stanovení požadavků na houby byly po konzultaci s mykology zvoleny čtyři varianty dřevokazných hub. Jednalo se konkrétně o tyto druhy:

- 1502 Fomes fomentarius - Troudnatec pásovaný
- 1236 Ganoderma resinaceum - Lesklokorka pryskyřičnatá
- 1504 Trametes hirsuta - Outkovka chlupatá
- 1505 Trametes gibbosa - Outkovka hrbatá



Obr. 5.6: Ukázky mycelia vybraných hub

1502 – *Troudnatec pásovaný*, 1236 – *Lesklokorka pryskyřičnatá*,
1504 – *Outkovka chlupatá*, 1505 – *Outkovka hrbatá*

Zvolené zárodky mycelií se vložili do baňky, ve které se nacházel připravený 3% roztok sladinového agaru a 1% roztok peptonu. Pepton přispívá zejména k iniciování množení mycelia a společně se sladinovým agarem následně působí jako výživové médium. Baňky se následně na povrchu mírně uzavřeli pomoci alobalu a vložili do třepacího inkubátoru zvaného také jako „třepačka“ (obrázek 5.8). V tomto zařízení, které vytváří krouživé pohyby, byly vzorky mycelia uloženy po dobu 7 dní. Zařízení bylo nastaveno na teplotu 21 °C při 100 otáčkách za minutu.



Obr. 5.7: Iniciační a vyživující látky společnosti HIMEDIA

Agar RM 004B – vlevo, Pepton CR 006-500G - vpravo



Obr. 5.8: Baňky s výživovým koncentrátem a zárodkem mycelia uložené ve třepačce

V baňkách při otáčivém pohybu mycelium roste takovým způsobem, že se vytváří tzv. pelety. Tyto pelety mycelia po dokončení rozmnožování bylo nutno rozmělnit pomocí dispergátoru, který byl před použitím sterilizován. Po rozmělnění byl očkovací materiál ochlazen na teplotu cca 6 °C v ledničce, následně přepraven na Fakultu stavební, VUT v Brně a připraven k inokulaci sterilizované slámy.



Obr. 5.9: Očkovací médium připraveno k inokulaci slámy

1502 – *Troudnatec pásovaný*, 1236 – *Lesklokorka pryskyřičnatá*,
1504 – *Outkovka chlupatá*, 1505 – *Outkovka hrbatá*

5.1.1.7 CENA JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK TEPELNÝCH IZOLANTŮ ZE SLÁMY

Pro vzorky slaměné izolace pojené cementem, kaseinovým lepidlem a bikomponentními vlákny byla vypočtena cena jednotlivých komponent dle aktuálních cen na trhu (viz tabulka 5.1). Cenu mycelia dřevokazné houby nelze přesně určit. Tato složka je živý samo reprodukovatelný organizmus. To znamená, že celkové náklady na pořízení dané kultury houby by ve skutečném provozu byly pravděpodobně jednorázové.

Tab. 5.1: Cena jednotlivých surovin pro tepelné izolanty ze slámy

Cena složek		
Sláma	(Kč/balík 130 kg.m ⁻³)	Kč/kg
	15	1,04
Cement	(Kč/tuna)	Kč/kg
	2760	2,76
Kasein	(Kč/balení 7kg)	Kč/kg
	1188	169,71
BiCo	(Kč/balení 300kg)	Kč/kg
	12 750	42,5
Voda	Kč/m ³	Kč/l
	57,2	0,0572

5.1.2 ZKOUŠKY PROVÁDĚNÉ NA NOVÉM TEPELNÉM IZOLANTU

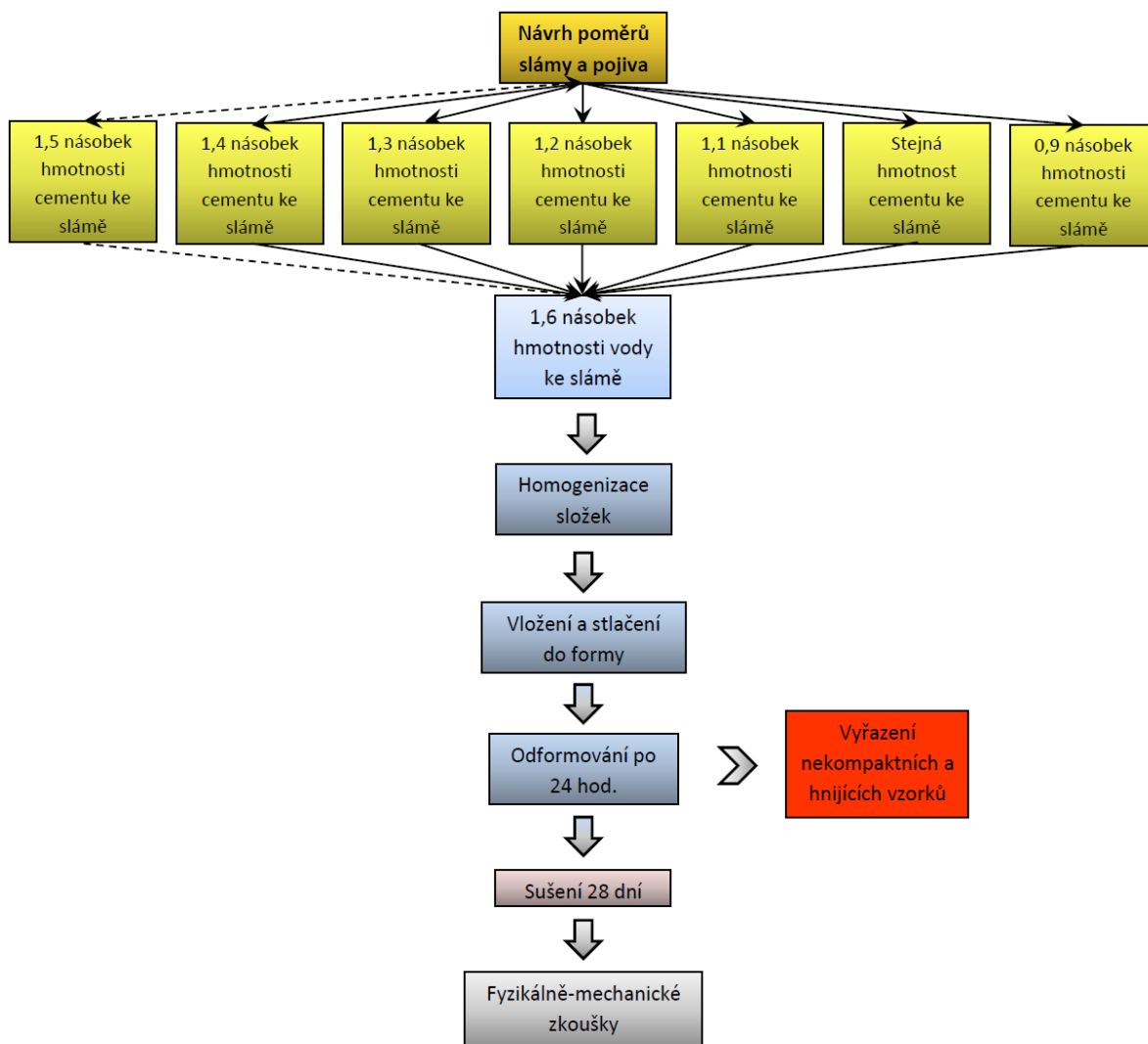
Všechny zkoušky na tepelném izolantu byly provedené za konstantních laboratorních podmínek (23°C, 50% relativní vlhkost). Tyto zkoušky jsou následné:

- Příčné a podélné rozměry (dle ČSN EN 822),
- Tloušťka (dle ČSN EN 823),
- Hmotnost pro stanovení objemové hmotnosti (dle ČSN EN 1602),
- Součinitel tepelné vodivosti – tepelný odpor /metoda měřidla tepelného toku (dle ČSN EN 12667),
- Krátkodobá nasákavost při částečném ponoření (dle ČSN EN 1609),
- Napětí při 10% deformaci (dle ČSN EN 826),
- Pevnost v tahu kolmo k rovině desky (dle ČSN EN 1607).

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti byly stanoveny pro teplotu 10 °C při teplotním spádu 10 °C.

5.1.3 SLÁMA POJENÁ CEMENTEM

Postup práce, který byl prováděn při vytváření nových slámeno-cementových tepelně-izolačních desek se nachází na obrázku 5.10.



Obr. 5.10: Metodika výroby slámových desek pojených cementovým mlékem v různých hmotnostních poměrech

5.1.3.1 NÁVRH HMOTNOSTNÍCH POMĚRŮ

Z důvodu, že dosud nejsou zatím dokumentovány pokusy s těmito materiály jako sláma pojená cementovým mlékem, bylo potřebné určit jednotlivé hmotnostní poměry mísení. Nejdříve bylo nutno experimentálně stanovit správné množství slámy pro vyplnění formy tak, aby nebylo zabráněno styku jednotlivých stébel cementem a zároveň byla zachována co nejvyšší objemová hmotnost výrobku (viz tabulka 5.2).

Stanovení hmotnosti slámy pro potřeby vyplnění formy, bylo prováděné na základě vytlačnosti, resp. pružné deformace slámy ve formě, při zatížení silou $F=800\text{ N}$ a následném odtížení, přičemž sláma v schopnosti vrátit se do původního objemu vytlačí přítlačnou desku na požadovanou hodnotu 80 mm. Vzhledem k tomu, že sláma mění mechanické vlastnosti vlivem vlhkosti, tak byla k tomuto účelu použita sláma s obsahem vlhkosti rovné 1,6 násobku její hmotnosti (návrhové hmotnostní poměry z tabulky 5.3). Po vyplnění formy byla sláma vysušena a zjištěná její hmotnost. Z tabulky 5.2 je zřejmé, že byla vybrána hodnota 460 g slámy, která první splnila kritérium vytlačení, kvůli dosažení co nejnížší objemové hmotnosti.

Tab. 5.2: Stanovení hmotnosti slámy pro vyplnění formy

Hmotnost použité slámy [g]	Výška výrobku po stlačení slámy [mm]
300	59
350	65
400	69
430	74
450	78
460	80
480	80
500	80

Také na základě nasákavosti slámy a určitého vyššího podílu vody nutného k hydrataci cementu bylo potřebné určit pevnou dávku vody, která bude odpařena při dozrávání vzorků. V neposlední řadě bylo potřebné brát ohled na ekonomickou stránku, tedy množství cementu, který byl snižován na minimum. Přehled jednotlivých hmotnostních poměrů je uveden v tabulce 5.3.

Tab. 5.3: Návrh hmot. poměrů slámy, cementu, vody a převod na gramy

Poměrové složení směsi							
Číslo poměru	Sláma	:	Cement	:	Voda		
1.	1	:	1,5	:	1,6		
2.	1	:	1,4	:	1,6		
3.	1	:	1,3	:	1,6		
4.	1	:	1,2	:	1,6		
5.	1	:	1,1	:	1,6		
6.	1	:	1	:	1,6		
7.	1	:	0,9	:	1,6		



Složení směsi na 1 formu			
Číslo poměru	Sláma (g)	Cement (g)	Voda (g)
1.	460	690	736
2.	460	644	736
3.	460	598	736
4.	460	552	736
5.	460	506	736
6.	460	460	736
7.	460	414	736

5.1.3.2 VYTVÁŘENÍ SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH DESEK

Jednotlivé vzorky poměrů byly míchány samostatně a ručně v plastové vaničce, z důvodu poměrně velkého objemu volně sypané slámy. Před namícháním směsi bylo nutno dřevěné formy opatřit balící fólií z důvodů nasákavosti dřeva a možným následným bobtnáním, které by mohlo způsobit poruchy formy.



Obr. 5.11: Příprava cementového mléka, vylití do plastové vaničky se slámou a následné ruční míchání

Plnění forem se provádělo periodicky, a to tím způsobem, že po vložení určitého množství se nejdříve vyplnili rohy formy a následně plnil střed, který byl ručně stlačován. Po ukládání další vrstvy bylo vynaloženo úsilí o propojení jednotlivých vrstev mezi sebou rozrušením primární vrstvy a následných zatlačováním obou vrstev do rohů a znovu do středu.



Obr. 5.12: Plnění formy směsí slámy a cementového tmelu

Takto se proces opakoval až do naplnění formy. Po naplnění formy se na povrch vložila přítlačná deska a silou $F=800\text{ N}$ byl materiál stlačen a následně odtížen tak, aby se materiál mohl znovu roztáhnout a vytlačil přítlačnou desku na potřebnou tloušťku 80 mm.



Obr. 5.13: Zatěžování silou $F=800\text{ N}$ na přítlačnou desku formy

Po zatlačení přítlačné desky se vysunou pojistné hřebíky a forma se tak stává uzavřenou do doby odformování, což bylo cca 24 hod kvůli zatvrdnutí cementu a tím udržení kompaktnosti. Na odformované vzorky je potřebná zrací doba 28 dní kvůli hydrataci cementu a kvůli odpaření zbytkové vlhkosti.

5.1.3.3 CHARAKTERISTIKA VLASTNOSTÍ SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK

Po namíchání všech navrhnutých záměsů se zjišťovalo, které zvolené poměry cementu ke slámě jsou schopny spojit tyto materiály a zda cementový tmel dokáže obalit celé stébla slámy tak, aby vznikl kompaktní materiál. Snahou bylo dosáhnout co nejmenšího poměru cementu k slámě jak z důvodu ekonomického, tak z důvodu ekologického.

U vzorků s nižší dávkou cementu (poměry 1:0,9 až 1:1,2) docházelo k nedostatečnému obalení jednotlivých stébel slámy cementovým tmelem a navíc docházelo k plesnivění materiálu. Vzorky poměru 1:1,2 se po odformování zdáli být kompaktní, ale po třech dnech a odpaření určitého množství vody bylo pozorováno, že povrchové vrstvy jsou nesoudržné a stébla slámy se od sebe oddělovali.

Vzorky poměrů 1:1,3, 1:1,4 a 1:1,5 se zdáli být bez poruch povrchové vrstvičky a na vzorcích bylo možné spatřit kvalitnější obalení stébel cementem.



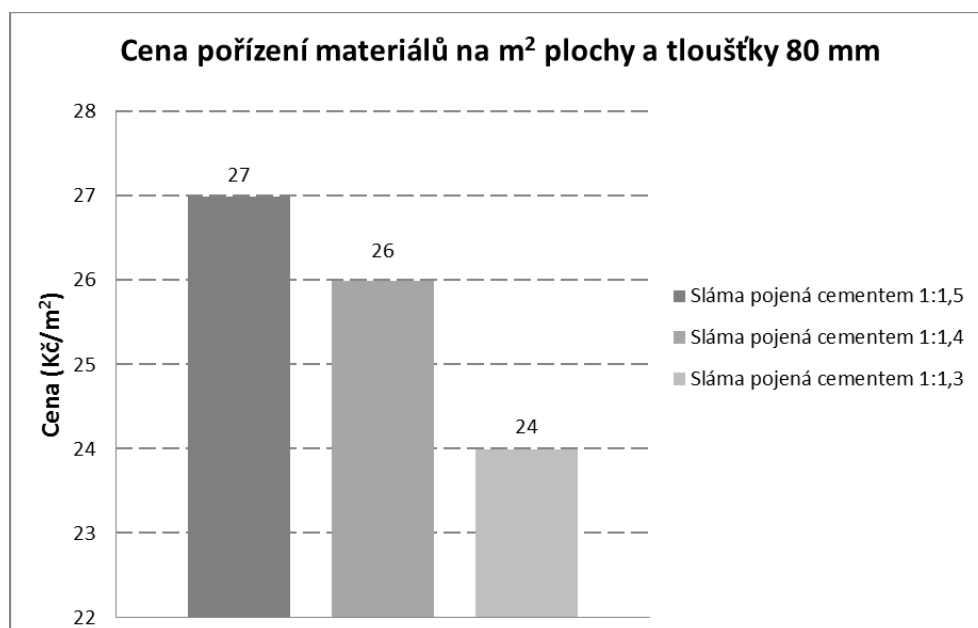
Obr. 5.14: Slaměná deska pojená cementovým tmelem rozměrů 300x300x80 mm

V tabulce 5.4 jsou znázorněny konkrétní výsledky měření fyzikálně-mechanických vlastností na slaměno-cementových tepelně-izolačních deskách vytvořených v laboratorním prostředí.

Tab. 5.4: Výsledky měření slaměných desek pojených cementovým mlékem

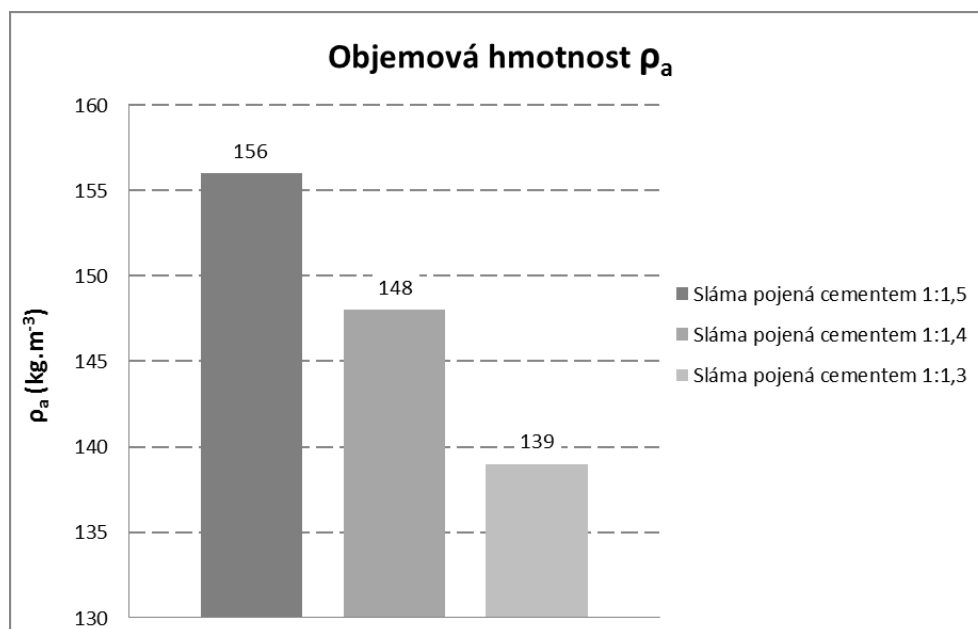
Číslo poměru	Hmotnostní poměr S : K : V	Cena pořízení materiálů na m ² tloušťky 80 mm (Kč.m ⁻²)	Objemová hmotnost ρ_a (kg.m ⁻³)	Souč. tep. vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Tepelný odpor R (m ² .K.W ⁻¹)	Napětí při 10% def. σ_{10} (kPa)	Pevnost v tahu σ_{mt} (kPa)	Krátkodobá nasákavost W_p (kg.m ⁻²)
1	1 : 1,5 : 1,6	27	156	0,079	1,02	10	0	5,57
2	1 : 1,4 : 1,6	26	148	0,070	1,16	8	0	5,47
3	1 : 1,3 : 1,6	24	139	0,068	1,22	7	0	5,42
4	1 : 1,2 : 1,6	23	Vyřazen					
5	1 : 1,1 : 1,6	21	Vyřazen					
6	1 : 1,0 : 1,6	20	Vyřazen					
7	1 : 0,9 : 1,6	18	Vyřazen					

Výsledky jednotlivých měření fyzikálně-mechanických vlastností slaměných desek pojených cementovým tmelem jsou zpracovány do následujících grafů 5.1 až 5.6.

Graf 5.1: Cena materiálu na m^2 tloušťky 80 mm slaměno-cementových desek

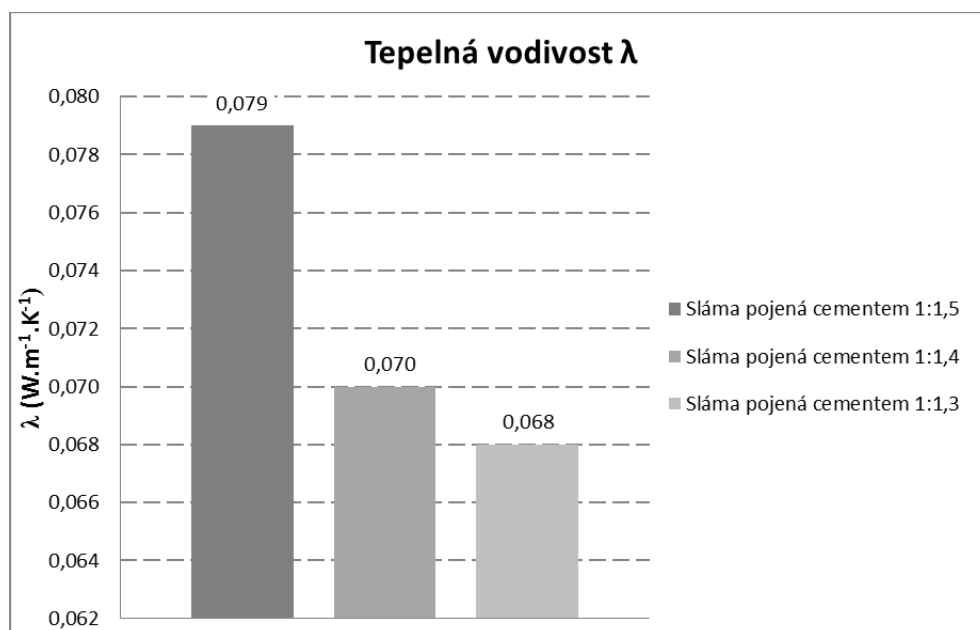
Po vypočtení ceny materiálů použitých na jeden vzorek a následnému vztažení na plochu 1 m^2 se se slaměno-cementové desky dostávají na hodnotu 24-27 Kč/m² o dané tloušťce 80 mm. U vzorků s nejvyšším množstvím cementu je cena rovna 27 Kč/m².

Graf 5.2: Objemová hmotnost slaměno-cementových desek



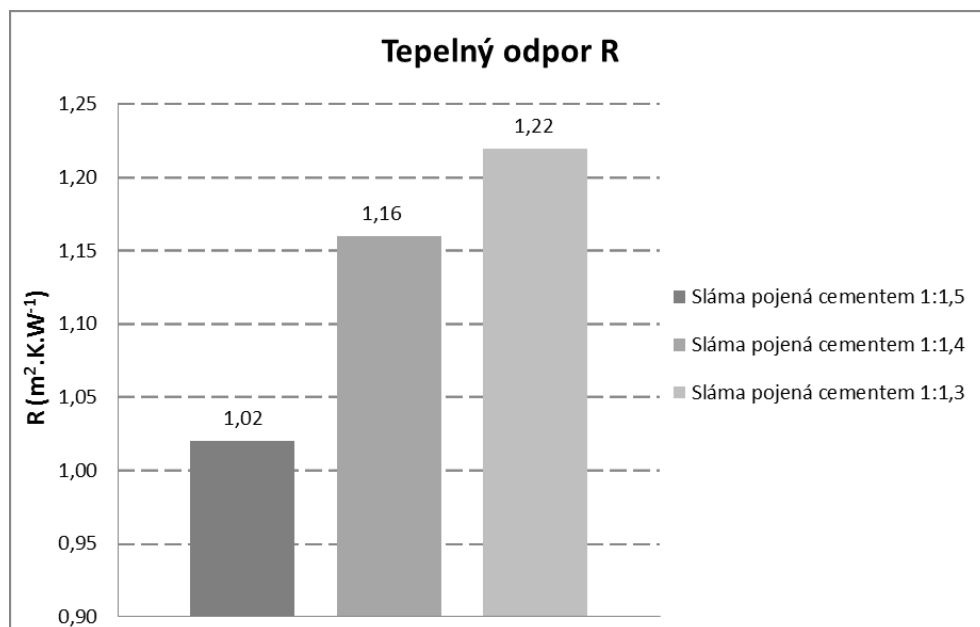
Objemové hmotnosti slaměno-cementových vzorků se pohybují v hodnotách od 139 až 156 kg.m⁻³. Téměř rovnoměrný pokles hodnot objemových hmotností je způsobený dávkováním cementu, který je přidáván v různých hmotnostech při stálých dávkách slámy a vody.

Graf 5.3: Tepelná vodivost slaměno-cementových desek



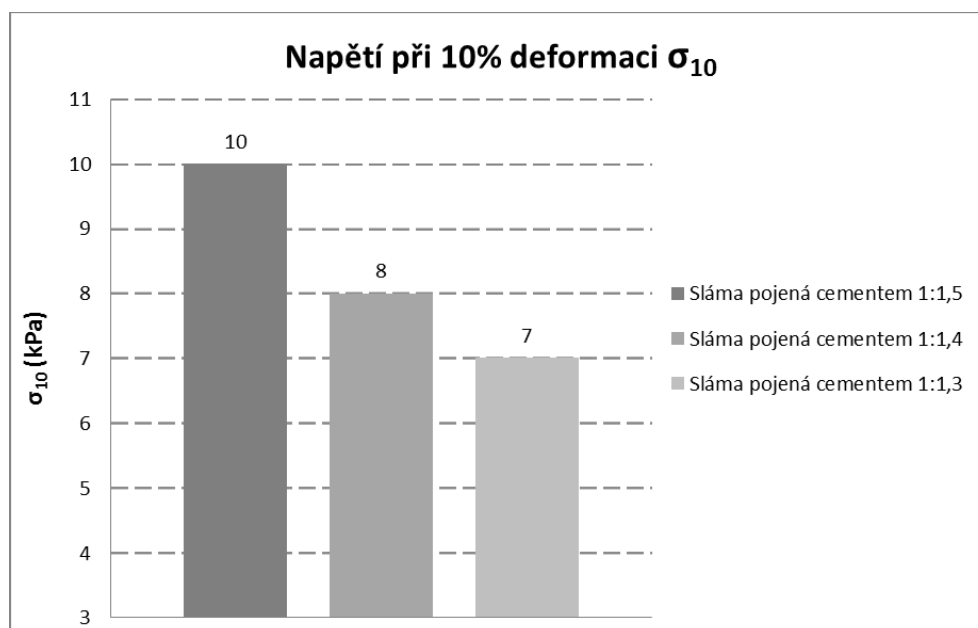
Dle grafu 5.3 je patrné splnění předpokladu, že mezi dávkou cementu a součinitelem tepelné vodivosti existuje závislost. Spolu se snižováním dávky cementu se snižoval také součinitel tepelné vodivosti. Je to způsobené tím, že cement zvyšuje objemovou hmotnost a přímo ovlivňuje tepelný tok vedením. Nejnižší hodnota tepelné vodivosti slaměno-cementových desek dosahovala $0,068 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ u poměru 1:1,3 (Sláma : Cement).

Graf 5.4: Tepelný odpor slaměno-cementových desek



Tepelný odpor je přepočtenou hodnotou součinitele tepelné vodivosti a tloušťky vzorků. Nejlepší hodnotu dosahoval poměr 1:1,3 a to konkrétně $R=1,22 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$.

Graf 5.5: Napětí při 10% deformaci slaměno-cementových desek



Ubývající množství cementu mělo za následek nejen změnu fyzikálních vlastností, ale i mechanických. Mechanické vlastnosti se projevili zejména u zkoušek napětí při 10% deformaci. Nejlepší hodnota napětí rovna 10 kPa u slaměno-cementových desek byla zaznamenána u poměru 1:1,5 (S:C). Nejméně příznivá naopak u poměru 1:1,3 s nejnižší dávkou cementu, kde tato hodnota činila 7 kPa.

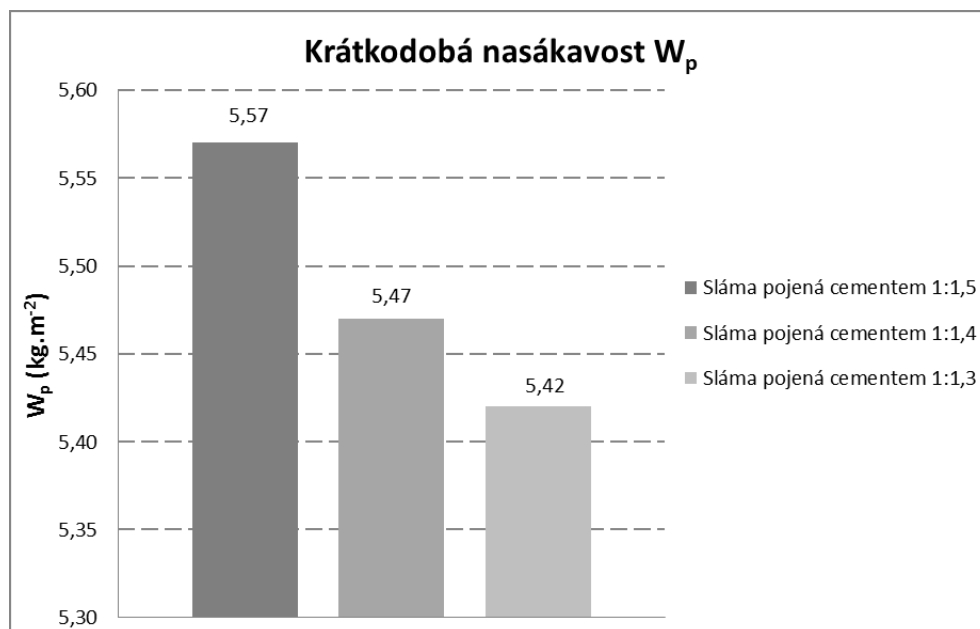
Na změny mechanických vlastností u zkoušky tahem neměly hmotnostní dávky cementu žádný vliv. Tahové pevnosti téměř všech vzorků se pohybovali v nulových hodnotách. To bylo pravděpodobně zapříčiněno dvěma faktory. První faktor, který ovlivnil výsledek je ten, že samotný cement nedovoluje vytvářet pružné spoje mezi materiály. To znamená, že při jakémkoliv mírném délkovém posuvu dochází k destabilizaci spoje mezi stébly slámy a cementového tmele. Druhý faktor se týká samotné technologie plnění homogenizovaného materiálu (sláma, cement, voda) do forem. To bylo prováděno po několika vrstvách, u kterých byla snaha o jejich provázání mezi sebou. U některých slaměno-cementových vzorků totiž docházelo k oddělování vrstev v místě propojení při plnění forem a to již pouze při zatížení vlastní vahou (viz obrázek 5.15).



Obr. 5.15: Nalepená slaměno-cementová deska před zkouškou v tahu, porušená v místě propojení vrstev při zátěži vlastní vahou

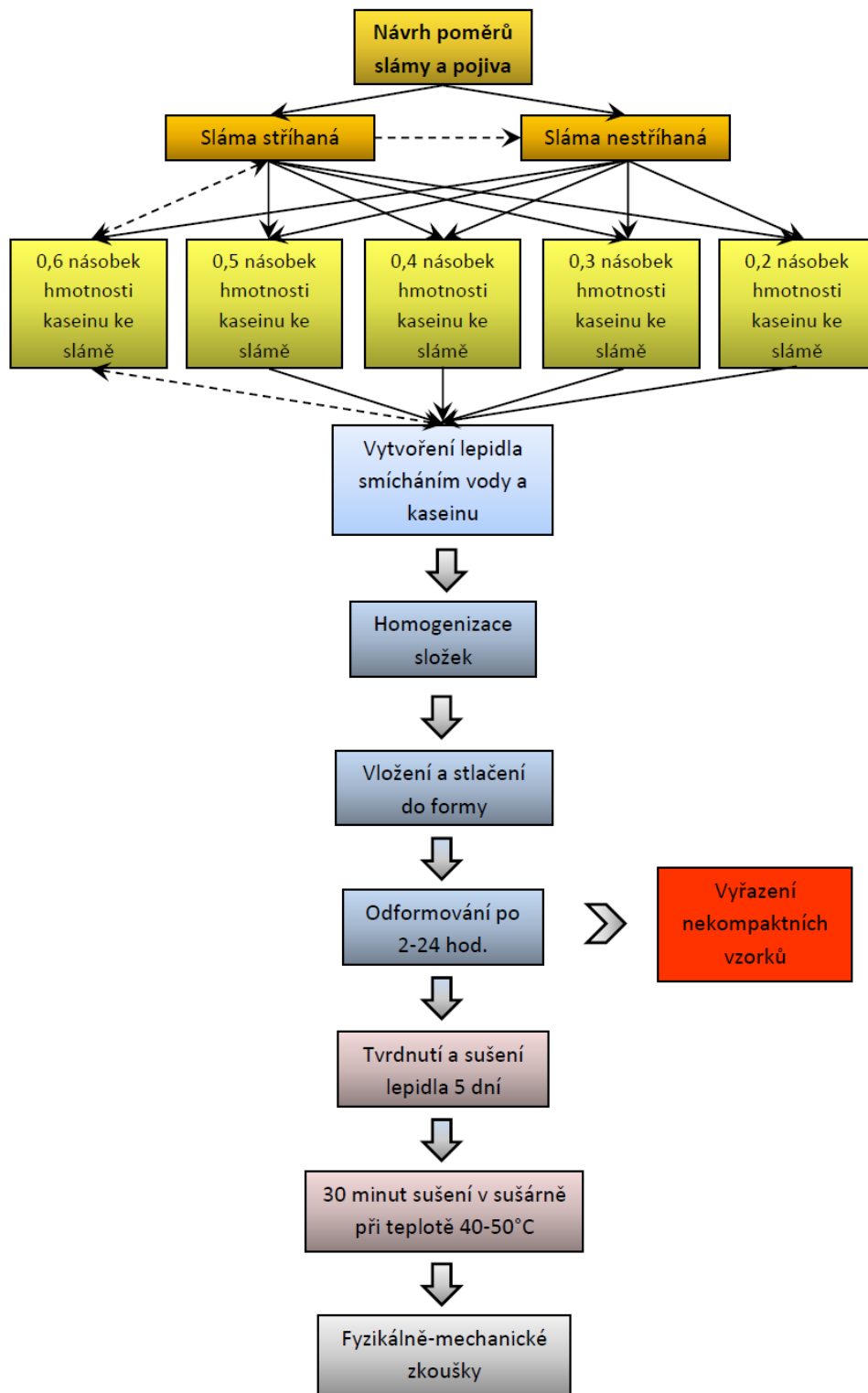
Pojivový efekt cementu se zmenšoval jeho ubývajícím množstvím ve vzorcích, čím se mírně měnila jejich tloušťka. Změnou tloušťky vzorků je voda ve styku s menším povrchem slámy a tím je dosaženo jejího menšího nasáknutí. Nejmenší krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření bylo u poměru 1:1,3 (S:C), kde byly dosaženy hodnoty $W_p=5,42 \text{ kg.m}^{-2}$ (viz graf 5.6).

Graf 5.6: Krátkodobá nasákavost slaměno-cementových desek



5.1.4 SLÁMA POJENÁ KASEINEM

Postup jakým způsobem byly vytvářeny vzorky tepelně-izolačních desek ze slámy pojené kaseinovým lepidlem, je znázorněn na obrázku 5.16.



Obr. 5.16: Metodika výroby slaměných desek pojených kaseinovým lepidlem v různých hmotnostních poměrech

5.1.4.1 NÁVRH HMOTNOSTNÍCH POMĚRŮ

Pro slámu pojenou kaseinovým lepidlem byly navrženy dvě sady vzorků a to se slámou stříhanou a nestříhanou, kde byl zkoumán vliv množství lepidla a vliv délky stébel slámy na fyzikálně mechanické vlastnosti vzorků. První sada vzorků obsahovala ručně stříhanou slámu, kde stébla dosahovaly délky 50-350 mm ojediněle i 150 mm. Druhá sada vzorků obsahovala slámu původní, bez úprav, které stébla dosahovaly délky 50-350 mm.



*Obr. 5.17: Ukázky slámy stříhané a nestříhané
sláma nestříhaná – vlevo, sláma stříhaná – vpravo*

Pro návrh hmotnostních poměrů bylo nutno nejdříve stanovit poměr vody ke kaseinovému prášku pro vytvoření suspenze lepidla a následně množství slámy pro úplné vyplnění formy.

Pro vytvoření kaseinového lepidla, které se využívá zejména pro lepení linolea, lepenek, korkových desek atd., je poměr mísení s vodou dle technického listu stanoven na 1:0,55 (Kasein : Voda). Po odzkoušení tohoto poměru se ukázalo, že byla vytvořena hustá kašovitá hmota (viz obrázek 5.18 - vlevo). Při použití takového poměru by byla homogenizace se slámou obtížná a pravděpodobně by bylo nutno užívat většího množství lepidla, což také znamená výrazný nárůst ceny. Z tohoto důvodu bylo usouzeno upravit množství vody do vytvoření směsi tekutého stavu, což pravděpodobně ovlivní celkové vlastnosti lepidla po zaschnutí. Následně byly odzkoušené poměry kaseinu k vodě 1:0,75 a 1:1. Tekutého stavu suspenze bylo dosaženo pouze u poměru 1:1 (viz obrázek 5.18 - vpravo). Tento poměr byl dále používán při výrobě slaměných desek.



*Obr. 5.18: Zkoušení poměru kaseinu a vody
poměr 1 : 0,55 – vlevo, poměr 1 : 1 - vpravo*

Po namíchání lepidla se následně určilo množství slámy na jednu formu, podobným způsobem jako v předcházející kapitole u slámy pojené cementem. Nejdříve tato hodnota byla stanovována pro první sadu vzorků se slámou stříhanou. Sláma obsahovala poměrnou část vlhkosti (60 % hmotnostních), shodnou s návrhem pro první poměr vzorků (viz tabulka 5.5). Tato vlhkost se po odzkoušení vysušila a zjistila se hmotnost suché slámy. Vzhledem k tomu, že se jednalo o menší množství vlhkosti obsažené ve slámě oproti slaměným vzorkům pojených cementem, na vyplnění formy nebylo potřeba takového množství slámy. Sláma vlivem vlhkosti měkne a ztrácí pružnost.

Pro první sadu vzorků se slámou stříhanou tato hodnota množství slámy na vytlačení přítlačné desky a vyplnění formy činila 440 g. Ekvivalentně k této hodnotě stříhané slámy byly navrženy stejné poměry mísení i pro slámu nestříhanou kvůli objektivnímu porovnání vlivu na mechanické a tepelně izolační vlastnosti.

Tab. 5.5: Stanovení hmotnosti stříhané slámy pro vyplnění formy

Hmotnost použitá slámy [g]	Výška výrobku po stlačení slámy [mm]
380	73
400	75
420	78
440	80
460	80
480	80

Pro návrh optimálních poměrů mísení slámy byl zkušebně vytvořen vzorek s použitím stříhané slámy s hmotnostním poměrem 1:0,6:0,6 (Sláma : Kasein : Voda). Tento vzorek byl odformován po 24 hodinách a vykazoval dostatečnou soudržnost. Tento poměr byl označen jako základní a u dalších vzorků byla snaha o snižování množství lepidla, zejména z ekonomického hlediska. Návrh hmotnostních poměrů se nachází v tabulce 5.6. Poměry jsou stejné pro stříhanou i nestříhanou slámu.

Tab. 5.6: Návrh hmot. poměrů slámy, kaseinu, vody a převod na gramy

Poměrové složení směsi			
Číslo poměru	Sláma	:	Kasein : Voda
1.	1	:	0,6 : 0,6
2.	1	:	0,5 : 0,5
3.	1	:	0,4 : 0,4
4.	1	:	0,3 : 0,5
5.	1	:	0,2 : 0,4

Složení směsi na 1 formu			
Číslo poměru	Sláma (g)	Kasein (g)	Voda (g)
1.	440	264	264
2.	440	220	220
3.	440	176	176
4.	440	132	220
5.	440	88	176



Jako se ukázalo později, pro hmotnostní poměry č. 4 a 5 byl navrhnutý nový poměr kaseinu a vody v poměru 1:1,66 a 1:2 z důvodu, že při vytváření vzorků s původním poměrem se směs zdála příliš suchá, kvůli rychlému nasáknutí vody z pojivové suspenze slaměnou hmotou a tím bylo znemožněno důkladnější homogenizaci.

5.1.4.2 VYTVÁŘENÍ SLAMĚNO-KASEINOVÝCH TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH DESEK

Pro přípravu první sady vzorků byla sláma nejdříve ručně nastříhaná. Před namícháním směsi bylo nutno dřevěné formy opatřit balicí fólií z důvodů nasákavosti dřeva a možného následného bobtnání, které by mohlo způsobit poruchy formy. Dále byla namíchaná směs kaseinu a vody v stanovených poměrech postupně dle přiloženého technického listu. Aby se nevytvářeli „hrudky“ kaseinu v suspenzi, byl prášek kaseinu přidáván ve třech krocích s postupným mícháním. Po zamíchání celého množství kaseinu bylo nutno suspenzi nechat odležet cca 5 minut a ještě jednou dodatečně přemíchat a přitom doba míchání neměla překročit celkově 2 minuty. Pak byla směs vylita do plastové vaničky s obsahem slámy a ručně míchána (viz obrázek 5.19), přičemž doba zpracování (doba od vylití lepidla, míchání a naplnění formy) neměla překročit 10 min kvůli iniciaci tuhnutí lepidla.



Obr. 5.19: Směs kaseinového lepidla vylitá na do plastové vaničky s obsahem slámy a následné ručné míchání

Do připravených forem se dává dle předchozích zkušeností se slámou pojenou cementem, homogenizována směs slámy a kaseinového lepidla v jedné vrstvě. Při homogenizování slámy a kaseinu byla upozorována pozitivní vlastnost lepidla. Navzdory voskovému a jemně hydrofobnímu povrchu stébel slámy, lepidlo dobře přilnulo na jejich povrch, tím jich zvlhčil a zlepšil zpracovatelnost. Po naplnění formy se na povrch vložila přítlačná deska a silou $F=800\text{ N}$ byl materiál stlačen a následně odtížen tak, aby se materiál mohl znovu roztáhnout a vytlačil přítlačnou desku na potřebnou tloušťku 80 mm.



Obr. 5.20: Finální práce se vzorky

Vložení materiálu do formy v jedné vrstvě – vlevo, přiklopení formy horní deskou – ve středě, materiál stlačen a připraven na zrání 24 hod. – v pravo

Doba zrání desky ve formě je 24 hodin. Po tuto dobu je forma uložena ve standardních laboratorních podmínkách ($23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50% relativní vlhkost).

5.1.4.3 CHARAKTERISTIKA VLASTNOSTÍ SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK

Vzorky s vyšší dávkou kaseinového lepidla (1:0,6 a 1:0,5 – Sláma : Kasein) bylo možné odformovat již po cca 30 minutách od naplnění formy a tím zrychlit výrobu vzorků. Po zkušenosti s některými vzorky s nižším množstvím lepidla bylo doporučeno tuto dobu odformování prodloužit na 2 - 24 hodin.

Takto odformované vzorky byly po dobu 5 dnů odloženy v prostředí laboratoře na dodatečné vytvrzení lepidla a pozvolného sušení. Následně byly vzorky sušeny v sušárně o teplotě 40 – 50 °C po dobu cca 30 minut do ustálení hmotnosti.

U poměru č. 5, tedy 1:0,2 se již projevovала absence množství lepidla a tyto vzorky i po odformování po 24 hodinách vykazovali malou soudržnost a docházelo k samovolnému oddělování povrchových vrstev stébel od povrchu desek a k zvětšování rozměrů ve všech směrech. Z tohoto důvodu byly vzorky tohoto poměru vyřazeny z dalšího zkoušení.

U všech vzorků po vysušení a vytvrzení byla patrná změna elasticity lepidla, tedy křehkost a při manipulaci s těmito vzorky se povrchové vrstvy jeví nesoudržné. K ovlivnění této negativní vlastnosti by mohlo posloužit pouhé zvýšení objemové hmotnosti přidáním vyššího množství materiálu daného poměru anebo přidavek lněné olejové fermeže.

Kaseinové lepidlo potvrdilo předpoklad, že jeho alkalický charakter zabrání růstu plísní a hnilobě. Po odformování vzorků a zejména těch, kterých zraje doba ve formě trvala i 72 hodin (zrání přes víkend), nebylo zpozorováno žádné napadení plísněmi anebo jiné degradace materiálu.

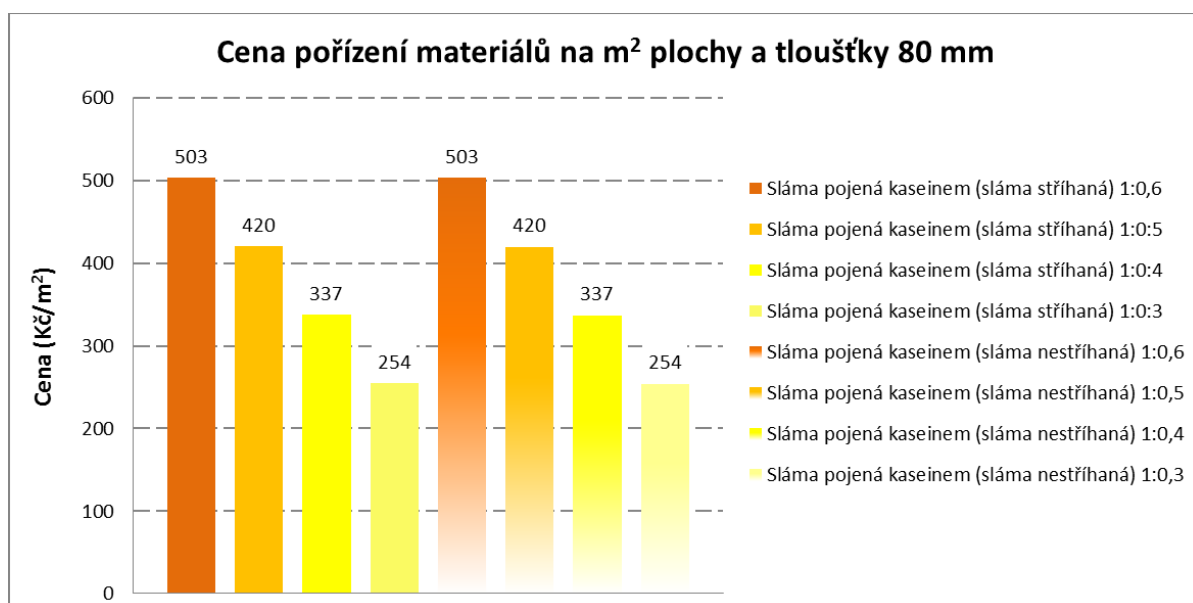


Obr. 5.21: Slaměná deska pojená kaseinovým lepidlem rozměrů 300x300x80 mm

Tab. 5.7: Výsledky měření slaměných desek pojených kaseinovým lepidlem

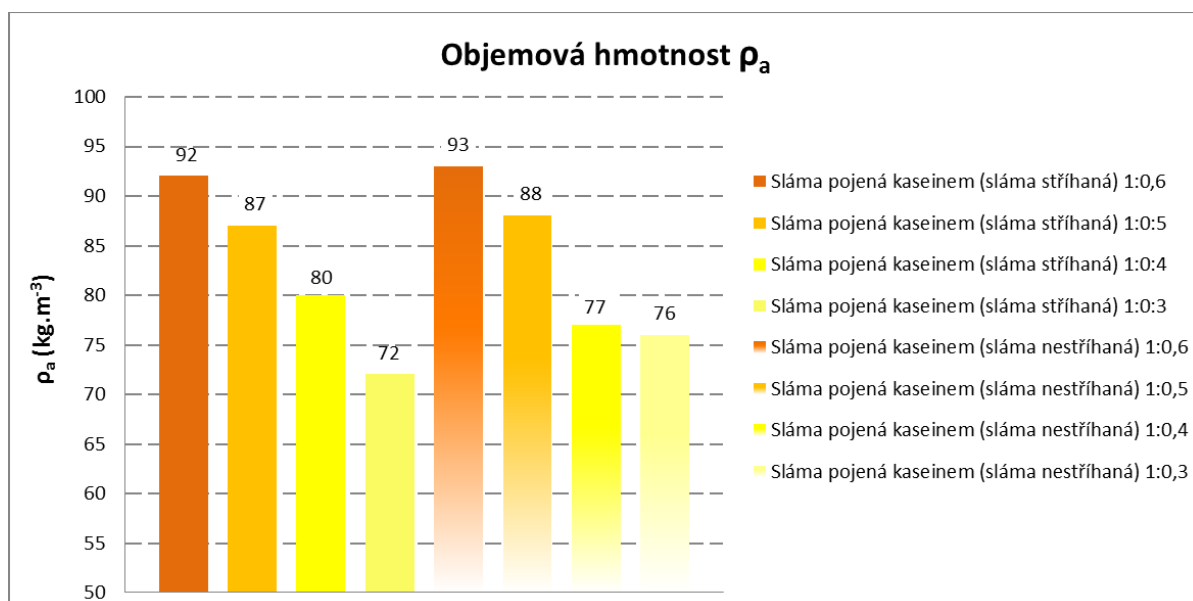
Číslo poměru	Hmotnostní poměr S : K : V	Sláma	Cena pořízení materiálů na m ² tloušťky 80 mm (Kč.m ⁻²)	Objemová hmotnost ρ_a (kg.m ⁻³)	Souč. tep. vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Tepelný odpor R (m ² .K.W ⁻¹)	Napětí při 10% def. σ_{10} (kPa)	Pevnost v tahu σ_{mt} (kPa)	Krátkodobá nasákavost W_p (kg.m ⁻²)
1	1 : 0,6 : 0,6	Stříhaná	503	92	0,049	1,63	8	0	4,02
		Nestříhaná	503	93	0,047	1,74	13	1	3,96
2	1 : 0,5 : 0,5	Stříhaná	420	87	0,048	1,68	8	0	3,87
		Nestříhaná	420	88	0,049	1,61	12	1	3,32
3	1 : 0,4 : 0,4	Stříhaná	337	80	0,045	1,80	6	0	3,57
		Nestříhaná	337	77	0,046	1,79	10	0	3,55
4	1 : 0,3 : 0,5	Stříhaná	254	72	0,056	1,49	3	0	3,66
		Nestříhaná	254	76	0,049	1,64	11	0	3,64
5	1 : 0,2 : 0,4	Stříhaná	171	Vyřazen					
		Nestříhaná	171	Vyřazen					

Výsledky jednotlivých měření fyzikálně-mechanických vlastností slaměných desek pojených kaseinovým lepidlem jsou zpracovány do následujících grafů.

Graf 5.7: Cena materiálu na m² tloušťky 80 mm slaměno-kaseinových desek

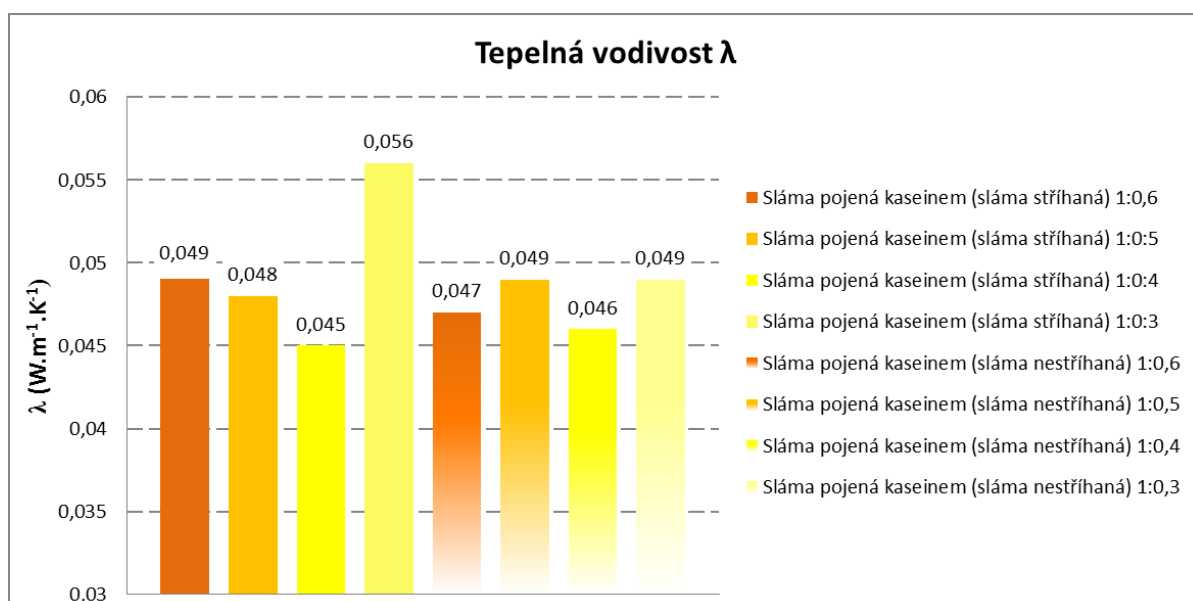
Ceny pořízení materiálů na m² plochy, tloušťky 80 mm se u slaměno-kaseinových desek vyrobených v laboratorním prostředí pohybují od 254 Kč/m² u nejnižší dávky kaseinového lepidla až po 503 Kč/m² u dávky nejvyšší. Obecně se dá říci, že ceny slaměno-kaseinových desek jsou poměrně vysoké, což je způsobeno cenou kaseinového lepidla, kterého cena je odvislá od cen spojených se surovinami na výrobu lepidla a od nízké poptávky na trhu v současnosti.

Graf 5.8: Objemová hmotnost slaměno-kaseinových desek



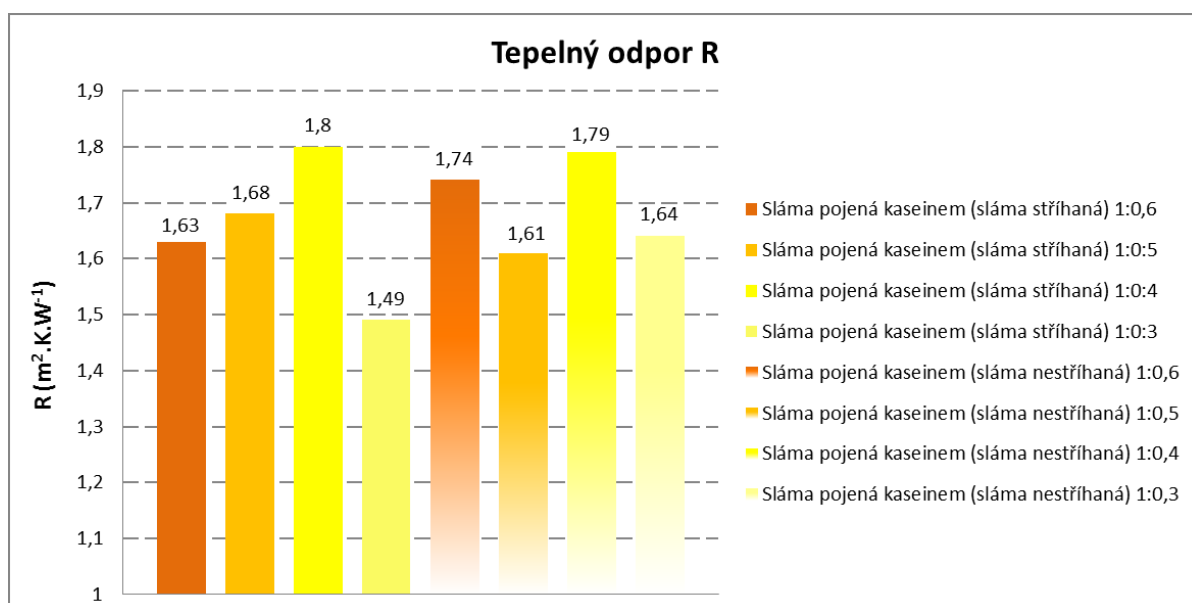
Objemové hmotnosti slaměno-kaseinových desek se stříhanou slámou dosahovaly hodnot od 72-92 kg.m⁻³. U těchto vzorků byl zaznamenán téměř rovnoměrný pokles objemové hmotnosti v závislosti na dávce kaseinového lepidla na rozdíl od vzorků se slámou bez úpravy. U vzorků se slámou nestříhanou se objemové hmotnosti pohybovali od 76-93 kg.m⁻³, přičemž u vzorků s nejnižší dávkou kaseinového lepidla se pravděpodobně uplatnil vliv větší délky stébel. Vzorky poměru 1:0,3 (Sláma : Kasein) s nestříhanou slámou si dokázal udržet rozměry tloušťky kolem 80 mm oproti vzorkům se slámou stříhanou stejného poměru, kterého tloušťky po odformování dosahovali cca 83 až 84 mm.

Graf 5.9: Tepelná vodivost slaměno-kaseinových desek



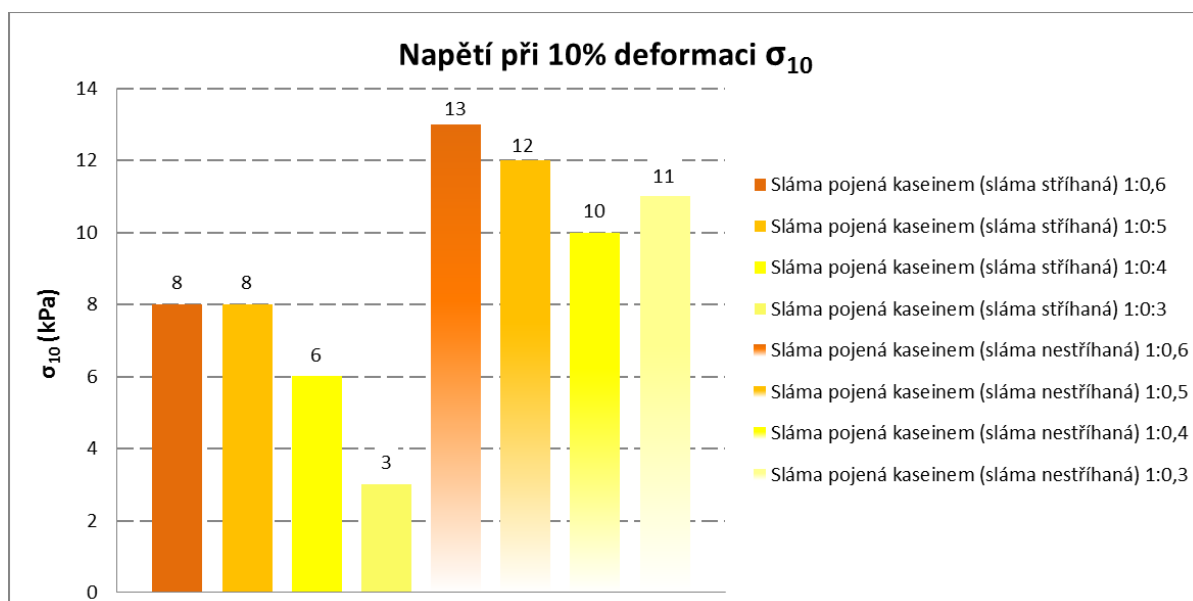
Nejnižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti byly naměřeny u poměru 1:0,4 (Sláma : Kasein), a to jak u slámy stříhané, tak i nestříhané. U slámy stříhané tato hodnota činila $\lambda=0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ u nestříhané $\lambda=0,046 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Vzorky slaměno-kaseinových tepelně-izolačních desek vykazovali klesající tendenci tepelné vodivosti až po poměr s nejnižší dávkou kaseinového lepidla. Prudké zvýšení součinitele tepelné vodivosti ($\lambda=0,056 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) u poměru 1:0,3 se slámou stříhanou bylo pravděpodobně způsobené příliš nízkou objemovou hmotností, kde se uplatňoval zrychlený tepelný tok vlivem proudění. Vzorky nestříhané slámy dosahovali hodnot od $\lambda=0,046 - 0,049 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, kde konkrétní závislosti součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti nebo dávky kaseinového lepidla nelze s určitostí vyjádřit. Při porovnání tepelně-izolačních desek z hlediska délky stébel slámy lze usoudit, že vzorky se slámou nestříhanou vykazovali vyrovnanější výsledky vyplývající z měření součinitele tepelné vodivosti.

Graf 5.10 : Tepelný odpor slaměno-kaseinových desek

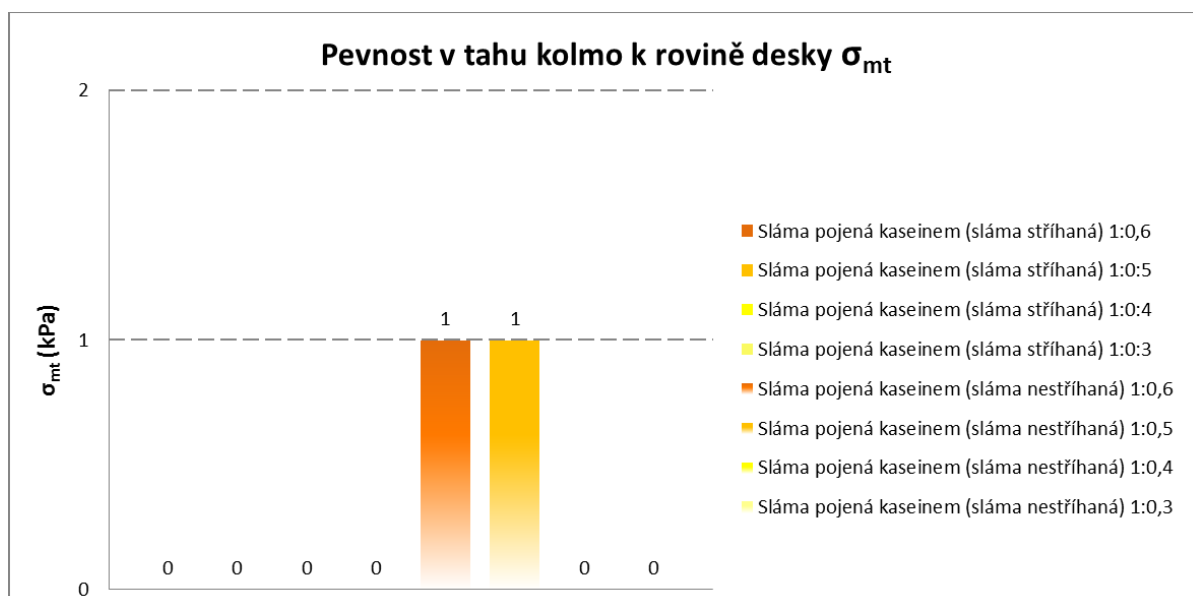


Hodnoty vypočteného tepelného odporu slaměno-kaseinových tepelně-izolačních desek kopírují výsledky součinitele tepelné vodivosti. Nejvyšší tepelný odpor byl vypočten u poměru 1:0,4 (S:K), jak u slámy stříhané ($R=1,8 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$), tak i slámy nestříhané ($R=1,79 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$). Naopak nejnižší tepelný odpor byl vypočten u tepelně-izolačních desek se slámou stříhanou s poměrem 1:0,3, a to konkrétně $R=1,49 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$.

Graf 5.11: Napětí při 10% deformaci slaměno-kaseinových desek



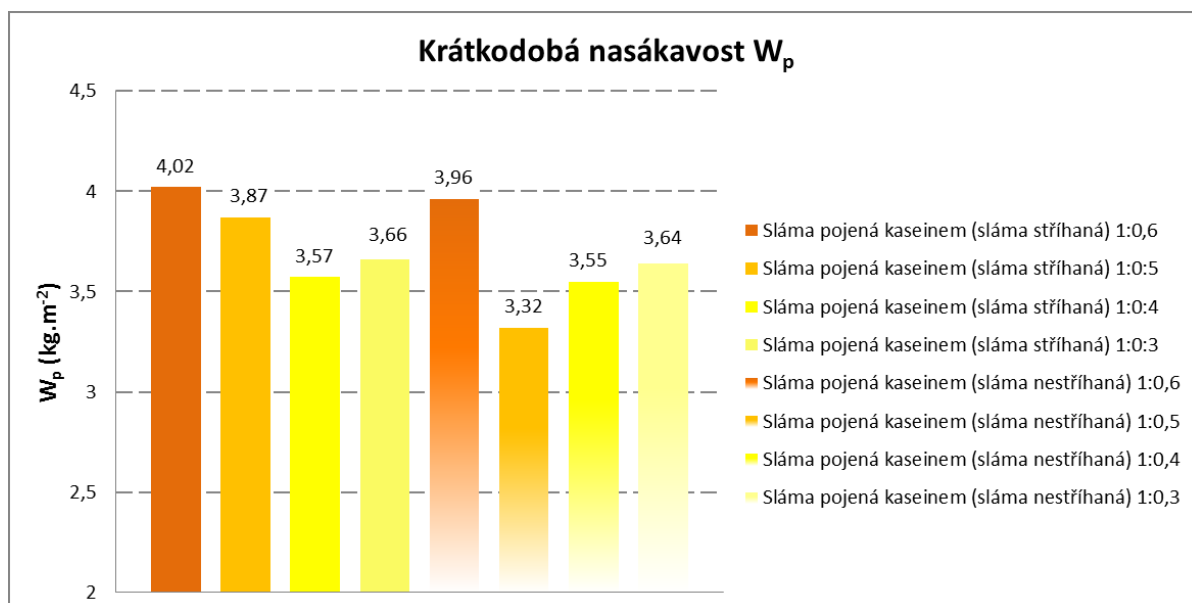
Z grafu 5.11 je patrné, že délky stébel měli zejména vliv na zlepšení mechanických vlastností slaměno-kaseinových desek. Naměřené napětí při 10% deformaci u desek se slámou neupravenou se pohybovalo od 10 kPa do 13 kPa v závislosti na hmotnostním poměru kaseinového lepidla. Vzorky tepelně-izolačních desek se slámou stříhanou dosahovali napětí pouhých 3-8 kPa. Nejvyšší napětí bylo dosahováno u vzorků obou variant slámy s nejvyšším hmotnostním poměrem kaseinového lepidla.

Graf 5.12: Pevnost v tahu kolmo k rovině desky σ_{mt} 

Důležitou vlastností při správné funkci tepelných izolantů je také pevnost v tahu, která umožňuje udržet tepelný izolant osazen na konstrukci při savých silách větru

soudržný a také udržet hmotnost povrchové úpravy nanesené na tepelnou izolaci. Pevnosti v tahu bylo dosaženo pouze u hmotnostních poměrů 1:0,6 a 1:0,5 u nestříhané slámy pojené kaseinovým lepidlem, kde bylo dosaženo pevnosti 1 kPa. To mohlo být způsobeno, podobně jako u slaměných desek pojených cementem, že lepidlo z kaseinu po zaschnutí se stává křehkým a jakékoliv tahové napětí vyvolá porušení spoje mezi stébly.

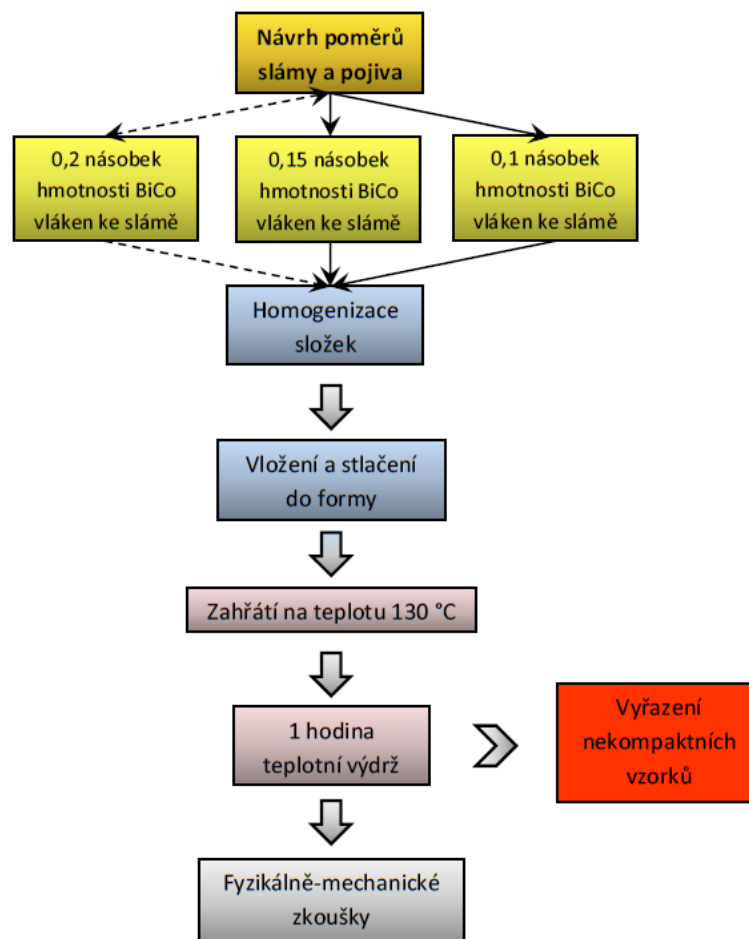
Graf 5.13: Krátkodobá nasákavost slaměno-kaseinových desek



Krátkodobá nasákavost při částečném ponoření měřená po 24 hodinách je u slaměno-kaseinových vzorků přibližně stejná. U vzorků se slámou stříhanou hodnoty krátkodobých nasákavostí činili od cca 3,6-4 kg.m⁻², u vzorků s nestříhanou od cca 3,3 do 4,0 kg.m⁻². Ubýváním množství dávky lepidla byl pozorován i pokles nasákavosti. To by mohlo být pravděpodobně způsobené navázáním kapalné vlhkosti do struktury lepidla, jelikož kaseinové lepidlo je schopno vlivem trvale vysoké vlhkosti ztratit své pojivové účinky.

5.1.5 SLÁMA POJENÁ BIKOMPONENTNÍMI VLÁKNY

Postup jakým způsobem byly vytvářeny vzorky tepelně-izolačních desek ze slámy pojené bikomponentními vlákny, je znázorněn na obrázku 5.22.



Obr. 5.22: Metodika výroby slaměných desek pojených bikomponentními vlákny v různých hmotnostních poměrech

5.1.5.1 NÁVRH HMOTNOSTNÍCH POMĚRŮ

Pro vytvoření kompaktních vzorků bylo předpokládáno, že po zamíchání musí stébla slámy a bikomponentní (BiCo) vlákna být v dostatečně těsném kontaktu aby se navzájem spojila. Proto podobně jako v předcházejících etapách bylo nutno stanovit množství slámy pro úplné vyplnění formy. V tomto případě po předchozích zkušenostech hodnota činila 560 g slámy na jednu formu.

Návrh poměrů slámy s BiCo vlákny vyplývá ze složení konopných izolací, kde se BiCo vlákna používají a jejich obsah se pohybuje od 9 – 15 % z hmotnosti izolantu. Vzhledem ke způsobu homogenizace v laboratorním prostředí byly vytvořeny nejdříve zkušební vzorky s obsahem 20 % BiCo vláken (poměr 1:0,2), kde vzorky

po zhotovení vykazovali na první pohled kompaktnost. Tento poměr byl označen za základní a u dalších vzorků byla snaha o snižování množství použitých BiCo vláken zejména z ekonomických důvodů a ekologického hlediska.

Tab. 5.8: Návrh hmot. poměrů slámy, BiCo vláken a převod na gramy

Poměrové složení směsi				Složení směsi na 1 formu		
Číslo poměru	Sláma	BiCo		Číslo poměru	Sláma (g)	BiCo (g)
1.	1	0,1		1.	560	56
2.	1	0,15		2.	560	84
3.	1	0,2		3.	560	112

Při snižování poměrů bylo sledováno, jestli se nějakým způsobem mění fyzikální a mechanické vlastnosti těchto vzorků. Následně se ukázalo, že poměry nižší než 1:0,1 není již nutno zkoušet, protože u všech poměrů kromě základního (1:0,2) byly patrné známky zvětšující se nesoudržnosti a změn rozměrů.

5.1.5.2 VYTVÁŘENÍ SLAMĚNO-BIKOMPONETNÍCH TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH DESEK

V první řadě bylo potřebné si navázat vypočtené množství slámy a BiCo vláken. Následně se cca polovina slámy vysypala do plastové vaničky a navážené množství BiCo vláken se přidávalo po částech. BiCo vlákna jsou problematicky od sebe oddělitelná a v klasickém případě by se od sebe oddělovala pomocí mechanizace resp. rozvlákňovací česačky. V tomto případě se každá hrst s BiCo vlákny musela ručně, tahavým pohybem pomocí druhé ruky oddělovat, čímž vznikaly chomáčky (viz obrázek 5.23). Obsah vaničky se postupně homogenizoval ručním mícháním a dosypávala se druhá polovina slámy a BiCo vláken. Celý proces homogenizace, který se prováděl v laboratorních podmínkách trval od 45 minut do 1 hodiny, v závislosti od množství přidávaného BiCo vlákna.



Obr. 5.23: Oddělování malých chomáčků BiCo vláken a míchání se slámou

Následně se celý obsah vaničky vložil do dřevěné formy (shodné s předchozími etapami) opatřené dřevěnou přitlačnou deskou. Dřevěné formy se vložily do předem vyhřáté sušárny na teplotu 130 °C a ponechaly se v ní po dobu 1 hodiny (viz obrázek 5.24). Z toho vyplývá, že na výrobu jednoho vzorku bylo potřeba vynaložit přibližně 2 hodiny práce v laboratorních podmínkách.



Obr. 5.24: Vložení dřevěné formy do rozehtáté sušárny na 130 °C

5.1.5.3 CHARAKTERISTIKA VLASTNOSTÍ SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK

Všechny vzorky po odformování vykazovaly kompaktnost, nicméně po určitém čase vzorky poměrů 1:0,15 a 1:0,10 zvětšily svůj objem, resp. svoji tloušťku. To nastalo pravděpodobně ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že způsob homogenizace není dokonalý, protože při ní vznikala místa, kde mezi stébly žádná vlákna BiCo nebyla a naopak místa, kde jich bylo více, a vznikaly bílé shluky (viz obrázek 5.25). Druhý důvod teoreticky souvisí s tím prvním. Uvažuje se, že u poměrů s 1:0,1 a 1:0,15 nebylo použito takové množství BiCo vláken, které by vyrušilo vliv nedokonalé homogenizace.

Z toho vyplývá, že kvalitou homogenizace byly s určitostí ovlivněny nejen samotné fyzikálně-mechanické vlastnosti vytvořených vzorků. Zlepšením procesu homogenizace např. použitím mechanického homogenizátoru lze také ovlivnit dávkování BiCo vláken. To znamená, že je možné teoreticky snižovat množství vláken v izolantu při zachování nebo dokonce zlepšování fyzikálně-mechanických vlastností.



Obr. 5.25: Slaměná deska pojená BiCo vlákny rozměrů 300x300x80 mm

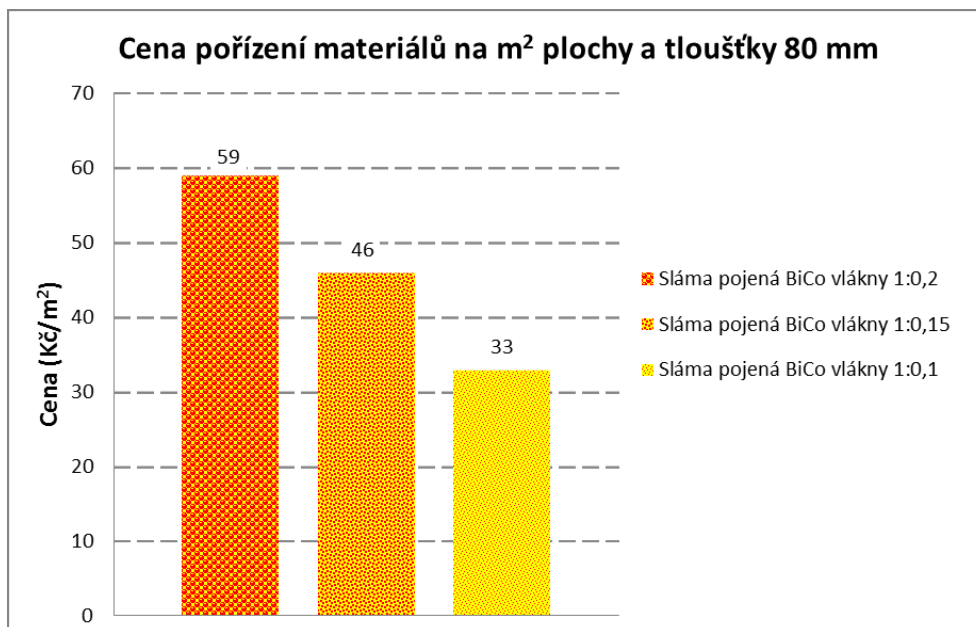
Výsledky zkoušek slaměno-bikomponentních desek se nachází v tabulce 5.9.

Tab. 5.9: Výsledky měření slaměných desek pojených BiCo vlákny

Číslo poměru	Hmotnostní poměr Sláma/ BiCo	Cena pořízení materiálů na m ² tloušťky 80 mm (Kč.m ⁻²)	Objemová hmotnost ρ_a (kg.m ⁻³)	Souč. tep. vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Tepelný odpor R (m ² .K.W ⁻¹)	Napětí při 10% def. σ_{10} (kPa)	Pevnost v tahu σ_{mt} (kPa)	Krátkodobá nasákavost W_p (kg.m ⁻²)
1	1 : 0,2	59	94	0,044	1,84	21	5	9,60
2	1 : 0,15	46	87	0,045	1,88	15	3	7,62
3	1 : 0,1	33	79	0,045	1,90	13	2	6,36

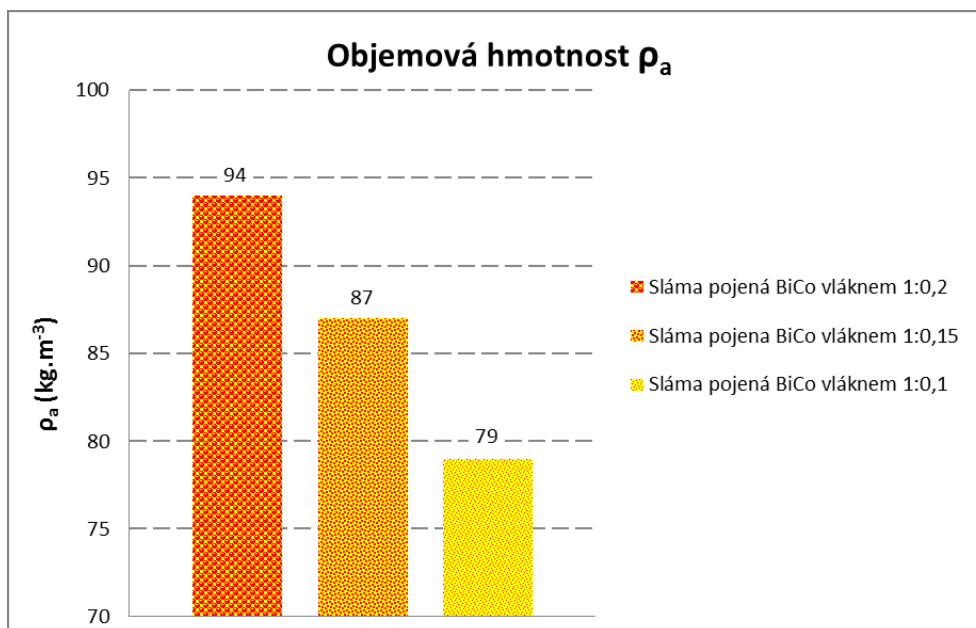
Výsledky jednotlivých měření fyzikálně-mechanických vlastností slaměných desek pojených bikomponentními vlákny jsou zpracovány v grafech 5.14 až 5.20.

Graf 5.14: Cena materiálu na m^2 tloušťky 80 mm slaměno-bikomp. desek



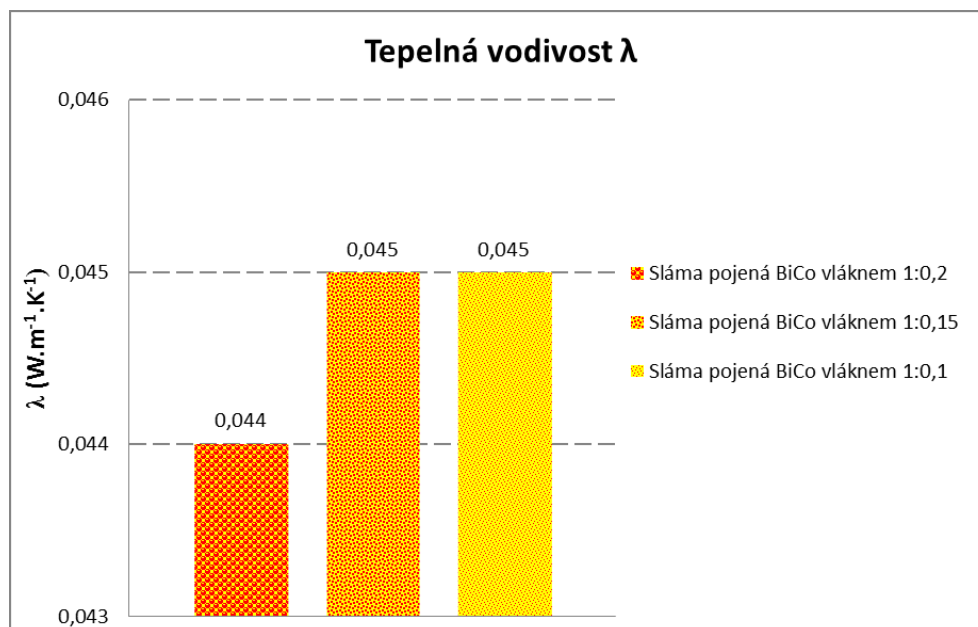
Cena materiálu nutného k vytvoření zateplení pomocí slaměno-bikomponentních desek o ploše 1 m^2 při tloušťce 80 mm, se pohybovala od 33 do 59 Kč/m² v závislosti na množství BiCo vláken. Z ekonomického hlediska je možné konstatovat, že cena komponentů této tepelné izolace je poměrně přijatelná.

Graf 5.15: Objemová hmotnost slaměno-bikomponentních desek



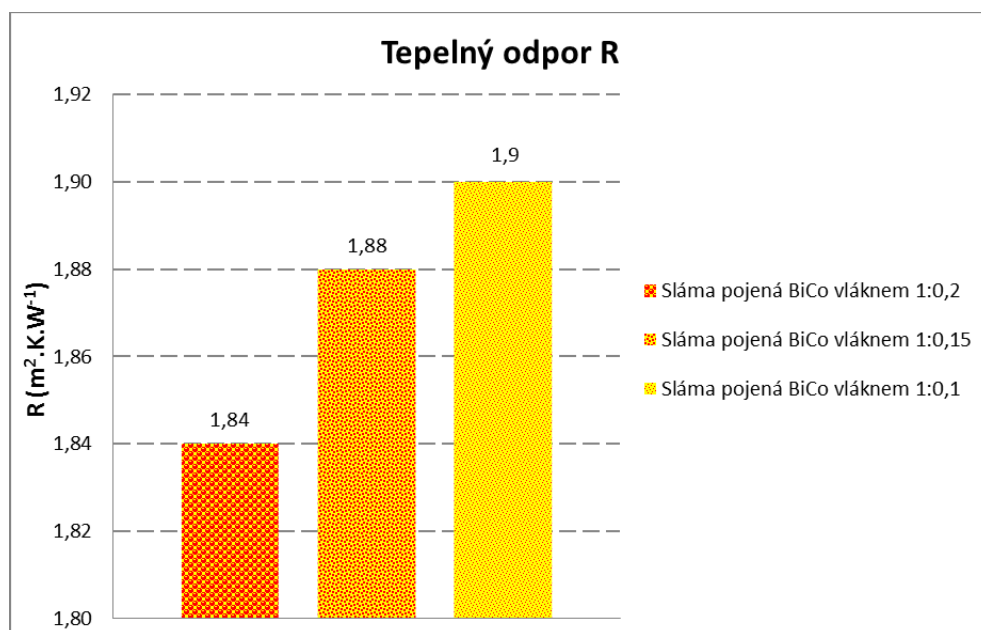
Klesající tendenci objemové hmotnosti slaměno-bikomponentních desek (viz graf 5.15) způsobují hmotnostní dávky BiCo vláken. Tyto objemové hmotnosti se pohybují od 79 kg.m^{-3} u desek s nejnižší dávkou vláken, až po 94 kg.m^{-3} s nejvyšší dávkou BiCo vláken.

Graf 5.16: Tepelná vodivost slaměno-bikomponentních desek



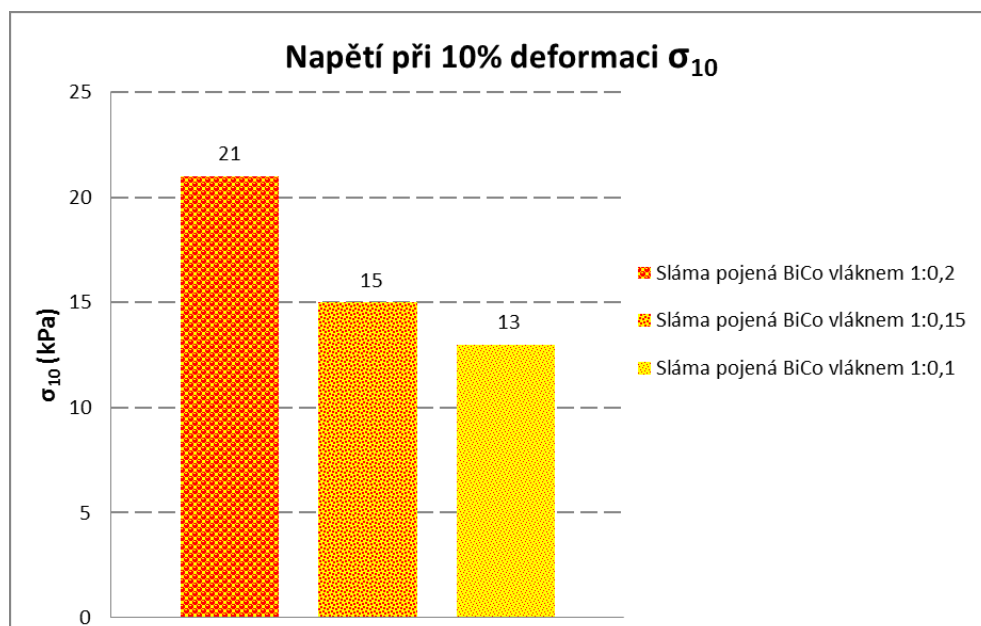
Součinitel tepelné vodivosti měřen na slaměno-bikomponentních deskách se pohyboval přibližně stejně u všech hmotnostních poměrů. U poměrů s 10 a 15 % hmotnosti BiCo vláken se tepelná vodivost ustálila na hodnotě $0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. U poměru s nejvyšší dávkou BiCo vláken tepelná vodivost vycházela $0,044 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Před měřením součinitele tepelné vodivosti slaměno-bikomponentních desek byl předpoklad, že se zvyšujícím se množstvím přidávaných BiCo vláken by se měli pozitivně ovlivňovat tepelně izolační vlastnosti. Množství vláken by teoreticky mělo zpomalovat přenos tepla prouděním. Tento předpoklad dle naměřených výsledků na slaměno-bikomponentních deskách vytvořených v laboratorním prostředí nebyl potvrzen. Určité zlepšení však nastalo u vzorku s nejvyšší dávkou vláken, ale v míře, kterou nelze považovat za vypovídající (viz graf 5.16). U vzorků vytvořených v laboratorním prostředí, které byly ručně homogenizovány, vznikaly totiž rozdíly v kvalitě promítnuté do fyzikálně-mechanických vlastností provedených desek. Nicméně vyšší dávka bikomponentních vláken se odzrcadlila ve zlepšení zejména mechanických vlastností (viz graf 5.18 a 5.19).

Graf 5.17: Tepelný odpor slaměno-bikomponentních desek



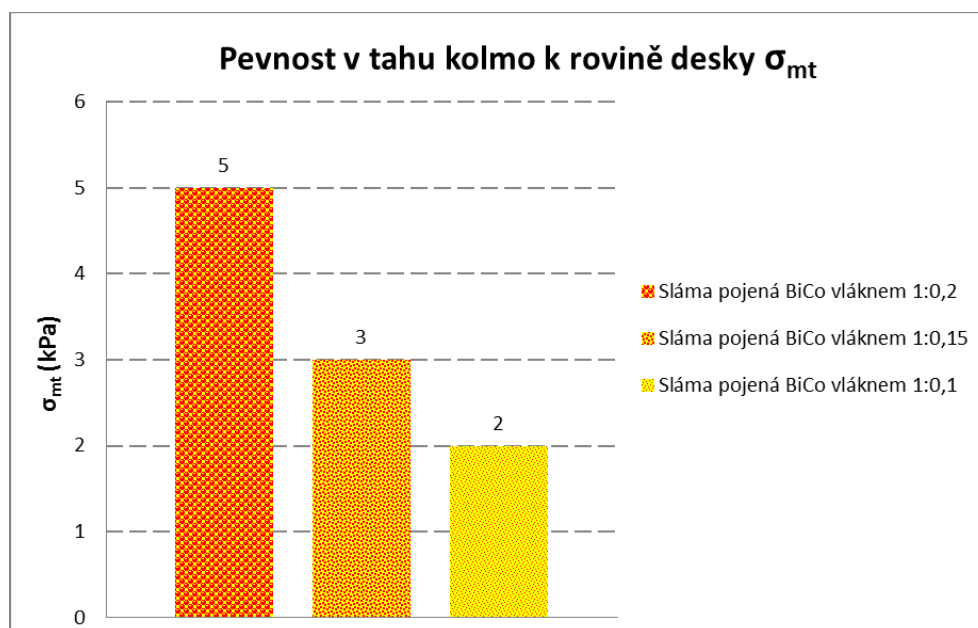
Odpor při protékání tepelného toku byl nejmenší u poměru s nejvyšší dávkou BiCo vláken, kde byla naměřena hodnota $1,84 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Naopak nejvyšší tepelný odpor $1,9 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ byl naměřen u hmotnostního poměru s 10% dávkou vláken. Z toho vyplývá, že popří přibližně stejných hodnotách součinitele tepelné vodivosti se výrazněji měnila tloušťka vzorků v závislosti na obsahu bikomponentních vláken.

Graf 5.18: Napětí při 10% deformaci slaměno-bikomponentních desek



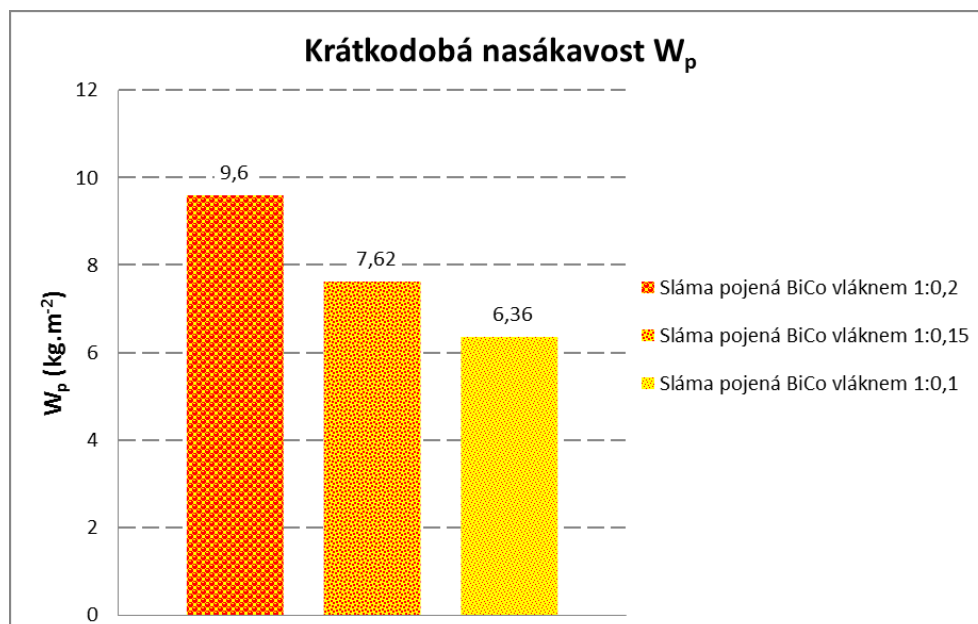
Z grafu 5.18 vyplývá, že se snižujícím se množstvím BiCo vláken ve vzorcích se snižovala pevnost v tlaku při 10% deformaci. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 13 až 21 kPa.

Graf 5.19: Pevnost v tahu kolmo k rovině slaměno-bikomponentních desek



Pevnosti v tahu kolmo k rovině desky se u slaměno-bikomponentních desek pohybovaly od 2 kPa při dávce 10 % vláken, do 5 kPa u hmotnostní dávky s 20 % BiCo vláken.

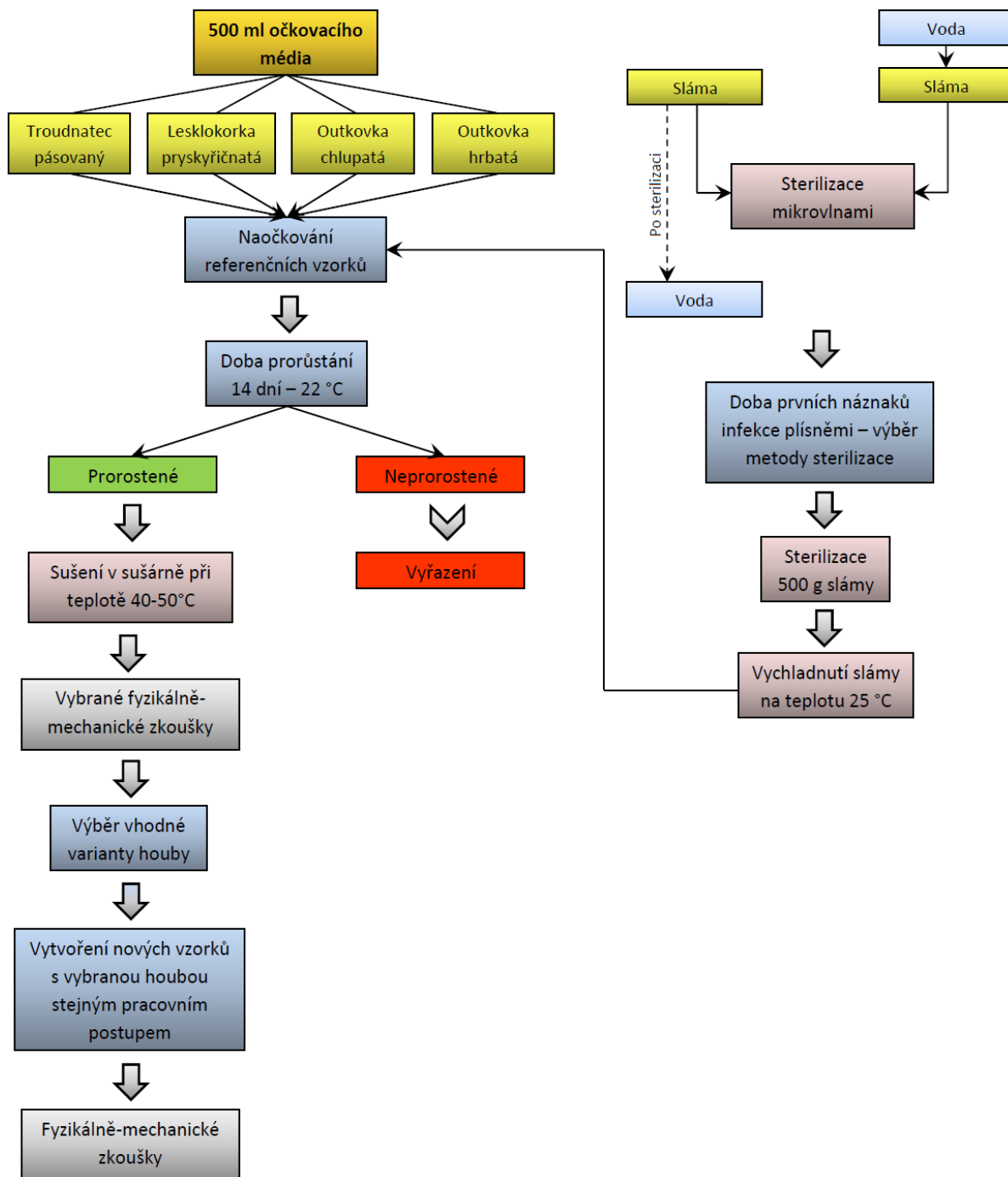
Graf 5.20: Krátkodobá nasákavost slaměno-bikomponentních desek



Hodnoty krátkodobé nasákavosti se liší v závislosti na obsahu vláken, resp. tloušťky vzorků, kterou ovlivňovala dávka vláken. Při zvětšení tloušťky a snížení objemové hmotnosti se částečně vyrušuje vliv distribuce kapalně vlhkosti mezi stébly slámy ve vzorcích. Hodnoty krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření se proto snižovaly při snižování dávky BiCo vláken a pohybovaly se od 6,36 do 9,6 kg.m⁻².

5.1.6 SLÁMA POJENÁ MYCELIEM DŘEVOKAZNÉ HOUBY

Metodický postup práce zpracování vzorků slámy s využitím pojení pomocí rostoucího mycelia dřevokazné houby je znázorněn na obrázku 5.26.



Obr. 5.26: Metodika výroby slaměných desek pojených myceliem dřevokazných hub

V této části DP byla snaha o vytvoření slaměné desky pojené čtyřmi druhy očkovacího média dřevokazné houby, ze kterého měla být následně vybrána jedna s nejlepšími vlastnostmi.

5.1.6.1 PŘEDPŘÍPRAVA PŘED VÝROBOU VZORKŮ

Než byl vytvořen očkovací materiál dřevokazných hub, bylo potřebné nejprve stanovit vhodnou metodu sterilizace slámy z hlediska délky prodlevy biologického napadení slámy plísněmi.

Sterilizace slámy je potřebná ze dvou důvodů. Prvním důvodem je to, že degradační proces slámy nastává poměrně rychle po kontaktu s kapalnou vlhkostí. Tento proces je pozorovatelný pouhým okem již po 24 hodinách při optimálních podmínkách (teplota cca 18-28 °C při nejméně 80% relativní vlhkosti), kde je možné spatřit plísně a kvasinky. Druhým důvodem je to, že sláma může obsahovat zbytkové zrní, které časem vyklíčí (viz obrázek 5.27), a tak může působit negativně na výrobek vlivem vyvíjecího se tlaku od růstu kořínků.



Obr. 5.27: Vyrostlé klíčky zbytkového zrní v nesterilizované slámě

5.1.6.1.1 STANOVENÍ METODY STERILIZACE SLÁMY

Sterilizace slámy je možné provádět vícero způsoby např. v autoklávu, mikrovlnným zářením, použitím horké vody (cca 100 °C) nebo horkého vzduchu (nad 160 °C). Z hlediska jednoduchosti by bylo pravděpodobně nejvhodnější použít metodu s využitím horké vody nebo vzduchu. Nicméně metoda s využitím horké vody nebývá často dokonalá, protože tato metoda využívá přebytek vody, který je nutné odstranit odkapáním. Při tomto procesu odkapávání je sláma nutně v kontaktu se vzduchem, který obsahuje mikročástice sporů plísní a tak následná kontaminace materiálu je více méně jistá. U metody s využitím horkého vzduchu je

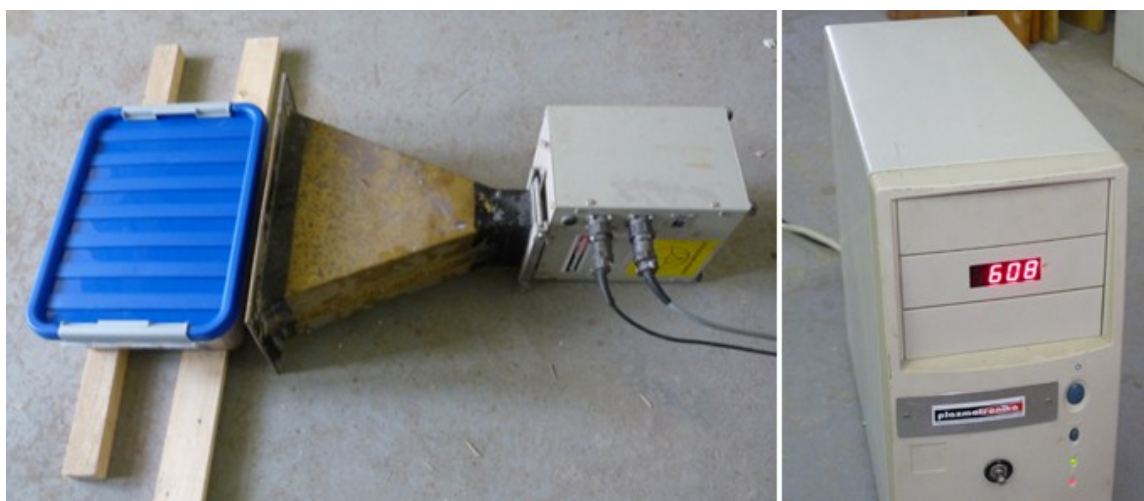
nebezpečí vzplanutí slámy v zařízení sušárny, proto nebylo s touto metodou uvažováno. Z hlediska vybavení laboratoří byly v tomto projektu zkoušeny dvě varianty sterilizace pomocí externího mikrovlnného zdroje.

Princip použití mikrovln při sterilizaci spočívá v tom, že mikrovlnná energie odpovídající frekvenci cca 2450 MHz rozvibruje pouze molekuly vody. Voda, kterou přirozeně obsahují všechny živé organizmy a většina materiálů, je vlivem vibrací mikrovln zahřívána. Tímto způsobem by měl být deaktivován růstový potenciál sporů plísní a kvasinek.

Jako první varianta byla použita sláma suchá, která se podrobila mikrovlnnému záření a pak byla vystavena zvlhčení pomocí kapalně vody. Druhá varianta sterilizace slámy spočívala ve zvlhčení slámy (objem vody roven hmotnosti slámy) před teplotním namáháním pomocí mikrovlnného zářiče.

Následně byl sledován čas, po kterém bylo možné makroskopicky spatřit prvotní známky infekce plísněmi u obou vzorků současně. Bylo potřeba, aby tato doba byla pokud možno co nejdelší z toho důvodu, aby před iniciováním růstu mycelia dřevokazných hub nebyl materiál slámy napaden spory plísní. Dle mykologů byl stanoven předpoklad, že po správném nastartování růstu mycelia by po sterilizaci slámy již nemělo docházet k tvorbě plísní, pokud se dodrží další podmínky. Těmito podmínkami jsou zejména dostatek kyslíku, k metabolickým přeměnám a aerobním procesům při růstu hub, dále vlhkosti a optimální teploty.

Použitý přístroj na generování mikrovlnného záření je uveden na obrázku 5.28.

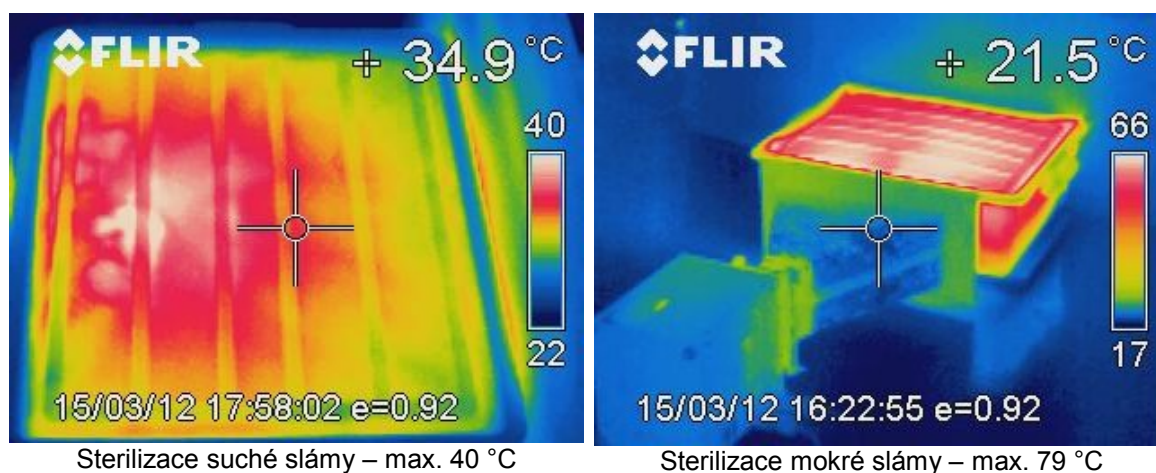


Obr. 5.28: Sterilizace slámy pomocí externího mikrovlnného zdroje

Magnetron a vlnovod – vlevo, vysokofrekvenční zdroj – vpravo

Při sterilizování vzorků slámy, byly pořízeny fotografie z termokamery (viz obrázek 5.29). Zjišťovala se teplota vzorků při zahřívání a její průběh. Doba expozice byla stanovena na 30 minut při výkonu cca 600 W mikrovlnného zdroje (srovnatelný výkon s mikrovlnnými zařízeními domácností).

U slámy suché se teplota měnila vzdáleností od ústí vlnovodu. Přirozená vlhkost obsažená ve slámě nebyla tak vysoká, aby zahřála celý objem slámy a tak teplota dosahovala po 30min expozici pouze 40 °C. U slámy mokré byl průběh teploty celoplošný. Při zahřívání v uzavřené formě vznikal přetlak, který umožnil cirkulaci horké páry a tím zahřátí celého objemu slámy na teplotu kolem 80 °C.



Obr. 5.29: Záběry z termokamery při sterilizování vzorků slámy

Sláma suchá – vlevo, sláma mokrá – vpravo

Po tepelném namáhání bylo přidáno do suché slámy množství tepelně opracované vody rovné hmotnosti slámy ve vzorku (500 g). Oba vzorky byly po dobu chlazení a pozorování uzavřené horním víkem plastové nádoby. Z následného pozorování vyplynul závěr, že u slámy suché byla patrná infekce plísněmi a kvasinkami již po 24 hodinách od expozice v mikrovlnném poli. Po dalších 9 dnech vyklíčilo zbytkové zrní obsažené ve slámě (viz obrázek 5.30 – vlevo). To byl důkaz nízké efektivity sterilizace mikrovlnami s nízkou vlhkostí materiálu. U slámy vlhčené před sterilizací se makroskopické známky degradace objevily až po 12 dnech od sterilizace slámy.



Obr. 5.30: Pozorování času prvních makroskopicky viditelných znaků infekce plísněmi – záběry pořízené po 10 dnech od expozice působení mikrovlnného záření

Sláma suchá – vlevo, sláma mokrá – vpravo

Pro vytvoření referenčních vzorků slámy pomocí vybraných druhů dřevokazných hub se jeví jako optimální varianta sterilizace s použitím mokré slámy.

5.1.6.1.2 VYTVOŘENÍ INOKULAČNÍHO MÉDIA DŘEVOKAZNÝCH HUB

K vytvoření referenčních vzorků je potřebné předem vytvořit očkovací médium vybraných dřevokazných hub. Tato očkovací média se vytvářela na půdě Lesnické a dřevařské fakulty, Mendelovy univerzity v Brně způsobem podrobně popsaným v předchozí kapitole 5.1.1.6.

5.1.6.2 VYTVÁŘENÍ REFERENČNÍCH SLAMĚNO-MYCELIOVÝCH TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH DESEK

V první řadě bylo potřebné si navážit množství slámy do plastové formy tak, aby měla tloušťku alespoň 80 mm. Přesné rozměry nebylo nutné dodržet z toho důvodu, že plastové formy měly rozměry 350x300x100 mm a po prorostení myceliem houby by vzorky byly rozřezány na potřebné rozměry. Tato dávka odpovídala hmotnosti 500 g slámy na jednu formu, do které se nalila voda o hmotnosti rovné hmotnosti slámy, čili 500 g. Následně se tyto formy s obsahem slámy a vody (pro každý vzorek houby jedna forma) sterilizovaly postupem stejným z kapitoly 5.1.6.1.1.

Následně se nalilo rovnoměrně 500 ml očkovacího média do každé formy se sterilizovanou slámou a víkem plastové nádoby se forma uzavřela (viz obrázek 5.31). V takto uzavřených nádobách byla teplota 22 °C a relativní vlhkost vzduchu 92 %. Uzavření nádoby bylo nutné z důvodu zajištění sterility, zejména v prvních dnech, kdy ještě nenastala iniciace růstu mycelia.



Obr. 5.31: Inokulace slámy inokulačním médiem

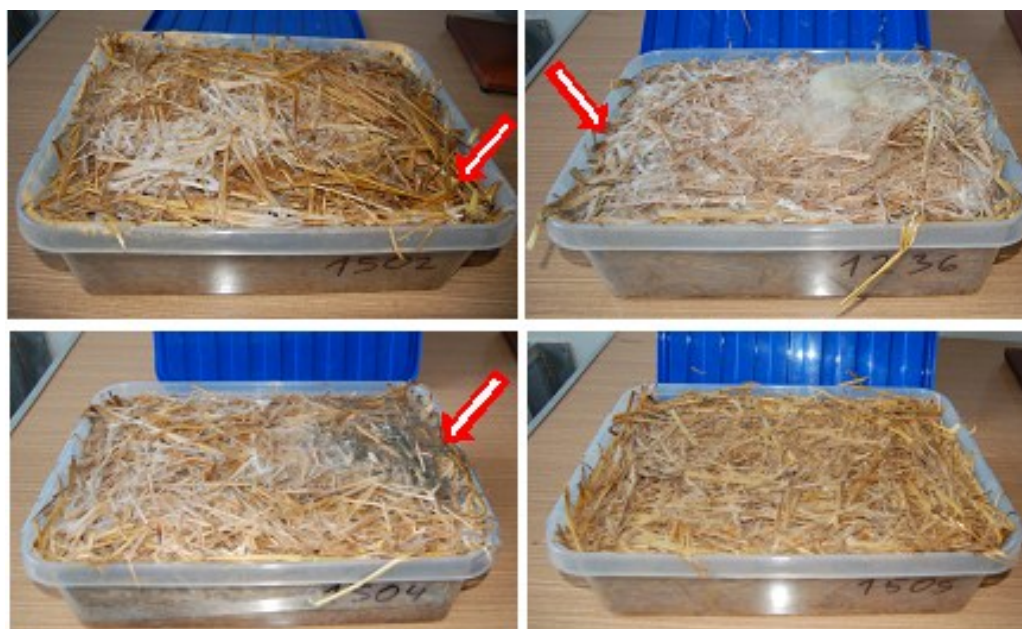
Prvotní odhad doby kdy začne proces prorůstání slámy, byl stanoven na 3-4 dny a celková doba prorůstání prorostení by neměla trvat déle než 10-14 dní. Ve skutečnosti iniciační doba růstu mycelií začala kolem sedmého dne od inokulace a k desátému dni bylo zpozorováno rychlé a téměř rovnoměrné rozrostení jemných vlásečnic mycelia (viz obrázek 5.32). Vzorky byly následně přikrývány víkem, kvůli možné ztrátě vlhkosti na povrchu vzorků.



Obr. 5.32: Záběry referenčních vzorků po 10 dnech od inokulace

1502 – *Troudnatec pásovaný*, 1236 – *Lesklokorka pryskyřičnatá*,
1504 – *Outkovka chlupatá*, 1505 – *Outkovka hrbatá*

Ke 14 dni se proces rozrůstání pozastavil a byly pozorovány známky infekce plísněmi a kvasinek (viz obrázek 5.33).



Obr. 5.33: Záběry referenčních vzorků po 14 dnech od inokulace

1502 – *Troudnatec pásovaný*, 1236 – *Lesklokorka pryskyřičnatá*,
1504 – *Outkovka chlupatá*, 1505 – *Outkovka hrbatá*

Z obrázku 5.33 je patrné, že prorostení myceliem bylo nejslabší u outkovky hrbaté, kde ale paradoxně nebylo vidět povrchové napadení plísněmi. U ostatních vzorků byla místa infekce zaznamenána zejména u okrajů.

5.1.6.3 CHARAKTERISTIKA VLASTNOSTÍ REFERENČNÍCH SLAMĚNO-MYCELIOVÝCH DESEK

Konečné stanovisko prorůstání referenčních vzorků, bylo provedeno na základě odformování po 21 dnech ode dne inokulace (viz obrázek 5.34).



Obr. 5.34: Odformování referenčních vzorků po 21 dnech od inokulace

1502 – *Troudnatec pásovaný*, 1236 – *Lesklokorka pryskyřičnatá*,
1504 – *Outkovka chlupatá*, 1505 – *Outkovka hrbatá*

Po odformování vzorků byly odhaleny možné příčiny hnití a plesnivění naočkovaných vzorků. Je pravděpodobné, že bylo použito větší množství vody, než bylo potřeba, a to buď již při sterilizaci, nebo ve formě očkovacího média, které vodu z větší části obsahuje. Na záběrech po odformování je vidět, že vlhkost, která byla zprvu rovnoměrně rozmístěná, byla následně gravitační silou stažena do spodních partií plastové formy. Tím se zabránilo přístupu vzduchu a nastal anaerobní rozklad slámy.

Pravděpodobně nelze s určitostí říct, že jde pouze o tento jeden důvod, který zapříčinil negativní výsledek při prorůstání slámy myceliem.

Negativní výsledek práce se slámou pojenou myceliem dřevokazných hub lze definovat jako synergický účinek, který lze shrnout do několika potencionálních důvodů:

- použití velkého množství vody zejména při sterilizaci,
- nedostatečný přísun vzduchu,
- velké částice prorůstajícího materiálu (stébla),
- nízká sterilita prostředí laboratoře.

Další experimenty k eliminování chyb při práci se slámou pojenou myceliem nebyly z časových důvodů plynoucích při výrobě potřebného množství inokulačního média možné, proto je dále popsán ke každému problému i možný plán řešení.

Celková dávka vody byla cca 200 % z hmotnosti slámy, čili přibližně 40 % potenciálu slámy k úplnému nasáknutí. I navzdory tomu docházelo k problému zmíněnému výše (gravitační tíha a stečení vody na dno formy). Snížení dávky vody při sterilizaci lze odzkoušet experimentálně snižováním dávky při udržení doby, při které je sláma bez známek jakýkoliv degradačních procesů. Dávka inokulačního média, která také obsahuje vodu, by měla ovlivňovat pouze rychlost prorostení. Nicméně spolu s vodou obsaženou ve slámě po sterilizaci, může způsobovat problém.

Nedostatečný přísun vzduchu lze odůvodnit tím, že zakrýváním plastových forem se bránilo rychlému vysychání vlhkosti z povrchu vzorků a zvyšováním rizika kontaminace vzorků vlivem prostředí laboratoře. Zakrýváním forem, se zabránilo odvodu kyslíčnicku uhličitého CO_2 z prostoru formy a tím byl zpomalen až úplně znemožněn přirozený růst mycelia houby. Tento důvod lze jednoduše ovlivnit konstrukcí plastových boxů s dírami pro odvod CO_2 a uložením ve vlhčím prostředí.

Důvodem použití slámy neupravené spočíval v tom, že mycelium by mělo vyplnit prostor mezi stébly a zároveň tento prostor mezi stébly by měl sloužit jako zdroj kyslíku pro růst houby. Vyplnění mezistebelního prostoru by mělo za následek teoreticky zlepšení tepelně-izolačních vlastností a zpomalení přenosu tepla prouděním. Použití celých stébel pravděpodobně způsobilo to, že si houba brala ze slámy pouze malé množství výživových látek a to složitěji, a tak vytvářela jenom tenké vlasečnice a ne hustou síť pevného mycelia. Navíc mycelium vybraných dřevokazných hub nedokázalo překonat vzdálenost mezistebelního prostoru a nález mycelia byl situován zejména v kontaktu stébel slámy. Ovlivnit tuto skutečnost by mohlo být provedeno pouhým podrcením/pomletím slámy na menší částčky.

V pracovním prostoru laboratoře, ve kterém byly uloženy vzorky, poskytoval volný pohyb lidí rostoucím vzorkům potenciální nebezpečí kontaminace. Z tohoto důvodu by bylo lepší ukládat vzorky na klidnější místo bez vyšší cirkulace vzduchu.

V případě, že by byl alespoň jeden vzorek pozitivní z pohledu prorostení slámy, následoval by postup viz níže.

Prorostený referenční vzorek by bylo nutné zbavit vlhkosti, čímž by se inaktivoval proces růstu houby. Předpokládá se, že by k opětovné aktivaci růstu mycelia nedošlo ani po přirozeném vysušení v klasických laboratorních podmínkách dle ČSN EN 1279-2 (teplota 23 ± 2 °C, relativní vlhkost 50 ± 5 %). K urychlení procesu sušení by stačila zvýšená teplota kolem 40-50 °C a sušení v sušárně, aby nebyly popřípadě ovlivněny některé vlastnosti výrobku (zejména mechanické).

Na referenčním vzorku dané houby by se následně provedly vybrané fyzikálně-mechanické zkoušky. Nejdříve by se provedly zkoušky nedestruktivní a pak jedna destruktivní. Proces zkoušení by byl následující:

- Příčné a podélné rozměry (dle ČSN EN 822),
- Tloušťka (dle ČSN EN 823),
- Hmotnost pro stanovení objemové hmotnosti (dle ČSN EN 1602),
- Součinitel tepelné vodivosti – tepelný odpor /metoda měřidla tepelného toku (ČSN EN 12667),
- Pevnost v tahu kolmo k rovině desky (ČSN EN 1607).

Po odzkoušení všech zkoušek by se provedl výběr nejlepší varianty slámy pojené myceliem. Následný postup práce by vedl k vytvoření nových vzorků nejlepší

varianty slaměné desky pojené myceliem dřevokazné houby, obdobným postupem, jakým byly vytvořeny vzorky referenční. Vytvořené vzorky by byly odzkoušeny i na ostatní fyzikálně-mechanické vlastnosti, které jsou následné:

- Příčné a podélné rozměry (dle ČSN EN 822),
- Tloušťka (dle ČSN EN 823),
- Hmotnost pro stanovení objemové hmotnosti (dle ČSN EN 1602),
- Součinitel tepelné vodivosti – tepelný odpor /metoda měřidla tepelného toku (ČSN EN 12667),
- Krátkodobá nasákavost při částečném ponoření (ČSN EN 1609),
- Napětí při 10% deformaci (ČSN EN 826),
- Pevnost v tahu kolmo k rovině desky (ČSN EN 1607).

5.1.7 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ NA SLAMĚNÝCH DESKÁCH

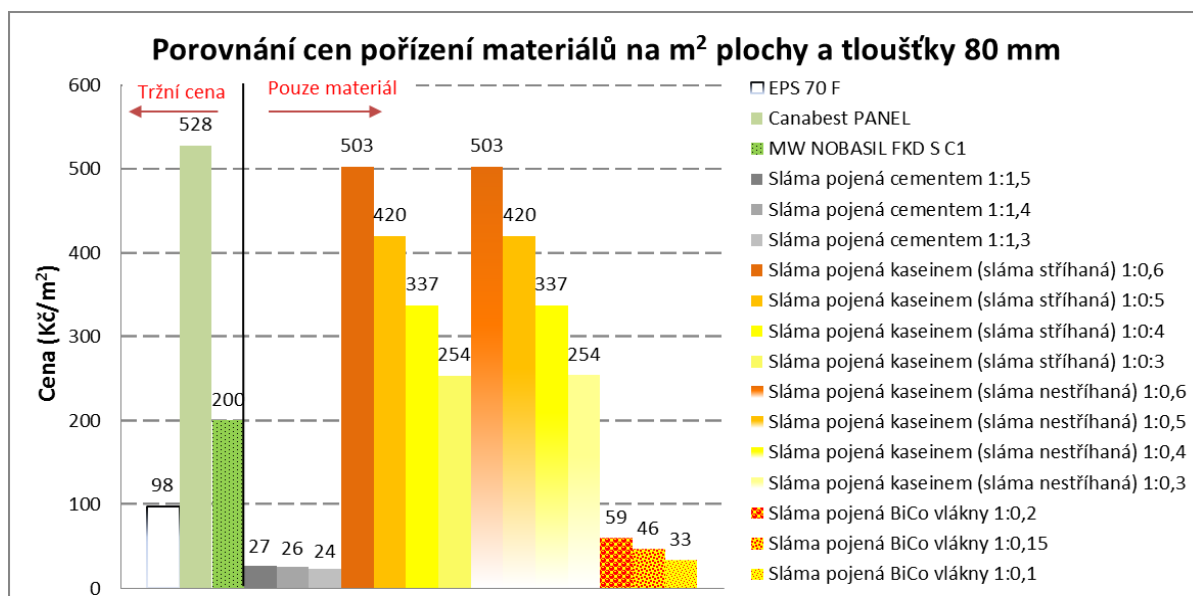
Tabulka 5.10 slouží k porovnání vlastností současně existujících tepelných izolantů se vzorky slámových desek vytvořenými v laboratorním prostředí. Objektivní porovnání cen s existujícími izolanty není v současné době možné, jelikož do cen produktů vytvořených v laboratoři by měly vstupovat i další činitele, např. náklady na strojní vybavení, práci, mzdy a další přímé a nepřímé náklady, které se zahrnují do cen výrobků od výroby až po vstup na trh. Z tohoto důvodu ceny izolantů konopné izolace Canabest PANEL, fasádního polystyrenu EPS 70 F a minerální vlny NOBASIL FKD S C1, nelze plnohodnotně porovnávat s izolanty vytvořenými v laboratorním prostředí a hodnoty jsou tedy jen orientační.

Tab. 5.10: Vlastnosti existujících tepelně-izolačních materiálů [13] [14] [15]

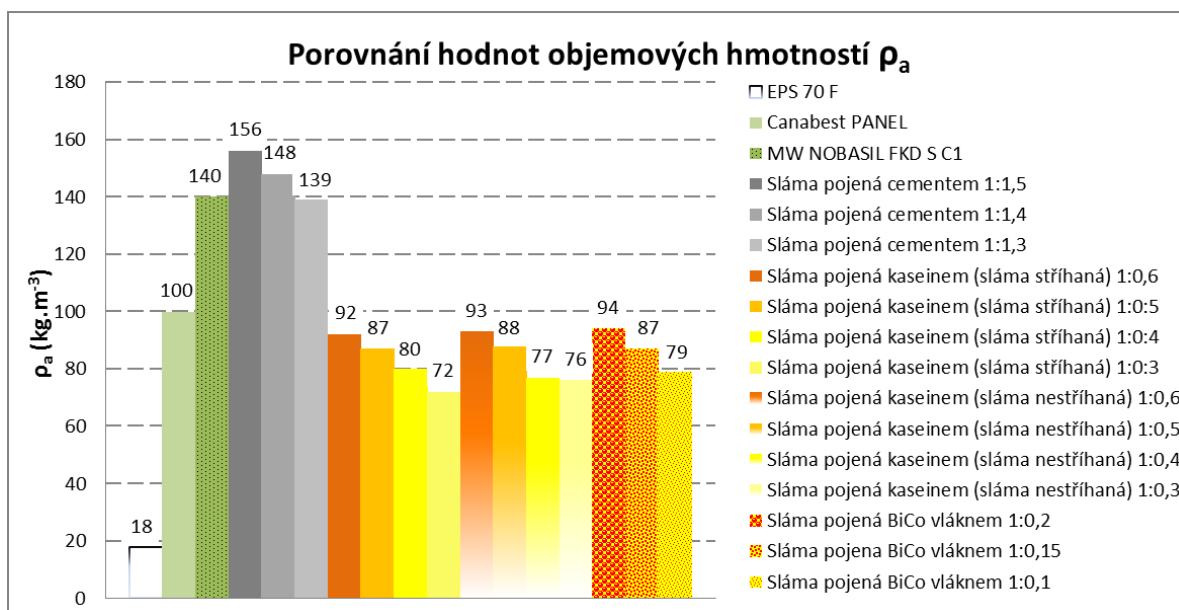
Porovnávací tepelně-izolační materiál	Cena tepelné izolace na m ² tloušťky 80 mm (Kč.m ⁻²)	Objemová hmotnost ρ_a (kg.m ⁻³)	Souč. tep. vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Tepelný odpor R (m ² .K.W ⁻¹)	Napětí při 10% def. σ_{10} (kPa)	Pevnost v tahu σ_{mt} (kPa)	Krátkodobá nasákavost W_p (kg.m ⁻²)
Canabest PANEL	528	100	0,041	1,95	30,4	10	7,67
EPS 70 F	98	18	0,039	2,05	70,0	100	0,4
MW NOBASIL FKD S C1	200	140	0,041	1,95	20,0	10	1,00

U prvního grafu 5.21 porovnávajícího cenu tepelných izolací na m² při tloušťce 80 mm se jako nejlevnější jeví tepelné izolace ze slámy pojené cementem, a to konkrétně s hmotnostním poměrem 1:1,3 (Sláma : Cement). Po nich následují desky ze slámy pojené BiCo vlákny, které jsou sice dražší o 6 až 22 Kč.m⁻² než slaměno-cementové, ale s nepoměrně lepšími fyzikálně mechanickými vlastnostmi.

Graf 5.21: Porovnání cen pořízení materiálu na m² plochy a tloušťky 80 mm

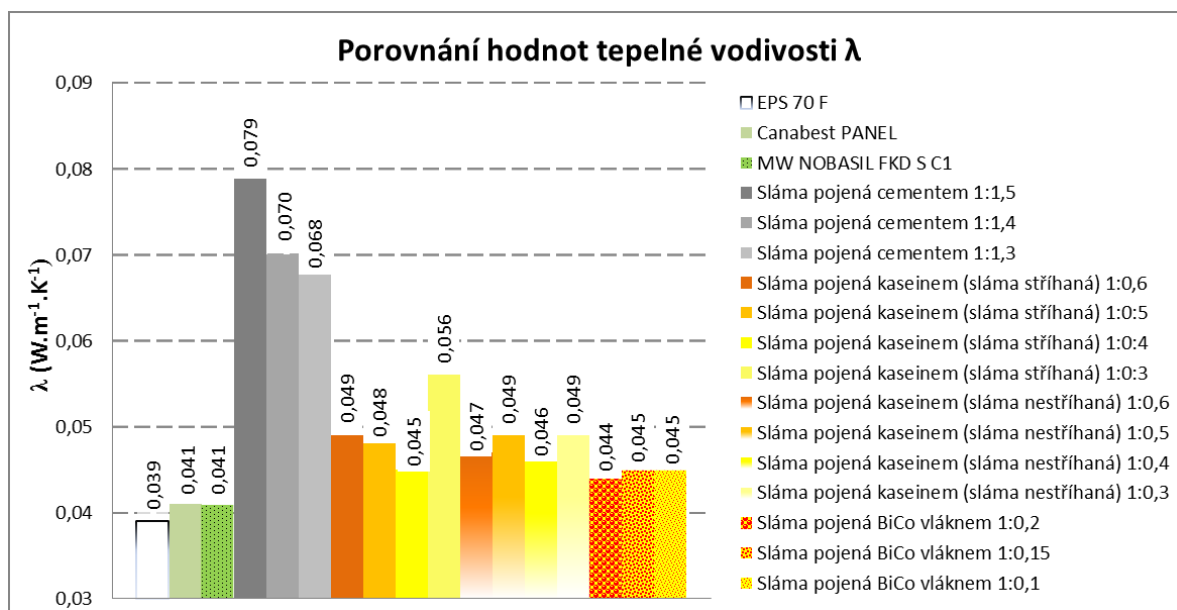


Graf 5.22: Porovnání hodnot objemových hmotností izolantů



Nejvyšší naměřené objemové hmotnosti dosahovaly slaměno-cementové desky s hodnotami od 139 do 156 kg.m⁻³. Nejnížší hodnoty dosahují vzorky izolantu ze stříhané slámy pojené kaseinovým lepidlem poměru 1:0,3 (Sláma : Kasein), a to 72 kg.m⁻³. U tepelně-izolačních desek slaměné izolace pojené BiCo vlákny se hodnoty pohybují v podobných hodnotách jako zkušební vzorky pojené kaseinovým lepidlem, a to od 79 do 94 kg.m⁻³ v závislosti na hmotnostním poměru.

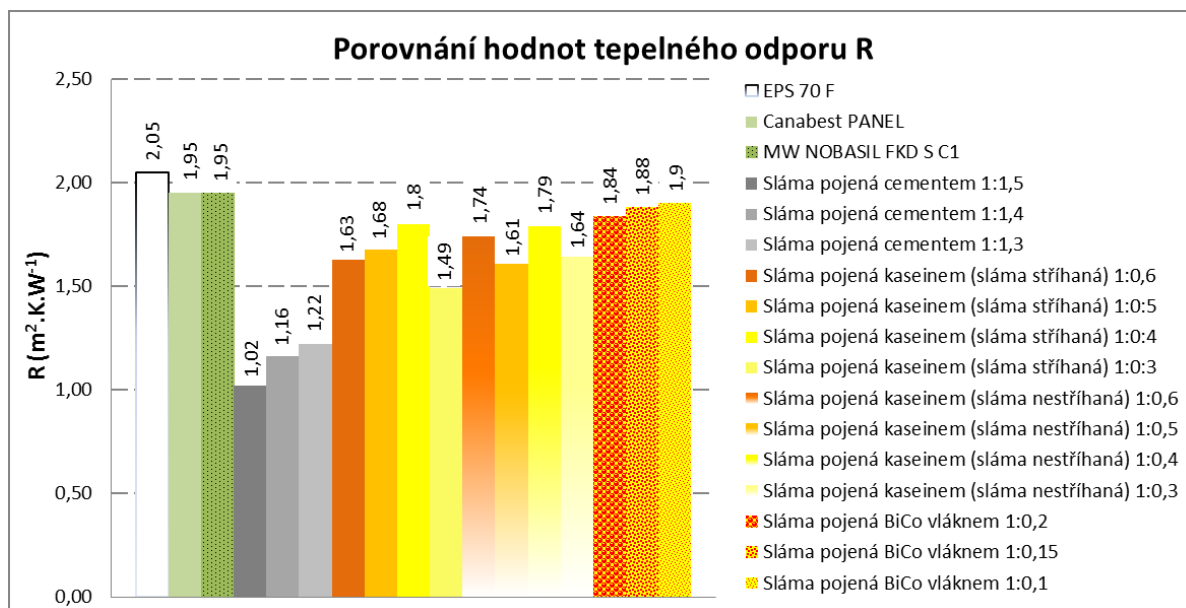
Graf 5.23: Porovnání hodnot součinitelů tepelné vodivosti



Z grafu 5.23 je patrné, že nejvyšší součinitele tepelné vodivosti byly naměřeny u vzorků slaměno-cementových desek, u kterých byly dosahovány hodnoty od 0,068

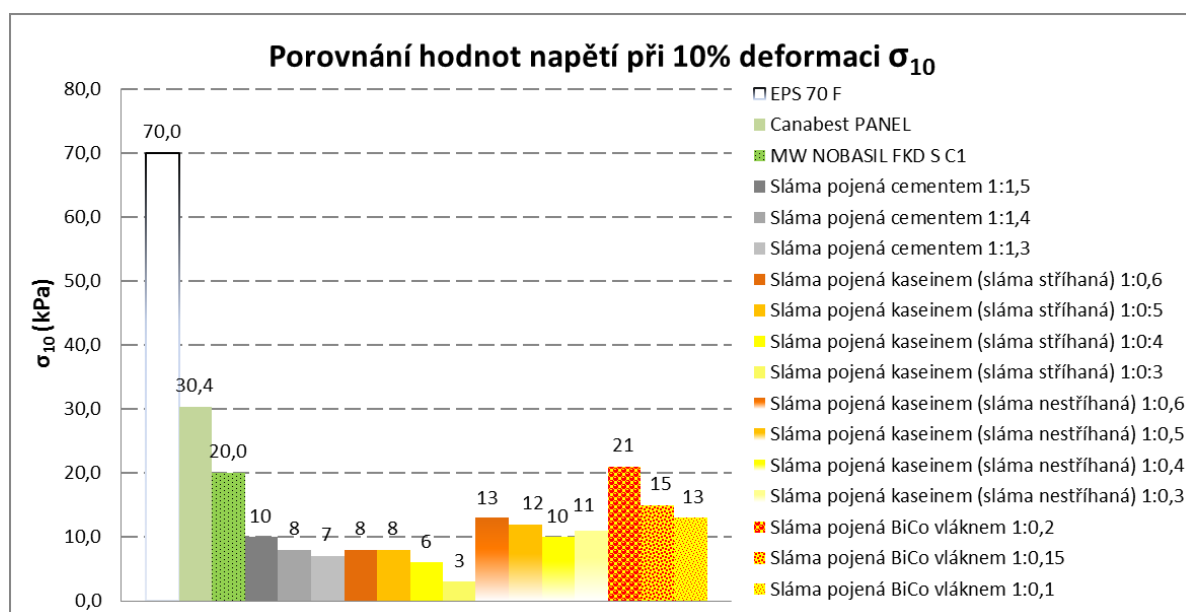
do $0,079 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. U vzorků slaměno-kaseinových vzorků se hodnoty pohybují od $0,045$ do $0,056 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ v závislosti na hmotnostním poměru a délky použitých stébel slámy. Nejlepší dosažené hodnoty vykazovaly vzorky slámy pojené bikomponentními vlákny, u kterých byly hodnoty součinitele tepelné vodivosti téměř vyrovnané ($0,044 - 0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Graf 5.24: Porovnání hodnot tepelných odporů



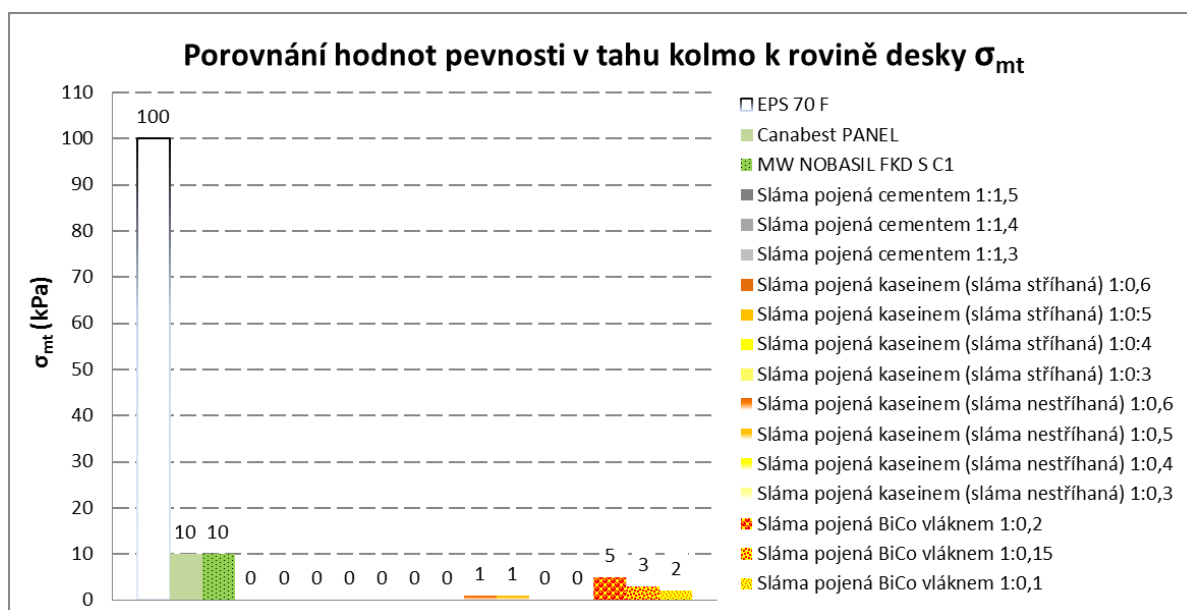
Největší odpor při průchodu tepelného toku byl vypočten u desek slámy pojené BiCo vlákny. Naopak nejmenší odpor byl vypočten u desek slaměno-cementových.

Graf 5.25: Porovnání hodnot napětí při 10% deformaci izolantů



Slaměné desky pojené BiCo vlákny vykazují nejlepší pevnosti v tlaku při 10% deformaci. Nejvyšší hodnota byla dosažena u poměru s 20% obsahem bikomponentních vláken, a tato hodnota činí 21 kPa. V pevnosti při 10% deformaci se tedy slaměno bikomponentní desky vyrovnali porovnávacím hodnotám fasádní minerální vlny NOBASIL. Druhé nejlepší výsledky vykazovali slaměno-kaseinové desky s neupravovanou slámou. Nejmenší pevnosti byly zaznamenány u slaměno-kaseinových vzorků se stříhanou slámou.

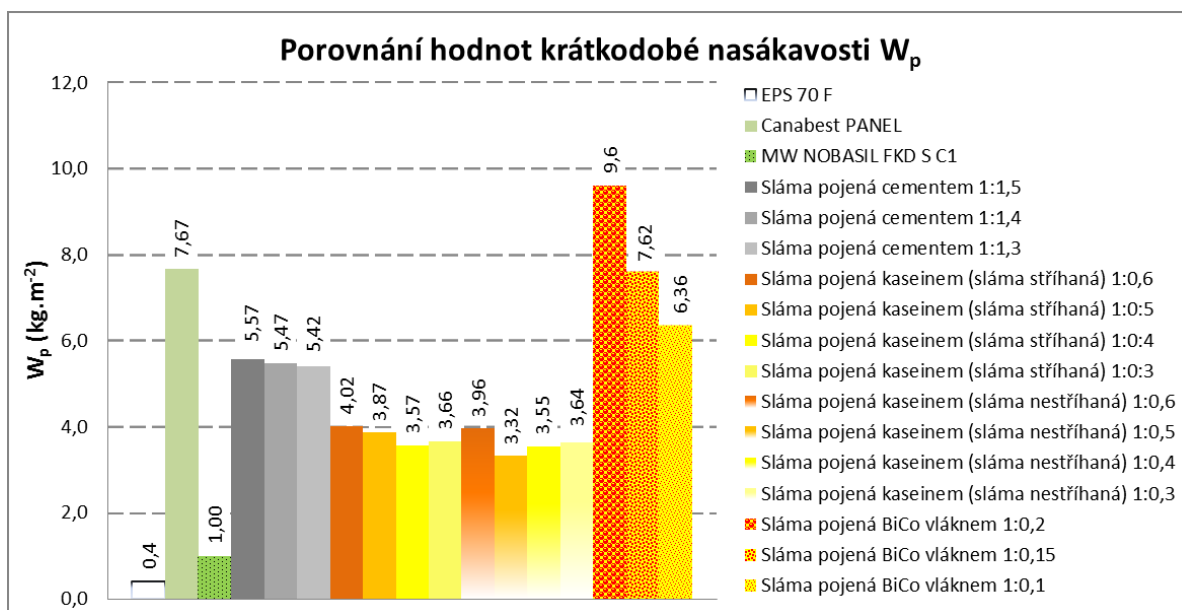
Graf 5.26: Porovnání hodnot pevnosti v tahu kolmo k rovině desky



Jediné zaznamenané pevnosti v tahu kolmo k rovině desky byly u slaměno-bikomponentních desek a u některých poměrů slaměno-kaseinových vzorků s nestříhanou slámou. Nejvyšší pevnost v tahu $\sigma_{mt}=5$ kPa byla dosažena u slaměno-bikomponentních desek a $\sigma_{mt}=1$ kPa u desek slaměno-kaseinových. U slaměno-cementových desek nebyly vykázány žádné pevnosti.

Na základě vzdálenosti mezi stébly ve vzorcích byla ovlivněna distribuce vlhkosti ve formě kapaliny. Téměř dvojnásobné hodnoty krátkodobé nasákavosti oproti slaměným vzorkům s kaseinem a cementem bylo zřejmě dosaženo větším množstvím slámy ve vzorcích. U slámy pojené BiCo vlákny bylo totiž použito o 100 až 120 g slámy na vzorek více při stejné tloušťce, a tím bylo vystaveno účinkům kapalné vlhkosti větší množství svého materiálu. Porovnání hodnot je uvedeno v grafu 5.27.

Graf 5.27: Porovnání hodnot krátkodobé nasákavosti izolantů



Konečný výběr optimálního tepelné-izolačního materiálu ze slámy byl proveden za pomoci optimalizačního výpočtu v následující kapitole.

5.1.8 OPTIMALIZACE VÝBĚRU NOVÉ TEPELNÉ IZOLACE SLAMĚNÉ DESKY

Byl vypracován optimalizační výpočet metodou kvantitativního párového srovnání, zohledňující fyzikálně-mechanické, ekonomické a ekologické kritéria, které ovlivňují výběr vhodné varianty slaměné izolace.

Postup optimalizačního procesu je následující:

- **Stanovení kritérií a výpočet vah**

Pro optimalizační výpočet byly stanoveny kritéria uvedené v tabulce 5.11 a výpočet vah byl proveden metodou kvantitativního párového srovnání (Saatyho matice - tabulka 5.12).

Při vytváření párových srovnání $S=(s_{ij})$; $i,j=1,2,\dots,n$ se použila stupnice 1,2,3,...9 a převrácené hodnoty. Prvky matice s_{ij} byly interpretovány jako odhady podílu vah i -tého a j -tého kritéria.

$$s_{ij} \approx \frac{f_i}{f_j} \quad s_{ii} = 1; \quad s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}} \quad i, j = 1, 2, 3 \dots 9$$

Odpovídající vhodná verbální stupnice:

- 1 – rovnocenná kritéria i a j ,
- 3 – slabě preferované kritérium i před j ,
- 5 – silně preferované kritérium i před j ,
- 7 – velmi silně preferované kritérium i před j ,
- 9 – absolutně preferované kritérium i před j .

Hodnoty 2, 4, 6, 8 vyjadřují mezistupně. [16]

Váhu kritérií pak vypočteme následně:

$$S_i = \prod_{j=1}^n s_{ij}; \quad R_i = (S_i)^{\frac{1}{n}}; \quad F_i = \frac{R_i}{\sum R_i}$$

Tab. 5.11: Stanovení kritérií na tepelnou izolaci, jejich hodnocení a optimum

Č.	Kritérium	Váhy	Hodnocení		Optimum	Jednotky
1	Součinitel tepelné vodivosti	0,229	-		MIN	$W \cdot m^{-1} K^{-1}$
2	Tepelný odpor	0,222	-		MAX	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
3	Pevnost v tahu kolmo k rovině desky	0,146	-		MAX	kPa
4	Cena	0,132	-		MIN	Kč.m ⁻²
5	Krátkodobá nasákavost	0,118	-		MIN	kg.m ⁻²
6	Napětí při 10% deformaci	0,068	-		MAX	kPa
7	Objemová hmotnost	0,047	-		MAX	kg.m ⁻³
8	Biologická obdouratelnost	0,038	Částečná	Úplná	MAX	-
			1	2		

Tab. 5.12: Saatyho matice – vypočtení vah kritérií

$\begin{matrix} \rightarrow j \\ \downarrow i \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	S_i	R_i	F_i
1	1	1	3	2	2	4	5	5	1200	2,198524	0,229
2	1	1	2	2	3	3	5	5	900	2,12936	0,222
3	1/3	1/2	1	1	2	4	5	3	20	1,394951	0,146
4	1/2	1/2	1	1	2	2	4	2	8	1,259921	0,132
5	1/2	1/3	1/2	1/2	1	3	4	6	3	1,129831	0,118
6	1/4	1/3	1/4	1/2	1/3	1	2	3	0,020833	0,650422	0,068
7	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/2	1	3	0,00075	0,449557	0,047
8	1/5	1/5	1/3	1/2	1/6	1/3	1/3	1	0,000123	0,367895	0,038
Suma Σ										9,580461	1

Z výsledku výpočtu vah zobrazeného v tabulce 5.11 a 5.12 je patrné, že nejvyšší váhu měl součinitel tepelné vodivosti. Za ním následoval tepelný odpor, pevnost v tahu kolmo k rovině desky, cena na m^2 , krátkodobá nasákavost, napětí při 10% deformaci, objemová hmotnost a biologická odbouratelnost.

- **Sestavení rozhodovací matice**

Rozhodovací matice byla sestavena tak, že do ní byly vloženy číselné hodnoty fyzikálně-mechanických vlastností, ekonomických a ekologických kritérií všech vzorků. Každé kritérium je označeno MAX nebo MIN podle toho, jaká hodnota je žádoucí (viz tabulka 5.13).

Tab. 5.13: Rozhodovací matice optimální izolace ze slámy

Č.	Vzorek	Kritérium								
			1	2	3	4	5	6	7	8
		Optimum	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX
1	Sláma pojená cementem 1 : 1,5 : 1,6		0,079	1,02	0	26,9	5,57	10,0	156,0	1
2	Sláma pojená cementem 1 : 1,4 : 1,6		0,070	1,16	0	25,5	5,47	8,0	148,0	1
3	Sláma pojená cementem 1 : 1,3 : 1,6		0,068	1,22	0	24,1	5,42	7,0	139,0	1
4	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,6 : 0,6 (stř.)		0,049	1,63	0	503,1	4,02	8,0	92,0	2
5	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,5 : 0,5 (stř.)		0,048	1,68	0	420,1	3,87	8,0	87,0	2
6	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,4 : 0,4 (stř.)		0,045	1,80	0	337,1	3,57	6,0	80,0	2
7	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,3 : 0,5 (stř.)		0,056	1,49	0	254,1	3,66	3,0	72,0	2
8	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,6 : 0,6 (nestř.)		0,047	1,74	1	503,1	3,96	13,0	93,0	2
9	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,5 : 0,5 (nestř.)		0,049	1,61	1	420,1	3,32	12,0	88,0	2
10	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,4 : 0,4 (nestř.)		0,046	1,79	0	337,1	3,55	10,0	77,0	2
11	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,3 : 0,5 (nestř.)		0,049	1,64	0	254,1	3,64	11,0	76,0	2
12	Sláma pojená BiCo vlákny 1 : 0,2		0,044	1,84	5	59,4	9,60	21,0	94,0	1
13	Sláma pojená BiCo vlákny 1 : 0,15		0,045	1,88	3	46,1	7,62	15,0	87,0	1
14	Sláma pojená BiCo vlákny 1 : 0,1		0,045	1,90	2	32,9	6,36	13,0	79,0	1
MIN			0,044	1,02	0	24,1	3,32	3,0	72,0	1
MAX			0,079	1,90	5	503,1	9,60	21,0	156,0	2

- **Sestavení výpočtové matice**

Vypočtené hodnoty výpočtové matice byly stanoveny ze součinu hodnot vah (F_i) jednotlivých kritérií a transformovaných hodnot z rozhodovací matice (t_{ij}) podle vztahu:

$$m_{ij} = F_i \cdot t_{ij}$$

Pokud požadavek na kritérium byl dán minimální hodnotou (optimum = min), potom hodnota t_{ij} byla dána vztahem:

$$t_{ij} = \frac{(\max a_{ij}) - a_{ij}}{(\max a_{ij}) - (\min a_{ij})}$$

Pokud požadavek na kritérium byl dán maximální hodnotou (optimum = max), potom hodnota t_{ij} byla dána vztahem:

$$t_{ij} = \frac{a_{ij} - (\min a_{ij})}{(\max a_{ij}) - (\min a_{ij})}$$

Tab. 5.14: Výpočtová matice výběru optimální izolace ze slámy

Č.	Vzorek	Kritérium								Σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	Optimum	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	
1	Sláma pojená cementem 1 : 1,5 : 1,6	0,000	0,000	0,000	0,138	0,071	0,032	0,083	0,000	32,5
2	Sláma pojená cementem 1 : 1,4 : 1,6	0,053	0,033	0,000	0,139	0,073	0,023	0,075	0,000	39,6
3	Sláma pojená cementem 1 : 1,3 : 1,6	0,065	0,047	0,000	0,139	0,074	0,018	0,066	0,000	41,0
4	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,6 : 0,6 (stř.)	0,178	0,144	0,000	0,000	0,099	0,023	0,020	0,028	49,2
5	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,5 : 0,5 (stř.)	0,184	0,156	0,000	0,024	0,101	0,023	0,015	0,028	53,1
6	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,4 : 0,4 (stř.)	0,202	0,184	0,000	0,048	0,107	0,014	0,008	0,028	59,1
7	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,3 : 0,5 (stř.)	0,137	0,111	0,000	0,072	0,105	0,000	0,000	0,028	45,3
8	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,6 : 0,6 (nestř.)	0,190	0,170	0,033	0,000	0,100	0,046	0,021	0,028	58,8
9	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,5 : 0,5 (nestř.)	0,178	0,139	0,033	0,024	0,111	0,042	0,016	0,028	57,2
10	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,4 : 0,4 (nestř.)	0,196	0,182	0,000	0,048	0,107	0,032	0,005	0,028	59,8
11	Sláma pojená kaseinem 1 : 0,3 : 0,5 (nestř.)	0,178	0,147	0,000	0,072	0,105	0,037	0,004	0,028	57,1
12	Sláma pojená BiCo vlákný 1 : 0,2	0,208	0,194	0,167	0,129	0,000	0,083	0,022	0,000	80,2
13	Sláma pojená BiCo vlákný 1 : 0,15	0,202	0,203	0,100	0,133	0,035	0,055	0,015	0,000	74,3
14	Sláma pojená BiCo vlákný 1 : 0,1	0,202	0,208	0,067	0,136	0,057	0,046	0,007	0,000	72,4

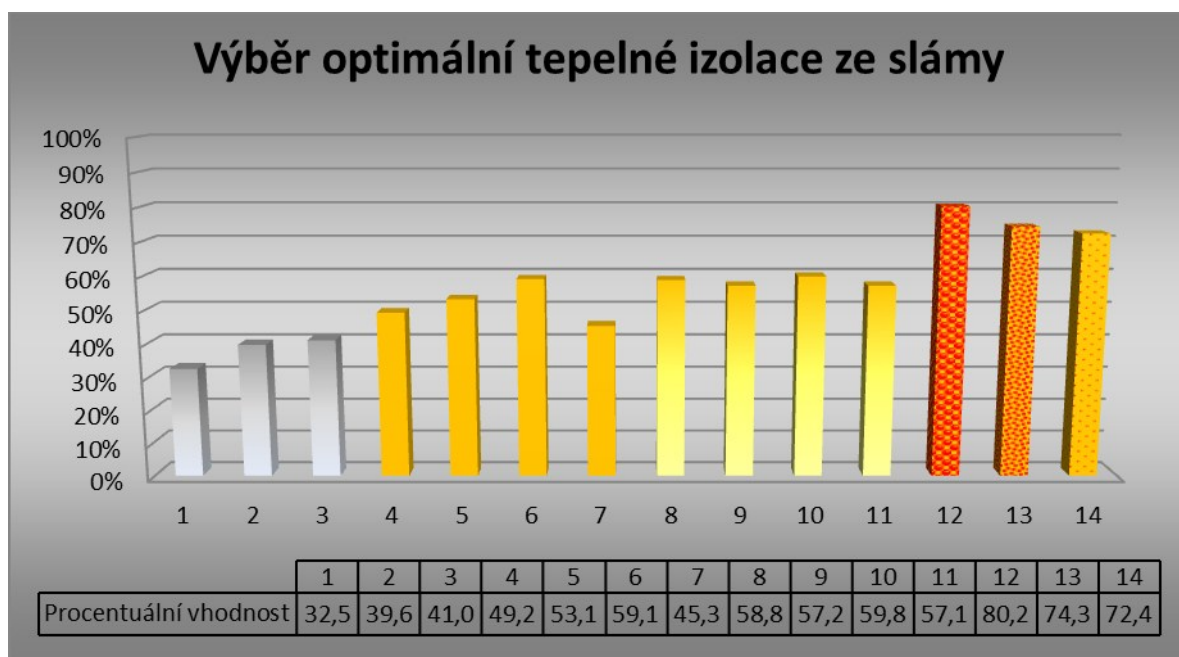
- **Vyhodnocení optimální varianty**

Vyhodnocení bylo provedené jako součet všech hodnot jednotlivých variant slaměné izolace, vypočtené z výpočtové matice podle vztahu:

$$\sum_{j=1}^n m_j \cdot 100$$

Následně byla vybrána nejlepší varianta tepelné izolace ze slámy z grafu 5.28.

Graf 5.28: Vyhodnocení optimální varianty tepelné izolace ze slámy



Z grafu je možno určit, že optimální variantou slaměných tepelně-izolačních desek je sláma pojená bikomponentními vlákny, a to konkrétně s 20% obsahem BiCo vláken. Tento poměr vykazoval nejlepší hodnoty součinitele tepelné vodivosti, pevnosti v tahu kolmo k rovině desky a napětí při 10% deformaci a celkově jeho procentuální vhodnost dosahovala cca 80 %. Pro tento tepelně-izolační materiál bude v další části DP navrhována vhodná povrchová úprava.

5.1.9 DISKUZE A SHRUTÍ VÝSLEDKŮ VÝBĚRU NOVÉHO IZOLANTU**Z ALTERNATIVNÍCH SUROVINOVÝCH ZDROJŮ**

K vytvoření optimálního tepelného izolantu z alternativních zdrojů byla použita sláma, jakožto primární materiál nesoucí hlavní vlastnosti, který byl vybrán v předchozí bakalářské práci na základě optimalizačního výpočtu. K tomuto materiálu byly vybírány pojiva na základě teoretického výběru z katalogu odpadů MŽP (ze zákona o odpadech č. 185/2001 Sb.) a seznamu známých pojících látek. K pojení slámy byly vybrány tyto materiály: cement, kaseinové lepidlo, bikomponentní vlákna a mycelium dřevokazné houby.

Pokus o vytvoření vzorků slámy pojené myceliem dřevokazné houby byl proveden na čtyřech typech hub. Jednalo se o tyto konkrétní druhy dřevokazných hub: Troudnatec pásovaný, Lesklokorka pryskyřičnatá, Outkovka chlupatá a Outkovka hrbatá. U tohoto pokusu bylo nejprve potřebné stanovit vhodnou metodu sterilizace slámy z hlediska prodlevy biologického napadení slámy plísněmi. Z hlediska účinnosti sterilizace se jevila jako nejlepší metoda sterilizace s využitím mokré slámy pomocí externího mikrovlnného zdroje. Od každého druhu dřevokazných hub byl vytvářen pouze jeden referenční vzorek za účelem stanovení rychlosti prorůstání jednotlivých hub. Při kontinuálním pozorování se zjistilo, že iniciační proces prorůstání začal kolem 7 dne od inokulace a k desátému dni byl proces prorůstání nejrychlejší. K 14 dni od inokulace byl patrný proces pozastavení růstu a degradace slámy. Z hlediska tvorby mycelia nebyl proces optimální. Namísto pevného a hustého mycelia se vytvářely pouze jemné vlásečnice, které nedokázaly zpevnit strukturu slaměných stébel.

Příčina neúspěchu tkví pravděpodobně v synergickém účinku několika potenciálních technologických chyb. Jedná se zejména o použití velkého množství vody jak při sterilizaci, tak vody obsažené v inokulačním médiu, dále pak nedostatečný přísun vzduchu, velké částice prorůstaného materiálu (stébla) a nízká sterilita prostředí laboratoře.

Z dlouhodobého hlediska lze konstatovat, že výroba tohoto druhu tepelně-izolačního materiálu má svůj potenciál do budoucnosti pouze v případě, že bude předmětem dalších výzkumů.

Při vytváření slaměné izolace s použitím ostatních pojících materiálů byla z ekonomického hlediska snaha o snižování dávky pojiva při zachování fyzikálně-mechanických vlastností. Zkoušky na tepelných izolantech vytvořených v laboratorním prostředí byly prováděny na vzorcích o rozměrech 300x300x80 mm.

Dle propočtů bylo zjištěno, že nejnižší cena pořízení materiálu na plochu 1 m² při tloušťce 80 mm vychází u slaměno-cementových desek. U tohoto izolantu se v závislosti na poměru cena pohybovala od 24 do 27 Kč.m⁻², u slaměno-bikomponentních desek od 33 do 59 Kč.m⁻² a u slaměno-kaseinových desek od 254 do 503 Kč.m⁻².

Nejvyšší naměřené objemové hmotnosti dosahovaly slaměno-cementové desky s hodnotami od 139 do 156 kg.m⁻³. Desky slaměno-kaseinové i slaměno-bikomponentní dosahovaly objemové hmotnosti od cca 70 do 95 kg.m⁻³.

Z hlediska tepelných vlastností nejlépe obstály vzorky slaměno-bikomponentních desek, u kterých byly hodnoty součinitele tepelné vodivosti téměř vyrovnané ($\lambda=0,044 - 0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) a tepelného odporu $R=1,84 - 1,9 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$.

Slaměno-bikomponentní desky rovněž vykazovaly nejlepší odolnost vůči mechanickému namáhání. U zkoušky napětí při 10% deformaci dosahovali vzorky s nejvyšší dávkou BiCo vláken (20 % hmotnostních) 21 kPa a pevnost v tahu kolmo k rovině desky 5 kPa. Předpokládá se, že ve skutečném provozu s využitím mechanického homogenizátoru by se mechanická odolnost mohla ještě výrazně zlepšit. Naopak u slaměno-cementových desek docházelo při zkoušce v tahu kolmo k rovině desky k tomu, že se oddělovaly již při zatížení vlastní vahou.

Poslední zkouškou na tepelných izolantech byla krátkodobá nasákavost při částečném ponoření, ve které obstály nejlépe slaměno-kaseinové desky s nasákavostí od cca 3,3 do 4 kg.m⁻². Nejvyšší nasákavost vykazovaly slaměno-bikomponentní desky s hodnotami od cca 6,3 do 9,6 kg.m⁻².

K výběru nejlepší varianty slaměného izolantu byl sestaven optimalizační výpočet, který obsahoval kriteria zahrnující výsledky fyzikálně-mechanických zkoušek a dále ekonomické a ekologické hledisko. Z tohoto optimalizačního výpočtu byla jako nejvhodnější varianta vybrána slaměno-bikomponentní deska s nejvyšším 20% obsahem BiCo vláken, která splňovala stanovené kriteria na cca 80 %. Na tento izolační materiál se následně nanášela vhodná povrchová úprava.

5.2 NÁVRH VHODNÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Tato část DP pojednává o výběru varianty vhodné povrchové úpravy resp. základní vrstvy na tepelný izolant, který se z optimalizačního výpočtu jevil jako nejlepší. Z nařízení ETAG 004 musí mít zateplovací systém ETICS alespoň jednu vrstvu povrchové úpravy vyztuženou výztužnou síťovinou. Důvodem použití pouze základní vrstvy v této DP a ne celého souvrství povrchové úpravy je zdůvodněno tím, že stěrková vrstva je plně v kontaktu s novým izolantem ze slámy. Tímto přímým kontaktem přebírá totiž některé důležité vlastnosti celého souvrství povrchové úpravy jako je např. přídržnost.

5.2.1 VÝBĚR JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ ZÁKLADNÍ VRSTVY

Výběr materiálů základní vrstvy (stěrková vrstva + výztužná síťovina) vycházel z předpokladu, že nový zateplovací systém ETICS z alternativních surovinových zdrojů by měl být zároveň nejen ekonomicky výhodný, ale také z ekologického hlediska nezávadný. V současné době se v systému ETICS výhradně využívají stěrkové vrstvy na bázi cementu spolu se skelnou výztužnou síťovinou, zvanou také jako „perlinka“. Na tuto základní vrstvu se pak nanášejí penetrační nátěry a finální povrchové úpravy různých materiálů uvedeny v kapitole 4.1.8.1.

K udržení přírodního charakteru slaměné izolace byl přizpůsoben i výběr stěrkové vrstvy. Do úvahy byly brány 2 varianty materiálů, které se do současnosti ve stavebnictví v přítomnosti slámy využívaly. Jedná se konkrétně o stěrku na bázi hlíny a vápna. Nicméně průmyslově vyráběný vápenný omítkový materiál není možné použít pro tenké vrstvy omítky pod 10 mm. Proto při návrhu stěrkové vrstvy pro zateplovací systém již nebyla uvažována. Jako referenční stěrková směs byla použita klasická minerální stěrka. Z hlediska kompatibility použitých stěrkových hmot se jedná o tradiční materiály, které by neměly ve spojení se slámou vykazovat nepříznivé vlastnosti.

Dále byly použity 2 varianty výztužných prvků stěrkových směsí. Konkrétně se jednalo o jutovou tkaninu a skleněnou síťovinu. Materiálové charakteristiky jsou popsány v následující kapitole.

5.2.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH SUROVIN ZÁKLADNÍ VRSTVY POVRCHOVÉ

ÚPRAVY

5.2.2.1 MINERÁLNÍ STĚRKOVÁ HMOTA

K vytvoření stěrkové vrstvy na tepelném izolantu ze slámy pojené BiCo vlákny byla použita univerzální stěrková hmota na zateplovací systémy, společnosti STAVOLINE®. Jedná se o produkt suché maltové směsi s názvem FASKO pytlovaný v 25kg pytli, určený k lepení a stěrkování izolačních desek z EPS i MW v ETICS. Stěrková hmota FASKO je složena z cementu, tříděného písku, tříděný vápence a chemické přísady.

Tab. 5.15: Údaje o vlastnostech minerální stěrky FASKO [17]

Údaj	Hodnota	Jednotka
Cena	7,44	Kč.kg ⁻¹
Zrnitost	0 - 0,063	mm
Minimální tloušťka	4	mm
Spotřeba	4 - 4,5	kg.m ⁻² /4 mm
Spotřeba vody	0,27	l.kg ⁻¹
Pevnost v tlaku	4	N.mm ⁻²
Součinitel tepelné vodivosti	0,35*	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Faktor difúzního odporu	<35	-
Barva	šedá	-

[*] – měřeno v laboratoři dle ČSN EN ISO 8894-1 – Metoda topného drátu



Obr. 5.35: Minerální stěrka Stavoline FASKO

5.2.2.2 HLINĚNÁ STĚRKOVÁ HMOTA

V této DP byla dále použita suchá omítková směs hliněné stěrky společnosti Claygar. Z důvodu, že vnější hliněné omítky se v současné době takřka nepoužívají, byla použita vnitřní jádrová omítka s označením HH 04 – bez konopného pazdeří dodanou v 30kg pytlí. Hliněná stěrka obsahuje pouze hlínu a přírodní písky, bez dalších přísad. Tato hliněná stěrková hmota, je vhodná jak pro ruční, tak pro strojní nanášení. Další vlastnosti této stěrky jsou uvedeny v tabulce 5.16.

Tab. 5.16: Údaje o vlastnostech hliněné stěrky Claygar HH 04 [18]

Údaj	Hodnota	Jednotka
Cena	5,3	Kč.kg ⁻¹
Zrnitost	0 - 4	mm
Minimální tloušťka	4	mm
Spotřeba	6	kg.m ⁻² /4 mm
Spotřeba vody	0,2 - 0,27	l.kg ⁻¹
Pevnost v tlaku	1	N.mm ⁻²
Součinitel tepelné vodivosti	0,76	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Faktor difúzního odporu	<10	-
Barva	hnědá	-



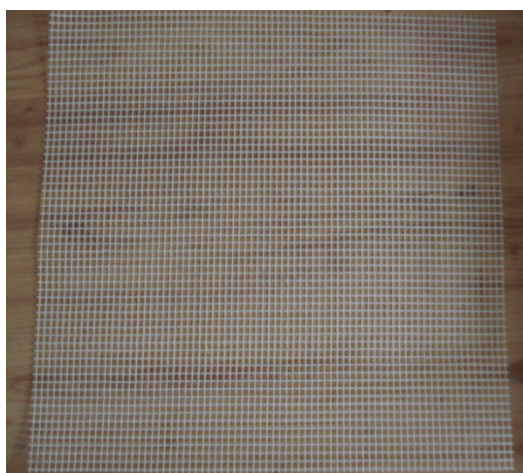
Obr. 5.36: Hliněná stěrka Claygar HH 04

5.2.2.3 SKLENĚNÁ VÝZTUŽNÁ SÍŤOVINA

Skleněnou perlunku s označením Vertex R 117 použitou v diplomové práci byla vyrobena společností Likov. Její vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 5.17.

Tab. 5.17: Vlastnosti skleněné perlunky Vertex 117 R

Údaj	Hodnota	Jednotka
Cena	22,8	Kč.m ⁻²
Plošná hmotnost	158	g.m ⁻²
Šířka vlákna ve směru osnovy	1	mm
Šířka vlákna ve směru útku	0,5	mm
Velikost ok ve směru osnovy	4,5	mm
Velikost ok ve směru útku	3,5	mm
Barva	bílá	-



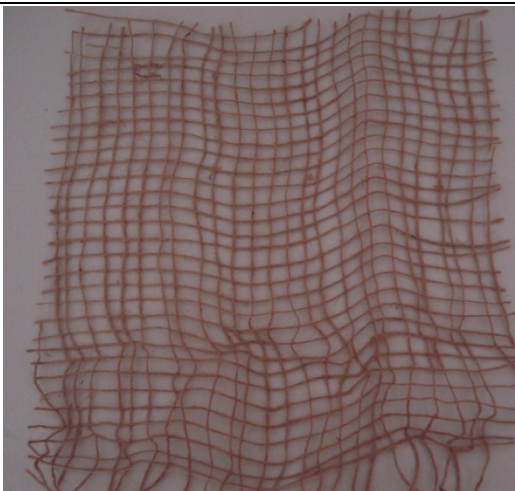
Obr. 5.37: Ukázka skleněné perlunky Vertex R 117

5.2.2.4 JUTOVÁ PERLINKA

Jutová perlinka byla vyrobena společností Plasty Morava a dodána společností Claygar. Jedná se o čistě přírodní vlákna juty, které jsou plně rozložitelná a biologicky nezávadná. Údaje o vlastnostech jsou uvedeny v tabulce 5.18.

Tab. 5.18: Vlastnosti jutové perlunky společnosti Plasty Morava

Údaj	Hodnota	Jednotka
Cena	23	Kč.m ⁻²
Plošná hmotnost	126	g.m ⁻²
Tloušťka vlákna	1	mm
Velikost ok ve směru osnovy	12 - 15	mm
Velikost ok ve směru útku	12 - 15	mm
Barva	hnědá	-



Obr. 5.38: Jutová perlinka společnosti Plasty Morava

5.2.3 ZKOUŠKY PROVÁDĚNÉ NA ZÁKLADNÍCH VRSTVÁCH

Z důvodu nedostatečného vybavení laboratoří Fakulty stavební, VUT v Brně k provedení průkazných zkoušek na základních vrstvách ETICS dle ETAG 004 byly provedené pouze následující zkoušky:

- Stanovení tepelné vodivosti/tepelného odporu metodou topného drátu (dle ČSN EN ISO 8894-1)
- Stanovení přídržnosti základní vrstvy k tepelně izolačnímu materiálu (dle ČSN EN 13494)
- Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy (dle ČSN 73 2578)

5.2.4 VYTVOŘENÍ ZÁKLADNÍCH VRSTEV NA TEPELNOU IZOLACI

Vytvoření základních vrstev na tepelný izolant ze slámy pojené BiCo vlákny bylo prováděno dle pokynů uvedených v technických listech jednotlivých stěrkových materiálů. Byly vytvořeny 3 varianty vzorků, které jsou následující:

1. Minerální stěrka + skleněná perlina
2. Hliněná stěrka + skleněná perlina
3. Hliněná stěrka + jutová perlina

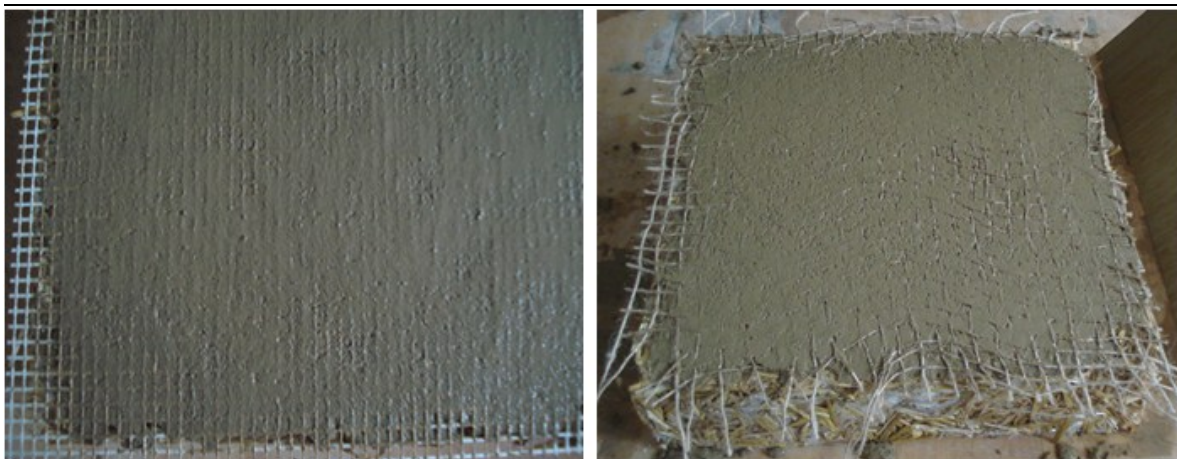
Nejdříve se smíchala suchá omítková směs s vodou za vytvoření plastické hmoty. U minerální stěrkové hmoty se použila dávka $0,27 \text{ l.kg}^{-1}$, u hliněné stěrky byla použita nejmenší dávka vody rovna $0,2 \text{ l.kg}^{-1}$. Nicméně i nejnižší dávka vody u hliněné stěrky způsobila to, že se zdála být řídká a tak sklouzávala z nanášecí lžice. Následně se nanasla první vrstva stěrkových hmot, která se upravila zubovým hladítkem se zuby o délce 4 mm (viz obrázek 5.39).



Obr. 5.39: Nanášení první vrstvy stěrky a úprava zubovým hladítkem

Minerální stěrka – vlevo, hliněná stěrka – vpravo

Na takto upravenou první vrstvu se položila výztužná síťovina ze skelné a jutové perlínky. Ta se pak vtlačila do první vrstvy hladítkem s rovnou hranou pod malým úhlem. U hliněné stěrky se projevil rozdíl mezi skleněnou a jutovou perlínkou v tom, že jutová perlinka dokázala pojmout určité množství vody z hmoty stěrky a tak se pravděpodobně lépe naváže na strukturu hlíny při tvrdnutí (viz obrázek 5.40 – vpravo). Na skleněné perlince se naopak objevila na povrchu vrstvička s vyšším obsahem vody a převážně menšími částicemi hlíny a písku (viz obrázek 5.40 – vlevo).



Obr. 5.40: Rozdíl v povrchu po nanesení první vrstvy hliněné stěrky a výztužné síťoviny

Hlína + skleněná perlinka – vlevo, hlína + jutová perlinka – vpravo

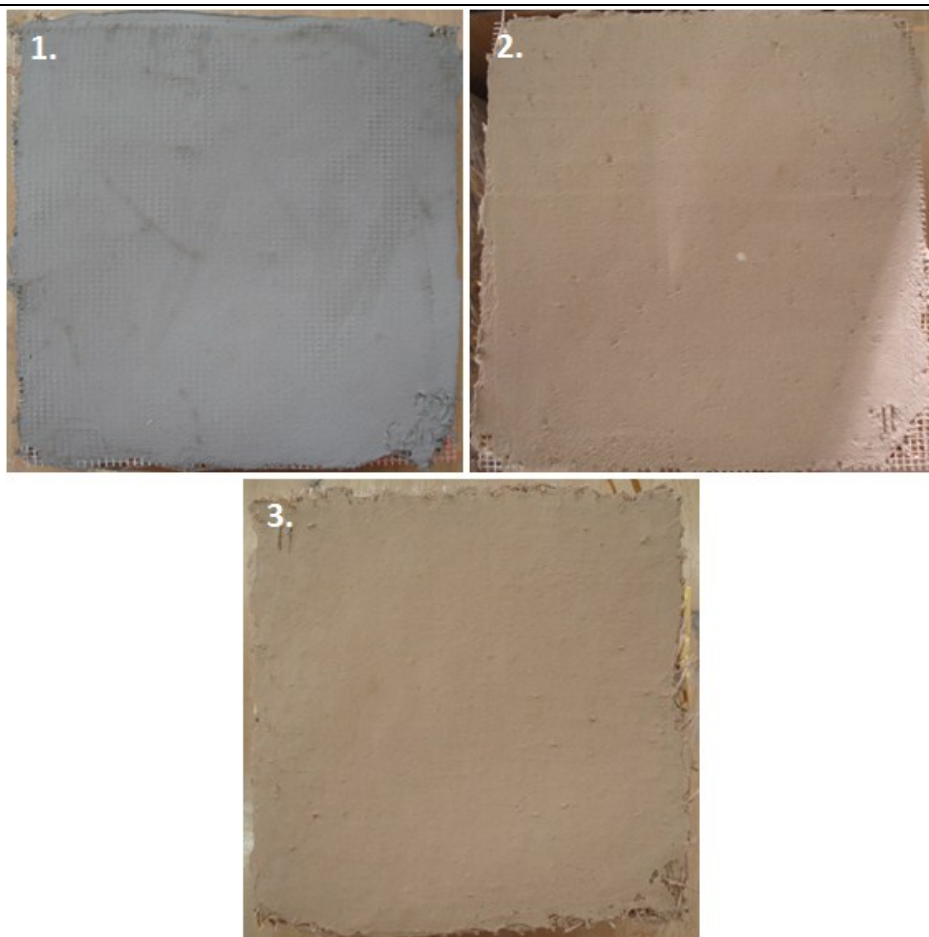
Po vložení perlinky se nanasla další tenká vrstva tlustá přibližně 1-2 mm, k urovnění povrchu stěrky a vytvoření krytí výztuže. Po nanesení této krycí vrstvy se minerální stěrka nechala vytvrdnout po dobu 28 dní. U hliněné stěrky je doba vytvrzení závislá pouze na době odpaření vlhkosti z plastické hmoty. Tato doba odpařování činila přibližně 3-4 dni. Nicméně první charakteristické zkoušky hliněné stěrky byly provedeny po přibližně 14 dnech.

5.2.5 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI ZÁKLADNÍCH VRSTEV

Po vytvrzení všech variant základních vrstev nebyly zpozorovány žádné povrchové vady na stěrkách. Všechny smršťovací síly byly zadrženy výztužnými síťovinami. Záběry vyhotovených základních vrstev jsou uvedeny na obrázku 5.40. Výsledky zkoušek provedených na základních vrstvách jsou uvedeny v tabulce 5.19.

Tab. 5.19: Výsledky měření základních vrstev na tepelném izolantu

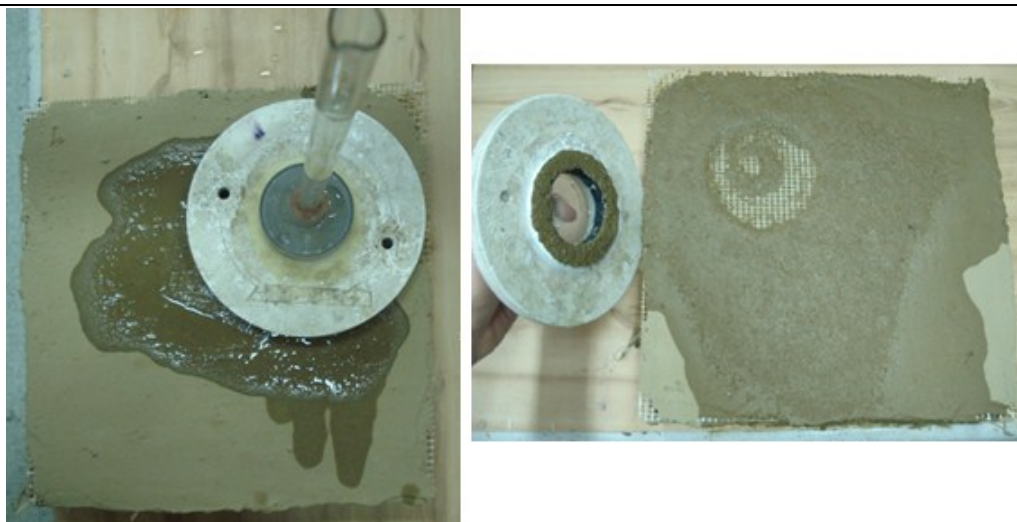
Č.	Materiál základní vrstvy	Cena pořízení materiálů na m ² tloušťky 4 mm (Kč.m ⁻²)	Souč. tep. vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Tepelný odpor R (m ² .K.W ⁻¹)	Přidrženost zákl. vrstvy σ (kPa)	Vodotěsnost zákl. vrstvy V ₃₀ (l.m ⁻²)
1	Minerální stěrka + skleněná perlinka	56,3	0,352	0,011	4,6	0,60
2	Hliněná stěrka + skleněná perlinka	54,6	0,732	0,005	3,5	-
3	Hliněná stěrka + jutová perlinka	54,8	0,714	0,006	3,7	-



Obr. 5.41: Ukázky vytvrzených základních vrstev

1 – Minerální, 2 – Hliněná + skleněná perlinka, 3 – Hliněná + jutová perlinka

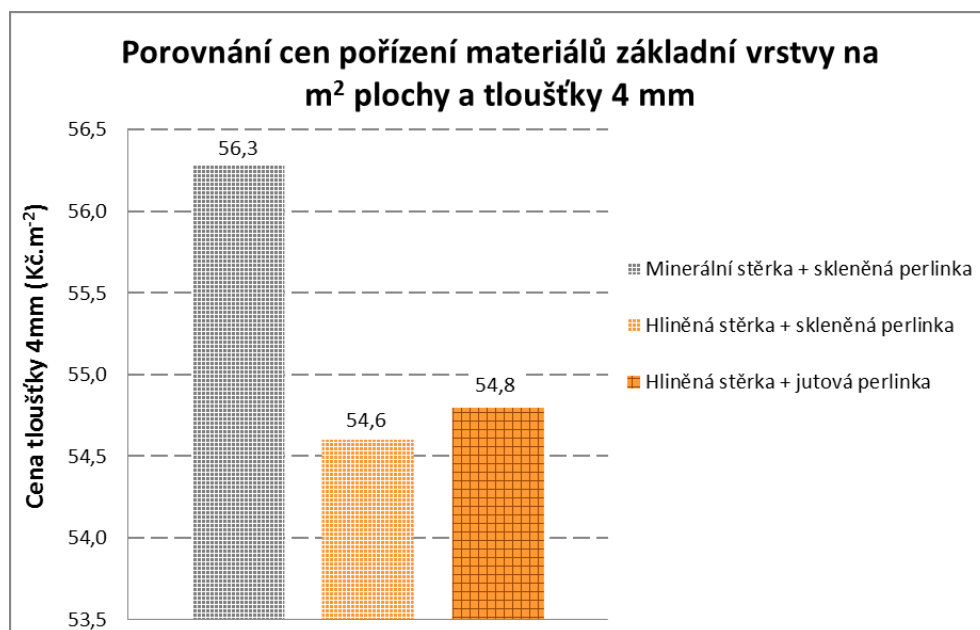
Nejzávažnější rozdíl mezi minerální a hliněnou stěrkou byl zaznamenán u zkoušky vodotěsnosti. Dle ČSN 73 2578 se povrchová úprava stává vodotěsnou, pokud dosáhne hodnoty nasáknutí pod 2 l.m^{-2} po 30 minutách. Minerální stěrková hmota dosáhla hodnoty $0,6 \text{ l.m}^{-2}$, čímž splnila kritérium vodotěsnosti. Na rozdíl od minerální stěrkové hmoty vykazovala hliněná stěrka nadměrnou nasákavost. Po kontaktu s vodou hliněná stěrka okamžitě nasakovala vlhkost přibližně rovnoměrnou rychlostí 1 ml za 10 sekund na plochu měřicího zvonu $28,3 \text{ cm}^2$. Po 3 minutách byl zpozorován průsak vody pod měřícím zvonem opatřeným silikonovým lepidlem vlivem distribuce vody mezi částicemi hlíny a písku, čímž se zvyšovala rychlost nasákavosti (viz obrázek 5.42). Hlína zvyšujícím se množstvím vody v struktuře bobtnala a měření bylo ukončeno oddělením měřicího zvonu od povrchu stěrky. Tímto měřením lze konstatovat, že hliněná stěrka není vodotěsná a při nanesení na zateplovací systém ETICS, je potřebné použít finální povrchovou vrstvu, která ji bude chránit před erozi vodou a prodlouží její životnost.



Obr. 5.42: Průsak vody pod měřícím zvonem u hliněné stěrky

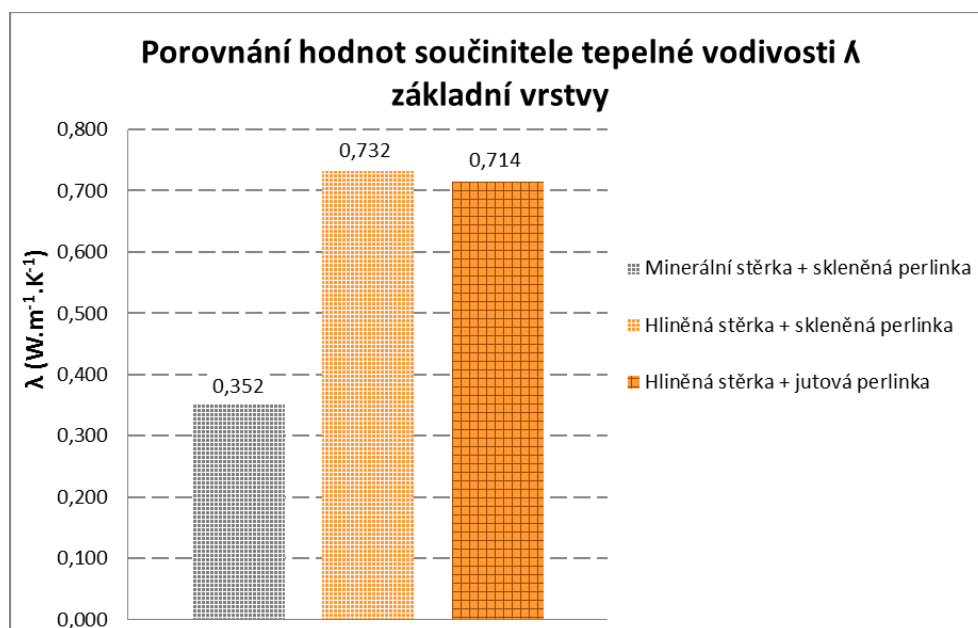
Výsledky jednotlivých měření fyzikálně-mechanických vlastností základních vrstev osazených na izolantu ze slámy pojené bikomponentními vlákny jsou zpracovány v grafech 5.29 až 5.32.

Graf 5.29: Porovnání cen materiálů zákl. vrstev na m^{-2} při tloušťce 4 mm



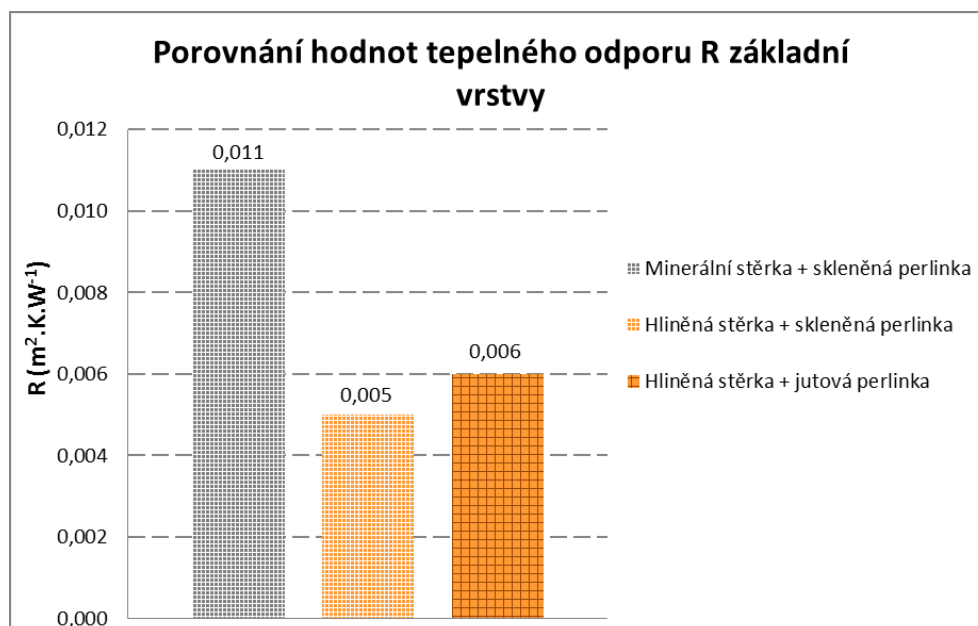
Ceny materiálů vypočtené na m^2 plochy při tloušťce 4 mm základních vrstev se pohybovaly v podobných hodnotách. Základní vrstvy s hliněnou stěrkou s oběma variantami výztužné vrstvy vycházejí pouze o cca 2 Kč.m⁻² levněji než základní vrstva minerální (viz graf 5.29).

Graf 5.30: Porovnání součinitele tepelné vodivosti základních vrstev



Nejnižší součinitel tepelné vodivosti byl zaznamenán u minerální stěrkové hmoty, který dosahoval hodnoty $0,352 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (viz graf 4.1). Součinitel tepelné vodivosti u hliněných stěrkových materiálů se pohybuje v podobných hodnotách a to $\lambda=0,714\text{--}0,732 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Graf 5.31: Porovnání tepelného odporu základních vrstev



Největší odpor při průchodu tepelného toku byl zaznamenán u minerální stěrkové hmoty, který dosahoval hodnotu $0,011 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$. U hliněné stěrkové hmoty se vypočtený tepelný odpor pohyboval kolem $0,005$ až $0,006 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ při tloušťce 4 mm.

Graf 5.32: Porovnání přídržnosti základních vrstev



Nejvyšší dosažená přídržnost základních vrstev byla dosahována u minerálních stěrek, kde nastávalo kohézní porušení ve vzorku tepelného izolantu, čímž byla využita veškerá pevnost v tahu kolmo k rovině izolační desky ze slámy. Minerální stěrky vytvořili dokonalé spojení s izolační deskou, kdy se izolační slaměno-bikomponentní desky porušili při hodnotě přídržnosti kolem 4,6 kPa. U základních vrstev využívající hliněné stěrkové hmoty docházelo u zkoušky přídržnosti zejména k adheznímu porušení (mezi základní vrstvou a tepelným izolantem). To nastávalo při hodnotách přídržnosti kolem 3,5 kPa u základní vrstvy hliněné se skleněnou perlínkou a 3,7 kPa s jutovou perlínkou. Záběr na adhezní porušení hliněné základní vrstvy je vidět na obrázku 5.43.



Obr. 5.43: Adhezní porušení hliněné základní vrstvy

5.2.6 OPTIMALIZACE VÝBĚRU VHODNÉ ZÁKLADNÍ VRSTVY

Optimalizační výpočet výběru vhodné základní vrstvy byl proveden obdobným způsobem jako v kapitole 5.1.8, který zahrnoval fyzikálně-mechanické, ekonomické a ekologické kritéria.

Tab. 5.20: Stanovení kritérií na základní vrstvu, jejich hodnocení a optimum

Č.	Kritérium	Váhy	Hodnocení		Optimum	Jednotky
1	Cena za m ² při tloušťce 4 mm	0,148	-		MIN	Kč.m ⁻²
2	Tepelný odpor	0,051	-		MAX	m ² .K.W ⁻¹
3	Přidržnost	0,221	-		MAX	kPa
4	Technologická přestávka	0,110	-		MIN	Den
5	Faktor difúzního odporu	0,100	-		MIN	-
6	Vodotěsnost	0,163	Vodotěsná 1	Nevodotěsná 2	MIN	-
7	Možnost znovupoužití	0,208	Ano 1	Ne 2	MIN	-

Mezi zvolená fyzikálně-mechanická kritéria patří měřitelné hodnoty tepelného odporu, přidržnosti, faktoru difúzního odporu a vodotěsnosti. Jako ryze ekonomická kritéria byla zvolena cena za m² při tloušťce 4 mm a technologická přestávka k provedení další, resp. finální vrstvy povrchové úpravy. Kritérium možnosti znovupoužití spojuje ekonomické a ekologické hledisko při výběru základní vrstvy. Toto kritérium uvažuje, že materiál použitý v základní vrstvě je možné v budoucnu využít ke stejnému účelu, a tak chránit nejen finanční, ale i přírodní zdroje.

Tab. 5.21: Saatyho matice – vypočtení vah kritérií na základní vrstvu

→j ↓i	1	2	3	4	5	6	7	S _i	R _i	F _i
1	1	5	1/2	1	2	2	1/3	3,333333	1,143135	0,148
2	1/5	1	1/5	1/4	1/3	1/4	1/4	0,000208	0,389918	0,051
3	2	5	1	3	2	1	2	120	1,702237	0,221
4	1	4	1/3	1	1/2	1	1/3	0,222222	0,846098	0,110
5	1/2	3	1/2	2	1	1/4	1/4	0,09375	0,768731	0,100
6	1/2	4	1	1	4	1	1	8	1,259921	0,163
7	3	4	1/2	3	4	1	1	72	1,608312	0,208
Suma Σ									7,718353	1

Z výpočtu vah kvantitativním párovým srovnáním (viz tabulka 5.21) vyplynulo, že nejdůležitější kritérium při výběru základní vrstvy byla mechanická stabilita,

obsažena v hodnotě přídržnosti na tepelném izolantu. Dalším důležitým kritériem byla možnost znovupoužití, která zahrnuje zároveň ekonomické a ekologické hledisko. Z pohledu od nejvyšší důležitosti dále následovala vodotěsnost, cena na m² při tloušťce 4 mm, technologická přestávka, faktor difúzního odporu a tepelný odpor.

Následně byla sestavena rozhodovací matice obsahující číselné ohodnocení základních vrstev dle jednotlivých kritérií.

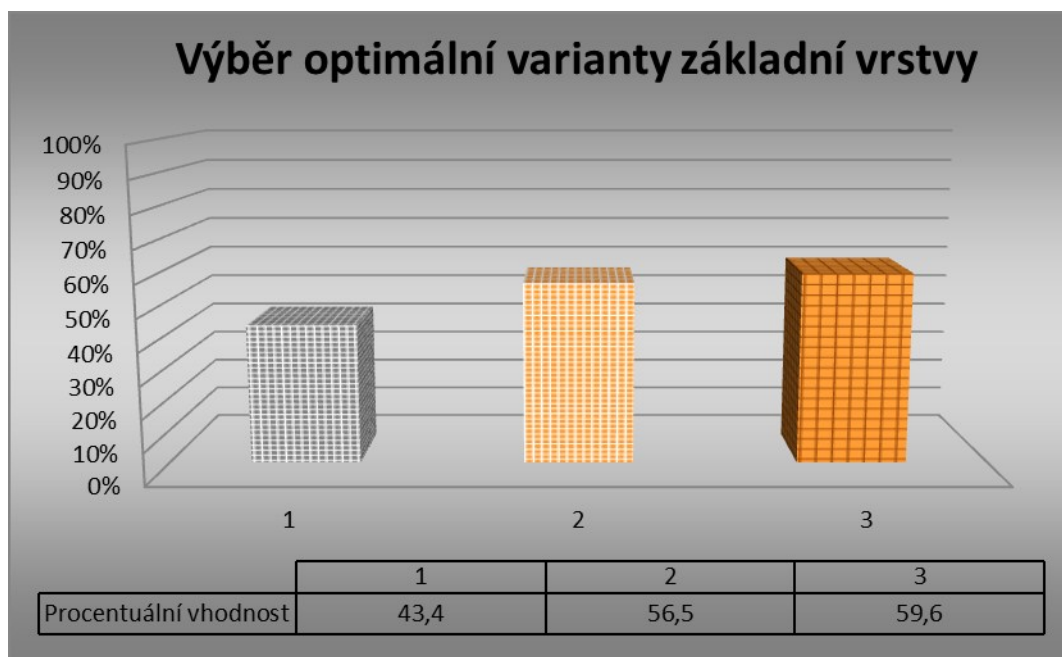
Tab. 5.22: Rozhodovací matice optimální varianty základní vrstvy

Č.	Základní vrstva	Kritérium						
		1	2	3	4	5	6	7
	Optimum	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN
1	Minerální stěrka + skleněná perlina	56,28	0,011	4,6	14	35	1	2
2	Hliněná stěrka + skleněná perlina	54,60	0,005	3,5	1	10	2	1
3	Hliněná stěrka + jutová perlina	54,80	0,006	3,7	1	10	2	1
MIN		54,60	0,005	3,5	1	10	1	1
MAX		56,28	0,011	4,6	14	35	2	2

Tab. 5.23: Výpočtová matice optimální varianty základní vrstvy

Č.	Základní vrstva	Kritérium							Σ
		1	2	3	4	5	6	7	
	Optimum	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	
1	Minerální stěrka + skleněná perlina	0,000	0,051	0,221	0,000	0,000	0,163	0,000	43,4
2	Hliněná stěrka + skleněná perlina	0,148	0,000	0,000	0,110	0,100	0,000	0,208	56,5
3	Hliněná stěrka + jutová perlina	0,130	0,008	0,040	0,110	0,100	0,000	0,208	59,6

Graf 5.33: Výběr optimální varianty základní vrstvy



Z optimalizačního výpočtu vyplývá, že optimální variantou základní vrstvy je použití hliněné stěrkové hmoty s jutovou perlínkou. Tato základní vrstva vykazuje nejlepší difúzní otevřenost, krátkou technologickou přestávku a největší možnost recyklace jednotlivých vrstev. Cena na m² při tloušťce 4 mm se pohybuje v podobných hodnotách jako u základní vrstvy s hliněnou stěrkou a skleněnou perlínkou.

Zvolené kritéria celkově splňuje přibližně na 60 %. Základní vrstva hliněná se skleněnou perlínkou je splňuje na cca 57 % a referenční minerální stěrková hmota na cca 44 %.

Při použití se dále uvažuje, že při použití této hliněné základní vrstvy v ETICS je nutné použití finální vrstvy, která ji ochrání před atmosférickou erozi např. použitím stabilizované nepálené hlíny pomocí olejových fermeží.

Teoretický návrh finálního složení jednotlivých vrstev nového zateplovacího systému ETICS z alternativních surovinových zdrojů je popsán v kapitole 6.

5.2.7 DISKUZE A SHRNUÍ VÝSLEDKŮ VÝBĚRU VHODNÉ POVRCHOVÉ**ÚPRAVY**

Tato část diplomové práce se zabývala návrhem kompatibilní povrchové úpravy k tepelné izolaci ze slámy pojené bikomponentními vlákny. Na základě poznatků získaných z předpisu ETAG 004 kde se uvádí, že základní vrstva přebírá některé důležité vlastnosti celého souvrství povrchové úpravy, byla vyzkoušena pouze základní vrstva.

K udržení přírodního charakteru slaměné izolace byla vybrána hliněná stěrka a pro komparaci vlastností, byla použita klasická minerální stěrka. Jako výztužné prvky stěrkových vrstev byly použity jutové a skleněné perlinky, čímž se vytvořili celkově 3 varianty povrchových vrstev (minerální stěrka + skleněná perlina a hliněná stěrka + jutová/skleněná perlina). Po nanesení základních vrstev na tepelný izolant a jejich vytvrzení byla provedena vizuální zkouška, kde nebyly zjištěny žádné viditelné vady na povrchu vlivem smršťování. Takto prohlídnuté vzorky byly následně odzkoušeny na přídržnost k tepelnému izolantu, součinitele tepelné vodivosti/tepelného odporu a vodotěsnosti.

Výpočtem ceny základních vrstev na m^2 při tloušťce 4 mm se zjistilo, že nejlevnější variantou je použití hliněné stěrky jak se skleněnou tak s jutovou perlínkou. Tato cena vycházela od 54,6 až 54,8 Kč. m^{-2} a u minerální stěrky se skleněnou perlínkou 56,3 Kč. m^{-2} .

Z výsledků měření tepelně-izolačních vlastností základních vrstev, které nemají významný vliv na celkový izolační potenciál ETICS vyšlo, že vhodnější variantou by měla být základní vrstva s minerální stěrkou.

U zkoušky vodotěsnosti bylo zjištěno, že klasická minerální stěrková hmota lépe odolává kapalně vlhkosti a splnila kritérium vodotěsnosti. Naopak u hliněné stěrky nebylo možné vodotěsnost změřit z důvodu, že po kontaktu s vodou hliněná stěrka okamžitě pojímala vlhkost a bobtnala až do odlepení zkušebního prstence. Z tohoto důvodu návrh finální povrchové úpravy v budoucnu by měl obsahovat materiál, který by lépe odolával kapalně vlhkosti a tak ochránil základní vrstvu před erozi.

Nejvyšší odolnosti vůči mechanickému namáhání bylo dosaženo u základní vrstvy s minerální stěrkovou hmotou, kde hodnota přídržnosti činila v průměru 4,6 kPa a stěrka se oddělovala v tepelném izolantu. U hliněných se tato hodnota pohybovala

od 3,5 do 3,7 kPa, kde nastávalo adhezní oddělení vrstev mezi tepelným izolantem a nanesenou hliněnou stěrkou.

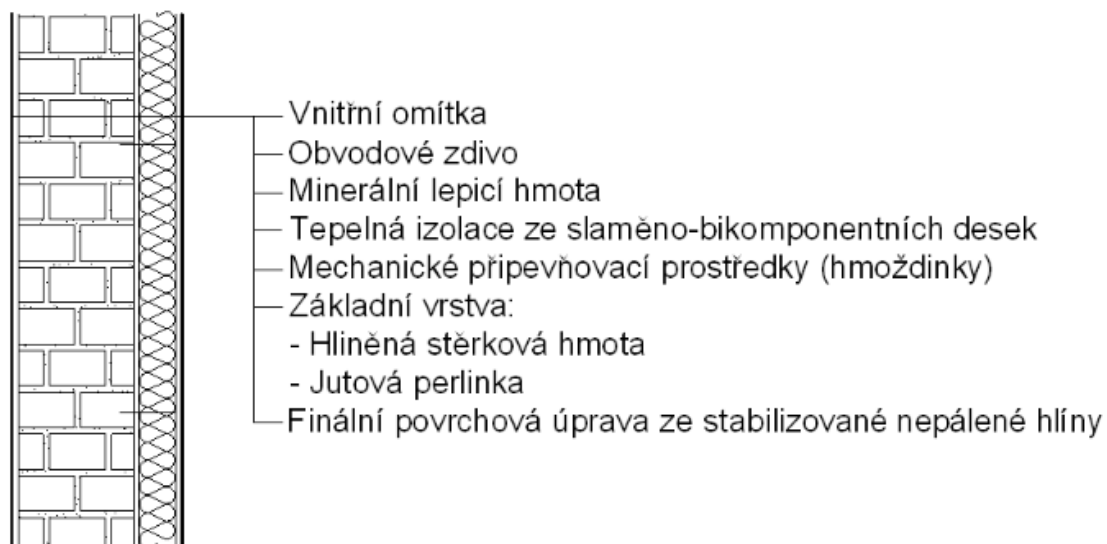
V závěru této části DP byl proveden optimalizační výpočet pro výběr vhodné varianty základní vrstvy. Optimalizační výpočet obsahoval tyto kritéria: cena na m² při tloušťce 4 mm, tepelný odpor přídržnost, technologická přestávka, faktor difúzního odporu, vodotěsnost a možnost znovupoužití.

Z tohoto optimalizačního výpočtu vyšlo, že vhodnou povrchovou úpravou je použití základní vrstvy s hliněnou stěrkou spolu s jutovou perlínkou, kterého procentuální vhodnost dosahovala cca 60 %.

6 TEORETICKÝ NÁVRH SKLADBY SYSTÉMU ETICS

NOVÉ GENERACE

V teoretickém návrhu skladby zateplovacího systému ETICS bylo uvažováno, že tento systém bude připevňován k obvodové zdi kombinací lepení a mechanických připevňovacích prostředků. Jako lepicí hmota byla zvolena klasická minerální hmota kvůli vytvoření co nejlepšího spojení (přidržnosti) mezi slaměno-bikomponentními deskami a obvodovou zdí, které bylo zjištěno při zkouškách přidržnosti základních vrstev v předchozí kapitole. Tepelně-izolační a základní vrstva byla navržena dle provedených fyzikálně-mechanických zkoušek a následně provedených optimalizačních výpočtů. Konkrétně se jedná o slaměno-bikomponentní tepelně-izolační desky, na kterých vykazovala nejlepší výsledky základní vrstva hliněná s výztuží z jutové perlínky. Na finální povrchovou úpravu je potřebné použít hmotu, která zabezpečí vodotěsnost a tak ochrání základní vrstvu před atmosférickou erozí. Tuto funkci by teoreticky mohla splňovat hlína, která by byla stabilizovaná ekologicky nezávadnou olejovou fermeží, nebo přidavkem malého množství polymeru.



Obr. 6.1: Návrh finálního složení ETICS nové generace

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na výzkum využití alternativních surovinových zdrojů pro vývoj nového vnějšího tepelně izolačního kompozitního systému ETICS.

Úvodní část této práce byla věnována rešerši stávajícího stavu ETICS, jak v České republice, tak i v zahraničí. Systém ETICS byl poprvé uveden na trh ve Spolkové republice Německo v roce 1960 a odtud rozšířen do celého světa. Od této doby byl systém ETICS neustále zdokonalován, a to zejména po stránce použitých tepelně izolačních materiálů, maltovin a požadavků na jejich kvalitu.

V práci byla dále popsána konstrukční skladba systému ETICS a varianty používaných materiálů jednotlivých vrstev. Na základě tohoto průzkumu je možné konstatovat, že tento systém v České republice, ale i ostatních státech Evropy, zejména kvůli svojí jednoduchosti a rychlosti provádění, bývá nejčastější variantou.

Výběr hlavní složky systému ETICS nové generace byl proveden na základě předchozí bakalářské práce pomocí optimalizačního výpočtu výběru odpadních surovin patřících podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb., mezi odpad ostatní, které nevykazují žádnou nebezpečnou vlastnost. Touto hlavní složkou byla sláma, pro kterou byl proveden návrh technologie zpracování po uskladnění. Další technologické postupy jsou závislé na dalším použití.

Následně pro slámu byly vybírány pojiva na základě teoretického výběru z katalogu odpadů MŽP evidovaných jako odpad ostatní (ze zákona o odpadech č. 185/2001 Sb.) a seznamu známých pojících látek. K pojení slámy byly na základě teoretické kompatibility vybrány tyto materiály: cement, kaseinové lepidlo, bikomponentní vlákna a mycelium dřevokazné houby.

Navržená pojiva byly následně prakticky použity při pojení slámy pracovním postupem vlastním jejich charakteristikám.

Při pokusu o vytvoření tepelně-izolačních desek slámy pojené myceliem dřevokazné houby byly použity čtyři typy hub. Jednalo se o tyto konkrétní druhy: Troudinatec pásovaný, Lesklokorka pryskyřičnatá, Outkovka chlupatá a Outkovka hrbatá. Tento pokus byl z pohledu prorostení slámy houbou neúspěšný vlivem několika faktorů (použití velkého množství vody jak při sterilizaci, tak vody obsažené v inokulačním médiu, dále pak nedostatečný přísun vzduchu, veliké částice prorůstajícího materiálu (stébla) a nízká sterilita prostředí laboratoře).

Po experimentálním zhotovení všech variant tepelně-izolačních slaměných desek byly provedeny určující tepelně-technické a mechanické vlastnosti. Tyto fyzikálně-mechanické vlastnosti byly použity při optimalizačním výpočtu zohledňujícím také ekonomické a ekologické hledisko. Za optimální variantu tepelné izolace ze slámy byly zvoleny desky slaměno-bikomponentní s nejvyšší 20% dávkou BiCo vláken. Tyto desky vykazovaly ze všech variant nejvhodnější tepelně-izolační ($\lambda = 0,044 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) a mechanické vlastnosti ($\sigma_{10} = 21 \text{ kPa}$, $\sigma_{mt} = 5 \text{ kPa}$).

Na tyto slaměno-bikomponentní desky se nanesly 3 varianty kompatibilních základních vrstev povrchových úprav. Jednalo se o klasickou základní vrstvu obsahující minerální stěrku a skleněnou perlunku a základní vrstvu hliněnou ve dvou variantách s jutovou a skleněnou perlinkou. Po provedení zkoušek prokazujících jejich vlastnosti byl proveden optimalizační výpočet prokazující, že vhodnou variantou základní vrstvy se stala hliněná stěrka s jutovou perlinkou.

Na závěr byl vypracovaný teoretický návrh skladby souvrství zateplovacího systému ETICS nové generace pro rodinné domy. V tomto návrhu byly zapracovány vrstvy systému ETICS, které byly v diplomové práci na základě praktického zkoušení zvoleny za optimální.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KOVÁČ, Michal. *Možnosti modifikace ETICS pomocí alternativních surovinových zdrojů*. Brno, 2010. [Bakalářská práce]. 63 s., 10 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
- [2] *Situační a výhledová zpráva: Obiloviny* [Online]. eAGRI - Resortní portál Ministerstva zemědělství ČR, Prosinec 2011. [Citace: 16. 11. 2012.] ISSN 1211-7692. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/140964/OBILOVINY_12_2011__k_umisteni_na_web.pdf
- [3] GRMELA, Daniel. *Domy ze slámy–zdravé a levné bydlení 2. část*. [Online]. Slaměné domy, 5. 9. 2010. [Citace: 15. 11. 2012.]. Dostupné z: <http://slamenedomy.cz/126-domy-ze-slamy-zdrave-a-levne-bydleni-2-cast.html>
- [4] KIERULFOVÁ, Zuzana. *Slaměné domy* [Online]. Portál ASB, 10. 2. 2011. [Citace: 11. 11. 2012.]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/konstrukce-a-prvky/drevene-konstrukce/slamene-domy-2406.html>
- [5] SOUČEK, Jiří. *Sláma: sklizeň, zpracování* [Online] Agroweb: Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha, 10. 5. 2011. [Citace: 8. 11. 2012.]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/Slama:-sklizen-zpracovani__s1595x56500.html
- [6] MO, Xiaoqun, CHENG, Enzhi, WANG, Donghai, S. SUN, Xiuzhi. *Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives* [Online]. Science Direct, 11. 4. 2003. [Citace: 8. 11. 2012.] ISSN 0926-6690. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669003000323#>
- [7] MO, Xiaoqun a HU, Jie a S. SUN, Xiuzhi a RATTO, Jo A. *Compression and tensile strength of low-density straw-protein particleboard* [Online]. Science Direct, 22. 5. 2001. [Citace: 10. 11. 2012.]. ISSN 0926-6690. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669000000832#>
- [8] *Our Technology* [Online]. Ecovative. [Citace: 13. 11. 2012.]. Dostupné z: <http://www.ecovatedesign.com/about-our-materials/core-tech/>

- [9] *Case studies* [Online]. Ecocradle mushroom packaging. [Citace: 13. 11. 2012.].
Dostupné z: <http://www.mushroompackaging.com/case-study-dell>
- [10] *Building Products* [Online]. Ecovative. [Citace: 13. 11. 2012.]. Dostupné z:
<http://www.ecovativedesign.com/applications/building-products-greensulate/>
- [11] *Greensulate™*. [Online] [Citace: 17. 11. 2012.]. Dostupné z:
<http://www.greensulate.cz/>
- [12] KOLAŘÍK, Jaroslav. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. 3., dopl. vyd. Vlašim:
Základní organizace Českého svazu ochránců přírody, 2010. 696 s. ISBN 978-
80-86327-85-3
- [13] *Technický list výrobku*. [Online]. Izolace-info, 14. 4. 2009. [Citace: 12. 12. 2012.].
Dostupné z: [http://www.isolace-info.cz/downloads/montazni_navody/
canabest_panel.pdf](http://www.isolace-info.cz/downloads/montazni_navody/canabest_panel.pdf)
- [14] *Technický list*. [Online]. Isover. [Citace: 12. 12. 2012.]. Dostupné z:
<http://www.isover.cz/data/files/eps-70f-250-cz.pdf>
- [15] *Technický list*. [Online]. Knaufinsulation. [Citace: 12. 12. 2012.]. Dostupné z:
[http://www.knaufinsulation.sk/files/ki_sk/upload/documents/KI_RMW_FKDS_C1
%20a%20C2_270212_0.pdf](http://www.knaufinsulation.sk/files/ki_sk/upload/documents/KI_RMW_FKDS_C1%20a%20C2_270212_0.pdf)
- [16] Petr, PYTLÍK. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUT Brno, 1998.
ISBN 80-214-1123-6
- [17] *FASCO univerzální lepidlo a stěrka na zateplovací systém - Technický list*.
[Online]. Stavoline, 1. 8. 2011. [Citace: 16. 12. 2012.]. Dostupný z:
[http://www.stavomarket.cz/underwood/download/files/fakro-stavoline-technicky-
list.pdf](http://www.stavomarket.cz/underwood/download/files/fakro-stavoline-technicky-list.pdf)
- [18] *Claygar HH 04 - Technický list*. [Online]. Claygar. [Citace: 16. 12. 2012.].
Dostupný z: http://www.claygar.cz/prilohy/Claygar_Hlinena_omitka_HH_04.pdf

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

φ – relativní vlhkost vzduchu
 μ – faktor difuzního odporu
ASTM – Americká technická norma
BiCo – bikomponentní
BP – bakalářská práce
C – cement
CEM – cement
CG – pěnové sklo
ČSN – České technické normy
DP – diplomová práce
EHS – Evropské hospodářské společenství
EN – evropské normy
EPS – pěněný polystyren
ETAG – řídící pokyny pro evropská technická schválení
ETICS – vnější tepelně izolační kompozitní systém
F – síla
 F_i – váha kritéria
ISO – Mezinárodní organizace pro normalizaci
K – kasein
KZS – kontaktní zateplovací systém
MW – minerální vlna
MŽP – Ministerstvo životního prostředí
NO – nebezpečný odpad
OO – odpad ostatní
PF – fenolická pěna
PS – polystyren
PUR – polyuretanová pěna
PVC – polyvinylchlorid
 R_c – tepelný odpor
S – sláma

S_i – součín

SRN – Spolková republika Německo

U – součinitel prostupu tepla

UV – ultrafialové záření

V – voda

V_{30} – vodotěsnost po 30 minutách

w – vlhkost

W_p – krátkodobá nasákavost

XPS – extrudovaný polystyren

λ – součinitel tepelné vodivosti (λ)

ZO – zvláštní odpad

ρ_a – objemová hmotnost

σ – přídržnost

σ_{10} – napětí při 10% deformaci

σ_{mt} – pevnost v tahu

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 4.1 : ŘEZ VNĚJŠÍM ZATEPLOVACÍM SYSTÉMEM ETICS [1]	- 19 -
OBR. 4.2: UKÁZKOVÁ SKLADBA KONTAKTNÍHO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU ETICS V POHLEDU [1].....	- 20 -
OBR. 4.3: PODÍLY JEDNOTLIVÝCH STÁTŮ NA PRODUKCI ETICS [1].....	- 21 -
OBR. 4.4: ZDROJE DRUHOTNÝCH SUROVIN SPOTŘEBOVÁVANÉ VE STAVEBNICTVÍ [1]	- 27 -
OBR. 4.5: SCHÉMA MLÁTICÍHO MECHANIZMU [1]	- 34 -
OBR. 4.6: PŮDORYSNÍ SCHÉMA LISU NA MALÉ BALÍKY [1].....	- 35 -
OBR. 4.7: UKÁZKY POUŽITÍ OBALOVÝCH VÝROBKŮ EcoCRADLE™ [9]	- 39 -
OBR. 4.8: UKÁZKY TEPELNÝCH IZOLACÍ GREENSULATE™ [10]	- 39 -
OBR. 5.1: DŘEVĚNÁ ROZEBÍRATELNÁ FORMA O VNITŘNÍCH ROZMĚRECH 300x300x130 MM	- 43 -
OBR. 5.2: VOLNĚ SYPANÁ SLÁMA	- 44 -
OBR. 5.3: CEMENT CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R – 25KG PYTEL.....	- 45 -
OBR. 5.4: KASEINOVÉ LEPIDLO SPOLEČNOSTI KREIDEZEIT - 7KG PYTEL.....	- 45 -
OBR. 5.5: VZOREK BiCo VLÁKEN FIRMY FAR EASTERN	- 46 -
OBR. 5.6: UKÁZKY MYCELIA VYBRANÝCH HUB	- 47 -
OBR. 5.7: INICIAČNÍ A VYŽIVUJÍCÍ LÁTKY SPOLEČNOSTI HIMEDIA	- 47 -
OBR. 5.8: BAŇKY S VÝŽIVOVÝM KONCENTRÁTEM A ZÁRODKEM MYCELIA ULOŽENÉ VE TŘEPAČCE	- 48 -
OBR. 5.9: OČKOVACÍ MÉDIUM PŘIPRAVENO K INOKULACI SLÁMY.....	- 48 -
OBR. 5.10: METODIKA VÝROBY SLÁMOVÝCH DESEK POJENÝCH CEM. MLÉKEM V RŮZNÝCH HMOTNOSTNÍCH POMĚRECH.....	- 50 -
OBR. 5.11: PŘÍPRAVA CEMENTOVÉHO MLÉKA, VYLITÍ DO PLASTOVÉ VANIČKY SE SLÁMOU A NÁSLEDNÉ RUČNÍ MÍCHÁNÍ.....	- 52 -
OBR. 5.12: PLNĚNÍ FORMY SMĚSÍ SLÁMY A CEMENTOVÉHO TMELU	- 52 -
OBR. 5.13: ZATĚŽOVÁNÍ SILOU F=800 N NA PŘÍTLAČNOU DESKU FORMY	- 53 -
OBR. 5.14: SLAMĚNÁ DESKA POJENÁ CEMENTOVÝM TMELEM ROZMĚRŮ 300x300x80 MM.....	- 54 -
OBR. 5.15: NALEPENÁ SLAM.-CEM. DESKA PŘED ZK. V TAHU, PORUŠENÁ V MÍSTĚ PROPOJENÍ VRSTEV PŘI ZÁT. VLASTNÍ VAHOU. -	- 58 -
OBR. 5.16: METODIKA VÝROBY SLAMĚNÝCH DESEK POJENÝCH KASEINOVÝM LEPIDLEM V RŮZNÝCH HMOTNOSTNÍCH POMĚRECH -	- 59 -
OBR. 5.17: UKÁZKY SLÁMY STŘÍHANÉ A NESTŘÍHANÉ	- 60 -
OBR. 5.18: ZKOUŠENÍ POMĚRU KASEINU A VODY	- 61 -
OBR. 5.19: SMĚS KASEINOVÉHO LEPIDLA VYLITÁ NA DO PLASTOVÉ VANIČKY S OBSAHEM SLÁMY A NÁSLEDNÉ RUČNÉ MÍCHÁNÍ ..	- 63 -
OBR. 5.20: FINÁLNÍ PRÁCE SE VZORKY.....	- 63 -
OBR. 5.21: SLAMĚNÁ DESKA POJENÁ KASEINOVÝM LEPIDLEM ROZMĚRŮ 300x300x80 MM	- 64 -
OBR. 5.22: METODIKA VÝROBY SLAMĚNÝCH DESEK POJENÝCH BIKOMPONENTNÍCH VLÁKEN V RŮZNÝCH HMOTN. POMĚRECH ...	- 70 -
OBR. 5.23: ODDĚLOVÁNÍ MALÝCH CHOMÁČKŮ BiCo VLÁKEN A MÍCHÁNÍ SE SLÁMOU	- 72 -
OBR. 5.24: VLOŽENÍ DŘEVĚNÉ FORMY DO ROZEHRÁTÉ SUŠÁRNY NA 130 °C	- 72 -
OBR. 5.25: SLAMĚNÁ DESKA POJENÁ BiCo VLÁKNY ROZMĚRŮ 300x300x80 MM.....	- 73 -
OBR. 5.26: METODIKA VÝROBY SLAMĚNÝCH DESEK POJENÝCH MYCELIEM DŘEVOKAZNÝCH HUB.....	- 78 -
OBR. 5.27: VYROSTLÉ KLÍČKY ZBYTKOVÉHO ZRNÍ V NESTERILIZOVANÉ SLÁMĚ.....	- 79 -

OBR. 5.28: STERILIZACE SLÁMY POMOCÍ EXTERNÍHO MIKROVLNNÉHO ZDROJE	- 80 -
OBR. 5.29: ZÁBĚRY Z TERMOKAMERY PŘI STERILIZOVÁNÍ VZORKŮ SLÁMY	- 81 -
OBR. 5.30: POZOROVÁNÍ ČASU PRVNÍCH MAKROSKOPICKY VIDITELNÝCH ZNAKŮ INFEKCE PLÍSNĚMI – ZÁBĚRY POŘÍZENÉ PO 10 DNECH OD EXPOZICE PŮSOBENÍ MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ.....	- 82 -
OBR. 5.31: INOKULACE SLÁMY INOKULAČNÍM MÉDIEM.....	- 83 -
OBR. 5.32: ZÁBĚRY REFERENČNÍCH VZORKŮ PO 10 DNECH OD INOKULACE	- 84 -
OBR. 5.33: ZÁBĚRY REFERENČNÍCH VZORKŮ PO 14 DNECH OD INOKULACE	- 84 -
OBR. 5.34: ODFORMOVÁNÍ REFERENČNÍCH VZORKŮ PO 21 DNECH OD INOKULACE	- 85 -
OBR. 5.35: MINERÁLNÍ STĚRKA STAVOLINE FASKO	- 101 -
OBR. 5.36: HLINĚNÁ STĚRKA CLAYGAR HH 04	- 102 -
OBR. 5.37: UKÁZKA SKLENĚNÉ PERLINKY VERTEX R 117.....	- 103 -
OBR. 5.38: JUTOVÁ PERLINKA SPOLEČNOSTI PLASTY MORAVA.....	- 104 -
OBR. 5.39: NANÁŠENÍ PRVNÍ VRSTVY STĚRKY A ÚPRAVA ZUBOVÝM HLADÍTKEM	- 105 -
OBR. 5.40: ROZDÍL V POVRCHU PO NANESENÍ PRVNÍ VRSTVY HLINĚNÉ STĚRKY A VÝZTUŽNÉ SÍŤOVINY	- 106 -
OBR. 5.41: UKÁZKY VYTVRZENÝCH ZÁKLADNÍCH VRSTEV	- 107 -
OBR. 5.42: PRŮSAK VODY POD MĚŘÍCÍM ZVONEM U HLINĚNÉ STĚRKY.....	- 108 -
OBR. 5.43: ADHEZNÍ PORUŠENÍ HLINĚNÉ ZÁKLADNÍ VRSTVY.....	- 110 -
OBR. 6.1: NÁVRH FINÁLNÍHO SLOŽENÍ ETICS NOVÉ GENERACE	- 116 -

SEZNAM TABULEK

TAB. 4.1: VÝHODY A NEVÝHODY TRADIČNÍCH I MÉNĚ POUŽÍVANÝCH TEPELNÝCH IZOLANTŮ V ZATEPLOVACÍM SYSTÉMU ETICS ..	- 23 -
TAB. 4.2: TEORETICKÝ VÝBĚR POJIVA SLÁMY Z KATALOGU ODPADŮ (OO) MŽP	- 36 -
TAB. 4.3: TEORETICKÝ VÝBĚR POJIVA ZE SOUČASNĚ ZNÁMÝCH POJIVOVÝCH MATERIÁLŮ	- 37 -
TAB. 4.4: VLASTNOSTI TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH VÝROBKŮ GREENSULATE™ [11]	- 40 -
TAB. 5.1: CENA JEDNOTLIVÝCH SUROVIN PRO TEPELNÉ IZOLANTY ZE SLÁMY	- 49 -
TAB. 5.2: STANOVENÍ HMOTNOSTI SLÁMY PRO VYPLNĚNÍ FORMY	- 51 -
TAB. 5.3: NÁVRH HMOT. POMĚRŮ SLÁMY, CEMENTU, VODY A PŘEVOD NA GRAMY	- 51 -
TAB. 5.4: VÝSLEDKY MĚŘENÍ SLAMĚNÝCH DESEK POJENÝCH CEMENTOVÝM MLÉKEM	- 54 -
TAB. 5.5: STANOVENÍ HMOTNOSTI STŘÍHANÉ SLÁMY PRO VYPLNĚNÍ FORMY	- 61 -
TAB. 5.6: NÁVRH HMOT. POMĚRŮ SLÁMY, KASEINU, VODY A PŘEVOD NA GRAMY	- 62 -
TAB. 5.7: VÝSLEDKY MĚŘENÍ SLAMĚNÝCH DESEK POJENÝCH KASEINOVÝM LEPIDLEM	- 65 -
TAB. 5.8: NÁVRH HMOT. POMĚRŮ SLÁMY, BiCo VLÁKEN A PŘEVOD NA GRAMY	- 71 -
TAB. 5.9: VÝSLEDKY MĚŘENÍ SLAMĚNÝCH DESEK POJENÝCH BiCo VLÁKNY	- 73 -
TAB. 5.10: VLASTNOSTI EXISTUJÍCÍCH TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ [13] [14] [15]	- 89 -
TAB. 5.11: STANOVENÍ KRITÉRIÍ NA TEPELNOU IZOLACI, JEJICH HODNOCENÍ A OPTIMUM	- 94 -
TAB. 5.12: SAATYHO MATICE – VYPOČTENÍ VAH KRITÉRIÍ	- 95 -
TAB. 5.13: ROZHODOVACÍ MATICE OPTIMÁLNÍ IZOLACE ZE SLÁMY	- 95 -
TAB. 5.14: VÝPOČTOVÁ MATICE VÝBĚRU OPTIMÁLNÍ IZOLACE ZE SLÁMY	- 96 -
TAB. 5.15: ÚDAJE O VLASTNOSTECH MINERÁLNÍ STĚRKY FASKO [17]	- 101 -
TAB. 5.16: ÚDAJE O VLASTNOSTECH HLINĚNÉ STĚRKY CLAYGAR HH 04 [18]	- 102 -
TAB. 5.17: VLASTNOSTI SKLENĚNÉ PERLINKY VERTEX 117 R	- 103 -
TAB. 5.18: VLASTNOSTI JUTOVÉ PERLINKY SPOLEČNOSTI PLASTY MORAVA	- 103 -
TAB. 5.19: VÝSLEDKY MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH VRSTEV NA TEPELNÉM IZOLANTU	- 106 -
TAB. 5.20: STANOVENÍ KRITÉRIÍ NA ZÁKLADNÍ VRSTVU, JEJICH HODNOCENÍ A OPTIMUM	- 111 -
TAB. 5.21: SAATYHO MATICE – VYPOČTENÍ VAH KRITÉRIÍ NA ZÁKLADNÍ VRSTVU	- 111 -
TAB. 5.22: ROZHODOVACÍ MATICE OPTIMÁLNÍ VARIANTY ZÁKLADNÍ VRSTVY	- 112 -
TAB. 5.23: VÝPOČTOVÁ MATICE OPTIMÁLNÍ VARIANTY ZÁKLADNÍ VRSTVY	- 112 -

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 4.1: VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍCH ODPADNÍCH SUROVIN PRO ZATEPLENÍ [1]	- 29 -
GRAF 4.2: VÝBĚR OPTIMÁLNÍHO TEORETICKY NAVRŽENÉHO KZS ETICS [1]	- 30 -
GRAF 4.3: VÝVOJ OSEVNÍCH PLOCH OBILNIN V ČR [2]	- 31 -
GRAF 5.1: CENA MATERIÁLU NA M ² TLOUŠTKY 80 MM SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK	- 55 -
GRAF 5.2: OBJEMOVÁ HMOTNOST SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK	- 55 -
GRAF 5.3: TEPELNÁ VODIVOST SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK	- 56 -
GRAF 5.4: TEPELNÝ ODPOR SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK	- 56 -
GRAF 5.5: NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK	- 57 -
GRAF 5.6: KRÁTKODOBÁ NASÁKAVOST SLAMĚNO-CEMENTOVÝCH DESEK	- 58 -
GRAF 5.7: CENA MATERIÁLU NA M ² TLOUŠTKY 80 MM SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 65 -
GRAF 5.8: OBJEMOVÁ HMOTNOST SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 66 -
GRAF 5.9: TEPELNÁ VODIVOST SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 66 -
GRAF 5.10 : TEPELNÝ ODPOR SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 67 -
GRAF 5.11: NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 68 -
GRAF 5.12: PEVNOST V TAHU KOLMO K ROVINĚ SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 68 -
GRAF 5.13: KRÁTKODOBÁ NASÁKAVOST SLAMĚNO-KASEINOVÝCH DESEK	- 69 -
GRAF 5.14: CENA MATERIÁLU NA M ² TLOUŠTKY 80 MM SLAMĚNO-BIKOMP. DESEK	- 74 -
GRAF 5.15: OBJEMOVÁ HMOTNOST SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK	- 74 -
GRAF 5.16: TEPELNÁ VODIVOST SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK	- 75 -
GRAF 5.17: TEPELNÝ ODPOR SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK	- 76 -
GRAF 5.18: NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK	- 76 -
GRAF 5.19: PEVNOST V TAHU KOLMO K ROVINĚ SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK	- 77 -
GRAF 5.20: KRÁTKODOBÁ NASÁKAVOST SLAMĚNO-BIKOMPONENTNÍCH DESEK	- 77 -
GRAF 5.21: POROVNÁNÍ CEN POŘÍZENÍ MATERIÁLU NA M ² PLOCHY A TLOUŠTKY 80 MM	- 89 -
GRAF 5.22: POROVNÁNÍ HODNOT OBJEMOVÝCH HMOTNOSTÍ IZOLANTŮ	- 90 -
GRAF 5.23: POROVNÁNÍ HODNOT SOUČINITELŮ TEPELNÉ VODIVOSTI	- 90 -
GRAF 5.24: POROVNÁNÍ HODNOT TEPELNÝCH ODPORŮ	- 91 -
GRAF 5.25: POROVNÁNÍ HODNOT NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI IZOLANTŮ	- 91 -
GRAF 5.26: POROVNÁNÍ HODNOT PEVNOSTI V TAHU KOLMO K ROVINĚ DESKY	- 92 -
GRAF 5.27: POROVNÁNÍ HODNOT KRÁTKODOBÉ NASÁKAVOSTI IZOLANTŮ	- 93 -
GRAF 5.28: VYHODNOCENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY TEPELNÉ IZOLACE ZE SLÁMY	- 97 -
GRAF 5.29: POROVNÁNÍ CEN MATERIÁLŮ ZÁKL. VRSTEV NA M ² PŘI TLOUŠTCE 4 MM	- 108 -
GRAF 5.30: POROVNÁNÍ SOUČinitele TEPELNÉ VODIVOSTI ZÁKLADNÍCH VRSTEV	- 109 -
GRAF 5.31: POROVNÁNÍ TEPELNÉHO ODPORU ZÁKLADNÍCH VRSTEV	- 109 -
GRAF 5.32: POROVNÁNÍ PŘÍDRŽNOSTI ZÁKLADNÍCH VRSTEV	- 110 -
GRAF 5.33: VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY ZÁKLADNÍ VRSTVY	- 112 -