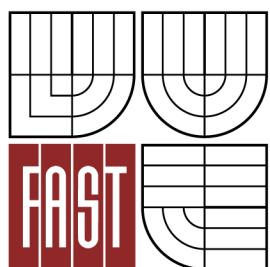




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

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

VÝVOJ POKROČILÝCH ZDICÍCH PRVKŮ PRO NOVODOBÉ OBVODOVÉ KONSTRUKCE

DEVELOPMENT OF ADVANCED MASONRY BLOCKS FOR MODERN BUILDING STRUCTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. VÍTĚZSLAV NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Vítězslav Novák
Název	Vývoj pokročilých zdicích prvků pro novodobé obvodové konstrukce
Vedoucí diplomové práce	Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

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

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

Podklady a literatura

- [1] Pytlík, P.: Cihlářství. - VUT Brno, CERM, s.r.o. Brno, 1995
- [2] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [3] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [4] Šťastník, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002
- [5] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002
- [6] Rumel, I., Vývoj pokročilých zdicích materiálů s integrovanou tepelnou izolací, diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2013

Zásady pro vypracování

Cílem práce bude vývoj tepelných izolačních tvarovek pro integraci do tepelně izolačních zdicích tvarovek s vysokou hodnotou tepelného odporu. V rámci teoretické části práce diplomant provede průzkum v oblasti možných surovin (důraz je nutné klást především na druhotné a snadnoobnovitelné surovinové zdroje) a možných technologií výroby izolačního materiálu a jeho aplikace do dutin keramických tvarovek. V praktické části práce bude provedena výroba zkušebních vzorků z navržených izolačních tvarovek, bude provedeno ověření klíčových užitných vlastností. V závěru práce bude provedena praktická aplikace vyvinutých izolačních tvarovek do dutin keramických tvarovek a celkové zhodnocení dosažených výsledků.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Práce se věnuje zlepšení tepelně technických vlastností současných keramických tvarovek pro obvodové zdivo užitím integrování tepelné izolace. V praktické části byly navrženy směsi z PUR pěny a odpadního PUR granulátu. Na základě izolačních, mechanických a fyzikálních vlastností a ceny byla vybrána nejvhodnější směs. S využitím této směsi jako integrované izolace, byla simulována výsledná tvarovka.

Klíčová slova

zdivo, keramický blok, integrovaná tepelná izolace, tepelně izolační vlastnosti, odpadní PUR granulát, PUR pěna

Abstract

This thesis deals with improving thermal properties of contemporary ceramic fittings for external walls using built-in thermal insulation. In the practical part, PUR foam and PUR granulate waste mixes were designed. Based on insulation, mechanical and physical properties and estimated price, the best mix was chosen. Using the chosen mix as integrated isolation, the resulting ceramic block was simulated.

Keywords

masonry, ceramic block, integrated thermal insulation, thermal insulating properties, polyurethane granulate waste, polyurethane foam

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Vítězslav Novák *Vývoj pokročilých zdicích prvků pro novodobé obvodové konstrukce*. Brno, 2013. 84 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..

Prohlášení:

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

V Brně dne 13.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Vítězslav Novák

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a také profesionální přístup, trpělivost, rady, inspiraci a diskuze při vypracování této diplomové práce

Také bych rád poděkoval Ing. Jitce Hroudové, Ph.D. za ochotu a pomoc při práci v laboratoři.

Rovněž bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí.

A.	Úvod	- 3 -
B.	Teoretická část	- 5 -
1.	Termíny a definice.....	- 5 -
2.	Vývoj keramických zdících prvků.....	- 10 -
3.	Požadavky na zdící prvky.....	- 13 -
3.1.	Tepelně technické požadavky na obvodové konstrukce.....	- 13 -
3.2.	Akustické požadavky na obvodové konstrukce.....	- 14 -
3.3.	Mechanická odolnost obvodových konstrukcí.....	- 14 -
3.4.	Šíření vlhkosti v obvodových konstrukcích.....	- 15 -
3.5.	Vzduchotěsnost obvodových konstrukcí.....	- 15 -
3.6.	Požární odolnost obvodových konstrukcí.....	- 15 -
3.7.	Udržitelný rozvoj.....	- 16 -
4.	Výroba keramických zdících prvků.....	- 18 -
4.1.	Těžba cihlářských zemin.....	- 19 -
4.2.	Příprava surovinové směsi.....	- 19 -
4.3.	Vytváření.....	- 20 -
4.4.	Sušení.....	- 21 -
4.5.	Výpal.....	- 21 -
5.	Způsoby aplikace integrované tepelné izolace.....	- 22 -
5.1.	Kusové izolanty.....	- 22 -
5.2.	Partikulární izolanty.....	- 24 -
6.	Materiály pro integrovanou tepelnou izolaci.....	- 26 -
6.1.	Polystyren.....	- 26 -
6.2.	Minerální vlna.....	- 29 -
6.3.	Expandovaný perlit.....	- 32 -
6.4.	Ovčí vlna.....	- 34 -
6.5.	Alternativní materiály pro integrovanou tepelnou izolaci.....	- 36 -
C.	Praktická část	- 41 -
1.	Cíl práce.....	- 41 -
2.	Popis praktické části.....	- 41 -
3.	Metodika práce.....	- 42 -
4.	Popis provedených zkoušek.....	- 45 -
5.	Výběr surovin.....	- 50 -
5.1.	Voda.....	- 50 -
5.2.	PUR granulát.....	- 50 -
5.3.	PUR pěna.....	- 51 -

6.	Výběr způsobu plnění.....	- 52 -
6.1.	Plnění po vrstvách.....	- 52 -
6.2.	Plnění směsí	- 53 -
6.3.	Vyhodnocení výběru způsobu plnění.....	- 53 -
7.	Receptury.....	- 54 -
8.	Výsledky měření.....	- 58 -
8.1.	Stanovené základních vlastností navržených směsí.....	- 58 -
8.2.	Stanovení základních vlastností keramických zdících tvarovek	- 66 -
8.3.	Stanovení ceny	- 69 -
8.4.	Celkové shrnutí	- 71 -
D.	Závěr	- 73 -
E.	Seznamy	- 76 -

A. Úvod

Keramické zdící prvky prodělali v minulosti značný vývoj, který v několik posledních letech výrazně zrychlil. Za předchůdce dnešních keramických zdících prvků lze považovat příčně děrovanou cihlu CDm, přičemž příčně děrovaná cihla CDm se vyvinula z cihly plné. Cihla plná je jedním z nejstarších záměrně vyráběných stavebních materiálů vůbec. Její historie v podobě kvádrů v poměru stran 4:2:1 sahá až do středověku.

Dnešní keramické zdící prvky pro zdění vnitřních a vnějších konstrukcí mají již velmi málo společného s původními cihlami. Rozdíl je patrný na první pohled v jejich tvaru. Jedná se spíše než o cihly o cihelné bloky či cihelné tvarovky. Tvarovky pro obvodové konstrukce jsou dnes vyráběny na skladebnou výšku a délku 250 mm a šířku dle šíře požadované zdi. Vzhledem ke stále se zpřísňujícím požadavkům především na tepelně izolační schopnosti tvarovek se zvyšuje také šířka tvarovek/zdí. V současné době jsou již k dostání na českém trhu tvarovky v šířce až 500 mm.

Tvarovky také již nejsou tvaru pravidelného obdélníku. Jejich svislé strany na širších stranách jsou opatřeny ozuby, které tvoří takzvané péro a drážku. Při usazení jednotlivých tvarovek dojde k vzájemnému překrytí těchto per a drážek a tím k eliminaci tepelných mostů ve styčných spárách. Většina zdících systémů se tedy zdí na suchou styčnou spáru bez malty.

Také vnitřní uspořádání současných zdících tvarovek je naprosto odlišné od původních cihel. Současné tvarovky již nemají charakter plné cihly, ale jsou tvořeny soustavou žeber, která tvoří vzduchové dutiny. Jednotlivá žebra jsou vzájemně přesazena a v případě zdíva pro obvodové konstrukce jsou orientována kolmo k tepelnému toku. Celkový podíl děrování tvarovek dosahuje až hodnoty 60 %.

Na první pohled se může zdát, že alespoň materiál cihel a současných tvarovek je shodný. Ale ani zde tomu tak není. U současných tvarovek je nohem více kladen důraz na kontrolu vstupních surovin, ať už se jedná o jejich mechanické či chemické vlastnosti. Na stěp jsou kladeny požadavky především mechanické a tepelně technické. Splnění kteréhokoliv z těchto dvou požadavků má negativní dopad na druhý požadavek, je tedy nutné nalézt optimální kompromis. Obecně lze říci, že surovinové těsto pro přípravu je v současné době lépe zpracovatelné, díky tomu je možné dosáhnout složitějších výsledných tvarů. Je možné vytvořit stěp s nižší objemovou hmotností, tím je možné dosáhnout lepších tepelně technických vlastností stěpu oproti původním cihlám. Platí však, že s nižší objemovou hmotností keramického stěpu zapříčiňuje zhoršení mechanických vlastností stěpu.

Všechny výše popsané rozdíly mezi původními cihlami a dnešními tvarovkami více či méně souvisí se zvyšujícími se požadavky na rychlost výstavby a tepelně technické vlastnosti tvarovek. Právě tyto odlišnosti mají zásadní vliv na vlastnosti současných

keramických zdících tvarovek a jejich další prohlubování již nevede k pozitivnímu efektu z pohledu zlepšení výsledných vlastností tvarovek. Současné keramické zdící tvarovky šířky 500 mm jsou již na hranici pohodné manipulace především díky své hmotnosti. V případě vnitřního uspořádání tvarovek, stejně tak u vlastností keramického se dnes dá říci, že již bylo dosaženo vývojem v této oblasti ideálních poměrů mezi mechanickými a tepelně technickými vlastnostmi.

I přes výrazné zlepšení tepelně technických vlastností keramických tvarovek se obvodové konstrukce z těchto tvarovek zateplují dodatečnou tepelnou izolací. Nejčastěji se jedná vnější kontaktní zateplování systémy. Právě spojením keramické tvarovky a tepelné izolace vznikla myšlenka na zlepšení tepelně technických vlastností tvarovky při zachování mechanických vlastností spojení těchto dvou materiálů v jeden. Vznikl tak zcela nový směr vývoje keramických tvarovek s integrovanou tepelnou izolací.

Právě tímto směrem vývoje keramických tvarovek se zabývá má diplomová práce. Vzhledem k vysoké energetické náročnosti výroby stavebních materiálů a stavu nerostných surovin je v diplomové práci kladen důraz na využití materiálů na bázi druhotných či snadno obnovitelných surovin.

B. Teoretická část

1. Termíny a definice

1.1. Základní tepelná hodnota zdiva (masonry basic thermal value)

Hodnota součinitele tepelné vodivosti nebo tepelného odporu v suchém stavu [1].

1.2. Materiál (material)

Hmota, ze které je výrobek/konstrukce nebo jeho vrstva/část vyrobena, bez deklarovaných vlastností, povrchové úpravy, určení způsobu dodání, zabudování do stavby apod. [1].

1.3. Tepelně izolační materiál (thermal insulation material)

Materiál výrazně omezující šíření tepla, vykazující charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti max. $0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ při referenčních teplotních a vlhkostních podmínkách a daném stáří [1].

1.4. Stavební výrobek (structural product)

Konečná podoba materiálu/materiálů, nebo sestava prvků/výrobků obvykle průmyslově vyráběná při stálých podmínkách a nabízená k prodeji s deklarovanými vlastnostmi a pod stejným obchodním názvem nebo sestavená s výrobcem určenými vlastnostmi v rozsahu nutném pro bezpečný návrh budovy v rozsahu základních požadavků a s určeným způsobem zabudování výrobku do stavby a takto uváděná na trh [1].

1.5. Stavební prvek (building element)

Na stavbu dodávaný výrobek s určenými vlastnostmi, který po zabudování do stavby tvoří stavební konstrukci nebo její část [1].

1.6. Zdící prvek (masonry unit)

Stavební výrobek, obvykle tvárnice, cihla, tvarovka, blok daného tvaru, rozměrů a dalších vlastností s otvory, zářezy, drážkami, prohlubněmi nebo bez nich, který určeným uspořádáním a vzájemným spojením tvoří zdivo s určenými vlastnostmi [1].

1.7. Pálený zdící prvek (clay masonry unit)

Zdící prvek zhotovený z jílu nebo z jiných hlinitých materiálů s pískem nebo bez písku a jinými přísadami, vypálený na dostatečně vysokou teplotu, aby bylo dosaženo keramické vazby [2].

1.8. Zdivo (masonry)

Seskupení zdících prvků uložených podle stanoveného uspořádání a spojených vzájemně maltou pro zdivo [1].

1.9. Vnější konstrukce (external structure)

Konstrukce, která je ve styku zároveň s venkovním a vnitřním prostředím a konstrukce přilehlá k zemině [1].

1.10. Svislé děrování (vertical perforation)

Otvory, které prochází zdícím prvkem kolmo na ložnou plochu [2].

1.11. Obvodové žebro (shell)

Materiál mezi otvorem a vnějším prostorem (obvodem) zdícího prvku [2].

1.12. Vnitřní žebro (web)

Přepážka z plného materiálu mezi otvory ve zdícím prvkem [2].

1.13. Normalizovaná pevnost v tlaku zdících prvků (normalized compressive strength of masonry units)

Pevnost v tlaku zdících prvků přepočtená na pevnost ekvivalentního zdícího prvku s šířkou 100 mm a výškou 100 mm v přirozeném stavu vlhkost [2].

1.14. Přesný pálený zdící prvek (precision clay masonry unit)

Pálený zdící prvek s velmi malými odchylkami rozměrů, zejména výšky [2].

1.15. Šíření tepla (heat transfer)

Přenos energie vedením nebo proděním nebo sáláním, nebo jejich vzájemnou kombinací [1].

1.16. Teplota (temperature) – θ [°C]

Teplený stav látky jako rozdíl mezi její termodynamickou teplotou T a normální (referenční) termodynamickou teplotou T_0 [1]. Je dána vztahem:

$$\theta = T - T_0$$

kde T – termodynamická teplota látky [K]

T_0 – normální termodynamická teplota 273,15 K

1.17. Objemová hmotnost (density) – ρ_v [kg.m⁻³]

Hmotnost materiálu/výrobku v definovaném stavu, například vlhkosti a stlačení, o objemu 1 m³ [1]. Je definována vztahem:

$$\rho_v = \frac{m}{V}$$

kde m – hmotnost materiálu/výrobku v definovaném stavu [kg]

V – objem materiálu/výrobku [m³]

1.18. Tepelný most (thermal bridge)

Část dané stavební konstrukce, kde se její tepelný odpor místně výrazně mění úplným nebo částečným průnikem stavební konstrukce. Vrstvy materiálu s odlišnou tepelnou vodivostí. Stavební konstrukce obsahuje alespoň jednu nestejnorodou vrstvu.. Změna tloušťky vrstvy stavební konstrukce [1].

1.19. Tepelný tok (heat flow rate) – Φ [W]

Množství tepla, které proudí do nebo ze systému (prostoru) za jednotku času. Zahrnuje všechny složky šíření tepla [1].

1.20. Hustota tepelného toku (density of heat flow rate) – q [W.m⁻²]

Podíl tepelného toku a příslušné plochy, kterou tepelný tok ve směru normály prostupuje [1]. Je dána vztahem:

$$q = \frac{d\Phi}{dA}$$

kde Φ – tepelný tok [W]

A – plocha [m²]

1.21. Tepelná propustnost (thermal coupling coefficient) – L [W.K⁻¹]

Tepelný tok vztažený k jednotkovému teplotnímu rozdílu mezi dvěma prostředími oddělenými vrstvou/konstrukcí. V případě kontaktu konstrukce se zemínou se do tepelné propustnosti zahrnuje i tepelný tok prostupující přilehlou zemínou [1].

1.22. Plošná tepelná propustnost (thermal conductance) – L [W.m⁻².K⁻¹]

Schopnost vrstvy materiálu/stavební konstrukce dané tloušťky a plochy šířit teplo. Kvantifikuje vliv všech složek šíření tepla [1]. Je dána vztahem:

$$L = \frac{q}{\Delta\theta_{si}}$$

kde q – hustota tepelného toku [W.m⁻²]

$\Delta\theta_{si}$ – rozdíl průměrných povrchových teplot materiálu/stavební konstrukce [K]

1.23. Lineární tepelná propustnost (linear thermal coupling coefficient)

– L_l [W.m⁻¹.K⁻¹]

Schopnost vrstvy materiálu/stavební konstrukce dané tloušťky, podél které je lineární hustota tepelného toku stálá, šířit teplo. Kvantifikuje vliv všech složek šíření tepla [1]. Je dána vztahem:

$$L_l = \frac{\Phi}{l \cdot (\theta_1 - \theta_2)}$$

kde Φ – tepelný tok [W]

l – délka lineárního tepelného mostu [m]

θ_1, θ_2 – povrchové teploty materiálu/stavební konstrukce [°C]

1.24. Součinitel teplené vodivosti (thermal conductivity coefficient)

– λ [W.m⁻¹.K⁻¹]

Schopnost stejnorodého, isotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo [1]. Je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta}$$

kde \vec{q} – vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým isotropním materiálem [W.m⁻²]

$grad\theta$ – gradient teploty [K.m⁻¹]

1.25. Tepelný odpor vrstvy/konstrukce (thermal resistance) – R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

Tepelně izolační vlastnost vrstvy materiálu/konstrukce dané tloušťky [1]. Je definován vztahem:

$$R = \frac{1}{L}$$

kde L – plošná tepelná propustnost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Je-li známa hodnota součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu a je-li konstantní, povrchy kolmé na směr tepelného toku jsou vzájemně rovnoběžné a vrstvou tak proudí rovnoměrný tepelný tok [1], je tepelný odpor definován vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

kde d – tloušťka vrstvy [m]

λ – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

1.26. Součinitel prostupu tepla (transmission heat loss coefficient, heat thermal transmittance value) U – [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Celková výměna tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. Zahrnuje vliv všech tepelných mostů včetně vlivu prostupujících hmoždinek a kotev, které jsou součástí konstrukce [1]. Je definován vztahem:

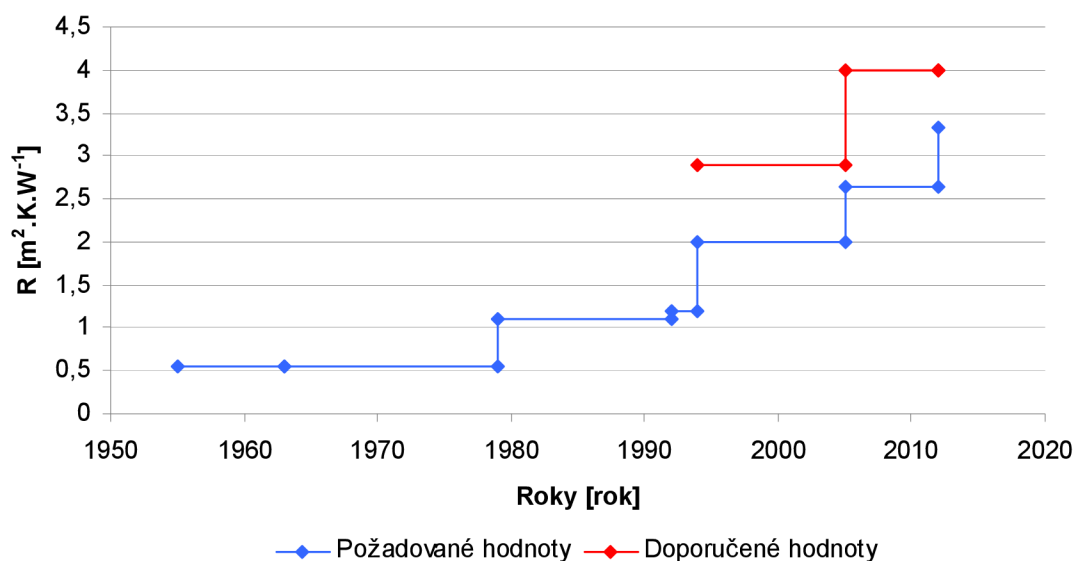
$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{\Phi}{(\theta_1 - \theta_2) \cdot A}$$

kde R_T – odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

2. Vývoj keramických zdících prvků

Vývoj keramických zdících prvků pro obvodové zdivo je ovlivňován rychlostí vývoje požadovaných hodnot tepelného odporu u obvodových konstrukcí. Především v posledních deseti letech došlo k výraznému zpřísnění těchto požadavků. Dalšími faktory ovlivňujícími vývoj zdících prvků jsou fyzikálně mechanické požadavky, rychlost a kvalita výstavby.

První normou, která stanovila požadavky na tepelný odpor konstrukce byl norma ČSN 1450 vydaná 1949. Do roku 1964 vycházely hodnoty požadovaného tepelného odporu ze standardu takzvaného cihelného ekvivalentu. Jednalo o hodnotu tepelného odporu cca $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, která byla odvozena od tepelného odporu 450 mm silného cihlového zdiva z cihel plných [3]. Postupně byly hodnoty tepelného odporu navyšovány až po současnou hodnotu tepelného odporu. V normě ČSN 73 0540 – 2 vydané 1994 byly poprvé zavedeno doporučené hodnoty tepelného odporu pro obvodové konstrukce. Vývoj tepelně technických požadavků je znázorněn na následujícím grafu.



Graf 1: Vývoj požadovaných a doporučených hodnot tepelného odporu dle normy [7].

Vývoj moderních keramických zdících prvků započal v letech 1946 – 1960, kdy se na trhu objevily cihly příčně děrované typu CDm. Následovaly cihly CDK a CD Týn vznikající do roku 1980. Právě cihly CD Týn byly zlomové ve vývoji současných zdících prvků. Svými rozměry 290x190x215 a 240x365x238 určili směr vývoje k velkoformátovým cihelným blokům s výškovým modulem 250 mm, který je používán doposud [3] [4].

V 90. letech se objevila cihla typu Therm. Tento typ zdících prvků se vyznačuje nízkou objemovou hmotností (prvku), obvykle v rozmezí 600 až $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Této hodnoty

je dosaženo vylehčením střepu tvarovky a děrováním tvarovek [5]. Vylehčení střepu je dosahováno pomocí lehčiv dodávaných přímo do keramického těsta při výrobním procesu. Nejčastěji se dnes užívají jako lehčiva papírenské kaly, dřevěné pily, pěnový polystyren a elektrárenský popílek. Děrování tvarovek je zajištěno otvory, které musí být dlouhé, úzké a vzájemně přesazené a kolmo orientované k tepelnému toku (u tvarovek pro obvodové zdivo). Díky přidání každé další řady těchto otvorů, při zachování rozměrů tvarovky, dojde teoreticky ke zvýšení tepelného odporu cca o $0,03$ až $0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ [5]. Tvarovky Therm se obvykle aplikují se styčnou suchou spárou tvořenou perem a drážkou, takzvaným P+D.

V první polovině 90. let se v Německu začaly objevovat broušené tvarovky. Tyto tvarovky se v České republice začali objevovat v roce 2005. Tyto tvarovky mají velmi malou rozměrovou toleranci výšky cihel menší než 1 mm. Díky tomu je možné provádět výstavbu na tenkovrstvé ložné spáry, což přispívá k úspoře malty, zlepšení tepelně technických vlastností celého zdiva a pevnosti zdiva v tlaku.

Současný vývoj keramických zdících prvků pro obvodové konstrukce lze rozčlenit do několika samostatných směrů, které jsou vzájemně provázány. Prvním směrem je vývoj samotného střepu a cihlářské suroviny [3]. Cílem tohoto směru je maximální snížení tepelné vodivosti keramického střepu při maximální možné pevnosti v tlaku a snížení energetické náročnosti při procesu výpalu a sušení. Současně se zde uplatňuje využití surovin, které mají charakter druhotných surovin. Suroviny napomáhající zlepšit vlastnosti střepu tvorbou pórů, které vznikají v důsledku vyhoření těchto látek při výpalu, se nazývají přímá lehčiva. Suroviny zlepšující vlastnosti svou nízkou objemovou hmotností se nazývají nepřímá lehčiva. V současné době se lehčiva využívají dřevěné piliny, papírenské kaly, elektrárenský popílek a pěnový polystyren. Mezi druhotné suroviny, které by bylo možné použít jako alternativní lehčiva patří například otruby, cigaretové nedopalky, cementotřískový odpad, alperujo (vedlejší produkt z lisu při extrakci olivového oleje [6]) a již zmiňovaný elektrárenský popílek.

Druhým směrem je zdokonalení geometrie a vnitřního uspořádání zdících prvků [3]. Jedná se jednak o geometrii vodorovných ploch, které vytváří ložné spáry, dále o geometrii svislých ploch vytvářející styčné spáry a o geometrii vnitřního uspořádání žeber. U ložných spár je díky broušeným tvarovkám dosaženo milimetrové spáry. Ideálním stavem je minimalizace této spáry, čím by se omezil tepelný most vznikající nesourodostí cihelné zdi. Styčné spáry jsou dnes prakticky výhradně řešeny pomocí péra a drážky. V této oblasti je snaha o vytvoření co největšího množství vzduchových dutin a jejich vzájemné překrytí tak, aby bylo co nejvíce podobné geometrii uvnitř tvarovky. Vnitřní geometrie tvarovek je tvořena žebry keramického střepu, která vyváří dutiny. Vývoj je zaměřen na tvar, tloušťku a uspořádání těchto žeber při vytvoření maximálního tepelného odporu ve směru tepelného toku při zachování maximální pevnosti v tlaku. Geometrií žeber jsou dnes vytvářeny vzduchové dutiny tvaru kosočtverců, obdélníků, kruhů a trojúhelníků.

Třetí směr vývoje není pjat se zdícím prvkem jako takový, ale se zdivem [3]. Jedná se o vývoj spojovacích materiálů, povrchových úprav a technologie provádění konstrukce. U spojovacích materiálů/zdících malt pro přesné zdění (1 mm ložná spára) je kladem důraz na snížení tepelné vodivosti při dosažení maximální možné pevnosti výsledného zdiva. V současné době je nejobvyklejší požití tří druhů spojovacích materiálů. První je polymercementová lepicí hmota pro tenkou spáru, která se nanáší pouze na jednotlivá žebra ložné plochy tvarovek. Hmota je řídkší konzistence a je aplikována speciálním válcem nebo namáčením tvarovek. Druhá je polymercementová lepicí hmota pro tenkou spáru, která je aplikována na celou šířku tvarovky. V porovnání s lepicí hmotou aplikovanou pouze na žebra tvarovky dosahuje zdivo při použití celoplošné lepicí hmoty cca o 35% vyšší pevnosti zdiva. U obou těchto variant je možné do ložné spáry aplikovat výztužnou tkaninu, zlepšující mechanické vlastnosti zdiva. Třetí variantou je lepení tvarovek na polyuretanové pěny. Používají se nízkoexpanzní polyuretanové pěny, které umožňují suchou výstavbu i při záporných teplotách.

Čtvrtým směrem vývoje je kombinace zdící tvarovky s tepelnou izolací, která se aplikuje přímo do dutin [3]. Tento směr vývoje je v ČR nejmladším ze všech směrů vývoje a je zde předpoklad vysokého potenciálu zlepšení tepelně technických vlastností zdiva a využití odpadních či druhotných surovin jako integrovaných tepelných izolací. Tento směr je rozdělitelný na dvě kategorie. Jedná se o aplikaci izolačních materiálů do zdích tvarovek s velkým množstvím malých dutin, které sami o sobě díky vnitřnímu uspořádání mají dobré tepelně izolační vlastnosti a o aplikaci izolačních materiálů do tvarovek s menším množstvím velkých dutin, které jsou za tímto záměrem vyráběny. Každý z těchto způsobů aplikace je vhodný pro určité druhé izolantů. Při porovnání tvarovek s rozdílným přístupem k integraci tepelné izolace jsou výsledné tepelně izolační vlastnosti velmi podobné. V současné době se jako integrovaná izolace používají čtyři materiály, kamenná vata, pěnový polystyren, perlit a ovčí vlna. V rámci vývoje tepelně izolačních látek integrovatelných do tvarovek jsou zkoumány silikátové materiály ve formě cementové pěny, polymerní materiály, především použití polyuretanů.

3. Požadavky na zdící prvky

Na zdící prvky je v současné době kladeno široké spektrum požadavků, především ze strany spotřebitele. Požadavky na keramické zdících prvky stanové normou jsou uvedeny v ČSN EN 771 – 1, Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky [2]. Tato norma dělí prvky na LD a HD. LD prvky jsou pálené zdící prvky s nízkou objemovou hmotností v suchém stavu určeny pro použití v chráněném zdivu, konkrétně se jedná o objemovou hmotnost nižší nebo rovnu 1000 kg.m^{-3} . HD prvky jsou pálené zdící prvky pro nechráněné/neomítnuté zdivo, či prvky s vysokou objemovou hmotností v suchém stavu určené pro použití v chráněném zdivu. Pro obě skupiny prvků stanovuje norma požadavky z hlediska rozměrů a tolerancí, tvaru a uspořádání, objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, tepelnětechnických vlastností, trvanlivosti, nasákavosti, obsahu aktivních rozpustných solí, vlhkosti prostředí, reakce na oheň, propustnosti vodních par a přídržnosti.

Mezi základní požadavky na současné zdící prvky ze strany spotřebitele patří mechanická odolnost, šíření tepla a vlhkosti v konstrukci, vzduchotěsnost, trvanlivost, požadavky na vztah k životnímu prostředí a výhodná ekonomie [3].

3.1. Tepelně technické požadavky na obvodové konstrukce

Trendem dnešní doby jsou nízkoenergetické stavby. O nízkoenergetické stavby je zájem ze strany spotřebitelů, kdy minimální náklady na provoz těchto domů v porovnání s „klasickými“ stavbami je silný argument. Na stavbu nízkoenergetických domů je také kladen důraz nařízením Směrnice evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov [3]. Zavádění této směrnice vedlo k vypracování zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií měnicím zákon č. 318/2012 Sb. K zákonu se vydává také vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov nahrazující vyhlášku č. 148/2007 Sb. [9]. Tato směrnice hovoří o stavbě domů se spotřebou veškeré energie, především z neobnovitelných zdrojů, téměř nulovou [10]. Tohoto cíle lze dosáhnout stavbou domů s vysokými nároky na tepelně izolační vlastnosti obvodových konstrukcí nebo stavbou domů, které jsou založeny na využívání obnovitelných zdrojů energie a tepelné kapacity materiálů. Dle této směrnice bude nutné splnit hodnoty součinitele prostupu tepla pro obvodové konstrukce $0,25 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Tato hodnota je v současné době v normě ČSN 73 0540-2 uvedena jako doporučená hodnota. Je však nutné při honbě za tepelně izolačními vlastnostmi brát zřetel na splnění dalších neméně podstatných vlastností zdiva. Dnešní jednovrstvé zdivo typu Therm při praktické vlhkosti bez omítek zmíněné tepelně izolační požadavky bez problémů splňuje.

Dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. musí vnější stěny splňovat tepelně technické vlastnosti při prostupu tepla dané normou. Jedná se součinitel prostupu tepla a nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce [8].

Dle normy ČSN EN 771 – 1 je výrobce povinen u prvků nichž jsou tepelně technické požadavky významné pro jejich použití uvádět průměrnou hodnotu $\lambda_{10,dry,unit}$ včetně způsobu, kterým byla tato hodnota stanovena dle ČSN EN 1745, Zdivo a výrobky pro zdivo - Metody stanovení tepelných vlastností nebo uvést objemovou hmotnost prvku či materiálu prvku v suchém stavu a tvarové uspořádání prvku [2].

3.2. Akustické požadavky na obvodové konstrukce

Z pohledu akustiky se u cihelného zdiva hodnotí zvuková neprůzvučnost konstrukce. Tato hodnota je závislá především na hmotnosti zdiva na jednotku plochy, tedy na objemové hmotnosti zdiva a tloušťce zdiva. Zdivo s vyšší objemovou hmotností dosahuje lepších hodnot zvukové neprůzvučnosti. Tento požadavek je pro protichůdný s požadavkem na tepelně izolační vlastnosti zdiva, kde se vylehčením střepu/nížší hodnotě objemové hmotnosti dosahuje zlepšení tepelně izolačních vlastností.

Vyhláška č. 268/2009 Sb. stanoví, že stěna je vyhovující z hlediska zvukové izolace, pokud splňuje požadavky stavební akustiky a vzduchové neprůzvučnosti dle charakteru místnosti [8].

Požadavky na zvukovou izolaci obvodových plášťů jsou uvedeny v normě ČSN 73 0532 Akustika. Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Požadavky.

3.3. Mechanická odolnost obvodových konstrukcí

S ohledem na mechanickou odolnost je první a zásadní vlastnost, podle které se dnes cihelné zdivo posuzuje, je pevnost v tlaku. U cihelného zdiva se zkouší pevnost v tlaku jednotlivých zdících prvků i části cihelného zdiva. Na výslednou pevnost v tlaku tvarovek má vliv vnitřní uspořádání žeber tvarovky, tloušťka jednotlivých žeber a množství vylehčení keramického střepu. Při hodnocení pevnosti v tlaku cihelného zdiva má vliv preciznost provedení zdiva spolu s pevností zdící malty v ložné spáře. Pevnosti současných zdících prvků se pohybují v hodnotách cca mezi 6 – 8 MPa. Tyto hodnoty umožňují bezpečnou výstavbu i několika patrových objektů při použití nosného cihelného zdiva.

Dle ČSN EN 771 – 1 je výrobce povinen u všech pálených zdících prvků určených pro zděné konstrukce, na něž budou kladeny statické požadavky deklarovat průměrnou pevnost prvků v tlaku a normalizovanou pevnost prvků v tlaku. Výrobce je také povinen deklarovat, zda pálený zdící prvek náleží do kategorie I, tedy prvky u nichž je pravděpodobnost, že nedosáhnou deklarované pevnosti v tlaku menší než 5 %, nebo do

kategorie II, kdy se u prvků předpokládá, že nesplní požadavky kategorie I. Deklarovaná pevnost v tlaku výrobcem musí obsahovat orientaci zdícího prvku při zkoušce, způsob provedení ložných spár a zda – li některé otvory jsou určeny pro vyplnění maltou [2].

Přepočet pevnosti v tlaku keramického zdícího prvku na normalizovanou pevnost v tlaku je uveden v ČSN EN 772 – 1, Zkušební metody pro zdící prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku.

3.4. Šíření vlhkosti v obvodových konstrukcích

Z pohledu šíření vlhkosti v jednovrstvé zdivu při standardním složení materiálů zdiva nedochází k žádným problémům s kondenzací a hromaděním vlhkosti ve zdivu v průběhu roku. Díky své pórovitosti se cihelný stěp vyznačuje dobrou sorpční a desorpční izotermou snadným odváděním vlhkosti [3].

Z pohledu propustnosti vodní páry musí výrobce u zdících prvků určených pro vnější stěny deklarovat hodnoty faktoru difúzního odporu uvedené v ČSN EN 1745, Zdivo a výrobky pro zdivo - Metody stanovení tepelných vlastností, nebo stanovené dle ČSN EN ISO 12572, Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení prostupu vodní páry [2].

3.5. Vzduchotěsnost obvodových konstrukcí

Vzduchotěsnost je parametr zdiva, který je sledován především v poslední době. Vzduchotěsnost sledujeme u nízkoenergetických, pasivních budov. Při netěsnosti dochází k tepelným ztrátám. U současných zdících prvků je zaručena velmi dobrá vzduchotěsnost při správné aplikaci zdiva, správném použití omítek a správném provedení rozvodů instalací [3].

3.6. Požární odolnost obvodových konstrukcí

V případě požáru jsou u stavebních konstrukcí sledované vlastnosti zda-li konstrukce zabraňují vzniku požáru případně rozšiřování vzniklého požáru. Dále se sleduje doba, po kterou si v případě požáru konstrukce zachová své statické vlastnosti/únosnost. Nehořlavé požární konstrukce jsou zařazeny do třídy A, hořlavé konstrukce do třídy B. Cihelné zdivo ze zdících tvarovek oboustranně omítnuté 15 mm omítkou z hlediska požární odolnosti je zařazeno do třídy reakce na oheň A1 – nehořlavé. Požární odolnost dle ČSN EN 1996-1-2, Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru je REI 180.

Výrobce je povinen u pálených zdících prvků deklarovat klasifikaci zdících prvků z pohledu reakce na oheň. Dle ČSN EN 771 – 1 zdící prvky, které obsahují méně jak 1 % vyšší z hodnot hmotnosti nebo objemu homogenně rozložených organických materiálů, zle bez zkoušení zařadit do třídy reakce na oheň A1. U prvků s hodnotou vyšší než 1 % vyšší z

hodnot hmotnosti nebo objemu homogenně rozložených organických materiálů musí výrobce prvek klasifikovat dle ČSN EN 13501-1, Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň a deklarovat u něj třídu reakce na oheň [2].

3.7. Udržitelný rozvoj

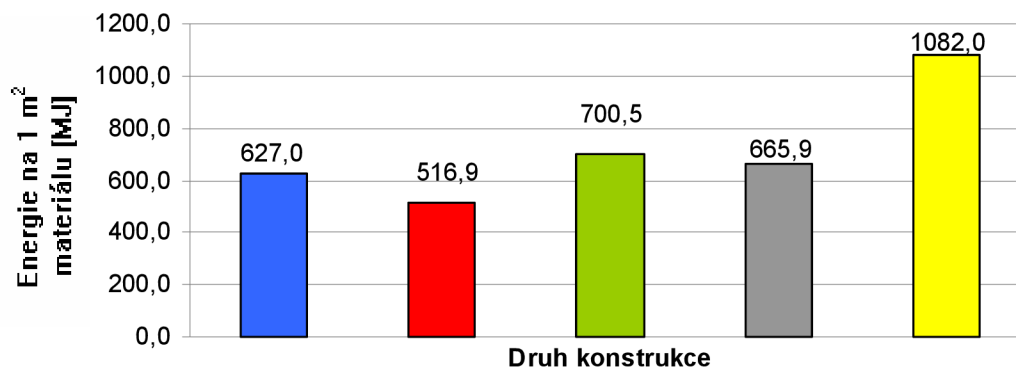
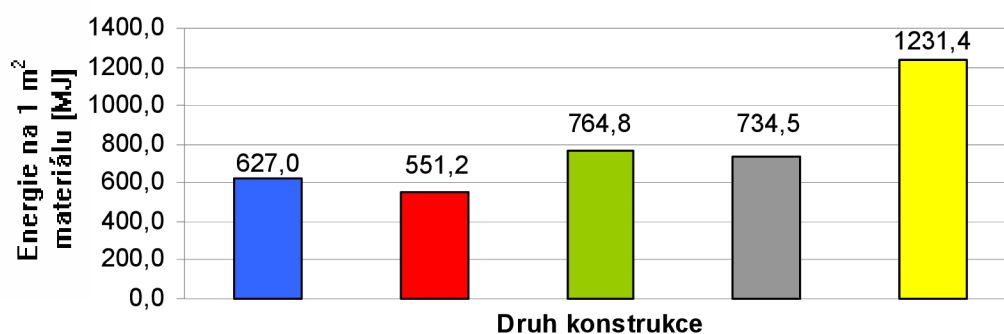
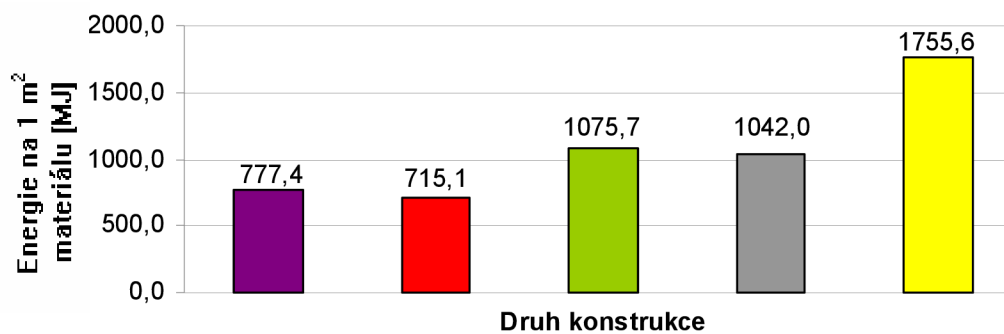
Jedná se o vztah stavebních materiálů, konstrukcí a budov k životnímu prostředí. K tomuto účelu slouží například analýzy LCA, díky které je možné identifikovat možnosti ke zlepšení enviromentálního profilu výrobku v jednotlivých fázích životního cyklu. Analýza LCA může také sloužit k vytvoření enviromentálního prohlášení o produktu – EPD. Vyjádření všech energetických toků během životnosti produktu je obtížné, tudíž i objektivní srovnání jednotlivých materiálů z tohoto hlediska je obtížné. Právě prohlášení o produktu EPD je nástrojem, který by toto porovnání mohl výrazně usnadnit. Je zde uvedena energetická náročnost od získávání surovin až po expedici a následující dopady na životní prostředí.

Vyhláška č. 268/2009 Sb. stanoví, že budovy musí být provedeny spotřeba energie na vytápění, větrání, umělé osvětlení a klimatizaci byla co nejnižší. Jedním ze způsobů, jak ovlivnit energetickou náročnost je volba použitých materiálů. [8].

Pokud porovnáme cihlu plnou, která stála na počátku vývoje cihelného zdiva, se současnými zdíci prvky došlo na první pohled k výrazné úspoře vstupních surovin. Pokud budeme porovnávat konstrukci ze současných zdících prvků a plných cihel o šířce 440, je na 1 m² stěny z cihel plných potřeba asi 615 kg pálené keramiky a na současné zdící prvky potřeba asi 300 kg pálené zdící keramiky. Přesto že pro vytvoření současných zdících prvků nebyla důvodem úspora materiálu došlo ke snížení energetické náročnosti z tohoto hlediska o více jak polovinu. Tento vývoj zdících prvků má také výrazný vliv na energetickou úsporu při samotném výpalu, který je jednou z energeticky nejnáročnějších fází výroby. Další úspory energií bylo dosažen díky vytvoření přesného zdění z broušených tvarovek, které sebou nese úsporu použité malty nutné pro zdění.

Krokem ke zlepšení energetické náročnosti a vztahu k životnímu prostředí je také použití odpadních surovin či recyklace. Odpadní či recyklované materiály je možné využít již při vytváření keramického střepu jako lehčiva primární či sekundární, nebo jako materiály pro integrovanou tepelnou izolaci [6].

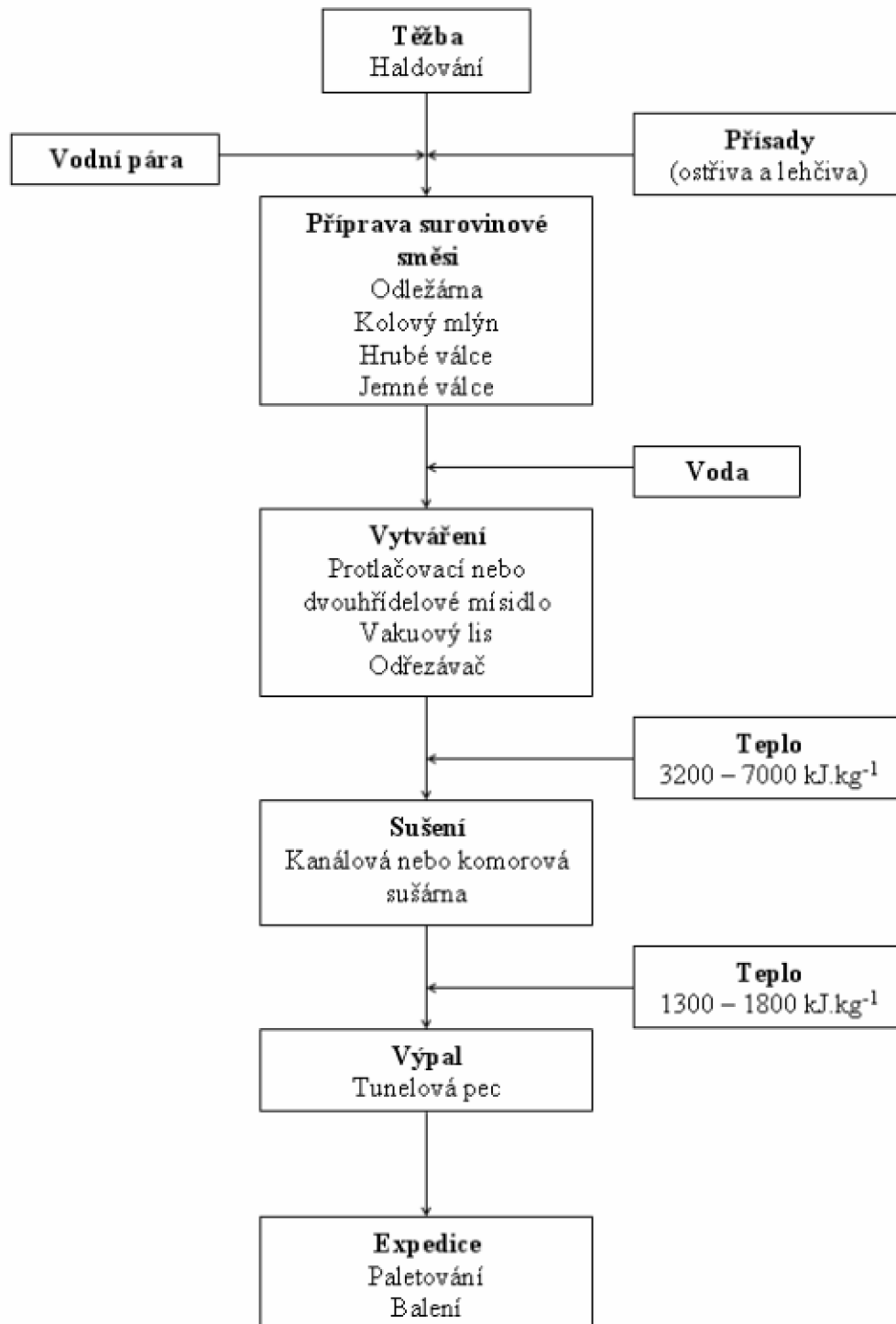
Porovnání z hlediska energetické náročnosti 1 m² stěny z různých materiálů, pro různé hodnoty součinitele prostupu tepla je na následujících grafech. Jednotlivé skladby jsou uvedeny v příloze 1. Z grafů vyplývá, že zdivo ze současných zdících prvků je z pohledu energetické náročnosti výroby velmi dobře konkurence schopné jiným stavebním materiálům [3].

Graf 2: Porovnání energetické náročnosti na výrobu konstrukcí pro $U = 0,22 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ [3].Graf 3: Porovnání energetické náročnosti na výrobu konstrukcí pro $U = 0,18 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ [3].Graf 4: Porovnání energetické náročnosti na výrobu konstrukcí pro $U = 0,11 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ [3].

- Jednovrstvé zdivo
- Zdivo s EPS
- Zdivo z pórobetonu s pórobetonovými izolačními deskami
- Vápenopískové zdivo s minerální izolací
- Dřevitá sendvičová konstrukce
- Jednovrstvé zdivo s vyplněnými dutinami EPS

4. Výroba keramických zdících prvků

Jednotlivé kroky výroby keramických zdících prvků je obecně známé. Celý proces je rozdělen do několik následujících kroků.



Obr. 1: Schéma výroby pálených zdících prvků [11].

4.1. Těžba cihlářských zemin

Cihlářské zeminý se těží z ložisek, na kterých se před započítím těžby provádí geologický průzkum. Následně se technologicky ověřuje kvalita ložiska. Na základě těchto výsledků se vydává výměr pro klasifikaci zásob. Po výkupu pozemku dojde ke stanovení dobývacího prostoru a vypracování plánu otvírky, přípravy a dobývání.

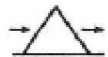
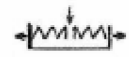
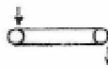
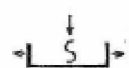
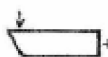

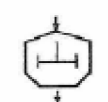
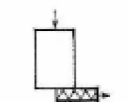
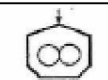
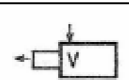
Vlastní těžba je prováděna pomocí korečkových rypadel a skrejprů. Při samotné těžbě dochází také k homogenizaci natěžené suroviny, která se získává povrchově z jedné etáže. Zemina je dále ukládána na haldu. Zde dochází k procesu zvětrávání a rozpadu jednotlivých hrudek.

Doprava zeminy se provádí nákladními auty na větší vzdálenosti, pro kratší vzdálenosti se využívá nakladačů nebo dopravních pásů [11].

4.2. Příprava surovinové směsi

Příprava směsi je klíčovou operací při keramické výrobě. Cílem přípravy je vytvořit homogenní plastické těsto optimálních vlastností, které by měli být neměnné. Základní kroky přípravy jsou haldování, odležení surovin, úprava vlhkosti, drcení a mletí, homogenizace a elektromagnetická separace kovových částic.

Strojová posloupnost při úpravě suroviny je individuální pro každou cihelnu. Jednotlivé části cihlářské úpravárenské linky jsou znázorněny v následující tabulce.

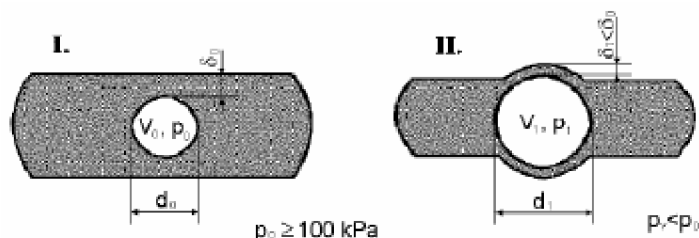
	Halda		Talifové misidlo
	Pásový dopravník		Protlačovací misidlo
	Podavač		Odležárna
	Kolový mlýn		Odležovací věž
	Válce		Šnekový lis

Obr. 2: Symboly používané pro jednotlivé části cihlářské úpravárenské linky [11].

Jednotlivé složky, především cihlářské zeminý, lehčiva a ostřiva, se společně melou a mísí v kolovém mlýně za přídavku vody. Následují válce hrubé a jemné mletí. Připravená směs se ukládá do odležovacích věží, kde dochází k rozložení vlhkosti, zvýšení plastičnosti a tvárnosti těsta. Po 24 hodinách se směs dovlhčí a dohřeje párou jeli to potřeba a po poslední homogenizaci je dopravena do šnekového lisu [11].

4.3. Vytváření

Pro výrobu cihelných bloků se používá výhradně vytváření tažením šnekovým lisem. Ve šnekovém lisu dochází k homogenizaci, propařování a vakuování surovinové směsi. Základní funkce šnekového lisu jsou homogenizace, vytvoření potřebného tlaku, rovnoměrný výtlač. Vakuováním při vytváření je dosahováno vyšší tuhosti/pevnosti těsta díky odvodu vzduchu.



Obr. 3: Princip vakuování, I. Velikost póru při atmosférickém tlaku, II. vakuováním dochází ke snížení okolního tlaku, čím se zvětší vzduchový pór až do jeho prasknutí/odstranění [11].

Ústí šnekového lisu je pro každý druh tvarovky konstruováno individuálně na základě plastičnosti těsta, velikosti a tvaru dutin. Konstrukcí ústí je nutné tok těsta, tak aby byl výtlač po celé průřezu vytlačovaného pásma rovnoměrný. Vlastní ústí je tvořeno z trnů, třmenů a jader. Třmeny spojují jednotlivé trny na jejich konci jsou jádra dávající konečný tvar tvarovek.

Za šnekovým lisem následuje odřezávač, který dělí nekonečné vytlačované pásmo na jednotlivé prvky. Je důležitá přesná synchronizace odřezávače s pohybem pásma, tak aby výsledný řez byl kolmý [11].



Obr. 4: Ústí vakuového šnekového lisu pro keramickou zdící tvarovku typu THERM [11].

4.4. Sušení

Vytvořené výlisky obsahují z technologického důvodu vysoké procento vlhkosti, je tedy nutné je před samotným výpalem vysušit. Již v průběhu sušení dojde k smrštění výlisků až o 6 %. V cihlářství se v současné době nejvíce využívají sušárny kanálové a komorové. Využívá se odpadní teplo z chladících pásem pecí.

V komorových sušárnách se využívá vzduchu přivedeného z chladícího pásma pece. Sušící vzduch proudí vertikálně nebo horizontálně nebo reverzibilně. Dle druhu výrobků je doba sušení 2 až 4 dny. Spotřeba tepla je $3400 - 7000 \text{ kJ.kg}^{-1}$ vody. U komorové sušárny je snadná změna režimu sušení, náročnější obsluha a vyšší spotřeba tepla.

U kanálových sušáren se využívá protisměrného proudění sušícího vzduchu doplněné o příčné proudění. Také se využívá vzduch z chladícího pásma pece. Doba sušení je 1 až 3 dny při spotřebě tepla cca 3200 kJ.kg^{-1} vody. Obsluha je jednodušší než u komorové sušárny, proces je více automatizovaný [11].

4.5. Výpal

Výpal se provádí v současné době téměř vždy v tunelové peci. Doba výpalu je 30 – 35 hodin s maximální teplotou $930 - 1050 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Spotřeba tepla je $1,3 - 1,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Tyto hodnoty ovlivňuje i konkrétní způsob pohybu prvků v tunelové peci. Prvky se mohou pohybovat na pecních vozech, nebo na pásu. Při výpalu dochází ke smrštění 1 %. Vysušené tvarovky postupně projíždí postupně tři pásma lišícími se teplotou a prouděním vzduchu. Jedná se o předehřívací pásmo, pásmo pálicí a chladící [11].

5. Způsoby aplikace integrované tepelné izolace

Rozeznáváme dva základní druhy tepelných izolací, které lze integrovat do keramické tvarovky. Jedná se o kusové tepelné izolace a o partikulární (případně tekuté či pěnové směsi pojiv a plniv) tepelné izolace [12].

Při použití kusové izolace se vyžívá při fixaci její částečné stlačitelnosti. Tyto integrované tepelné izolace mají několik plusů spojených s aplikací. Samotné vyplnění tvarovky není pracné, nejsou potřeba speciální zařízení pro úpravu a vytvrzení izolantů a nepoužívají se zde mokré procesy. Kusové tepelné izolace jsou vhodné do tvarovek s velkými speciálně vytvořenými dutinami.

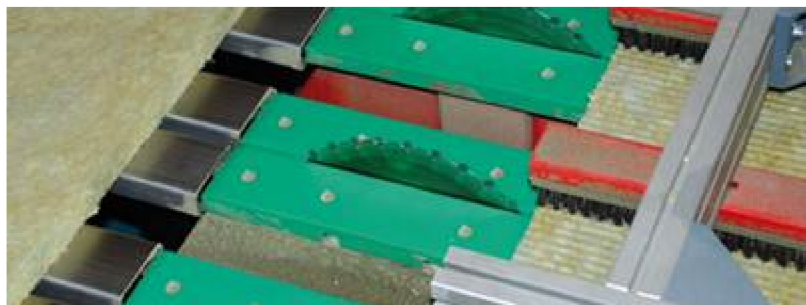
První případ partikulární tepelné izolace je tvořen směsí pojiva a plniva. Tato směs se po aplikaci do dutin, které v tomto případě mohou být libovolných velikostí, vyžívá a následně se vytvrzuje. Jedná se například o PUR nebo PIR pěny. Druhý případ partikulární tepelné izolace je fixován v dutinách tvarovek vlastní expanzí. Aplikace partikulární tepelné izolace je v porovnání s kusovou tepelnou izolací náročnější. Jsou zde kladeny vyšší požadavky na samotnou technologii aplikace, celý proces je časově náročnější a u některých aplikací je navíc nutný proces vytvrzení.

5.1. Kusové izolanty

V případě plnění kusové izolace se v současné době jedná o plnění minerální vatou či polystyrénovými bloky. V obou případech je požadovaná izolace o tloušťce, mírně převyšující velikost dutin tvarovek, uložena na dopravník. Zde je izolace formátována na požadovanou velikost. V případě minerální vaty je možné použití kmitající struny, kotoučové pily, v případě polystyrenu je možné použití horkého drátu. Naformátované desky tepelné izolace jsou uloženy do zásobníků, ze kterých jsou následně odebírány.

Vlastní integrace tepelné izolace je prováděna ve svislé či horizontální poloze tvarovky. V případě vertikálního plnění se tvarovky mohou pohybovat po dopravníku, nebo mohou být plněny na otočném stroji, podobnému revolverovému lisu. V případě horizontálního plnění jsou posunovány na dopravníku.

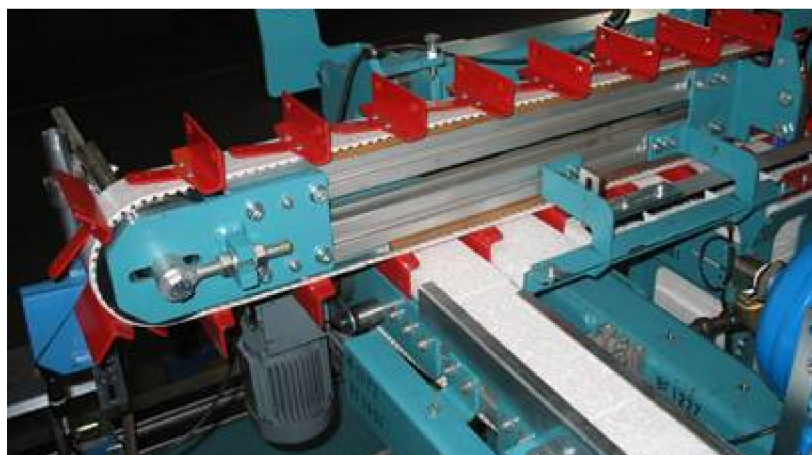
Bloky tepelné izolace odebrané ze zásobníku jsou v prvním případě sestaveny do formy, tvaru dutin tvarovky a dotud jsou pomocí plochých jehel odebrány a aplikovány do tvarovky, nebo jsou z formy do dutin tvarovky vytlačeny. Druhou možností je odebrání izolace ze zásobníku pomocí plochých jehel a přes formu ve tvaru dutin tvarovky aplikovány do dutin tvarovky [13].



Obr. 5: Formování izolace z minerální vaty kotoučovou pilou [14].



Obr. 6: Formování izolace z minerální vaty strunou [14].



Obr. 7: Formování izolace z polystyrenu [13].



Obr. 8: Formování izolace z polystyrenu [13].



Obr. 9: Technologická linka pro vkládání kusového izolantu do keramických zděných tvarovek, horizontální způsob vkládání [13].



Obr. 10: Technologická linka pro vkládání kusového izolantu do keramických zdělic tvarovek, vertikální způsob vkládání na otočném stroji [13].



Obr. 11: Technologická linka pro vkládání kusového izolantu do keramických zdělic tvarovek, vertikální způsob vkládání [14].

5.2. Partikulární izolanty

V případě integrovaných partikulárních izolací se jedná o expandovaný polystyren, perlit a integrovanou izolaci z vláken ovčí vlny.

Integrace izolace z polystyrenu je zajištěna vsypáním polystyrenu ze zásobník Big-bag do tvarovek, které se pohybují na otočném stole. Při plnění polystyrenu dochází k vibraci podložky rázy kladiva, díky tomu je dojde k důkladnému zaplnění dutin tvarovky. Po naplnění jsou obě ložné plochy tvarovky propařovány teplotou cca 95 °C. Díky propaření dojde k doexpandování polystyrenu v dutinách a tím i fixaci [15].



Obr. 12: Karusel pro plnění tvarovek polystyrenem [15].

Další možností integrace tepelné izolace je vibrolisování perlitu ve velkých dutinách a následné vytvrzení. Perlit je skladován v sílech dle jednotlivých frakcí. Před vlastním plněním je granulát navlhčen vodou a minerálním pojivem [16]. Tvarovky se na dopravníku dopraví pod plnicí maticí. Tvarovky jsou pevně fixovány a na jejich vrchní ložnou plochu je usazena plnicí šablona. Poté je do dutin až tří tvarovek najednou vsypáván perlit. Tvarovka je při plnění vibrována a ze spodu je vyvíjen podtlak, pro zajištění důkladného vyplnění dutin. Naplněné cihly jsou následně sušeny dvě hodiny při teplotě 140 °C, čímž dojde k vytvrzení naplněného izolantu [17].



Obr. 13: Vytvrzování perlitu v sušícím zařízení [15].

Poslední možností integrace partikulární tepelné izolace je vibrolisování do malých dutin. V tomto případě se používají vláknité tepelné izolace, jako například ovčí vlna. Princip spočívá v vtírání vláknitého izolantu pomocí kartáčů do dutin tvarovek při současné mírné vibraci mírnému podtlaku zesponu. Tento způsob vibrolisování se provádí pro několik stojících tvarovek současně, nebo na tvarovkách pohybujících se na dopravníku. Tvarovky jsou po naplnění dutin po celé výšce je přebytečný izolant odsáván a znovu vsypáván při plnění nových tvarovek [18].

6. Materiály pro integrovanou tepelnou izolaci

6.1. Polystyren

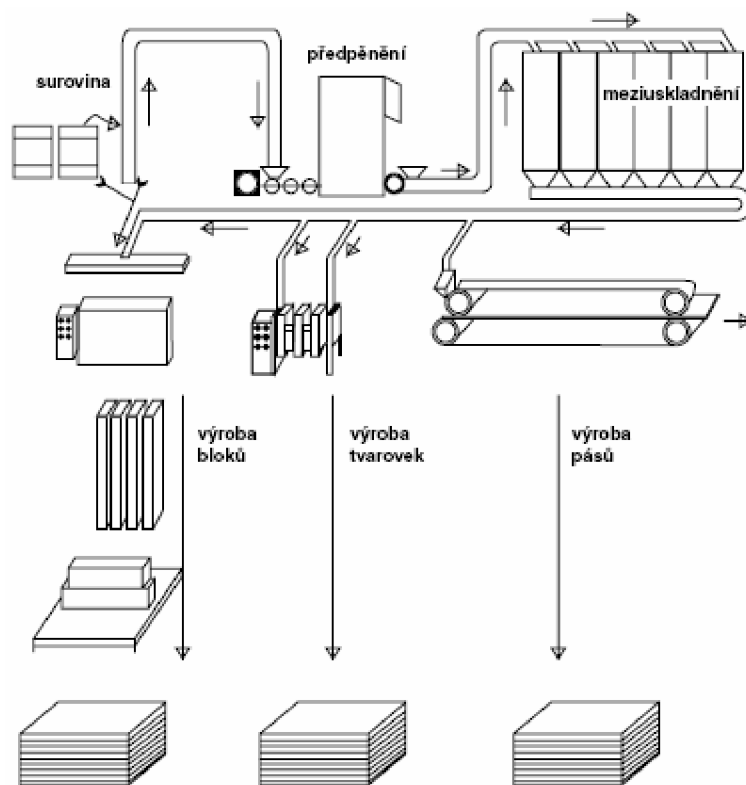
Pěnový expandovaný polystyren (EPS) je jednou z nejrozšířenější tepelné izolace na našem trhu. Nejčastěji se nám vybaví bílé izolační desky používané při vnějším zateplovacím systému ETICS. Pěnový polystyren se vyznačuje nízkou hmotností, dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, snadnou opracovatelností, aplikovatelností a cenovou dostupností.



Obr. 14: EPS ve formě granulátu, perlí a izolační hmoty [19].

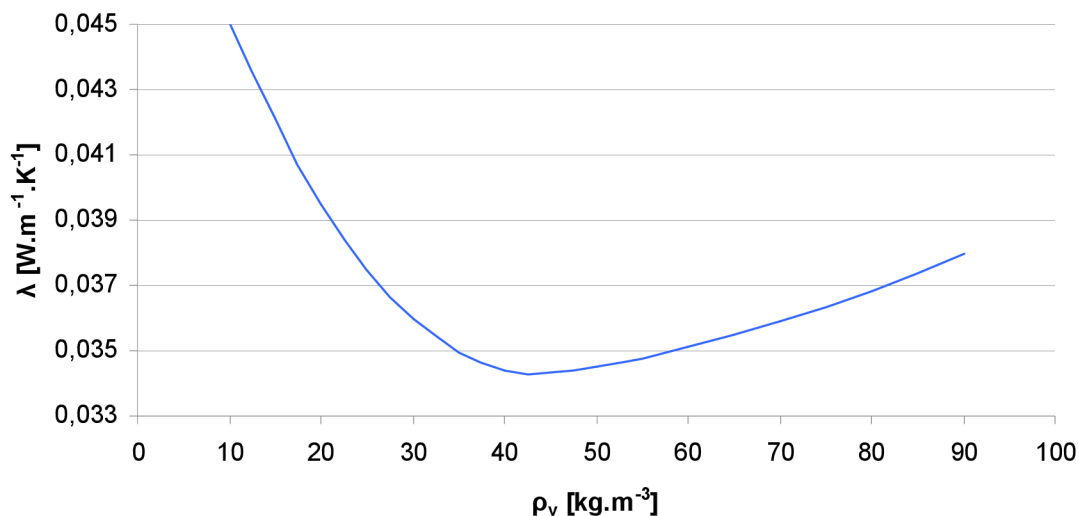
Pěnový polystyren se vyrábí zpěňováním polystyrenu ve formě perlí. Perle se vyrábí suspenzní polymerací monomeru styrenu ve velikostech 0,3 – 2,8 mm, dle druhu použití. Jako nadouvadlo v obsahu 6 – 7 % se nejčastěji používá pentan. Pentan i styren jsou látky, které se běžně nachází v přírodě. Pentan se vytváří v zažívacích systémech zvířat či při rozkladu rostlinných zbytků pomocí mikroorganismů. Styren je součástí mnoha potravin. Pro průmyslové použití se styren i pentan vyrábí ropy [19].

Běžná výroba polystyrenu je rozdělena do tří hlavních kroků. Předpěnění, meziuskladnění a vlastní výroba. Předpěnění se provádí pomocí syté vodní páry v předpěňovacích zařízeních. Perle v průběhu tohoto zpracování zvětší dvacetinásobně až padesátinásobně svůj objem. Uvnitř každé perle se vytvoří buněčná struktura. U předpěněných perlí sledujeme především sytnou hmotnost, neboť je shodná s výslednou objemovou hmotností expandovaného polystyrenu. Sytnou hmotnost perlí je možné ovlivnit v průběhu předpěnění teplotou a dobou působení páry. Takto vyrobené perle jsou následně chlazeny. Při chlazení dochází uvnitř perlí k podtlaku, který způsobuje jejich náchylnost k mechanickému poškození. Perle jsou tedy skladovány v provzdušňovaných silech, kde se difusí vzduchu podtlak vyrovná, perle se vysuší a zlepší se mechanické vlastnosti. Takto upravené perle jsou zpracovávány při výrobě bloků, tvarovek, nebo nekonečných pásech [19] [20].

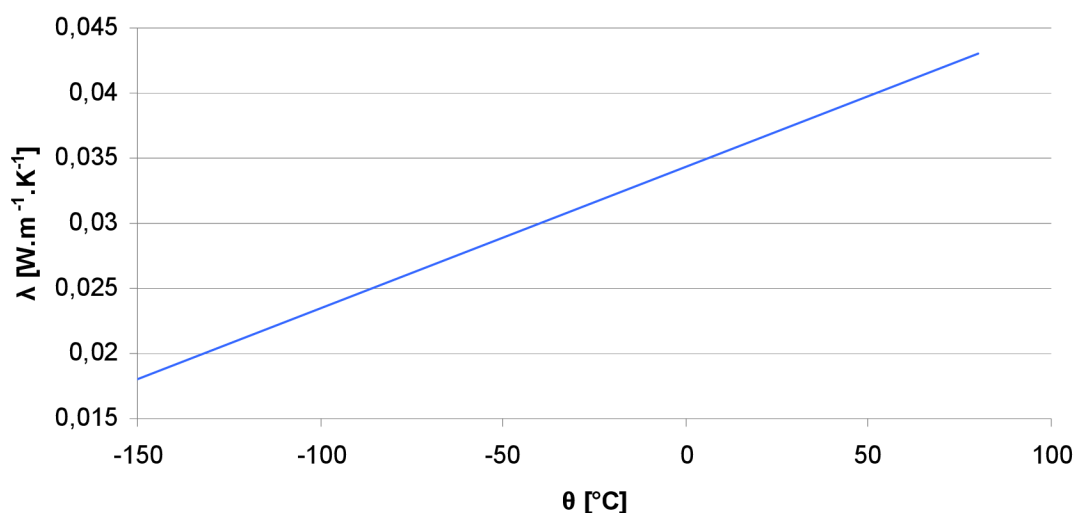


Obr. 15: Postup výroby pěnového polystyrenu [19].

Nejvýznamnější vlastností pěnového polystyrenu je nízká hodnota tepelné vodivosti. Díky tomu je polystyren výbornou tepelnou izolací. Tepelná vodivost polystyrenu je závislá na objemové hmotnosti, vlhkosti a teplotě desek. Izolační vlastnosti jsou dány strukturou, která je tvořena buňkami ve tvaru uzavřených mnohostěnů. Buňky jsou naplněny pouze vzduchem. Procentuelně je pěnový polystyren tvořen asi ze 2 % polystyrenem a 98 % vzduchem. Nejnižší součinitel tepelné vodivosti v závislosti na objemové hmotnosti je při objemové hmotnosti 30 až 50 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Při vyšší i nižší objemové hmotnosti tepelná vodivost stoupá. V praxi se běžně setkáme s pěnovým polystyrenem o objemové hmotnosti 8 až 40 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [19] [20].



Graf 5: Vliv objemové hmotnosti na součinitel tepelné vodivosti EPS. Měřeno při 10 °C [19].



Graf 6: Vliv teploty na součinitel tepelné vodivosti EPS. Měřeno na vzorku s objemovou hmotností 20 kg.m⁻³ [19].

Pěnový polystyren se používá pro stavební účely již více než 50 let, za tu dobu bylo zjištěno, že jeho vlastnosti jsou při správné aplikaci neměnné. Při působení slunečním ultrafialovém záření se na povrchu nechráněného polystyrenu vytváří žlutá degradovaná vrstva. Tato degradace nemá vliv na základní fyzikální vlastnosti materiálu může však docházet ke zhoršení přilnavosti lepidel. Pěnový polystyren je odolný většině běžných stavebních hmot cementu, vápnu, sádky a stavebních dílců z těchto pojiv. Pěnový polystyren nepodléhá biologickým procesům jako je hniloba, plíseň či trouchnivění [19] [20].

V roce 2011 představila společnost HELUZ cihlářský průmysl v. o. s. broušené cihelné bloky. Bloky vychází z již dříve používaných bloků HELUZ Family. Do dutin těchto bloků byl aplikován pěnový polystyren, které je zde pevně fixován. Fixace pěnového polystyrenu uvnitř dutin je zajištěna způsobem výroby, kdy do tvarovek jsou vsypány předexpandované perle. Následným zahřáním dojde ke konečné expanzi pěnového polystyrenu uvnitř dutin. Tyto tvarovky jsou na českém trhu k dostání pod obchodním názvem HELUZ Family 2in1 a jsou k dostání v šířce 500, 440, 380, 300 a 250 mm [21].



Obr. 16: Keramická zdící tvarovka Heluz Family 2in1 [21].



Obr. 17: Řez keramickou zdící tvarovkou Heluz Family 2in1 [21].

6.2. Minerální vlna

Minerální vlna je společný název pro kamennou a skelnou vatu. Tato izolace patří mezi nejpoužívanější tepelné izolace na českém trhu. Jako integrovaná teplá izolace keramických zdících tvarovek se upřednostňuje kamenná vata, která je v porovnání se skelnou vatou levnější, při vyšší objemové hmotnosti lépe stlačitelná a má lepší tepelné technické vlastnosti.

Nejčastěji se kamennou minerální vatou na stavbě může setkat při zateplování střech, kdy se používá jako tepelná izolace mezi krokve, tepelná izolace komínových systémů, tepelná izolace vzduchotechnických zařízení, či při vnějším zateplení fasád. Na rozdíl od pěnového polystyrenu je vzhledem k větší nasákavosti při použití kamenné vata vhodnější volit systém s provětrávanou vzduchovou mezerou, než vnější zateplování systém ETICS.

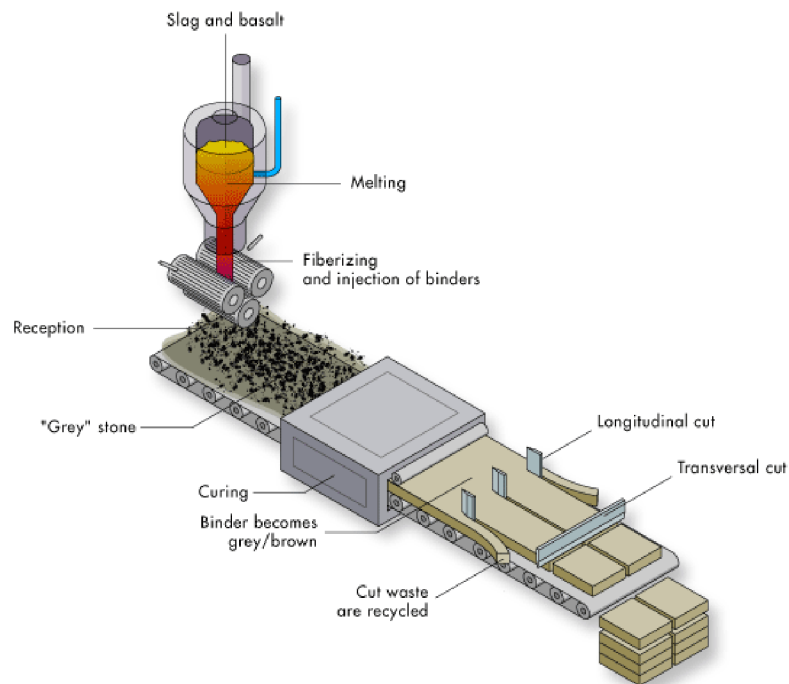


Obr. 18: Minerální kamenná vata [22].

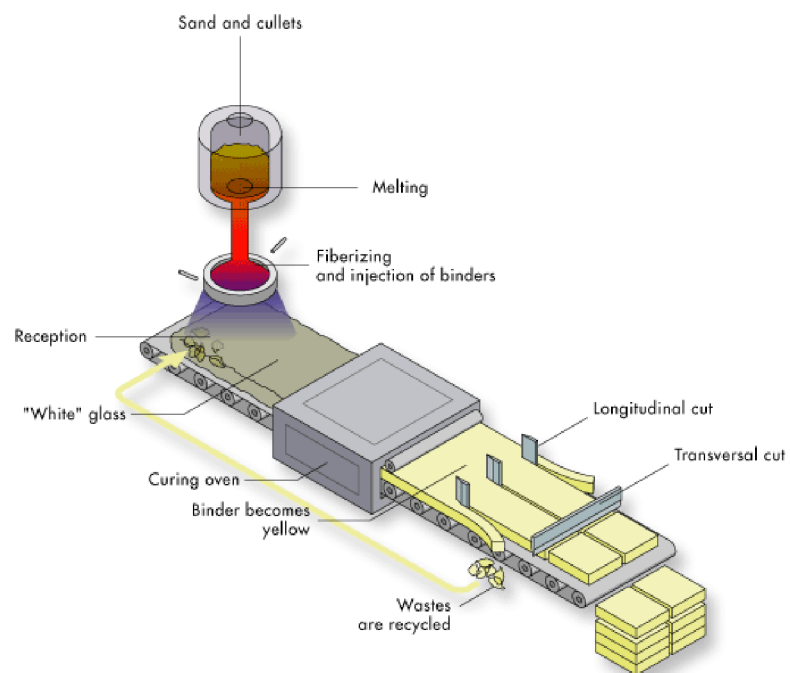


Obr. 19: Surovinová moučka pro výrobu kamenné vlny [23].

Výroba minerální kamenné vaty probíhá natavením různých kombinací hornin. Jedná se o vápenec, siderit, dolomit, diabas, strusky a nejčastěji čedič. Jednotlivé suroviny pro výrobu se podrtí na granulát, který se následně společně semele. Následuje fáze tavení, kdy se směs taví až při teplotě 1600 °C s ohledem na druh vstupní suroviny [24]. Z taveniny se rozvlákněním vytvoří vlákno o průměru cca 3 μm. Nejvíce používanou technologií rozvláknění jsou rychle se točící válce. Takto vyrobená vlákna se upravují na požadovanou délku, dle polohy vláken, kolmá či podélná vlákna. Jednotlivá vlákna navzájem pojíká pomocí nástřiku pojiva například roztokem bakelitu a pro omezení prašnosti a jako hydrofobizér se používá nástřik olejem. V dnešní době se již jako pojivo užívají látky bez obsahu formaldehydu. Pojiva jsou vyráběna konverzí organických materiálů do inertního polymeru. Vlákna opatřená nástřikem pojiva jsou formována do požadovaných tvarů, nejčastěji nekonečného pásu a při teplotě okolo 250 °C dochází k vytvrzení.



Obr. 20: Výroba kamenné vaty [25].



Obr. 21: Výroba skelné vaty [25].

Jednotlivá vlákna minerální izolace jsou navzájem nepravidelně překřížena, čímž dochází k vytvoření vnitřní struktury materiálu. Uvnitř struktury je velké množství vzduchu. Vzduchu je díky struktuře bráněno v pohybu a díky tomu má výsledný materiál vysokou tepelně izolační schopnost. Součinitel tepelné vodivosti minerální kamenné vaty se dle jednotlivých výrobců pohybuje v rozmezí hodnot $0,03 - 0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Kamenná

vata má také dobré difúzní vlastnosti, respektive nízký faktor difúzního odporu, je snadno upravitelný do požadovaných velikostí a při následné aplikaci dochází k dobrému utěsnění prostoru. Minerální kamenná vata je chemicky neutrální, nedochází k reakci s okolními materiály, vzhledem ke svému anorganickému složení je odolná vzniků plísní a hnilobě. Nevýhodou minerální kamenné vaty je ztráta tepelně izolačních vlastností při dlouhodobém styku s vlhkostí. Z tohoto důvodu je při aplikaci nutné dbát na pečlivé dodržování technických postupů [23] [25].

V roce 2011 představila firma Wienerberger cihlářský průmysl, a. s. zdící tvarovku s integrovanou tepelnou izolací pod obchodním názvem POROTHERM T Profi. Zahájení výroby těchto tvarovek v ČR je naplánována na leden 2014 v Novosedlích na Moravě. Jako tepelná izolace byla použita právě minerální kamenná vata. Tvarovka má odlišnou geometrii vnitřních žebek, než dosud vyráběné tvarovky. Počet žebek se výrazně snížil, s tím také počet dutin, které jsou tedy výrazně zvětšené oproti obvyklým tvarovkám. Při fixaci kamenná vaty v tvarovkách bylo využito její snadné stlačitelnosti, kdy díky snaze vaty vrátit se do původní velikosti je pevně fixována v dutinách tvarovky. Tvarovky jsou vyráběny ve třech šířkách 425, 365 a 300 mm [14].



Obr. 22: Keramická zdící tvarovka Porotherm T Profi [14].



Obr. 23: Řez keramickou zdící tvarovkou Porotherm T Profi [14].

6.3. Expandovaný perlit

Expandovaný perlit je ve stavebnictví rozšířený materiál, který nachází uplatnění jako tepelně izolační materiál. Jeho praktické použití je odvislé od jeho sypkého charakteru. Expandovaný perlit se tedy používá jako sypaná tepelná izolační vrstva do podlahových konstrukcí, stěn dřevostaveb, příměs do izolačních omítek a malt a také je používán jako příměs do betonu. Při aplikaci do betonu upravuje především dvě vlastnosti výsledného betonu. Jedná se o snížení objemové hmotnosti betonu a zvýšení tepelně izolačních vlastností betonu.



Obr. 24: Perlit ve formě horniny, granulátu a expandovaného perlitu [26].



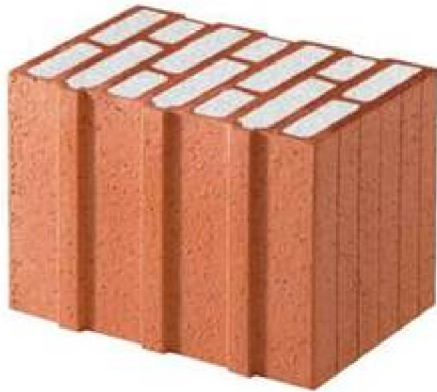
Obr. 25: Granulát perlitu vzniklý podrcením horniny [26].

Perlit je vulkanická hornina, o které hovoříme také jako o vulkanickém skle. Výroba expandovaného perlitu z perlitu je poměrně snadná záležitost. Natěžený perlit je zahříván na teplotu 1000 °C, při které dojde k přeměně vody v páru a následnému uvolnění vázané vody v hornině. Díky tomuto procesu perlit patnáctkrát až dvacetkrát naexpanduje a získá své charakteristické vlastnosti. Perlit se také upravuje silikonovým nástřikem, který vytvoří na perlitu tenkou vrstvičku, která mu propůjčuje hydrofobizační vlastnosti [27].

Expandovaný perlit má tvar vloček. Vzhledem ke struktuře materiálu obsahuje perlit velké množství vzduchu, čímž získává dobré tepelně izolační vlastnosti. Součinitel tepelné vodivosti expandovaného perlitu je $0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Při manipulaci s perlitem je nutné dbát na opatrné zacházení, aby nedocházelo k jeho drcení, zvýšení jemných prachových podílů a následnému zhoršení jeho vlastností. Perlit má dle místa naleziště odlišnou barvu od bílé po tmavě šedou. Expandovaný perlit je velmi stálý materiál. Je odolný chemikáliím, plísni, vlhkosti. Je objemově stálý a paropropustný [28].

Expandovaný perlit je jedním z prvních materiálů použitých jako integrovaná tepelná izolace. Tvarovky s integrovanou teplenou izolací z expandovaného perlitu vyrábí německá firma Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG. již více jak deset let a jsou k dostání i na českém trhu. Tvarovka má také odlišnou geometrii žeber vnitřních žeber, než běžné tvarovky bez integrované tepelné izolace, velmi podobnou tvarovce s integrovanou teplenou izolací z minerální kamenné vaty. Expandovaný perlit je v dutině fixován vytvoření směsi expandovaného perlitu s pojivem. Tvarovky jsou prodávány pod

obchodním názvem Poroton T. Tvarovka je vyráběny v několika provedeních pod označením T či S a šířkách 490, 425, 365 a 300 mm. Nevýhodou oproti jiným integrovaným tepelným izolacím je jejich sytká struktura. Díky tomu dojde při dělení tvarovky k částečnému odsypání tepelné izolace [29].



Obr. 26: Keramická zdicí tvarovka Poroton T [29].



Obr. 27: Řez keramickou zdicí tvarovkou Poroton T [29].

Dalším použitím perlitu jako integrované tepelné izolace je dodatečný zásyp do první již usazené řady tvarovek. Je známo, že současné zdicí tvarovky mají odlišné tepelně izolační vlastnosti v závislosti na směru. Nejhorších izolačních hodnot dosahují ve svislém směru. Především právě v tomto směru zlepšuje dodatečný zásyp první vrstvy tepelně izolační vlastnosti zdiva a to až pětkrát [30].



Obr. 28: Aplikace perlitu do první vrstvy keramických zdicích tvarovek [30].

6.4. Ovčí vlna

Ovčí vlna při použití jako tepelně izolační materiál není žádnou novinkou. Tepelně izolační funkci plní ovčí vlna již na samotných ovcích žijících v různých extrémních klimatických podmínkách. Ovčí vlna je již po několik generací používána jako tepelná izolace budov. Ovčí vlna je čistě přírodní materiál tvořený z vody kreatin a pigmentu [31].

Ovčí vlna se získává sestříháním rouna z ovcí. Sestříhané rouno je potřeba upravit tříděním a praním. Díky procesu praní se rouno vyčistí od nečistot a potu ulpěného na rounu. Tyto nečistoty mohou tvořit až 50 %. Vyprané rouno je nutné před dalším zpracováním vysušit. Po vysušení je nutné rouno ošetřit proti biologické degradaci, ke které je velmi náchylné. Největší riziko pro ovčí rouno představuje mol šatní. Proti biologické degradaci se ovčí rouno chrání roztokem soli, močoviny nebo Molantinem SP. Životnost tohoto ošetření je vzhledem k odpařování poměrně nízká, pouze do 10 let [32].



Obr. 29: Ovčí vlna [32].

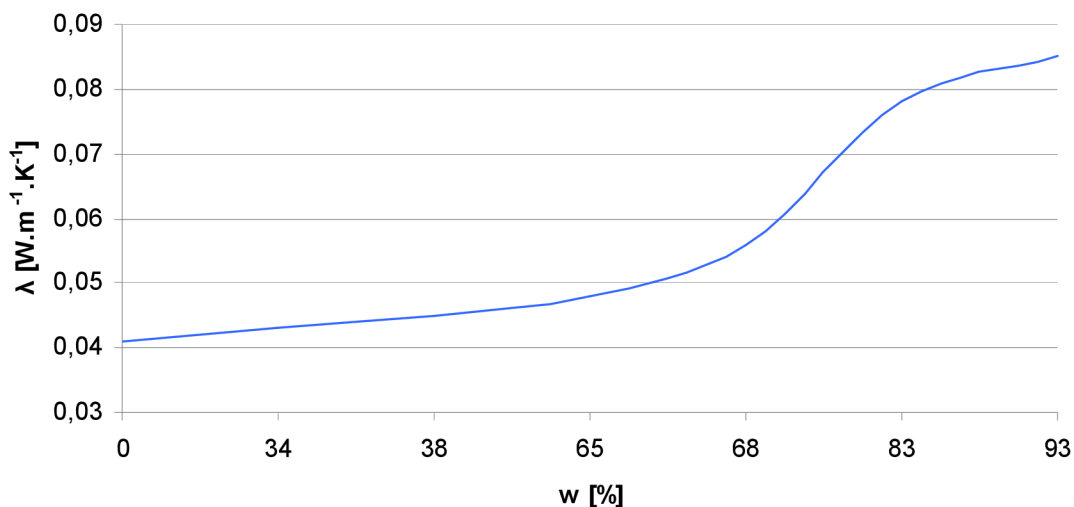


Obr. 30: izolační rohož z ovčí vlny [33].

Zpracování ošetřeného rouna je možné třemi způsoby. Prvním způsobem je vodorovné kladení mykaného rouna bez použití pojiva. Rouno je kladeno v několikanásobných vrstvách, čímž je dosaženo výsledné požadované tloušťky a soudržnosti. Pod rouno je přidáván pás netkané textilie. Druhým způsobem je kolmé kladení mykaného vlákna a vlákna BiCo. Posledním způsobem zpracování je plstnatění. Proces výroby tepelné izolace z ovčí vlny je jedním z nejméně energeticky náročných procesů mezi tepelnými izolacemi [32].

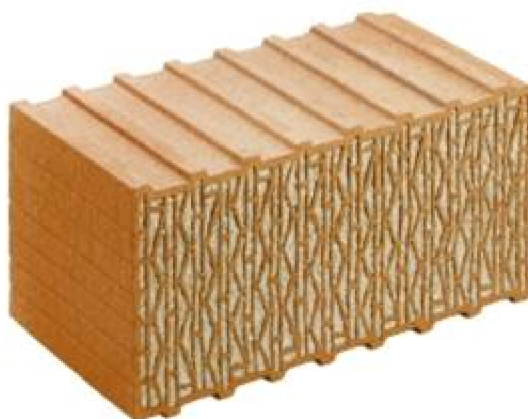
Tepelná izolace z ovčí vlny je materiál naprosto ekologický, živočišného původu, zdravotně nezávadný. Pokud nedojde k biologickému poškození má dlouhou životnost. V závislosti způsobu výroby je rozdílná objemová hmotnost a s ní spojený součinitel tepelné vodivosti, který je výrobcí uváděn v rozmezí 0,035 až 0,045 W.m⁻¹.K⁻¹. Velkou výhodou izolace z ovčí vlny je práce tohoto materiálu se vzdušnou vlhkostí, respektive jeho hydroskopičnost. Ovčí vlna je schopna navázat až 35 % vody k poměru své váhy, bez ztráty tepelně izolačních vlastností. Tuto navázanou vlhkost je schopna v případě potřeby uvolnit. Ovčí vlna je trvale pružný materiál se schopností čistit vzduch od prachu, pylů a

cigaretového kouře. Je schopna neutralizace formaldehydu obsažených ve vzduchu. Ovčí vlna je plně recyklovatelný materiál, případně je možná ekologická likvidace zkompostováním [34].



Obr. 31: Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti tepelné izolace z ovčí vlny. vzorky Isolena Premium [32].

Ovčí vlna jedinou ekologicky recyklovatelnou látkou, která se v současné době používá jako integrovaná tepelná izolace. Tvarovku s integrovanou tepelnou izolací z ovčí vlny vyrábí v současnosti německá UNIPOR-Ziegel Marketing GmbH. Tvarovka má specifické uspořádání dutin tvořené řadami trojúhelníků a obdélníků. Ovčí vlna je uvnitř dutin fixována pomocí své pružnosti podobně jako minerální kamenná vata. Tvarovky jsou na trh dodávány pod obchodním názvem UNIPOR CORISO a šířkách 490, 425 a 365 mm [18].



Obr. 32: Keramická zdící tvarovka Unipor Coriso [18].

6.5. Alternativní materiály pro integrovanou tepelnou izolaci

Textilní izolace

Jako surovina pro výrobu textilní izolace je odpad z textilní výroby nebo vyřazené textilie. Tento odpad lze rozčlenit na oděvy, bytový textil a technickou tkaninu. Odhaduje se, že se v České republice vyprodukuje 158 000 tun textilního odpadu, tedy 5 % celkového odpadu. Odpad je tříděn na ještě použitelné oděvy (second hand, humanitární pomoc) a na nepoužitelné oděvy určené k recyklaci.

Nepoužitelné oděvy se roztřídí dle materiálu, pevnosti a barvy, odstraní se nevláknenné části oděvu a takto upravená tkanina se rozseká v rotačních či gilotinových strojích. Následně dojde na tkacím stroji k vytvoření vláknenného chomáče. Z těchto vláken je možné vytvořit vláknité izolace ve formě rohoží.

Textilní izolace jsou vyráběny ze tří hlavních druhů vláken. Jedná se o bavlnu, ovčí vlnu a vlákna z výroby matrací. V případě izolace z odpadní bavlny jsou hlavním zdrojem džíny. Ty jsou vyrobeny z téměř čisté bavlny a dají se velmi dobře třídít. Vlákna jsou pojena pomocí BiCo vláken, při minimálním obsahu 85 % bavlněných vláken. Jako zpomalovač hoření se používají soli kyseliny borité, které také zajišťují odolnost proti škůdcům a plísním. Při objemové hmotnosti $19,2 \text{ kg.m}^{-3}$ je udáván součinitel tepelné vodivosti $0,0366 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Při použití odpadní ovčí vlny se jedná o směs z textilního odpadu, nejméně 60 % tvoří odpad při výrobě vlněného vlákna z ovčí vlny. Jako pojivo se používají BiCo vlákna, která tvoří 7 až 8 % celkové směsi. Tato textilní izolace je díky vlastnostem ovčí vlny samozhášivá. I přes tuto vlastnost se přidávají soli kyseliny borité, které zlepšují požární odolnost a odolnost škůdcům a plísním. U této textilní izolace je uváděna hodnota součinitele tepelné vodivosti $0,034 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Textilní izolace z vyrobená z odpadu výroby matrací má nekonzistentní strukturu, je tedy vhodná jako foukaná tepelná izolace. Nejčastěji se jedná o směs vláken bavlněných, vlněných a akrylových [35]. Požití a aplikace rohoží z textilní izolace je obdobné jako u minerální kamenné vaty.



Obr. 33: Tepelná izolace Ultra Touch vyrobená z recyklovaných triček a jeans [36].

Izolace z rostlinných vláken

Konopí je rostlina, která se v Evropě pěstuje již dlouhou dobu. Jedná se o rostlinu nenáročnou, ze které je možné získat vlákno, papír, olej, palivo a nábytek. Pro technické účely se používá konopí seté, které je možné v závislosti na klimatických podmínkách sklízet i dvakrát ročně.

Z konopí je možné také vyrábět tepelné izolace ve formě konopných rohoží. Konopná vlákna jsou pojena pomocí BiCo vláken nebo kukuřičným škrobem, v poměru složek 82 až 85 % konopných vláken, 10 až 15 % BiCo vláken a 3 až 5 % uhličitanu sodného. Mezi výhody těchto rohoží patří především nulová zátěž životního prostředí, svými difúzními vlastnostmi zajišťují optimální prostup vlhkosti, jsou odolné napadení škůdci a hnilobě [34].

Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ až $0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Objemová hmotnost konopných rohoží se pohybuje v rozmezí $24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až $120 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Při objemové hmotnosti $112 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dosahuje konopná rohož napětí při 10% deformaci 36,9 kPa a dynamické tuhosti $20,8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1}$. Součinitel zvukové pohltivosti je 0,95. měrná tepelná kapacita konopné izolace je $1600 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{Kg}^{-1}$. Faktor difúzního odporu se uvádí 1,9. Dle reakce na oheň spadá konopná izolace do třídy E – hořlavá hmota v kontaktu s plameny. Tento nedostatek se eliminuje přidávkem uhličitanu sodného a konstrukčním řešením při použití konopné izolace [37].

Požítí a aplikace rohoží z konopné izolace je obdobné jako u minerální kamenné vaty.



Obr. 34: Tepelná izolace z konopí [38].



Obr. 35: Rostlina konopí [39-A].

Len je v České republice běžně pěstovanou rostlinou. Jedná se o snadno obnovitelnou, odolnou, užitkovou rostlinu, která je nenáročná na pěstování.

Ze lnu je možné vyrábět tepelnou izolaci ve formě plsti, desek nebo jako volně sypanou. Součinitele tepelné vodivosti ze lnu je $0,037 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Lněná vlákna dosahují dobré pevnosti v tahu, jsou ovšem málo elastická a velmi snadno se lámou. Lámavost lněných vláken je kompenzován přidávkem podpurných polyesterových vláken. Len je

hořlavý materiál, proto jsou přidávány sloučeniny amoniak, boraxu nebo vodního skla, které zvyšují odolnost proti ohni [34].

Při výrobě izolace ze lnu se postupuje následovně. Rostliny lnu jsou nejprve sušeny volně rozprostřené na slunci, následně se suší v sušárnách. Vysušený len je opět máčen ve vodě a mēdlován. Mēdlení je mechanický proces při kterém dochází k oddělení lnu od dřevnatého stonku. Takto upravený len je zplstnatěn na textilních strojích a dochází k vytvoření tenkého pásu rouna, které je vrstveno do požadovaný tloušťky. Na rouno je nanášeno nástřikem škrobové lepidlo, amonné soli a boritá sůl pro zvýšení odolnosti proti ohni, hmyzu a plísni [34].

Výsledná izolace je pružná, tvarově stálá, odolná ohni, hmyzu a plísni. Lněné izolace jsou velmi snadno zkompostovatelné, či spalitelné bez vzniku škodlivých produktů. Požití a aplikace rohoží z lněné izolace je obdobné jako u minerální kamenné vaty.



Obr. 36: Tepelná izolace ze lnu [40-A]



Obr. 37: Rostlina lnu setého [41-A]

Kenaf je běžnou rostlinou v Jižní Americe, v Evropě se pěstuje především v Itálii. Jedná se o 3 až 6 metrů vysokou rostlinu podobnou jehličnanům, která je použitelná i jako alternativa dřeva.

Při výrobě izolací z kenafových vláken se postupuje velmi obdobným způsobem jako u izolací ze lnu. Zpracování se provádí na textilních strojích, na kterých se vyrobí rouno, ze kterého jsou následně vytvořeny rohože. Součinitele tepelné vodivosti izolace z kenafu je 0,039 W.m-1.K-1. Izolace je tvořena směsí kenafových vláken spolu s polyeterovými vlákny. Kenafová vlákna jsou antialergení a jsou odolná proti hmyzu [42].

Použití rohoží z kenafové izolace je obdobné jako u minerální kamenné vaty.



Obr. 38: Tepelná izolace z kenafu [43-A]



Obr. 39: Rostlina kenafu [44A]

Celulózové izolace

Jedná se o tepelnou a akustickou izolaci, vyráběnou recyklací novinového papíru. Novinový papír je rozvlákněn a ošetřen netoxickými sloučeninami boritanu. Díky tomuto ošetření je izolace odolná ohni, hmyzu a plísní [45]. Novinový papír a sloučeniny boritanu jsou jediné složky celulózové izolace, z čehož novinový papír tvoří 85 % izolace [46].

V současné době se celulózová izolace nejčastěji aplikuje při izolaci stropních konstrukcí. Celulózová izolace je aplikována foukáním, čím je možné docílit vyplnění téměř libovolného prostoru. Foukaná celulózová izolace dosahuje objemové hmotnosti 35 až 45 kg.m⁻³. Je možná také aplikace foukání tlakovou metodou, která se využívá především u stěnových dílců dřevostaveb. Zde je možné docílit objemové hmotnosti až 60 kg.m⁻³ dle tloušťky vyplňované stěny. Foukání talkovou metodou je možné ve svislé i vodorovné poloze. Při této aplikaci je tepelná izolace mnoho více tvarově stabilní. Třetím způsobem aplikace je stříkání s vodní mlhou vysokotlakým čerpadlem. Vlhkost celulózové izolace při tomto způsobu aplikace je do 30 % [47].

Celulózová izolace má dobré jak tepelně izolační vlastnosti tak akustické vlastnosti. Součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace je 0,04 W.m⁻¹.K⁻¹, měrná tepelná kapacita je 1907 J.kg⁻¹.K⁻¹. Díky takto vysoké měrné tepelné kapacitě, která je téměř dvojnásobná, oproti uměle vyráběným tepelným izolacím dochází k vyšší akumulaci tepla a efektivnějšímu hospodaření s teplem [47]. Díky dobrým akustickým vlastnostem je používána jako izolace v nahrávacích studiích. Díky sloučeninám boritanu je celulózová izolace vhodná i jako protipožární izolace [48]. S pohledu vlhkosti nedochází díky navlhavosti do 12 % hmotnostně a nízkému difúznímu odporu k problémům s hromaděním vlhkosti. Celulózová izolace je vzhledem ke svému složení velmi šetrná k životnímu prostředí, díky čemuž nese známku Ekologicky šetrný výrobek [47]. Požití a aplikace celulózové izolace je obdobné jako u ovčí vlny.



Obr. 40: Celulózová izolace [49].

PUR pěna

Polyuretanová pěna se vyrábí polyadící polyizokianátů s vícemocnými alkoholy. Napěnění polyuretanu vzniká v důsledku uvolněného CO₂ který je vyvolán přidávkem vody. Obecně rozeznáváme dva druhy lehčeného polyuretanu. Jedná se o polyuretany měkké a tvrdé. Měkké pěny jsou obecně známy pod názvem molitan, tvrdé pěny pod názvem PUR pěny [50].

Výroba polyuretanu je nejčastěji jednostupňová. Při tomto způsobu výroby dojde k smíchání všech tří složek (polyizokianát, alkohol a voda). Při dvoustupňovém způsobu výroby dojde k smíchání polyizokianátu a alkoholu, až po částečné polymeraci se přidá voda a dojde k vylehčení a vytvrzení. Výroba prvků z polyuretanu se provádí litím do uzavřených a otevřených forem nebo stříkáním [50].

Polyuretan má rozdílné vlastnosti na základě objemové hmotnosti. Měkké polyuretany dosahují objemové hmotnosti do 20 až 45 kg.m⁻³. Tyto polyuretany mají součinitel tepelné vodivosti cca 0,03 – 0,04 W.m⁻¹.K⁻¹, pevnost v tlaku 0,25 MPa a faktor difúzního odporu 30. Polyuretany tvrdé dosahují objemové hmotnosti až 100 kg.m⁻³. Součinitel tepelné vodivosti těchto PUR pěn je cca 0,03 W.m⁻¹.K⁻¹, pevnost v tlaku až 3 MPa a faktor difúzního odporu 100. Reakce na oheň je ovlivněna konkrétním chemickým složením, třída reakce na oheň je C až E [50], [51].

Ve stavebnictví se nejčastěji používají tvrdé polyuretany, tedy PUR pěny. Široké uplatnění nachází jako výplň a izolace spár při řešení detailů konstrukcí. Je možné také použití jako tepelné izolace stěn, stropů a podlah [51].

PUR pěny je také možné recyklovat. Jedná se o pojení zbytků PUR pěny a PUR granulátu do bloků či desek. Materiál je snadno opracovatelný a formovatelný. Díky tomu je u PUR pěny velký potenciál využití pro aplikaci do keramických zdících tvarovek. Takto vyrobené desky mají objemovou hmotnost 40 až 600 kg.m⁻³. Tento materiál má uplatnění jako tepelná a zvuková izolace příček, zvukově – izolační podhledy, izolace plochých střeš, kročejová izolace podlah a izolace proti vibraci pro stroje [52].



Obr. 41: Izolační PUR panely [53].



Obr. 42: Granulát PUR 3-5.

C. Praktická část

1. Cíl práce

Práce se věnuje návrhu vhodné integrované tepelné izolace z odpadního PUR granulátu. Důraz bude kladen na optimalizace vlastností tohoto izolantu a výsledné vlastnosti keramických zdících tvarovek, s aplikovaným izolantem. Keramické zdící tvarovky budou hodnoceny z pohledu tepelně technických vlastností a možností uplatnění na současném trhu.

2. Popis praktické části

Diplomová práce má přímou návaznost na bakalářskou práci, ve které byla zkoumána vhodnost využití odpadního PUR granulátu pojeného nejběžnějším silikátovým pojivem, cementem pro výrobu tepelné izolace, kterou by bylo možné integrovat do keramických tvarovek s velkými vnitřními dutinami.

Po zhodnocení výsledků bakalářské práce a po prostudování odborných publikací z oblasti dané problematiky, byla v rámci diplomové práce zvolena jako pojivo PUR pěna.

Pro praktickou část byl využit hrubý odpadní PUR granulát frakce 3-5 mm vznikající při výrobě izolačních panelů z PUR pěny. Jedná se o granulát dodávaný firmou Izomalt. PUR granulát byl vybrán především pro dobré tepelně technické vlastnosti samotné PUR pěny, a také z důvodu, že se jedná o druhotnou surovinu s obdobnými vlastnostmi a také s dlouhodobou dostupností. Celkový přehled PUR granulátů z nichž bylo vybíráno je uveden v příloze 2.

Při výběru PUR pěny použité jako pojivo bylo přihlíženo ke třem parametrům výběru. Jednalo se o:

1. tepelně technické vlastnosti PUR pěn,
2. ceny PUR pěn,
3. dostupnost PUR pěn.

Tepelně technické vlastnosti byly hodnoceny pomocí součinitele tepelné vodivosti, který se pohybuje v rozmezí $0,0278 - 0,0357 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Cenová náročnost byla hodnocena z pohledu celkové ceny při vyplnění dutin keramické tvarovky pouze PUR pěnou. Cena vyplnění dutin keramické tvarovky 44 - T se pohybuje v rozmezí 142 - 1100 Kč. Z pohledu dostupnosti bylo vybíráno mezi PUR pěny běžně dostupnými na našem trhu. Celkový přehled pěn z nichž bylo vybíráno je uveden v příloze 3.

V rámci vlastního měření byly sledovány základní vlastnosti izolantů na bázi PUR granulát a vlastnosti keramických zdících tvarovek s těmito integrovanými izolanty.

Jednalo se o tepelně technické, mechanické, fyzikální vlastnosti v čerstvém i zatvrdlém stavu a cenu.

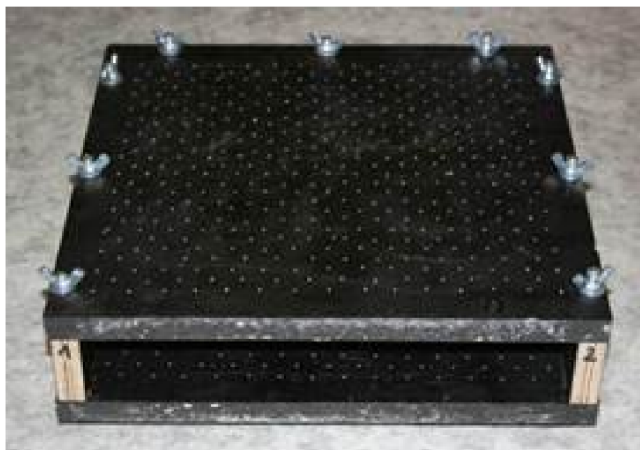
Jednotlivé směsi byly aplikovány do dutin keramických zdících tvarovek typu PTH 30 T. U tvarovek byla hodnocena celistvost vyplnění dutin keramické tvarovky, cena výsledných tvarovek a výsledné mechanické vlastnosti tvarovky.

Na závěr byl proveden výpočet tepelně technických vlastností keramické tvarovky typu PTH 30 T s nejvhodnějším izolanty.

3. Metodika práce

Praktická část byla rozdělena do několika základních kroků:

- Výběr nejvhodnějších surovin,
- Výběr způsobu plnění keramické tvarovky,
- Návrh vhodných směsí,
- Stanovení vlastností zkušebních vzorků z navržených PUR izolací (objemová hmotnost v čerstvém a zatvrdlém stavu, součinitel tepelné vodivosti, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, činitel zvukové pohltivosti, krátkodobá nasákavost a cena),
- Aplikace vybraných směsí (izolantů) do keramických zdících tvarovek,
- Stanovení vlastností výsledných keramických zdících tvarovek (hmotnost, pevnost v tlaku a cena),
- Výpočet tepelně izolačních vlastností keramické tvarovky s integrovanou izolací (navržená směs z PUR granulátu).



Obr. 43: Dřevěná forma 300x300x50 mm.



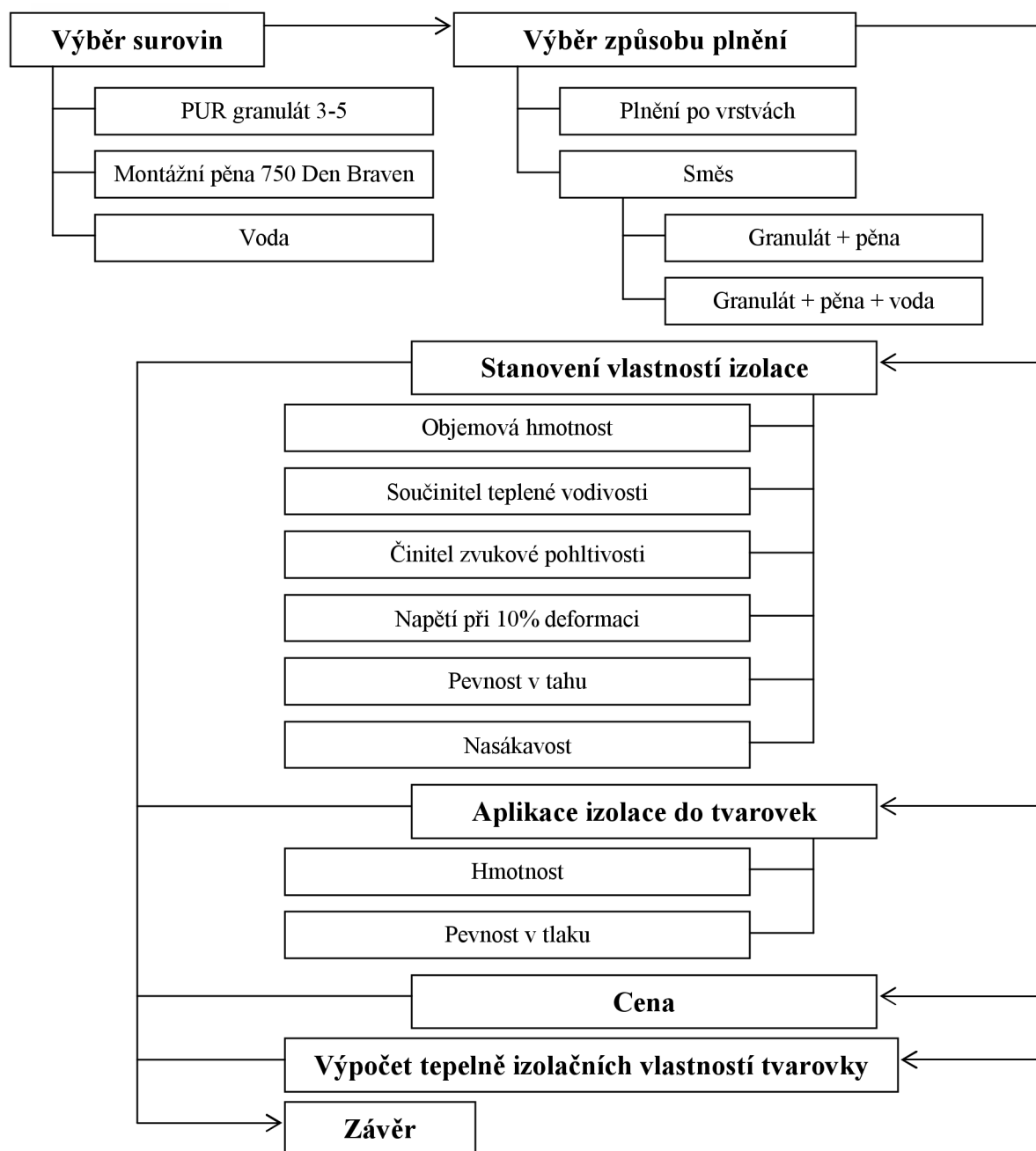
Obr. 44: Keramická zdící tvarovka typu PTH 30 T.

Z jednotlivých receptur byly připraveny zkušební vzorky tvaru desky 300x300x50 mm pro stanovení fyzikálních vlastností a součinitele tepelné vodivosti. Pro stanovení mechanických vlastností stanovení napětí při 10% deformaci (pevnosti v tlaku) a pevnosti v tahu byli ze zkušebních desek vytvořeny vzorky o rozměrech 150x150x50 mm. Veškeré vzorky byly vytvářeny ve dřevěných formách vyložených papírem.

Veškeré zkoušky byly provedeny na vzorcích po vysušení při teplotě +75 °C do konstantní hmotnosti.

Pro aplikaci byla zvolna keramická zdící tvarovka typu PTH 30 T od firmy Wienerberger vyrobená v Novosedlech na Moravě.

Schéma posloupnosti provedených kroků je znázorněno na následujícím schématu.



Obr. 45: Schéma postupu diplomové práce.

Jednotlivá provedená měření a stanovení vlastností:

Zkoušky provedené na tepelných izolacích byly provedeny na základě norem pro zkoušení tepelně izolačních materiálů. Při zjištění objemové hmotnosti tepelně izolačních materiálů v čerstvém stavu není určen normový postup, bylo tedy vycházeno z norem pro zkoušení malt pro zdivo, bez procesu hutnění.

Zkoušky provedené na keramických zdících tvarovkách byly provedeny dle norem pro zkoušení zdících prvků.

Zkoušky izolačních hmot - čerstvý stav

- Stanovení objemové hmotnosti vychází z ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.

Zkoušky izolačních hmot - zatvrdlý stav

- Stanovení lineárních rozměrů dle ČSN EN 12085: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení lineárních rozměrů zkušebních vzorků,
- Stanovení tloušťky dle ČSN EN 823 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky,
- Stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti,
- Stanovení součinitele tepelné vodivosti dle ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku,
- Stanovení napětí při 10% deformaci dle ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem,
- Stanovení pevnosti v tahu dle ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky,
- Stanovení činitele zvukové pohltivosti dle ČSN ISO 10534-1 Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubicích. Část 1: Metoda poměru stojaté vlny,
- Stanovení krátkodobé nasákavosti dle ČSN EN 1609 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření.

Zkoušky prováděné na cihelných tvarovkách

- Stanovení pevnosti v tlaku dle ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky. Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku,
- Stanovení tepelně izolačních vlastností dle ČSN EN ISO 9646 Stavební prvky a stavení konstrukce – tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – výpočtová metoda a dle ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo – Metody stanovení návrhových tepelných hodnot.

4. Popis provedených zkoušek

4.1. Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu

Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu vychází z ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty [54].

Objemová hmotnost čerstvé směsi je stanovena jako poměr hmotnosti směsi a objemu nádoby, do které je vložena.

Měřicí nádoba se naplnila celá po okraj. Přebytečná hmota se odstranila a nádoba se očistila. Pro odlišení objemové hmotnosti v čerstvém a vyzrálém stavu byla objemová hmotnost v čerstvém stavu označena $\rho_{v,1}$. Objemová hmotnost čerstvé směsi ρ_v [kg.m⁻³] byla stanovena jako:

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_V}$$

kde V_V - objem nádoby [m³]

m_1 - hmotnost měřicí nádoby [kg]

m_2 - hmotnost měřicí nádoby naplněné směsí [kg],

4.2. Stanovení lineárních rozměrů

Stanovení lineárních rozměrů bylo provedeno v souladu s ČSN EN 12085: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení lineárních rozměrů zkušebních vzorků [55].

Lineární rozměry vzorů byly stanoveny zařízením s požadovaným stupněm přesnosti. Posuvné měřidlo se dotýkalo vzorku dotykovými plochami tak, aby nedošlo k deformaci rozměrů měřeného vzorku.

4.3. Stanovení tloušťky

Stanovení tloušťky bylo provedeno v souladu s ČSN EN 823 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky [56].

Tloušťka vzorku se stanoví jako kolmá vzdálenost rovinného, referenčního povrchu a přítlačné desky, volně položené na horním povrchu měřeného vzorku.

Vzorek se umístil na rovinnou základní desku, vrchní strana vzorku byla zatížena přítlačnou deskou tlakem $50 \pm 1,5$ Pa. Tloušťka byla měřena ve vyznačeném středu přítlačné desky číselníkovým úchylkoměrem.

4.4. Stanovení objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu

Stanovení objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti [57].

Objemová hmotnost suchého zatvrdlého vzorku je stanovena jako poměr hmotnosti ve vysušeném stavu k objemu, který vzorek zaujímal. Zkušební vzorek byl kondicionován při teplotě (23 ± 2 °C). Pro odlišení objemové hmotnosti v čerstvém a vyzrálém stavu byla objemová hmotnost ve vyzrálém stavu označena $\rho_{v,2}$. Objemová hmotnost suché zatvrdlé směsi ρ_v [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] byla stanovena jako:

$$\rho_v = \frac{m}{V}$$

kde m - hmotnost zkušební vzorku vysušeného v sušárně [kg]

V - objem zkušební vzorku [m^3]

4.5. Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno v souladu s 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 postupem dle ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku [58] (ISO 8301).

Měření bylo provedeno na přístroji Lambda 2300 firmy Holometrix, jehož princip je založen na stacionární metodě desky. Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno v ustáleném stavu při střední teplotě 10 °C a teplotním spádu 10 K. Měření bylo provedeno vždy na třech zkušebních vzorcích (na každém vzorku bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti celkem v 5 po sobě jdoucích intervalech), které byly vysušeny při teplotě +75 °C do konstantní hmotnosti. Uváděný konečný výsledek je aritmetickým průměrem z těchto tří měření.

4.6. Pevnost v tlaku

Stanovení pevnosti v tlaku, respektive napětí při 10% deformaci, bylo provedeno v souladu s ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem [59].

Tlaková síla působí danou rychlostí v kolmém směru na rovnoběžné plochy pravoúhlého zkušební vzorku, kvádru. Stanoví se maximální tlaková síla, kterou přenesou zkušební vzorkem. Pokud hodnota maximální síly odpovídá deformaci menší než 10%,

je označována jako pevnost v tlaku a udává se příslušná deformace. Nedojde-li k porušení před dosažením 10% deformace, vypočítá se napětí v tlaku při 10% deformaci a hodnota je uváděna jako napětí v tlaku při 10% deformaci.

Zkušební stroj je zatěžovací stroj, lis s požadovaným rozsahem měření síly a přetvoření. Zřízení pro měření přetvoření je zabudované do zatěžovacího stroje a umožňuje průběžné, v libovolné chvíli měření posunutí pohyblivých desek. Snímač pro měření síly, která vzniká jako reakce zkušební vzorku proti působení zatěžovací síly, je připevněn na jedné z desek zatěžovacího stroje.

Pevnost v tlaku σ_m [N.mm⁻²]:

$$\sigma_m = 10^3 \cdot \frac{F_m}{A_0}$$

kde F_m – největší síla [N]

A_0 – počáteční průřez zkušební vzorku [mm²]

Poměrné stlačení ε_m [%]:

$$\varepsilon_m = \frac{X_m}{d_0} \cdot 100$$

kde X_m – přetvoření deformace při maximální síle [mm]

d_0 – počáteční tloušťka zkušební vzorku [mm]

Napětí při 10 % deformaci σ_{10} [N.mm⁻²]:

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

kde F_{10} – síla odpovídající 10 % poměrnému stlačení [N]

A_0 – počáteční průřez zkušební vzorku [mm²]

4.7. Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky

Stanovení pevnosti v tahu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky [60].

Na zkušební vzorky o rozměrech 150x150 mm byly přilepeny tuhé desky s terčí pro upevnění do zkušebního zařízení. Po vytvrnutí lepidla se vzorek umístil do zkušebního zařízení. Zkušebním zařízením byl při konstantní rychlosti 10 mm.min⁻¹ zatěžován tahem do porušení. Pevnost v tahu kolmo k rovině desky σ_{mt} [N.mm⁻²] byla stanovena jako:

$$\sigma_{mt} = \frac{F_m}{A}$$

kde F_m – největší zaznamenaná tahová síla [N]

A – plocha průřezu zkušební tělesa [mm²]

4.8. Stanovení činitele zvukové pohltivosti

Stanovení činitele zvukové pohltivosti bylo provedeno v souladu s ČSN ISO 10534-1 Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích. Část 1: Metoda poměru stojaté vlny [61].

Principem měření je vytvoření stojatého vlnění v trubici, na jejímž konci je umístěn vzorek. Dochází k interferenci vlnění vycházejícího z akustického zdroje a vlněním odraženým od vzorku. Činitel zvukové pohltivosti je určen z poměru maximálního a minimálního akustického tlaku. Pro měření byla použita Kuntova trubice – akustický interferometr. V trubici dochází k posunu akustické sondy, pomocí které stanovíme hledané hodnoty minimálního napětí odpovídající minimálnímu akustickému tlaku, obdobně maximální napětí odpovídající maximálnímu akustickému tlaku. Měření bylo provedeno na kmitočtech třetinooktávový pásem v rozsahu 100 – 5000 Hz. Činitel zvukové pohltivosti je stanoven vztahem:

$$\alpha = \frac{4 \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\left(10^{\frac{\Delta L}{20}} + 1\right)^2}$$

kde $\Delta L = L_{max} - L_{min}$

L_{max} – hodnota maximální hladina akustického tlaku [dB]

L_{min} – hodnota minimální hladina akustického tlaku [dB].

Následně bylo dle ČSN EN ISO 11654 Akustika - Absorbéry zvuku používané v budovách - Hodnocení zvukové pohltivosti [65] stanovena hodnota váženého činitele zvukové pohltivosti α_w [-]. K výpočtu se použijí hodnoty zvukové pohltivosti ze směrné křivky dle normy. Směrná přímka se posouvá po krocích 0,05 ke změřeným hodnotám, dokud není součet nepříznivých odchylek menší nebo roven 0,10. Nepříznivá odchylka se na určitém kmitočtu objeví, je-li naměřená hodnota menší než hodnoty směrné křivky. Počítají se pouze hodnoty v nepříznivém směru. Vážený činitel zvukové pohltivosti je definován jako hodnota posunuté směrné křivky na kmitočtu 500 Hz.

Tab. 1: Hodnoty směrné přímky pro stanovení váženého činitele zvukové pohltivosti α_w [65].

Kmitočet [Hz]	250	500	1000	2000	4000
Praktický činitel zvukové pohltivosti α_{pl} [-]	0,80	1,00	1,00	1,00	0,90

4.9. Stanovení krátkodobé nasákavosti

Stanovení krátkodobé nasákavosti bylo provedeno dle ČSN EN 1609 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření [62].

Pro stanovení krátkodobé nasákavosti byla zvolena metoda A. Každý vzorek byl před zahájením zkoušky zvážen s přesností 0,1 g a změřen po zjištění plochy. Následně byl položen na dřevěný rošt do plastové nádoby a zatížen. Do nádoby byla nalita voda tak, aby byl vzorek ponořen do výše 10 ± 2 mm. Po $24 \text{ h} \pm 30$ min byl vzorek vyndán z vody a umístěn do svislé polohy na síť ve sklonu 45° . Po $10 \pm 0,5$ min byl vzorek zvážen. Krátkodobá nasákavost je W_p [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] byla stanovena jako podíl hmotnosti nasáklé vody k ploše strany vzorku položené na roštu:

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

kde m_{24} – počáteční hmotnost zkušební tělesa [kg]

m_0 – hmotnost zkušební tělesa po 24 h částečného ponoření [kg]

A_p – spodní povrchová plocha zkušební tělesa [m^2]

4.10. Stanovení pevnosti v tlaku zdících prvků

Stanovení Pevnosti v tlaku keramických zdících tvarovek bylo provedeno dle ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku [63].

Jednotlivé keramické zdící tvarovky se před zkoušením upravili potřebným způsobem dle normy. Vzorek se dostředně uloží do zkušební přístroje, tak aby zatížení působilo rovnoměrně po celé ploše vzorku. Tvarovky byly zatěžovány rychlostí $0,05$ ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$), s^{-1} . Pevnost v tlaku se stanoví jako podíl největší dosažené síly a zatěžované plochy tvarovky. Pevnost v tlaku zdících tvarovek f_b [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$] je stanovena dle vztahem:

$$f_b = \frac{F_m}{A}$$

kde F_m – největší zaznamenaná síla [kN]

A – tlačena plocha [mm^2]

Tvarovky byly následně zaříděny do pevnostní třídy dle ČSN EN 771-1 ed. 2 Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky [64].

Tab. 2: Klasifikace pálených zdících prvků dle pevnosti v tlaku [64].

Pevnostní značka	Pevnost v tlaku f_b [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	
	průměrná	Jednotlivá
P2	2	1,6
P4	4	3,2
P6	6	4,8
P8	8	6,4
P10	10	8
P15	15	12
P20	20	16
P25	25	20
P30	30	24
P35	35	28
P40	40	32

5. Výběr surovin

Pro výrobu všech zkoušených vzorků bylo použito následujících materiálů, popsaných v části 5 praktické části diplomové práce.

5.1. Voda

Do všech receptur byla použita voda z vodovodního řádu.

5.2. PUR granulát

Při výběru PUR granulátu byla zohledňována především granulometrie materiálu a tepelně technické vlastnosti reprezentované součinitele tepelné vodivosti. Na základě těchto parametrů byl vybrán PUR 3-5 od firmy Izomalt, který nemá sice nejnižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti, ale vzhledem ke své granulometrii je nevhodnější jako plnivo při pojení PUR pěnou.

Přehled PUR granulátů, z nichž bylo vybíráno je v příloze 2.

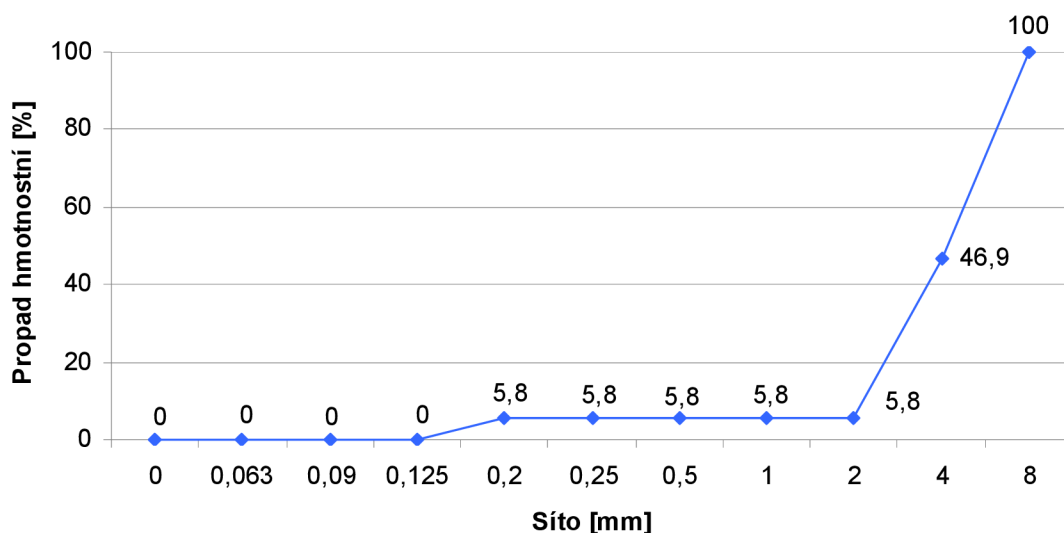
Tab. 3: Přehled výsledných vlastností vzorků PUR granulátu.

označení [-]	frakce [mm]	ρ_s [kg.m ⁻³]	$\lambda_{10, dry}$ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
PUR 140	0-1	158,0	0,0431
PUR 0-3	0-3	57,2	0,0328
PUR 3-5	3-5	40,2	0,0334

Hodnota součinitele tepelné vodivosti PUR 3-5 je $\lambda_{10, dry} = 0,0334$ W.m⁻¹.K⁻¹, sytná hmotnost granulátu je $\rho_s = 40,2$ kg.m⁻³. Nasákavost granulátu je 415% hmotnostně. Granulometrie je popsána síťovým rozbořem.

Tab. 4: Propady a zůstatky na sítích při síťovém rozboru PUR 3-5.

Síťo [mm]	Zůstatek [g]	Propad [g]	Propad [%]
8	0,0	100,0	100,0
4	53,1	46,9	46,9
2	41,1	5,8	5,8
1	-	5,8	5,8
0,5	-	5,8	5,8
0,25	-	5,8	5,8
0,2	-	5,8	5,8
0,125	5,8	0,0	0,0
0,09	-	0,0	0,0
0,063	-	0,0	0,0
0	-	0,0	0,0



Graf 7: Křivka zrnitosti PUR 3-5.

5.3. PUR pěna

Při výběru PUR pěny bylo přihlíženo především k tepelně technickým vlastnostem reprezentovaným součinitele tepelné vodivosti, k ceně pěny potřebné k vyplnění jedné keramické tvarovky typu 44 – T a k dostupnosti pěny. Na základě těchto parametrů byla vybrána pěna DEN BRAVEN montážní pěna 750. Tato pěna vyniká kombinací nízkého součinitele tepelné vodivosti a nejnižší ceny. Pěna je běžně dostupná ve všech specializovaných obchodech i hobby marketech (například v prodejní síti Hornbach). Přehled PUR pěn, z nichž bylo vybíráno je v příloze 3.

Hodnota součinitele tepelné vodivosti je $\lambda_{10, dry} = 0,0297 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, cena vyplnění dutin jedné keramické tvarovky typu T – 44 je cca 142 Kč [15] (maloobchodní cena jedné tuby trubičkové pěny 750 ml je cca 75 Kč). Dalšími parametry ovlivňujícími vlastnosti výsledného izolantu jsou objemová hmotnost, napětí při 10% deformaci a nasákavost. Objemová hmotnost pěny po odformování je $\rho_v = 24,8 \text{ kg.m}^{-3}$, po 12 dnech mírně stoupá na $\rho_v = 26,1 \text{ kg.m}^{-3}$. Napětí při 10% deformaci je rovno $\sigma_{10} = 5,49 \text{ N.mm}^{-2}$. Dlouhodobá nasákavost pěny je $w_{lt} = 7,0 \%$.



Obr. 46: Montážní pěna 750 - Den Braven.

6. Výběr způsobu plnění

Jednotlivé varianty plnění byly testovány plněním dřevěných forem 300x300x50 mm. Forma byla plněna ve svislé poloze, což odpovídalo reálnému způsobu plnění dutin tvarovek. Dřevěná forma byla naplněna zvoleným způsobem plnění a po 24 hodinách byl vzorek odformován.

U vzorků byla sledována celistvost vyplnění, rovinatost povrchu a míra soudržnosti materiálu při řezu. Sledované parametry byly hodnoceny vizuálně.

Při výběru způsobu plnění dutin keramické tvarovky byly uvažovány dvě následující varianty:

- Plnění po vrstvách,
- Plnění směsí.

6.1. Plnění po vrstvách

Forma byla plněna v sedmi vrstvách, tak aby první a poslední vrstvu tvořila vrstva PUR pěny. Plnění probíhalo postupně, přičemž vždy po uložení vrstvy byla forma zvážena.

Tab. 5: Hmotnosti jednotlivých vrstev vzorku plněného po vrstvách.

označení [-]	materiál [-]	hmotnost [g]
1.	pěna	38,8
2.	granulát	25,8
3.	pěna	30,4
4.	granulát	23,3
5.	pěna	26,9
6.	granulát	17,5
7.	pěna	51,7



Obr. 47: Řez vzorkem plněným po vrstvách.

6.2. Plnění směsí

Forma byla naplněna směsí PUR granulátu a PUR pěny v hmotnostním poměru 1:1, bez přídavku vody.

Tab. 6: Stanovení objemové hmotnosti vzorku plněného směsí 1:1 (S).

prázdná forma	m_0 [g]	3221,6
plná forma	m_1 [g]	3514,2
hmotnost směsi	m [g]	292,6
objem formy	V [m ³]	0,0045
objemová hmotnost	ρ_v [kg.m ⁻³]	65,0



Obr. 48: Vzorek plnění směsí 1:1 (S).

6.3. Vyhodnocení výběru způsobu plnění

V případě plnění po vrstvách byla na vzorku pozorována větší nerovnost povrchu způsobená rozdílnou tloušťkou jednotlivých vrstev dle materiálu. Při řezu vzorkem bylo zjištěno, že PUR pěna neproexpendovala do vrstev PUR granulátu. Granulát se volně sypal a nebyl fixován. Tento způsob není vhodný, protože při porušení tvarovky by došlo k vysypání části granulátu z dutin tvarovky.

U vzorku plněného směsí bylo dosaženo rovnoměrného vyplnění formy, bylo dosaženo rovnějšího povrchu vzorku. Při odstranění papírového obalu vzorku byla zjištěna stejnorodá struktura s rovnoměrným proexpandováním PUR pěny granulátem. Vzorek však nebylo možné rozříznout, neboť došlo k jeho zborcení.

Porovnáním těchto dvou způsobů plnění byl vypořádán vyšší potenciál dosažení kompaktní tepelné izolace, použitelné jako integrované tepelné izolace do keramických zdících tvarovek v případě plnění směsí při úpravě poměru jednotlivých složek směsi.

7. Receptury

Byly testovány receptury ze směsi PUR granulátu a PUR pěny a ze směsi PUR granulátu, PUR pěny a vody. Receptury obsahující vodu jsou označeny „(M)“, receptury bez vody jsou označeny „(S)“.

U směsi s přísadkou vody bylo využito vysoké nasákavosti použitého PUR granulátu. Předpokládalo se, že voda nasátá PUR granulátem příznivě ovlivní míru expanze a proexpandování PUR pěny granulátem a tím dojde ke zlepšení mechanických vlastností výsledné izolace. Před vytvořením těchto směsí byl tedy vždy granulát ovlhčen vodou v hmotnostním poměru PUR granulát:voda – 1:0,5. Jednotlivé receptury jsou označeny poměrem PUR granulát : PUR pěna.

Jednotlivé složky byly dávkovány samostatně, hmotnostně. Nejdříve byl dávkován PUR granulát následně voda, pokud byla součástí směsi, a nakonec PUR pěna. Z těchto směsí byly vytvořeny požadované zkušební vzorky. Míchání se provádělo ručně cca 2 minut do vytvoření kompaktní a homogenní směsi.

Při vytváření receptur byl brán ohled na objemovou hmotnost, cenu směsi s dosažení dostatečné soudržnosti materiálu. Receptury byly navrhovány tak, aby objemová hmotnost vyzrálé směsi byla $80 \pm 10 \text{ kg.m}^{-3}$ a cena byla co nejnižší.

U receptury 1:2 (M) bylo vytvořeno směsi s objemovou hmotností vyzrálé směsi 120 kg.m^{-3} . V případě receptur 1:0,75 (S) a 1:1(S) se nepodařilo vytvořit soudržné vzorky, tyto receptury byly tedy vyřazeny z další zkoušení.

Byly vyrobeny vzorky z následujících receptur:

- 1:0,75 (S) - nesoudržné,
- 1:1 (S) - nesoudržné,
- 1:2 (S),
- 2:1 (M)
- 1,5:1 (M),
- 1:1 (M),
- 1:1,5 (M),
- 1:2 (M).

Složení jednotlivých receptur bylo následující:

- **1:0,75 (S)**

Množství na 1 m^3 : Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:

PUR granulát	38,3 kg	500 g
PUR pěna	28,7 kg	375 g
Voda	0,0 kg	0 g

- **1:1 (S)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	32,5 kg	375 g
PUR pěna	32,5 kg	375 g
voda	0,0 kg	0 g

- **1:2 (S)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	26,3 kg	300 g
PUR pěna	52,7 kg	600 g
voda	0,0 kg	0 g

- **2:1 (M)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	53,0 kg	625 g
PUR pěna	26,5 kg	313 g
voda	26,5 kg	313 g

- **1,5:1 (M)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	51,2 kg	563 g
PUR pěna	34,2 kg	375 g
voda	25,6 kg	280 g

- **1:1 (M)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	42,0 kg	500 g
PUR pěna	42,0 kg	500 g
voda	21,0 kg	250 g

- **1:1,5 (M)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	37,3 kg	395 g
PUR pěna	56,0 kg	593 g
voda	18,7 kg	198 g

- **1:2 (M)**

	Množství na 1 m ³ :	Množství na vyplnění 1 tvarovky typu 30 – T:
PUR granulát	41,7 kg	475 g
PUR pěna	83,4 kg	950 g
voda	20,9 kg	238 g

- 1:0,75 (S)



Obr. 49: Vzorek receptury 1:0,75 (S).

- 1:1 (S)



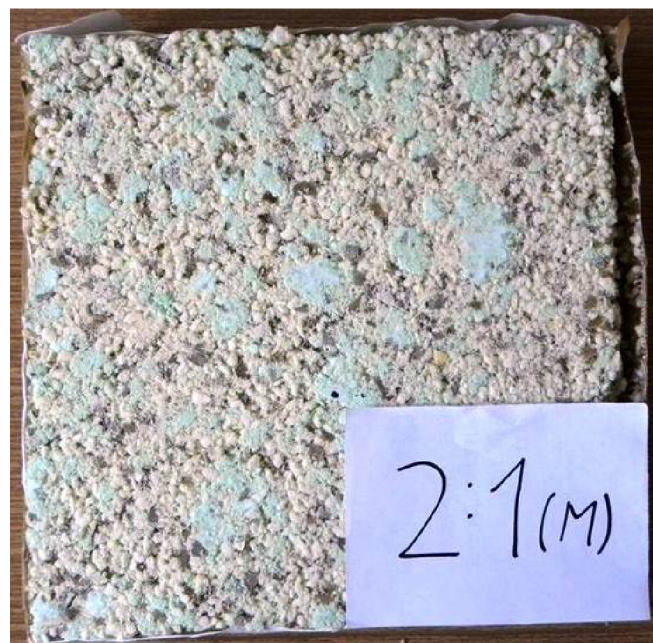
Obr. 50: Vzorek receptury 1:1 (S).

- 1:2 (S)



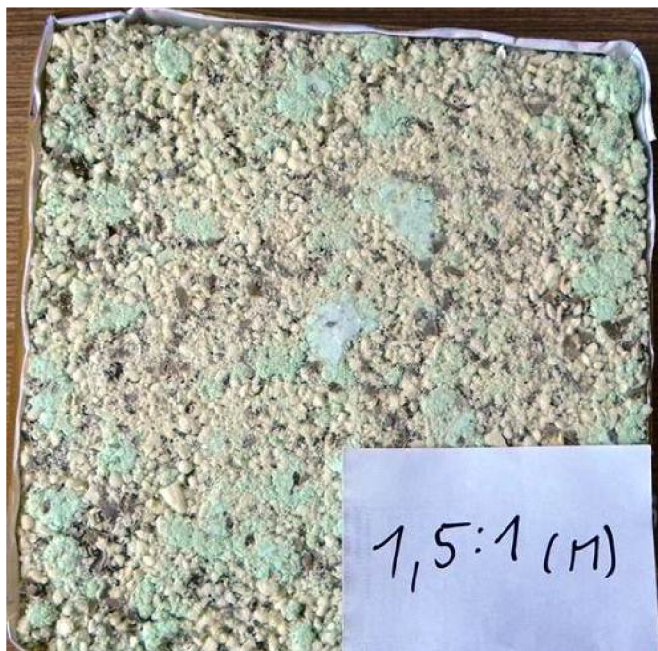
Obr. 51: Vzorek receptury 1:2 (S).

- 2:1 (M)



Obr. 52: Vzorek receptury 2:1 (M).

- 1,5:1 (M)



Obr. 53: Vzorek receptury 1:1,5 (M).

- 1:1 (M)



Obr. 54: Vzorek receptury 1:1 (M).

- 1:1,5 (M)



Obr. 55: Vzorek receptury 1:1,5 (M).

- 1:2 (M)



Obr. 56: Vzorek receptury 1:2 (M).

8. Výsledky měření

8.1. Stanovené základních vlastností navržených směsí

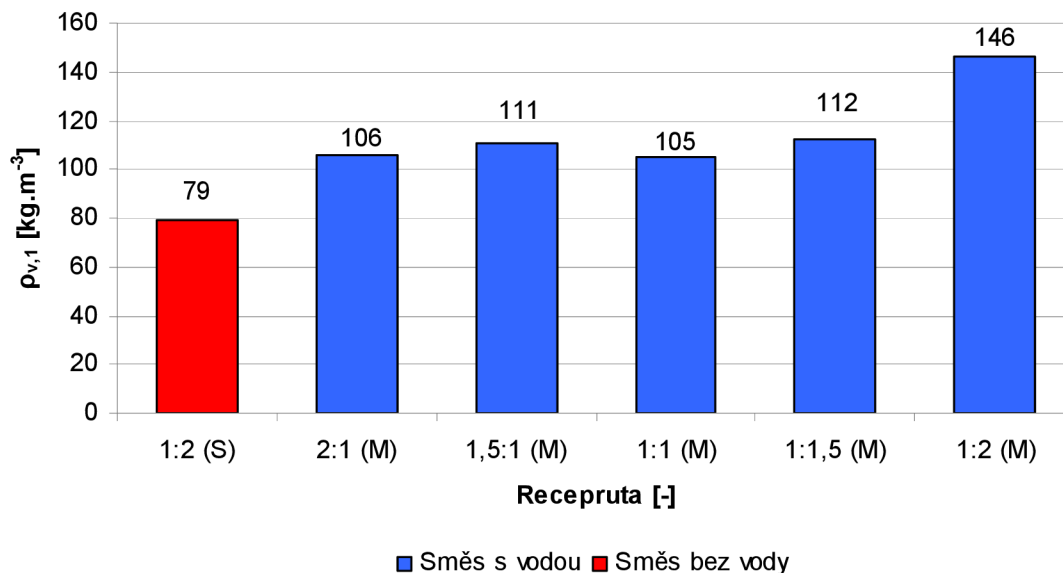
8.1.1. Objemová hmotnost v čerstvém stavu

Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu vychází z ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty [54].

Objemová hmotnost byla stanovena s užitím forem 300x300x50 mm. Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 4.

Tab. 7: Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu.

Receptura	Ozn.	M [kg]	V [m ³]	$\rho_{v,1}$ [kg.m ⁻³]	Receptura	Ozn.	m [kg]	V [m ³]	$\rho_{v,1}$ [kg.m ⁻³]
1:2 (S)	1	0,3548	0,0045	79	1:1 (M)	10	0,4789	0,0045	106
	2	0,3501	0,0045	78		11	0,4690	0,0045	104
	3	0,3590	0,0045	80		12	0,4711	0,0045	105
2:1 (M)	4	0,4638	0,0045	103	1:1,5 (M)	13	0,4979	0,0045	111
	5	0,4701	0,0045	104		14	0,5069	0,0045	113
	6	0,4932	0,0045	110		15	0,5097	0,0045	113
1,5:1 (M)	7	0,5034	0,0045	112	1:2 (M)	16	0,6528	0,0045	145
	8	0,4957	0,0045	110		17	0,6671	0,0045	148
	9	0,5003	0,0045	111		18	0,6578	0,0045	146



Graf 8: Porovnání objemových hmotností jednotlivých receptur v čerstvém stavu.

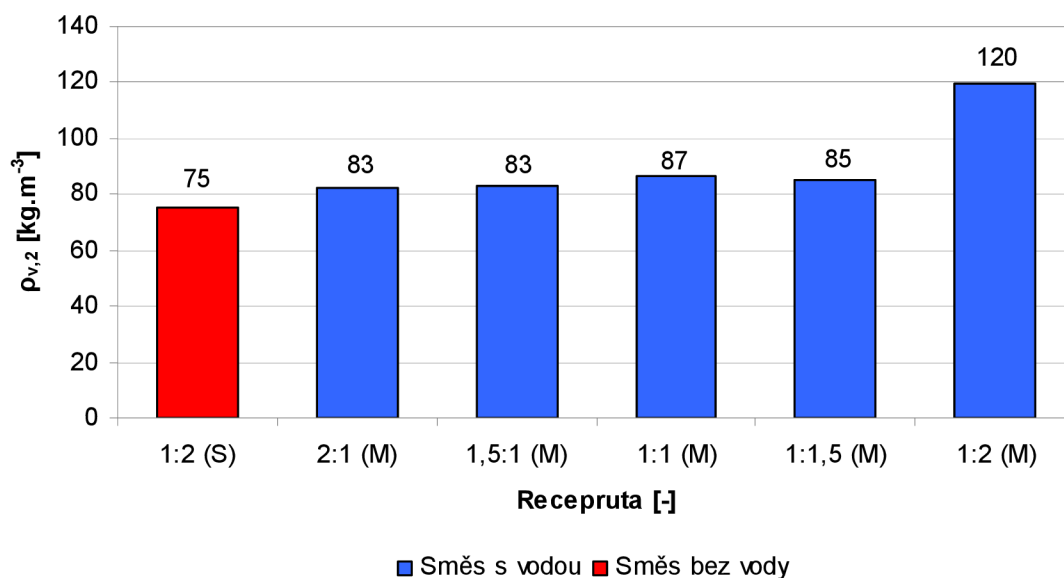
8.1.2. Objemová hmotnost ve vyzrálém stavu

Stanovení objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti [57].

Objemová hmotnost byla stanovena na vzorcích 300x300x50 mm. Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 4.

Tab. 8: Stanovení objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu.

Receptura	Ozn.	m [kg]	V [m ³]	$\rho_{v,2}$ [kg.m ⁻³]	Receptura	Ozn.	m [kg]	V [m ³]	$\rho_{v,2}$ [kg.m ⁻³]
1:2 (S)	1	0,3391	0,0047	73	1:1 (M)	10	0,3893	0,0047	83
	2	0,3421	0,0045	77		11	0,3892	0,0045	86
	3	0,3482	0,0046	76		12	0,3975	0,0044	91
2:1 (M)	4	0,3544	0,0044	80	1:1,5 (M)	13	0,3861	0,0045	85
	5	0,3556	0,0044	82		14	0,3915	0,0046	86
	6	0,3808	0,0045	86		15	0,3844	0,0045	85
1,5:1 (M)	7	0,3713	0,0044	84	1:2 (M)	16	0,5376	0,0045	121
	8	0,3735	0,0044	84		17	0,5458	0,0045	121
	9	0,3629	0,0045	81		18	0,5241	0,0045	118



Graf 9: Porovnání objemových hmotností jednotlivých receptur ve vyzrálém stavu.

Jak je patrné z naměřených hodnot, u zkušební vzorku 1:2 (S) došlo k doexpandování pěny, což se projevilo snížením objemové hmotnosti o -5 %. U ostatních receptur došlo k zásadnímu snížení objemové hmotnosti o -21±4 % odpařením vody. Nicméně došlo u vzorků také k objemovým změnám (dotvarováním PUR pěny).

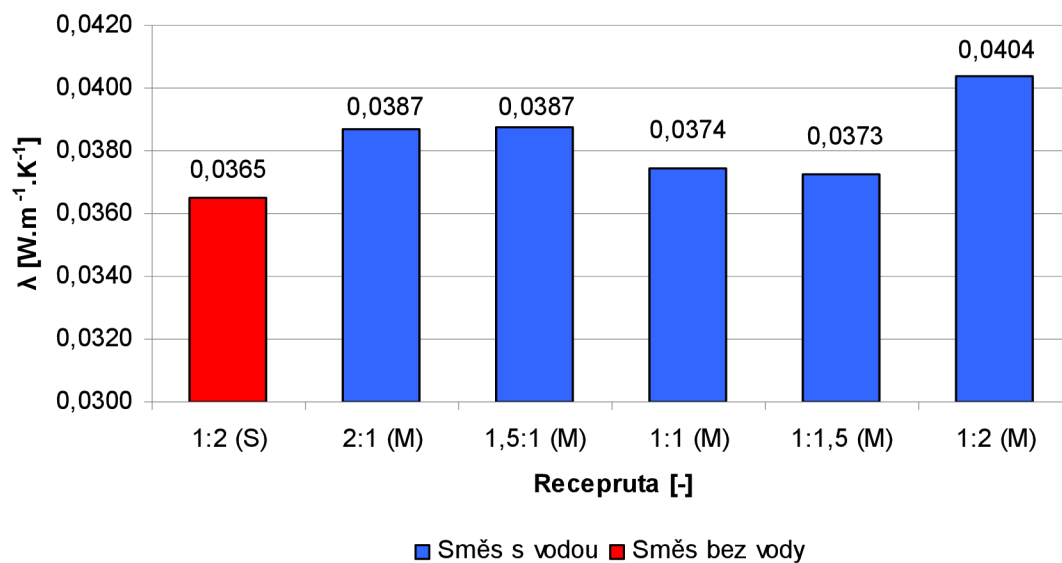
8.1.3. Součinitel tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno v souladu s ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku [58].

Součinitel tepelné vodivosti byl stanoven na vzorcích 300x300x50 mm.

Tab. 9: Stanovení součinitele tepelné vodivosti při střední teplotě 10 °C.

Receptura	Ozn.	Součinitel tepelné vodivosti při střední teplotě 10°C [$W.m^{-1}.K^{-1}$]						
		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	
1:2 (S)	1	0,0368	0,0365	0,0365	0,0366	0,0364	0,0366	0,0365
	2	0,0387	0,0389	0,0386	0,0386	0,0387	0,0387	
	3	0,0343	0,0342	0,0342	0,0343	0,0344	0,0343	
2:1 (M)	4	0,0396	0,0392	0,0387	0,0391	0,0389	0,0391	0,0387
	5	0,0399	0,0389	0,0388	0,0391	0,0389	0,0391	
	6	0,0380	0,0377	0,0375	0,0379	0,0378	0,0378	
1,5:1 (M)	7	0,0398	0,0393	0,0391	0,0395	0,0392	0,0394	0,0387
	8	0,0385	0,0384	0,0383	0,0385	0,0385	0,0384	
	9	0,0380	0,0380	0,0392	0,0383	0,0385	0,0384	
1:1 (M)	10	0,0369	0,0372	0,0373	0,0372	0,0371	0,0371	0,0374
	11	0,0377	0,0375	0,0376	0,0375	0,0375	0,0376	
	12	0,0376	0,0375	0,0374	0,0376	0,0375	0,0375	
1:1,5 (M)	13	0,0375	0,0376	0,0375	0,0375	0,0377	0,0376	0,0373
	14	0,0373	0,0374	0,0372	0,0374	0,0375	0,0374	
	15	0,0370	0,0369	0,0368	0,0369	0,0369	0,0369	
1:2 (M)	16	0,0410	0,0400	0,0400	0,0410	0,0410	0,0406	0,0404
	17	0,0395	0,0398	0,0397	0,0396	0,0399	0,0397	
	18	0,0407	0,0409	0,0408	0,0407	0,0407	0,0408	



Graf 10: Porovnání součinitele tepelné vodivosti jednotlivých receptur.

U všech receptur bylo dosaženo velmi dobrých tepelně izolačních vlastností, součinitel tepelné vodivosti se pohyboval v rozmezí 0,0365 až 0,0404 W.m⁻¹.K⁻¹.

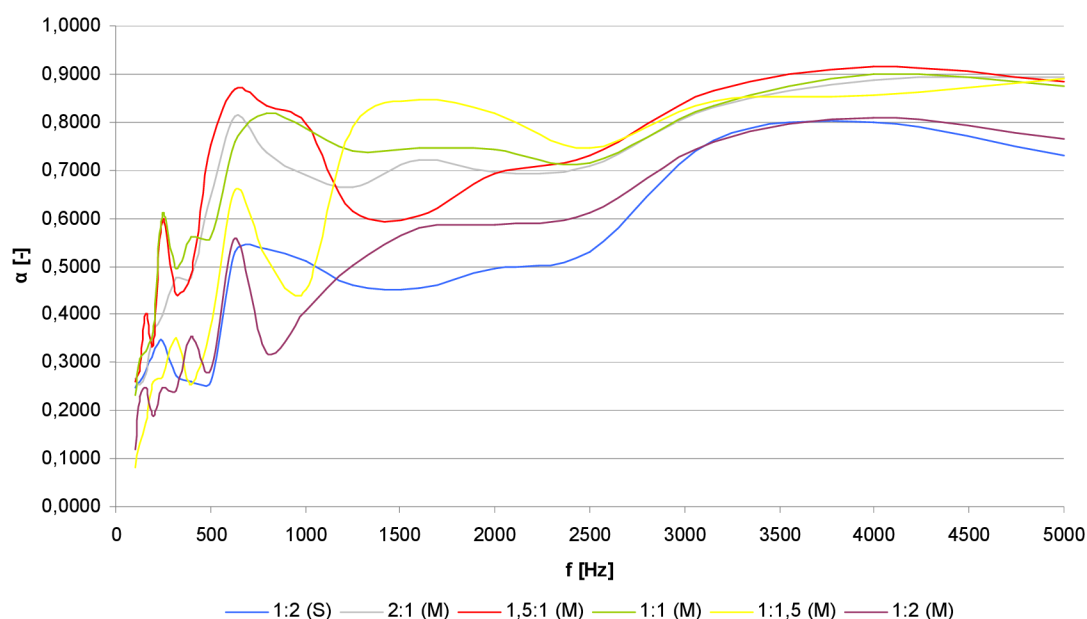
Nejnižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti dosáhl vzorek ze směsi bez přídavku vody 1:2 (S). U směsi s přídavkem vody se prokázalo, že zvyšováním poměru PUR pěny k PUR granulátu při obdobné objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu dochází ke snížení součinitele tepelné vodivosti.

8.1.4. Činitel zvukové pohltivosti

Stanovení činitele zvukové pohltivosti bylo provedeno v souladu s ČSN ISO 10534-1 Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích. Část 1: Metoda poměru stojaté vlny [61].

Dle ČSN EN ISO 11654 Akustika - Absorbéry zvuku používané v budovách - Hodnocení zvukové pohltivosti [65] byla stanovena hodnota váženého činitele zvukové pohltivosti α_w [-]. Jedná se o kmitočtově nezávislou, jednočíselnou hodnotu rovnou hodnotě směrné křivky na 500 Hz po posunu.

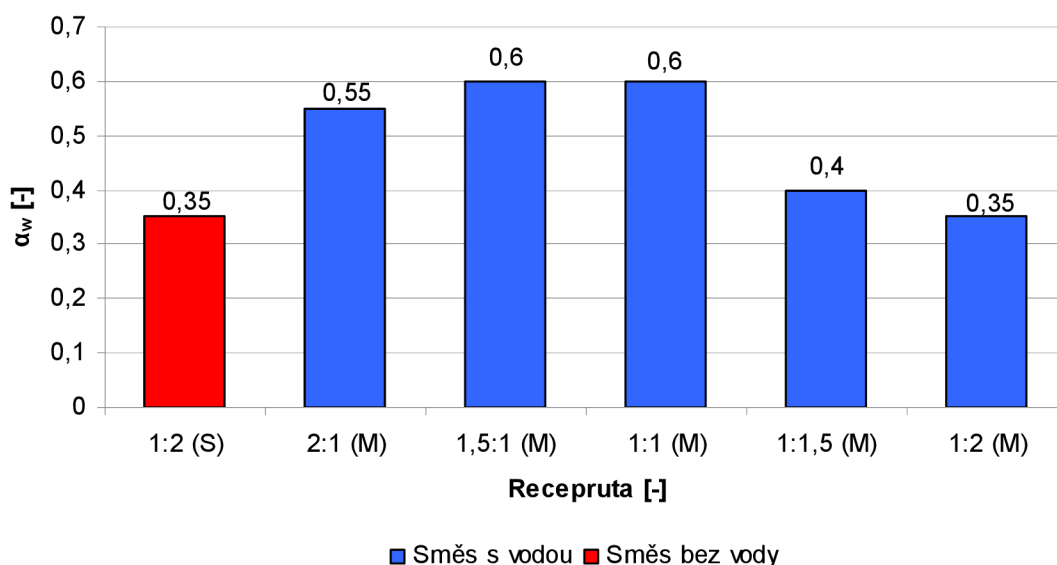
Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 5.



Graf 11: Porovnání průběhu činitele zvukové pohltivosti v závislosti na frekvenci jednotlivých receptur.

Tab. 10: Jednočíselné hodnoty vážené zvukové pohltivosti pro jednotlivé receptury.

Receptura	$\alpha_w [-]$
1:2 (S)	0,35
2:1 (M)	0,55
1,5:1 (M)	0,60
1:1 (M)	0,60
1:1,5 (M)	0,40
1:2 (M)	0,35



Graf 12: Porovnání váženého činitele zvukové pohltivosti jednotlivých receptur.

Z pohledu akustických vlastností je patrné, že je zvuková pohltivost závislá na míře otevřené pórovitosti, která je dána převažujícím podílem PUR granulátu. Nejlepších vlastností bylo dosaženo u receptur 2:1 (M), 1,5:1 (M) a 1:1 (M).

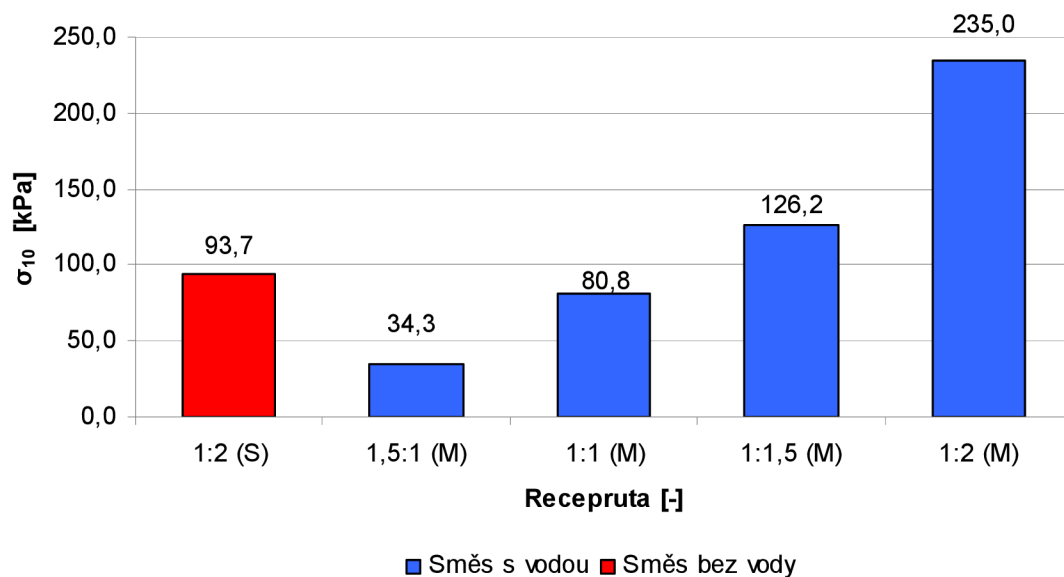
8.1.5. Napětí při 10% deformaci

Stanovení napětí při 10% deformaci bylo provedeno v souladu s ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem [59].

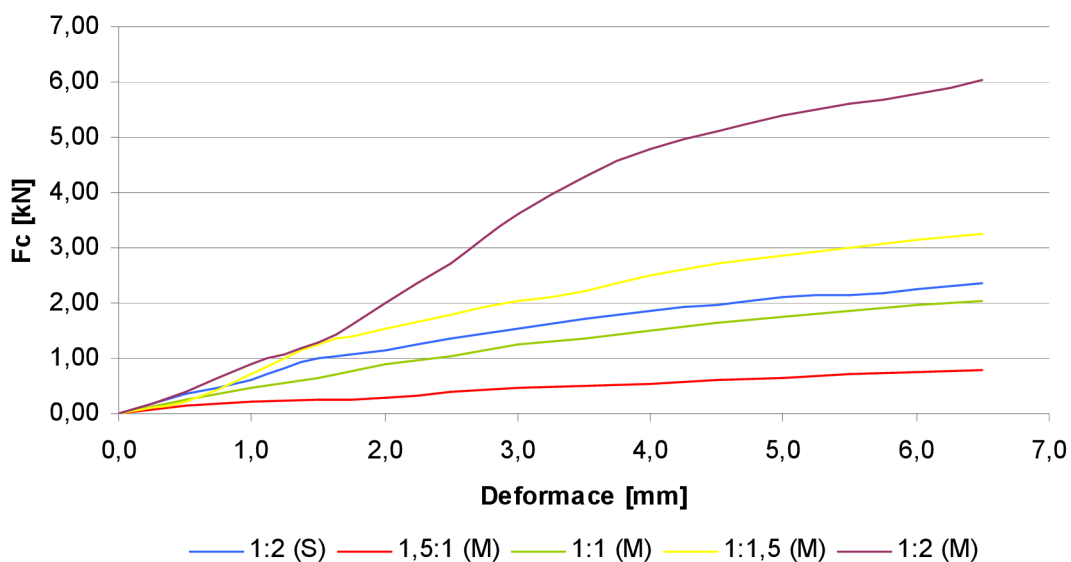
Napětí při 10% deformaci bylo stanoveno na vzorcích 150x150 mm. Vzorky vyrobené z receptury 2:1 (M) nedosáhli potřebných manipulačních pevností pro provedení zkoušky, byly tedy vyřazeny. Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 6.

Tab. 11: Stanovení napětí při 10% deformaci.

Receptura	ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	d_0 [mm]	$d_{10\%}$ [mm]	A [m^2]	F_{10} [kN]	σ_{10} [kPa]
1:2 (S)	75	51,580	5,36	0,02	2,15	93,7
1,5:1 (M)	83	51,153	6,12	0,02	0,75	34,3
1:1 (M)	87	52,069	5,33	0,02	1,85	80,9
1:1,5 (M)	85	49,547	5,25	0,02	2,85	126,2
1:2 (M)	120	51,468	5,25	0,02	5,40	235,0



Graf 13: Porovnání napětí při 10% deformaci jednotlivých receptur.



Graf 14: Porovnání pracovních diagramů jednotlivých receptur.

Jak je z uvedených hodnot patrné, mechanické vlastnosti u jednotlivých izolantů jsou lepší než u samotné PUR pěny, u které je napětí při 10% deformaci $5,49 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ [15].

Se zvyšujícím se poměrem PUR pěny k PUR granulátu se zvyšuje napětí při 10% deformaci (pevnost v tlaku). Z naměřených hodnot také vyplývá, že přidavek vody do směsi má výrazný vliv na proexpandování PUR pěny do PUR granulátu a tím dochází ke zlepšení mechanických vlastností, konkrétně napětí při 10% deformaci (pevnost v tlaku).

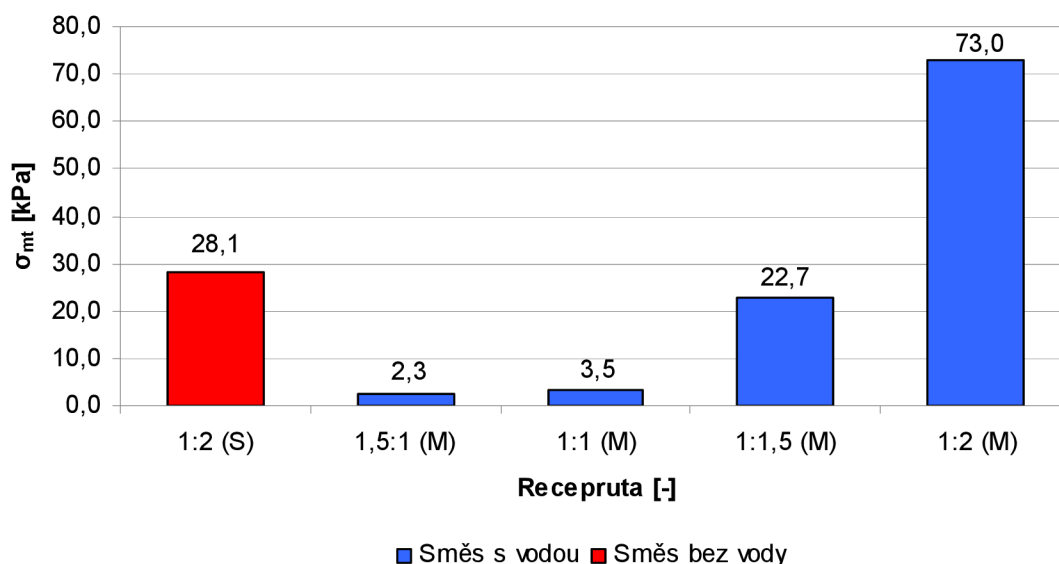
8.1.6. Pevnost v tahu

Stanovení pevnosti v tahu bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky [60].

Pevnost tahu byla stanovena na vzorcích 150x150 mm. Vzorky vyrobené z receptury 2:1 (M) nedosáhli potřebných manipulačních pevností pro provedení zkoušky, byly tedy vyřazeny. Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 7.

Tab. 12: Stanovení pevnosti v tahu.

Receptura	A [mm ²]	F _m [N]	σ _{mt} [kPa]
1:2 (S)	23173	650	28,1
1,5:1 (M)	21369	50	2,3
1:1 (M)	23044	80	3,5
1:1,5 (M)	21978	500	22,7
1:2 (M)	22608	1650	73,0



Graf 15: Porovnání pevnosti v tahu jednotlivých receptur.

Se zvyšujícím se poměrem PUR pěny k PUR granulátu se zvyšuje pevnost v tahu. Z naměřených hodnot také vyplývá, že přídavek vody do směsi má výrazný vliv na proexpandování PUR pěny do PUR granulátu a tím dochází ke zlepšení mechanických vlastností, konkrétně pevnosti v tahu.

Nárůst pevnosti v tahu se zvyšujícím se poměrem PUR pěny k PUR granulátu není však plynulý jako u napětí při 10% deformaci (pevnosti v tlaku). Od poměru 1:1 dochází k výrazným skokovým nárůstům. Výrazně lepších mechanických vlastností dosahují vzorky s přídavkem vody.

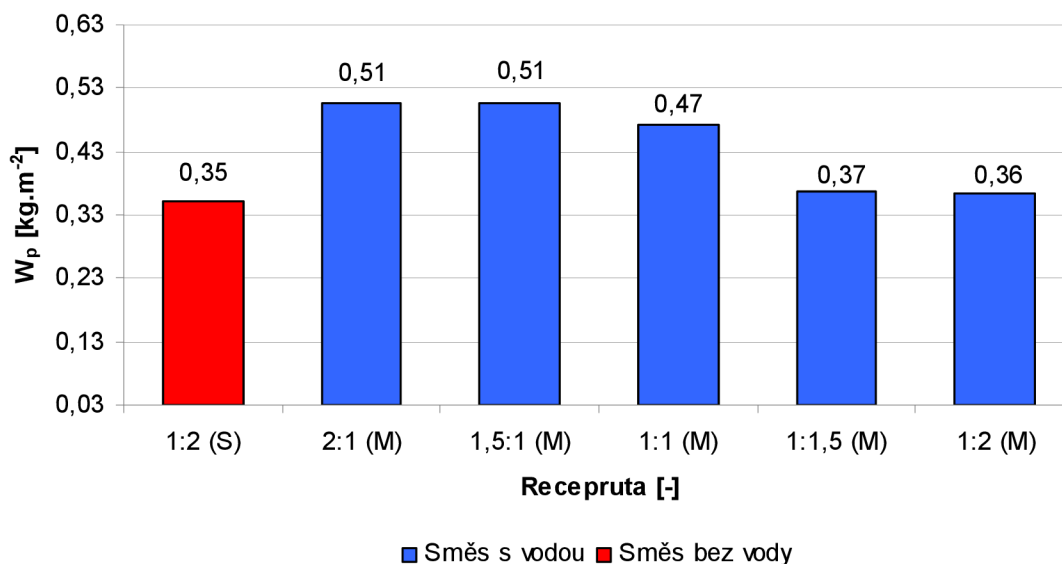
8.1.7. Krátkodobá nasákavost

Stanovení krátkodobé nasákavosti bylo provedeno dle ČSN EN 1609 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření [62].

Krátkodobá nasákavost byla stanovena na vzorcích 300x300x50 mm. Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 7.

Tab. 13: Stanovení krátkodobé nasákavosti.

Receptura	$A [m^2]$	$m_0 [kg]$	$m_{24} [kg]$	$W_p [kg.m^{-2}]$
1:2 (S)	0,1	0,3421	0,3733	0,35
2:1 (M)	0,1	0,3557	0,4010	0,51
1,5:1 (M)	0,1	0,3713	0,4171	0,51
1:1 (M)	0,1	0,3889	0,4315	0,47
1:1,5 (M)	0,1	0,3915	0,4241	0,37
1:2 (M)	0,1	0,5376	0,5707	0,36



Graf 16: Porovnání krátkodobé nasákavosti jednotlivých receptur.

Se zvyšujícím se poměrem PUR pěny k PUR granulátu se snižuje krátkodobá nasákavost. Snížení nasákavosti je způsobeno jednak vyšším množstvím PUR pěny, která vytváří po naexpandování uzavřený povrch a jednak uzavřením povrchu PUR granulátu, který sám o sobě díky otevřené struktuře má vysokou nasákavost.

U směsí 2:1 (M) a 1,5:1 (M) není téměř žádný rozdíl v nasákavosti. V rozmezí směsí 1,5:1 (M) a 1:1,5 (M) dochází zvyšování množství PUR pěny k plynulému snižování nasákavosti. Další zvýšení množství PUR pěny má již výrazně menší vliv na snížení nasákavosti.

Při porovnání směsi s přídavkem vody a bez přídavku vody nemá přídavek vody a tím vyšší proexpandování PUR pěny do PUR granulátu vliv na hodnotu nasákavosti výsledné izolace.

8.2. Stanovení základních vlastností keramických zdících tvarovek

8.2.1 Hmotnost

Keramické zdící tvarovky byly váženy po vyplnění a vyzrání integrované tepelné izolace z jednotlivých receptur. Hmotnost byla porovnána s hmotností nevyplněné keramické zdící tvarovky stejného typu získané jako aritmetický průměr hmotností tří tvarovek. Pro zkoušení byla zvolena tvarovka PTH 30 T. Hmotnost nevyplněné tvarovky je 11,255 kg. Celkový objem dutin této tvarovky je 0,0105 m³. Pro porovnání byla zkoušena také tvarovka vyplněná čistou PUR pěnou.

Tab. 14: Stanovení hmotnosti keramických zdících tvarovek s integrovanou tepelnou izolací.

<i>Izolant</i>	<i>Hmotnost tvarovky [kg]</i>	<i>Hmotnost integrované izolace [g]</i>	<i>Změna hmotnosti integrované izolace [%]</i>	<i>$\rho_{v,2}$ integrované izolace při laboratorním zkoušení [kg.m⁻³]</i>	<i>Reálná ρ_v integrované izolace [kg.m⁻³]</i>	<i>Změna ρ_v integrované izolace [%]</i>
PUR	11,528	273	2,4	25	26	4,0
1:2 (S)	12,164	909	8,1	75	87	15,4
1,5:1 (M)	12,221	965	8,6	83	92	10,8
1:1 (M)	12,153	898	8,0	87	86	-1,7
1:1,5 (M)	12,167	912	8,1	85	87	2,1
1:2 (M)	12,524	1268	11,3	120	121	0,7

Integrací izolací z jednotlivých směsí s objemovou hmotností ve vyzrálém stavu cca 85 kg.m⁻³ došlo k zvýšení hmotnosti tvarovek o cca 8,1 % tedy o cca 920 g.

Při aplikaci jednotlivých směsí do dutin keramické zdící tvarovky došlo u většiny izolantu k nepatrné změně objemové hmotnosti do 4 %, oproti laboratorním zkoušení samotných izolantů. U směsí 1:2 (S) a 1,5:1 (M) došlo k výraznějšímu nárůstu objemové hmotnosti až o 15 %.

8.2.2 Pevnost v tlaku

Stanovení Pevnosti v tlaku keramických zdících tvarovek bylo provedeno dle ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku [63].

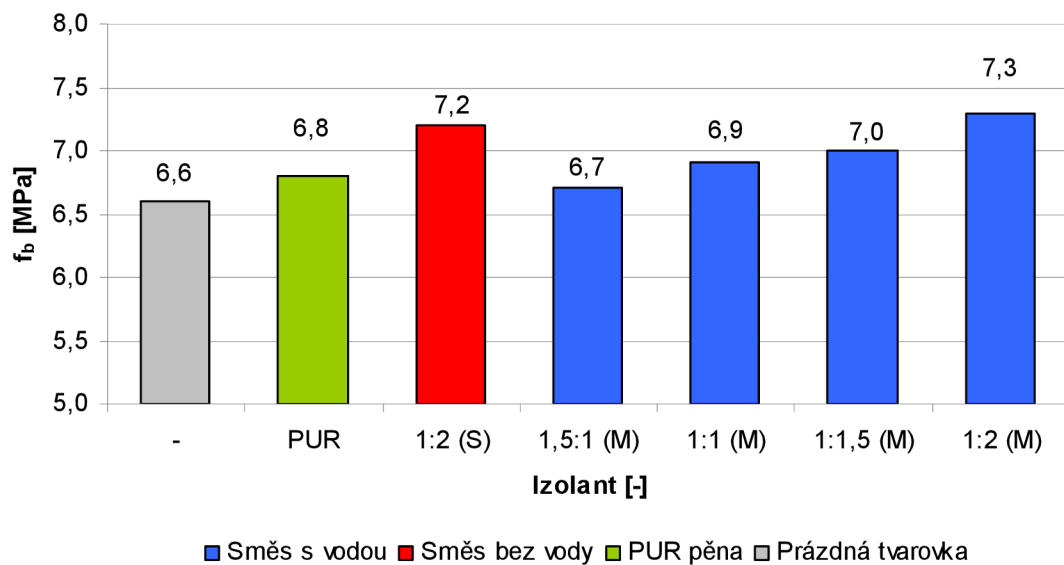
Stanovení rozměrů keramické zdící tvarovky bylo provedeno dle ČSN EN 772 Zkušební metody pro zdící prvky – část 16: Stanovení rozměrů [66].

Pevnost v tlaku byla stanovena pro keramické zdící tvarovky typu PTH 30 T. Pro porovnání byla stanovena pevnost v tlaku tvarovky vyplněné čistou PUR pěnou a prázdné tvarovky. Veškerá naměřená data jsou uvedena v příloze 7.

Pro hodnocení celistvosti vyplnění byly tvarovky po stanovení pevnosti v tlaku rozříznuty podélným řezem vedeným v jedné třetině délky přes vyplněné dutiny.

Tab. 15: Stanovení pevnosti keramických zdících tvarovek s integrovanou tepelnou izolací.

Izolant	m [kg]	l [mm]	b [mm]	h [mm]	A [mm ²]	F [kN]	f_b [N.mm ⁻²]	Změna pevnosti po vyplnění [%]
-	11,255	298,0	250,3	249,1	74590	489	6,6	-
PUR	11,528	293,5	250,7	249,1	73585	500	6,8	3,0
1:2 (S)	12,164	297,9	250,0	249,1	74495	538	7,2	9,1
1,5:1 (M)	12,220	300,1	249,9	249,1	74995	503	6,7	1,5
1:1 (M)	12,153	298,0	250,1	249,1	74539	515	6,9	4,5
1:1,5 (M)	12,166	298,1	250,2	249,1	74581	521	7,0	6,1
1:2 (M)	12,523	297,2	249,9	249,1	74265	544	7,3	10,6



Graf 17: Porovnání pevnosti tlaku jednotlivých keramických zdících tvarovek.



Obr. 57: Řez tvarovkou vyplněnou PUR pěnou.



Obr. 58: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:2 (S).



Obr. 59: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1,5:1 (M).



Obr. 60: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:1 (M).



Obr. 61: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:1,5 (M).



Obr. 62: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:2 (M).

Z výsledných hodnot je patrné, že aplikací jednotlivých směsí do dutin keramických zdících tvarovky došlo k příznivému ovlivnění pevnosti v tlaku keramických zdících tvarovek tedy zvýšení pevnosti v tlaku. Se zvyšujícím se podílu PUR pěny k PUR granulátu v jednotlivých směsích se zvyšuje i pevnost v tlak výsledných keramických zdících tvarovek. Nevyšší pevnost v tlaku dosáhly tvarovky s integrovanou izolací ze směsí 1:2 (S) a 1:2 (M).

Při porovnání pevnosti v tlaku tvarovky vyplněné čistou PUR pěnou a tvarovek vyplněných jednotlivými směsmi došlo krom směsí 1,5:1 (M) k zvýšení pevnosti v tlaku.

Jednotlivé směsi byli díky expanzi PUR pěny pevně fixovány v dutinách tvarovek i po řezu tvarovkami. Integrované izolace z jednotlivých směsí vytvořili na rozdíl od čisté PUR pěny celistvé vyplnění dutin keramických tvarovek.

8.3. Stanovení ceny

Pro výpočet ceny výsledného materiálu byla použita cena za kilogram PUR pěny vycházející z ceny v maloobchodním řetězci cca $100,0 \text{ Kč.kg}^{-1}$, průměrná cena za 1 m^3 vody 50 Kč.m^{-3} a odhadem (dle dostupných informací od producenta PUR granulátu – firmy Výrobní družstvo „Slezská Hořina“ Brumovice) stanovená cena za kilogram PUR granulátu $12,5 \text{ Kč.kg}^{-1}$ (500 Kč.m^{-3}).

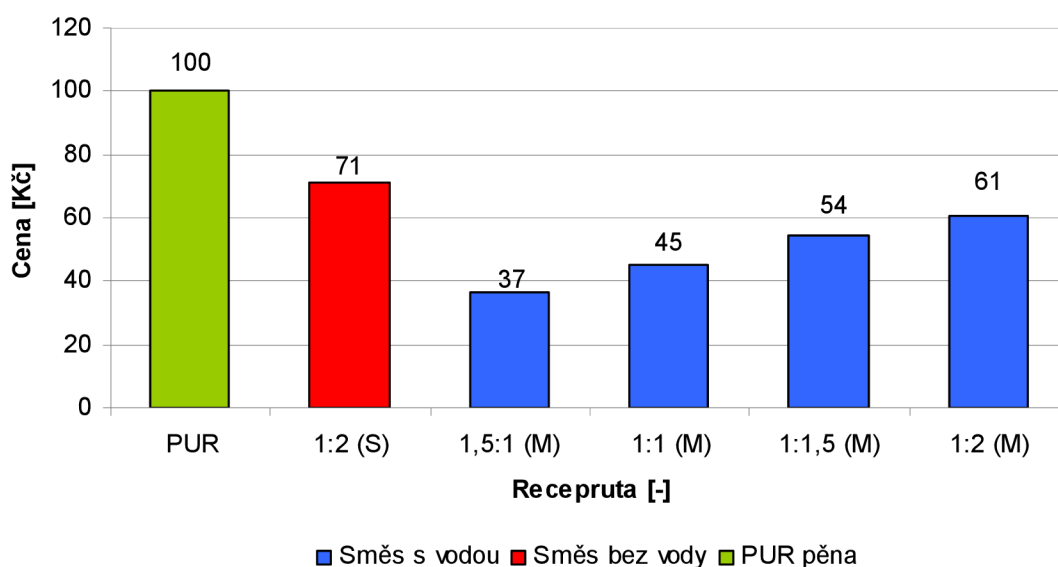
Kompletní stanovení ceny za kilogram a za 1 m^3 jednotlivých směsí je uvedeno v příloze 8.

Tab. 16: Ceny za kilogram suroviny použité ve směsích.

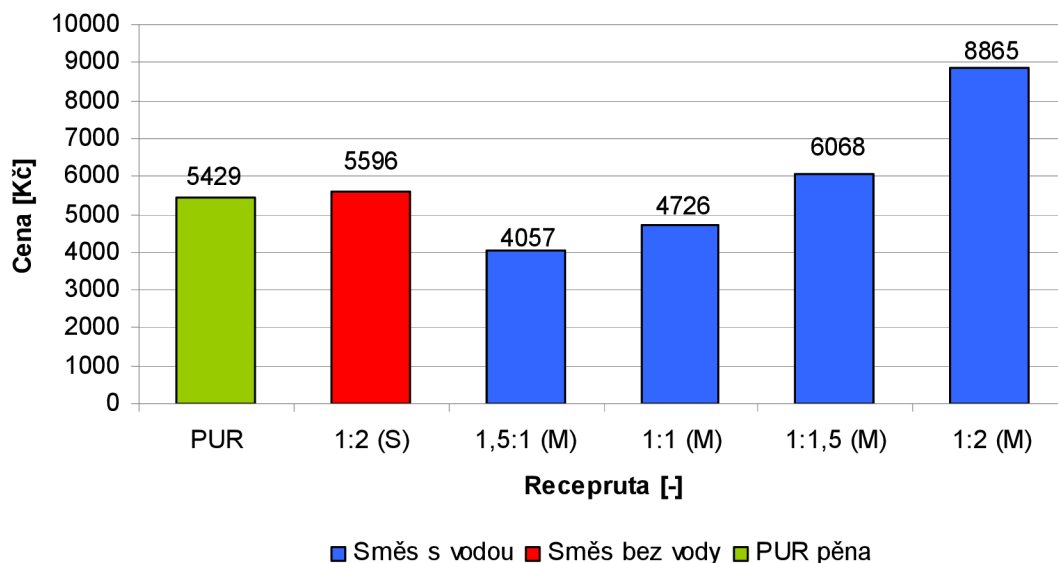
Surovina	cena [Kč.kg^{-1}]
PUR granulát	12,5
PUR pěna	100,0
Voda	0,05

Tab. 17: Cenový zhodnocení jednotlivých směsí a cena vyplnění tvarovky typu PTH 30 T.

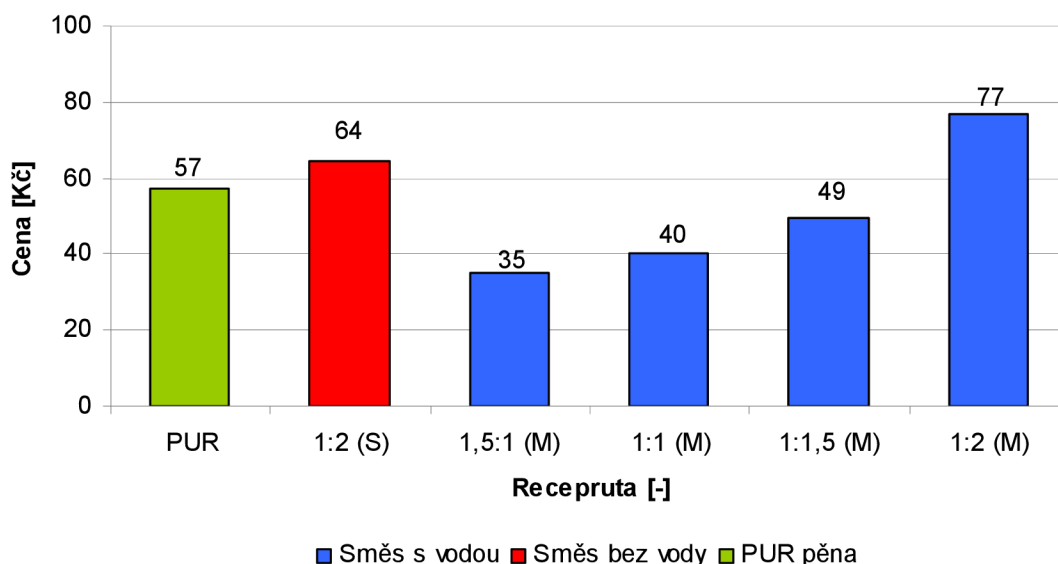
Izolant	Cena za 1 m^3 [Kč.m^{-3}]	Cena za 1 kg [Kč.kg^{-1}]	Cena izolace v tvarovce PTH 30 T [Kč]
PUR	5943	100	63
1:2 (S)	5596	71	59
1,5:1 (M)	4057	37	43
1:1 (M)	4726	45	50
1:1,5 (M)	6068	54	64
1:2 (M)	8865	61	93



Graf 18: Porovnání ceny za 1 m^3 jednotlivých integrovaných izolantů.



Graf 19: Porovnání ceny za kilogram jednotlivých integrovaných izolantů.



Graf 20: Porovnání ceny integrované izolace v keramické zdicí tvarovce PTH 30 T.

Jak je z uvedených hodnot patrné, použitím PUR granulátu může dojít k celkovému snížení ceny izolace oproti klasické PUR pěně. Nicméně, zvýšením objemové hmotnosti (cca 2x) oproti vyplňování tvarovek PUR pěnou stoupá poměrná spotřeba PUR pěny. Proto u receptur s převažujícím podílem PUR pěny je výsledná cena vyšší než u samotné PUR pěny.

Nejdražší složkou směsi je PUR pěna, díky tomu zvyšováním poměru PUR pěny k PUR granulátu dochází k zvyšování ceny výsledné izolace. V porovnání směsi s přídavkem vody a bez přídavku vody při obdobné objemové hmotnosti a poměru PUR granulátu a PUR pěny je cena u směsi bez přídavku vody výrazně vyšší.

V daném případě by bylo vhodné optimalizovat technologii míšení PUR granulátu i PUR pěny a také technologii výplně dutin tvarovek, aby bylo dosaženo snížení objemové hmotnosti při zachování dostatečných mechanických vlastností (soudržnosti izolantu v dutinách tvarovky). Pro snížení nákladů by bylo možné vyplnit dutiny tvarovek kombinovaně, na spodní a horní části dutiny použít směs s vyšším obsahem PUR pěny a uvnitř směs s vyšším obsahem PUR granulátu.

V porovnání jednotlivých směsí s čistou PUR pěnou při vyplnění stejného typu tvarovky jsou směsi 1,5:1 (M), 1:1 (M) a 1:1,5 (M) levnější než čistá PUR pěna. Směs 1,5:1 (M) je levnější téměř o polovinu. Se zvyšujícím se poměru PUR pěny k PUR granulátu roste i ceny izolantu v tvarovce, kdy cena izolantu 1:2 (M) a 1:2 (S) již překračuje cenu čisté PUR pěny.

8.4. Celkové shrnutí

Tab. 18: Přehled vlastností jednotlivých směsí.

Veličina	Optimum	1:2 (S)	2:1 (M)	1,5:1 (M)	1:1 (M)	1:1,5 (M)	1:2 (M)
Objemová hmotnost v čerstvém stavu $\rho_{v,1}$ [kg.m ⁻³]	min/max	79	106	111	105	112	146
Objemová hmotnost ve vyzrálém stavu $\rho_{v,2}$ [kg.m ⁻³]	min/max	75	83	83	87	85	120
Napětí při 10% deformaci $F_{10\%}$ [kPa]	max	93,7	-	34,3	80,8	126,2	235
Pevnost v tahu σ_{mt} [kPa]	max	28,1	-	2,3	3,5	22,7	73,0
Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	min	0,0365	0,0387	0,0387	0,0374	0,0373	0,0404
Vážený činitel zvukové pohltivosti α_w [-]	max	0,35	0,55	0,60	0,60	0,40	0,35
Krátkodobá nasákavost W_p [kg.m ⁻²]	min	0,35	0,51	0,51	0,47	0,37	0,36
Cena za 1 m ³ [Kč.m ⁻³]	min	5596	3314	4057	4726	6068	8865
Cena za 1 kg [Kč.kg ⁻¹]	min	71	31	37	45	54	61

Celkem bylo v rámci praktické části zkoumáno 8 druhů směsí PUR granulátu s PUR pěnou. Z toho 3 směsi bez přídavku vody a 5 směsí s přídavkem vody. U směsí 1:0,75 (S) a 1:1 (S) nebylo dosaženo potřebné soudržnosti pro následné stanovení vlastností těchto směsí. U směsi 2:1 (M) byla soudržnost dostatečná pro stanovení izolačních a fyzikálních vlastností, tato směs však neměla dostatečnou pevnost pro stanovení mechanických vlastností.

Celkově se podařilo vytvořit velmi dobrý tepelně izolační materiál. Z pohledu tepelné izolace se podařilo dosáhnout u směsi bez přídavku vody 1:2 (S) hodnoty součinitele prostupu tepla 0,0365 W.m⁻¹.K⁻¹ a u směsi 1:1,5 (M) 0,0373 W.m⁻¹.K⁻¹.

Z pohledu akustické izolace se u desek o tloušťce 50 mm ze směsí 1,5:1 (M) a 1:1 (M) podařilo dosáhnout váženého činitele zvukové pohltivosti 0,60.

Krátkodobá nasákavost velmi nepatrně přesáhla pouze u směsí 2:1 (M) a 1,5:1 (M) hodnotu $0,50 \text{ kg.m}^{-2}$. U ostatních směsí se snižovala až k hodnotě $0,35 \text{ kg.m}^{-2}$ u 1:2 (S) a $0,36 \text{ kg.m}^{-2}$ u 1:2 (M).

Již u směsí 1:1 (M) bylo dosaženo dobrých mechanických vlastností, konkrétně napětí při 10% deformaci $80,8 \text{ kPa}$ a pevnost v tahu $3,5 \text{ kPa}$, a se zvyšujícím se poměrem PUR pěny ve směsích s přídavkem vody se zlepšují i mechanické vlastnosti. U jediné testovatelné směsi bez přídavku vody 1:2 (S) bylo dosaženo také dobrých mechanických vlastností, konkrétně napětí při 10% deformaci $93,7 \text{ kPa}$ a pevnost v tahu $28,1 \text{ kPa}$.

Důležitým parametrem hodnocení je také cena. Podařilo se vytvořit tři směsi, 2:1 (M), 1,5:1 (M) a 1:1 (M), s cenou za 1 m^3 pod 5000 Kč a cenou za 1 kg pod 50 Kč .

Při celkové zhodnocení všech vlastností a parametrů u všech zkoušených směsí byla jako **nejlepší směs vyhodnocena směs 1:1 (M)**.

Jedná se o směs s objemovou hmotností v čerstvém stavu 105 kg.m^{-3} a s objemovou hmotností ve vyzrálém stavu 85 kg.m^{-3} . Napětí při 10% deformaci této směsi je $80,8 \text{ kPa}$ a pevnost v tahu je $3,5 \text{ kPa}$. Součinitele teplené vodivosti této směsi je $0,0374 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a vážený činitel zvukové pohltivosti je $0,60$. Hodnota krátkodobé nasákavosti u této směsi je $0,47 \text{ kg.m}^{-2}$. Cena za 1 m^3 této směsi je 4726 Kč a za 1 kg je 45 Kč .

D. Závěr

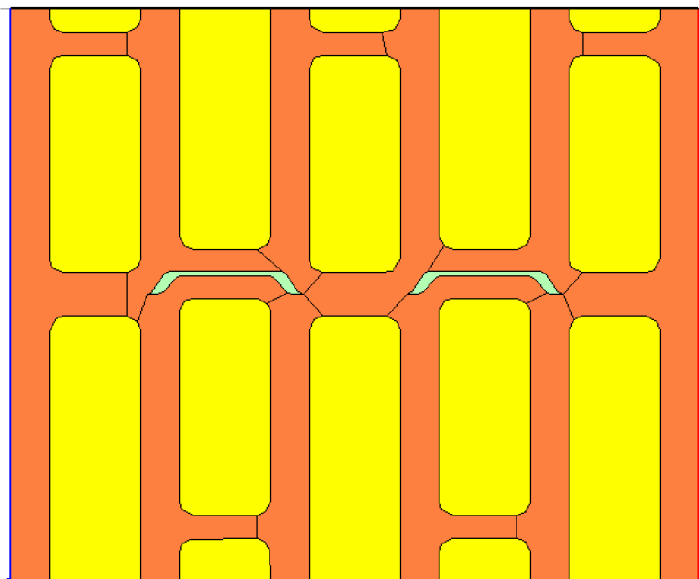
Při vyhodnocení byl brán zřetel na celkové dosažené výsledky, a také na cenu výplně v porovnání s cenou MW a čisté PUR pěny. Jako limitní se zde jeví cena okolo 50 Kč na tvarovku typu PTH 30 T (vzhledem ke skutečnosti, že ceny izolantů jsou stanoveny pouze orientačně a z maloobchodních cen).

Celkově byla jako nejlepší záměs vyhodnocena 1:1 (M) vyhovující tepelně izolačními, mechanickými vlastnosti a cenou 50 Kč/tvarovka.

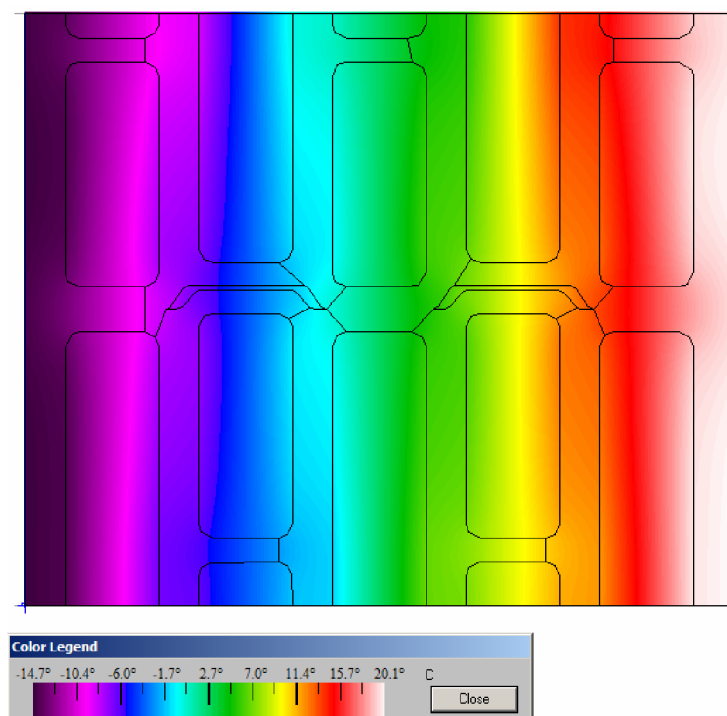
Oproti PUR pěně vykazují tvarovky s vyvinutým izolantem lepší difúzní propustnost a mírně lepší mechanické vlastnosti. Naopak ve srovnání s PUR pěnou jsou tepelně izolační vlastnosti záměsi s PUR granulátem horší.

Při srovnání s MW vyazuje záměsi 1:1 (M) srovnatelné tepelně izolační vlastnosti, lepší mechanické vlastnosti, mírně vyšší nasákavost. Hlavní nevýhodou oproti MW je horší hodnota reakce na oheň. V případě PUR izolantu lze dosáhnout při použití vhodných surovin třídy reakce na oheň B, nicméně většina MW vyazuje reakci na oheň A1 nebo A2.

Pro záměs 1:1 (M) byl proveden výpočet tepelných vlastností u prvku PTH 30 T (ve vysušeném stavu). Výpočet byl proveden pomocí metody konečných prvků v souladu s ČSN EN ISO 6946. V programovém prostředí THERM byl sestaven model prvku PTH 30 T zatíženého účinkem teplotního pole $\theta_l = \theta_i = +21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_2 = \theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$. Ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti vzduchu v dutinách prvku ve směru tepelného toku byla stanovena v souladu s ČSN EN ISO 6946. Výpočet byl proveden pro tepelnou vodivost cihelného střepe: $\lambda_{10, dry} = 0,266 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tato hodnota tepelné vodivosti byla dodána výrobcem tvarovek firmou Wienerberger cihlářský průmysl a.s..



Obr. 63: Výpočtový model tvarovky PTH 30 T (Popis materiálů: zelená: vzduch (tepelné hodnoty jsou voleny v souladu s ČSN EN ISO 6946), červená: keramický střepe ($\lambda = 0,266 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), žlutá: izolační PUR výplň ($\lambda = 0,0374 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)).



Obr. 64: Výpočtové rozložení teplotního pole (IR zobrazení) v páleném zdicím prvku PTH 30 T (DRYFIX) s izolační výplní 1:1 (M) při okrajových podmínkách: $\theta_1 = \theta_i = +21^\circ\text{C}$, $\theta_2 = \theta_e = -15^\circ\text{C}$

Tab. 19: Přehled vypočítaných tepelných hodnot páleného zdicího prvku PTH 30 T (DRYFIX) vyplněného izolačním 1:1 (M) s tepelnou vodivostí $0,0374 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	R_0 [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	λ_{equ} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
0,2523	3,9635	3,7985	0,0790

Výsledná tvarovka, s použitím záměsi 1:1 (M), dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla $U = 0,2523 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. V daném případě se uvažuje, že by výsledná konstrukce byla zděna pomocí PUR pěny technologií DRYFIX, proto tyto výsledná hodnota součinitele prostupu tepla odpovídá i součiniteli prostupu tepla zděné konstrukce ve vysušeném stavu bez omítek. Ve stavu praktické vlhkosti (1% hmotnostně dle ČSN EN 1745) bude vykazovat konstrukce hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0,2621 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Tato hodnota je dostatečná pro splnění požadované hodnoty součinitele prostupu tepla, platícího od 1.1.2013, která je $U_N = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a při použití cca 2 cm běžné tepelně izolační omítky z vnější strany bude konstrukce splňovat doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla $U_N = 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

V případě aplikace izolace 1:1 (M) do keramické zdicí tvarovky PTH 38 T (další vyšší výrobní rozměr) dojde již ke splnění požadovaných i doporučených hodnot součinitele prostupu tepla bez nutnosti aplikace tepelně izolační omítky.

Při porovnání s již nabízeným sortimentem tvarovek TI dosáhla výsledná tvarovka mírně horších tepelně technických vlastností. Tvarovka PTH 30 T Profi plnění minerální vatou dosahuje součinitele prostupu tepla $U = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Celkově se podařilo vytvořit tepelně izolační materiál, ze směsi PUR granulátu a PUR pěny, který je schopný, při správném poměr jednotlivých složek, obstát v současné konkurenci tepelně izolačních materiálů nabízených na trhu z pohledu izolačních a mechanických vlastností a ceny. Tento tepelně izolační materiál je vhodný pro aplikaci jako integrovaná tepelná izolace do větších dutin keramických zdících tvarovek. Přidanou hodnotou tohoto izolačního materiálu je využití PUR recyklátu jako druhotné suroviny, která je při výrobě izolačních materiálů spotřebovávána v novém výrobku s vysokou přidanou hodnotou.

V daném případě by bylo vhodné optimalizovat technologii míšení PUR granulátu i PUR pěny a také technologii výplně dutin tvarovek, aby bylo dosaženo snížení objemové hmotnosti při zachování dostatečných mechanických vlastností (soudržnosti izolantu v dutinách tvarovky). Pro snížení nákladů by bylo možné vyplnit dutiny tvarovek kombinovaně, na spodní a horní části dutiny použít směs s vyšším obsahem PUR pěny a uvnitř směs s vyšším obsahem PUR granulátu.

E. Seznamy

Seznam požitých zdrojů

- [1] ČSN 73 0540 - 1. Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] ČSN EN 771 - 1. Specifikace zdicích prvků - Část 1: Pálené zdící prvky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [3] HEINRICH, Pavel. Vývoj tepelně technických vlastností zdiva z pálených cihel. Časopis stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů. Brno: EXPO DATA, 2011, 6-7. ISSN 1802-2030.
- [4] HORSKÝ, Antonín. Moderní cihlový systém – LEGO pro dospělé. Stavebnictví a interiér: Časopis pro podporu distribuce a prodeje výrobků a služeb pro stavebnictví a interiér. Hradec Králové: Vega, s.r.o., 2007, č. 12. ISSN 1211-6017.
- [5] SOKOLÁŘ, Radomír. Současné pálené zdící prvky. ASB: architektura - stavebnictví - bydlení. Praha: Jaga Media, 2011, Speciál 2011. ISSN 1214-7486.
- [6] NOVÁK, Vítězslav. Návrh vhodných alternativních surovin pro výrobu super izolačních keramických tvarovek. Brno, 2012. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..
- [7] VEDRA, Pavel. Vývoj dutinového zdiva. Juniorstav 2008: 10. odborná konference doktorského studia : sborník anotací : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební = 10th Professional Conference of Postgraduate Students : [collection of abstracts] : Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering : 23.1.2008. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2008, 478 s. ISBN 978-80-86433-45-5.
- [8] Česká republika. Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. Změna: 20/2012 Sb. In: Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu. 2012.
- [9] URBAN, Miroslav a Karel KABELE. Nové požadavky na hodnocení energetické náročnosti budov od 1. dubna 2013. In: TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [10] Česká republika. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov: o energetické náročnosti budov. In: Evropský parlament a rada Evropské unie. 2010.
- [11] SOKOLÁŘ, Radomír. Speciální keramika: Cihlářská výroba. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007.

- [12] ZACH, Jiří, BROŽOVSKÝ, J.; HROUDOVÁ, Jitka, SEDLMAJER, Martin. Development of ceramic blocks for masonry constructions with thermal insulation filling on the basis of easily renewable raw materials and by-products. In 15th International Brick and Block Masonry Conference. Florianópolis, Brazil: University Federal de Santa Catarina, 2012. ISBN: 978-85-63273-10-9.
- [13] Lingl [online]. 2012 [cit. 2013-10-16]. Dostupné z: <http://www.lingl.com/>
- [14] Wienerberger [online]. 2013 [cit. 2013-10-20]. Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz/>
- [15] RUMEL, Ivo. Vývoj pokročilých zdicích materiálů s integrovanou tepelnou izolací. Brno, 2012. 87 s., 14 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.
- [16] FISCHER, Anett. Ziegelfüllanlagen für innovative Produkte mit Mehrwert. Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Bauverlag GmbH, 2011, č. 3. ISSN 0341-0552.
- [17] Perlitgefüllte Ziegel der Siegeszug von der Innovation zum Sortiment: Interview mit Dipl.-Kfm. Johannes Edmüller, Geschäftsführer Schlagmann Baustoffwerke GmbH & Co. KG, Zeilarn, Deutschland. Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Bauverlag GmbH, 2011, č. 3. ISSN 0341-0552.
- [18] Unipor [online]. 2013 [cit. 2013-10-20]. Dostupné z: <http://www.unipor.de/>
- [19] Vlastnosti expandovaného pěnového polystyrenu (EPS): Pěnový polystyren pro tepelnou a zvukovou izolaci. In: TZB-info [online]. 2012 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho-penoveho-polystyrenu-eps>
- [20] DROCHYTKA, Rostislav. Plastické látky ve stavebnictví. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1998, 122 s. ISBN 80-214-1148-1.
- [21] Heluz [online]. 2010 [cit. 2013-11-16]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/>
- [22] Knauf [online]. 2013 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.knauf.cz/>
- [23] Minerální vata: Fakta. In: Tepelná izolace [online]. 2011 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/mineralni-vata-fakta-dil-prvni.html>
- [24] POKRIVČÁK, Pavel. Minerální tepelná izolace. Realizace staveb: stavební materiály - výrobky - technologie - konstrukce. 1. vyd. Praha: Jaga Media, s. r. o., 2009, č. 5. ISSN 1802-0631.
- [25] Production Process. In: Eurima [online]. 2011 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process>
- [26] HOUŠKA, Petr. Perlit je darem přírody. In: Dřevostavby [online]. 2013 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.drevostavby.cz/cs/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/2238-perlit-je-darem-prirody>

- [27] SRDEČNÝ, Karel. Co je to expandovaný perlit?. In: Sítě ekologických poraden STEP [online]. 2010 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=stavby:co_je_to_expandovany_perlit
- [28] DROCHYTKA, Rostislav. Lehké stavební látky. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 1993, 124 s. ISBN 80-214-0514-7.
- [29] Poroton [online]. 2012 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.poroton.org/>
- [30] MAŘÍK, Miroslav. Vylepšení tepelně technických vlastností první vrstvy zdiva. Stavebnictví a interiér: Časopis pro podporu distribuce a prodeje výrobků a služeb pro stavebnictví a interiér. Hradec Králové: Vega, s.r.o, 2007, č. 4. ISSN 1211-6017.
- [31] Why Should I Use Wool?. In: Sheep Wool Insulation [online]. 2012 [cit. 2013-11-17]. Dostupné z: http://www.sheepwoolinsulation.ie/why_wool/default.asp
- [32] AMBROŽOVÁ, Elena. Izolace z ovčí vlny. In: TZB - info [online]. 2013 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/9718-izolace-z-ovci-vlny>
- [33] KRŇANSKÝ, Jan. Tepelná izolace z ovčí vlny. In: ASB [online]. 2010 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelne-izolace/tepelna-izolace-z-ovci-vlny-1694.html>
- [34] AMBROŽOVÁ, Elena. Měření krátkodobé nasákavosti a součinitele tepelné vodivosti u tepelně-izolačních materiálů. In: TZB - info [online]. 2013 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/10268-mereni-kratkodobe-nasakavosti-a-soucinitele-tepelne-vodivosti-u-tepelne--izolacnich-materialu>
- [35] BŘICHÁČEK, Pavel. Možnosti využití odpadů z textilního průmyslu při výrobě novodobých izolačních materiálů. Brno, 2012. 61 s., 65 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..
- [36] Ultra Touch. In: Times union [online]. 2010 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.timesunion.com/news/article/Green-market-579815.php#photo-257308>
- [37] ŠKOPEK, Jan. Tepelná izolace z technického konopí – pohled z hlediska stavební fyziky. Realizace staveb: stavební materiály - výrobky - technologie - konstrukce. Praha: Jaga Media, s. r. o., 2010, č. 2. ISSN 1802-0631.
- [38] Zateplujte! Ale myslete i na zdraví a ekologii, radí Arnika. In: Ekolist [online]. 2010 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/zateplujte-ale-myslete-i-na-zdravi-a-ekologii-radi-arnika>
- [39] Izolační materiály z konopí. In: Svět dřevostavby [online]. 2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.svet-drevostavby.cz/cs/Technologie/Materialy/Izolace-z-konopi/?PHPSESSID=4ba4a543615fd91e836e7f595e79232c>

- [40] NATURIZOL 50 mm. In: Ekostavivo: Přírodní stavební materiály [online]. 2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.ekostavivo.cz/naturizol-50-mm-3501-02/>
- [41] Z darů přírody (2.): len. In: Fler MAG [online]. 2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.fler.cz/magazin/z-daru-prirody-2-len-1143>
- [42] Isolanti a matrice rinnovabile. In: Icoslarco [online]. 2007 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: http://www.icoslarco.it/repertorio/21/pdf/Scheda_Prodotto_Isolkenaf.pdf
- [43] GAMMA ERACLIT HIBIAN. In: Edilio: Edilizia avanti veloce [online]. 2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: http://www.edilio.it/gamma-eraclit-hibian/prodotto_2289.html
- [44] 4 Reasons Kenaf is a Great Fabric for Sustainable Fashion. In: StartUp Fashion [online]. 2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://starturfashion.com/kenaf>
- [45] Materiály a jejich aplikace. In: Vexpo CZ s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.vexpo.cz/cz/izolace-in/materialy-a-aplikace>
- [46] New Insulation Options. In: This old house magazine [online]. 2013 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.thisoldhouse.com/toh/article/0,,1130563-2,00.html>
- [47] URBÁNEK, Mojmír. Celulózová izolace a její využití v dřevostavbách. In: TZB - info [online]. 2009 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/6038-celulozova-izolace-a-jeji-vyuziti-v-drevostavbach>
- [48] HRDÁ, Veronika. Využití recyklovaných odpadů ve stavebnictví. In: Moravské hospodářství [online]. 2010 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.moravskeshospodarstvi.cz/clanky/vodohospodarstvi/vyuziti-recyklovanых-odpadu-ve-stavebnictvi/>
- [49] Když tepelnou izolaci, tak ISOCELL. In: Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého [online]. 2012 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/kdyz-tepelnou-izolaci-tak-isocell.aspx>
- [50] DROCHYTKA, Rostislav. Plastické látky ve stavebnictví. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1998, 122 s. ISBN 80-214-1148-1.
- [51] Izolace PUR, PIR a fenolická pěna. In: TZB-info [online]. 2013 [cit. 2013-12-24]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- [52] Využití druhotných surovin ve stavebních materiálech. In: IMaterialy [online]. 2008 [cit. 2013-12-24]. Dostupné z: <http://imaterialy.dumabyt.cz/Materialy/Vyuziti-druhotnych-surovin-ve-stavebnich-materialech.html>
- [53] Izolační PUR panely. In: METAL: výrobce chladírenských a mrazírenských zařízení [online]. 2009 [cit. 2013-12-24]. Dostupné z: <http://www.stojcev.cz/izolacni-pur-panely.html>
- [54] ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty. Praha: Český normalizační institut, 1996.

- [55] ČSN EN 12085: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení lineárních rozměrů zkušebních vzorků. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [56] ČSN EN 823 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [57] ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [58] ČSN 72 7012 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [59] ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [60] ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky. Český normalizační institut, 2013.
- [61] ČSN ISO 10534-1 Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích. Část 1: Metoda poměru stojaté vlny. Český normalizační institut, 1999.
- [62] ČSN EN 1609 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření. Český normalizační institut, 2013.
- [63] ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku. Český normalizační institut, 2011.
- [64] ČSN EN 771-1 ed. 2 Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky. Český normalizační institut, 2011.
- [65] ČSN EN ISO 11654 Akustika - Absorbéry zvuku používané v budovách - Hodnocení zvukové pohltivosti. Český normalizační institut, 1999.
- [66] ČSN EN 772 Zkušební metody pro zdící prvky – část 16: Stanovení rozměrů. Český normalizační institut, 2011.

Seznam zkratek

ČSN – česká státní norma

EN – evropská norma

ISO - international organization for standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci)

PUR – polyuretan

MW – mineral wool (minerální vata)

LCA – life cycle assessment (posouzení životního cyklu)

EPD – environmental product declaration (enviromentální prohlášení o produktu)

EPS – expandovaný polystyrén

ETICS – external thermal insulation composite system (vnější kontaktní zateplovací systém)

BiCo – bicomponent (dvousložkové)

Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnoty směrné přímky pro stanovení váženého činitele zvukové pohltivosti α_w [65].	- 48 -
Tab. 2: Klasifikace pálených zdících prvků dle pevnosti v tlaku [64].	- 49 -
Tab. 3: Přehled výsledných vlastností vzorků PUR granulátu.	- 50 -
Tab. 4: Propady a zůstatky na sítěch při síťovém rozboru PUR 3-5.	- 50 -
Tab. 5: Hmotnosti jednotlivých vrstev vzorku plněného po vrstvách.	- 52 -
Tab. 6: Stanovení objemové hmotnosti vzorku plněného směsí 1:1 (S).	- 53 -
Tab. 7: Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu.	- 58 -
Tab. 8: Stanovení objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu.	- 59 -
Tab. 9: Stanovení součinitele tepelné vodivosti při střední teplotě 10 °C.	- 60 -
Tab. 10: Jednočíselné hodnoty vážené zvukové pohltivosti pro jednotlivé receptury.	- 62 -
Tab. 11: Stanovení napětí při 10% deformaci.	- 62 -
Tab. 12: Stanovení pevnosti v tahu.	- 64 -
Tab. 13: Stanovení krátkodobé nasákavosti.	- 65 -
Tab. 14: Stanovení hmotnosti keramických zdících tvarovek s integrovanou tepelnou izolací.	- 66 -
Tab. 15: Stanovení pevnosti keramických zdících tvarovek s integrovanou tepelnou izolací.	- 67 -
Tab. 16: Ceny za kilogram suroviny použité ve směších.	- 69 -
Tab. 17: Cenový zhodnocení jednotlivých směsí a cena vyplnění tvarovky typu PTH 30 T.	- 69 -
Tab. 18: Přehled vlastností jednotlivých směsí.	- 71 -
Tab. 19: Přehled vypočítaných tepelných hodnot páleného zdícího prvku PTH 30 T (DRYFIX) vyplněného izolantem 1:1 (M) s tepelnou vodivostí $0,0374 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	- 74 -

Seznam grafů

Graf 1: Vývoj požadovaných a doporučených hodnot tepelného odporu dle normy [7].	- 10 -
Graf 2: Porovnání energetické náročnosti na výrobu konstrukcí pro $U = 0,22 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ [3].	- 17 -
Graf 3: Porovnání energetické náročnosti na výrobu konstrukcí pro $U = 0,18 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ [3].	- 17 -
Graf 4: Porovnání energetické náročnosti na výrobu konstrukcí pro $U = 0,11 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ [3].	- 17 -
Graf 5: Vliv objemové hmotnosti na součinitel tepelné vodivosti EPS. Měřeno při 10 °C [19].	- 27 -
Graf 6: Vliv teploty na součinitel tepelné vodivosti EPS. Měřeno na vzorku s objemovou hmotností 20 kg.m^{-3} [19].	- 28 -
Graf 7: Křivka zrnitosti PUR 3-5.	- 51 -
Graf 8: Porovnání objemových hmotností jednotlivých receptur v čerstvém stavu.	- 58 -
Graf 9: Porovnání objemových hmotností jednotlivých receptur ve vyzrálém stavu.	- 59 -
Graf 10: Porovnání součinitele tepelné vodivosti jednotlivých receptur.	- 60 -
Graf 11: Porovnání průběhu činitele zvukové pohltivosti v závislosti na frekvenci jednotlivých receptur.	- 61 -
Graf 12: Porovnání váženého činitele zvukové pohltivosti jednotlivých receptur.	- 62 -
Graf 13: Porovnání napětí při 10% deformaci jednotlivých receptur.	- 63 -
Graf 14: Porovnání pracovních diagramů jednotlivých receptur.	- 63 -
Graf 15: Porovnání pevnosti v tahu jednotlivých receptur.	- 64 -
Graf 16: Porovnání krátkodobé nasákavosti jednotlivých receptur.	- 65 -
Graf 17: Porovnání pevnosti tlaku jednotlivých keramických zdících tvarovek.	- 67 -
Graf 18: Porovnání ceny za 1 m^3 jednotlivých integrovaných izolantů.	- 69 -
Graf 19: Porovnání ceny za kilogram jednotlivých integrovaných izolantů.	- 70 -
Graf 20: Porovnání ceny integrované izolace v keramické zdící tvarovce PTH 30 T.	- 70 -

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma výroby pálených zdících prvku [11].	- 18 -
Obr. 2: Symboly používané pro jednotlivé části cihlářské úpravárenské linky [11].	- 19 -
Obr. 3: Princip vakuování, I. Velikost póru při atmosférickém tlaku, II. vakuováním dochází ke snížení okolního tlaku, čím se zvětší vzduchový pór až do jeho prasknutí/odstranění [11].	- 20 -
Obr. 4: Ústí vakuového šnekového lisu pro keramickou zdící tvarovku typu THERM [11].	- 20 -
Obr. 5: Formování izolace z minerální vaty kotoučovou pilou [14].	- 23 -
Obr. 6: Formování izolace z minerální vaty strunou [14].	- 23 -
Obr. 7: Formování izolace z polystyrenu [13].	- 23 -
Obr. 8: Formování izolace z polystyrenu [13].	- 23 -
Obr. 9: Technologická linka pro vkládání kusového izolantu do keramických zdících tvarovek, horizontální způsob vkládání [13].	- 23 -

Obr. 10: Technologická linka pro vkládání kusového izolantu do keramických zdících tvarovek, vertikální způsob vkládání na otočném stroji [13].	- 24 -
Obr. 11: Technologická linka pro vkládání kusového izolantu do keramických zdících tvarovek, vertikální způsob vkládání [14].	- 24 -
Obr. 12: Karusel pro plnění tvarovek polystyrenem [15].	- 25 -
Obr. 13: Vytvrzování perlitu v sušícím zařízení [15].	- 25 -
Obr. 14: EPS ve formě granulátu, perlí a izolační hmoty [19].	- 26 -
Obr. 15: Postup výroby pěnového polystyrenu [19].	- 27 -
Obr. 16: Keramická zdící tvarovka Heluz Family 2in1 [21].	- 28 -
Obr. 17: Řez keramickou zdící tvarovkou Heluz Family 2in1 [21].	- 28 -
Obr. 18: Minerální kamenná vata [22].	- 29 -
Obr. 19: Surovinová moučka pro výrobu kamenné vlny [23].	- 29 -
Obr. 20: Výroba kamenné vaty [25].	- 30 -
Obr. 21: Výroba skelné vaty [25].	- 30 -
Obr. 22: Keramická zdící tvarovka Porotherm T Profi [14].	- 31 -
Obr. 23: Řez keramickou zdící tvarovkou Porotherm T Profi [14].	- 31 -
Obr. 24: Perlit ve formě horniny, granulátu a expandovaného perlitu [26].	- 32 -
Obr. 25: Granulát perlitu vzniklý podrečením horniny [26].	- 32 -
Obr. 26: Keramická zdící tvarovka Poroton T [29].	- 33 -
Obr. 27: Řez keramickou zdící tvarovkou Poroton T [29].	- 33 -
Obr. 28: Aplikace perlitu do první vrstvy keramických zdících tvarovek [30].	- 33 -
Obr. 29: Ovčí vlna [32].	- 34 -
Obr. 30: izolační rohož z ovčí vlny [33].	- 34 -
Obr. 31: Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti tepelné izolace z ovčí vlny. vzorky Isolena Premium [32].	- 35 -
Obr. 32: Keramická zdící tvarovka Unipor Coriso [18].	- 35 -
Obr. 33: Teplná izolace Ultra Touch vyrobená z recyklovaných triček a jeans [36].	- 36 -
Obr. 34: Tepelná izolace z konopí [38].	- 37 -
Obr. 35: Rostlina konopí [39-A].	- 37 -
Obr. 36: Tepelná izolace ze lnu [40-A].	- 38 -
Obr. 37: Rostlina lnu setého [41-A].	- 38 -
Obr. 38: Tepelná izolace z kenafu [43-A].	- 38 -
Obr. 39: Rostlina kenafu [44A].	- 38 -
Obr. 40: Celulósová izolace [49].	- 39 -
Obr. 41: Izolační PUR panely [53].	- 40 -
Obr. 42: Granulát PUR 3-5.	- 40 -
Obr. 43: Dřevěná forma 300x300x50 mm.	- 42 -

Obr. 44: Keramická zdící tvarovka typu PTH 30 T.....	- 42 -
Obr. 45: Schéma postupu diplomové práce.....	- 43 -
Obr. 46: Montážní pěna 750 - Den Braven.	- 51 -
Obr. 47: Řez vzorkem plněným po vrstvách.	- 52 -
Obr. 48: Vzorek plnění směsí 1:1 (S).....	- 53 -
Obr. 49: Vzorek receptury 1:0,75 (S).....	- 56 -
Obr. 50: Vzorek receptury 1:1 (S).	- 56 -
Obr. 51: Vzorek receptury 1:2 (S).	- 56 -
Obr. 52: Vzorek receptury 2:1 (M).	- 56 -
Obr. 53: Vzorek receptury 1:1,5 (M).	- 57 -
Obr. 54: Vzorek receptury 1:1 (M).	- 57 -
Obr. 55: Vzorek receptury 1:1,5 (M).	- 57 -
Obr. 56: Vzorek receptury 1:2 (M).	- 57 -
Obr. 57: Řez tvarovkou vyplněnou PUR pěnou.	- 67 -
Obr. 58: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:2 (S).....	- 67 -
Obr. 59: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1,5:1 (M).....	- 68 -
Obr. 60: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:1 (M).....	- 68 -
Obr. 61: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:1,5 (M).....	- 68 -
Obr. 62: Řez tvarovkou vyplněnou směsí 1:2 (M).....	- 68 -
Obr. 63: Výpočtový model tvarovky PTH 30 T (Popis materiálů: zelená: vzduch (tepelné hodnoty jsou voleny v souladu s ČSN EN ISO 6946), červená: keramický střeš (λ = 0,266 W.m ⁻¹ .K ⁻¹), žlutá: izolační PUR výplň (λ = 0,0374 W.m ⁻¹ .K ⁻¹)).	- 73 -
Obr. 64: Výpočtové rozložení teplotního pole (IR zobrazení) v páleném zdicím prvku PTH 30 T (DRYFIX) s izolační výplní 1:1 (M) při okrajových podmínkách: θ ₁ = θ _i = +21°C, θ ₂ = θ _e = -15°C	- 74 -

Seznam příloh

- Příloha 1 – Skladby konstrukcí pro stanovení energetické náročnosti na výrobu materiálu [3].
- Příloha 2 –Přehled PUR granulátů [6].
- Příloha 3 – Přehled PUR pěn [15].
- Příloha 4 – Naměřené hodnoty pro stanovení objemové hmotnosti v čerstvém a vyzrálém stavu.
- Příloha 5 – Naměřené hodnoty pro stanovení čísel zvukové pohltivosti.
- Příloha 6 – Naměřené hodnoty pro stanovení napětí při 10% deformaci.
- Příloha 7 – Naměřené hodnoty pro stanovení pevnosti v tahu, krátkodobé nasákavosti a pevnosti v tlaku keramických zdících tvarovek.
- Příloha 8 – Hodnoty pro stanovení ceny za 1 kg a 1 m³ jednotlivých směsí.

Příloha 1 – Skladby konstrukcí pro stanovení energetické náročnosti na výrobu materiálu [3].

Konstrukce pro součinitel prostupu tepla $U = 0,22 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Jednovrstvé zdivo

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	R [$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$]	Výroba materiálu [MJ.m^{-3}]	Energie na 1 m^2 materiálu [MJ]
Pohledová omítka	3	0,890	0,003	2041,6	6,1
Lehčená omítka	20	0,250	0,080	2873,0	57,5
Zdivo	440	0,105	4,190	1202,2	529,0
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{\text{celk}} = 478 \text{ mm}$		$U = 0,224 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		celková energie = 627,0 MJ	

Zdivo s EPS

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	R [$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$]	Výroba materiálu [MJ.m^{-3}]	Energie na 1 m^2 materiálu [MJ]
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
EPS	140	0,042	3,333	1146,2	160,5
Zdivo	240	0,250	0,960	1202,2	288,5
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{\text{celk}} = 400 \text{ mm}$		$U = 0,223 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		celková energie = 516,9 MJ	

Zdivo z pórobetonu s pórobetonovými izolačními deskami

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	R [$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$]	Výroba materiálu [MJ.m^{-3}]	Energie na 1 m^2 materiálu [MJ]
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Multipor	120	0,045	2,667	1607,2	192,9
Ytong P4 - 500	250	0,144	1,736	1759,0	439,8
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{\text{celk}} = 390 \text{ mm}$		$U = 0,218 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		celková energie = 700,5 MJ	

Vápenopískové zdivo s minerální izolací

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	R [$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$]	Výroba materiálu [MJ.m^{-3}]	Energie na 1 m^2 materiálu [MJ]
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Minerální vata	160	0,042	3,810	1714,7	274,4
Vápenopískové zdivo 1220 kg.m^{-3}	240	0,400	0,600	1348,8	323,7
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{\text{celk}} = 420 \text{ mm}$		$U = 0,217 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		celková energie = 665,9 MJ	

Dřevitá sendvičová konstrukce

	<i>tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Desky z dřevitých vláken 100 kg.m ⁻³	50	0,045	1,111	5572,0	278,6
OSB deska	15	0,180	0,083	16810,0	252,2
Desky z dřevitých vláken 45 kg.m ⁻³	140	0,045	3,111	1898,0	265,7
OSB deska	15	0,220	0,068	16810,0	252,2
<i>t_{celk} = 225 mm</i>		<i>U = 0,220 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 1082,0 MJ	

Konstrukce pro součinitel prostupu tepla $U = 0,18 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ **Jednovrstvé zdivo**

	<i>tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Pohledová omítka	3	0,890	0,003	2041,6	6,1
Lehčená omítka	20	0,250	0,080	2873,0	57,5
Zdivo	440	0,085	5,176	1202,2	529,0
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
<i>t_{celk} = 478 mm</i>		<i>U = 0,184 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 627,0 MJ	

Zdivo s EPS

	<i>tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
EPS	170	0,038	4,474	1146,2	194,9
Zdivo	240	0,280	0,857	1202,2	288,5
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
<i>t_{celk} 430 mm</i>		<i>U = 0,181 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 551,2 MJ	

Zdivo z pórobetonu s pórobetonovými izolačními deskami

	<i>tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Multipor	160	0,045	3,556	1607,2	257,2
Ytong P4 - 500	250	0,144	1,736	1759,0	439,8
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
<i>t_{celk} = 430 mm</i>		<i>U = 0,182 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 764,8 MJ	

Vápenopískové zdivo s minerální izolací

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Výroba materiálu [$MJ \cdot m^{-3}$]	Energie na 1 m ² materiálu [MJ]
Tenkovrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Minerální vata	200	0,042	4,762	1714,7	342,9
Vápenopískové zdivo 1220 kg.m ⁻³	240	0,400	0,600	1348,8	323,7
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{celk} = 460$ mm		$U = 0,180$ W.m ⁻² .K ⁻¹		celková energie = 734,5 MJ	

Dřevitá sendvičová konstrukce

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Výroba materiálu [$MJ \cdot m^{-3}$]	Energie na 1 m ² materiálu [MJ]
Tenkovrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Desky z dřevitých vláken 100 kg.m ⁻³	70	0,045	1,556	5572,0	390,0
OSB deska	15	0,180	0,083	16810,0	252,2
Desky z dřevitých vláken 45 kg.m ⁻³	160	0,045	3,556	1898,0	303,7
OSB deska	15	0,220	0,068	16810,0	252,2
$t_{celk} = 265$ mm		$U = 0,184$ W.m ⁻² .K ⁻¹		celková energie = 1231,4 MJ	

Konstrukce pro součinitel prostupu tepla $U = 0,11$ W.m⁻².K⁻¹**Jednovrstvé zdivo s vyplněnými dutinami EPS**

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Výroba materiálu [$MJ \cdot m^{-3}$]	Energie na 1 m ² materiálu [MJ]
Pohledová omítka	3	0,890	0,003	2041,6	6,1
Lehčená omítka	20	0,250	0,080	2873,0	57,5
Zdivo	500	0,060	8,610	1202,2	601,1
Výplň EPS				869,7	78,3
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{celk} = 538$ mm		$U = 0,113$ W.m ⁻² .K ⁻¹		celková energie = 777,4 MJ	

Zdivo s EPS

	Tloušťka vrstvy [mm]	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Výroba materiálu [$MJ \cdot m^{-3}$]	Energie na 1 m ² materiálu [MJ]
Tenkovrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
EPS	250	0,038	6,579	1146,2	286,6
Zdivo	300	0,130	2,308	1202,2	360,6
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
$t_{celk} = 570$ mm		$U = 0,110$ W.m ⁻² .K ⁻¹		celková energie = 715,1 MJ	

Zdivo z pórobetonu s pórobetonovými izolačními deskami

	<i>Tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Multipor	160	0,045	3,556	1607,2	257,2
Ytong P1,8 - 300	500	0,096	5,210	1501,3	750,7
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
<i>t_{celk} = 680 mm</i>		<i>U = 0,112 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 1075,7 MJ	

Vápenopískové zdivo s minerální izolací

	<i>Tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Minerální vata	340	0,042	8,095	1714,7	583,0
Vápenopískové zdivo 1220 kg.m ⁻³	290	0,400	0,725	1348,8	391,2
Vnitřní omítka	15	0,890	0,017	2296,8	34,5
<i>t_{celk} = 650 mm</i>		<i>U = 0,111 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 1042,0 MJ	

Dřevitá sendvičová konstrukce

	<i>Tloušťka vrstvy [mm]</i>	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	<i>R</i> [m ² .K.W ⁻¹]	<i>Výroba materiálu [MJ.m⁻³]</i>	<i>Energie na 1 m² materiálu [MJ]</i>
Tenkvrstvá omítka, vyztužená	5	0,890	0,006	6684,8	33,4
Desky z dřevitých vláken 100 kg.m ⁻³	130	0,045	2,889	5572,0	724,4
OSB deska	15	0,180	0,083	16810,0	252,2
Desky z dřevitých vláken 45 kg.m ⁻³	260	0,045	5,778	1898,0	493,5
OSB deska	15	0,220	0,068	16810,0	252,2
<i>t_{celk} = 425 mm</i>		<i>U = 0,111 W.m⁻².K⁻¹</i>		celková energie = 1755,6 MJ	

Příloha 2 –Přehled PUR granulátů [6].

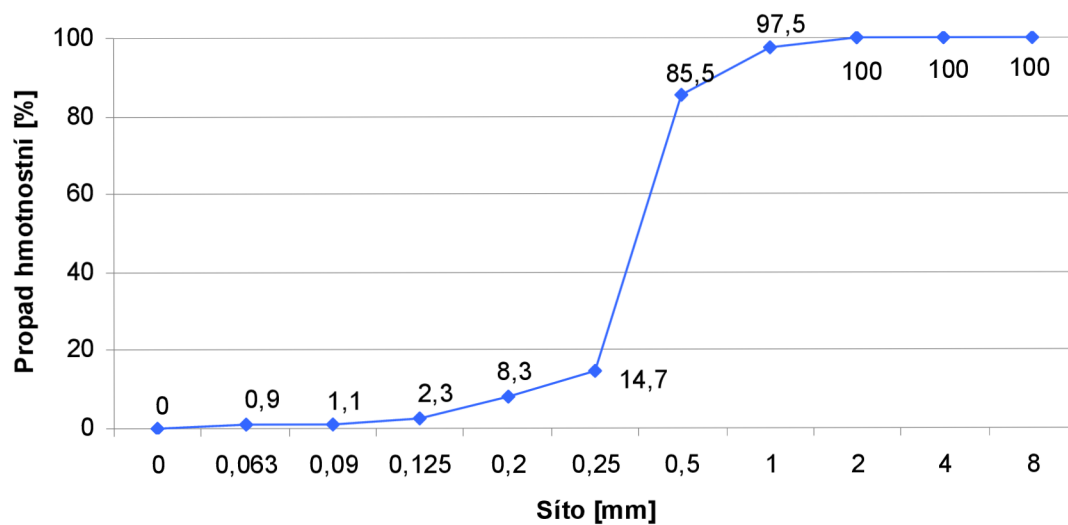
PUR 140

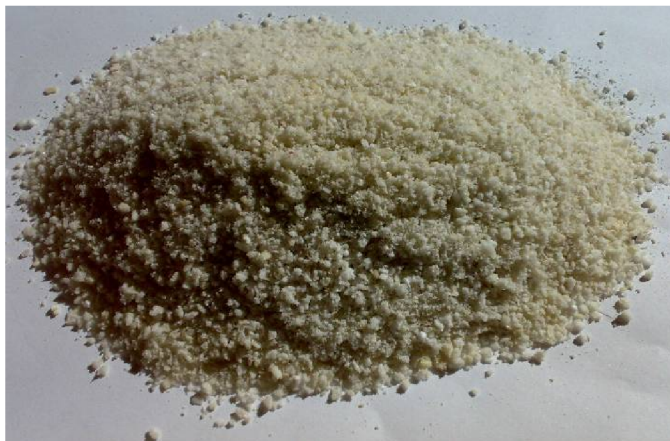
Sypná hmotnost $\rho_s = 158 \text{ kg.m}^{-3}$

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{10, dry} = 0,0431 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

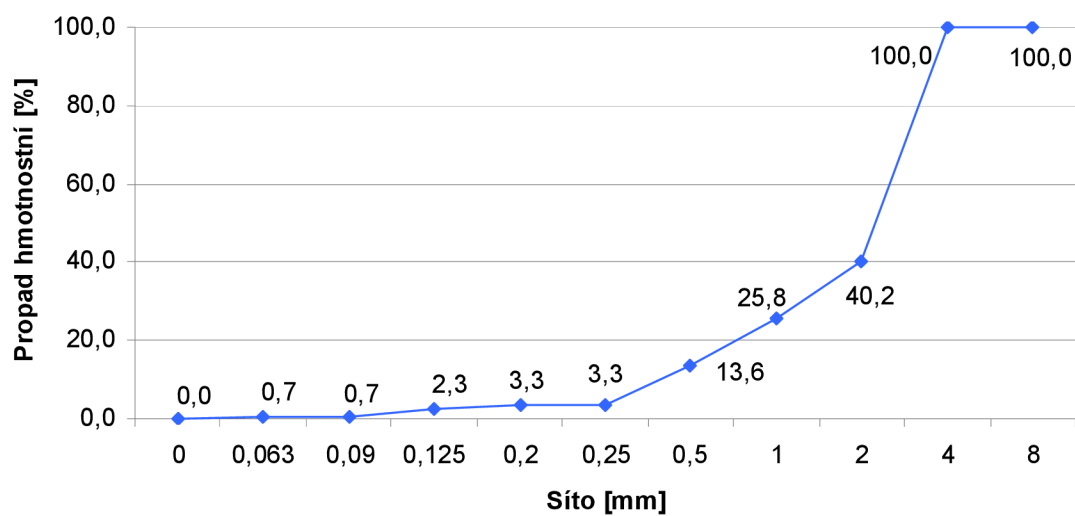


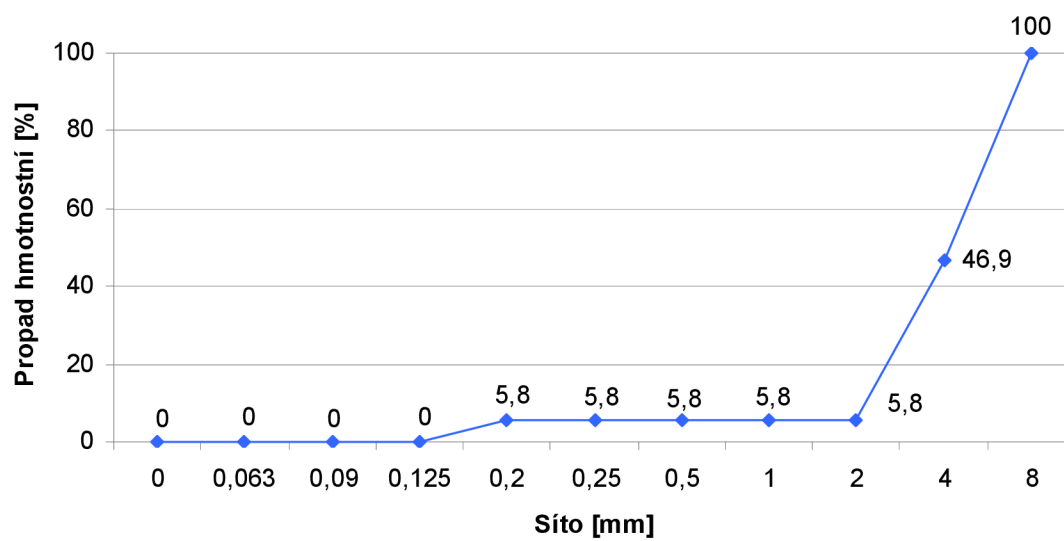
PUR 140 křivka zrnitosti








PUR 0-3Sypná hmotnost $\rho_s = 57,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{10, dry} = 0,0328 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 

PUR 0-3 křivka zrnitosti



PUR 3-5Sypná hmotnost $\rho_s = 40,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{10, dry} = 0,0334 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ **PUR 3-5 křivka zrnitosti**

Příloha 3 – Přehled PUR pěn [15].

Označení pěny		Stručný popis/použití	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Celkové náklady na vyplnění dutin 1 tvarovky typu 44 - T [Kč]
	SILVERLINE MONTÁŽNÍ PĚNA	Jedná se o polyuretanovou pěnu s izolačními vlastnostmi. Je určena pro výplně spár, montážních a dřevěných rámců, vyplňování prostupů ve zdech, zateplování koupelnových van a střešních systémů. Povrch se nemusí před aplikací vlhčit.	0,0278	324
	DEN BRAVEN rychlomontážní 2K pěna	Dvousložková montážní a konstrukční pěna na bázi chemicky vytvrzujícího polyuretanu. Po smíchání obou složek je nutno pěnu do cca 8 min vypěnit. Vhodná pro vyplňování montážních prostorů mezi panely s požadavkem na vysokou pevnost.	0,0289	1100
	DEN BRAVEN Multikleber	Jednosložkové, víceúčelové lepidlo, speciálně vyvinuto pro lepení a fixaci obkladových a konstrukčních obkladových a konstrukčních stavebních desek.	0,0341	174,5
	DEN BRAVEN Maxitrubičková nízkoexpanzní	Jednosložková polyuretanová pěna s nízkou druhotnou expanzí. Vhodná pro vyplňování spár při montáži okenních rámců a dřevěných zárubní, izolace potrubních systémů a k utěšňování průchodů ve stěnách. Pro izolaci koupelnových van, vaniček sprchových koutů, potrubních systémů a dutin.	0,0335	151,2
	SOUDAL - montáž & izolace	Jednosložková rozpínavá vysoce kvalitní montážní pěna. Vynikající přilnavost na většinu materiálů. Používá se pro vyplňování dutin, tmelení a vyplňování otvorů v konstrukcích střech.	0,0357	143,3

	<p>DEN BRAVEN montážní pěna 750</p>	<p>Jednokomponentní montážní a izolační pěna vyrobená na bázi polyuretanu. Vykazuje vynikající přilnavost ke všem stavebním materiálům.</p>	<p>0,0297</p>	<p>142</p>
	<p>SODAL - montážní zimní pěna</p>	<p>Montážní polyuretanová pna jednosložková, rozpínavá. Dá se použít na všechny druhy ploch kromě teflonu, PE, PP. Před aplikací pěny se povrch doporučuje navlhčit, navlhčení zlepšuje přilnavost, průběh vytvrzování a výslednou strukturu pěny.</p>	<p>0,0325</p>	<p>148,3</p>
	<p>PROBAU montážní pěna</p>	<p>Jednosložková rozpínavá polyuretanová pěna určena k montáži a utěšňování rámců oken a dveří, vyplňování stavebních spár a dutin, upevňování střešních prvků, nanášení tepelně izolačních vrstev apod.</p>	<p>0,0355</p>	<p>267</p>
	<p>SODAL instalační pěna</p>	<p>Instalační pěna je jednosložková rozpínavá polyuretanová pěna s hnacím plynem bez CFC nepoškozujícím ozónovou vrstvu země. Díky speciální receptuře zajišťuje vyšší výsledný objem pěny až o 75%. Minimální rozpínání pěny při vytvrzování zaručuje že „to co vidíme, je to, co získáme“. Podklad je dobré navlhčit před aplikací</p>	<p>0,0353</p>	<p>208,3</p>

Příloha 4 – Naměřené hodnoty pro stanovení objemové hmotnosti v čerstvém a vyzrálém stavu.

Receptura	Ozn.	m_1 [kg]	m_2 [kg]	m [kg]	V [m ³]	$\rho_{v,1}$ [kg.m ⁻³]	
1:2 (S)	1	3,3185	3,6733	0,3548	0,0045	79	79
	2	3,2735	3,6236	0,3501	0,0045	78	
	3	3,2755	3,6345	0,3590	0,0045	80	
2:1 (M)	4	3,3307	3,7945	0,4638	0,0045	103	106
	5	3,3066	3,7767	0,4701	0,0045	104	
	6	3,3944	3,8876	0,4932	0,0045	110	
1,5:1 (M)	7	3,1012	3,6046	0,5034	0,0045	112	111
	8	3,1388	3,6345	0,4957	0,0045	110	
	9	3,361,5	3,8618	0,5003	0,0045	111	
1:1 (M)	10	3,1872	3,6661	0,4789	0,0045	106	105
	11	3,1534	3,6224	0,4690	0,0045	104	
	12	3,1340	3,6051	0,4711	0,0045	105	
1:1,5 (M)	13	3,2417	3,7396	0,4979	0,0045	111	112
	14	3,2384	3,7453	0,5069	0,0045	113	
	15	3,3058	3,8155	0,5097	0,0045	113	
1:2 (M)	16	3,3513	4,0041	0,6528	0,0045	145	146
	17	3,3079	3,9750	0,6671	0,0045	148	
	18	3,3397	3,9975	0,6578	0,0045	146	

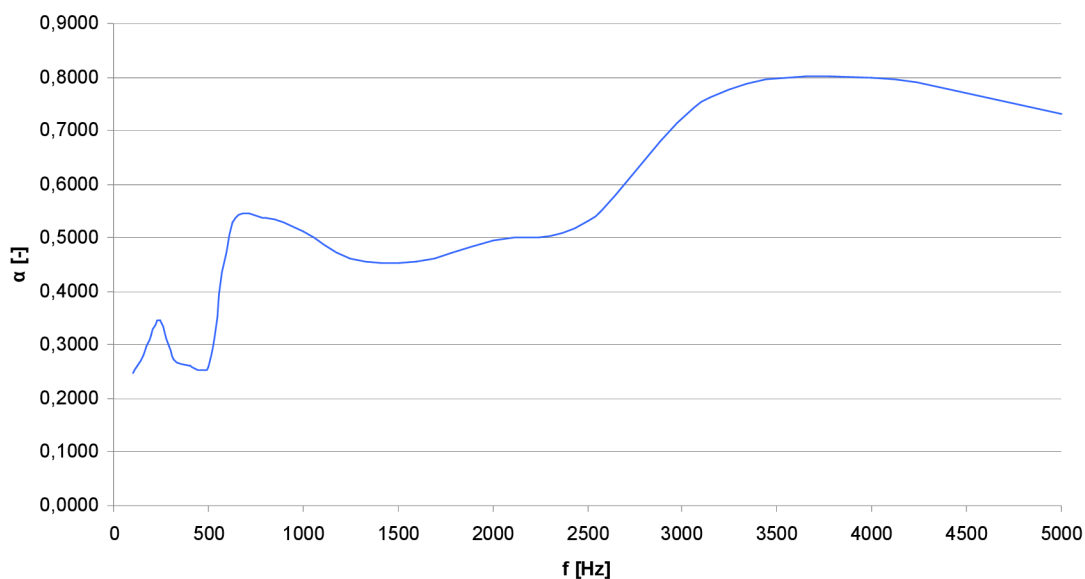
Receptura	Ozn.	a_1 [mm]	a_2 [mm]	a [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	b [mm]	h [mm]	m [kg]	$\rho_{v,2}$ [kg.m ⁻³]	
1:2 (S)	1	303,11	302,75	302,9	299,38	299,26	299,3	51,384	0,3391	73	75
	2	298,06	299,27	298,7	298,21	297,97	298,1	50,110	0,3421	77	
	3	298,12	299,96	299,0	298,54	299,02	298,8	51,307	0,3482	76	
2:1 (M)	4	299,33	298,62	299,0	297,50	297,88	297,7	49,479	0,3544	80	83
	5	298,95	298,88	298,9	299,21	297,23	298,2	48,839	0,3556	82	
	6	299,15	298,72	298,9	299,57	300,67	300,1	49,606	0,3808	86	
1,5:1 (M)	7	299,08	299,23	299,2	301,54	299,33	300,4	49,392	0,3713	84	83
	8	303,48	301,64	302,6	299,06	300,45	299,8	48,899	0,3734	84	
	9	299,53	299,68	299,6	299,75	299,40	299,6	49,983	0,3629	81	
1:1 (M)	10	302,82	299,31	301,1	301,42	300,43	300,9	51,683	0,3893	83	87
	11	300,65	300,89	300,8	302,12	301,58	301,9	50,064	0,3892	86	
	12	298,98	296,95	298,0	298,96	299,26	299,1	48,931	0,3975	91	
1:1,5 (M)	13	294,91	296,02	295,5	298,30	296,71	297,5	51,534	0,3861	85	85
	14	296,18	296,28	296,2	298,63	299,28	299,0	51,503	0,3915	86	
	15	294,54	296,83	295,7	298,39	297,71	298,1	51,550	0,3844	85	
1:2 (M)	16	298,72	298,62	298,7	301,60	301,12	301,4	49,522	0,5376	121	120
	17	300,11	299,53	299,8	304,24	303,75	304,0	49,493	0,5458	121	
	18	298,99	300,09	299,5	301,21	300,89	301,1	49,426	0,5241	118	

Příloha 5 – Naměřené hodnoty pro stanovení činitele zvukové pohltivosti.

1:2 (S)

f [Hz]	$U_{min,1}$ [V]	$U_{max,1}$ [V]	n_1 [-]	α_1 [-]	$U_{min,2}$ [V]	$U_{max,2}$ [V]	n_2 [-]	α_2 [-]	$U_{min,3}$ [V]	$U_{max,3}$ [V]	n_3 [-]	α_3 [-]	α [-]
100	0,50	9,20	18,4	0,19556	0,70	8,40	12,0	0,28402	0,60	8,00	13,3	0,25960	0,2464
125	3,20	40,00	12,5	0,27435	3,20	36,00	11,3	0,29988	2,20	38,00	17,3	0,20693	0,2604
160	0,80	8,80	11,0	0,30556	0,50	8,20	16,4	0,21667	0,80	8,20	10,3	0,32395	0,2821
200	0,60	8,00	13,3	0,25960	0,80	8,60	10,8	0,31145	0,70	5,80	8,3	0,38438	0,3185
250	6,20	86,00	13,9	0,25089	6,00	91,00	15,2	0,23212	6,40	32,00	5,0	0,55556	0,3462
315	0,60	9,00	15,0	0,23438	0,50	8,30	16,6	0,21436	0,90	7,80	8,7	0,37099	0,2732
400	1,80	32,00	17,8	0,20167	1,50	32,00	21,3	0,17108	3,20	24,50	7,7	0,40871	0,2605
500	0,40	6,50	16,3	0,21844	0,40	5,40	13,5	0,25684	0,80	8,90	11,1	0,30269	0,2593
630	0,80	6,00	7,5	0,41522	1,20	4,40	3,7	0,67347	1,00	5,80	5,8	0,50173	0,5301
800	0,70	6,40	2,0	0,88889	0,60	6,40	10,7	0,31347	0,80	6,10	7,6	0,41000	0,5375
1000	1,20	14,00	11,7	0,29086	1,50	11,00	7,3	0,42240	3,00	7,40	2,5	0,82101	0,5114
1250	1,70	25,00	14,7	0,23847	3,60	17,50	4,9	0,56603	3,80	18,00	4,7	0,57571	0,4601
1600	0,15	1,75	11,7	0,29086	0,25	1,80	7,2	0,42832	0,42	1,65	3,9	0,64692	0,4554
2000	0,50	6,10	12,2	0,28007	0,95	5,40	5,7	0,50890	1,40	4,80	3,4	0,69927	0,4961
2500	1,35	18,00	13,3	0,25960	2,50	12,00	4,8	0,57075	2,95	8,60	2,9	0,76071	0,5304
3150	0,15	0,70	4,7	0,58131	0,20	0,50	2,5	0,81633	0,26	0,52	2,0	0,88889	0,7622
4000	0,10	0,30	3,0	0,75000	0,11	0,32	2,9	0,76149	0,14	0,28	2,0	0,88889	0,8001
5000	1,80	0,50	0,3	0,68053	0,11	0,46	4,2	0,62296	0,20	0,40	2,0	0,88889	0,7308

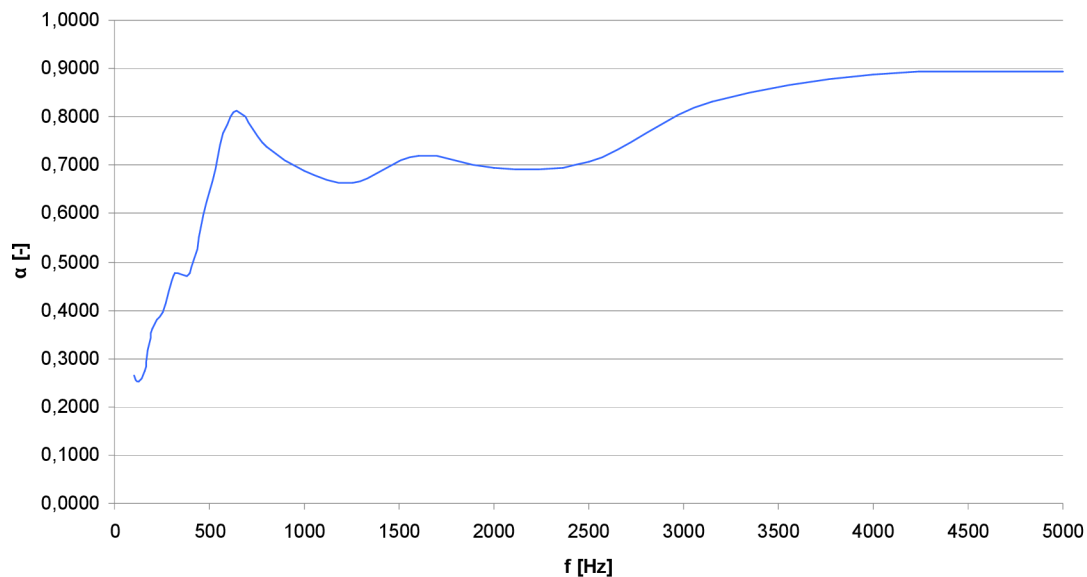
Činitel zvukové pohltivosti 1:2 (S)



2:1 (M)

f [Hz]	$U_{min,1}$ [V]	$U_{max,1}$ [V]	n_1 [-]	α_1 [-]	$U_{min,2}$ [V]	$U_{max,2}$ [V]	n_2 [-]	α_2 [-]	$U_{min,3}$ [V]	$U_{max,3}$ [V]	n_3 [-]	α_3 [-]	α [-]
100	0,80	8,00	10,0	0,33058	0,40	8,4	21,0	0,17355	0,80	9,3	11,6	0,29174	0,2653
125	2,60	32,00	12,3	0,27799	1,40	33,0	23,6	0,15617	2,70	27,5	10,2	0,32564	0,2533
160	0,70	6,80	9,7	0,33849	0,30	6,7	22,3	0,16408	0,80	8,2	10,3	0,32395	0,2755
200	1,00	6,90	6,9	0,44224	0,50	8,2	16,4	0,21667	1,00	7,3	7,3	0,42386	0,3609
250	8,00	52,00	6,5	0,46222	4,80	61,0	12,7	0,27051	8,20	54,0	6,6	0,45781	0,3968
315	1,30	7,00	5,4	0,52838	1,00	7,3	7,3	0,42386	1,60	10,0	6,3	0,47562	0,4760
400	3,80	18,50	4,9	0,56546	3,40	25,0	7,4	0,42154	3,20	22,0	6,9	0,44344	0,4768
500	1,10	6,20	5,6	0,51192	1,70	6,2	3,6	0,67553	1,80	5,4	3,0	0,75000	0,6458
630	1,60	4,20	2,6	0,79905	2,10	4,0	1,9	0,90298	1,90	6,0	3,2	0,73065	0,8109
800	1,30	5,30	4,1	0,63269	3,30	5,4	1,6	0,94174	1,40	5,6	4,0	0,64000	0,7381
1000	2,20	11,00	5,0	0,55556	3,20	5,8	1,8	0,91654	3,10	14,0	4,5	0,59369	0,6886
1250	4,60	17,50	3,8	0,65928	8,40	11,0	1,3	0,98204	2,10	19,5	9,3	0,35108	0,6641
1600	0,56	1,75	3,1	0,73462	0,85	1,6	1,8	0,91493	0,30	1,7	5,7	0,51000	0,7198
2000	1,50	4,60	3,1	0,74174	2,15	4,8	2,2	0,85461	0,90	5,4	6,0	0,48980	0,6954
2500	3,20	9,80	3,1	0,74225	3,10	6,8	2,2	0,86032	2,10	11,5	5,5	0,52228	0,7083
3150	0,21	0,54	2,6	0,80640	0,31	0,5	1,7	0,93598	0,15	0,5	3,0	0,75000	0,8308
4000	0,16	0,26	1,6	0,94331	0,16	0,2	1,5	0,96000	0,11	0,3	2,9	0,76149	0,8883
5000	0,22	0,38	1,7	0,92889	0,21	0,4	1,8	0,91698	0,18	0,4	2,4	0,83203	0,8926

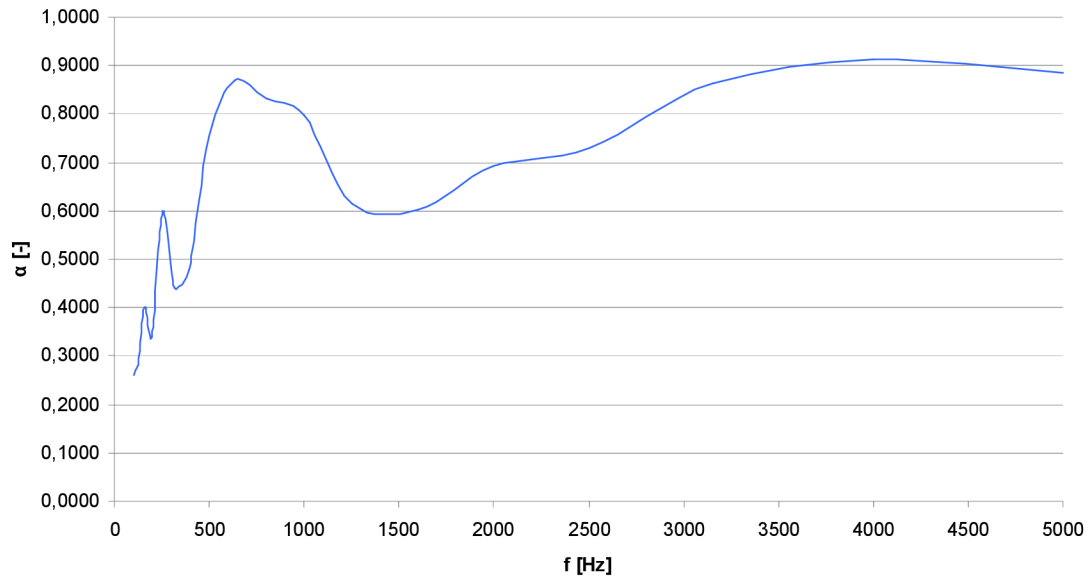
Činitel zvukové pohltivosti 2:1 (M)



1,5:1 (M)

f [Hz]	$U_{min,1}$ [V]	$U_{max,1}$ [V]	n_1 [-]	α_1 [-]	$U_{min,2}$ [V]	$U_{max,2}$ [V]	n_2 [-]	α_2 [-]	$U_{min,3}$ [V]	$U_{max,3}$ [V]	n_3 [-]	α_3 [-]	α [-]
100	0,70	10,00	14,3	0,24456	0,60	8,8	14,7	0,23902	0,70	8,0	11,4	0,29594	0,2598
125	2,50	34,00	13,6	0,25521	2,80	31,0	11,1	0,30391	2,70	32,0	11,9	0,28702	0,2820
160	0,50	7,40	14,8	0,23714	2,40	8,0	3,3	0,71006	0,60	8,2	13,7	0,25413	0,4004
200	0,90	8,50	9,4	0,34631	1,00	10,5	10,5	0,31758	0,90	8,2	9,1	0,35648	0,3401
250	7,00	6,40	0,9	0,99800	7,00	64,0	9,1	0,35549	7,20	49,0	6,8	0,44680	0,6001
315	1,10	7,80	7,1	0,43328	0,80	7,8	9,8	0,33748	1,50	7,6	5,1	0,55066	0,4405
400	4,20	24,50	5,8	0,49970	2,90	16,5	5,7	0,50856	3,70	26,0	7,0	0,43624	0,4815
500	2,80	8,80	3,1	0,73246	2,00	6,2	3,1	0,73766	2,20	5,9	2,7	0,79134	0,7538
630	2,00	4,40	2,2	0,85938	2,40	4,8	2,0	0,88889	1,90	4,2	2,2	0,85783	0,8687
800	2,40	5,80	2,4	0,82808	3,50	5,3	1,5	0,95816	1,70	5,6	3,3	0,71458	0,8336
1000	3,00	7,80	2,6	0,80247	3,10	6,2	2,0	0,88889	3,50	12,0	3,4	0,69927	0,7969
1250	5,90	16,50	2,8	0,77607	55,00	18,5	0,3	0,75339	1,40	15,0	10,7	0,31231	0,6139
1600	0,65	1,70	2,6	0,80036	0,65	2,7	4,2	0,62553	0,20	1,7	8,3	0,38568	0,6039
2000	2,10	4,30	2,0	0,88184	1,65	4,0	2,4	0,82700	0,70	6,1	8,7	0,36938	0,6927
2500	3,60	6,80	1,9	0,90533	3,80	7,8	2,1	0,88109	2,10	16,5	7,9	0,40062	0,7290
3150	0,29	0,50	1,7	0,92934	0,27	0,4	1,4	0,97136	0,16	0,6	3,5	0,69136	0,8640
4000	0,20	0,23	1,2	0,99513	0,20	0,2	1,1	0,99773	0,11	0,3	3,0	0,75000	0,9143
5000	0,20	0,43	2,2	0,86672	0,28	0,4	1,4	0,97704	0,18	0,5	2,6	0,80859	0,8841

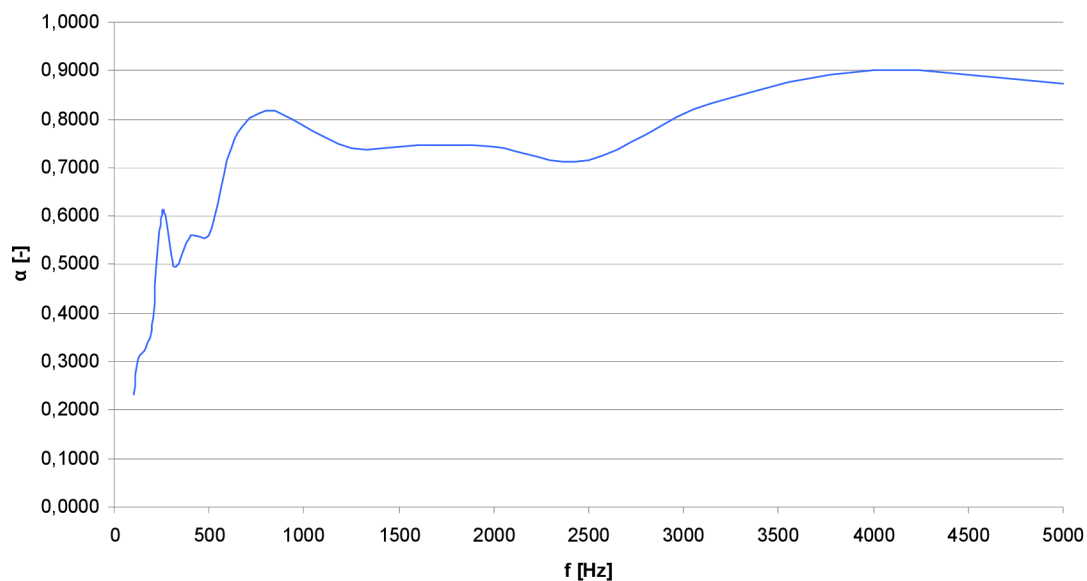
Číselník zvukové pohltivosti 1,5:1 (M)



1:1 (M)

f [Hz]	$U_{min,1}$ [V]	$U_{max,1}$ [V]	n_1 [-]	α_1 [-]	$U_{min,2}$ [V]	$U_{max,2}$ [V]	n_2 [-]	α_2 [-]	$U_{min,3}$ [V]	$U_{max,3}$ [V]	n_3 [-]	α_3 [-]	α [-]
100	0,20	9,80	49,0	0,07840	0,80	11,0	13,8	0,25280	0,90	8,0	8,9	0,36359	0,2316
125	2,80	32,00	11,4	0,29594	2,80	32,0	11,4	0,29594	3,60	36,0	10,0	0,33058	0,3075
160	1,20	9,50	7,9	0,39829	0,70	8,4	12,0	0,28402	0,70	8,3	11,9	0,28691	0,3231
200	1,20	7,80	6,5	0,46222	0,70	7,7	11,0	0,30556	0,80	8,0	10,0	0,33058	0,3661
250	8,90	52,00	5,8	0,49914	6,60	6,7	1,0	0,99994	6,40	65,0	10,2	0,32641	0,6085
315	1,80	7,80	4,3	0,60938	1,10	7,7	7,0	0,43750	1,10	7,7	7,0	0,43750	0,4948
400	4,40	17,50	4,0	0,64219	3,90	21,0	5,4	0,52838	4,40	25,0	5,7	0,50905	0,5599
500	1,40	4,80	3,4	0,69927	1,00	6,8	6,8	0,44707	1,30	6,9	5,3	0,53361	0,5600
630	1,20	5,10	4,3	0,61678	2,00	4,8	2,4	0,83045	1,80	4,4	2,4	0,82414	0,7571
800	1,30	6,10	4,7	0,57925	3,80	5,6	1,5	0,96333	2,90	5,4	1,9	0,90928	0,8173
1000	2,80	11,00	3,9	0,64692	4,40	9,4	2,1	0,86873	3,90	9,0	2,3	0,84370	0,7864
1250	3,15	17,00	5,4	0,52756	7,50	13,5	1,8	0,91837	6,60	18,5	2,8	0,77523	0,7404
1600	0,30	1,75	5,8	0,49970	1,00	1,6	1,6	0,94675	0,60	1,6	2,7	0,79339	0,7466
2000	0,90	5,80	6,4	0,46514	2,40	4,0	1,7	0,93750	1,75	4,2	2,4	0,83045	0,7444
2500	1,80	11,00	6,1	0,48340	3,20	7,0	2,2	0,86121	3,20	8,3	2,6	0,80333	0,7160
3150	0,14	0,58	4,1	0,62654	0,31	0,5	1,5	0,96205	0,30	0,6	1,9	0,90860	0,8324
4000	0,10	0,31	3,1	0,73766	0,19	0,2	1,2	0,99465	0,18	0,3	1,4	0,96694	0,8997
5000	0,18	0,52	2,9	0,76408	0,25	0,4	1,6	0,94675	0,22	0,4	1,9	0,90905	0,8733

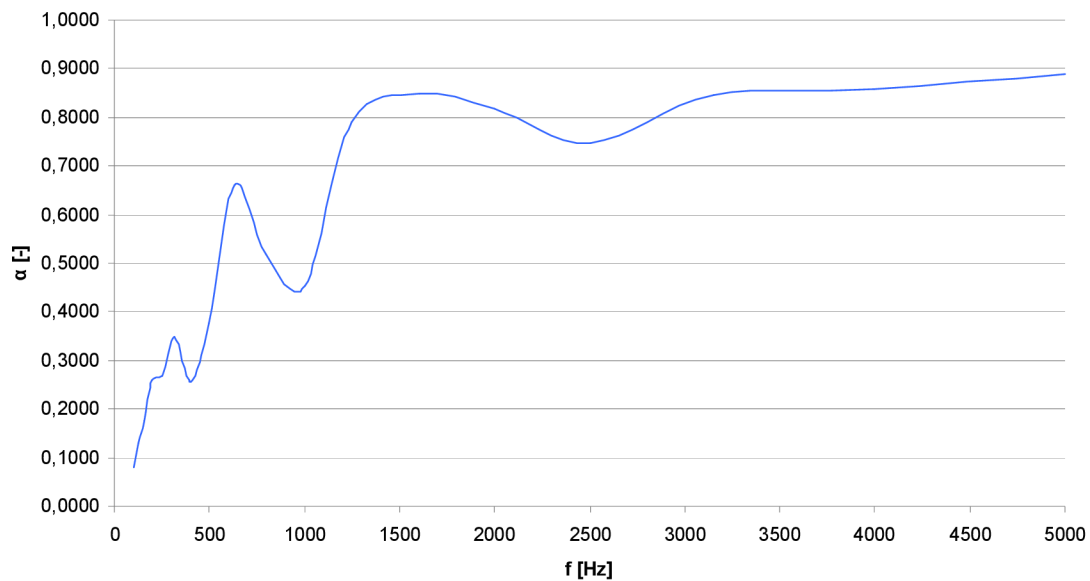
Činitel zvukové pohltivosti 1:1 (M)



1:1,5 (M)

f [Hz]	$U_{min,1}$ [V]	$U_{max,1}$ [V]	n_1 [-]	α_1 [-]	$U_{min,2}$ [V]	$U_{max,2}$ [V]	n_2 [-]	α_2 [-]	$U_{min,3}$ [V]	$U_{max,3}$ [V]	n_3 [-]	α_3 [-]	α [-]
100	0,10	7,00	70,0	0,05554	0,20	7,2	36,0	0,10519	0,15	6,9	46,0	0,08330	0,0813
125	0,78	21,00	26,9	0,13812	0,42	22,5	53,6	0,07196	1,00	20,0	20,0	0,18141	0,1305
160	0,10	4,60	46,0	0,08330	0,31	5,4	17,4	0,20537	0,30	4,4	14,7	0,23902	0,1759
200	0,28	3,30	11,8	0,28838	0,48	4,8	10,0	0,33058	0,20	4,6	23,0	0,15972	0,2596
250	4,50	52,00	11,6	0,29321	4,40	48,0	10,9	0,30767	3,20	56,0	17,5	0,20453	0,2685
315	0,46	4,90	10,7	0,31382	0,60	4,8	8,0	0,39506	0,50	4,8	9,6	0,34176	0,3502
400	0,40	15,50	38,8	0,09810	2,00	17,0	8,5	0,37673	1,80	21,0	11,7	0,29086	0,2552
500	0,60	6,10	10,2	0,32613	0,70	4,6	6,6	0,45853	0,50	4,8	9,6	0,34176	0,3755
630	0,70	3,80	5,4	0,52543	1,60	3,8	2,4	0,83402	0,90	3,8	4,2	0,61928	0,6596
800	0,50	2,80	5,6	0,51423	0,90	3,1	3,4	0,69750	0,40	3,8	9,5	0,34467	0,5188
1000	1,20	9,60	8,0	0,39506	2,00	10,0	5,0	0,55556	1,20	9,2	7,7	0,40828	0,4530
1250	6,50	18,0	2,8	0,77968	6,80	17,6	2,6	0,80408	6,00	16,30	2,7	0,78666	0,7901
1600	0,70	1,8	2,6	0,80640	0,60	1,5	2,4	0,82808	0,80	1,50	1,9	0,90737	0,8473
2000	1,60	3,1	1,9	0,89814	1,20	3,4	2,8	0,77127	1,20	3,30	2,8	0,78222	0,8172
2500	2,00	5,6	2,8	0,77562	2,00	6,4	3,2	0,72562	2,00	6,20	3,1	0,73766	0,7463
3150	0,28	0,6	2,0	0,89418	0,20	0,6	3,0	0,75000	0,30	0,60	2,0	0,88889	0,8444
4000	0,10	0,2	2,0	0,88889	0,15	0,4	2,7	0,79339	0,11	0,22	2,0	0,88889	0,8571
5000	0,22	0,4	1,6	0,94174	0,18	0,4	2,3	0,84000	0,20	0,40	2,0	0,88889	0,8902

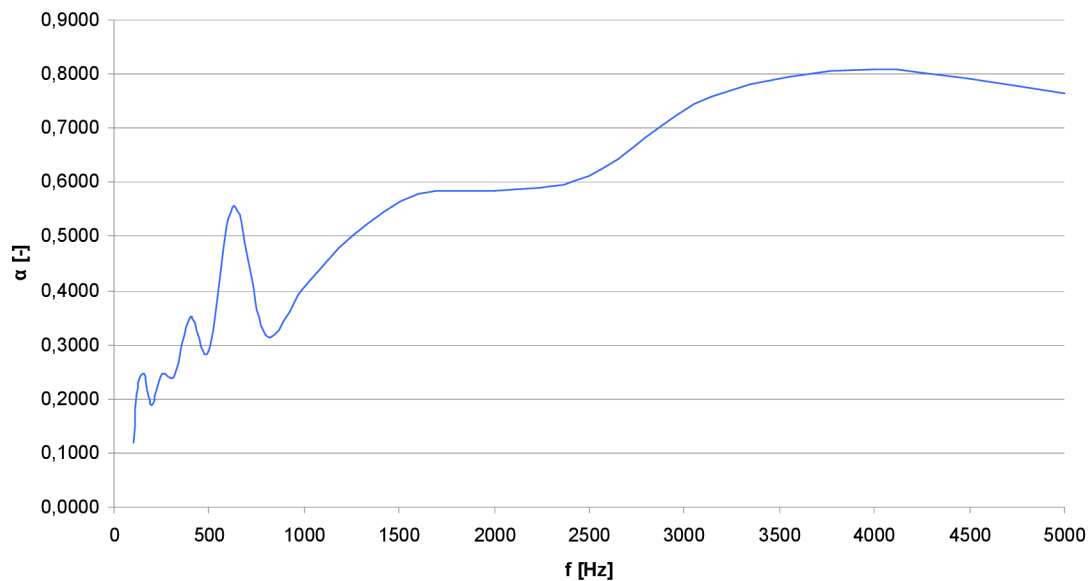
Číselník zvukové pohltivosti 1:1,5 (M)



1:2 (M)

f [Hz]	$U_{min,1}$ [V]	$U_{max,1}$ [V]	n_1 [-]	α_1 [-]	$U_{min,2}$ [V]	$U_{max,2}$ [V]	n_2 [-]	α_2 [-]	$U_{min,3}$ [V]	$U_{max,3}$ [V]	n_3 [-]	α_3 [-]	α [-]
100	0,50	14,00	28,0	0,13317	0,28	10,0	35,7	0,10598	0,25	7,8	31,2	0,12037	0,1198
125	2,50	40,00	16,0	0,22145	3,00	36,0	12,0	0,28402	2,10	42,0	20,0	0,18141	0,2290
160	0,80	13,00	16,3	0,21844	0,90	11,0	12,2	0,27964	0,50	7,2	14,4	0,24287	0,2470
200	0,50	14,00	28,0	0,13317	0,50	7,2	14,4	0,24287	0,40	7,8	19,5	0,18560	0,1872
250	7,00	92,00	13,1	0,26283	6,80	70,0	10,3	0,32281	3,90	92,0	23,6	0,15605	0,2472
315	0,80	13,00	16,3	0,21844	0,80	8,2	10,3	0,32395	0,40	8,1	20,3	0,17938	0,2406
400	2,30	19,00	8,3	0,38529	2,20	21,0	9,5	0,34334	2,30	23,0	10,0	0,33058	0,3531
500	0,40	8,00	20,0	0,18141	0,60	7,2	12,0	0,28402	1,00	8,0	8,0	0,39506	0,2868
630	1,00	6,00	6,0	0,48980	1,00	5,2	5,2	0,54110	1,20	4,8	4,0	0,64000	0,5570
800	0,70	5,40	7,7	0,40634	0,60	6,2	10,3	0,32180	0,40	6,2	15,5	0,22773	0,3186
1000	1,00	5,00	5,0	0,55556	0,70	9,0	12,9	0,26783	0,80	6,3	7,9	0,39992	0,4078
1250	2,90	17,00	5,9	0,49797	3,20	17,0	5,3	0,53328	2,80	17,5	6,3	0,47562	0,5023
1600	0,46	1,60	3,5	0,69375	0,36	1,7	4,6	0,58810	0,25	1,7	6,6	0,45706	0,5796
2000	1,70	4,00	2,4	0,83718	1,05	5,4	5,1	0,54516	0,70	6,0	8,6	0,37425	0,5855
2500	3,00	7,50	2,5	0,81633	2,95	13,5	4,6	0,58869	1,90	13,5	7,1	0,43262	0,6125
3150	0,30	0,60	2,0	0,88889	0,20	0,6	3,0	0,75000	0,15	0,6	4,0	0,64000	0,7596
4000	0,18	0,24	1,3	0,97959	0,10	0,3	2,6	0,80247	0,10	0,4	4,0	0,64000	0,8074
5000	0,18	0,40	2,2	0,85612	0,20	0,5	2,3	0,84481	0,11	0,5	4,5	0,59124	0,7641

Činitel zvukové pohltivosti 1:2 (M)

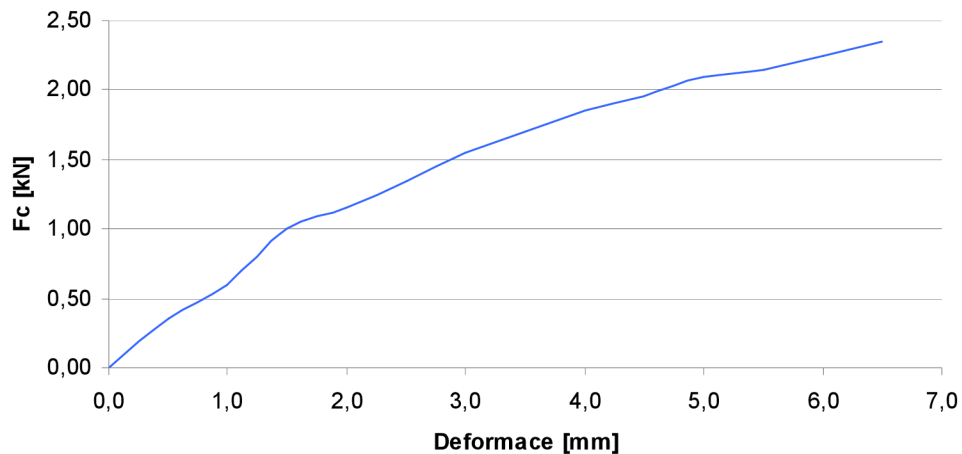


Příloha 6 – Naměřené hodnoty pro stanovení napětí při 10% deformaci.

1:2 (S)

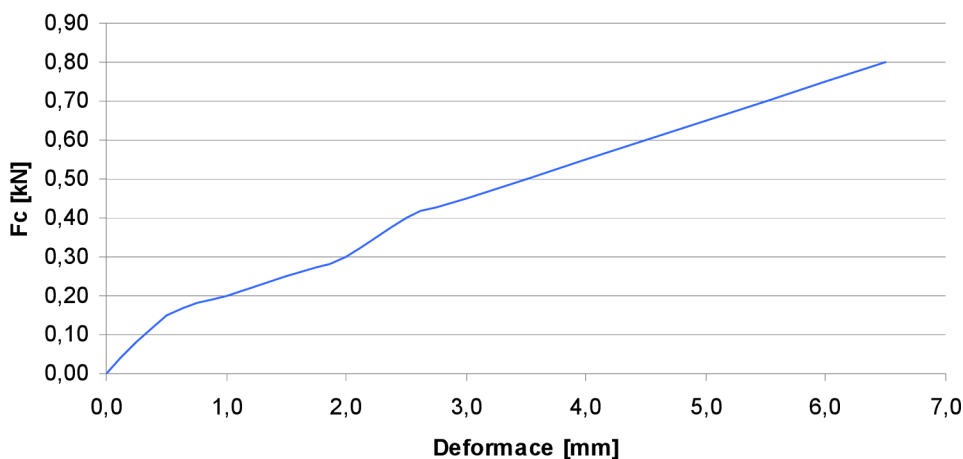
a [mm]	153,10	
b [mm]	149,90	
d_o [mm]	51,580	
dx [mm]	0,200	
$d_{10\%}$ [mm]	5,36	
A [m ²]	0,02	
$F_{10\%}$ [kPa]	93,7	
deformace [mm]	d [mm]	F_c [kN]
0,0	51,6	0,00
0,5	51,1	0,35
1,0	50,6	0,60
1,5	50,1	1,00
2,0	49,6	1,15
2,5	49,1	1,35
3,0	48,6	1,55
3,5	48,1	1,70
4,0	47,6	1,85
4,5	47,1	1,95
5,0	46,6	2,10
5,5	46,1	2,15
6,0	45,6	2,25
6,5	45,1	2,35

Napětí při 10% deformaci 1:2 (S)

**1,5:1 (M)**

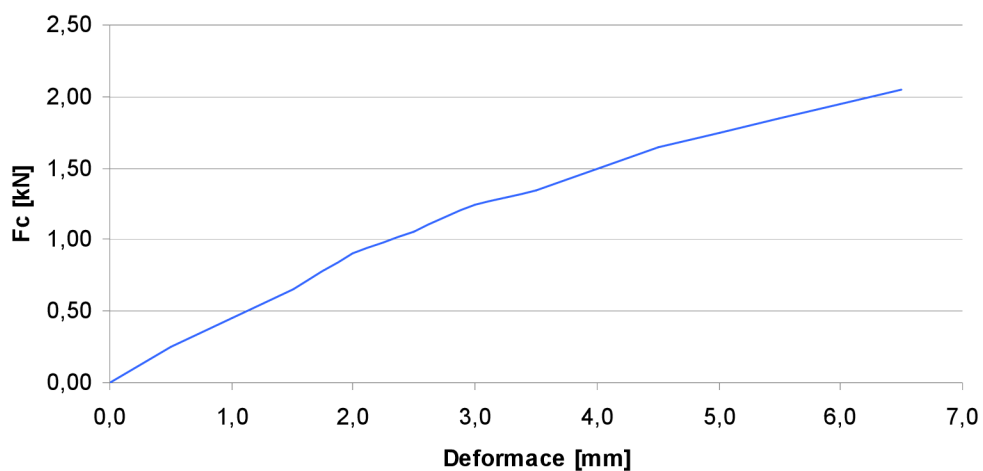
a [mm]	147,50	
b [mm]	148,40	
d_o [mm]	51,153	
dx [mm]	1	
$d_{10\%}$ [mm]	6,12	
A [m ²]	0,02	
$F_{10\%}$ [kPa]	34,3	
deformace [mm]	d [mm]	F_c [kN]
0,0	51,2	0,00
0,5	50,7	0,15
1,0	50,2	0,20
1,5	49,7	0,25
2,0	49,2	0,30
2,5	48,7	0,40
3,0	48,2	0,45
3,5	47,7	0,50
4,0	47,2	0,55
4,5	46,7	0,60
5,0	46,2	0,65
5,5	45,7	0,70
6,0	45,2	0,75
6,5	44,7	0,80

Napětí při 10% deformaci 1,5:1 (M)

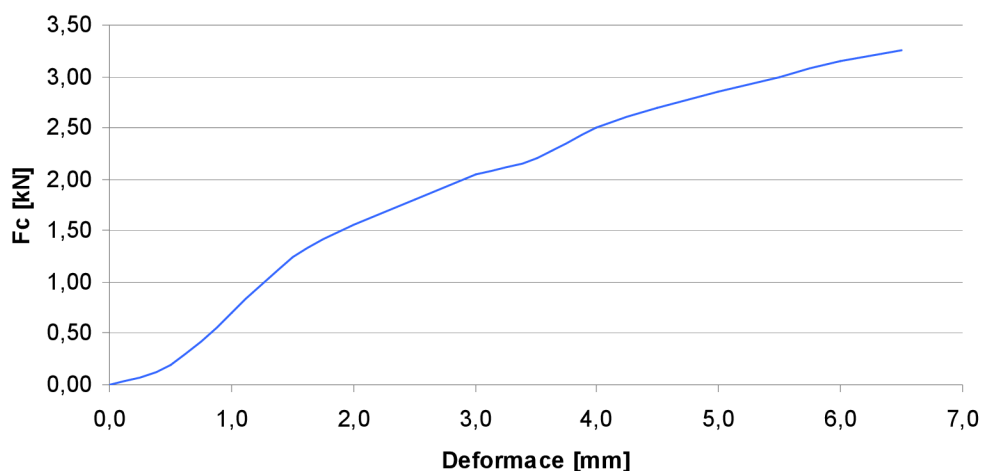


1:1 (M)

<i>a</i> [mm]	148,30	
<i>b</i> [mm]	154,30	
<i>d</i> ₀ [mm]	52,069	
<i>dx</i> [mm]	0,125	
<i>d</i> _{10%} [mm]	5,33	
<i>A</i> [m ²]	0,02	
<i>F</i> _{10%} [kPa]	80,8	
deformace [mm]	<i>d</i> [mm]	<i>F_c</i> [kN]
0,0	52,1	0,00
0,5	51,6	0,25
1,0	51,1	0,45
1,5	50,6	0,65
2,0	50,1	0,90
2,5	49,6	1,05
3,0	49,1	1,25
3,5	48,6	1,35
4,0	48,1	1,50
4,5	47,6	1,65
5,0	47,1	1,75
5,5	46,6	1,85
6,0	46,1	1,95
6,5	45,6	2,05

Napětí při 10% deformaci 1:1 (M)**1:1,5 (M)**

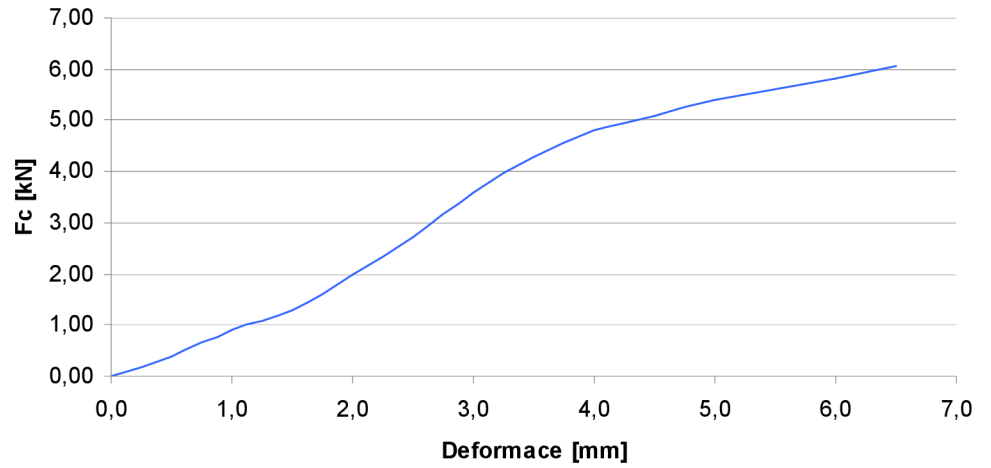
<i>a</i> [mm]	149,90	
<i>b</i> [mm]	150,70	
<i>d</i> ₀ [mm]	49,55	
<i>dx</i> [mm]	0,30	
<i>d</i> _{10%} [mm]	5,25	
<i>A</i> [m ²]	0,02	
<i>F</i> _{10%} [kPa]	126,16	
deformace [mm]	<i>d</i> [mm]	<i>F_c</i> [kN]
0,0	49,5	0,00
0,5	49,0	0,20
1,0	48,5	0,70
1,5	48,0	1,25
2,0	47,5	1,55
2,5	47,0	1,80
3,0	46,5	2,05
3,5	46,0	2,20
4,0	45,5	2,50
4,5	45,0	2,70
5,0	44,5	2,85
5,5	44,0	3,00
6,0	43,5	3,15
6,5	43,0	3,25

Napětí při 10% deformaci 1:1,5 (M)

1:2 (M)

a [mm]	149,80	
b [mm]	153,40	
d_o [mm]	51,47	
dx [mm]	0,10	
$d_{10\%}$ [mm]	5,25	
A [m ²]	0,02	
$F_{10\%}$ [kPa]	234,99	
deformace [mm]	d [mm]	F_c [kN]
0,0	51,5	0,00
0,5	51,0	0,40
1,0	50,5	0,90
1,5	50,0	1,30
2,0	49,5	2,00
2,5	49,0	2,70
3,0	48,5	3,60
3,5	48,0	4,30
4,0	47,5	4,80
4,5	47,0	5,10
5,0	46,5	5,40
5,5	46,0	5,60
6,0	45,5	5,80
6,5	45,0	6,05

Napětí při 10% deformaci 1:2 (M)



Příloha 7 – Naměřené hodnoty pro stanovení pevnosti v tahu, krátkodobé nasákavosti a pevnosti v tlaku keramických zdících tvarovek.

Receptura	a_1 [mm]	a_2 [mm]	a [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	b [mm]	A [mm ²]	F_m [N]	σ_{mt} [kPa]
1:2 (S)	153,87	151,82	152,8	152,67	150,55	151,6	23173	650	28,1
1,5:1 (M)	149,61	147,37	148,5	140,50	147,32	143,9	21369	50	2,3
1:1 (M)	154,49	152,83	153,7	149,82	150,12	150,0	23044	80	3,5
1:1,5 (M)	146,05	145,04	145,5	149,87	152,14	151,0	21978	50	2,3
1:2 (M)	152,45	150,18	151,3	147,40	151,42	149,4	22608	1650	73,0

Receptura	a_1 [mm]	a_2 [mm]	a [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	b [mm]	A [mm ²]	m_0 [kg]	m_{24} [kg]	W_p [kg.m ⁻²]
1:2 (S)	298,06	298,27	298,2	298,06	298,27	298,2	0,1	0,3421	0,3733	0,35
2:1 (M)	298,92	298,72	298,8	298,92	298,72	298,8	0,1	0,3557	0,4010	0,51
1,5:1 (M)	301,52	299,33	300,4	301,52	299,33	300,4	0,1	0,3713	0,4171	0,51
1:1 (M)	300,72	299,78	300,3	300,72	299,78	300,3	0,1	0,3889	0,4315	0,47
1:1,5 (M)	296,18	296,28	296,2	298,63	299,28	299,0	0,1	0,3915	0,4241	0,37
1:2 (M)	301,60	301,72	301,7	301,60	301,72	301,7	0,1	0,5376	0,5707	0,36

izolant	m [kg]	F [kN]	l [mm]	b [mm]	h [mm]	A [mm ²]	f_b [N.mm ⁻²]
-	11,255	489	300,11	250,07	249,13	74590	6,6
			295,81	250,60	249,07		
			298,0	250,3	249,1		
PUR	11,528	500	297,68	251,10	249,09	73585	6,8
			293,52	250,70	249,08		
			293,5	250,7	249,1		
1:2 (S)	12,164	538	296,72	250,11	249,09	74495	7,2
			299,13	249,98	249,08		
			297,9	250,0	249,1		
1,5:1 (M)	12,220	503	295,61	249,89	249,15	74995	6,7
			300,09	249,91	249,10		
			300,1	249,9	249,1		
1:1 (M)	12,153	515	298,34	249,97	249,13	74539	6,9
			297,65	250,30	249,09		
			298,0	250,1	249,1		
1:1,5 (M)	12,166	521	295,96	250,50	249,08	74581	7,0
			300,14	249,96	249,12		
			298,1	250,2	249,1		
1:2 (M)	12,523	544	298,12	249,81	249,07	74265	7,3
			296,31	249,93	249,10		
			297,2	249,9	249,1		

Příloha 8 – Hodnoty pro stanovení ceny za 1 kg a 1 m³ jednotlivých směsí.

Receptura	$\rho_{v,1}$ [kg.m ⁻³]	$\rho_{v,2}$ [kg.m ⁻³]	Surovina [-]	Hmotnost suroviny v 1 m ³ [kg.m ⁻³]	Cena za 1 m ³ [Kč.m ⁻³]	Cena za 1 kg [Kč.kg ⁻¹]
1:2 (S)	79	75	PUR granulát	26,3	329	4,2
			PUR pěna	52,7	5267	66,7
			voda	0,0	0,00	0,00
			izolace	79	5596	71
2:1 (M)	106	83	PUR granulát	53,0	663	6,3
			PUR pěna	26,5	2650	25,0
			voda	26,5	1,33	0,01
			izolace	106	3314	31
1,5:1 (M)	111	83	PUR granulát	51,2	640	5,8
			PUR pěna	34,2	3415	30,8
			voda	25,6	1,28	0,01
			izolace	111	4057	37
1:1 (M)	105	87	PUR granulát	42,0	525	5
			PUR pěna	42,0	4200	40
			voda	21,0	1,05	0,01
			izolace	105	4726	45
1:1,5 (M)	112	85	PUR granulát	37,3	467	4,2
			PUR pěna	56,0	5600	50,0
			voda	18,7	0,93	0,01
			izolace	112	6068	54
1:2 (M)	146	120	PUR granulát	41,7	521	3,6
			PUR pěna	83,4	8343	57,1
			voda	20,9	1,04	0,0
			izolace	146	8865	61