



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VÝVOJ ALTERNATIVNÍCH IZOLANTŮ NA BÁZI TEXTILNÍCH VLÁKEN URČENÝCH JAKO INTEGROVANÉ IZOLACE PRO KERAMICKÉ ZDICÍ PRVKY

DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE INSULATORS BASED ON TEXTILE FIBERS INTENDED
AS INTEGRATED INSULATION FOR CERAMIC MASONRY BLOCKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ivana Tošerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIM Stavební inženýrství – stavební materiály a technologie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ivana Tošerová
Název	Vývoj alternativních izolantů na bázi textilních vláken určených jako integrované izolace pro keramické zdicí prvky
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,
dr.h.c.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo - Metody stanovení návrhových tepelných hodnot
- [2] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X
- [3] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 209 s. ISBN 80-214-2117-7.
- [4] Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 155-160, ISSN 0950-061
- [5] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F., Jemni, A., Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating, Journal of Building Engineering, Volume 5, March 2016, Pages 34-40, ISSN 2352-7102
- [6] Vaverka, J.; Chybík, J., Mrlík, F. Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce se bude věnovat možnostem vývoje izolantů na bázi textilních vláken, které by bylo možné použít jako alternativní izolaci k minerální vlně používané pro výrobu keramických zdicích prvků s integrovanou tepelnou izolací. Cílem bude navrhnout izolant s dostatečnými vlastnostmi (především z pohledu tepelné vodivosti, nasákavosti a reakce na oheň), aby ho bylo možné využít jako srovnatelnou alternativu k minerální vlně. Izolant bude navržen také z pohledu jeho aplikace do dutin zdicích prvků tak, aby jeho aplikace mohla proběhnout obdobným způsobem, jako v případě minerální vlny. Součástí diplomové práce bude také posouzení celkového chování zdiva s alternativním izolantem oproti zdivu s minerální vlnou, a to především z pohledu praktických vlastností zdiva a jeho životnosti. Provedeno bude také posouzení environmentálního dopadu (EPD) zdicího systému s prvky s alternativní izolací a srovnání se systémem využívajícím minerální vlnu. (Rozsah práce 50-60 stran)

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi vývoje alternativních izolantů na bázi textilních vláken určených jako integrované izolace pro keramické zdicí prvky. Cílem práce je navrhnout optimálního izolantu na bázi textilních vláken, s dostatečnými vlastnostmi, který by bylo možné použít jako alternativní izolant k minerální vlně, jež se používá v současnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pálený zdicí prvek, tepelná izolace, vláknité izolační materiály, minerální vata, jednovrstvé obvodové zdivo

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the possibilities of developing alternative insulators based on textile fibers intended as integrated insulation for ceramic masonry elements. The aim of this work is to design an optimal insulator based on textile fibers, with sufficient properties that could be used as an alternative insulator to the mineral wool that is currently used.

KEYWORDS

Clay masonry unit, thermal insulation, fibrous insulating materials, mineral wool, single-leaf wall

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Ivana Tošerová *Vývoj alternativních izolantů na bázi textilních vláken určených jako integrované izolace pro keramické zdicí prvky*. Brno, 2022. 70 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vývoj alternativních izolantů na bázi textilních vláken určených jako integrované izolace pro keramické zdicí prvky* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Ivana Tošerová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za kvalitní vedení mé diplomové práce a odborné rady. Dále děkuji za pomoc při zpracování praktické části Ing. Vítězslavovi Novákovi, Ph.D.

Obsah

1	ÚVOD	10
I.	TEORETICKÁ ČÁST	11
2	CIHLÁŘSKÁ VÝROBA PÁLENÝCH ZDÍČÍCH PRVKŮ	11
2.1	SUROVINY PRO VÝROBU PÁLENÝCH ZDÍČÍCH PRVKŮ	11
2.2	TECHNOLOGIE VÝROBY PÁLENÝCH ZDÍČÍCH PRVKŮ	12
2.3	PÁLENÉ ZDÍČÍ PRVKY	13
3	POŽADAVKY NA ZDIVO	14
3.1	TEPELNÁ OCHRANA A ÚSPORA TEPLA	14
3.2	POŽADAVKY NA AKUSTICKÉ VLASTNOSTI	16
3.3	POŽÁRNÍ ODOLNOST	19
4	PRŮZKUM TRHU PRO JEDNOVRSTVÉ ZDIVO	22
4.1	WIENEBERGER S.R.O.	23
4.2	HELUZ	24
4.3	PEZINSKÉ TEHELNE – PANELÁŘEŇ, A.S.	25
4.4	BRITTERM	27
4.5	SCHLAGMANN POROTON GMBH & CO. KG	28
4.6	UNIPOR GMBH	29
4.7	THERMOPOR GMBH	30
4.8	SHRnutí PRŮZKUMU	31
5	POSUZOVÁNÍ DOPADU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	31
5.1	METODA LCA	32
5.2	ENVIROMENTÁLNÍ PROHLÁŠENÍ O PRODUKTU	34
II.	PRAKTICKÁ ČÁST	35
6	CÍL PRÁCE	35
7	METODIKA PRÁCE	35
7.1	ZKUŠEBNÍ VZORKY	36
7.2	STANOVENÍ TLOUŠŤKY	37
7.3	STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI	37
7.4	STANOVENÍ TŘÍDY REAKCE NA OHEŇ	37
7.5	STANOVENÍ KRÁTKODOBÉ NASÁKAVOSTI PŘI ČÁSTEČNÉM PONOŘENÍ....	38
7.6	STANOVENÍ STLAČITELNOSTI	38
7.7	STANOVENÍ NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI	39

7.8	STANOVENÍ SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI	40
7.9	STANOVENÍ ČiniteLE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI.....	40
7.10	STANOVENÍ TLOUŠTKY V ČASE V ZÁVISLOSTI NA STLAČENÍ	41
7.11	NÁVRH TECHNOLOGIE PLNĚNÍ KERAMICKÝCH TVAROVEK.....	42
7.12	VYHODNOCENÍ ENVIROMENTÁLNÍHO DOPADU	42
8	PROVEDENÍ A VÝSLEDKY ZKOUŠEK.....	43
8.1	STANOVENÍ TLOUŠTKY	43
8.2	STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI.....	44
8.3	STANOVENÍ REAKCE NA OHEŇ	48
8.4	STANOVENÍ KRÁTKODOBÉ NASÁKAVOSTI	50
8.5	STANOVENÍ STLAČITELNOSTI.....	51
8.6	STANOVENÍ NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI	53
8.7	STANOVENÍ SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI	55
8.8	STANOVENÍ ČiniteLE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI.....	56
8.9	STANOVENÍ TLOUŠTKY V ČASE V ZÁVISLOSTI NA STLAČENÍ	57
8.10	NÁVRH TECHNOLOGIE PLNĚNÍ KERAMICKÝCH TVAROVEK.....	59
8.11	VYHODNOCENÍ ENVIROMENTÁLNÍHO DOPADU	61
9	ZÁVĚR.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK	70
	SEZNAM GRAFŮ	70

1 ÚVOD

Stavebnictví je neustále se vyvíjejícím oborem. Z důvodu zvyšujících se požadavků na dané vlastnosti materiálu je snaha dosahovat stále lepších parametrů, jak z hlediska ekologického, tak i ekonomického. V současné době se rozvíjí výstavba pasivních staveb, obecně je dosahováno větší úspory energií a v neposlední řadě je vyvíjena snaha o snížení enviromentálního dopadu.

Nejpoužívanějším materiálem pro stavbu rodinných domů je již po staletí keramické zdivo. To se v průběhu let proměňuje a vyvíjí v závislosti na požadavcích na něj kladených. Pomocí nových technologií a metod je dosahováno lepších tepelněizolačních a užitných vlastností, díky čemuž lze splnit kritéria například i pro stavbu pasivních domů. Zděním z těchto zdících prvků odpadá potřeba dodatečné izolace.

Diplomová práce se zabývá možnostmi vývoje izolantů na bázi recyklovaných textilních vláken, které by bylo možné použít jako alternativní izolaci k minerální vlně, která je v současnosti používána jako integrovaná izolace keramických zdících prvků. Cílem je návrh izolantu s dostatečnými užitnými vlastnostmi, aby výsledný inovovaný zdící prvek vykazoval srovnatelné nebo lepší vlastnosti než prvek s minerální vlnou. V rámci teoretické části je shrnuta obecná výroba zdících prvků. Dále jsou rozebrány jednotlivé požadavky pro obvodové zdivo. Následně byl proveden průzkum trhu mapující výrobky pro jednovrstvé zdivo a poté byla v krátkosti shrnuta problematika enviromentálního dopadu výrobků. V praktické části jsou ověřovány tepelně izolační a mechanické vlastnosti, nasákavost a reakce na oheň vybraných materiálů z textilních vláken. Součástí práce je i návrh plnění dutin cihel a posouzení enviromentálního dopadu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

2 CIHLÁŘSKÁ VÝROBA PÁLENÝCH ZDÍČÍCH PRVKŮ

2.1 SUROVINY PRO VÝROBU PÁLENÝCH ZDÍČÍCH PRVKŮ

Suroviny pro cihlářskou výrobu můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, a to z hlediska jejich plastických vlastností na suroviny plastické a neplastické.

- **Plastické suroviny**

Suroviny plastické jsou schopny po rozdělání s vodou vytvářet plastické těsto, které je specifické tím, že ho lze snadno tvarovat bez porušení struktury. Plastičnost je způsobena obsahem jílových minerálů, můžeme hovořit o těchto surovinách jako o jílových zeminách. Ty dělíme dle velikosti zrn na [7]:

- jíloviny (<2 μm),
- prachoviny (2–50 μm),
- pískoviny (>50 μm).

Plastičnost zemin pak roste s rostoucím obsahem jíloviny. Z pohledu keramiky lze zeminy dle granulometrie dále dělit na [7]:

- jíly (obsahují > 50 % jíloviny),
- hlíny (obsahují 20–50 % jíloviny a 50 - 80 % prachoviny s pískovinou).

Jílovými minerály jsou obecně označovány jemně krystalované silikáty s vrstevnatou krystalovou strukturou. Mezi typické zástupce jílových minerálů lze zařadit kaolonit, illit, montmorillonit či halloysit [7].

Co se chemického složení jílovinových zemin týče, obsahují velké množství různých oxidů. Nejhojněji je zastoupen oxid křemičitý, dále pak hlinitý, titaničitý, železitý, vápenatý, hořečnatý, dále pak alkálie v podobě oxidu draselného a sodného [7].

- **Neplastické suroviny**

Neplastické suroviny, jak již jejich název napovídá, nejsou schopny po rozdělání s vodou tvořit plastické těsto. Dle funkce, kterou tyto suroviny plní, je můžeme rozdělit na ostřiva, taviva a lehčiva [7].

- Ostřiva: Jedná se o přírodní nebo umělé látky, jež snižují plastičnost těsta a po výpalu napomáhají, reakcí s pojivem, k dosažení hutného a pevného střepu. Zároveň snižují citlivost k sušení [7].
- Taviva: Při výpalu keramického střepu je důležitá tvorba taveniny, která spojuje krystalické fáze a snižuje pórovitost. Přídavek taviva umožní snížení teploty výpalu, potřebnou pro dosažení stejného výsledku [7].
- Lehčiva: Lehčiva jsou přidávána pro snížení objemové hmotnosti keramického střepu, čímž nepřímo dochází i k snížení tepelné vodivosti. Zároveň však může docházet i k snižování pevnosti střepu. Lehčiva lze dělit do dvou kategorií, a to působící přímo, tj. látky s nízkou objemovou hmotností, a působící nepřímo, tj. látky, které při výpalu vyhoří [7].

2.2 TECHNOLOGIE VÝROBY PÁLENÝCH ZDÍČÍCH PRVKŮ

- **Těžba surovin**

K těžbě cihlářských surovin dochází téměř vždy v bezprostřední blízkosti cihelny. Toto místo je nazýváno hlinišťem. Těžba probíhá nejčastěji povrchoвым způsobem, a to korečkovými, kolesovými nebo lopatovými rypadly. Po natěžení se zemina dopravuje na haldy k odležení. K přepravě slouží, podle vzdálenosti, pásové dopravníky, kolejové vozíky či nákladní automobily [7].

- **Úprava surovin**

Po odležení cihlářské zeminy na haldách, kde dochází k částečné homogenizaci a zvětrávání, dochází k finální úpravě surovin. K té dochází například přidáním ostřiv, lehčiv, taviv, dále pak mísením, úpravou množství roztělovací vody, zdrobňováním a homogenizací. Dokonalého rozmíšení a homogenizace směsi je dosaženo pomocí tzv. protlačovacího mísidla, typického pro cihlářskou výrobu [7].

- **Vytváření**

Vytváření cihlářských výrobků probíhá z plastického těsta o vlhkosti 15-25 % tzv. tažením. Těsto je protlačováno vakuovým šnekovým lisem, který je zakončen ústím, jež definuje délku, šířku a děrování výlisku. Za ústím lisu se nachází odřezávač, který odřízne výlisek a tím definuje jeho výšku. Hotové výlisky jsou uloženy na sušárenské vozy a putují do sušárny [7].

- **Sušení**

V rámci procesu sušení dochází, působením tepla, ke snižování vlhkosti výlisku z původních cca 20 % na konečná cca 2 %. Doba sušení se liší v závislosti na rozměrech výlisku a jeho počáteční vlhkosti, a trvá cca 12-76 hodin. K sušení se využívají kontinuální nebo periodické sušárny. V současné době je příkladem periodické sušárny sušárna komorová. Kontinuálního provozu pak využívají sušárny kanálové. Vysušené výlisky, tzv. výsušky, jsou naloženy na pecní vozy a pokračují do pece k výpalu [7].

- **Výpal**

Během výpalu dochází ve výsušku k novému strukturnímu uspořádání, díky čemuž získává nové vlastnosti. Především vyšší pevnost, stabilní tvar, jinou barvu, vyšší odolnost proti povětrnosti a řadě agresivních látek. Výpal probíhá v tunelové peci při teplotě 800-1000 °C po dobu 10-30 hodin. Zpevňování probíhá pomocí sliňování, kdy dochází ke snížení pórovitosti při zachování tvaru, bez nutnosti tavení [7].

- **Skladování a expedice**

Po výpalu a vychladnutí dochází u již hotových výrobků ke kontrole kvality, a to vizuálně či poklepem. Nevyhovující výrobky jsou vyřazeny a zbylé se uloží na palety, kde jsou zabaleny do fólie a následně odvezeny do skladovacích prostor [7].

2.3 PÁLENÉ ZDÍČÍ PRVKY

Páleným zdíčím prvkům se věnuje norma ČSN EN 771-1+A1: Specifikace zdíčích prvků – Část 1: Pálené zdíčí prvky. Pojmem „pálený zdíčí prvek“ je dle této normy považován zdíčí prvek, vyrobený z jílu či jiných hlinitých materiálů s pískem či bez písku, případně s různými přísadami, vypálený na dostatečně vysokou teplotu, aby došlo ke vzniku keramické vazby [8].

Norma dále dělí pálené zdíčí prvky do dvou skupin, a to na pálené zdíčí prvky k použití v chráněném zdivu a na prvky určené k použití v nechráněném zdivu. U obou skupin jsou pak definovány požadavky na rozměry a tolerance, tvarové uspořádání, objemovou hmotnost, pevnost v tlaku, tepelněizolační vlastnosti, trvanlivost, nasákavost, aj. [8].

V rámci normy jsou definovány i požadavky na popis, označování, kód značení a klasifikaci pálených zdíčích prvků. Dále pak požadavky na posuzování a ověřování stálosti vlastností [8].

3 POŽADAVKY NA ZDIVO

Dle Zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a Vyhlášky Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby ve znění vyhlášky 20/2012 Sb. můžeme definovat základní požadavky na stavby jako celek i jejich jednotlivé části. Ty musí v průběhu celého svého životního cyklu vyhovovat zamýšlenému použití, především s přihlédnutím na bezpečnost a ochranu zdraví osob, a plnit následující požadavky: mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí, bezpečnost při užívání, ochrana proti hluku, tepelná ochrana a úspora energie a tepla, estetické požadavky, aj. [9,10,11].

3.1 TEPELNÁ OCHRANA A ÚSPORA TEPLA

V rámci požadavku na úsporu energie a tepla je třeba zajistit co nejnižší spotřebu energie potřebnou na vytápění stavebního objektu. Charakteristickými sledovanými tepelně izolačními parametry jsou: součinitel tepelné vodivosti λ , tepelný odpor R a součinitel prostupu tepla U [12].

Požadavky na součinitele prostupu tepla uvádí norma ČSN 73 0540-2. Součinitel prostupu tepla U [$W/(m^2.K)$] u konstrukcí vytápěných budov v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60$ % musí být takový, aby splňoval podmínku [13]:

$$U \leq U_N$$

U_N ... požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$W/(m^2.K)$]

Hodnota U_N , v případě budov s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v rozmezí 18 až 22 °C, vychází z tabulky 1. Pro budovy s odlišnou návrhovou vnitřní teplotou se U_N určí pomocí vztahu [13]:

$$U_N = U_{N,20} * e_i$$

$U_{N,20}$... součinitel prostupu tepla [$W/(m^2.K)$] – viz. Tabulka 1

e_i ... součinitel typu budovy; stanoví se ze vztahu:

$$e_i = \frac{16}{\theta_{im} - 4}$$

θ_{im} ... převažující návrhová vnitřní teplota [°C].

Tabulka 1: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [12].

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² .K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$, v m^2/m^2 , kde A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m^2 ; A_w plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m^2 .	$f_w \leq 0,5$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$		
	$f_w > 0,5$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$	$0,2 + f_w$	$0,15 + 0,85 \cdot f_w$
Kovový rám výplně otvoru		-	1,8	1,0
Nekovový rám výplně otvoru ⁵⁾		-	1,3	0,9-0,7
Rám lehkého obvodového pláště		-	1,8	1,2
POZNÁMKY				
¹⁾ Pro jednovrstvé zdivo se nejpozději do 31.12.2012 připouští hodnota $0,38 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$. ²⁾ Nejpozději do 31.12.2012 se připouští hodnota $1,7 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$. ³⁾ Nemusí se vždy jednat o teplosměnnou plochu, ovšem s ohledem na postup výstavby a možné změny způsobu užívání se zajišťuje tepelná ochrana na uvedené úrovni. ⁴⁾ V případě podlahového a stěnového vytápění se do hodnoty součinitele prostupu tepla započítávají pouze vrstvy od roviny, ve které je umístěno vytápění, směrem do exteriéru. ⁵⁾ Platí i pro rámy využívající kombinace materiálů, včetně kovových, jako jsou například dřevo-hliníkové rámy. ⁶⁾ Odpovídá výpočtu součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-4 (tj. bez vlivu zeminy), nikoli výslednému působení podle ČSN EN ISO 13370. ⁷⁾ Nejpozději do 31.12.2012 se připouští hodnota $1,5 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$				

3.2 POŽADAVKY NA AKUSTICKÉ VLASTNOSTI

V rámci stavby je požadováno zajištění dostatečné ochrany zdraví osob a zvířat proti působení hluku a vibrací. Dané požadavky v oblasti stavební akustiky specifikuje norma ČSN 73 0532 [14].

Charakteristickou vlastností, popisující akustické vlastnosti, je vzduchová neprůzvučnost R [dB], která popisuje schopnost konstrukce zabránit přenosu zvuku, jež se šíří ze zdroje zvuku vzduchem. V rámci stavebních konstrukcí rozlišujeme:

- Váženou laboratorní neprůzvučnost R_w – určována pomocí výpočtů nebo měření v laboratoři.
- Váženou stavební neprůzvučnost R'_w – měřena na reálné stavbě a zahrnuje i boční cesty přenosu zvuku.

Pro dané vlastnosti platí následující vztah:

$$R_w = R'_w - k$$

kde: k je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku [14].

Tabulka 2: Korekce na vedlejší cesty přenosu zvuku pro vzduchovou neprůzvučnost [14].

Dělicí prvek	Boční konstrukce	Korekce k1 [dB]
Těžká dělicí stěna (strop) - monolitická, prefabrikovaná nebo zděná (cihly, beton, pórobeton apod.) Rw ≥ 40 dB	4 × těžká	2
	3 × těžká, 1 × lehká	3
	2 × těžká, 2 × lehká	4
	1 × těžká, 3 × lehká	5
	vyzdívaný skelet	≥ 4
Lehká dělicí stěna (strop) - montovaná konstrukce z desek a nosného roštu (sádrokarton, dřevo apod.) Rw ≤ 55 dB	4 × těžká	5
	3 × těžká, 1 × lehká	6
	2 × těžká, 2 × lehká	8
Lehká dělicí stěna (strop) - montovaná konstrukce z desek a nosného roštu (sádrokarton, dřevo apod.) Rw > 55 dB	4 × těžká	6
	3 × těžká, 1 × lehká	7
	2 × těžká, 2 × lehká	≥ 8

Samotné požadavky a zvukovou izolaci jsou uvedeny v Tabulce 3, kde se mimo jiné nachází i požadavek na vážený normovaný rozdíl hladin $D_{nT,w}$ [dB], pro místnosti, které nemají společnou dělicí konstrukci (tj. bezprostředně spolu nesousedí). Při horizontálním přenosu ve stejném podlaží se použije požadavek pro stěny a při vertikálním přenosu mezi různými podlažími se použije požadavek pro stropy [14].

Tabulka 3: Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v domech s byty [14].

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci			
		Stropy		Stěny	Dveře
		$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	$L'_{n,w, L_{nT,w}}$ dB	$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	R_w dB
A. Bytové domy, rodinné domy, terasové nebo řadové domy a dvojdomy - všechny obytné místnosti bytu					
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	≥ 47	≤ 58	≥ 40 ^a	≥ 27 ^a
B. Bytové domy, rodinné domy s více než jedním bytem - obytné místnosti bytu					
2	Všechny místnosti druhých bytů včetně příslušenství	≥ 54 ≥ 52 ^b	≤ 53 ≤ 58 ^b	≥ 53 ≥ 52 ^b	- -
3	Terasy a lodžie druhých bytů nad obytnou místností	≥ 52	≤ 58	-	-
4	Společné prostory domu (schodiště, chodby, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.)	≥ 52	≤ 53	≥ 52	≥ 32 ^c ≥ 37 ^d
5	Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody	≥ 57	≤ 48	≥ 57	-
6	Místnosti s technickým zařízením domu (výměňikové stanice, kotelny, strojovny výtahů, strojovny VZT, prádelny apod.) s hlukem: $L_{A,max} \leq 80$ dB 80 dB < $L_{A,max} \leq 85$ dB	≥ 57 ^e ≥ 62 ^e	≤ 48 ^e ≤ 48 ^e	≥ 57 ^e ≥ 62 ^e	- -

7	Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB: s provozem nejvýše do 22:00 h s provozem i po 22:00 h	$\geq 57^e$ $\geq 62^e$	$\leq 50^e$ $\leq 45^e$	$\geq 57^e$ $\geq 62^e$	- -
8	Provozovny s hlukem $85 \text{ dB} < L_{A,max} \leq 95$ dB s provozem nejvýše do 22:00 h s provozem i po 22:00 h	$\geq 67^e$ $\geq 72^e$	$\leq 43^e$ $\leq 38^e$	$\geq 67^e$ $\geq 72^e$	-
C. Terasové nebo řadové rodinné domy a dvojdomy – obytné místnosti bytu					
9	Všechny místnosti v sousedním domě, včetně příslušenství	≥ 57	≤ 48	≥ 57	-
<p>^a Požadavek platí pro vnitřní stěny bytu mezi obytnými místnostmi včetně vedlejších cest přes dveře, které nejsou součástí dělicí stěny (tj. např. přes dveře do společné haly). Požadavek na dveře se vztahuje pouze na dveře, které jsou součástí společné dělicí stěny mezi dvěma obytnými místnostmi (kromě kuchyně). V takovém případě se požadavek na stěnu vztahuje pouze na plnou část stěny (bez dveří) a současně platí požadavek na dveře. Požadavky se nevztahují na obytné místnosti, které jsou mezi sebou propojeny otvory bez výplně.</p> <p>^b Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud situace neumožňuje dodatečná zvukově izolační opatření.</p> <p>^c Platí pro vstupní dveře ze společných prostor domu (chodby) do předsíně (vstupní haly) bytu.</p> <p>^d Platí pro vstupní dveře ze společných prostor domu (chodby) přímo do chráněné obytné místnosti bytu.</p> <p>^e Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje nebo zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a tím k překročení limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. Místnosti s provozním hlukem s významným obsahem nízkých kmitočtů nebo s tónovými složkami se zásadně nemají situovat do blízkosti bytových jednotek. V opodstatněných případech se provede posouzení pomocí akustické studie. Provozovny se zvláště vysokým hlukem $L_{A,max} > 95$ dB (např. diskotéky, herny apod.) se zásadně nemají umísťovat do obytných budov. Pokud takováto situace nastane, musí se provést podrobná akustická studie na základě frekvenční analýzy všech instalovaných zdrojů hluku.</p>					

Požadavky na zvukovou izolaci obvodových pláštů se nachází v tabulce 4.

Tabulka 4: Požadavky na zvukovou izolaci obvodových pláštů budov [14].

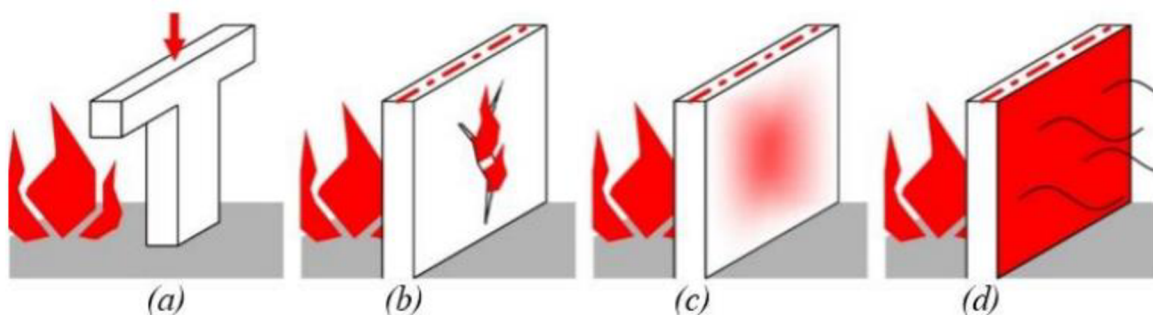
Požadovaná zvuková izolace obvodového pláště v hodnotách R'_{w^a} nebo D_{nT,w^a}, v dB							
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického A tlaku v denní době 06:00 h – 22:00 h ve vzdálenosti 2 m před obvodovým a střešním pláštěm, $L_{A,eq,2m^b}$, v dB						
	Do 50	Od 51 Do 55	Od 56 Do 60	Od 61 Do 65	Od 66 Do 70	Od 71 Do 75	Od 76 Do 80
Obytné místnosti bytů, pokoje v ubytovnách (koleje, internáty apod.)	30	30	30	33	38	43	48 ^c
Pokoje v hotelech a penziencech	30	30	30	30	33	38	43 ^c
Nemocniční pokoje	30	30	30	33	38	43	48 ^c
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického A tlaku v noční době 22:00 h – 06:00 h ve vzdálenosti 2 m před obvodovým a střešním pláštěm, $L_{A,eq,2m^b}$, v dB						
	Do 40	Od 41 Do 45	Od 46 Do 50	Od 51 Do 55	Od 56 Do 60	Od 61 Do 65	Od 66 Do 70
Obytné místnosti bytů, pokoje v ubytovnách (koleje, internáty apod.)	30	30	30	33	38	43	48
Pokoje v hotelech a penziencech	30	30	30	30	33	38	43

Nemocniční pokoje	30	30	33	38	43	48	53 ^c
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A po dobu užívání ve vzdálenosti 2 m před obvodovým a střešním pláštěm, $L_{A,eq,2m}^b$, v dB						
	Do 50	Od 51 Do 55	Od 56 Do 60	Od 61 Do 65	Od 66 Do 70	Od 71 Do 75	Od 76 Do 80
Lékařské vyšetřovny, ordinace, operační sály	30	30	33	38	43	48	53 ^c
Přednáškové síně, učebny, pobytové místnosti škol, jeslí, MŠ	30	30	30	30	33	38	43 ^c
Společenské a jednací místnosti, kanceláře a pracovny	30	30	30	30	33	38	43 ^c
^a Jednočíselné vážené veličiny podle ČSN EN ISO 717-1, stanovené z veličin v třetiooktávových pásmech definovaných v ČSN EN ISO 16283-3. ^b Ekvivalentní hladina akustického tlaku A určená 2 m před obvodovým a střešním pláštěm včetně odrazu zvuku od fasády, zaokrouhlená na celé číslo ³⁾ a s přihlédnutím k 10.4.1 ČSN EN ISO 16283-3 a příloze B5 ČSN ISO 1996-2. Požadavky se vztahují na celý obvodový a střešní plášť i s výplněmi otvorů u chráněných místností. ^c Vysoké hodnoty požadavků jsou obtížně dosažitelné a v nové výstavbě by se již uvedené hlukové situace neměly vyskytovat.							

3.3 POŽÁRNÍ ODOLNOST

Důležitým parametrem, který se u zdiva posuzuje, je požární odolnost, která zajišťuje bezpečnost v případě vypuknutí požáru. Je třeba zamezit šíření požáru, zajistit bezpečný únik osob, zaručit po určitou dobu únosnost a stabilitu, zabránit přenesení požáru a umožnit účinný protipožární zásah. V rámci požární bezpečnosti jsou sledovány následující parametry:

- reakce na oheň A1, A2, B, C, D, E, F, přičemž materiál s označením A1 je nehořlavý, a materiál značený třídou reakce F hořlavý, nesplňující žádné požadavky [15].
- Mezní stavy požární odolnosti – kromě požadavků na samotný materiál, jsou zohledňovány i požadavky na konstrukci, které definuje norma ČSN EN 13501-2. Ta definuje řadu mezních stavů, mezi než patří [16]:
 - R – únosnost nebo stabilita,
 - E – celistvost,
 - I – izolační schopnost,
 - W – hustota tepelného toku,
 - S – prostup zplodin hoření.



Obrázek 1: Hlavní mezní stavy: (a) R = únosnost a stabilita, (b) E = celistvost, (c) I = izolační schopnost (omezení teploty); (d) W = omezení radiace (sálání) tepla [17].

- Konstrukční části z požárního hlediska – pro stanovení chování konstrukcí při požáru jako celku, jsou stavební konstrukce děleny dle ČSN 73 0810 do tří kategorií [18]:
 - DP1 – konstrukce, které v požadované době nepřispívají k požáru (minimálně však po dobu 15 minut), tj. není dosažena teplota vzplanutí u žádného z použitých stavebních materiálů. Hlavní složky konstrukcí sestávají z materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2, případně z materiálů třídy reakce na oheň B až F, pokud jsou tyto výrobky umístěné uvnitř konstrukce a v požadované době nedojde k jejich vzplanutí a není na nich závislá únosnost a stabilita [19].
 - DP2 – konstrukce, které v požadované době nepřispívají k požáru, mohou sestávat z výrobků třídy reakce B až D uvnitř konstrukce, případně B až E, pokud na nich nezávisí stabilita konstrukce [19].
 - DP3 – konstrukce, na něž se nevztahují žádné požadavky, mohou zvyšovat intenzitu požáru [19].

Tabulka 5: Požární odolnost stavebních konstrukcí a jejich druh [19].

Položka	Stavební konstrukce	Stupeň požární bezpečnosti požárního úseku						
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
		Požární odolnost stavební konstrukce a její druh						
1	Požární stěny a požární stropy							
	a) v podzemních podlažích	30 DP1	45 DP1	60 DP1	90 DP1	120 DP1	180 DP1	180 DP1
	b) v nadzemních podlažích	15 ⁺	30 ⁺	45 ⁺	60 ⁺	90 ⁺	120 DP1	180 DP1
	c) v posledním nadzemním podlaží	15 ⁺	15 ⁺	30 ⁺	30 ⁺	45 ⁺	60 DP1	90 DP1
	d) mezi objekty	30 DP1	45 DP1	60 DP1	90 DP1	120 DP1	180 DP1	180 DP1
2	Požární uzávěry otvorů v požárních	15 DP1	30 DP1	30 DP1	45 DP1	60 DP1	90 DP1	90 DP1
		15 DP3	15 DP3	30 DP3	30 DP3	45 DP2	60 DP1	90 DP1

	stěnách a požárních stropech a) v podzemních podlažích a ve všech podlažích mezi objekty b) v nadzemních podlažích c) v posledním nadzemním podlaží	15 DP3	15 DP3	15 DP3	30 DP3	30 DP3	45 DP2	60 DP1
3	Obvodové stěny a) zajišťující stabilitu objektu nebo jeho části 1) v podzemních podlažích 2) v nadzemních podlažích 3) v posledním nadzemním podlaží b) nezajišťující stabilitu objektu nebo jeho části (bez ohledu na podlaží)	30 DP1 15 ⁺ 15 ⁺¹⁾ 15 ⁺²⁾	45 DP1 30 ⁺ 15 ⁺ 15 ⁺	60 DP1 45 ⁺ 30 ⁺ 30 ⁺	90 DP1 60 ⁺ 30 ⁺ 30 ⁺	120 DP1 90 ⁺ 45 ⁺ 45 ⁺	180 DP1 120 DP1 60 DP1 60 DP1	180 DP1 180 DP1 90 DP1 90 DP1
4	Nosné konstrukce střech	15 ¹⁾	15	30	30	45	60 DP1	90 DP1
5	Nosné konstrukce uvnitř požárního úseku, které zajišťují stabilitu objektu a) v podzemních podlažích b) v nadzemních podlažích c) v posledním nadzemním podlaží	30 DP1 15 15 ¹⁾	45 DP1 30 15	60 DP1 45 30	90 DP1 60 30	120 DP1 90 45	180 DP1 120 DP1 60 DP1	180 DP1 180 DP1 90 DP1
6	Nosné konstrukce vně objektu, které zajišťují stabilitu objektu (bez ohledu na podlaží)	15 ¹⁾	15	15	30	30 DP1	45 DP1	60 DP1
7	Nosné konstrukce uvnitř požárního úseku, které nezajišťují stabilitu objektu	15 ¹⁾	15	30	30	45	45 DP1	60 DP1
8	Nenosné konstrukce uvnitř požárního úseku	-	-	-	DP3	DP3	DP2	DP1
9	Konstrukce schodišť uvnitř požárního úseku, které nejsou součástí chráněných únikových cest	-	15 DP3	15 DP3	15 DP1	30 DP1	45 DP1	45 DP1
10	Výtahové a instalační šachty a) šachty evakuačních a požárních výtahů a šachty ostatní (např. instalační), jejichž výška přesahuje 45 m 1) požárně dělicí konstrukce 2) požární uzávěry otvorů v požárně dělicích konstrukcích b) šachty ostatní (výtahové, instalační apod.), jejichž výška je 45 m a menší 1) požárně dělicí konstrukce 2) požární uzávěry otvorů							
		podle položky 1						
		podle položky 2						
			30 DP2	30 DP2	30 DP1	30 DP1	45 DP1	60 DP1
		15 DP2	15 DP2	15 DP1	15 DP1	30 DP1	30 DP1	45 DP1

	v požárně dělících konstrukcích							
11	Střešní pláště	-	-	15	15	30	30 DP1	45 DP1
12	Jednopodlažní objekty	staticky nezávislé						
	a) požární stěny							
	b) požární uzávěry otvorů v požárních stěnách	30 DP1	45 DP1	60 DP1	90 DP1	-	-	-
	c) svislé požární pásy v obvodových stěnách mezi objekty a obvodové stěny, pokud mají být bez požárně otevřených ploch	15 DP1	30 DP1	30 DP1	45 DP1	-	-	-
		15 DP1	30 DP1	30 DP1	45 DP1	-	-	-
<p>1) Musí být splněny v těch případech, kde se počítá se snižujícím součinitelem c_2 až c_4; v ostatních případech se jejich splnění pouze doporučuje podle 8.1.2. Pokud není dosažena u položky 3a3) a položky 4 požární odolnost 15 minut, posuzují se tyto konstrukce jako zcela požárně otevřené plochy (požadavek se týká položky 4 jen v případě, že nosná konstrukce střechy je současně střešním pláštěm).</p> <p>2) Pouze se doporučují; pokud není dosaženo u položky 3b) požární odolnosti 15 minut, posuzují se tyto konstrukce jako zcela požárně otevřené plochy.</p> <p>3) Konstrukce označené křížkem (+) musí být provedeny z konstrukcí druhu DP1, pokud jde o:</p> <p>a) požárně dělící konstrukce chráněných únikových cest včetně konstrukcí zajišťujících stabilitu těchto požárně dělících konstrukcí nebo konstrukcí ohraničujících šachty požárních a evakuačních výtahů</p> <p>b) požární pásy v obvodových stěnách kromě výjimek uvedených v 8.4.10,</p> <p>c) objekty, u kterých se podle příslušných požárních norem požadují tyto konstrukce druhu DP1.</p>								

4 PRŮZKUM TRHU PRO JEDNOVRSTVÉ ZDIVO

V rámci výstavby či rekonstrukce budov jsou kladeny požadavky na úsporu energií. K dosažení požadovaných vlastností, definovaných v normě ČSN 73 0540, docházelo v uplynulých letech k zateplování konstrukcí vnějším zateplovacím systémem. Cílem bylo dosažení požadovaných tepelněizolačních vlastností, kterých nebylo samotnou konstrukcí ze zdících prvků dosaženo. Tento systém má však řadu nevýhod, zejména navýšení tloušťky konstrukce. Nově začínají na trhu dominovat zdící prvky pro jednovrstvé zdivo, které vyhovují i nejpřísnějším požadavkům v oblasti tepelné ochrany budov, a které s sebou přinášejí mnoho výhod, např: rychlost zdění a jednoduchost zdění, odolnost a životnost konstrukce, aj. [20,21,22,23].

Sledovaným parametrem při stavbě obvodové konstrukce je součinitel prostupu tepla U [$W/(m^2.K)$]. Požadované a doporučené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1. Doporučený součinitel prostupu tepla pro obvodovou stěnu je $U \leq 25$ [$W/(m^2.K)$]. V případě pasivních domů se doporučená hodnota pohybuje v rozmezí $U = 12$ až 18 [$W/(m^2.K)$] [21].

Byl proveden průzkum trhu v oblasti pálených zdících prvků pro jednovrstvé zdivo, kde byli zvoleni tito nejvýznamnější výrobci, kteří nabízejí své výrobky na trhu v ČR:

- Wieneberger s.r.o.,
- Heluz v.o.s.,
- Pezinské tehelne – Paneláreň, a.s.,
- Britterm,
- Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG,
- UNIPOR GmbH,
- THERMOPOR GmbH.

4.1 WIENEBERGER S.R.O.

Firma Wienerberger vyrábí tři řady cihel splňujících požadavky pro jednovrstvé zdění, přičemž z řady Porotherm Profi splní požadavky pouze cihly s větší tloušťkou:

- Porotherm T Profi – Jedná se o cihly plněné minerální vatou, vyráběné v tloušťkách 30; 38; 44; 50 cm s ekvivalentní tepelnou vodivostí $\lambda = 0,064$ až $0,066 \text{ W/(m.K)}$. Zdění se provádí na tenkovrstvou maltu Porotherm Profi, nebo pomocí zdící pěny Porotherm Dryfix.extra.
- Porotherm EKO+ Profi – Broušené cihly určené pro jednovrstvé zdivo se vyrábí v tloušťkách 38; 44; 50 cm s ekvivalentní tepelnou vodivostí $\lambda = 0,084$ až $0,086 \text{ W/(m.K)}$. Zdění se provádí na tenkovrstvou maltu Porotherm Profi, nebo pomocí zdící pěny Porotherm Dryfix.extra.
- Porotherm Profi – Požadavky pro možné použití jako jednovrstvé obvodové zdivo splňují cihly tloušťky 38 a 44 cm, při zdění na maltu či na zdící pěnu. Porotherm 38 Profi/Profi Dryfix dosahuje $\lambda = 0,108 \text{ W/(m.K)}$, Porotherm 44 Profi/Profi Dryfix pak dosahuje $\lambda = 0,111 \text{ W/(m.K)}$.



Obrázek 2: Porotherm 44 T Profi [24]



Obrázek 3: Porotherm 44 EKO+ Profi [24]



Obrázek 4: Porotherm 44 Profi [24]

4.2 HELUZ

Cihly pro jednovrstvé obvodové zdivo nalezneme u výrobce Heluz hned ve třech produktových řadách, a to:

- Heluz Plus – Cihly z této řady dosahují lepších mechanických vlastností, avšak a úkor horších tepelněizolačních vlastností. Požadavkům pro použití cihel pro jednovrstvé obvodové zdivo vyhovují cihly tloušťky 44 cm. Broušená cihla dosahuje tepelné vodivosti $\lambda = 0,115 \text{ W/(m.K)}$, nebroušená pak $\lambda = 0,111 \text{ W/(m.K)}$.
- Heluz Family broušená – Jedná se o cihly s lepšími tepelněizolačními vlastnostmi, vyráběné v tloušťkách 25; 30; 38; 44; 50 cm s ekvivalentní tepelnou vodivostí $\lambda = 0,089$ až $0,081 \text{ W/(m.K)}$. Pro jednovrstvé zdivo se používají cihly o tloušťkách 38; 44 a 50 cm.

- Heluz Family 2in1 broušená – Cihly z této řady jsou plněné polystyrénem a vyrábí se v tloušťkách 25; 30; 38; 44; 50 cm. Tepelné vlastnosti pak dosahují hodnot $\lambda = 0,083$ až $0,058$ W/(m.K).



Obrázek 5: Heluz Family 44 broušená [25]



Obrázek 6: Heluz 2in1 44 broušená [25]



Obrázek 7: Heluz Plus 44 broušená [25]

4.3 PEZINSKÉ TEHELNE – PANELÁREŇ, A.S.

Pezinské tehelne – Paneláreň, a.s. vyrábí cihly pro jednovrstvé zdivo ve třech produktových řadách, přičemž je na výběr z cihel klasických a z cihel s integrovanou izolací:

- TermoBRIK SUPRA PD – Jedná se o cihly plněné izolací EPS, zděné na maltu, či suchou variantou na polyuretanovou pěnu. Vyrábí se v tloušťkách 30; 38; 44; 50 cm s průměrnou tepelnou vodivostí $\lambda = 0,065$ W/(m.K).

- TermoBRIK SUPRA PLUS PD – Jedná se o cihly vyplněné izolací z grafitového EPS, vyráběné v tloušťkách 30; 38; 44; 50 cm s průměrnou tepelnou vodivostí $\lambda = 0,06 \text{ W/(m.K)}$. Zdění probíhá buď na tenkovrstvou maltu, nebo na polyuretanovou pěnu.
- TermoBRIK TD PD – Cihly z této řady splňují požadavky pro jednovrstvé obvodové zdivo v tloušťkách 38; 44 a 50 cm s průměrnou tepelnou vodivostí $\lambda = 0,12 \text{ W/(m.K)}$.



Obrázek 8: TermoBRIK SUPRA PD 440 R brúsená [26] Obrázek 9: TermoBRIK SUPRA PLUS 440 R brúsená [26]

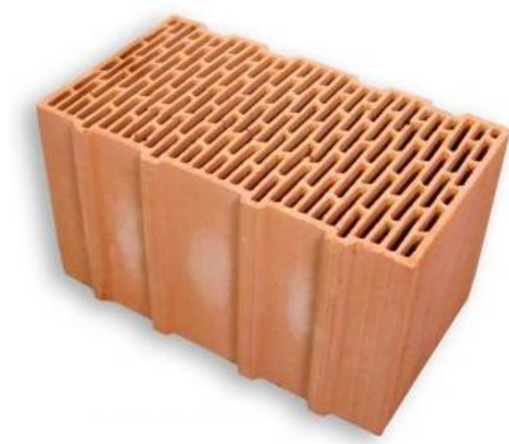


Obrázek 10: TermoBRIK TD 440 PD brúsená [26]

4.4 BRITTERM

Firma Britterm vyrábí kromě běžných zdících prvků i cihly plněné minerální vatou. Výrobky vhodné pro jednovrstvé obvodové zdivo najdeme v produktových řadách:

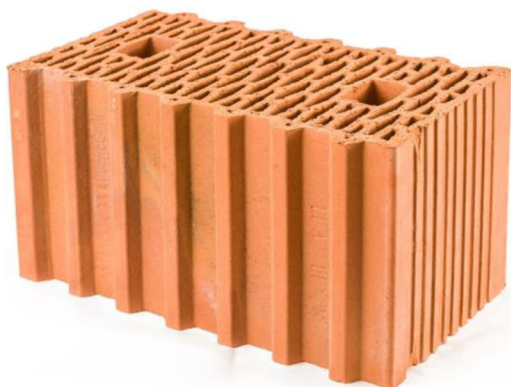
- Britterm MAX Brúsená – Jedná se o cihly určené pro jednovrstvé obvodové zdivo, zděné na maltu, či na tenkovrstvé lepidlo. Vyrábí se v tloušťkách 30; 44; 50 cm s tepelnou vodivostí $\lambda = 0,079$ až $0,087$ W/(m.K).
- Britterm Termo Brúsená – Jedná se o cihly plněné minerální vatou, zděné na tenkou vrstvu lepicí malty. Vyrábí se v tloušťkách 30; 38; 44 cm s tepelnou vodivostí $\lambda = 0,080$ až $0,066$ W/(m.K).
- Britterm Brúsená – Požadavky pro jednovrstvé zdivo splňují i cihly této produktové řady v tloušťkách 38 a 44 cm. Cihla tloušťky 38 cm dosahuje $\lambda = 0,109$ W/(m.K), cihla tloušťky 44 cm pak $\lambda = 0,097$ W/(m.K).



Obrázek 11: Britterm 44 MAX Brúsená [27]



Obrázek 12: Britterm 44 Termo Brúsená [27]

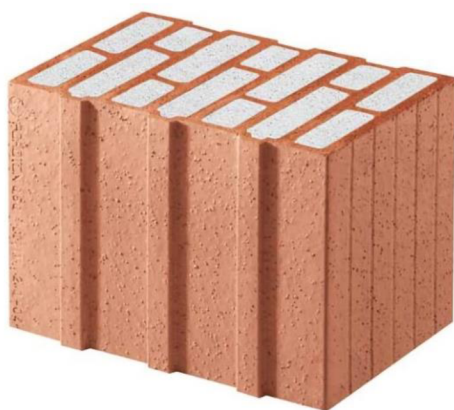


Obrázek 13: Britterm 44 Brúsená [27]

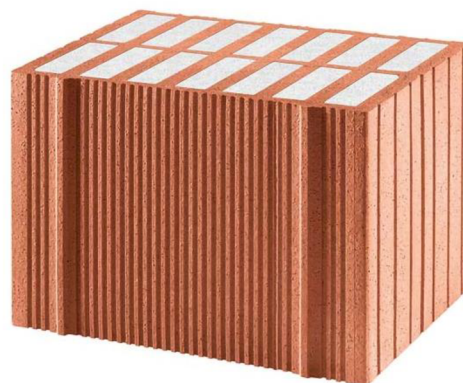
4.5 SCHLAGMANN POROTON GMBH & CO. KG

Firma Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG vyrábí několik produktových řad zdiva pro jednovrstvé zdění:

- POROTON T – Jedná se o cihly plněné perlitem, vyráběné v tloušťkách 30; 36,5; 42,5; 49 cm, přičemž součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $\lambda = 0,090$ až $0,065$ W/(m.K).
- POROTON S – Jedná se o produktovou řadu plněnou perlitem, s lepšími akustickými vlastnostmi. Jsou vyráběné cihly v tloušťkách 30; 36,5; 42,5; 49 cm, s tepelnou vodivostí $\lambda = 0,090$ až $0,070$ W/(m.K).
- POROTON FZ – Jedná se cihly plněné izolací z minerální vlny, vyráběné v tloušťkách 30; 36,5; 42,5; 49 cm, se součinitelem tepelné vodivosti v rozmezí $\lambda = 0,090$ až $0,070$ W/(m.K).
- POROTON U – Jedná se o klasické cihly vyráběné v tloušťkách 30; 36,5; 42,5; 49 cm, se se součinitelem tepelné vodivosti v rozmezí $\lambda = 0,100$ až $0,080$ W/(m.K).



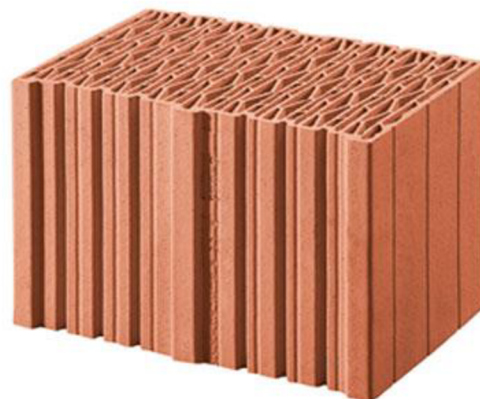
Obrázek 14: POROTON T8 [28]



Obrázek 15: POROTON S8 [28]



Obrázek 16: POROTON FZ8 [28]

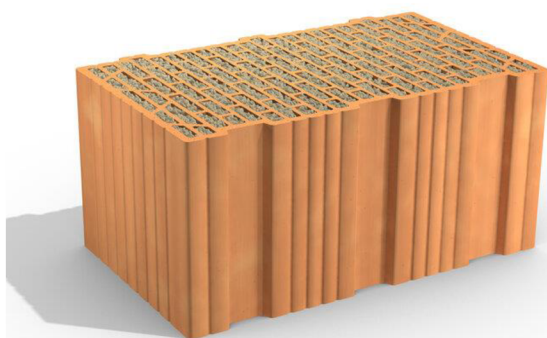


Obrázek 17: POROTON U8 [28]

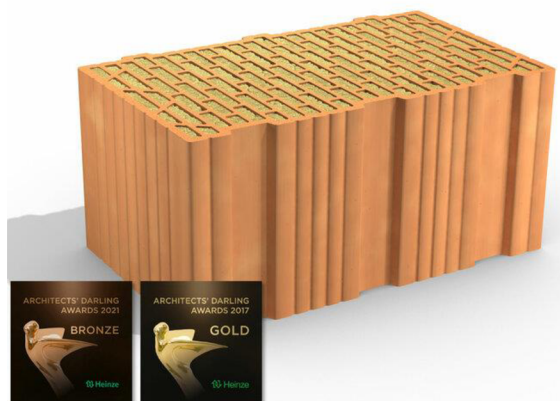
4.6 UNIPOR GMBH

Výrobky Unipor se vyrábí buď klasické, nebo plněné minerální izolací, ve třech produktových řadách:

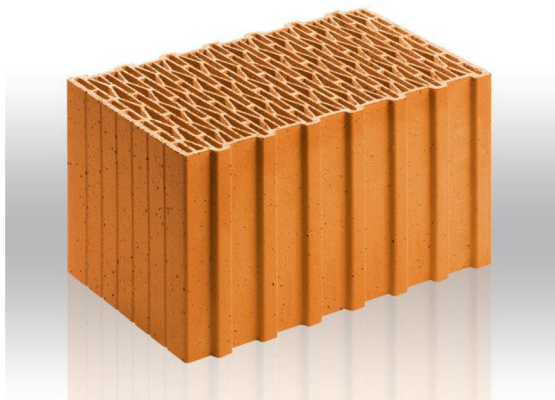
- UNIPOR W CORISO – Jedná se o cihly plněné minerální izolací, vyráběné v tloušťkách 30; 36,5; 42,5; 49 cm, přičemž součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $\lambda = 0,080$ až $0,065$ W/(m.K).
- UNIPOR W SILVACOR – Obdobně jako u předchozí řady, se i zde jedná o výrobky s integrovanou minerální izolací. Vyrábí se v tloušťkách 36,5; 42,5; 49 cm, přičemž součinitel tepelné vodivosti dosahuje hodnoty $\lambda = 0,070$ W/(m.K).
- UNIPOR W – Jedná se o klasické cihly, vyráběné v tloušťkách 30; 36,5; 42,5 cm, se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,090$ W/(m.K).



Obrázek 18: UNIPOR W07 CORISO [29]



Obrázek 19: UNIPOR W07 SILVACOR [29]



Obrázek 20: UNIPOR W08 [29]

4.7 THERMOPOR GMBH

Cihly vhodné pro jednovrstvé zdivo lze nalézt i u výrobce Thermopor, konkrétně se jedná o produktové řady:

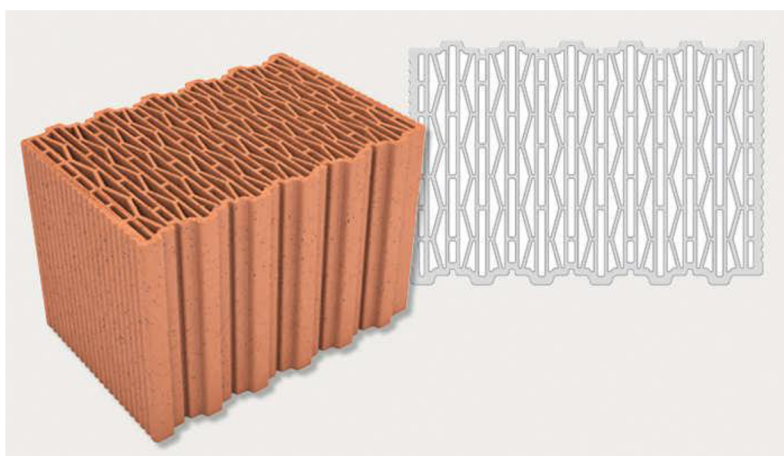
- THERMOPOR TV – Jedná se o cihly plněné minerální vatou, vyráběné v tloušťkách 30; 36,5; 42,5; 49 cm, se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,070 \text{ W/(m.K)}$. Specifickým výrobkem z této produktové řady je cihla THERMOPOR TV AERO, která je plněná perlitem. Vyrábí se v šířkách 36,5 a 42,5 cm a dosahuje $\lambda = 0,080 \text{ W/(m.K)}$.
- THERMOPOR SL – Do této řady patří klasické cihly bez výplně, mající však dobré tepelněizolační vlastnosti. Vyrábí se v tloušťkách 36,5; 42,5; 49 cm, přičemž součinitel tepelné vodivosti dosahuje hodnoty $\lambda = 0,075$ až $0,090 \text{ W/(m.K)}$.



Obrázek 21: THERMOPOR TV [30]



Obrázek 22: THERMOPOR TV AERO [30]



Obrázek 23: THERMOPOR SL [30]

4.8 SHRUTÍ PRŮZKUMU

Na základě průzkumu lze cihly pro jednovrstvé zdění rozdělit do dvou kategorií:

- cihly s integrovanou izolací
- cihly duté

Nejlepších tepelněizolačních vlastností lze dosáhnout za pomoci cihel plněných tepelnou izolací. Toto zdivo spojuje výhody keramické cihly (pevnost, únosnost, ochrana proti požáru atd.) a samotné tepelné izolace (tepelná ochrana). V současné době se jako vnitřní izolace používá minerální vata, expandovaný či grafitový polystyrén a perlit. Všechny tyto materiály napomáhají k dosažení lepších tepelněizolačních vlastností, přičemž nejnižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti tvarovek se pohybují kolem 0,06 W/(m.K).

Požadovaných tepelněizolačních vlastností je u dutých zdících prvků dosaženo specifickým rozložením vnitřních žebírek kolmo na směr tepelného toku, přičemž tyto cihly obsahují velké množství vnitřních dutin. Co jiný výrobce, to jiný tvar dutin. Nejčastěji lze vidět obdélníkový či kosočtverečný tvar dutin, případně kombinaci trojúhelníků s obdélníky. Tyto cihly dosahují nejnižšího součinitele tepelné vodivosti kolem 0,07 W/(m.K), tedy nepochybně vyšších hodnot, než je možné dosáhnout u plněných cihel.

5 POSUZOVÁNÍ DOPADU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

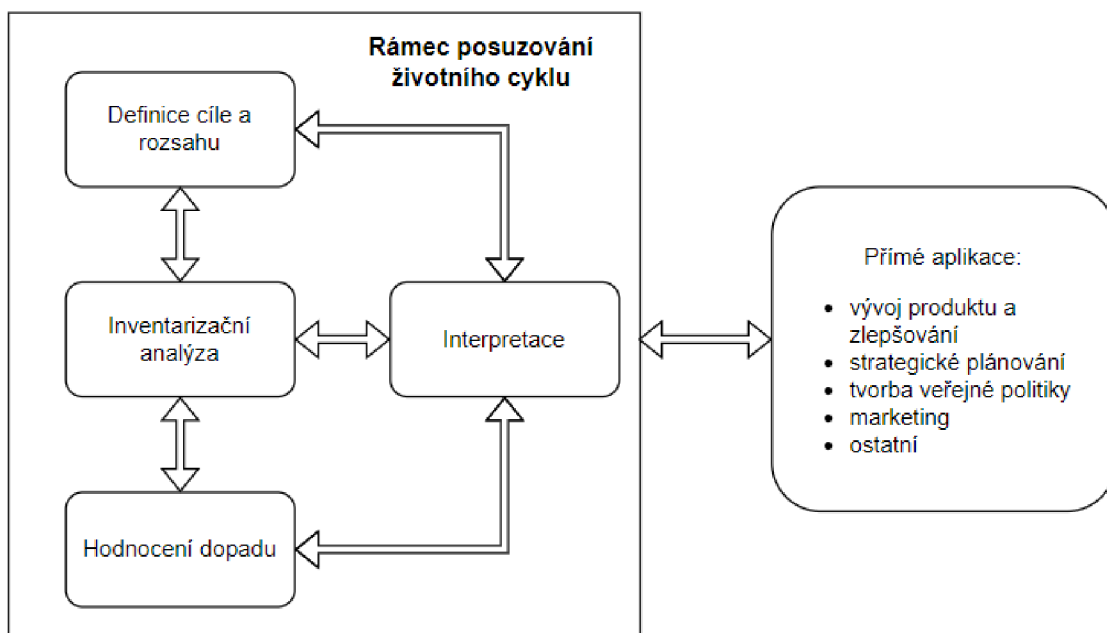
V posledních letech roste zájem veřejnosti o ochranu životního prostředí. S tím souvisí i zvýšený zájem o dopady výstavby a používání budov na životní prostředí. V rámci snižování dopadu výstavby na životní prostředí bývá zaměřena pozornost většinou na ekologické materiály, případně na energeticky úsporná opatření. Enviromentální dopad má však celý životní cyklus budovy, od těžby surovin, přes výstavbu, až po odstranění budovy na konci jejího životního cyklu. Tento dopad na životní prostředí lze popsat metodou posuzování životního cyklu LCA (Life-Cycle Assessment) výrobku. Cílem posuzování životního cyklu je zlepšení enviromentálních dopadů daného výrobku [31].

5.1 METODA LCA

LCA metoda slouží k analytickému vyhodnocení potenciálních dopadů na životní prostředí během životního cyklu produktu. Životní cyklus začíná získáváním surovin, následuje fáze výroby, užívání a poté, po překročení životnosti produktu, odstranění. Studie LCA je složena ze čtyř fází [31]:

- Definice cíle a rozsahu – Definuje, jaká část životního cyklu bude posuzována, z jakého důvodu a komu jsou výsledná data určena.
- Inventarizační analýza – Popisuje energetické a materiálové toky, zejména jejich vztah s okolím, spotřebované suroviny a uvolněné emise.
- Posuzování dopadů – Jedná se o vyčíslené hodnoty jednotlivých faktorů a zhodnocení jejich významu. Výsledkem bývá tabulkový souhrn všech vlivů.
- Interpretace – Jde o kritické přezkoumání, zjištění citlivosti dat a prezentaci výsledků.

Vztah těchto fází lze znázornit následujícím schématem [32]:

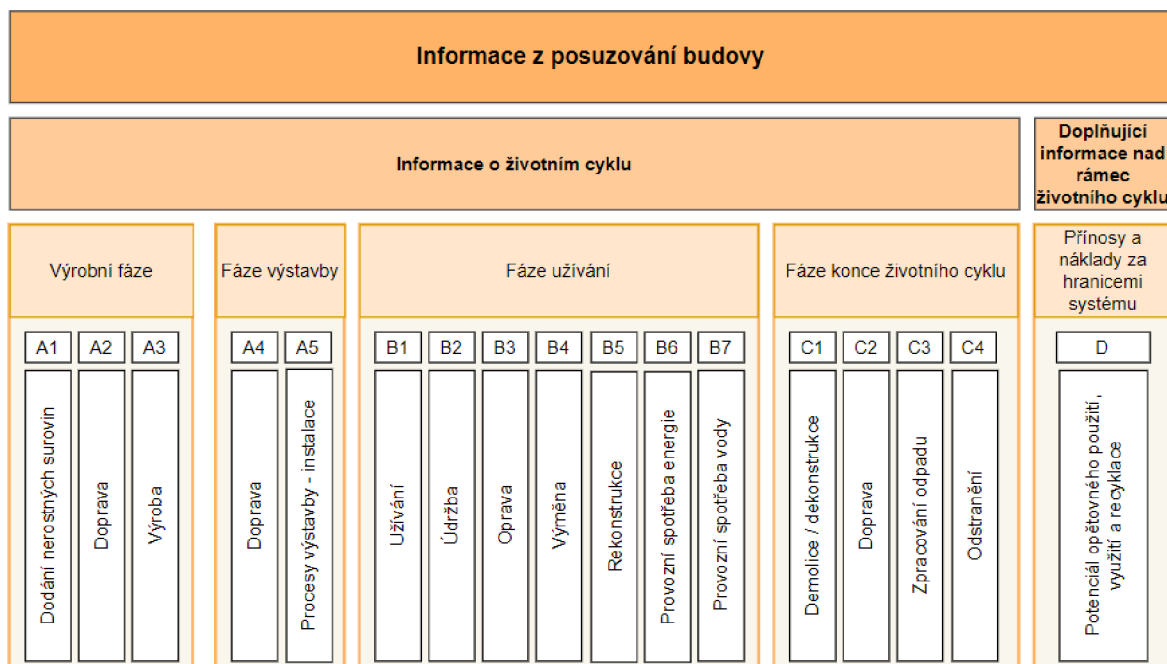


Obrázek 24: Schéma fází metody LCA [32].

LCA studii lze použít k vyhodnocení celého životního cyklu, nebo jen jeho části. Příklady využití jsou následující [31]:

- Od kolébky po bránu – Popisuje fázi výroby, těžbou surovin počínaje, až po okamžik, kdy hotový produkt opouští bránu výroby – míří k zákazníkovi.
- Od kolébky do hrobu – Jedná se o vyhodnocení celého životního cyklu.
- Od kolébky po kolébku – Jde o uzavřenou smyčku, kdy je produkt na konci své životnosti zrecyklován a opětovně využit.
- Od brány po bránu – Tento druh posuzuje jen jednu hodnotu procesu v rámci celého výrobního řetězce.
- Od zdroje po kola – Speciální metoda LCA používaná k vyhodnocení environmentálního dopadu souvisejícího s přepravou pohonných hmot a vozidel.

Rozdělení fází životního cyklu lze ilustrovat na schématu pro životní cyklus budovy, uvedený v normě ČSN EN 15978: Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov – Výpočtová metoda [31,33].



Obrázek 25: Zobrazení modulových informací pro různé fáze posuzování budovy [33].

5.2 ENVIROMENTÁLNÍ PROHLÁŠENÍ O PRODUKTU

Enviromentální prohlášení o produktu – EPD (z angl. Environmental Product Declaration) je prostředkem pro vyjádření výsledků analýzy LCA. Předává informace o dopadu výrobku na životní prostředí během celého jeho životního cyklu, či během dané fáze. Konkrétními případy dopadu na životní prostředí může být např. vliv na změnu klimatu, eutrofizace vod, narušování ozónové vrstvy. EPD vychází z normy ČSN EN ISO 14025 – Enviromentální značky a prohlášení – Enviromentální prohlášení typu III – Zásady a postupy [31].

Cílem prohlášení je informování zákazníků, či jinak zainteresovaných osob, o enviromentálních aspektech produktu. Současně prohlášení podporuje snahu snížit enviromentální dopad daných výrobků [31].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRÁCE

Práce se zabývá možnostmi vývoje alternativních izolantů na bázi textilních vláken určených jako integrované izolace pro keramické zdicí prvky, zejména z pohledu tepelně izolačních vlastností. V rámci teoretické části byla provedena rešerše v oblasti reakce izolantů na oheň.

Cílem práce je navržení optimálního izolantu na bázi textilních vláken, s dostatečnými vlastnostmi, který by bylo možné použít jako alternativní izolant k minerální vlně. Ověřována bude tepelná vodivost, reakce na oheň, nasákavost, akustické a vybrané mechanické vlastnosti. Dále bude navržen způsob plnění cihel a bude posouzen enviromentální dopad výrobku.

7 METODIKA PRÁCE

V rámci experimentální práce byly navrženy tepelné izolanty na bázi recyklovaného textilu, které byly vyrobeny ve firmě RETEX. Na těchto izolantech byly provedeny zkoušky základních popisných vlastností:

- stanovení tloušťky,
- stanovení objemové,
- stanovení třídy reakce na oheň,
- stanovení nasákavosti,
- stanovení stlačitelnosti,
- stanovení napětí při 10% deformaci,
- stanovení tepelné vodivosti,
- stanovení akustických vlastností.

Následně byla pozornost zaměřena na vývoj technologie plnění zdících tvarovek vyvinutými izolanty. V této části došlo k vypracování:

- stanovení tloušťky v čase v závislosti na stlačení,
- návrh technologie plnění cihel.

Na základě stanovených vlastností jednotlivých izolantů byl vybrán vhodný izolant, který byl použit na výrobu prototypových výrobků, u nichž došlo k posouzení enviromentálního dopadu.

7.1 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Jako možný alternativní izolant určený jako integrovaná izolace do keramických zdících prvků byly zvoleny izolanty z druhotných PES textilních vláken vyrobené pomocí termického pojení. Vzorky byly navrženy s ohledem na požadované vlastnosti, cenu i svoji ekologičnost ve dvou objemových hmotnostech a s různým obsahem pojivových BiCo vláken. Izolanty byly vyrobeny firmou Retex a.s. metodou termického pojení metodou airlay.

Byly navrženy celkem 4 typy izolantu. Dva izolanty byly navrženy s objemovou hmotností 30 kg/m^3 a dva s objemovou hmotností 35 kg/m^3 . Oba druhy izolantů byly navrženy s objemovou hmotností nižší, než je objemová hmotnost minerální vlny, která je pro výplň zdících tvarovek v současné době využívána (50 kg/m^3), a to z důvodů finančních i materiálových úspor. Dále v rámci jedné objemové hmotnosti byly navrženy vždy dva typy izolantu lišící se poměrem druhotných surovinových a primárních pojivových vláken. Cílem bylo ověření možnosti využití izolantu s vyšším podílem vláken druhotných, což by bylo výhodnější znovu jak z finančního, tak i materiálového (environmentálního) hlediska. Přehled složení zkušebních vzorků je uveden v následující tabulce:

Tabulka 6: Přehled vlastností zkušebních vzorků.

Zk. vzorek	Složení vzorků: Obsah vláken [%]		Tloušťka vzorku výrobní [mm]	Objemová hmotnost výrobní [kg/m ³]
	Bikomponentní vlákno	PES vlákno		
30 I	10	90	40	30
30 II	20	80	40	30
35 I	10	90	40	35
35 II	20	80	40	35

7.2 STANOVENÍ TLOUŠŤKY

Tloušťka zkušebních vzorků byla určována dle normy ČSN EN 823: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. K měření byl použit úchylkoměr uchycený na tuhém rámu, který je spojen s tuhou deskou sloužící pro umístění vzorku. Vzorek byl umístěn na rovný, pevný povrch a na něj byla položena přítlačná deska. Ta vyvozovala na zkušební vzorek tlak $(50 \pm 1,5)$ Pa. Následně byla změřena tloušťka vzorku, nacházejícího se mezi základní plochou a přítlačnou deskou [34].

7.3 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

Objemová hmotnost byla stanovena jako podíl hmotnosti a objemu zkušebního tělesa, a to dle normy ČSN EN 1602: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti.

Zkušební těleso bylo zváženo a byla zaznamenána jeho hmotnost. Lineární rozměry byly změřeny dle ČSN EN 12085: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních vzorků. Následně byla stanovena objemová hmotnost pomocí vztahu [35]:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

ρ ... objemová hmotnost vzorku $[\text{kg/m}^3]$

m ... hmotnost zkušebního vzorku $[\text{kg}]$

V ... objem zkušebního vzorku $[\text{m}^3]$

7.4 STANOVENÍ TŘÍDY REAKCE NA OHEŇ

Reakce na oheň byla stanovena pomocí zkoušky malým plamenem dle normy ČSN EN ISO 11925-2, Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene. Tato zkouška sleduje chování vzorku v přímém kontaktu s plamenem. Sledovalo se působení plamene na hranu i na plochu, a to po dobu 15 sekund.

Zkušební vzorek o rozměrech $(250 \times 90) \pm 2$ mm byl umístěn do držáku, který se následně připevnil na stojan v klimatizační komoře. V horní části klimatizační komory se nachází odvětrávací zařízení, jež zajišťuje odtah kouře prouděním vzduchu o rychlosti $(0,70 \pm 0,1)$ m/s. Do hliníkové misky pod zkušební vzorek byl umístěn filtrační papírek, u něhož bylo sledováno, zda dojde k jeho zapálení v případě odpadávajících hořících částí. Následně byla nastavena výška špičky plamene na 20 mm a hořák byl skloněn tak, aby byl nakloněn pod úhlem 45° . Zavřely

se dveře komory a hořák se přisunul ke zkušebnímu tělesu. Okamžikem dotyku plamene se vzorkem se spustil časový limit. Po uplynutí časového limitu se hořák odtáhl a po dobu 5 sekund se sledovalo působení plamene po odtažení hořáku. V rámci zkoušky bylo pozorováno, zda došlo k zapálení zkušební vzorku, pokud ano, tak zda špička plamene dosáhla 150 mm nad místem působení plamene a čas, kdy k tomu došlo. Dále se sledovala maximální výška špičky plamene, přítomnost plamenně hořících částic nebo kapek a zapálení filtračního papírku [36].

7.5 STANOVENÍ KRÁTKODOBÉ NASÁKAVOSTI PŘI ČÁSTEČNÉM PONOŘENÍ

Nasákavost izolantů byla stanovena v souladu s ČSN EN ISO 29767, Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření.

Pro zkoušku byl zvolen postup, jež je v normě uváděn jako metoda A. Nejprve byla zvážena počáteční hmotnost suchého vzorku m_0 , poté byly vzorky umístěny do nádržky s vodou tak, aby byly po celou dobu zkoušky ponořeny 10 ± 2 mm od spodní hrany vzorku. V případě, že tělesa plavala, byla zatížena tak, aby bylo dodrženo dostatečné ponoření, zároveň však tak, aby nedošlo k deformaci vzorku. Vzorky byly po 24 hodinách vytaženy z vody, umístěny ve svislé poloze na síť nakloněnou pod úhlem 45° a ponechány 10 minut odkapat. Následně byly zváženy a byla zaznamenána hmotnost m_{24} . Výsledná nasákavost byla získána pomocí následujícího vztahu [37]:

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{A_p}$$

W_p ... krátkodobá nasákavost [kg/m^2]

m_0 ... hmotnost suchého vzorku [kg]

m_{24} ... hmotnost vzorku namočeného po dobu 24 hodin [kg]

A_p ... ponořená plocha vzorku [m^2].

7.6 STANOVENÍ STLAČITELNOSTI

Stlačitelnost byla určována pomocí norem ČSN EN 12431: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky izolačních výrobků pro plovoucí podlahy, a ČSN EN 13162 + A1: Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace. Na počátku zkoušky byla změřena počáteční tloušťka vzorku. Zkušební těleso bylo následně umístěno na pevnou, plochou a vodorovnou základovou desku do zařízení, které vzorek zatížilo vyvoláním tlaku 250 Pa. Po uplynutí (120 ± 5) s od zvednutí tlačné

desky se změřila tloušťka vzorku d_L . Poté byl vzorek zatížen tlakem o velikosti 2000 Pa a po (120 ± 5) s od začátku zatížení byla změřena tloušťka vzorku d_F . Následně byl vzorek po dobu (120 ± 5) s zatížen tlakem 48000 Pa, po odstranění zatížení a uplynutí dalších (120 ± 5) s byla změřena tloušťka d_B [38].

Stlačitelnost byla následně stanovena jako rozdíl mezi d_L a d_B [39].



Obrázek 26: Zkušební lis pro měření stlačitelnosti.

7.7 STANOVENÍ NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI

Napětí při 10% deformaci bylo stanovováno v souladu s normou ČSN EN 826: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Zkušební vzorek o rozměrech 200x200 mm a tloušťce d byl umístěn do lisu, kde byl zatížen počátečním tlakem 50 kPa a následně byla změřena tloušťka d_0 . Poté byl vzorek dále zatěžován konstantní rychlostí 0,1d za minutu, až po dosažení 10 % deformace. Výsledkem měření je graf závislosti síla-přetvoření. Napětí se následně stanoví pomocí vztahu [42]:

$$\sigma_{10} = \frac{10^3 * F_{10}}{A_0}$$

F_{10} ... tlaková síla odpovídající 10% poměrnému stlačení [N]

A_0 ... počáteční průřez zkušební vzorku [m²]

7.8 STANOVENÍ SOUČINITELE TEPELNÉ VODIVOSTI

Součinitel tepelné vodivosti byl měřen v ustáleném tepelném stavu metodou desky v souladu s ČSN EN 12667 a ISO 8301. Zkušební vzorek byl vysušen, následně byly změřeny jeho rozměry a zvážena jeho hmotnost. Vzorek byl umístěn do zkušebního zařízení, kde se sledovala hustota tepelného toku pomocí měřidel hustoty tepelného toku umístěných v rovině mezi zkušebním tělesem a měřícími deskami otápanými na rozdílnou teplotu [40].

7.9 STANOVENÍ ČINITELE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

Činitel zvukové pohltivosti byl určován v souladu s normou ČSN ISO 10534-1: Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubicích – Část 1: Metoda poměru stojaté vlny, a byl získán ze změřeného maxima a minima akustického tlaku stojaté vlny pomocí Kundtovy trubice. Uvnitř trubice se nachází akustická sonda, složená z vozíčku, mikrofonu a sondy. Mikrofonní konec sondy je vzduchotěsně připojen ke komůrce před membránou mikrofonu. Principem měření je vytvoření stojatého vlnění, na jehož konci se nachází zkušební vzorek [41].

Zkušební vzorky byly umístěny do kruhového držáku tak, aby doléhal na dno držáku bez vzduchové mezery a bez jakýchkoliv deformací. Následně se provádělo samotné měření, kde bylo vždy sledováno maximální a minimální napětí v uzlech akustického tlaku. Měřilo se na kmitočtech třetinooktávové řady v rozsahu 100-6300 Hz. Výsledný činitel zvukové pohltivosti byl stanoven dle vztahu [41]:

$$\alpha_N = \frac{4}{n + \frac{1}{2} + 2} = \frac{4}{(n+1)^2}$$

$$n = \frac{U_{max}}{U_{min}}$$

U_{max} ... napětí na výstupu voltmetru analyzátoru v kmitně akustického tlaku [mV]

U_{min} ... napětí na výstupu voltmetru analyzátoru v uzlu akustického tlaku [mV].



Obrázek 272: Kundtova trubice pro měření činitele zvukové pohltivosti.

7.10 STANOVENÍ TLOUŠŤKY V ČASE V ZÁVISLOSTI NA STLAČENÍ

Jedná se o zkoušku, která byla navržena pro stanovení optimálního způsobu stlačování izolantu při aplikaci do dutin tvarovek, aby došlo krátkodobě k dostatečné deformaci izolantu, aby ho bylo možné do tvarovek vložit, ale aby tato deformace nebyla trvalá a izolant byl v dutinách dostatečně zafixován. Dle navrženého postupu byla sledována tloušťka v čase v závislosti na stlačení. Vzorek se na počátku zkoušky umístil do knihařského manuálního lisu, stlačil se na určitou tloušťku a následně se sledovalo opětovné nabývání tloušťky vzorku v čase a konečná deformace.

Prvně byla změřena počáteční tloušťka vzorků, ty byly následně stlačovány na tloušťky: 10; 13; 15 a 20 mm. Po vyjmutí vzorků z lisu byla měřena jejich tloušťka po 10 sekundách; 1; 2; 5 a 30 minutách.



Obrázek 3: Digitální číselníkového úchylkoměru s dotykovou deskou pro měření tloušťky.

7.11 NÁVRH TECHNOLOGIE PLNĚNÍ KERAMICKÝCH TVAROVEK

V rámci této kapitoly byla navržena technologie plnění keramických zdících tvarovek. Princip plnění vychází ze systému plnění, používaného v současnosti, pro plnění keramických tvarovek minerální vatou. Byla brána v potaz variabilita materiálu z textilních vláken, zejména z pohledu tloušťky, objemové hmotnosti a tuhosti.

7.12 VYHODNOCENÍ ENVIROMENTÁLNÍHO DOPADU

K vyhodnocení enviromentálního dopadu nového produktu s integrovanou izolací z druhotných textilních vláken bylo použito metody CML. Jedná se o dobře propracovanou metodu vhodnou pro většinu studií LCA. Metoda je založena na midpointových indikátorech kategorií dopadu [31].

8 PROVEDENÍ A VÝSLEDKY ZKOUŠEK

8.1 STANOVENÍ TLOUŠŤKY

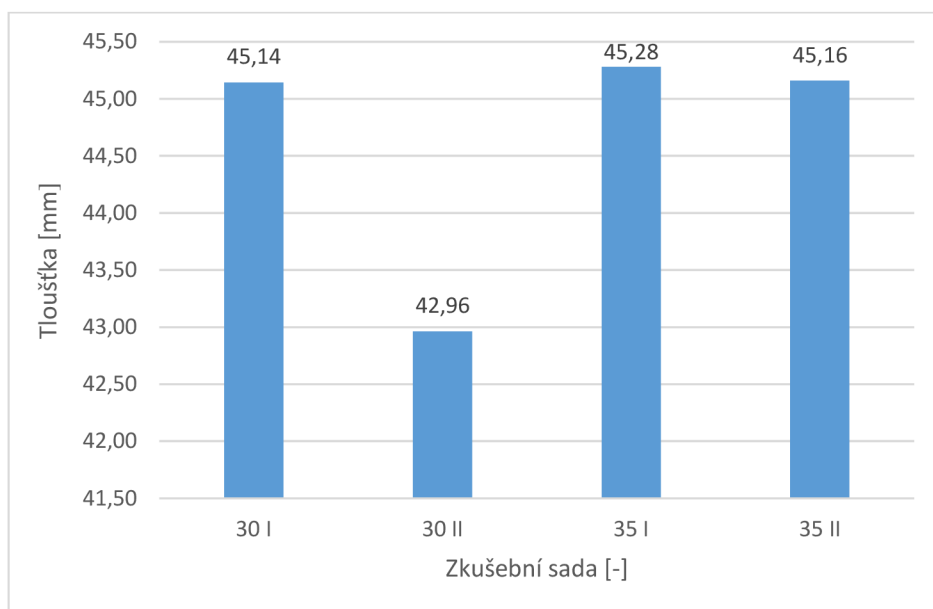
Tloušťka zkušebních vzorků byla měřena podle normy ČSN EN 823: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. Měření probíhalo na 4 sadách zkušebních vzorků, přičemž každá sada obsahovala 8 vzorků. Pro měření byl použit digitální úchylkoměr s přítlačnou deskou.

Tabulka 7: Stanovení tloušťky vzorků.

Zk. vzorek	Označení	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka vzorku [mm]	Průměrná tloušťka sady vzorků [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
30 I	A	44,09	43,14	44,30	43,84	45,14	0,774
	B	44,70	44,57	44,66	44,64		
	C	45,30	46,30	44,88	45,49		
	D	44,13	45,01	45,67	44,94		
	E	45,40	45,87	45,59	45,62		
	F	45,57	46,15	44,57	45,43		
	G	46,89	47,07	45,80	46,59		
	H	44,88	43,73	45,18	44,60		
30 II	A	43,28	42,28	42,96	42,84	42,96	0,901
	B	43,41	45,35	44,05	44,27		
	C	43,26	41,72	43,21	42,73		
	D	44,39	45,63	43,21	44,41		
	E	42,36	41,49	42,68	42,18		
	F	43,04	42,59	44,13	43,25		
	G	40,58	41,67	43,05	41,77		
	H	41,03	42,66	43,08	42,26		
35 I	A	47,30	46,78	44,30	46,13	45,28	0,578
	B	45,80	44,29	44,33	44,81		
	C	44,57	45,52	44,80	44,96		
	D	45,67	46,23	44,81	45,57		
	E	44,70	45,50	44,38	44,86		
	F	44,78	43,23	45,27	44,43		
	G	47,01	44,58	44,67	45,42		
	H	45,86	46,41	45,93	46,07		
35 II	A	47,85	43,72	46,67	46,08	45,16	0,740
	B	45,65	45,00	47,38	46,01		
	C	44,45	44,35	43,90	44,23		
	D	43,70	44,44	44,80	44,31		
	E	45,05	47,38	45,78	46,07		
	F	43,25	45,77	45,85	44,96		

	G	45,66	44,07	43,98	44,57		
	H	44,80	44,94	45,37	45,04		

Graf 1: Přehled tloušťek zkušebních vzorků.



Dílčí vyhodnocení:

Tloušťka zkušebních vzorků byla měřena pro zjištění reálné tloušťky, která se může lišit od tloušťky výrobní, která byla ve všech případech 40 mm. Největší průměrné tloušťky dosáhly vzorky 35 I, a to 45,28 mm. Vzorky 30 I a 35 II dosáhly obdobných hodnot, 45,14 a 45,16 mm. Nejmenší tloušťka byla naměřena u vzorku 30 II, a to 42,96 mm. Zde je ovšem dobré přihlídnout ke směrodatné odchylce, která je u tohoto konkrétního vzorku 0,901, což značí velký rozptyl naměřených hodnot. Byť bylo dosaženo průměrné nejnižší tloušťky, hodnota nejvyšší změřené byla 45,63 mm. Všechny vzorky u všech čtyř typů izolantu vykazovaly tloušťky vyšší než 40 mm, proto lze konstatovat, že je možné je po stlačení do dutin tvarovek aplikovat, aniž by docházelo k jejich vypadávání a vždy dutinu vyplní bez vzniku vzduchových dutin.

8.2 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

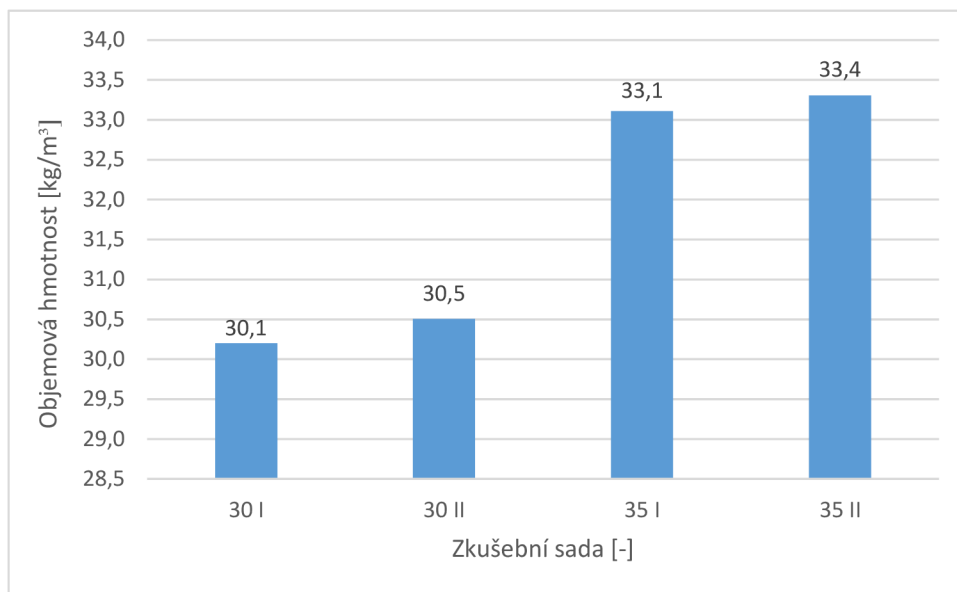
Objemová hmotnost byla vyhodnocena v souladu s normou ČSN EN 1602: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti. Zkouška byla provedena na 4 sadách zkušebních vzorků po 8 vzorcích. Nejdříve se změřily příčné rozměry a tloušťka vzorků. Následně byla zvážena jejich hmotnost a ze získaných dat byla vypočtena objemová hmotnost jako poměr

hmotnosti a objemu. Měřily se vzorky o rozměrech 120 x 120 cm, kondicionovány při laboratorních podmínkách, tj. při teplotě 23 °C a relativní vlhkosti 50 %.

Tabulka 8: Stanovení reálné objemové hmotnosti.

Zk. vzorek	Označení	Hmotnost [kg]	Příčné rozměry [mm]		Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m ³]	Směrodatná odchylka [kg/m ³]
30 I	A	1,932	1205	1212	43,843	30,2	30,1	0,707
	B	1,978	1200	1208	44,643	30,6		
	C	1,930	1203	1212	45,493	29,1		
	D	2,000	1205	1213	44,937	30,4		
	E	1,980	1204	1216	45,620	29,6		
	F	1,940	1201	1220	45,430	29,1		
	G	2,056	1202	1213	46,587	30,3		
	H	2,032	1203	1209	44,597	31,3		
30 II	A	1,892	1202	1211	42,840	30,3	30,5	0,422
	B	1,966	1204	1217	44,270	30,3		
	C	1,898	1201	1207	42,730	30,6		
	D	1,918	1203	1205	44,410	29,8		
	E	1,862	1202	1208	42,177	30,4		
	F	1,900	1202	1205	43,253	30,3		
	G	1,898	1202	1204	41,767	31,4		
	H	1,868	1203	1208	42,257	30,4		
35 I	A	2,152	1212	1202	46,127	32,0	33,1	0,631
	B	2,204	1203	1214	44,807	33,7		
	C	2,198	1206	1216	44,963	33,3		
	D	2,136	1200	1211	45,570	32,3		
	E	2,206	1212	1205	44,860	33,7		
	F	2,206	1214	1203	44,427	34,0		
	G	2,128	1186	1199	45,420	32,9		
	H	2,170	1190	1201	46,067	33,0		
35 II	A	2,194	1197	1216	46,080	32,7	33,4	1,251
	B	2,272	1200	1213	46,010	33,9		
	C	2,204	1198	1209	44,233	34,4		
	D	2,271	1202	1211	44,313	35,2		
	E	2,146	1205	1214	46,070	31,8		
	F	2,220	1199	1213	44,957	34,0		
	G	2,214	1203	1218	44,570	33,9		
	H	2,062	1201	1219	45,037	31,3		

Graf 2: Přehled reálných objemových hmotností zkušebních vzorků.



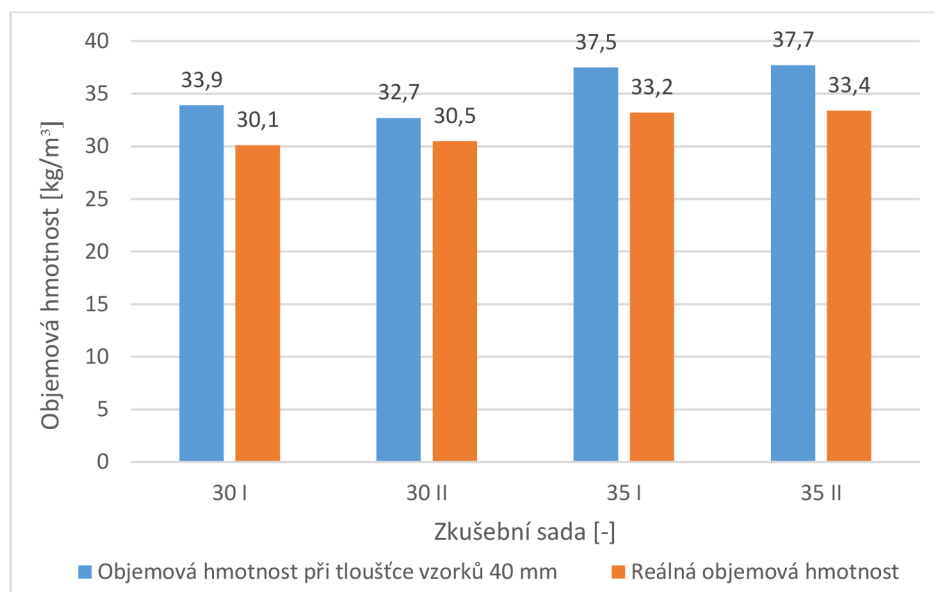
Dále byly naměřené hodnoty přepočítány na stav izolantu po aplikaci do dutin tvarovky, tedy na jednotnou tloušťku 40 mm. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 9: Stanovení objemové hmotnosti pro tloušťku vzorků 40 mm.

Zk. vzorek	Označení	Hmotnost [kg]	Příčné rozměry [mm]		Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg/m³]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m³]	Směrodatná odchylka [kg/m³]
30 I	A	1,932	1205	1212	40,0	33,1	33,9	0,790
	B	1,978	1200	1208	40,0	34,1		
	C	1,930	1203	1212	40,0	33,1		
	D	2,000	1205	1213	40,0	34,2		
	E	1,980	1204	1216	40,0	33,8		
	F	1,940	1201	1220	40,0	33,1		
	G	2,056	1202	1213	40,0	35,3		
	H	2,032	1203	1209	40,0	34,9		
30 II	A	1,892	1202	1211	40,0	32,5	32,7	0,453
	B	1,966	1204	1217	40,0	33,5		
	C	1,898	1201	1207	40,0	32,7		
	D	1,918	1203	1205	40,0	33,1		
	E	1,862	1202	1208	40,0	32,1		
	F	1,900	1202	1205	40,0	32,8		
	G	1,898	1202	1204	40,0	32,8		

	H	1,868	1203	1208	40,0	32,1		
35 I	A	2,152	1212	1202	40,0	36,9	37,5	0,385
	B	2,204	1203	1214	40,0	37,7		
	C	2,198	1206	1216	40,0	37,5		
	D	2,136	1200	1211	40,0	36,7		
	E	2,206	1212	1205	40,0	37,8		
	F	2,206	1214	1203	40,0	37,8		
	G	2,128	1186	1199	40,0	37,4		
	H	2,170	1190	1201	40,0	38,0		
35 II	A	2,194	1197	1216	40,0	37,7	37,7	1,174
	B	2,272	1200	1213	40,0	39,0		
	C	2,204	1198	1209	40,0	38,0		
	D	2,271	1202	1211	40,0	39,0		
	E	2,146	1205	1214	40,0	36,7		
	F	2,220	1199	1213	40,0	38,2		
	G	2,214	1203	1218	40,0	37,8		
	H	2,062	1201	1219	40,0	35,2		

Graf 3: Porovnání reálných objemových hmotností a objemových hmotností pro tloušťku vzorků 40 mm.



Dílčí vyhodnocení:

Na zkušebních vzorcích bylo provedeno stanovení reálné objemové hmotnosti, a také objemové hmotnosti, kterou budou mít izolanty po aplikaci do dutin zdicích tvarovek. U vzorků s objemovou hmotností 30 kg/m³ (obou typů) se podařilo vyrobit výrobek se shodnou objemovou hmotností, jak bylo pro výrobu plánováno. U vzorků s objemovou hmotností 35 kg/m³, byla reálná výrobní

objemová hmotnost mírně nižší, než bylo plánováno. V obou případech však vzorky vykazovaly větší tloušťky, proto po stlačení vzorků na jednotnou tloušťku 40 mm vykazují všechny zkušební vzorky mírně vyšší objemové hmotnosti, než bylo plánováno. Rozdíl mezi izolanty s různým podílem BiCo vlákna je minimální.

Objemová hmotnost byla měřena k ověření reálných hodnot. Vzorky 30 I a 30 II měly dosahovat objemové hmotnosti 30 kg/m^3 , a vzorky 35 I a 35 II hodnoty 35 kg/m^3 . Nejnižší hodnoty, zároveň však nejbližší očekávanému výsledku, dosáhl vzorek 30 I s objemovou hmotností $30,1 \text{ kg/m}^3$. Vzorek 30 II má průměrnou objemovou hmotnost $30,5 \text{ kg/m}^3$. Zbylé dva vzorky dosahují naopak nižších hodnot, než bylo očekáváno. Vzorek 35 I průměrné hodnoty $33,1 \text{ kg/m}^3$ a vzorek 35 II pak $33,4 \text{ kg/m}^3$. Vzhledem k velkému množství měřených vzorků je předpokládán i velký rozsah hodnot. Největšího dosáhl vzorek 35 II, kdy nižší objemová hmotnost jednotlivých měření dosáhla hodnoty $31,3 \text{ kg/m}^3$, největší pak $35,2 \text{ kg/m}^3$.

8.3 STANOVENÍ REAKCE NA OHEŇ

Reakce na oheň byla stanovena pomocí zkoušky malým plamenem dle normy ČSN EN ISO 11925-2: Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene. V rámci zkoušky bylo sledováno chování vzorku v přímém kontaktu s plamenem. Po dobu 15 s na vzorek působil plamen, přičemž se pozorovalo, zda došlo k zapálení vzorku a jaké výšky dosáhla výška špičky plamene. Ta se sledovala dalších 5 s po odtažení plamene, celá zkouška tedy trvala 20 s. Zkoušelo se působení plamene na hranu a na plochu, vždy na 4 sadách vzorků po 3 zkušebních vzorcích.

Tabulka 10: Stanovení výšky špičky plamene při působení na hranu.

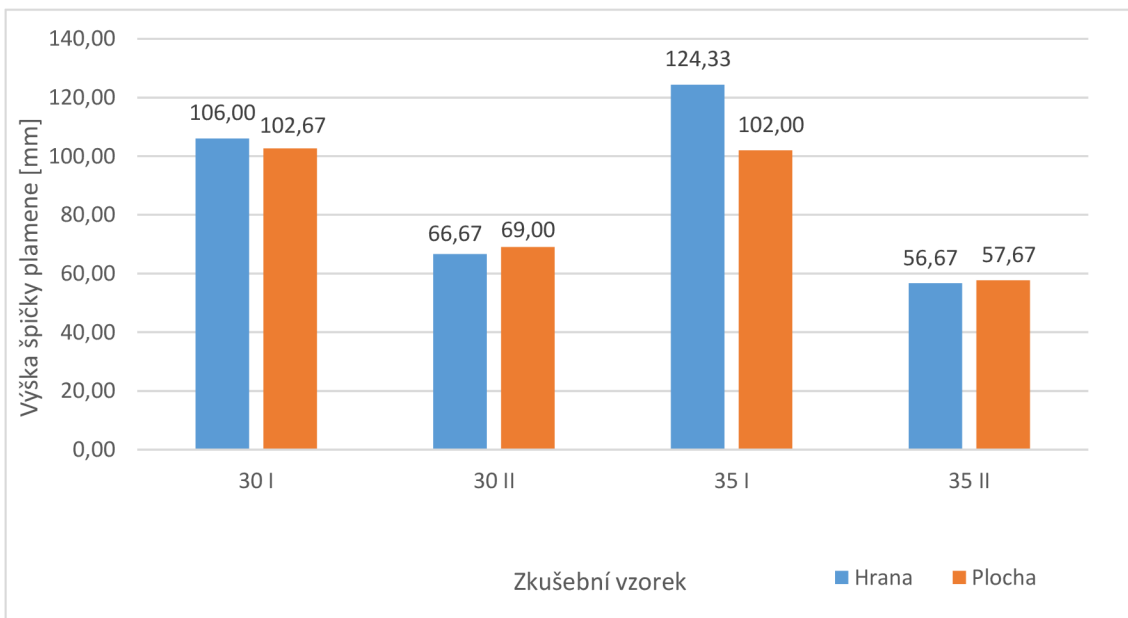
Zk. vzorek	Označení	Zapálení vzorku (ano/ne)	Výška špičky plamene [mm]	Průměrná výška špičky plamene [mm]
30 I	1	Ano	108	106,00
	2	Ano	111	
	3	Ano	99	
30 II	1	Ano	68	66,67
	2	Ano	67	
	3	Ano	65	
35 I	1	Ano	126	124,33
	2	Ano	128	
	3	Ano	119	
35 II	1	Ano	58	56,67

	2	Ano	57	
	3	Ano	55	

Tabulka 11: Stanovení výšky špičky plamene při působení na plochu.

Zk. vzorek	Označení	Zapálení vzorku (ano/ne)	Výška špičky plamene [mm]	Průměrná výška špičky plamene [mm]
30 I	1	Ano	98	102,67
	2	Ano	107	
	3	Ano	103	
30 II	1	Ano	67	69,00
	2	Ano	72	
	3	Ano	68	
35 I	1	Ano	81	102,00
	2	Ano	127	
	3	Ano	98	
35 II	1	Ano	57	57,67
	2	Ano	57	
	3	Ano	59	

Graf 4: Přehled maximálních výšek špičky plamene zkušebních vzorků.



Dílčí vyhodnocení:

V rámci zkoušky malým plamenem bylo sledováno, zda dojde k zapálení vzorku a jaké výšky dosáhne špička plamene po dobu 20 s od přiložení plamene ke vzorku. Pokud by výška špičky plamene přesáhla 150 mm, byl by zaznamenán čas, kdy k tomu došlo. V rámci měření však tato hodnota překročena nebyla, což znamená, že výsledná reakce na oheň by byla E (pro zatřídění do vyšších tříd by bylo nutné provedení zkoušky s působením plamene po dobu 30 s a další doplňkové zkoušky dle dané třídy reakce na oheň). Nižších hodnot dosáhly vzorky 30 II a 35 II, které obsahovaly 20 % bikomponentních vláken. Naopak horších výsledků, tj. vyšší výšky špičky plamene, dosáhly vzorky 30 I a 35 I obsahující pouze 10 % bikomponentních vláken. Nejvyšší průměrné hodnoty dosáhl vzorek 35 I při působení plamene na hranu, 124,33 mm. Nejnižší výšky špičky plamene pak dosáhl vzorek 35 II při působení na hranu, a to 56,67 mm.

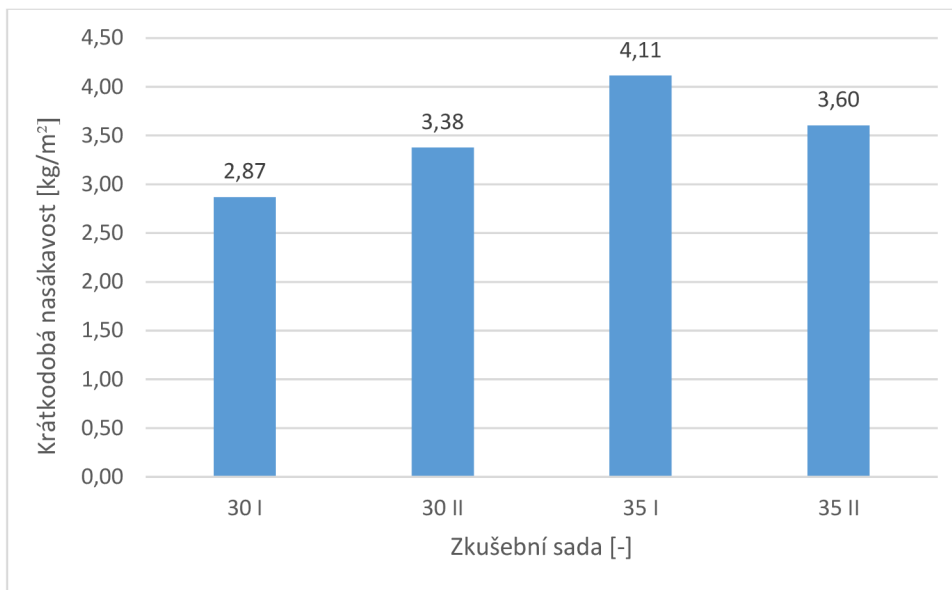
8.4 STANOVENÍ KRÁTKODOBÉ NASÁKAVOSTI

Stanovení krátkodobé nasákavosti izolantů probíhalo v souladu s normou ČSN EN ISO 29767: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření. Zkušební vzorky byly na počátku zkoušky zváženy, změřeny a následně byly na 24 hodin umístěny do nádržky s vodou. Po uplynutí dané doby byly vytaženy z vody, ponechány 10 minut okapat a následně byly opětovně zváženy. Poté byla vyhodnocena krátkodobá nasákavost jako poměr rozdílu hmotností a plochy vzorku. Zkouška probíhala na 4 sadách vzorků, od každé sady vždy 2 různé vzorky.

Tabulka 12: Stanovení krátkodobé nasákavosti.

Zk. vzorek	Označení	Příčné rozměry [mm]		Hmotnost m_0 [g]	Hmotnost m_{24} [g]	Krátkodobá nasákavost [kg/m ²]	Průměrná krátkodobá nasákavost [kg/m ²]
30 I	1	201	203	53,86	185,07	3,22	2,87
	2	203	204	55,60	160,07	2,52	
30 II	1	203	200	50,71	194,60	3,54	3,38
	2	200	199	50,88	178,72	3,21	
35 I	1	199	200	60,25	215,31	3,90	4,11
	2	203	202	62,11	239,77	4,33	
35 II	1	198	202	60,66	197,47	3,42	3,60
	2	200	200	62,02	213,55	3,79	

Graf 5: Přehled krátkodobé nasákavosti zkušebních vzorků.



Dílčí vyhodnocení:

Nejnižší krátkodobé nasákavosti dosáhl vzorek 30 I, a to 2,87 kg/m². Naopak nejvyšší nasákavosti dosáhl s hodnotou 4,11 kg/m² vzorek 35 I. Obecně lze říct, že nižší nasákavosti způsobují vzorky s nižší objemovou hmotností. V porovnání s minerální vlnou, kde výrobce deklaruje hodnotu 1 kg/m² a méně, dosáhly zkušební vzorky vyšší nasákavosti.

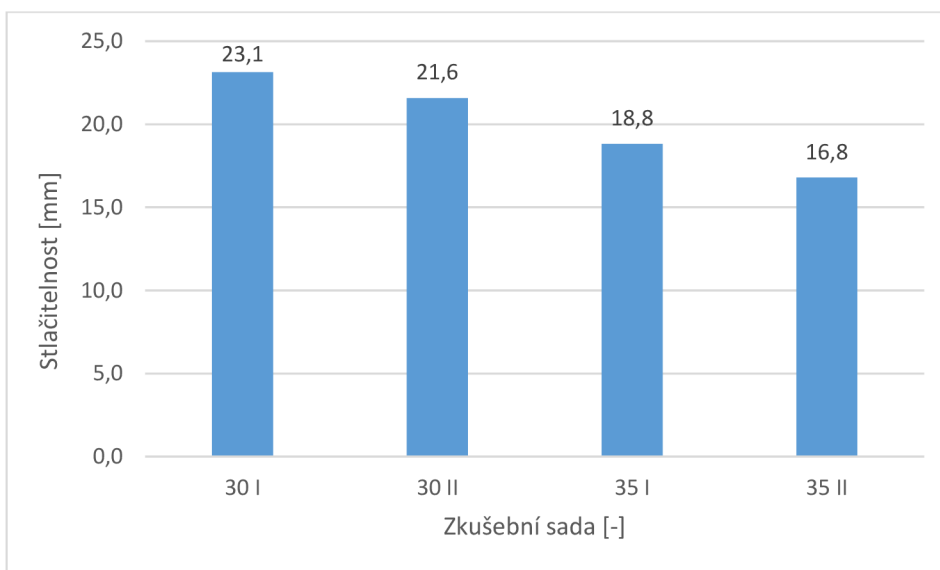
8.5 STANOVENÍ STLAČITELNOSTI

Stlačitelnost byla určována dle norem ČSN EN 12431: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky izolačních výrobků pro plovoucí podlahy, a ČSN EN 13162 + A1: Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace. Na začátku zkoušky byla změřena tloušťka vzorku, ten byl následně umístěn do zkušebního lisu. Tam docházelo k postupnému zatěžování vzorku, za předem definované velikosti vyvozaného tlaku a po předem definovaném časovém úseku se opět měřila tloušťka vzorku. Měření probíhalo na 4 sadách vzorků po 2 zkušebních vzorcích. Výsledná stlačitelnost je udávána jak v mm, tak v %.

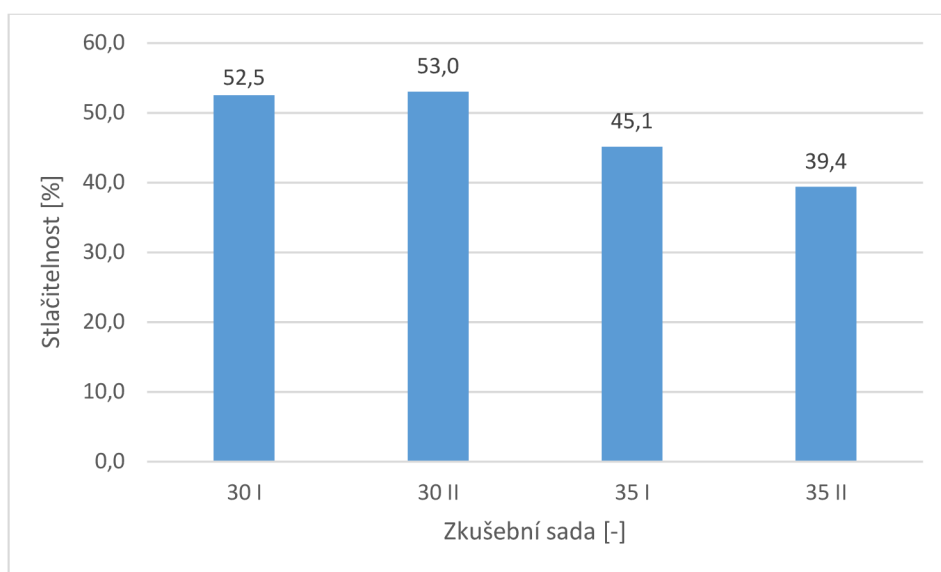
Tabulka 13: Stanovení stlačitelnosti.

Zk. vzorek	Označení	Počáteční tloušťka [mm]	d _L [mm]	d _F [mm]	d _B [mm]	Stlačitelnost [mm]	Průměrná stlačitelnost [mm]	Stlačitelnost [%]	Průměrná stlačitelnost [%]
30 I	1	43,43	42,0	34,9	19,0	23,1	23,1	53,1	52,5
	2	44,68	43,1	35,7	19,9	23,2		51,9	
30 II	1	39,97	38,7	32,3	17,5	21,2	21,6	53,1	53,0
	2	41,46	40,4	34,5	18,5	21,9		52,9	
35 I	1	43,41	41,8	35,5	22,8	19,0	18,8	43,8	45,1
	2	40,08	38,8	33,0	20,2	18,6		46,5	
35 II	1	42,68	41,6	37,4	25,2	16,4	16,8	38,4	39,4
	2	42,59	42,2	38,1	25,0	17,2		40,3	

Graf 6: Přehled stlačitelnosti zkušebních vzorků.



Graf 7: Přehled stlačitelnosti zkušebních vzorků v procentech.



Dílčí vyhodnocení:

Jednou ze zkoušených mechanických vlastností bylo stanovení stlačitelnosti zkušebních vzorků. Největší stlačitelnosti v mm dosáhl vzorek 30 I, a to 23,1 mm. V procentuálním vyjádření dosáhl největší stlačitelnosti vzorek 30 II, konkrétně 53 %. Nejnižších hodnot dosáhl v obou způsobech vyjádření vzorek 35 II, 16,8 mm a 39,4 %. Vyšších hodnot dosahují obecně vzorky s nižší objemovou hmotností. Obecně lze říct, že vzorky mají vysokou stlačitelnost a mělo by tedy být snadné je bez problémů aplikovat do dutin tvarovek.

8.6 STANOVENÍ NAPĚTÍ PŘI 10% DEFORMACI

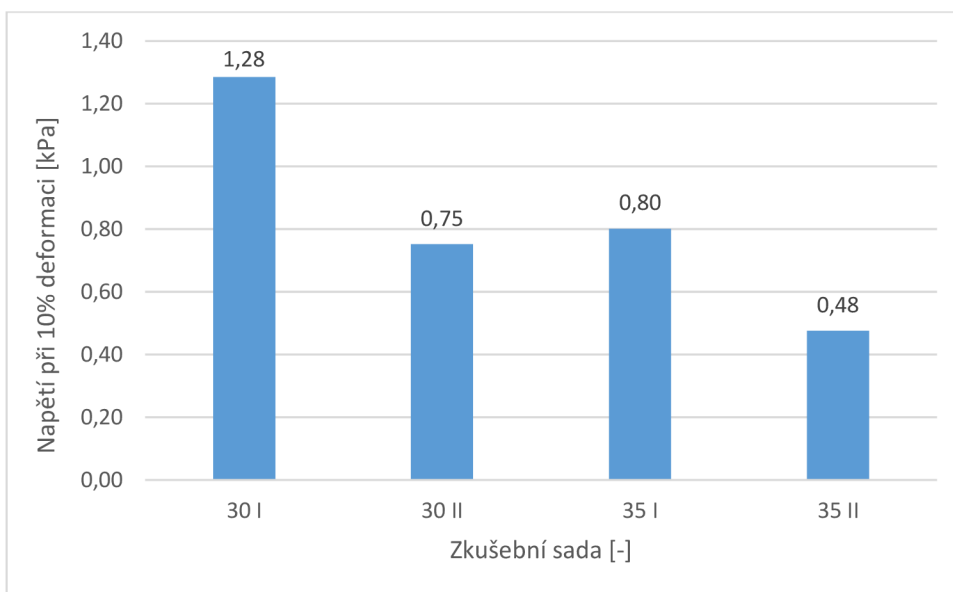
Stanovení napětí při 10% deformaci probíhalo v souladu s normou ČSN EN 826: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Zkušební vzorky byly postupně zatěžovány ve zkušebním lisu až do dosažení 10% deformace. Byly měřeny 4 sady zkušebních vzorků, vždy po 3 vzorcích o rozměrech 200 x 200 mm.

Tabulka 14: Stanovení napětí při 10% deformaci.

Zk. vzorek	Označení	Příčné rozměry [mm]		10% deformace [mm]	Síla při 10% deformaci [N]	Napětí při 10% deformaci [kPa]	Průměrné napětí při 10% deformaci [kPa]
30 I	1	204	204	4,04	61,4	1,48	1,28
	2	200	204	4,13	44,3	1,09	
	3	204	204	4,03	53,3	1,29	

30 II	1	202	202	5,08	49,4	1,21	0,75
	2	205	205	4,19	18,7	0,44	
	3	202	202	4,15	24,5	0,60	
35 I	1	202	204	4,02	31,1	0,75	0,80
	2	202	203	4,01	35,1	0,86	
	3	202	204	4,20	31,3	0,79	
35 II	1	205	201	4,07	22,4	0,54	0,48
	2	201	198	4,61	17,2	0,43	
	3	198	203	5,07	18,1	0,45	

Graf 8: Přehled napětí při 10% deformaci zkušebních vzorků



Dílčí vyhodnocení:

Mechanické vlastnosti lze vyjádřit pomocí napětí při 10% deformaci. Dosažené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 0,48 – 1,28 kPa. Nejvyšší napětí bylo změřeno u vzorku 30 I, nejnižší pak u vzorku 35 II. Vyšších hodnot dosahovaly vzorky s nižším obsahem bikomponentních vláken, ideálně v kombinaci s nižší objemovou hmotností. Deklarovaná hodnota napětí při 10% deformaci minerální vlny je 5 kPa. Je tedy patrné, že textilní izolanty jsou obecně měkčí, a proto je nutné volit pro vložení do tvarovek odlišný způsob, než je tomu v případě minerální vlny.

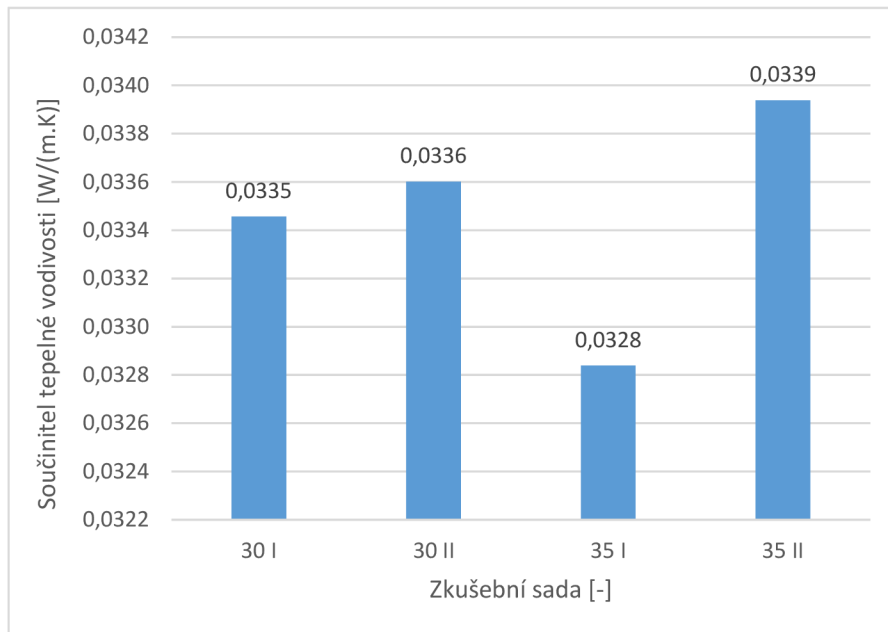
8.7 STANOVENÍ SOUČINITELE TEPELNÉ VODIVOSTI

Součinitel tepelné vodivosti byl měřen dle normy ČSN 72 7012-1: Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Zkouška probíhala na 4 zkušebních sadách po 4 zkušebních vzorcích. Byly změřeny vždy tři hodnoty součinitele tepelné vodivosti, přičemž v tabulce je uveden průměr naměřených hodnot.

Tabulka 15: Stanovení součinitele tepelné vodivosti.

Zk. vzorek	Označení	Hmotnost [g]	Příčné rozměry [mm]		Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]	Průměrný součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]
30 I	1	52,47	203	200	39,97	32,3	0,0336	0,0335
	2	53,39	206	202	39,97	32,1	0,0335	
	3	53,60	198	202	39,99	33,5	0,0335	
	4	54,43	202	203	39,99	33,2	0,0332	
30 II	1	49,05	203	204	39,99	29,6	0,0335	0,0336
	2	47,77	204	205	39,99	28,6	0,0334	
	3	48,20	202	201	39,98	29,7	0,0340	
	4	47,76	202	199	39,96	29,7	0,0336	
35 I	1	62,40	205	205	39,99	37,1	0,0328	0,0328
	2	61,78	202	201	39,97	38,1	0,0328	
	3	55,34	192	205	39,99	35,2	0,0329	
	4	58,88	203	200	39,98	36,3	0,0329	
35 II	1	59,51	199	198	39,97	37,8	0,0341	0,0339
	2	63,59	200	203	39,97	39,2	0,0337	
	3	60,48	200	198	39,98	38,2	0,0340	
	4	61,83	202	199	39,98	38,5	0,0340	

Graf 9: Přehled součinitelů tepelné vodivosti zkušebních vzorků.



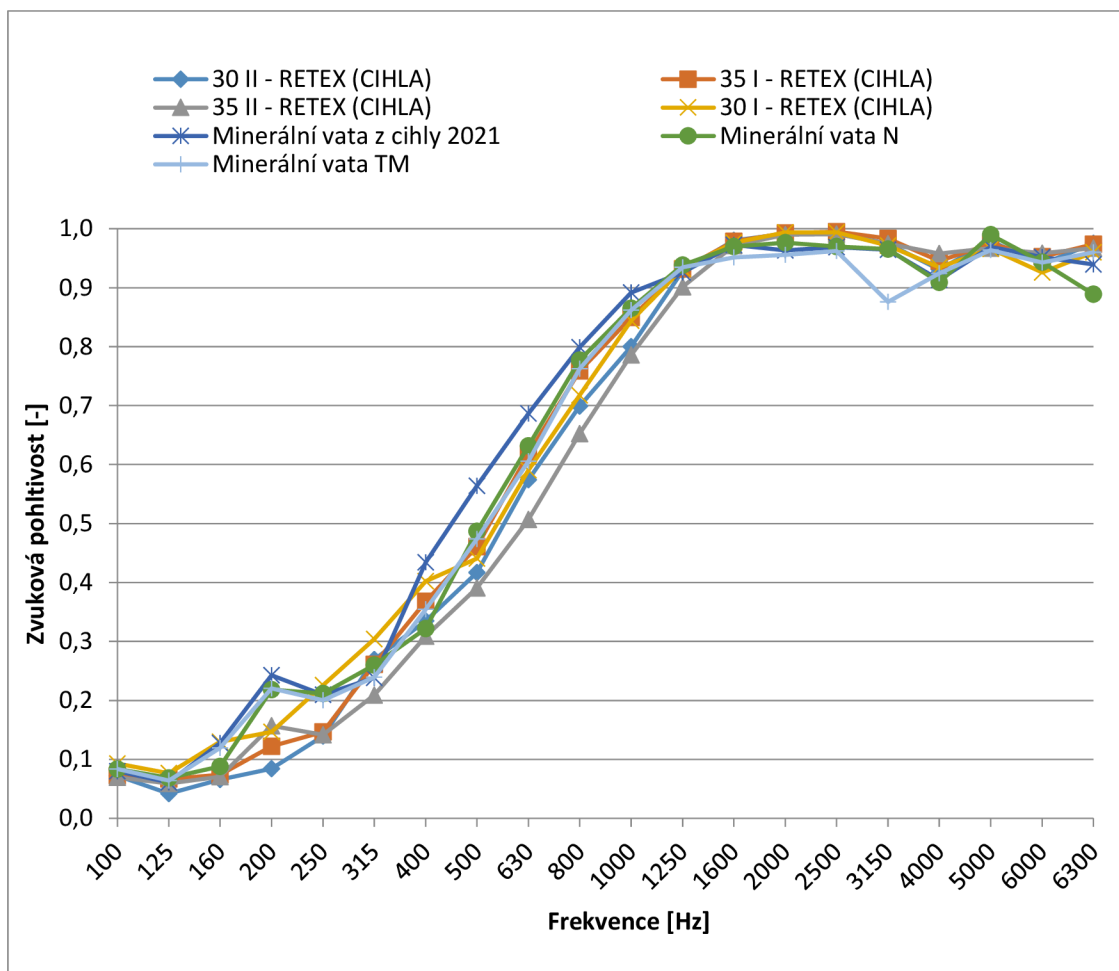
Dílčí vyhodnocení:

Výsledné hodnoty součinitele tepelné vodivosti se pohybovaly v rozmezí 0,0328 – 0,0340 W/(m.K). Nejvyšší hodnoty dosáhl vzorek 35 II, nejnižší vzorek 35 I. Jedná se však o minimální rozdíly, kdy základním předpokladem této zkoušky bylo dosažení obdobných či lepších hodnot než minerální vlna užívaná jako izolace v současné době. Výrobce minerální vlny deklaruje hodnotu součinitele zvukové pohltivosti 0,035 W/(m.K). Zkušební vzorky s 10% obsahem bikomponentních vláken dosáhly hodnoty 0,033 W/(m.K) a lépe, vzorky obsahující 20 % bikomponentních vláken pak 0,034 W/(m.K) a lépe.

8.8 STANOVENÍ ČINITELE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

Hodnota činitele zvukové pohltivosti byla stanovována dle normy ČSN ISO 10534-1: Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích – Část 1: Metoda poměru stojaté vlny. Zkouška spočívala v měření maximálního a minimálního akustického tlaku stojaté vlny pomocí Kundtovy trubice. Měření probíhalo na 4 sadách vzorků z textilních vláken od firmy RETEX a na 3 sadách vzorků z minerální vaty. Každá sada obsahovala 2 zkušební vzorky a měření probíhalo v třetinooktávních pásmech od 100 Hz do 6300 Hz.

Graf 10: Závislost činitele zvukové pohltivosti na frekvenci.



Dílčí vyhodnocení:

Činitel zvukové pohltivosti byl stanovován na zkušebních vzorcích z textilních vláken a na vzorcích z minerální vlny. Oba materiály dosahovaly obdobných hodnot, kdy lze drobné výkyvy hodnot přikládat chybě měření. Obecně je možné říct, že zkušební vzorky dosahují stejných akustických vlastností jako doposud užívaný materiál z minerální vlny.

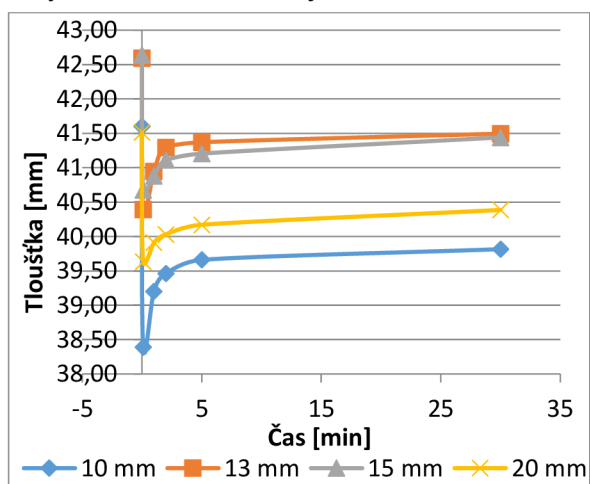
8.9 STANOVENÍ TLOUŠŤKY V ČASE V ZÁVISLOSTI NA STLAČENÍ

V rámci této zkoušky bylo sledována opětovné nabývání tloušťky vzorků po počátečním stlačení. To bylo zvoleno na 10; 13; 15 a 20 mm, byly zkoušeny 4 sady vzorků, po 2 zkušebních vzorcích. Po stlačení vzorku byla měřena jeho tloušťka po 10 sekundách, 1; 2; 5 a 30 minutách a průměrné výsledky byly vyhodnoceny jako stlačitelnost v %.

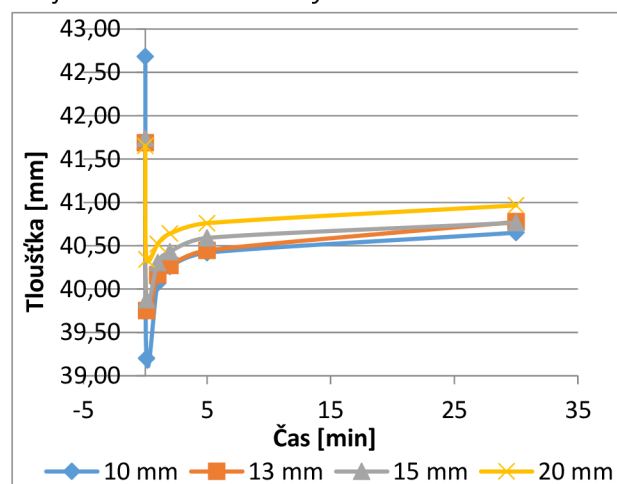
Tabulka 16: Stanovení výsledné tloušťky v závislosti na čase.

Zk. vzorek	Max. stlačení [mm]	Počáteční tloušťka [mm]	Tloušťka v čase [mm]					Počáteční stlačení (po 10 s) [%]	Konečné stlačení (po 30 min) [%]
			10 s	1 min.	2 min.	5 min.	30 min.		
30 I	10	41,60	38,39	39,20	39,46	39,66	39,82	7,72	4,29
	13	42,59	40,39	40,95	41,30	41,37	41,50	5,17	2,57
	15	42,64	40,68	40,88	41,11	41,21	41,44	4,61	2,81
	20	41,51	39,64	39,91	40,03	40,17	40,39	4,52	2,71
30 II	10	42,68	39,20	40,07	40,26	40,42	40,65	8,15	4,76
	13	41,69	39,75	40,17	40,27	40,45	40,78	4,65	2,19
	15	41,74	39,88	40,31	40,43	40,59	40,77	4,47	2,34
	20	41,65	40,34	40,52	40,64	40,76	40,97	3,15	1,64
35 I	10	41,92	39,01	39,80	39,91	40,03	40,56	6,94	3,24
	13	42,27	40,21	40,70	40,90	41,16	41,45	4,89	1,95
	15	42,75	41,05	41,28	41,56	41,65	41,88	3,99	2,05
	20	42,72	40,95	41,26	41,48	41,65	41,80	4,14	2,14
35 II	10	39,48	36,72	36,72	36,85	37,05	37,39	6,99	5,31
	13	38,84	36,98	36,98	37,24	37,34	37,58	4,79	3,26
	15	39,42	38,01	38,01	38,21	38,37	38,45	3,59	2,47
	20	39,26	37,91	37,91	38,04	38,14	38,41	3,45	2,17

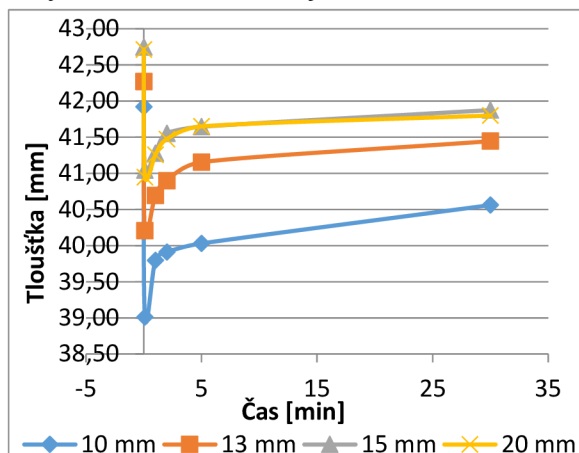
Graf 11: Stanovení tloušťky v čase - vzorek 30 I



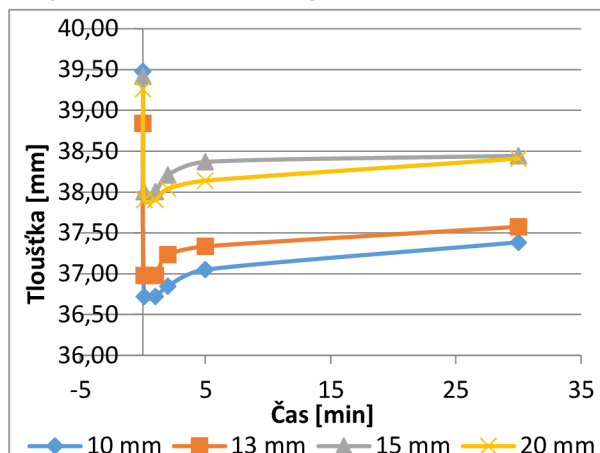
Graf 12: Stanovení tloušťky v čase - vzorek 30 II



Graf 13: Stanovení tloušťky v čase – vzorek 35 I



Graf 14: Stanovení tloušťky v čase – vzorek 35 II



Dílčí vyhodnocení:

Účelem této zkoušky bylo určení ideálního počátečního stlačení materiálu, kdy je požadováno, aby vzorek dosáhl krátkodobé tloušťky pod 40 mm. Zároveň však nesmí dojít k výrazné trvalé deformaci, neboť konečná tloušťka nesmí být výrazně pod hodnotou 40 mm. Na základě těchto požadavků a na základě provedené zkoušky se jako ideální stlačení jeví stlačení na tloušťku 13 až 15 mm. V rámci zkoušky je nutné brát v potaz rozdílná tloušťka vzorků.

8.10 NÁVRH TECHNOLOGIE PLNĚNÍ KERAMICKÝCH TVAROVEK

V rámci experimentální části diplomové práce byl posouzen způsob plnění keramických tvarovek izolací.

Úvodem je dobré shrnout stávající systém plnění tvarovek minerální vatou. Desky tepelné izolace jsou nařezány na tzv. pady, což je označení pro jeden kus izolantu, sloužící jako výplň jedné dutiny. Takto nařezané pady putují do zásobníku, kde dochází k jejich nabrání pomocí jehel umístěných na pohyblivém rameni. To následně přenesené nabodnuté pady nad prázdnou tvarovku a za pomoci plastové plnicí šablony vloží pady do tvarovky. Poté jsou jehly vyjmuty z izolantu vloženém do tvarovky. Následuje vizuální kontrola kvality pracovníkem, který upraví případné nedostatky. Tento způsob plnění naplní vždy celou tvarovku najednou.

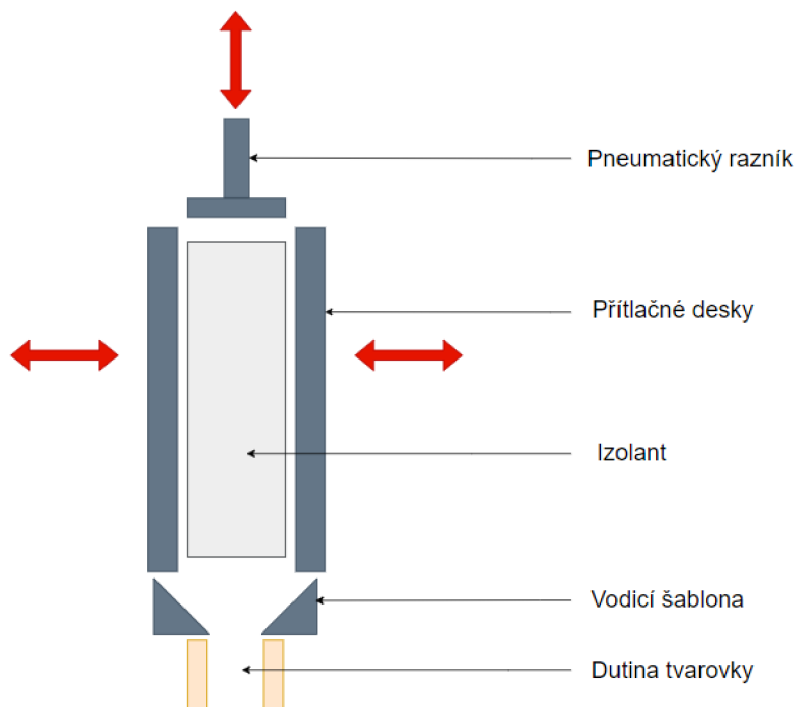
U izolantů na bázi textilních vláken dochází však k problémům, které vylučují možnost použití stejného postupu plnění. Byl zjištěn problém při nabodávání padů, kdy pady nebylo možné propíchnout plnicí jehlou. Dalším problémem je tloušťka izolantu, která je větší, než je tloušťka dutiny v tvarovce. Je třeba tedy využít jiný postup, který se zaměří na tyto problémy

Nový systém plnění má obdobný začátek, kdy dojde k nařezání desek izolantů na jednotlivé pady, které budou dopravníkem přepraveny nad tvarovku a plnicí hlavu. Následné plnění bude probíhat po řadách dutin, kdy dojde vždy k naplnění jedné řady dutin, poté dojde k posunutí o řadu a pokračuje plynulé plnění. Pro zvýšení produktivity je možné plnit více tvarovek vedle sebe. Samotné plnění je navrženo dvojitě:

- 1) Plnění stlačením padů pneumatickým lisem a následné mechanické zatlačení padu do tvarovky.
- 2) Plnění stlačením padů pomocí pásů.

Varianta 1):

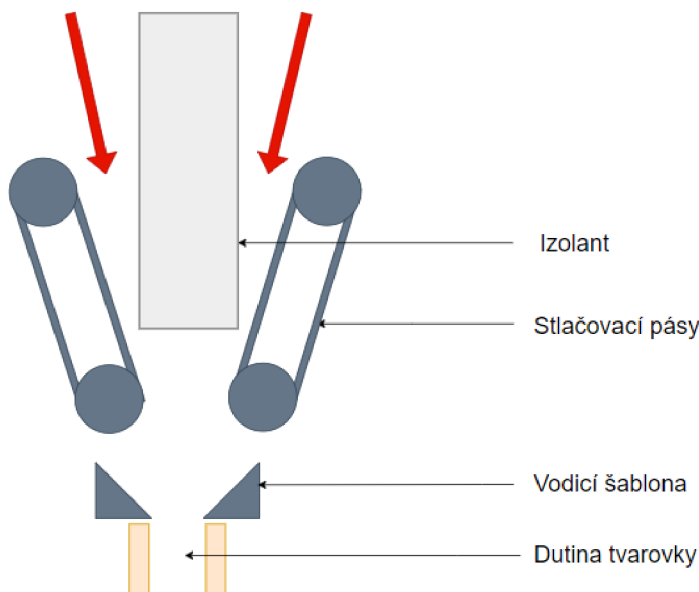
Plnění bude probíhat pomocí desek, mezi které bude pad. Následně dojde k pneumatickému stlačení desek na požadovanou tloušťku. Poté dojde k uvolnění přitlačných desek a pad bude razníkem vsunut do tvarovky. Po naplnění se celá tvarovka posune o jednu řadu dutin a proces se opakuje. Schéma metody je znázorněno na obrázku 29.



Obrázek 29: Schéma plnění tvarovek pomocí přitlačných desek.

Varianta 2):

Plnění bude probíhat pomocí dvou pásů, mezi které bude pad padat ze šachty, čímž dojde k jejich usměrnění. Pásy se budou pohybovat proti sobě a zároveň bude docházet k zúžení prostoru mezi nimi, čímž dojde ke stlačení padu. Horní rozteč pásů bude o něco větší, než je tloušťka padů, přičemž dolní by měla mít rozpětí 15 mm. V případě tohoto postupu dojde k samovolnému zasunutí padu do dutiny vlivem rychlosti a gravitace. Po naplnění se celá tvarovka posune o jednu řadu dutin a proces se opakuje. Schéma metody je znázorněno na obrázku 30.



Obrázek 30: Schéma plnění tvarovek pomocí pásů.

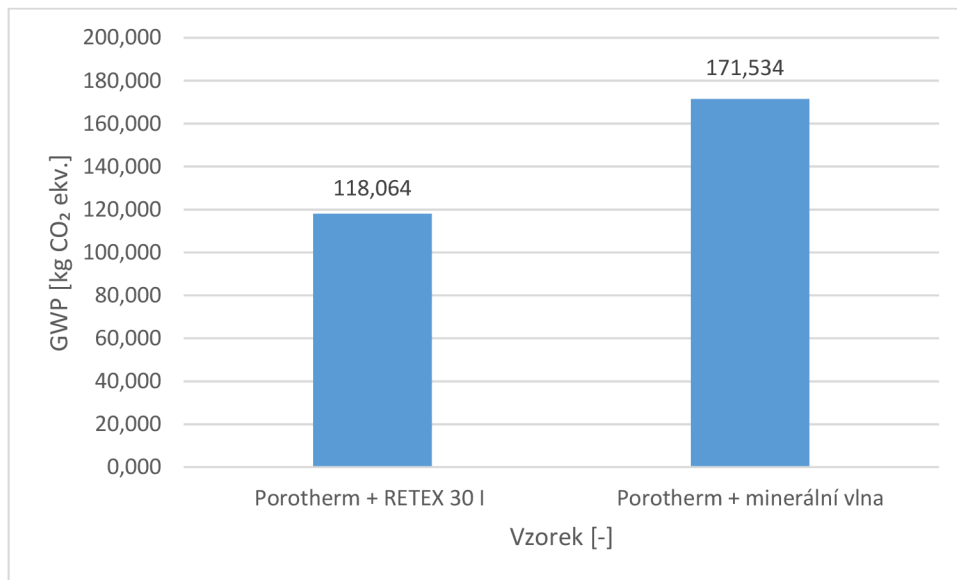
8.11 VYHODNOCENÍ ENVIROMENTÁLNÍHO DOPADU

Dopad výroby produktu na životní prostředí byl vyhodnocen pomocí metody CML, přičemž sledovaným parametrem byl potenciál globálního oteplování GWP (global warming potential) [kg CO₂ ekv.]. Jedná se o parametr vyjadřující, kolik tepla v atmosféře zachytí skleníkový plyn v daném časovém období ve vztahu k CO₂.

Společně s firmou Wienerberger byla, na základě výsledků zjištěných v rámci diplomové práce, vypracována studie porovnávající enviromentální dopad výroby produktů. Byl porovnáván stávající výrobek Porotherm T Profi plněný minerální vatou a tentýž zdící prvek plněný navrženým izolantem z druhotných textilních vláken o objemové hmotnosti 30 kg/m³ a s 10% obsahem bikomponentních vláken. Varianta s minerální vlnou dosáhla hodnoty GWP 171,534 kg CO₂ ekv., v případě použití materiálu z textilních vláken je výsledná hodnota 118,064 kg CO₂ ekv..

Z výsledků je tedy zřejmé, že použitím izolantu od firmy RETEX dojde ke snížení dopadu na životní prostředí. Ve výpočtu nebyl zohledněn fakt, že se jedná o druhotný materiál, dá se tedy předpokládat, že reálna hodnota je ještě o něco nižší, tudíž příznivější.

Graf 15: Vyhodnocení enviromentálního dopadu.



9 ZÁVĚR

Diplomová práce byla věnována možnostem vývoje izolanů na bázi textilních vláken, které by bylo možné použít jako alternativní izolaci k minerální vlně, které se používá pro výrobu keramických zdících prvků s integrovanou tepelnou izolací. Cílem byl návrh izolanu s dostatečnými vlastnostmi, aby ho bylo možné použít jako srovnatelnou alternativu k minerální vlně. Práce se zabývala ověřením daných vlastností navržených izolanů, návrhem technologie plnění pálených zdících prvků a posouzením celkového chování zdiva s alternativním izolanem oproti zdivu s minerální vlnou.

Jako surovina pro výrobu tepelně izolačních materiálů byla vybrána recyklovaná polyesterová vlákna pocházející z automobilového průmyslu. Byly navrženy 4 receptury lišící se objemovou hmotností a složením, kdy vzorek obsahoval 10 nebo 20 % bikomponentních vláken. Zkušební vzorky byly vyrobeny metodou termického pojení technologií Air-lay.

Na zkušebních vzorcích byly provedeny zkoušky ověřující tepelně izolační, akustické a mechanické vlastnosti izolanu. Zároveň byly přeměřeny další charakteristické znaky izolanů jako je tloušťka a objemová hmotnost.

Byla ověřována reálná tloušťka a objemová hmotnost vzorků. Předepsaná tloušťka vzorků byla 40 mm, reálná hodnota však ve všech případech tuto hodnotu překročila a pohybovala se v rozmezí 42,96 – 45,28 mm. Výrobní objemová hmotnost byla u dvou vzorků 30 kg/m^3 a u dalších dvou 35 kg/m^3 . Reálné hodnoty se však pohybovaly v rozmezí $30,1 - 30,5 \text{ kg/m}^3$ a $33,1 - 33,4 \text{ kg/m}^3$.

Na vzorcích byla provedena zkouška malým plamenem pro zjištění chování vzorku v přímém kontaktu s plamenem (z pohledu reakce na oheň). Zkouška se prováděla po dobu 15 s a to jak na hranu, tak i na plochu vzorků. Bylo zjištěno, že na reakci na oheň má vliv množství bikomponentních vláken, s jehož zvyšujícím se množstvím klesá výsledná výška špičky plamene, tj. zlepšuje se reakce na oheň. Nejlepšího výsledku, s výškou špičky plamene 56,67 mm, dosáhl zkušební vzorek s objemovou hmotností 35 kg/m^3 a 20% obsahem bikomponentních vláken při působení plamene na hranu. Naopak nejhorší reakci na oheň, s hodnotou 124,33 mm, měl vzorek o stejné objemové hmotnosti s 10% obsahem bikomponentních vláken opět s působením plamene na hranu. Vzhledem k tomu, že výška špičky plamene nepřesáhla ani v jednom případě výšku 150 mm, je možné tvrdit, že zkušební vzorky mají třídu reakce na oheň E nebo lepší, a lze je tedy použít v oblasti stavebních konstrukcí i k zamýšlené aplikaci do keramických zdících tvarovek.

Dalším sledovaným parametrem byla krátkodobá nasákavost. Na nasákavost měla vliv objemová hmotnost izolantu. Vzorky s nižší objemovou hmotností dosáhly nižší krátkodobé nasákavosti. Nejnižší nasákavosti dosáhl vzorek s objemovou hmotností 30 kg/m^3 , a to $2,87 \text{ kg/m}^3$. Naopak nejvyšší hodnoty $4,11 \text{ kg/m}^3$ dosáhl vzorek o objemové hmotnosti 35 kg/m^3 . Vliv bikomponentních vláken zde není jednoznačný, neboť v případě nižší objemové hmotnosti s rostoucím podílem těchto vláken nasákavost stoupá, u vyšší objemové hmotnosti je tomu naopak. Ve srovnání s minerální vlnou, jejíž výrobce deklaruje hodnotu krátkodobé nasákavosti 1 kg/m^3 a méně, jeví se výsledek zkoušky nepříznivě. Je však třeba vzít v potaz, že izolant bude vně pálené tvarovky a za dodržení pracovních postupů by neměl být v praxi nasáknutí vystaven. Daný izolant je také na bázi PES vláken, které jsou vůči vlhkosti inertní. Lze tedy předpokládat, že pokud by došlo ke krátkodobému zatečení většího množství vlhkosti do keramických tvarovek s textilní izolací, nebude negativně ovlivněna životnost tohoto výrobku, a že vyschnutím zdiva nedojde k jeho poškození nebo degradaci vlastností

Mechanické vlastnosti byly sledovány za pomoci stlačitelnosti izolantu a napětí při 10% deformaci. Vliv na stlačitelnost měla objemová hmotnost, kdy vzorky s nižší objemovou hmotností měly vyšší stlačitelnost. Největší stlačitelnosti dosáhl vzorek s objemovou hmotností 30 kg/m^3 a 20% obsahem bikomponentních vláken, a to 53 %. Vzorek o stejné objemové hmotnosti s 10% obsahem bikomponentních vláken dosáhl téměř shodné stlačitelnosti s hodnotou 52,5 %. Nelze tedy definovat nějaký vliv těchto vláken na stlačitelnost. Nejmenší stlačitelnosti 39,4 % dosáhl vzorek s objemovou hmotností 35 kg/m^3 , s 10% obsahem bikomponentních vláken. Z hlediska technologie plnění dutin tvarovek je výhodná vyšší stlačitelnost, která zajistí snazší průběh aplikace izolantu do dutin. Napětí při 10% deformaci klesá spolu s rostoucí objemovou hmotností a se zvyšujícím se obsahem bikomponentních vláken. Nejnižší hodnoty 0,48 kPa tak dosáhl vzorek s objemovou hmotností 35 kg/m^3 a s 20% obsahem bikomponentních vláken, naopak nejvyššího napětí 1,28 kPa dosáhl vzorek s objemovou hmotností 30 kg/m^3 a s 10% obsahem bikomponentních vláken. Výrobce minerální vlny deklaruje hodnotu napětí při 10% deformaci 5 kPa, z čehož vyplývá, že izolant složený z polyesterových vláken je měkčí a je třeba zvolit jiný způsob plnění. Vzhledem k faktu, že jsou izolanty určeny pro použití jako výplň dutin tvarovek, nemělo by tedy, v případě použití izolantu z textilních vláken, dojít ke změně vlastností hotového výrobku.

Tepelně izolační vlastnosti byly reprezentovány součinitelem tepelné vodivosti. Na základě vyhodnocení zkoušky lze obecně konstatovat, že s vyšším obsahem bikomponentních vláken se zvyšuje hodnota součinitele tepelné vodivosti, protože pojivová vlákna mají větší tloušťku oproti vláknům surovinovým. Zkušební

vzorky dosáhly hodnot v rozmezí 0,033 – 0,034 W/(m.K), což je nižší hodnota než 0,035 W/(m.K), kterou deklaruje výrobce minerální vlny. Vzhledem k faktu, že materiál od firmy RETEX dosahuje lepšího součinitele tepelné vodivosti, a že pálený zdící prvek bude použit stejný (bude dosahovat stejného součinitele tepelné vodivosti), lze předpokládat dosažení minimálně stejných (ne-li lepších) tepelně izolačních vlastností.

Akustické vlastnosti byly ověřeny stanovením činitele zvukové pohltivosti. Tato zkouška probíhala jak na zkušebních vzorcích, tak na vzorcích z minerální vlny, pro možné porovnání výsledků. Na grafu 10 lze vidět, že oba typy materiálů dosahují obdobné zvukové pohltivosti, kdy lze drobné nuance přičíst nepřesnosti v měření.

Následně byla zaměřena pozornost na plnění izolantu do dutin tvarovky. Jak již z předešlých zkoušek vyplynulo, je třeba použít jiný způsob plnění, založený na principu stlačení izolantu. Z tohoto důvodu byla provedena zkouška zjišťující závislost výsledné tloušťky na stlačení, v čase. Je třeba stlačit izolant tak, aby se jeho tloušťka dostala krátkodobě pod 40 mm, zároveň však nesmí dojít k trvalé deformaci. Na základě provedených pokusů byla určena ideální počáteční tloušťka, na kterou je potřeba izolant stlačit, a to 13 až 15 mm. Při plnění je tedy třeba izolant stlačit, což je možné provést dvěma způsoby. Plnění může probíhat stlačením izolantu pneumatickým lisem a následným zatlačením izolantu do tvarovky, nebo stlačením za pomoci pásů.

Na základě provedených zkoušek byl zvolen jako nejvhodnější izolant vzorek 30 I o objemové hmotnosti 30 kg/m³ obsahující 10 % bikomponentních vláken a 90 % polyesterových vláken. Jedná se o izolant výhodný z hlediska ekonomického i ekologického, zároveň splňující parametry pro použití jako alternativní plnivo pro keramické tvarovky s integrovanou izolací.

Hotový výrobek plněný izolací z textilních vláken má menší dopad na životní prostředí než výrobek s minerální vlnou, neboť se jedná o izolant vyrobený z druhotných surovin. Zároveň odpadá i ekonomicky a energeticky náročná doprava, jelikož se jedná o materiál vyráběný, stejně jako pálené zdící prvky, v České republice. Jelikož izolant vyráběný firmou RETEX dosahuje obdobných hodnot součinitele tepelné vodivosti jako minerální vlna, dá se předpokládat, že hotový výrobek bude dosahovat minimálně stejných hodnot. Co se reakce na oheň týká, zde je důležitý fakt, že materiál z textilních vláken lze zařadit do třídy reakce nejhůře E. Lze ho tedy použít pro obvodové nosné konstrukce. Jedná se tedy o materiál, který dosahuje obdobných hodnot klíčových vlastností jako minerální vlna a lze ho použít jako alternativní izolant pro plnění pálených zdících prvků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo – Metody stanovení návrhových tepelných hodnot.
- [2] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X.
- [3] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 209 s. ISBN 80-214-2117-7.
- [4] Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 155-160, ISSN 0950-061.
- [5] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F., Jemni, A., Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating, Journal of Building Engineering, Volume 5, March 2016, Pages 34-40, ISSN 2352-7102.
- [6] Vaverka, J.; Chybík, J., Mrlík, F. Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.
- [7] SOKOLÁŘ, R.: Keramika/Modul BJ01-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [8] ČSN EN 771-1+A1: Specifikace zdicích prvků – Část 1: Pálené zdicí prvky. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [9] Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).
- [10] Vyhláška č. 20/2012 Sb., o technických požadavcích na stavby.
- [11] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby
- [12] ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov. Část 1: Terminologie, Praha: ÚNMZ, 2005.
- [13] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, Praha: ÚNMZ, 2011.
- [14] ČSN 73 0532. Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky. Praha: ÚNMZ, 2020.

- [15] ČSN EN 13501-1 + A1. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [16] ČSN EN 13501-2. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [17] HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Marek POKORNÝ. Požární odolnost stavebních konstrukcí. TZB info [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2016 [cit. 2021-15-12]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnoststaveb/13655-pozarni-odolnost-stavebnich-konstrukci>
- [18] ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – společná ustanovení. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [19] ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [20] PRO-DOMA, SE. Jednovrstvé zdivo – moderní a progresivní řešení stavby. TZB info [online]. 13.10.2020 [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/21277-jednovrstve-zdivo-moderni-a-progresivni-reseni-stavby>
- [21] Zákon č. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií.
- [22] Vyhláška 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, In: Sběrka zákonů, 2020.
- [23] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, Praha: ÚNMZ, 2011.
- [24] Wienerberger [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/>
- [25] Heluz [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/>
- [26] PEZINSKÉ TEHELNE – PANELÁREŇ, a.s. [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://www.pezinske-tehelne.sk/>
- [27] BRITTERM [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://www.britterm.sk/>
- [28] SCHLAGMANN POROTON® [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://www.schlagmann.de/>
- [29] UNIPOR [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <https://www.unipor.de/>

- [30] THERMOPOR® [online]. [cit. 2021-19-12]. Dostupné z: <http://thermopor.de/>
- [31] STRÁNSKÁ, Zuzana. Hodnocení přírodních a recyklovaných surovin a materiálů v budovách. Brno 2018. Disertační práce. Vysoké učení technické, Stavební fakulta, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Sedlák CSc.
- [32] ČSN EN ISO 14040: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – zásady a osnova. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [33] ČSN EN 15978: Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov – Výpočtová metoda. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [34] ČSN EN 823. Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [35] ČSN EN 1602. Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti, Praha: ÚNMZ, 2013.
- [36] ČSN EN ISO 11925-2. Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene, Praha: ÚNMZ, 2020.
- [37] ČSN EN ISO 29767. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření, Praha: ÚNMZ, 2020.
- [38] ČSN EN 12431. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky izolačních výrobků pro plovoucí podlahy, Praha: ÚNMZ 2013.
- [39] ČSN EN 3162+A1. Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace, Praha: ÚNMZ, 2016.
- [40] ČSN EN 12667. Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu, Praha: ÚNMZ, 2001.
- [41] ČSN ISO 10534-1. Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubicích – Část 1: Metoda poměru stojaté vlny, Praha: ÚNMZ, 1999.
- [42] ČSN EN 826. Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem, Praha: ÚNMZ, 2013.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Hlavní mezní stavy: (a) R = únosnost a stabilita, (b) E = celistvost, (c) I = izolační schopnost (omezení teploty); (d) W = omezení radiace (sálání) tepla [17].	20
Obrázek 2: Porotherm 44 T Profi [24].....	24
Obrázek 3: Porotherm 44 EKO+ Profi [24].....	24
Obrázek 4: Porotherm 44 Profi [24].....	24
Obrázek 5: Heluz Family 44 broušená [25].....	25
Obrázek 6: Heluz 2in1 44 broušená [25]	25
Obrázek 7: Heluz Plus 44 broušená [25].....	25
Obrázek 8: TermoBRIK SUPRA PD 440 R brúsená [26].....	26
Obrázek 9: TermoBRIK SUPRA PLUS 440 R brúsená [26].....	26
Obrázek 10: TermoBRIK TD 440 PD brúsená [26].....	26
Obrázek 11: Britterm 44 MAX Brúsená [27]	27
Obrázek 12: Britterm 44 Termo Brúsená [27].....	27
Obrázek 13: Britterm 44 Brúsená [27].....	27
Obrázek 14: POROTON T8 [28].....	28
Obrázek 15: POROTON S8 [28].....	28
Obrázek 16: POROTON FZ8 [28].....	28
Obrázek 17: POROTON U8 [28]	28
Obrázek 18: UNIPOR W07 CORISO [29]	29
Obrázek 19: UNIPOR W07 SILVACOR [29]	29
Obrázek 20: UNIPOR W08 [29]	29
Obrázek 21: THERMOPOR TV [30].....	30
Obrázek 22: THERMOPOR TV AERO [30]	30
Obrázek 23: THERMOPOR SL [30]	30
Obrázek 24: Schéma fází metody LCA [32]......	32
Obrázek 25: Zobrazení modulových informací pro různé fáze posuzování budovy [33].	33
Obrázek 26: Zkušební lis pro měření stlačitelnosti.....	39
Obrázek 27: Kundtova trubice pro měření činitele zvukové pohltivosti.	41
Obrázek 28: Digitální číselníkového úchylkoměru s dotykovou deskou pro měření tloušťky.	42
Obrázek 29: Schéma plnění tvarovek pomocí přítlačných desek.	60
Obrázek 30: Schéma plnění tvarovek pomocí pásů.	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [12].....	15
Tabulka 2: Korekce na vedlejší cesty přenosu zvuku pro vzduchovou neprůzvučnost [14].....	17
Tabulka 3: Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v domech s byty [14].	17
Tabulka 4: Požadavky na zvukovou izolaci obvodových plášťů budov [14].....	18
Tabulka 5: Požární odolnost stavebních konstrukcí a jejich druh [19].....	20
Tabulka 6: Přehled vlastností zkušebních vzorků.	36
Tabulka 7: Stanovení tloušťky vzorků.	43
Tabulka 8: Stanovení reálné objemové hmotnosti.	45
Tabulka 9: Stanovení objemové hmotnosti pro tloušťku vzorků 40 mm.....	46
Tabulka 10: Stanovení výšky špičky plamene při působení na hranu.....	48
Tabulka 11: Stanovení výšky špičky plamene při působení na plochu.	49
Tabulka 12: Stanovení krátkodobé nasákavosti.....	50
Tabulka 13: Stanovení stlačitelnosti.....	52
Tabulka 14: Stanovení napětí při 10% deformaci.	53
Tabulka 15: Stanovení součinitele tepelné vodivosti.....	55
Tabulka 16: Stanovení výsledné tloušťky v závislosti na čase.....	58

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Přehled tlouštěk zkušebních vzorků.....	44
Graf 2: Přehled reálných objemových hmotností zkušebních vzorků.....	46
Graf 3: Porovnání reálných objemových hmotností a objemových hmotností pro tloušťku vzorků 40 mm.	47
Graf 4: Přehled maximálních výšek špičky planeme zkušebních vzorků.....	49
Graf 5: Přehled krátkodobé nasákavosti zkušebních vzorků.....	51
Graf 6: Přehled stlačitelnosti zkušebních vzorků.	52
Graf 7: Přehled stlačitelnosti zkušebních vzorků v procentech.....	53
Graf 8: Přehled napětí při 10% deformaci zkušebních vzorků.....	54
Graf 9: Přehled součinitelů tepelné vodivosti zkušebních vzorků.....	56
Graf 10: Závislost činitele zvukové pohltivosti na frekvenci.....	57
Graf 11: Stanovení tloušťky v čase – vzorek 30 I	58
Graf 12: Stanovení tloušťky v čase – vzorek 30 II	58
Graf 13: Stanovení tloušťky v čase – vzorek 35 I	59
Graf 14: Stanovení tloušťky v čase – vzorek 35 II	59
Graf 15: Vyhodnocení enviromentálního dopadu.	62