



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM VLIVU VLHKOSTNÍHO ZATÍŽENÍ NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI MINERÁLNÍ VLNY V ČASE

STUDY OF THE EFFECT OF MOISTURE LOAD ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF MINERAL
WOOL OVER TIME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Ježek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

BRNO 2023



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jiří Ježek
Název	Studium vlivu vlhkostního zatížení na mechanické vlastnosti minerální vlny v čase
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání	20. 11. 2022
Datum odevzdání	26. 5. 2023

V Brně dne 20. 11. 2022

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,
dr. h. c.
děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Vaverka, J.; Chybík, J., Mrlík, F. Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.
- [2] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X
- [3] ČSN EN 13162 Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) - Specifikace
- [4] ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky
- [5] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 209 s. ISBN 80-214-2117-7

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude věnovat problematice změny mechanických (případně dalších funkčních) vlastností minerální vlny v čase vlivem vlhkostního zatížení po zabudování do stavební konstrukce. Cílem práce bude zmapovat tepelně vlhkostního zatížení pro jednotlivé typické aplikace minerální vlny v konstrukcích a navrhnout optimální metodiku pro zkoušení trvanlivosti minerální vlny z pohledu změny funkčních vlastností v čase (především mechanických vlastností). Tato metodika není popsána ve výrobkové normě a předpokládá se obecně, že funkční vlastnosti minerální vlny jsou ovlivněny pouze případnou změnou tloušťky izolantu a jeho objemové hmotnosti (ty se mohou měnit v čase především zatížením izolantu v konstrukci a jeho případným sesedáním). V praktické části práce bude cílem ověřit prakticky navrženou metodiku na reálných vzorcích minerální vlny různého složení pro různé typy tepelně vlhkostního zatěžování. Doporučený rozsah práce 40–50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou degradace minerální vlny vlivem tepelně vlhkostního zatížení. Konkrétně je sledován vliv na mechanické vlastnosti. Teoretická část obecně vysvětluje teorii šíření tepelné energie, pojednává o různých skupinách tepelných izolací. Dále se teoretická část zabývá tepelnými izolacemi z minerální vlny, kde je popsán výrobní proces, vstupní suroviny a případná recyklace minerálních vláken. V poslední kapitole se teoretická část zabývá druhy zatížení na tepelné izolace. Praktická část se zabývá návrhem metodiky pro stanovení mechanických vlastností vlivem tepelně vlhkostního zatížení. Následně proběhlo ověření stanovené metodiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelně izolační materiál, minerální vlna, pevnost v tahu kolmo k rovině desky, napětí při 10 % deformaci, teplotně vlhkostní degradace.

ABSTRACT

The work deals with the problem of mineral wool degradation due to thermal and moisture load. Specifically, the effect on mechanical properties is studied. The theoretical part generally explains the theory of heat transfer, discusses different groups of thermal insulation materials. Furthermore, the theoretical part deals with mineral wool insulation, describing the production process of this material, the input raw materials and the possibility of recycling of mineral fibres in mineral wool production. In the last chapter, the theoretical part deals with the types of loads on thermal insulation in building construction. The practical part deals with the design of a methodology for the determination of mechanical properties due to thermal and moisture loading. Subsequently, the established methodology was verified.

KEYWORDS

Thermal insulation material, mineral wool, tensile strength perpendicular to the plane of the board, stress at 10% deformation, thermal and moisture degradation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

JEŽEK, Jiří. *Studium vlivu vlhkostního zatížení na mechanické vlastnosti minerální vlny v čase*. Brno, 2023.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studium vlivu vlhkostního zatížení na mechanické vlastnosti minerální vlny v čase* zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.05.2023

Jiří Ježek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce *Studium vlivu vlhkostního zatížení na mechanické vlastnosti minerální vlny v čase* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 05. 2023

Jiří Ježek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl především poděkovat vedoucímu práce, panu doc. Ing. Jiřímu Zachovi, Ph. D., za jeho odbornou pomoc při vedení bakalářské práce, cenné rady a vstřícnost během zpracování mé bakalářské práce. Děkuji také Ing. Janu Bubeníkovi za jeho pomoc při zkoušení mechanických vlastností během praktické části. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině.

OBSAH

ÚVOD	13
TEORETICKÁ ČÁST	14
1 Teorie šíření tepla ve stavebních materiálech	14
1.1 Základní mechanismy šíření tepelné energie	14
1.1.1 Šíření tepla vedením (kondukcí)	14
1.1.2 Šíření tepla prouděním (konvekce)	15
1.1.3 Šíření tepla sáláním (radiace).....	16
2 Izolační materiály ve stavebnictví	16
2.1 Historie, vývoj.....	16
2.2 Rozdělení izolačních materiálů.....	17
2.2.1 Pěnoplastické tepelně izolační materiály.....	19
2.2.2 Expandované minerální tepelně izolační materiály.....	20
2.2.3 Vláknité tepelně izolační materiály.....	21
2.2.4 Tepelně izolační materiály na bázi pěnových silikátů.....	22
2.2.5 Tepelně izolační materiály na bázi dřeva a přírodních vláken	22
2.2.6 Tepelně izolační materiály na bázi celulózových vláken.....	22
2.2.7 Pokročilé tepelně izolační materiály.....	23
3 Minerální vlna.....	23
3.1 Výroba minerální (kamenné) vlny	24
3.2 Suroviny.....	31
3.2.1 Čedič.....	31
3.2.2 Struska	32
3.2.3 Diabas	33

3.3	Druhotné suroviny	34
4	Klíčové vlastnosti minerální vlny.....	37
4.1	Součinitel tepelné vodivosti.....	37
4.2	Lineární rozměry a tloušťka.....	38
4.3	Třída Reakce na oheň.....	39
4.4	Stárnutí/degradace dle normy ČSN EN 14 303	39
4.4.1	Stálost třídy reakce na oheň při stárnutí/degradaci a vysoké teplotě 39	
4.4.2	Stálost tepelného odporu při stárnutí/degradaci/při vysoké teplotě 39	
4.4.3	Mechanické vlastnosti při stárnutí/degradaci	39
5	Životnost izolačních materiálů ve stavebních konstrukcích a faktory, které je ovlivňují	40
5.1	Zatížení tepelně izolačního materiálu mechanickými silami	40
5.2	Zatížení tepelně izolačního materiálu zvýšenou teplotou	41
5.3	Zatížení tepelně izolační vlhkostní izolačního materiálu.....	41
5.4	Návrh metodiky studia změny vlastností minerální vlny vlivem působení teploty a vlhkosti	42
	PRAKTICKÁ ČÁST	44
6	Cíl práce	44
7	Metodika práce	44
7.1	Formátování zkušebních vzorků	47
7.2	Stanovení vybraných základních vlastností tepelně izolačních materiálů 48	
7.2.1	Stanovení délky a šířky	48
7.2.2	Stanovení tloušťky	48

7.2.3	Stanovení objemové hmotnosti	49
7.3	Stanovení mechanických vlastností tepelně izolačních materiálů	50
7.3.1	Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky.....	50
7.3.2	Stanovení zkoušky tlakem.....	51
8	Výsledky a vyhodnocení práce.....	52
8.1.1	ETAPA I.....	52
8.1.2	ETAPA II.....	59
8.2	Diskuse výsledků	65
	ZÁVĚR.....	67
9	Seznam použitých zdrojů	68
10	Seznam obrázků.....	71
11	Seznam tabulek.....	73

ÚVOD

V posledních letech je v důsledku stále zvyšujících se požadavků v oblasti redukce skleníkových plynů a také skokového navýšení cen energií (především v posledních dvou letech), věnována zvýšená pozornost odborné technické i laické veřejnosti k všeobecné otázce úspor energií. Z pohledu tepelné ochrany budov jsou také kladeny zvýšené požadavky na tepelné vlastnosti obálky budov (požadavky v oblasti součinitele prostupu tepla). Reakcí na tyto požadavky je užívání stále větších tloušťek tepelně izolačních materiálů. To sebou nese i zvýšené požadavky na jejich mechanické vlastnosti, jelikož jsou v některých typech konstrukcí (např. v zateplování fasád) stále více zatěžovány vlivem větší tloušťky.

Minerální vlna vyniká vynikajícími akustickými a tepelně izolačními vlastnostmi. Součinitel tepelné vodivosti λ se pohybuje v rozmezí 0,030 až 0,040 W/(m·K). Minerální vlna je odolná vůči plísním, houbám a bakteriím. Je nehořlavá a vykazuje třídu reakce na oheň dle ČSN EN 13501-1 A1/A2. Vzhledem k těmto vlastnostem je dnes součástí většiny stavebních konstrukcí a v některých aplikacích je aktuálně prakticky nenahraditelná.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Teorie šíření tepla ve stavebních materiálech

1.1 Základní mechanismy šíření tepelné energie

Tři základní mechanismy přenosu tepelné energie jsou – vedení (kondukce), proudění (konvekce) a sálání (radiace). V praxi se šíření tepelné energie uskutečňuje různou kombinací těchto základních mechanismů. Porézní struktura pevných látek velmi ovlivňuje přenos tepla. Nejdůležitějším efektem je velikost a množství pórů. Čím větší jsou póry, tím efektivněji se projevuje vliv sálání, kapilarita a proudění ve vnitřní struktuře. Základním přenosem tepelné energie je mechanismus vedení. Může se jednat buď o jednofázový či dvoufázový přenos. Pro plně nasycenou matici je charakteristický jednofázový přenos [1] [2] [3].

1.1.1 Šíření tepla vedením (kondukce)

Tepelná energie se šíří vedením hlavně u pevných (tuhých) látek, u kapalných látek méně a v plynech jen a pouze za specifických podmínek. Je to vlastně mechanismus, kdy se postupně odevzdává kinetická energie molekulám tělesa při jejich dotyku. Tepelná energie se šíří z místa s vyšší teplotou do místa s teplotou nižší. Kondukcí lze vysvětlit na makroskopické a mikroskopické úrovni. Na mikroskopické úrovni částice s vyššími energetickými hladinami předávají energii částicím s nižšími energetickými hladinami, když se srazí. U plynů platí, že se zvyšující teplotou se zvyšuje i kinetická energie molekul a způsobuje jejich náhodné srážky. Nárazem si předávají energii a hybnost s molekulami s nižší kinetickou energií [1] [2].

U kapalin je tento jev shodný jako u plynů. Avšak střední volná rychlost je kratší a srážky jsou častější. U pevného skupenství dochází k jevu, kde nastává vibrace krystalické mřížky, protože interakční síly jsou mnohem větší než u kapalného a plynného skupenství. Tato energie však přenáší pouze zlomek tepelné energie. Na

přenosu většího množství tepelné energie se účastní volné elektrony, které konají pohyb bez vaznosti k atomu a mají spíše vlastnost plynu. Tento přenos je obvyklý pro vodiče (často kovy). Na makroskopické úrovni můžeme definovat vedení tepla pomocí tepelného toku. Tento jev můžeme definovat pomocí Fourierova zákona, který říká, že hustota tepelného toku je přímo úměrná součiniteli tepelné vodivosti a teplotnímu gradientu se zápornou hodnotou z důvodu směru pohybu tepla [1] [2] [3] [4].

První Fourierův zákon

$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta x}$$

kde:

q – hustota tepelného toku [W/m²]

λ – součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]

$\Delta\theta$ – teplotní spád [K]

Δx – vzdálenost [m]

1.1.2 Šíření tepla prouděním (konvekce)

Šíření tepla prouděním nastává v tekutinách. K tomuto jevu obvykle dochází během difuze nebo rozproudění plynu, kapaliny či plazmatu. Kondukcí dělíme na dva typy. Na proudění nucené, např.: pomocí ventilátoru, čerpadla nebo kompresoru. Druhým typem šíření tepla, je proudění přirozené, které vzniká účinkem gravitační síly, nebo teplotním či tlakovým rozdílem tekutiny. Dle struktury vzduchu můžeme dále dělit proudění na laminární, přechodné či turbulentní [1] [6].

1.1.3 Šíření tepla sáláním (radiace)

Při šíření tepla sáláním dochází mezi povrchy těles k přenosu tepla ve formě elektromagnetického vlnění. K přenosu tepla sáláním dochází ve všech typech prostředí, přičemž k neúčinnějšímu přenosu záření dochází ve vakuu. Sálání se realizuje u všech těles jejichž absolutní teplota je vyšší než 0 K [1].

Touto vlastností se odlišuje od ostatních dvou mechanismů šíření tepla, které tuto vlastnost nevykazují. Šíření tepla sáláním probíhá pomocí elektromagnetických vln, které se šíří rychlostí světla. Vlnová délka tepelného záření závisí na teplotě sálajícího povrchu tělesa a pohybuje se v průměru od 0,1 μm do 100 μm . Lidské oko dokáže detekovat elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek od 0,39 μm do 0,78 μm , takže většinu tepelného záření lidské oko nezachytí. Elektromagnetické vlny jsou vysílány teplejším tělesem a absorbovány (přijímány) tělesem s nižší teplotou. Intenzita výměny tepla sáláním je závislá na teplotě a stavu (emisivitě) povrchu obou těles [1] [2].

2 Izolační materiály ve stavebnictví

2.1 Historie, vývoj

První použití tepelných izolací ve stavebních konstrukcích můžeme dohledat již v dobách paleolitu. Naši předci vycházeli z ryze přírodních materiálů, jako je např.: seno, sláma, rákos, lišejníky apod. Konstrukčním materiálem staveb bylo nejprve výlučně dřevo, později i kámen. Použití konkrétního materiálu vycházelo z krajově dostupných surovin [7].

S postupujícím vývojem společnosti, spojeným i s rozvojem stavebnictví, se začíná stále více projevovat požadavek na zvýšené pohodlí obyvatel. Od kamenných objektů se z důvodu studené a vlhké stavby přechází ke stavbám cihelným, později se z důvodu zvýšení tepelného odporu vyrábí cihly tzv. děrované. V praxi se začínají cíleně používat i různé tepelně izolační materiály [7].

Zvláště po II. světové válce dochází k masivním výstavbě průmyslových závodů a bytů. Zároveň se ve větší míře začíná dbát na snížení tepelných ztrát budov. Kolem šedesátých let minulého století započal na našem území cílený rozvoj tepelně izolačních materiálů vyráběných průmyslově a souvisel s prvními závaznými tepelně technickými požadavky na stavební konstrukce. S tím, jak se začal rozvíjet nový obor, věnující se tepelným ztrátám, došlo i k pokroku ve vývoji a používání tepelných izolací. Začaly se formulovat první normy, které se datují již od roku 1949 (ČSN 1450:1949) [7].

2.2 Rozdělení izolačních materiálů

Základním rozdělením izolací je rozdělení dle způsobu užití na: tepelné izolace, hydroizolace, akustické izolace, izolace proti radonu s ionizujícím zářením a izolace na speciální užití. Dále se budu zabývat pouze tepelnou izolací. Základní dělení tepelné izolace je obsaženo v ČSN EN ISO 9229 – Tepelné izolace – Terminologie. Tepelné izolace se dále dělí dle použití a způsobu aplikace, a to na vnější izolace obvodového pláště, vnitřní izolace střešního pláště, izolace vnitřních vodorovných a svislých konstrukcí, izolace vnitřního obvodového pláště a izolace pro speciální aplikace [7] [9].

Tepelné izolace lze klasifikovat dle tvaru (druhu) výrobků. Izolační rohože mají stálou tloušťku a šířku. Prodávají se ve svitcích. Rohože využijeme tam, kde nedochází k většímu zatížení tepelné izolace, např. v půdních prostorech, k izolaci střech nebo v sendvičovém zdivu. Dále do tohoto dělení můžeme zařadit deskové izolace. Tento tvar izolace se používá nejčastěji, a to jak z minerální (kamenné) vlny či polystyrenu (expandovaného, extrudovaného). Tepelné izolace se vyrábí také ve tvaru pásů, izolačních trubic [7].

Pěnové sklo, keramzit, expandovaný perlit se většinou využívá jako volně sypaný materiál. Foukané izolace. Tento druh, jak už název napovídá, se pomocí foukání aplikuje přímo do konstrukce. Výhodou tohoto způsobu je, že nevzniká žádný odpad (odřezy), výsledná izolace je celistvá, beze spár. Jako materiál

foukaných izolací se používá celulóza, minerální vlna, polystyren, dřevní hmoty apod. Každý vyjmenovaný výrobek má svoje specifické využití [7] [10].

Na stavebním trhu se nabízí široké spektrum různých druhů tepelně izolačních materiálů. Při volbě vyhovujícího tepelně izolačního materiálu je nutno brát v úvahu nejen samotnou cenu výrobku, ale také jeho reálné užitné vlastnosti. V poslední době se často posuzují i dopady použití jednotlivých druhů materiálu na životní prostředí. Správná volba izolantu závisí na konkrétním využití, na zatížení izolantu ve stavební konstrukci a na dalších specifických proměnných. Při volbě tepelného izolačního materiálu je důležité sledovat klíčové vlastnosti, jako jsou především: tepelně izolační a mechanické vlastnosti a vlastnosti vlhkostní. Dalšími kritériem při výběru tepelné izolace jsou např: objemová hmotnost, nasákavost, třída reakce na oheň, zdravotní bezpečnost, degradace materiálu, s kterou je úzce spjata i objemová stálost izolantu [9] [10].

Tepelně izolačním materiálem se nazývá dle norem ČSN EN ISO 9299 a ČSN 73 0540-1 takový materiál, který je určen k zabránění šíření tepla. Porovnávajícím činitelem izolačních materiálů je součinitel tepelné vodivosti, který nesmí přeskočit hodnotu λ 0,1 W/(m·K). Každá hmota má jiné izolační vlastnosti, které vyplývají z chemického složení či fyzikální struktury daného materiálu, případně kombinací těchto vlastností [7] [11].

Tepelně izolační materiály můžeme obecně rozdělit na přírodní a umělé. Tepelné izolanty na přírodní bázi mohou být dle původu – rostlinné organické, živočišné organické nebo minerální anorganické [7].

Tepelné izolace můžeme třídit dle materiálu, ze kterého byly vyrobeny, a to na vláknité materiály, minerální materiály, pěnoplastické látky, pěněné silikáty, dále na materiály na bázi dřeva, přírodních vláken, na materiály na organické bázi a na materiály na bázi celulósových vláken [7].

2.2.1 Pěnoplastické tepelně izolační materiály

Do skupiny pěnoplastických tepelně izolačních materiálů začleňujeme především pěnový neboli expandovaný polystyren (EPS) a polystyren extrudovaný (XPS) [7].

Pěnový polystyren je charakterizován jako – výrobek z porézního plastu, který vzniká pomocí kuliček perel z kopolymeru, které za pomoci tepla na expandují, následně se v uzavřené formě spojí (nataví), a po rozměrové stabilizaci se za pomoci horkého drátu naformátují na výsledné desky. V dnešní době se nejvíce setkáváme s tímto typem izolace, zvláště kvůli velmi nízké hmotnosti, relativně nízké ceně a snadné opracovatelnosti [7] [9].

Avšak mezi jeho největší nevýhody patří objemové změny, dlouhodobě neodolává UV záření, pokud je na přímém slunečním záření vystavován déle než jeden měsíc. Další jeho negativní vlastností je, že neodolává vyšším teplotám (+80 °C). Z tohoto hlediska ho řadíme na základě zkoušky třídy reakce na oheň dle normy ČSN EN 13501-1 většinou do třídy E [7] [12].

Expandovaný polystyren (EPS) se používá na izolaci podlah – základní (Z), dále k izolaci fasád – fasádní (F), a k izolaci střech – stabilizovaný (S). Dalším znakem v označení expandovaného polystyrenu je pevnost v tlaku v kPa (např. 100, 150...). Posledním údajem uváděným na výrobku je síla desky. Příklad označení izolační desky z expandovaného polystyrenu např.: EPS 70 F 150 mm [5] [12].

Extrudovaný (XPS) polystyren lze využít i do míst, kde se vyskytuje trvalá vlhkost. Dalo by se říci, že je tzv. nenasákavý – max 0,5 % objemu. Tento druh izolace je cenově dražší než expandovaný polystyren. Tyto dva izolanty od sebe rozeznáme jednoduše při rozlomení, kdy u extrudovaného polystyrenu se nedrolí na kuličky. Z hlediska třídy reakce na oheň je XPS nejčastěji klasifikován třídou E, obdobně, jako EPS. Oba druhy tepelných izolantů se vyrábí v deskách s rovnou hranou či se zámkem. Značení u extrudovaného polystyrenu je stejné, viz výše, např. XPS 300 100 mm [5] [7].

Dále do skupiny pěnoplastických izolačních materiálů můžeme zařadit pěnové polyetyleny, pěnové polyuretany (PUR), pěněné PVC či pryskyřice [7].

2.2.2 Expandované minerální tepelně izolační materiály

Do skupiny expandovaných minerálních tepelně izolačních materiálů můžeme začlenit expandovaný perlit. Perlit je hornina sopečného původu, která utuhla jako sklo. Jedná se o minerál, u kterého se při ochlazování viskozita lávy tak rychle zvětšila, že nemohl proběhnout proces krystalizace a taktéž nemohla uniknout žádná voda, která byla pohlcena v magmatu. Dle normy ČSN EN ISO 9229 je expandovaný perlit materiál, který je vyráběn z přírodní vulkanické horniny za pomoci tepelné expanze. Perlit je velice lehký, granulovaný izolační materiál, jehož struktura je porézní [11] [12].

Expandovaný perlit se vyrábí z horniny perlitu, kde sypaná hmotnost této „surové“ horniny je přibližně 1100 kg/m^3 . Hornina se zpracovává ve dvoustupňovém výpalu. Při prvním výpalu, který probíhá při teplotě $350\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C}$ se sníží celkový obsah vody z $4\text{--}5 \%$ na $2\text{--}3 \%$. Tímto krokem předejeme tomu, že by větší zrna perlitu mohla popraskat či se roztříštit, kvůli úniku většího množství vody ze stavu, který ještě není pyroplastický. Druhý stupeň výpalu probíhá v rozsahu teplot $900\text{--}1300 \text{ }^\circ\text{C}$. Výpal perlitu probíhá ve fondánové peci [12].

Expandovaný perlit se vyznačuje velmi nízkou sypanou hmotností, která je okolo $80\text{--}450 \text{ kg/m}^3$, přičemž nižší sypané hmotnosti přísluší jemnějším frakcím [12].

Jeho velkou nevýhodou je velká absorpce vody, která je významně závislá na frakci perlitu. Největší nasákavost nastává u nejmenších frakcí, kde může přesahovat i hodnotu hmotnostních 300% . U hrubších frakcí perlitu je nasákavost menší než 100% objemově [12].

Expandovaný perlit se označuje např. EP 150, kde EP vyjadřuje druh izolačního materiálu, tedy expandovaný perlit a číslo udává zpravidla objemovou hmotnost. Konkrétně pro EP 150 je objemová hmotnost v intervalu od 120 do 150 kg/m^3 . Tento

izolační materiál se používá ve formě zásypů, které odolávají, jak nízkým, tak i vysokým teplotám. Dále na stavbách, kde se využívá k výplním dutých stěn a pro zateplení stropů a podlah. Expandovaný perlit lze taktéž využít při výrobě betonu či malt. Tyto hmoty lze využít s různými pojivy, jako je např. cement, sádra, vápno, soseleova-hořečnatá maltovina, vodní sklo apod. Největší uplatnění mají perlitové malty, které se používají jako malty izolační [5] [12].

Jako další příklady, které do této kategorie spadají, mohou být např. strusková pemza, expandovaný vermikulit či keramzit, který je znám pod obchodním názvem Liapor [7].

2.2.3 Vláknité tepelně izolační materiály

Mezi vláknité izolační materiály lze zařadit izolace na bázi minerálních, a skleněných vláken. Tyto izolace dosahují dobrých vlastností, co se týče akustické a tepelné izolace. Dále izolace z vláken propouští vodní páru, klasifikuje se dle třídy reakce na oheň do skupiny A1/A2 a jsou odolné vůči škůdcům. Vláknité izolační materiály se dodávají v různých podobách. Mohou se dodávat v deskách, což dle normy ČSN EN ISO 9229 je tuhý či polotuhý materiál, kde je tloušťka podstatně menšího rozměru než ostatní rozměry desky – délka, šířka. Deska má většinou rozměr 1,0 × 0,5 m (pro fasádní izolace) či 2,0 × 1,2 m (pro střešní izolace). Dále mohou být expedovány ve formě rolí, které se následně balí ve tvaru svitků, nebo použítí na tepelnou izolaci potrubí [7] [11].

Do skupiny vláknitých izolačních materiálů lze rovněž zařadit izolace na bázi textilních vláken. Tato vlákna se získávají ze zbytku oděvů a spotřebního zboží na textilní bázi. Oba uvedené produkty jsou v dnešní době často spalovány, jelikož se tento druh materiálu nese snadno recykluje. Pokud tyto produkty recyklujeme, získáme druhotná vlákna, která můžeme použít jako kvalitní surovinu. Tato rozvlákněná textilní vlákna lze využít k výrobě tepelných i akustických izolačních materiálů, které vykazují velmi zajímavé vlastnosti [7] [8].

Z organických (živočišných) izolačních vláken lze do této kategorie zařadit ovčí vlnu, která se stříhá ze speciálního plemene ovce. O minerálních vláknech, konkrétně k minerální neboli kamenné vlně bude pojednáno později [7].

2.2.4 Tepelně izolační materiály na bázi pěnových silikátů

Kamenivo na bázi pěnového skla, je umělé kamenivo, které se vyrábí recyklací odpadního skla (90 % základní surovina). Odpadní sklo se využívá z důvodu velkého množství jemných střepů, které již nemá využití pro sklárny. K výrobě pěnových silikátů se využívá surovin – sklářský kmen, skleněné střepy a čeřiva. Ve sklářském kmeni je největší obsah oxidu SiO_2 , který je následně doplněn ostatními oxidy: CaO , K_2O a Na_2O . Výsledný štěrk z pěnového skla je vysoce porézní materiál, který má velmi nízkou objemovou hmotnost okolo $150\text{--}170 \text{ kg/m}^3$. Pěnové kamenivo lze použít na suché maltové směsi, izolační omítky, lehké betony, nebo na izolační vrstvy podlah, kleneb atd [13][14].

2.2.5 Tepelně izolační materiály na bázi dřeva a přírodních vláken

Tepelné izolace na organické bázi, lze klasifikovat do více skupin. Izolace na bázi dřeva – dřevo a korek. Pokud zkombinujeme dřevo neboli dřevní vlnu ze surového dřeva s cementem a dalšími přísadami, můžeme tuto výrobní směs využít pro výrobu heraklitových desek či tvárnic, které se následně využívají jako ztracené bednění (dřevoštěpkové a dřevocementové tvárnice). Dále do této skupiny izolací lze řadit izolace na bázi lýkových vláken – len, konopí, sláma, seno. Izolace z listů rostlin – abaka, izolace z plodů rostlin – kokos, ananas, kukuřice [7] [15] [16].

2.2.6 Tepelně izolační materiály na bázi celulóзовých vláken

Izolaci na bázi celulóзовých vláken můžeme rozumět drcený mineralizovaný papír nebo desky z asfaltového papíru. Izolace z celulóзовých vláken – konkrétně např. novinový papír spolu s vodním sklem a dalšími přísadami se používá i k tepelně izolačním a protipožárním nástřikům konstrukcí [7] [17].

2.2.7 Pokročilé tepelně izolační materiály

Nejmodernější izolace jsou materiály na bázi kalciumsilikátů anebo vakuové izolace. Vakuové izolační panely (VIP) mohou vykazovat při stejné tloušťce až desetkrát vyšší tepelný odpor než běžné izolanty, jako je např.: expandovaný polystyren. Tyto panely se vyznačují extrémně nízkým součinitelem tepelné vodivosti. Jejich prvotní uplatnění bylo v chladničkách, mrazničkách či v přepravních boxech [7].

Vakuové izolační panely jsou tvořeny jádrem, obalem a absorbentem. Výroba panelů spočívá v naformátování jádrového izolantu, vysušení jádrového izolantu při teplotě 150 °C, obalení ochrannou textilií, formátování obalu a aplikace jádrového izolantu do obalu. Následně zavakuování včetně zatavení, případně provedení úprav. Vakuové izolační panely jsou používány především v průmyslových budovách, skladech a podobných objektech [17].

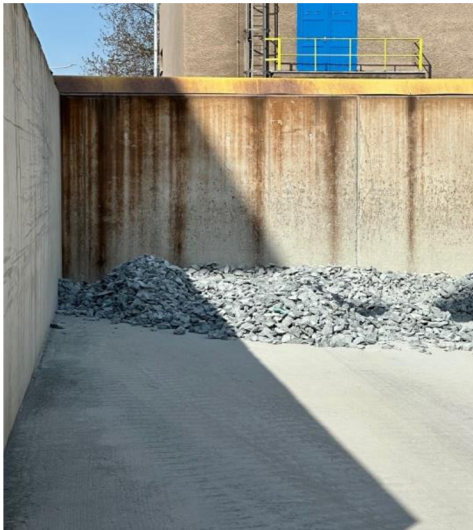
3 Minerální vlna

Minerální vlna je dle definice z normy ČSN EN 14303 typ izolačního materiálu, který je charakterizován strukturou vlny, který se vyrábí roztavením horniny. Dle vstupní suroviny následně rozeznáváme dva základní typy minerální vlny. Minerální vlnu skelnou a kamennou [18]. O kamenné vlně bude pojednáno v další kapitole.

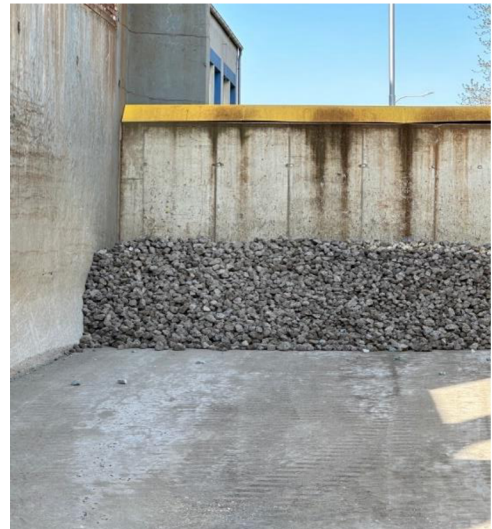
Skelná minerální vlna se převážně vyrábí z písku a recyklovatelného skla. Sklo tvoří až 80 % výrobní směsi. Výchozí surovinou jsou roztavená skleněná vlákna. Ve výrobním procesu jsou zplstěna a následně spojena pomocí pojiva na bázi polymerních pryskyřic. Skelná vata se používá nejen jako tepelná izolace, ale také jako izolace akustická. Výhodou oproti tepelnému izolantu z kamenných vláken má skelná vata lepší pružnost, teplotní a chemickou odolnost [19].

3.1 Výroba minerální (kamenné) vlny

Kamenná neboli čedičová vlna se vyrábí ze směsi, která je primárně složena z těchto výchozích surovin: čedič, struska a vulkanický diabas. Vstupní suroviny budou v následujících obrázcích ukázány.



Obr. č. 1 – Čedič ve skladovacím uložení



Obr. č. 2 – Struska ve skladovacím uložení

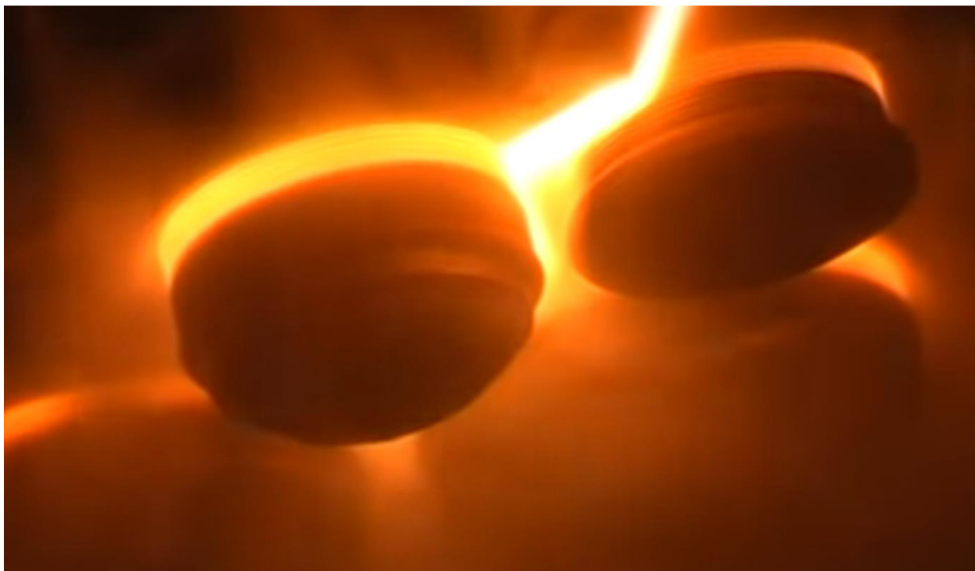
Z výše uvedených surovin se připraví směs v předem stanovených poměrech. Do surovinové směsi se pro korekci minerálů přidávají brikety složené z bauxitu, cementu a minerální vaty. Brikety dále napomáhají tomu, aby kupolová pec mohla přirozeně fungovat. Pokud by se tavily pouze horniny, mohlo by dojít k ucpání pece v rámci frakce vstupních surovin. Výsledkem by bylo vynaložení větší množství tepelné energie potřebné k roztavení vstupní směsi. O briketách, jak se vyrábí, proč se vyrábí a z čeho se vyrábí bude pojednáno níže [20].

Dávkování surovinové směsi probíhá za pomoci jeřábu, který je situován mezi skládkami kameniv a pomocí lžice přemísťuje uložené suroviny. Surovinová směs o předem daných vlastnostech a odměřených poměrech se taví za pomoci koksu (viz obr. č. 3) v tzv. kupolové neboli šachtové peci při teplotách okolo 1400–1 500 °C [21].



Obr. č. 3 - Koks

Roztavený materiál (má vysokou viskozitu) vytéká z pece. Tato hmota se v praxi nazývá tzv. „láva“. Láva následně teče přes chlazený žlábek, který směřuje na rozvlákňovací zařízení – rozvlákňovací kotouče – čtyři proti sobě jdoucí válce.



Obr. č. 4 - Rozvlákňovací zařízení [61]

Tavenina se přivádí na rozvlákňovací kotouče, na kterých jsou umístěna vysoko otáčivá vřetena s kotouči chlazenými vodou. Na jejich povrchu dochází pomocí odstředivé síly k tvorbě vláken. Vlivem odstředivé síly se kapičky taveniny v proudu

ofukovacího vzduchu přeměňují v jemné vlákna. Rozvlákňovací stroj je zabudován na kolejkách, aby byla možná manipulace s přístrojem v případě potřeby přemístění z místa pod pecí. Kotouče se relativně rychle opotřebovávají a jejich výměna probíhá cca jednou za dva dny. Jednou za dvanáct hodin probíhá „odpich“ pece, při tomto procesu se pomocí žárovzdorné hmoty ucpe výtok z pece a nastává chlazení pece a rozvlákňovacího přístroje. Pracovní proces výroby minerální vlny je nepřetržitý [21] [22].

Chladné kapičky, které se již nemohou přeměnit na vlákno odlétají od kotoučů jako drobná zrnka, tzv. „granálie“. Vzniklá vlákna jsou vytažena pomocí proudu vzduchu a dopravena do usazovacího bubnu. Smočená vlákna jsou transportována do usazovací komory. Usazovací část je tvořena otočným bubnem velkého průměru, kde dochází k usazování vláken do koberce o požadované tloušťce. Na obvodu bubnu se nachází dvě části, které jsou uzavíratelné válci. Pro správné usazení je v bubnu vytvořen podtlak. Přítomný vysokotlaký vzduch umožňuje nadzvednutí koberce v místě, kde opouští usazovací část. V bubnu se rovněž nachází soustava dopravníků, které odvádí odpad z bubnu. Dále se zde nachází čistící vodní a kartáčový systém. Během této dopravy jsou vlákna obalena pojivem, které je přiváděno pomocí trysek umístěných okolo kotoučů. Vlákna jsou po rozvláknění skrápěna vodním roztokem (většinou na bázi fenol formaldehydového roztoku), vodoodpudivými přísadami (hydrofobizačním, silikonovým olejem), protiplísňovými a dalšími přísadami. Všechny tyto přísady zajišťují vyšší stabilitu a odolnost vláken proti vodě [23] [24].



Obr. č. 5 – Doprava minerální vlny z usazovacího bubnu [61]

Minerální koberec je po opuštění usazovacího bubnu veden vodorovnými dopravníky do zařízení, které se slangově nazývá tzv. „pendl“. Kyvné zařízení neboli dva proti sobě jdoucí vertikální pásové dopravníky, které konají horizontální kmitající pohyb o dané frekvenci. „Pendl“ vrství vytvořenou minerální izolační vlnu rovnoměrně na ukládací dopravník na požadovanou tloušťku a objemovou hmotnost výrobku [25].



Obr. č. 6 – Vytvořený koberec po vrstvení minerální za pomoci „pendlovacího zařízení“ [61]

Na finální vlastnosti koresponduje množství uložené minerální vlny. Takto vytvořený koberec je průběžně vážen na tenzometrických vahách, které jsou umístěny na dopravnících. Dále koberec putuje do kreповacího zařízení. Po dobu cesty jsou po stranách „plechové mantinely“, které udržují minerální vlnu na pásovém dopravníku. Pod kyvným systémem se nachází dva válce, které v případě přetažení šířky koberce zavedou minerální vlnu zpět na pás do výrobního koberce. Po každé straně výrobního pásu je jeden válec, který je vzdálen od kyvného zařízení cca 1-2 m [26].



Obr. č. 7 - Kreповací zařízení [61]

V kreповacím zařízení (viz. obr. č. 6) dochází ke stlačení minerální vlny na požadovanou tloušťku. Komprimační (kreповací) zařízení je tvořeno systémem horních a spodních pásových a válečkových dopravníků mezi kterými dochází ke stlačení koberce na požadovaný rozměr. Vlivem rozdílných rychlostí jednotlivých dopravníků lze pomocí stlačení a orientaci vláken koberce dosahovat požadovaných mechanických vlastností výrobku. Pomocí kreповacího zařízení měníme objemovou hmotnost a další mechanické vlastnosti [26].

Po stlačení minerální vlny na požadovanou tloušťku, je koberec dopravován pomocí pásového dopravníku do polykondenzační komory.



Obr. č. 8 – Tvrđící komora [61]

Tato cca 30 m dlouhá komora se využívá k vytvrzení pojiva v minerálním koberci vlny. Po vytvrzení dostává výrobek rozměrovou stálost a požadované vlastnosti. Po vytvrzení koberec a po vychlazení, které rovněž probíhá v polykondenzační komoře se koberec v nekonečném provedení posouvá pomocí válečkových dopravníků do řezací stanice [27] [28].



Obr. č. 9 – Minerální koberec po vytvrzení z tvrdící komory [61]

Na trase do řezací stanice je koberec kontrolován. Nejdříve zespodu pomocí zrcadel, která jsou instalována pod válečkovým dopravníkem. Je označena nevytvrzená pryskyřice, spečeniny, případně jiné defekty materiálu. Další kontrola probíhá z místa nad kobercem. I zde se kontrolují spáleniny, nevytvrzená pryskyřice nebo jiné vady. Všechny tyto vady se označují lepícími barevnými lístečky. Řezací stanice se skládá ze šesti podélných diamantových kotoučových pil a jedné příčné

kotoučové pily. Podélné kotoučové pily umožňují nastavení řezaného rozměru, lze je přednastavit po šířce linky. Každá pila je vybavena odsávacím krytem s napojením na odsávací systém.

Za pilami jsou drtiče okrajů, které drtí odřezaný okraj minerálního koberce a odvádí odřezky k dalšímu využití. Odřezky se většinou vrací k recyklaci zpět do procesu výroby do místa usazovacího bubnu. Zde se v daných poměrech mísí odřezky s novými vlákny a opět se celý cyklus opakuje.



Obr. č. 10 – Ukázka odřezání okrajů [61]

Z řezací linky je koberec – materiál dopravován pomocí válečkových dopravníků do přepravovacího zařízení, kde jsou jednotlivé kusy zhotovených desek vrstveny na sebe, dle požadované šířky (výšky) a dle typu materiálu [27].

Na další cestě po pásových dopravnících se nachází vizuální kontrola, která sleduje různé defekty či nalepené papírky s vadami z předchozích kontrol. Výrobek s defektem či vadou se po vyhodnocení buď vrací zpět do výroby. Při navrácení se do výroby se výrobek veze zpět k drtící lince, kde se rozřeže a vsune se do drtiče. Zde jsou desky opět rozdrnceny na vlákna. Tato vlákna se dále používají k recyklaci.

Kvalitativně vyhovující výrobek putuje po další dopravní trase do balící linky, kde se zabalí do PE fólie. Na zabalený produkt se následně nalepí identifikační číslo, na kterém se nachází informace o výrobku. Na štítku se většinou nachází, typ materiálu, datum výroby, případně další specifikace. Zabalený produkt je následně uložen ve skladu.



Obr. č. 11 – Zabalený minerální výrobek do PE fólie

3.2 Suroviny

Vstupními základními surovinami pro výrobu minerální vlny je čedič, struska a diabas. K těmto horninám se přidávají brikety, které se podílí na cca 30 % vstupní vsázky. Do již rozvlákněných vláken se přidávají různá pojiva a impregnační oleje, které zajistí vyšší stabilitu výrobku [29].

3.2.1 Čedič

Čedič neboli bazalt je nejhojněji se vyskytující se výlevná magmatická hornina. Vznikla při sopečné činnosti. Čedič je jednou z hlavních vstupních surovin při výrobě kamenné vlny. Minerální složení čediče je bazický plagioklas + augit + olivín, někdy bývá zastoupeno i sklo. Chemické složení je závislé na lokalitě naleziště. Základní chemické složení čediče se převážně skládá z: SiO_2 , Al_2O_3 , dále také obsahuje menší

množství FeO, MgO, CaO a Na₂O. Hornina nemá v sobě obsažen křemen, případně může obsahovat do 5 % křemene, nicméně obsahuje sodno-vápenčové živce. Struktura čediče je porfyrická nebo sklovitá. Tato tmavá hornina může mít texturu buď proudovitou či všesměrnou. Čedič vzniká utuhnutím lávy nebo bazického magmatu, který se nachází relativně blízko zemského povrchu. Čedič je zbarven do tmavě šedé až černé barvy, místy může obsahovat i hnědý či červený odstín. Pokud čedič zvětrá, tak jeho barva je spíše šedá. Tuto horninu je obtížné opracovávat, proto se z ní obvykle nevyrábí obklady ani dlažby. Můžeme ho využít pro svrchní komunikaci či na čedičové dlaždice neboli kostky. Čedič je charakterizován jemnozrnnou stavbou, která vzniká rychlým utuhnutím lávy na povrchu planety. Pokud je čedič umístěn na skalách, většinou tvoří sloupcovou odlučnost, která vznikla v důsledku smršťování horniny při chladnutí lávy. Hlavním střediskem těžby čediče jsou pohoří sopečného původu, jako je např. České středohoří, Lužické hory nebo Doupovské hory. Dále se čedič využívá jako stavební kámen, na štěrk, na kamenivo, je součástí betonů i směsí při výstavbě silnic. Čedič se taví při teplotách kolem 1300 °C. Čedič se dále používá ve slévárnách, vyrábí se z něho dlažby, žlaby, otěruvzdorná potrubí, nebo otěruvzdorné vložky do těchto potrubí. Pokud bychom čedičovou taveninu rozvláknili, vznikají vysoce pevná a ohebná vlákna, která mají velice dobré fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti [30] [31] [32] [33].

3.2.2 Struska

Přírodní struska vzniká při vulkanické činnosti. V průmyslu se však využívají umělé strusky, které se získávají jako vedlejší produkt z mnoha termických a spalovacích průmyslových procesů. Tento hrubozrnný materiál je převážně černého zbarvení s ostrými hranami a skelným leskem na povrchu horniny. Základní chemické složení strusky můžeme vyjádřit pomocí těchto dominantních oxidů: SiO₂, FeO, CaO, MgO a K₂O. Strusky jsou různé. Mohou být vyráběny z různých zpracování, či výroben. Máme metalurgické strusky, vysokopecní strusky (těmto to se budu věnovat nejvíce), dále ocelářské strusky, slévárenské strusky, struska indukčních elektrických pecí, odsiřovací strusky, vulkanické strusky a další. Při výrobě železa ve

vysokých pecích vzniká vysokopecní struska z odpadové taveniny. Pokud tento materiál zchladne pomalu na vzduchu, vznikne hydraulicky neaktivní materiál, který je objemově stálý, následně se podrtí a roztřídí do požadovaných frakcí a využívá se jako zásypový materiál na stavbách pozemních komunikací. V minulosti se používal převážně na Ostravsku jako umělé kamenivo pro výrobu betonu. Z železářského průmyslu máme dva typy strusek – dýmařskou a vysokopecní strusku. Struska z dýmařské pece má vyšší obsah kovové složky a nižší obsah vápníku. Vysokopecní struska má nižší obsah kovové složky a vyšší obsah vápníku. Na vápník jsou dále navázány další prvky, síra a hliník. Z minerálního hlediska se vysokopecní struska skládá hlavně z wollastonitu, forsteritu, merwinitu a stopy železa [34].

Struska je charakterizovaná jako pevný nekovový doprovodný výrobek hutní výroby, který vzniká při tavení hlušin rudy, přísad struskotvorných látek a minerálních podílů z pevných paliv. Struska se využívá v mnoha odvětví průmyslu, primárně se však využívá ve stavebnictví. Vysokopecní struska se využívá k výrobě fosfátového vápna (je zapotřebí k tomu mít strusku se zbytky fosforu), pokud je struska znečištěna nežádoucí příměsí síry, je třeba ji oddělit. Oddělení se provádí pomocí chemické reakce, kdy se do taveniny strusky přidá karbid vápníku. Strusku lze využít v dopravní a inženýrské výstavbě jako součást stabilních podkladů vozovek nebo jako složka při budování podkladových vrstev, výstavby násypů, zásypů a obsypů či jako posypový materiál pro zimní údržbu komunikací. Dále se používá jako lehčené kamenivo, kdy se tavenina strusky rychle zchladí ve vodním žlabu, aby měla co nejvíce amorfní strukturu. Vysokopecní struska se používá při výrobě cementu a jako příměs do betonu. Pro výrobu minerální vlny se využívá struska s vyšším obsahem MgO, nerozpadá se a zpracovává se jako kamenivo [34] [35].

3.2.3 Diabas

Tato hornina nese více názvů, např.: dolerit, mikrogabro avšak nejvíce známý je pod názvem diabas. Vulkanický diabas je bazická intruzivní magmatická hornina, která má na povrchu zrnitou strukturu a tmavou barvu. Mikrogabro je tmavě

zbarven kvůli obsahu amfibolu a biolitu. Jeho složení se převážně skládá z minerálů skupiny živců – bazických plagioklasů (62 %), hlavně anortitu až labradoritu a z monoklinických pyroxenů, hlavní je augit (20–29 %). Taktéž by mohl obsahovat olivín (3–12 %) nebo křemen do 5 %. Chemické složení diabasu je závislé na lokalitě naleziště. Základní chemické složení diabasu se skládá z těchto oxidů: SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO , MgO , TiO_2 , Na_2O , K_2O . Diabas se využívá jako kvalitní kamenivo do silničních konstrukcí a jiných staveb. Mikrogabro se těží v lomech, drtí se a následně třídí na požadované frakce kameniva. Je to velice pevný a odolný stavební kámen. Jeden z mála lomů se nachází v Českém masivu, na okraji Středočeské oblasti [36] [37].



Obr. č. 12 – Diabas – jedna ze základních vstupních surovin

3.3 Druhotné suroviny

Stavební průmysl produkuje velké množství odpadu, které se dají z větší části recyklovat. Přesto se tyto odpady dnes v ČR převážně skládkují, což se firmám zatím z ekonomického hlediska vyplácí. Toto řešení je však krátkozraké, neboť nejenomže dochází k poškozování životního prostředí, ale rovněž nenávratně ubývá primárních surovin. Při tom např.: písek, štěrk, kamenivo, zásypový a podkladní materiál lze získat z tzv. odpadu – drcení betonových prvků, z demolovaných objektů apod [38].

Při výrobě různých stavebních materiálů se dbá na to, aby se do ovzduší uvolňovalo a produkovalo co nejméně CO_2 . Této myšlence jde naproti recyklace.

Recyklovat bychom měli hned z několika důvodů. Sníží se objem stavebního odpadu na legálních, ale i nelegálních skládkách. Sníží se množství prvotních surovin. Již nepoužitelný stavební odpad musí být ukládán na řízených skládkách, zdravotně rizikový materiál musí být řízeně likvidován [38].

Kamenná vlna se převážně recykluje přímo ve výrobních závodech. Největším produktem při recyklaci jsou tzv. odřezky z formátování desek, které jsou následně drceny a přidávány k primárnímu vláknu. Dále se recyklují desky z výroby, které nevyhovují výsledným technickým požadavkům (spáleniny, nevytvrzená pryskyřice, nepřesný rozměr atd.). Tyto desky se recyklují pomocí drtiče. Zmíněná recyklace má suchá minerální vlákna, avšak nalezneme i mokrá vlákna, které se získávají z filtračních komor, které se používají k čištění ovzduší z výrobního procesu. Do filtračních komor se usazují minerální desky (1,0 × 0,5 m), na kterých se zachytávají nečistoty z výroby. Výměna těchto desek probíhá cca jednou až dvakrát za týden. Při výměně se tyto desky kropí vodou a následně se využijí k recyklaci [39].

Odpad z výroby kamenné vlny se skládá ze dvou složek. První složkou jsou chomáče minerální vlny o různých velikostech a tvarech. Druhou složkou je tzv. minerální písek, který má v sobě obsaženy větší či menší „kamínky“ tzv. granálie z čedičového skla. Na tyto dva odpady byly již provedeny recyklační studie. Odpady se využívají k samonivelačním směsím, tenkostěnným vláknobetonovým prvkům (granálie). Při výrobě tenkovrstvých betonových tvarovek se využívají chomáče z minerální vlny i granálie [42]. Odpad z výroby minerální vlny se využívá i v jiných průmyslových odvětvích – např.: v cementářském průmyslu, při výrobě keramiky, v kompozitech na bázi dřeva v kombinaci s dřevním odpadem. Používá se i jako plnivo v kompozitech na bázi cementu či sádry nebo při výrobě žárobetonu [40] [41].

3.3.1.1 Výroba briket

Nahrazení primárních surovin briketami je ekonomicky výhodné, jelikož snižuje spotřebu energie na tavení vsázky. Vstupními surovinami pro výrobu briket

jsou – bauxit malých frakcí – 0 až 2 mm (viz obr. č. 14), cement, voda a recyklovaná vata (odpad) – suchá a mokrá [41] [43].



Obr. č. 13 - Bauxit

Odpadní materiál lze recyklovat přetavením v kupolové peci za předpokladu, že je aglomerován na vhodnou velikost. Za tímto účelem se začalo experimentovat s tabletováním neboli briketováním s použitím organických, anorganických či směsných pojiv. Při výrobě briket se odpad a další suroviny melou na homogenní hmotu, která se dále mísí s cementem, vodou a následně se v hydraulickém lisu formuje do tvaru briket (viz obr. č. 14) [43] [45]. Výroba briket je přínosná



Obr. č. 14 - Briketa

pro životní prostředí, jelikož snižuje poptávku po primárních surovinách včetně související dopravy, snižuje potřebu skládkování a snižuje emise CO₂ [44].

4 Klíčové vlastnosti minerální vlny

Mezi klíčové vlastnosti minerální vlny lze zařadit její vysokou tepelnou odolnost, nízkou tepelnou vodivost, třída reakce na oheň A1/A2, odolnost proti plísním a hmyzu a relativně snadnou instalaci. Dále má další specifické vlastnosti, na které odkazuje norma ČSN EN 14 303 – Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace, a které musí její výrobci při uvádění na trh deklarovat [18].

Tab. č. 1 - Typy zkoušek minerální vlny dle výrokové normy ČSN EN 14 303

TYPY ZKOUŠEK MINERÁLNÍ VLNY DLE VÝROBKOVÉ NORMY ČSN EN 14 303	
TEPELNÝ ODPOR A SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI	
ROZMĚRY A TOLERANCE	DÉLKA
	ŠÍŘKA
	TLOUŠŤKA
	VNITŘNÍ PRŮMĚR
	ROVNOMĚRNOST TLOUŠŤKY
	PRAVOÚHLOST
ROZMĚROVÁ STABILITA ZA URČENÝCH TEPLOTNÍCH A VLHKOSTNÍCH PODMÍNEK	
TŘÍDA REAKCE NA OHEŇ	
NEJVYŠŠÍ PROVOZNÍ TEPLOTA	
NAPĚTÍ V TLAKU NEBO PEVNOST V TLAKU	
NASÁKAVOST	
DIFUZNÍ ODPOR	

4.1 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti λ udává schopnost materiálů vést teplo. Teplo se přenáší z teplejší části konstrukce do její chladnější části. Jednotkou součinitele tepelné vodivosti je W/(m·K) [18].

Součinitel tepelné vodivosti se stanoví na základě měření prováděných dle EN 12 667 nebo EN 12 939 pro výrobky s velkou tloušťkou. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti stanoví výrobce tepelně izolačního materiálu a ověřuje v souladu s EN ISO 13 787. Pokud si to materiál „žádá“, musí být zkušební vzorky před zahájením měřením podrobeny stárnutí. Kooperativně lze použít korekční faktor stárnutí [48].

U rovinných vzorků musí být teplotní rozdíl mezi teplým a studeným povrchem nejméně 10 K. Aby byla přesnost co největší, je zapotřebí zvolit správný teplotní rozdíl. Stanovení součinitele tepelné vodivosti se nejčastěji provádí při střední teplotě +10 °C a teplotním spádu 10 K jako $\lambda_{10, dry}$ [W/(m·K)] (pokud je vzorek vysušený). Zkouška se provádí na třech různých vzorkových jednotkách. Pro stanovení součinitele tepelné vodivosti se nejčastěji využívají metody desky, a to jednak metoda chráněné teplé desky (dle ISO 8302) nebo metoda měřidla tepelného toku (dle ISO 8301). Naměřená hodnota se vyjadřuje na tři platné číslice (zaokrouhuje se nahoru na 0,001 W/(m·K) [46] [47] [48].

4.2 Lineární rozměry a tloušťka

Rozměry, jako je délka l , šířka b se stanoví dle normy ČSN EN 12085: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles. Tloušťka d u tepelně izolačních výrobků, které mají tvar desek, lamel, rohoží, matrací, prošíváných rohoží, rolí a rohoží na pletivu se stanoví dle normy ČSN EN 823: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky. Zkušební těleso by mělo být umístěno nejméně 6 hodin v místnosti při teplotě (23 ± 5) °C. V případě sporu musí být zkušební vzorek uložen při teplotě (23 ± 2) °C a relativní vlhkosti vzduchu (50 ± 5) %. Doba uložení se zvolí dle příslušné normy. Zkušební vzorek se musí umístit na rovinný povrch (nejlépe laboratorní stůl) a pomocí kovového pravítka se provádí měření lineárního hlavního povrchu zkušebního tělesa l , a rozměr b se změří kolmo k délce l . Na kovovém pravítku musí být možnost odečítání na 0,5 mm. Lze použít i alternativní zařízení, kterým zajistíme

výsledky se shodnou přesností. Všechny rozměry musí být odečteny na nejbližší milimetr [49].

Třetí rozměr, tloušťka d , je měřen kolmo k délce l a šířce b lineární plochy. Měření může probíhat buď na číselníkovém úchylkoměru s přesností měření nejméně 0,5 mm či na přítlačné desce, která je ve tvaru čtverce o straně 200 mm. Tato deska musí na zkoušený prvek působit tlakem $(50 \pm 1,5)$ Pa nebo (250 ± 5) Pa včetně síly vyvolané úchylkoměrem. Tlak se volí dle příslušné výrokové normy [50].

4.3 Třída Reakce na oheň

Výrobek z minerální vlny, který je uváděn na prodejní trh, musí být stanoven dle ČSN EN 13501-1 [18].

4.4 Stárnutí/degradace dle normy ČSN EN 14 303

4.4.1 Stálost třídy reakce na oheň při stárnutí/degradaci a vysoké teplotě

Vlastnosti třídy reakce na oheň výrobku z minerální vlny se nemění v čase, ani při vystavení maximální provozní teplotě [18].

4.4.2 Stálost tepelného odporu při stárnutí/degradaci/při vysoké teplotě

U výrobku z minerální vlny se součinitel tepelné vodivosti se s časem nemění [18].

4.4.3 Mechanické vlastnosti při stárnutí/degradaci

Mechanickými vlastnostmi při stárnutí výrobku z minerální vlny se norma nezabývá.

5 Životnost izolačních materiálů ve stavebních konstrukcích a faktory, které je ovlivňují

Tepelně izolační materiály mohou být v konstrukci zatíženy mechanickým zatížením, zvýšenou teplotou, zvýšenou vlhkostí a dalšími typy zatížení (např. povětrnostními vlivy – UV záření, mráz, vítr apod).

5.1 Zatížení tepelně izolačního materiálu mechanickými silami

Mechanické zatížení působí na tepelný izolant ve vodorovných, ale i šikmých a svislých konstrukcích. V těchto konstrukcích je tepelný izolant zatížen trvalou tlakovou silou, která vzniká působením dalších konstrukčních vrstev, které byly aplikovány nad tepelnou izolací. Mezi nahodilé zatížení patří pohyb osob, povětrnostní vlivy (zatížení sněhem). Dalšími zatíženími jsou různá technická zřízení, jako např. solární či fotovoltaické panely, vzduchotechnické potrubí, vyústění odvětrávacích hlavic kanalizace apod. Z těchto důvodů se zkouší pevnost v tlaku (napětí při 10 % deformaci) na tepelně izolačních materiálech. Tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN 826. Působením tlakové síly se tepelně izolační materiál „dotvarovává“ – mění svoji tloušťku. Nicméně hlavním kritériem je časový úsek zatížení. „Dotvarování“ nastává nejčastěji u dřevovláknitých desek. K zabránění tohoto jevu, lze předcházet výběrem tepelně izolačního materiálu, který odolává tlakovému zatížení. Mezi takovéto materiály se řadí např. minerální vlna (vyšších objemových hmotností), pěnové sklo, extrudovaný polystyren apod [54].

Svislé konstrukce (fasády) jsou zatíženy vlastní tíhou materiálu, tj. tlakovou a smykovou silou, dále i silou tahovou (povětrnostní vlivy – vítr, déšť atd.). Přísnější požadavky na vyšší hodnotu tepelného odporu konstrukcí jsou řešeny většinou zvyšováním tloušťky tepelně izolačních materiálů. U stávajících, již zateplených objektů, se většinou přidává další vrstva tepelného izolantu. U novostaveb jsou navrhovány nové konstrukční materiály s vysokým tepelným odporem.

„Trend“ zvyšování tloušťky tepelného izolantu má i negativní dopad, a to hlavně na mechanické zatížení konstrukce – tahové a smykové namáhání tepelného izolantu. Toto řešení vyžaduje posouzení tepelného izolantu na pevnost v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN 1607, provedení zkoušky pevnosti ve smyku dle ČSN EN 12090 a další druhy zkoušek, které jsou uvedeny v ČSN EN 13160. Velká tloušťka tepelného izolantu, následně zvyšuje rameno, které vytváří moment zatížení. S rostoucí tloušťkou tepelného izolantu, roste i smyková síla. S přibývajícím výškou objektu, stoupá velikost tahové síly, která převážně vzniká při sání větru na fasádě. K eliminaci velkých tahových a smykových sil v rámci systému ETICS se aplikují speciální hmoždinky, převážně pro minerální vlnu. K tepelné izolaci svislé konstrukce lze použít minerální vlnu nebo pěnový polystyren (EPS) atd [55] [57].

5.2 Zatížení tepelně izolačního materiálu zvýšenou teplotou

Zatížení zvýšenou teplotou působí nejčastěji na fasády a střechy. Jako příklad zatížení zvýšenou teplotou můžeme uvést vzestup teploty obvodového pláště vlivem slunečního záření. Teplota může na fasádě dosahovat v extrémních dnech až kolem 80 °C. Zvýšenou teplotou je myšlena teplota, která je vyšší než běžná laboratorní teplota (při které se stanovují vlastnosti izolačních materiálů: +23 °C). Zatížení zvýšenou teplotou probíhá „relativně“ každý den vlivem slunečního svitu. Obecně teplota urychluje chemické reakce, jak v dobrém slova smyslu, tak i v tom negativním. Zde platí, čím vyšší teplota, tím rychleji probíhá reakce. Největší problém se nachází u těkavých látek v tepelných izolantech. Příkladem může být polyuretanová pěna. Při zatížení zvýšenou teplotou může u PUR pěny docházet k odpařování nadouvadla a tím i ke změně vlastnosti [56].

5.3 Zatížení tepelně izolační vlhkostní izolačního materiálu

Vůči vlhkostnímu zatížení se navrhuje hydroizolace. Ty se navrhuje tak, aby bylo zabráněno pronikání vody do chráněných konstrukcí. Voda může na konstrukci působit ve třech skupenstvích – plynném (vodní pára), kapalném (voda), pevném (led, sníh). Hydrofyzikální namáhání lze klasifikovat dle normy ČSN 73 0600 typy zatížení

– namáhání vodní parou, namáhání vlhkostí pórovitého prostředí, namáhání vodou stékající po povrchu konstrukci, namáhání vodní prosakující horninovým prostředím, namáhání tlakovou vodou a namáhání vodou v pevném skupenství. Hydroizolace staveb musí odolávat působícímu zatížení, do té míry, aby nedošlo ke ztrátě funkcí [58].

Vlivem povětrnostních vlivů může stavební konstrukci zatěžovat i vlhkost. Vlhkost v konstrukci můžeme najít v kapalně formě (voda), ale i v plynné formě (vodní pára – vlhkost). Voda může působit na materiál různými způsoby. Vlivem vody, která je v blízkosti tepelného izolantu nebo dojde ke kontaktu materiálu a vody a následně voda pronikne do materiálu, kde se mohou změnit vlastnosti materiálu či může nastat degradace materiálu. Z tohoto hlediska je důležité zjistit, zda daný tepelně izolační materiál je nasákavý či nenasákavý. V případě, že materiál je nasákavý, jsou vlivem vlhkostního namáhání ovlivněny jeho klíčové vlastnosti, případně životnost daného materiálu. Se zvýšenou vlhkostí nastávají rychlejší reakce. V případě zateplení konstrukce, která odolává povětrnostním vlivům lze použít extrudovaný polystyren. XPS má uzavřené póry, z tohoto hlediska lze říct, že je skoro nenasákavý. Tento tepelně izolační materiál má využití, i co se týče hydroizolace [59].

5.4 Návrh metodiky studia změny vlastností minerální vlny vlivem působení teploty a vlhkosti

Objevují se zprávy, a i přímo výrobci zjišťují, že minerální vlna v čase vlivem okolních zatížení (tepelně vlhkostního) mění své mechanické vlastnosti. Avšak ve výrobní normě pro minerální vlnu není definována žádná zkouška nebo metodika, na základě, níž by bylo možné případnou změnu mechanických vlastností minerální vlny, při tepelně vlhkostním působení, posoudit. Proto byla tato metodika navržena.

Právě z tohoto důvodu byla navržena následná metodika, která by sledovala degradaci mechanických vlastností minerální vlny. Metodika byla navržena tak, aby

ověřovala mechanické, ale i jiné klíčové vlastnosti u výrobků po jejich výrobě, a také i v průběhu stárnutí těchto výrobků. Byla navržena na základě normy ČSN EN 1604: Stanovení rozměrové stability za určitých teplotních a vlhkostních podmínek. Jaký dopad, má který z vybraných typů zatěžovacího prostředí. Avšak, je otázkou, jaký typ prostředí na případnou degradaci působí. Bližším návrhem této metodiky, jejím ověřením a optimalizací se zabývá praktická část této práce [60].

PRAKTICKÁ ČÁST

6 Cíl práce

Cílem práce bude zmapovat tepelně vlhkostního zatížení pro jednotlivé typické aplikace minerální vlny v konstrukcích a navrhnout optimální metodiku pro zkoušení trvanlivosti minerální vlny z pohledu změny funkčních vlastností v čase (především mechanických vlastností). Tato metodika není popsána ve výrobní normě a předpokládá se obecně, že funkční vlastnosti minerální vlny jsou ovlivněny pouze případnou změnou tloušťky izolantu a jeho objemové hmotnosti (ty se mohou měnit v čase především zatížením izolantu v konstrukci a jeho případným sesedáním). V praktické části práce bude cílem ověřit prakticky navrženou metodiku na reálných vzorcích minerální vlny různého složení pro různé typy tepelně vlhkostního zatěžování.

7 Metodika práce

Na základě provedené rešerše, která se zabývala typy zatížení tepelně izolačních materiálů v konstrukcích byla následně navržena metodika (viz kapitola 5). Dle této rešerše, nebudeme-li brát v potaz mechanické zatížení, působí na tepelně izolační materiál i teplota a vlhkost. Z pohledu třídy reakce na oheň a součinitele tepelné vodivosti se tyto vlastnosti dle příslušné výrobní normy ČSN EN 14 303 nemění s časem, ani při vystavení nejvyšší provozní teplotě. vlivem degradace za zvýšené teploty neposuzují [18]. V rámci odborné veřejnosti se objevují názory, včetně komunity výrobců, že minerální vlna vlivem okolních zatížení mění své mechanické vlastnosti v čase. Avšak v žádné normě nejsou uvedeny zkušební postupy na stanovení trvanlivosti mechanických vlastností. Z toho důvodu jsem v rámci své bakalářské práce provedl ověření změny mechanických vlastností na základě degradace. V praxi se zjišťuje, že minerální vlna mění v čase vlastnosti, ale je k tomu velmi málo článků a další literatury.

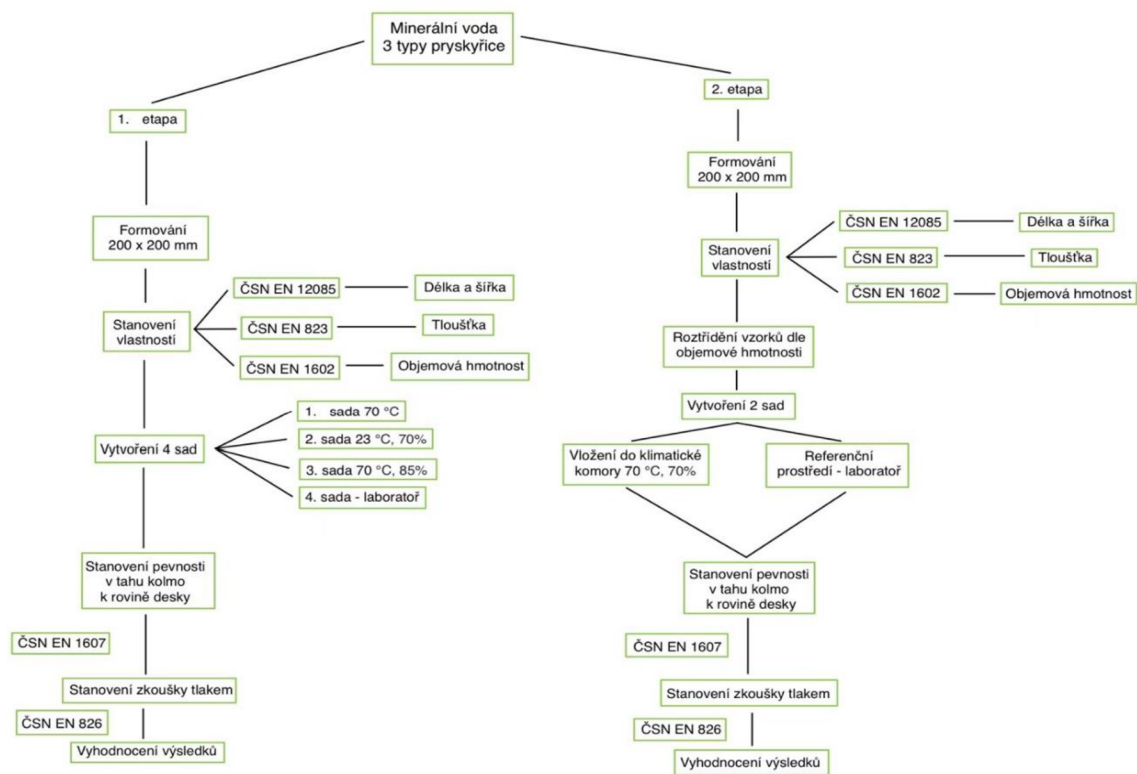
Byly vybrány tři druhy minerální vlny o shodné objemové hmotnosti 150 kg/m³ určené pro mechanicky zatížené aplikace. Rozměry tuhé minerálních desek dodaných výrobcem byly 2,0 × 1,2 × 0,06 m. Minerální vlny se lišily druhem pojiva – vysoce (A), středně (B) a nízce (C) formaldehydové pryskyřice. Tyto tři materiály měly mít prakticky shodné výrobní parametry a klíčové vlastnosti (i vlastnosti mechanické). Jednalo se však o prototypovou výrobu, proto se reálné vlastnosti mírně lišily dle typu použitého pojiva, navíc materiály nevykazovaly cílovou homogenitu, která je zajištěna při sériové výrobě (jak bylo zjištěno během provádění experimentů, a jak je i popsáno níže v textu).

Tab. č. 2 – Zvolené typy prostředí

TYP	TEPLOTA [°C]	REL. VLHKOST [%]
Prostředí I	70	50 ± 5
Prostředí II	23	70
Prostředí III	70	85
Prostředí IV	23 ± 5	50 ± 5

V rámci první etapy bylo připraveno celkem 20 zkušebních těles z každého druhu minerální vlny (celkem 60 zkušebních těles). Zkušební vzorky měly rozměr 200 × 200 mm. Následně byly zkušební vzorky rozděleny do čtyř sad. Jedna sada byla ponechána jako referenční (23 °C / 50 %) a zbylé tři sady byly podrobeny tří týdennímu cyklu v různých zatěžovacích prostředích. Každá sada vzorků byla podrobena tří týdennímu zatěžovacímu cyklu. Jelikož se neví, které prostředí má vliv na zhoršení mechanických vlastností minerální vlny, byly navrženy tři různé zatěžovací prostředí – zvýšená teplota (70 °C), zvýšená vlhkost (70 %), zvýšená teplota (70 °C) a zvýšená vlhkost (85 %). Po tří týdenním cyklu byla zkušební tělesa podrobena mechanickým zkouškám – pevnost v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN 1607 a napětí při 10 % deformaci dle ČSN 826. Bylo zjištěno, že bylo dosaženo velkého rozptylu hodnot. Následně bylo zjištěno, že velká variabilita výsledků je dána velkým rozptylem objemové hmotnosti, jelikož mechanické vlastnosti jsou závislé na objemové hmotnosti.

V rámci druhé etapy bylo připraveno velké množství zkušebních těles, které se lišily druhem pojiva. Zkušební vzorky měly rozměr 200 × 200 mm. Na základě poznatků z první etapy, kde měla objemová hmotnost vliv na výsledné výsledky byly zkušební vzorky cíleně vybírány na základě objemové hmotnosti. Výchozí hodnota objemové hmotnosti pro výběr zkušebních vzorků byla zvolena na 155 kg/m³. Z výchozí hodnoty byl vytvořen rozptyl ± 2,5 % objemové hmotnosti na každou stranu, v intervalu objemové hmotnosti 151,13 – 158,90 kg/m³. V rámci tohoto intervalu bylo vybráno 12 zkušebních těles každého druhu minerální vlny. Tímto výběrem bylo zabezpečeno srovnatelné mechanické vlastnosti. Z výsledků první etapy, kde největší vliv na degradaci minerální vlny mělo prostředí – zvýšené teploty a zvýšené vlhkosti. Bylo vybráno pouze jedno zatěžovací prostředí – zvýšená teplota a zvýšená relativní vlhkost. Pro porovnání byly provedeny shodné zkoušky na referenční sadě vzorků. Relativní vlhkost byla oproti první etapě snížena z 85 % na 70 %. Následně zkušební tělesa byla podrobena tří týdennímu zatěžovacímu cyklu. Zatěžovací prostředí bylo – zvýšená teplota (70 °C) a zvýšená relativní vlhkost (70 %). Následně po tří týdenním zatěžovacím cyklu byly zkušební tělesa podrobena mechanickým zkouškám na pevnost v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN 1607 a na pevnost tlaku (při 10 % napětí) dle ČSN EN 826.



Obr. č. 15 – Grafické znázornění metodiky práce

7.1 Formátování zkušebních vzorků

Formátování bylo provedeno z tuhých tepelně izolačních desek minerální vlny o rozměru $2,0 \times 1,2 \times 0,06$ m (viz obr. č. 17). Zkušební tělesa měla rozměr 200×200 mm. K přípravě vzorků byl použit nůž na tepelné izolace (viz obr. č. 18).



Obr. č. 17 – Přivezený zkušební materiál lišící se pryskyřicí



Obr. č. 16 – Naformátovaná zkušební tělesa o rozměru 200×200 mm

7.2 Stanovení vybraných základních vlastností tepelně izolačních materiálů

7.2.1 Stanovení délky a šířky

Zkušební vzorky byly po formátování podrobeny měření dle ČSN EN 12085: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles. Zkušební tělesa byla před provedením zkoušky uložena na více než šest hodin při teplotě $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $(50 \pm 5) \%$. Zkušební vzorek se umístil na rovinný povrch (laboratorní stůl) a následně přímým lineárním pravítkem odečetl rozměr s přesností na 0,5 mm. Případně lze vzít alternativní svinovací měřidlo s milimetrovým dělením nebo jiné zkušební zařízení, které zajistí výsledky s minimálně stejnou přesností. Délka l (delší lineární rozměr hlavního povrchu zkušebního tělesa) a šířka b (kratší lineární rozměr hlavního povrchu tělesa) byla měřena uprostřed vzorku na sobě kolmé směry a následně se zkušební vzorek otočil o 180° a stejným způsobem se změřily druhé rozměry daného zkušebního tělesa. Hodnoty byly zaokrouhleny na 0,5 mm. Následně z naměřených hodnot byly vyhodnoceny střední hodnoty rozměru zkušebního tělesa délky l a šířky b v milimetrech [49].

7.2.2 Stanovení tloušťky

Tloušťka d se rozumí jako lineární rozměr, který je měřen kolmo k délce l a šířce b hlavního povrchu tělesa. Tloušťka byla stanovena metodou s číselníkovým úchylkoměrem na přítlačné desce. Rozměr d se stanovil dle postupu normy ČSN EN 823: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky.

Zkušební tělesa byla posuzována za stejných podmínek, jako při stanovení lineárních rozměrů délky l a šířky b , tedy nejméně šest hodin uložena v prostředí při teplotě $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $(50 \pm 5) \%$. Měření probíhalo za pomoci číselníkového úchylkoměru s pravoúhlou přítlačnou deskou. Úchylkoměr s přesností nejméně 0,5 mm je uchycen na tuhém rámu, který je spojen s tuhou základní deskou pro umístění vzorku. Zkušební vzorek, který byl umístěn na tuhou základní desku,

kde přes přitlačnou čtvercovou desku působí tlak (50 ± 1) Pa, byly změřeny dvě hodnoty tloušťky d pomocí číselníkového úchylkoměru. Tloušťka byla změřena dvakrát pro každé zkoušené těleso. Následně z naměřených hodnot byla určena střední hodnota, která se následně zaokrouhlila na nejbližší milimetr [50].

7.2.3 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost ρ_v je dle normy ČSN EN 1602: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti definována jako podíl zkušební tělesa a jeho objemu [51]. Zkušební tělesa jsou opět posuzována za stejných podmínek, tedy: minimálně šest hodin uložení v prostředí při teplotě (23 ± 5) °C a relativní vlhkosti (50 ± 5) % pro dosažení konstantní hmotnosti. Lineární rozměry (délka l a šířka b) jsou stanoveny dle normy ČSN EN 12085 a tloušťka d dle ČSN EN 823. Po změření těchto rozměrů byly následně vypočítány objemy zkušebních vzorků. Hmotnost byla získána přímým měřením zkušebních těles na laboratorních vahách, s přesností na 0,5 %.

Následně se objemová hmotnost vypočte dle vztahu [51]:

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

kde:

ρ_v – objemová hmotnost [kg/m³]

m – hmotnost zkušební vzorku [g]

V – objem, který byl stanoven z lineárních rozměrů zk. tělesa [m³]

Výsledná hodnota objemové hmotnosti se zaokrouhlí na tři platné číslice.

7.3 Stanovení mechanických vlastností tepelně izolačních materiálů

7.3.1 Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky

Pevnost v tahu kolmo k rovině desky byla stanovena dle normy ČSN EN 1607: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky. Příslušná norma definuje pevnost v tahu kolmo k povrchu σ_{mt} jako největší tahovou sílu, která byla zaznamenána v průběhu tahového namáhání kolmo k povrchu výrobku. Tahové namáhání se následně vydělí plochou průřezu zkoušeného tělesa [52]. Lineární rozměry se stanoví dle normy ČSN EN 12085: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles. Zkušební těleso se za pomoci pryskyřičného nebo jiného druhu lepidla upevní mezi tuhé desky či bloky. Zkušební vzorek, který je připraven k zatěžování, se upevní do zkušebního zařízení pro tahovou zkoušku a následně se spustí vyvození tahové síly stanovenou rychlostí [52].

Pevnost v tahu σ_{mt} se stanoví dle vztahu:

$$\sigma_{mt} = \frac{F_m}{A} = \frac{F_m}{l \cdot b}$$

kde:

F_m – největší tahová síla [kN]

A – průřezová plocha zkušebního tělesa [m²]

l, b – délka, šířka zkušebního tělesa [m]

Výsledná hodnota pevnosti v tahu kolmo k rovině desky se zaokrouhlí na dvě platné číslice.

7.3.2 Stanovení zkoušky tlakem

Zkouška tlakem byla stanovena dle normy ČSN EN 826 (72 7045): Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem. Tlaková síla působí na vzorek danou rychlostí kolmo na jeho největší rovnoběžné povrchy. Pokud hodnota maximální síly odpovídá menší deformaci, než 10 %, tak se označuje jako pevnost v tlaku a udává se dosažená deformace. V druhém případě, pokud není vzorek porušen před dosažením 10 % deformace, vypočítá se napětí v tlaku při 10 % deformaci a jeho hodnota se uvede jako napětí v tlaku při 10 % deformaci [53].

Lineární rozměry se stanoví dle normy ČSN EN 12085: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles. Zkušební těleso se centricky umístí mezi rovnoběžné desky zatěžovacího přístroje. Zkušební těleso se zatíží počátečním tlakem (250 ± 5) Pa. Zkušební vzorek je následně stlačován pohyblivou deskou zatěžovacího lisu konstantní rychlostí $v = 0,1$ d za minutu. Konec zkoušky nastává při dosažení meze tečení – stanovení pevnosti v tlaku nebo při docílení poměrného stlačení 10 % - určení napětí v tlaku při 10 % deformaci [53].

Pevnost v tlaku σ_m se stanoví dle vztahu:

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

kde:

F_m – největší síla [N]

A_0 – počáteční průřez zkušebního tělesa [mm²]

Poměrné stlačení ε_m se stanoví dle vztahu:

$$\varepsilon_m = \left(\frac{X_m}{d_0} \right) \cdot 100$$

kde:

X_m – přetvoření deformace při maximální síle [mm]

d_0 – počáteční tloušťka zkušebního tělesa [mm]

Napětí při 10 % deformaci σ_{10} se stanoví dle vztahu:

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

kde:

F_{10} – charakterizuje sílu na konci smluvní elastické deformace = rovný úsek pracovního diagramu [N]

A_0 – počáteční průřez zkušební tělesa [mm²]

Výsledné naměřené hodnoty se pomocí aritmetického průměru vyjádří s přesností na tři platné číslice.

8 Výsledky a vyhodnocení práce

8.1.1 ETAPA I

Zkušební vzorky byly připraveny volným dělením velkoformátových desek o rozměru 2,0 × 1,2 m bez ohledu na konkrétní místo po ploše velkoformátové desky. Bylo celkem naformátováno 60 zkušebních těles, které se lišily druhem pojiva – vysoce (A), středně (B) a nízce (C) formaldehydové pryskyřice (tedy 20 vzorků od každého typu minerální vlny).

Následně se zkušební tělesa označila. Na označených zkušebních tělesech byly stanoveny lineární rozměry délky l a šířky b dle ČSN EN 12085 a tloušťka d dle ČSN EN 823. Z naměřených hodnot lineárních rozměrů, tloušťky zkušební tělesa a hmotnosti, byla vypočtena objemová hmotnost ρ_v dle ČSN EN 1602. Objemová hmotnost po odebrání desek byla pouze zaznamenána, ale vzorky nebyly z pohledu objemové hmotnosti tříděny nebo vyřazovány.



Obr. č. 19 – Měření tloušťky d na pomoci číselníkového úchylkoměru



Obr. č. 18 - Měření hmotnosti m na laboratorních vahách

Tab. č. 3 – Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny

DRUH PRYSKYŘICE	Měřeno dle ČSN EN 12085, ČSN EN 823 a ČSN EN 1602						
	m [g]	l [mm]	b [mm]	d [mm]	ρ_v [kg/m ³]	$\rho_{v,prům}$ [kg/m ³]	σ
A - č. 1	399,31	204,00	199,50	60,74	161,55	157,23	4,10
A - č. 2	366,9	200,00	199,00	60,88	151,42		
A - č. 3	390,96	199,50	199,50	60,82	161,51		
A - č. 4	385,16	200,00	200,00	60,95	157,99		
A - č. 5	377,63	201,00	202,00	60,53	153,67		
A - č. 6	429,45	204,50	203,50	60,87	169,55	162,57	4,67
A - č. 7	401,25	203,00	201,50	61,08	160,61		
A - č. 8	383,35	201,50	199,00	60,64	157,66		
A - č. 9	398,78	204,50	202,50	60,77	158,48		
A - č. 10	429,68	209,00	203,50	60,66	166,55		
A - č. 11	411,18	204,00	200,50	60,35	166,59	158,08	4,45
A - č. 12	386,73	199,50	201,50	60,99	157,74		
A - č. 13	381,18	202,50	200,00	60,89	154,57		
A - č. 14	384,24	203,50	200,50	60,96	154,48		
A - č. 15	388,27	203,00	200,50	60,75	157,04		
A - č. 16 (REF)	376,30	201,00	204,00	60,52	151,64	155,88	6,18
A - č. 17 (REF)	395,32	200,50	201,50	60,74	161,10		
A - č. 18 (REF)	404,30	200,50	202,00	60,82	164,13		
A - č. 19 (REF)	386,37	201,50	202,50	60,92	155,43		
A - č. 20 (REF)	366,68	201,00	203,50	60,95	147,08		

Tab. č. 4 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny

DRUH PRYSKYŘICE	Měřeno dle ČSN EN 12085, ČSN EN 823 a ČSN EN 1602						
	m [g]	l [mm]	b [mm]	d [mm]	ρ_v [kg/m ³]	$\rho_{v,prům}$ [kg/m ³]	σ
B - č. 1	445,32	200,50	204,50	62,31	174,30	162,72	7,15
B - č. 2	401,62	201,00	205,00	61,45	158,61		
B - č. 3	413,27	199,50	201,00	61,44	167,74		
B - č. 4	383,26	197,50	201,50	61,19	157,39		
B - č. 5	383,94	200,50	201,00	61,24	155,57		
B - č. 6	391,62	205,50	201,00	61,25	154,81		
B - č. 7	350,38	194,50	197,00	60,94	150,06	152,63	2,07
B - č. 8	374,33	199,50	199,50	60,85	154,56		
B - č. 9	377,83	201,50	200,50	60,94	153,46		
B - č. 10	372,62	202,00	201,50	60,93	150,26		
B - č. 11	370,29	196,00	200,50	61,30	153,71	151,33	2,86
B - č. 12	356,04	199,50	199,50	61,19	146,20		
B - č. 13	372,40	199,50	199,50	61,42	152,34		
B - č. 14	385,61	203,50	205,00	61,44	150,45		
B - č. 15	377,06	201,00	199,00	61,22	153,98		
B - č. 16 (REF)	376,00	197,50	198,50	61,07	157,05	159,01	2,28
B - č. 17 (REF)	396,82	203,50	202,00	61,19	157,76		
B - č. 18 (REF)	396,35	199,00	201,00	61,28	161,70		
B - č. 19 (REF)	400,34	200,50	199,50	61,84	161,85		
B - č. 20 (REF)	394,44	202,50	201,50	61,69	156,70		

Tab. č. 5 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny

DRUH PRYSKYŘICE	Měřeno dle ČSN EN 12085, ČSN EN 823 a ČSN EN 1602						
	m [g]	l [mm]	b [mm]	d [mm]	ρ_v [kg/m ³]	$\rho_{v,prům}$ [kg/m ³]	σ
C - č. 1	389,06	196,50	199,00	59,67	166,74	164,73	1,62
C - č. 2	387,85	199,00	198,50	59,61	164,71		
C - č. 3	393,87	198,50	202,50	59,66	164,24		
C - č. 4	390,21	197,50	200,00	59,53	165,95		
C - č. 5	373,48	198,00	195,50	59,55	162,02		
C - č. 6	392,42	202,50	201,00	59,97	160,77	162,99	3,63
C - č. 7	383,91	200,00	201,50	59,45	160,24		
C - č. 8	386,83	199,50	198,50	60,05	162,68		
C - č. 9	398,54	199,50	197,00	59,63	170,06		
C - č. 10	382,5	199,00	201,00	59,33	161,18		
C - č. 11	400,59	202,00	204,00	60,32	161,16	156,64	3,57
C - č. 12	390,31	200,50	203,00	60,46	158,61		
C - č. 13	390,64	202,00	203,00	60,63	157,12		
C - č. 14	380,17	201,00	201,00	60,38	155,84		
C - č. 15	370,7	201,50	202,00	60,54	150,44		
C - č. 16 (REF)	407,13	209,00	200,00	60,05	162,20	160,42	2,17
C - č. 17 (REF)	390,24	203,00	200,00	60,24	159,56		
C - č. 18 (REF)	392,76	201,50	198,50	60,13	163,31		
C - č. 19 (REF)	393,30	201,50	204,00	59,81	159,97		
C - č. 20 (REF)	376,29	198,50	201,00	60,04	157,08		

Dle příslušného označení byly zkušební vzorky rozděleny do čtyř sad. Každá sada zkušebních vzorků měla přidělené prostředí na základě číselného rozdělení (viz tab. č. 4).

Tab. č. 6 - Popis a uložení zkušebních vzorků v daných typech prostředí

TYP	ČÍSLO VZORKU	UMÍSTĚNÍ	TEPLOTA [°C]	REL. VLHKOST [%]
Prostředí I	1 - 5	KOMORA	70	50 ± 5
Prostředí II	6 - 10	KOMORA	23	70
Prostředí III	11 - 15	KOMORA	70	85
Prostředí IV	16 - 20	LABORATOŘ	23 ± 5	50 ± 5

Z důvodu nejistoty, které prostředí má vliv na zhoršení mechanických vlastností minerální vlny, byly navrženy tři prostředí – zvýšená teplota (70 °C), zvýšená vlhkost (70 %), zvýšená teplota (70 °C) a vlhkost (85 %). Pro referenční vzorky (ozn. REF v tabulkách) bylo prostředí s teplotou (23 ± 5) °C a relativní vlhkostí (50 ± 5) %.

Po absolvování tří týdenního zatěžovacího cyklu v klimatických komorách, byla zkušební tělesa podrobena mechanickým zkouškám – pevnost v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN 1607 a napětí při 10 % deformaci dle ČSN 826.



Obr. č. 20 - Ukázka zkušebního vzorku před proběhnutí tlakové zkoušky

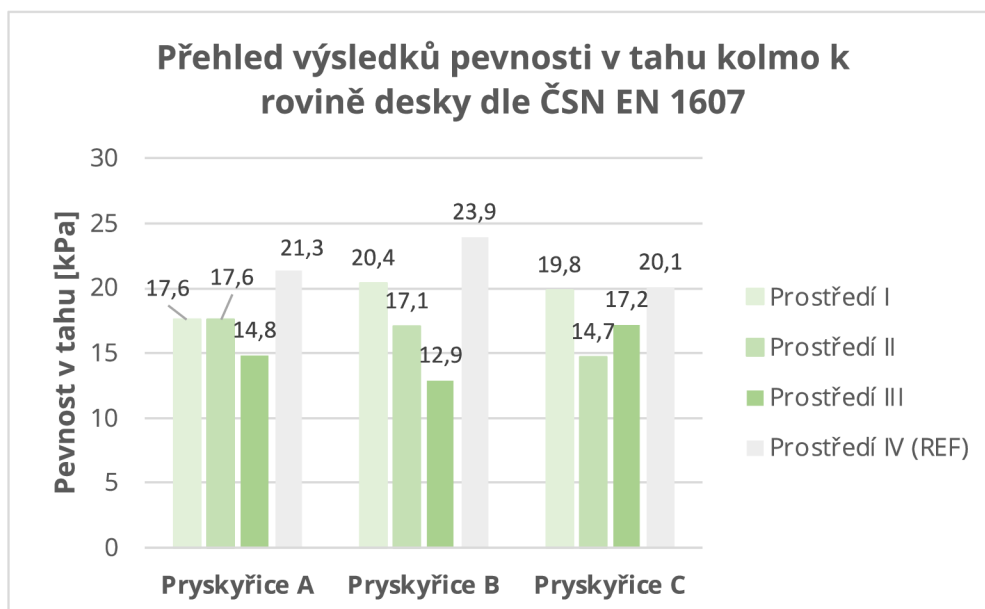


Obr. č. 21 - Upevnění zkušebního vzorku do zkušebního lisu pro stanovení pevnosti v tahu



Obr. č. 22 - Ukázka zkušebního vzorku po tahové zkoušce

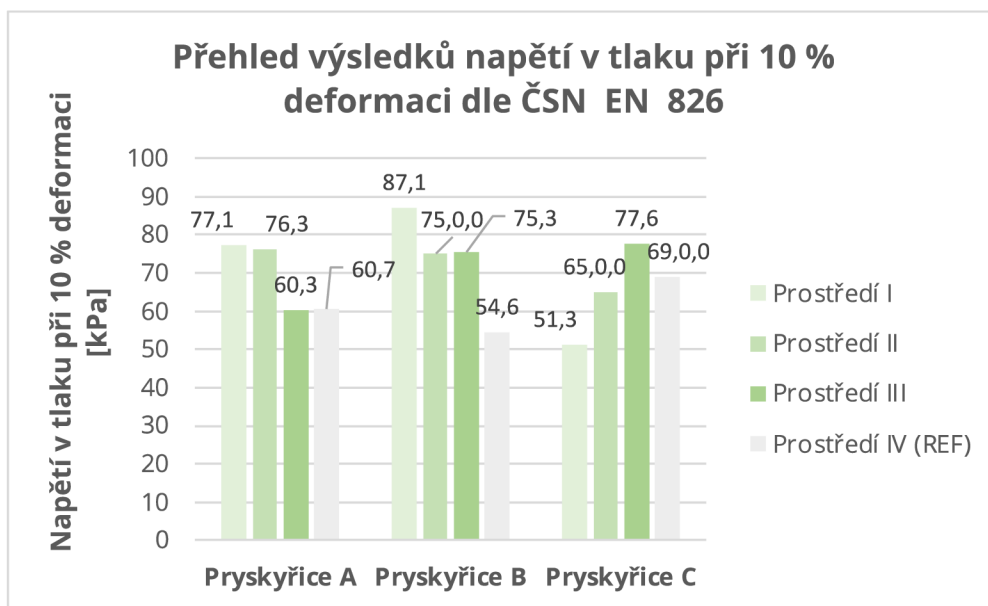
Zkouška stanovení pevnosti v tahu byla pro pět těles vlivem usmýknutí zkušebních vzorků neplatná.



Obr. č. 23 - Grafické vyhodnocení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky

Tab. č. 1 - Vyhodnocené pevnosti v tahu kolmo k rovině desky

DRUH PRYSKYŘICE	Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN1607		
	ρ_v [kg/m ³]	σ_{mt} [kPa]	$\sigma_{mt,prům}$ [kPa]
A - č. 1	161,55	23,90	17,6
A - č. 2	151,42	11,25	
A - č. 7	160,61	18,88	17,9
A - č. 8	157,66	16,31	
A - č. 9	158,48	18,57	13,0
A - č. 11	166,59	12,02	
A - č. 12	157,74	13,90	
A - č. 16 (REF)	151,64	21,49	
A - č. 19 (REF)	155,43	21,74	21,3
A - č. 24 (REF)	156,57	20,56	
B - č. 3	167,74	20,22	
B - č. 4	157,40	20,59	
B - č. 6	154,81	17,34	17,1
B - č. 8	154,56	16,94	
B - č. 11	153,71	13,47	12,9
B - č. 13	152,35	12,45	
B - č. 14	150,46	12,86	
B - č. 17 (REF)	157,77	25,06	
B - č. 19 (REF)	156,70	24,06	23,9
B - č. 20 (REF)	161,80	22,68	
C - č. 1	166,74	17,82	
C - č. 3	166,24	21,81	
C - č. 6	160,77	13,39	14,7
C - č. 8	162,68	15,84	
C - č. 9	170,06	14,84	
C - č. 11	161,17	18,66	
C - č. 12	158,61	17,00	
C - č. 13	167,14	15,87	
C - č. 16 (REF)	162,21	21,34	
C - č. 19 (REF)	159,99	18,77	18,7



Obr. č. 24 - Grafické vyhodnocení výsledků napětí v tlaku při 10 % deformaci

Tab. č. 2 - Přehled výsledků napětí v tlaku při 10 % deformaci

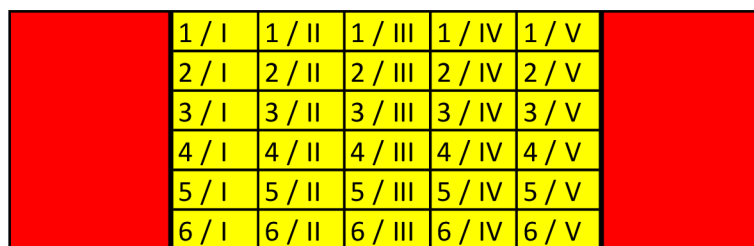
DRUH PRYSKYŘICE	Stanovení zkoušky tlakem 10 % napětí dle ČSN EN 826		
	ρ_v [kg/m ³]	σ_{mt} [kPa]	$\sigma_{mt,prům}$ [kPa]
A - č. 3	161,51	89,5	77,1
A - č. 4	157,99	64,6	
A - č. 6	169,55	87,1	87,1
A - č. 13	154,57	51,3	51,3
A - č. 17 (REF)	161,10	72,0	76,3
A - č. 18 (REF)	164,13	85,0	
A - č. 21 (REF)	153,36	71,9	
B - č. 1	174,32	86,7	75,0
B - č. 2	158,63	65,6	
B - č. 5	155,57	72,6	
B - č. 7	150,06	62,1	65,0
B - č. 10	150,26	67,9	
B - č. 12	146,20	57,7	60,3
B - č. 15	149,98	62,8	
B - č. 16 (REF)	157,05	77,0	75,3
B - č. 18 (REF)	161,71	80,1	
B - č. 20 (REF)	151,86	68,7	
C - č. 2	164,71	80,8	77,6
C - č. 5	162,04	74,4	
C - č. 7	160,24	60,3	60,7
C - č. 10	161,18	61,1	
C - č. 15	150,44	54,6	54,6
C - č. 18 (REF)	163,32	76,3	69,0
C - č. 20 (REF)	157,09	65,6	
C - č. 21 (REF)	153,73	65,2	

Výsledky mechanických zkoušek prokázaly, že prostředí má vliv na degradaci mechanických vlastností minerální vlny. Z výsledků je patrné, že prostředí se zvýšenou teplotou i se zvýšenou vlhkostí má vliv na degradaci mechanických vlastností minerální vlny. Největší pokles mechanických vlastností nastal při kombinaci zvýšené teploty (70 °C) a zvýšené relativní vlhkosti (85 %). Degradace mechanických vlastností byla zaznamenávána u všech zatěžovacích prostředí. Degradacním mechanismem jsou všechny typy prostředí, ale největší vliv má kombinace zvýšené teploty (70 °C) a relativní vlhkosti (85 %). Avšak zkušební vzorky měly velkou variabilitu výsledků. Následně bylo zjištěno, že velká variabilita výsledků souvisí s velkým rozptylem objemové hmotnosti, která je závislá na mechanických

vlastností. Kvůli tomuto jevu bylo nutno vytvořit vyšší statistický soubor a zaměřit se rovněž na výběr vzorku s obdobnou objemovou hmotností.

8.1.2 ETAPA II

Zkušební vzorky byly připraveny volným dělením velkoformátových desek o rozměru 2,0 × 1,2 m s cíleným místem po ploše velkoformátové desky. V rámci druhé etapy bylo naformátováno celkem 99 zkušebních těles, které se lišily druhem pojiva – vysoce (A), středně (B) a nízce (C) formaldehydové pryskyřice. Formátování vzorků probíhalo následovně. Z tuhé velkoformátové desky se nejprve z obou stran odřízl pruh minerální vlny o vzdálenosti 50 cm. Následně se za pomoci lihového popisovače a dvoumetrové latě naměřila a následně nařezala velkoformátová deska na zkušební tělesa o rozměrech 200 × 200 mm. Popis zkušebních vzorků byl následující – arabskými čísly byly označeny polohy zkušebních vzorků ve vertikální poloze a římskými čísly byly označeny polohy zkušebních vzorků v horizontální poloze. Pro snadnější pochopení grafické znázornění (viz obr. č. 25).



1 / I	1 / II	1 / III	1 / IV	1 / V
2 / I	2 / II	2 / III	2 / IV	2 / V
3 / I	3 / II	3 / III	3 / IV	3 / V
4 / I	4 / II	4 / III	4 / IV	4 / V
5 / I	5 / II	5 / III	5 / IV	5 / V
6 / I	6 / II	6 / III	6 / IV	6 / V

Obr. č. 25 – Grafické schéma dělení velkoformátové desky

Na označených zkušebních tělesech byly stanoveny lineární rozměry délky l a šířky b dle ČSN EN 12085 a tloušťka d dle ČSN EN 823. Z naměřených hodnot lineárních rozměrů, tloušťky zkušebního tělesa a hmotnosti, byla vypočtena objemová hmotnost ρ_v dle ČSN EN 1602.



Obr. č. 26 - Měření tloušťky d pomocí číselníkového úchylkoměru

Na základě poznatků, z první etapy, kde výsledky ovlivňovala objemová hmotnost, byly zkušební vzorky cíleně vybrány na základě objemové hmotnosti, aby se docílilo vyšší homogenity zkušebních vzorků minerální vlny. Výchozí hodnota objemové hmotnosti pro cílený výběr zkušebních vzorků byla stanovena na hodnotu 155 kg/m^3 . Následně z výchozí hodnoty byl vytvořen rozptyl $\pm 2,5 \%$ objemové hmotnosti na každou stranu. V rámci tohoto intervalu $151,13\text{--}158,90 \text{ kg/m}^3$ bylo vybráno 36 zkušebních těles.

Tab. č. 7 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny

DRUH PRYSKYŘICE	Měřeno dle ČSN EN 121085, ČSN EN 823 a ČSN EN 1602						
	l [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	ρ_v [kg/m^3]	$\rho_{v,\text{prům}}$ [kg/m^3]	σ
A - 6/I	201,0	201,0	60,78	382,82	155,90	155,68	1,57
A - 4/III	199,0	199,0	60,14	377,21	158,38		
A - 3/II	201,0	200,5	60,28	377,37	155,34		
A - 5/IV	202,0	203,0	60,19	377,54	152,96		
A - 1/I	201,0	199,0	60,15	374,52	155,66		
A - 5/I	201,0	201,0	60,54	381,13	155,83		
A - 3/I (REF)	198,5	201,0	60,45	381,80	158,30	154,71	2,62
A - 5/II (REF)	200,5	199,5	60,16	381,30	158,45		
A - 4/I (REF)	201,0	202,5	60,4	374,20	152,21		
A - 5/III (REF)	201,5	202,0	60,83	379,28	153,18		
A - 2/IV (REF)	202,5	202,5	60,27	378,89	153,31		
A - 1/IV (REF)	202,5	202,5	60,27	377,59	152,78		

Tab. č. 9 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny

DRUH PRYSKYŘICE	Měřeno dle ČSN EN 121085, ČSN EN 823 a ČSN EN 1602						
	l [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	ρ_v [kg/m ³]	$\rho_{v,prům}$ [kg/m ³]	σ
B - 5/III	199,5	201,5	60,67	379,71	155,69	156,33	1,15
B - 3/II	197,0	201,0	60,48	376,00	157,01		
B - 2/II	197,0	199,5	60,86	377,74	157,93		
B - 6/I	197,5	200,5	60,46	375,80	156,97		
B - 4/IV	200,0	200,0	61,23	382,24	156,07		
B - 5/II	200,0	202,0	60,52	377,33	154,33		
B - 3/I (REF)	200,0	199,0	61,39	372,15	152,31	154,76	2,07
B - 4/I (REF)	201,5	199,0	60,83	379,15	155,44		
B - 5/I (REF)	200,0	199,5	61,06	373,52	153,31		
B - 4/II (REF)	200,0	199,0	60,93	374,81	154,56		
B - 6/II (REF)	199,0	201,0	61,11	376,63	154,08		
B - 2/I (REF)	197,5	200,0	60,78	381,33	158,83		

Tab. č. 8 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny

DRUH PRYSKYŘICE	Měřeno dle ČSN EN 121085, ČSN EN 823 a ČSN EN 1602						
	l [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	ρ_v [kg/m ³]	$\rho_{v,prům}$ [kg/m ³]	σ
C - 5/IV	201,0	201,0	60,328	382,56	156,96	156,19	1,80
C - 6/I	198,5	199,0	60,35	376,62	157,98		
C - 1/III	203,5	202,5	60,395	379,61	152,53		
C - 5/I	200,5	201,5	60,133	379,17	156,07		
C - 6/II	200,0	200,0	60,476	377,12	155,90		
C - 3/I	199,0	199,0	60,307	376,55	157,67		
C - 3/III (REF)	201,5	199,0	60,34	377,17	155,88	157,28	1,93
C - 2/I (REF)	198,0	196,0	60,52	370,31	157,67		
C - 2/II (REF)	198,0	198,0	60,23	374,90	158,77		
C - 4/I (REF)	201,5	202,0	60,29	377,19	153,71		
C - 4/IV (REF)	200,0	200,0	60,38	382,51	158,38		
C - 3/II (REF)	198,0	200,0	60,23	379,93	159,29		

Z výsledků první etapy, kde největší vliv na degradaci minerální vlny mělo prostředí – zvýšené teploty (70 °C) a zvýšené vlhkosti (85 %). Bylo vytvořeno pouze jedno zatěžovací prostředí – zvýšená teplota a zvýšená vlhkost. Následně došlo k úpravě prostředí relativní vlhkosti. Byla snížena z 85 % na 70 %. Zvolené prostředí bylo – zvýšená teplota (70 °C) a zvýšená vlhkost (70 %). Následně zkušební tělesa byla podrobena tří týdennímu zatěžovacímu cyklu. Druhým prostředím bylo prostředí referenční (REF).

Tab. č. 10 - Popis zatěžovacích prostředí

TYP	UMÍSTĚNÍ	TEPLOTA [°C]	REL. VLHKOST [%]
Prostředí III	KOMORA	70	70
Prostředí IV	LABORATOŘ	23 ± 5	50 ± 5

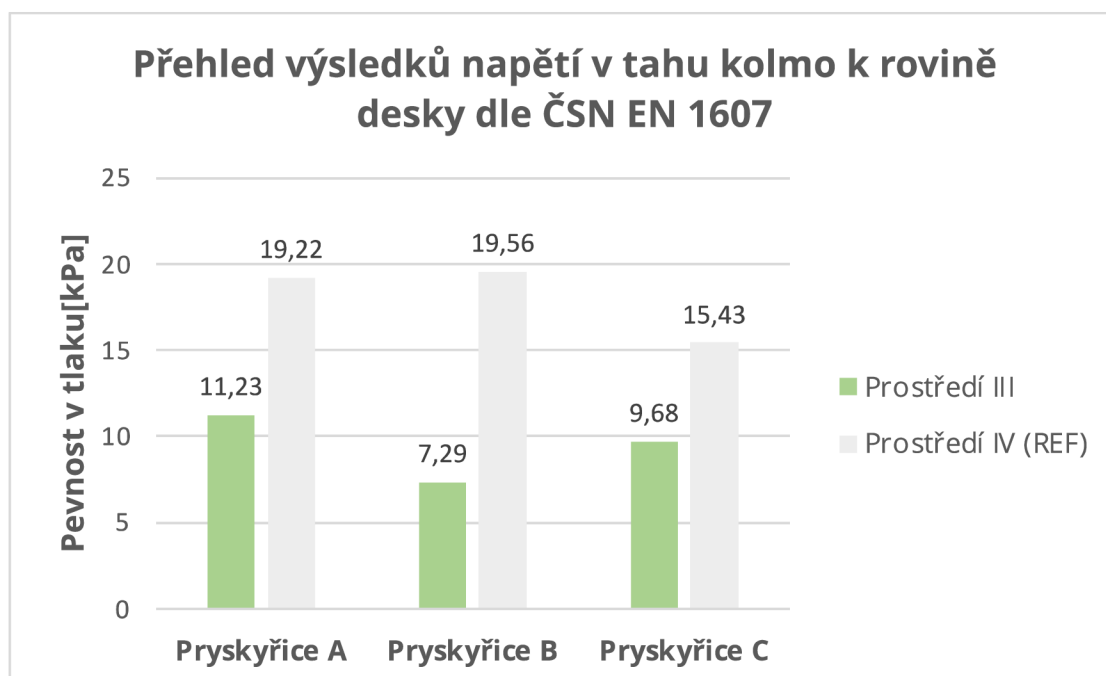
Po zatěžovacím cyklu byly zkušební tělesa podrobena mechanickým zkouškám na pevnost v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN 1607 a na pevnost v tlaku (při 10 % napětí) dle ČSN EN 826.



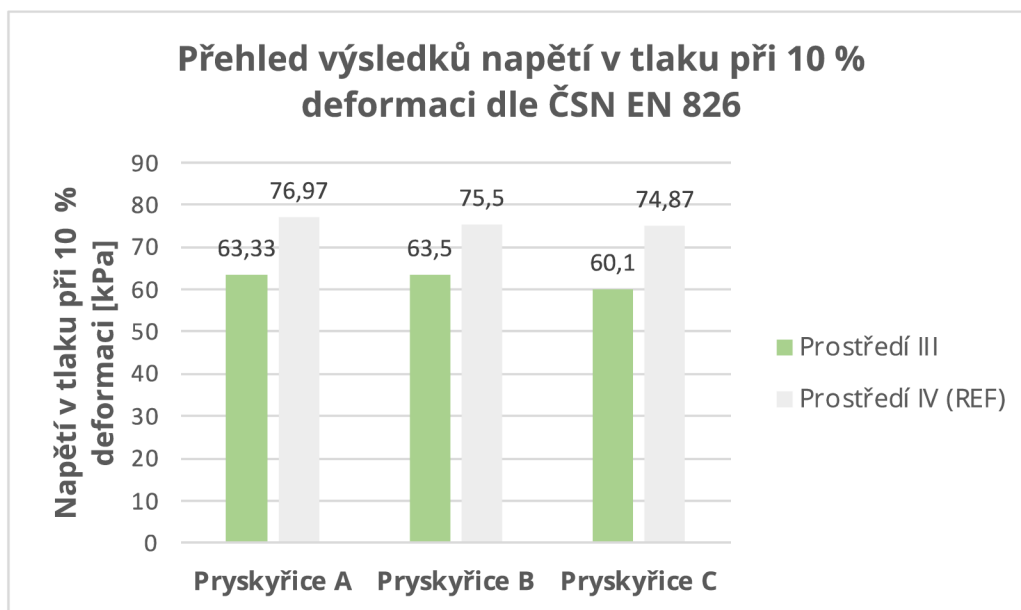
Obr. č. 27 - Upevnění zkušební vzorku do zkušební lisu pro stanovení pevnosti v tahu

Tab. č. 3 -Vyhodnocení mechanických zkoušek minerálních vln

DRUH PRYSKYŘICE	Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN1607			DRUH PRYSKYŘICE	Stanovení zkoušky tlakem 10 % napětí dle ČSN EN 826		
	ρ_v [kg/m ³]	σ_{mt} [kPa]	$\sigma_{mt,prům}$ [kPa]		ρ_v [kg/m ³]	σ_{10} [kPa]	$\sigma_{10,prům}$ [kPa]
A - 5/IV	152,96	11,82	11,23	A - 6/I	155,90	61,2	63,33
A - 1/I	155,66	12,60		A - 4/III	158,38	67,5	
A - 5/I	155,83	9,28		A - 3/II	155,34	61,3	
A - 5/III (REF)	153,18	18,92	19,22	A - 3/I (REF)	158,30	76,9	76,97
A - 2/IV (REF)	153,31	17,71		A - 5/II (REF)	158,45	78,8	
A - 1/IV (REF)	152,78	21,03		A - 4/I (REF)	152,21	75,2	
B - 6/I	159,97	8,01	7,29	B - 5/III	155,69	63,7	63,50
B - 4/IV	156,07	7,34		B - 3/II	157,01	63,6	
B - 5/II	154,33	6,51		B - 2/II	157,93	63,2	
B - 4/II (REF)	154,56	19,97	19,56	B - 3/I (REF)	152,31	73,1	75,50
B - 6/II (REF)	154,08	18,72		B - 4/I (REF)	155,44	78,7	
B - 2/I (REF)	158,83	19,98		B - 5/I (REF)	153,31	74,7	
C - 5/I	156,07	10,69	9,68	C - 5/IV	156,96	58,4	60,10
C - 6/II	155,90	9,85		C - 6/I	157,98	62,1	
C - 3/I	157,67	8,51		C - 1/III	152,53	59,8	
C - 4/I (REF)	153,71	14,98	15,43	C - 3/III (REF)	155,88	68,9	74,87
C - 4/IV (REF)	158,38	14,18		C - 2/I (REF)	157,67	81,2	
C - 3/II (REF)	159,29	17,12		C - 2/II (REF)	158,77	74,5	



Obr. č 1 - Grafické vyhodnocení pevnosti v tahu na zkušebních tělesech



Obr. č. 2 - Grafické vyhodnocení napětí v tlaku při 10 % deformaci

Z vyhodnocených výsledků je patrné, že dané prostředí má zásadní vliv na mechanické vlastnosti minerální vlny. Zhoršení mechanických vlastností nastalo vlivem vlhkostního (70 %) a teplotního (70 °C) zatížení zkušebních vzorků. Tento výsledek byl předpokládán již po vyhodnocení první etapy a byl nyní jednoznačně potvrzen. Ze zjištěných hodnot pomocí destruktivních zkoušek lze konstatovat, že navržená metodika na zatěžování minerální vlny lze použít pro zjištění trvanlivosti mechanických vlastností v čase. Dále bylo zjištěno, že selekcí zkušebních vzorků s nižším rozptylem objemové hmotnosti byla výrazně zvýšena vypovídací schopnost této metodiky a byl z velké části eliminován negativní vliv změny objemové hmotnosti na výsledky prováděných experimentů.

8.2 Diskuse výsledků

Z naměřených výsledků v první etapě vyplývá, že prostředí se podílí na změně mechanických vlastností. Vlhkost a kombinace vlhkosti a zvýšené teploty negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti minerální vlny. Největší rozdíly mezi referenčními a testovanými vzorky byly pozorovány v prostředí zvýšené teploty a vlhkosti. Zvýšená teplota, v případě pryskyřic B a C nedegraduje natolik zkušební vzorky, v některých případech mají mechanické vlastnosti srovnatelné hodnoty s referenčními vzorky. Tento fakt může nastat vlivem „sekundárního“ dotvrzení pojiva (pryskyřice) v minerální vlně. Prokazatelnější hodnoty byly v rámci zkoušky pevnost v tahu kolmo k rovině desky, zde se ukázal trend, že zvýšená vlhkost má vliv na mechanické vlastnosti minerální vlny. V rámci vyhodnocení výsledků napětí v tlaku při 10 % deformaci již výsledky nebyly tak prokazatelné, jelikož ve dvou případech vykazovaly vzorky, které byly kondicionovány v prostředí III lepší mechanické vlastnosti než referenční vzorky. Na velkou variabilitu výsledků však měla vliv kolísavá objemová hmotnost zkušebních těles. Z tohoto hlediska nemohly být výsledky 100 % prokázány, vlivem velkého rozptylu hodnot. Z tohoto hlediska bylo zapotřebí vytvořit vyšší statistický soubor zkušebních vzorků u každého prováděného experimentu a cíleně vybrat z desek izolačních rohoží vzorky se shodnou objemovou hmotností.

Na základě první etapy, kde se prokázalo, že zvýšená vlhkost a zvýšená teplota nejvíce negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti, bylo navrženo znovu obdobné prostředí. Pouze relativní vlhkost byla snížena na 70 % z provozních důvodů (s ohledem na omezení zatěžování vnitřní části klimatických komor). Pro porovnání byly provedeny shodné zkoušky na referenční sadě vzorků (která byla kondicionována za laboratorních podmínek). Proběhl výběr za pomoci intervalu objemové hmotnosti, aby byly zaručeny shodné mechanické vlastnosti. Jelikož objemová hmotnost úzce souvisí s mechanickými vlastnostmi. Z výsledků je zřejmé, že zvýšená vlhkost a zvýšená teplota ovlivňuje mechanické vlastnosti minerální vlny. V případě stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky, vykazují u pryskyřic A a B vydatně

horší pevnosti v tahu. V případě zkoušky tlaku při 10 % deformaci je zde pokles **všech tří pryskyřic relativně stejný.**

V rámci metodiky je podstatné sledovat objemovou hmotnost, a je zapotřebí stanovit, aby sestupní vzorky měly konstantní hmotnost. Jelikož objemová hmotnost může ovlivnit dané mechanické výsledky. Na vzorcích minerální vlny byly provedeny mechanické zkoušky – pevnost v tahu kolmo k rovině desky a napětí v tlaku při 10 % deformaci. Na základě normy ČSN EN 1604 byly navrženy tři typy zatěžovacích prostředí – zvýšená teplota, zvýšená vlhkost a kombinace zvýšené teploty a vlhkosti.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navržení a následně ověření metodiky pro stanovení míry degradace mechanických vlastností minerální vlny při dlouhodobém teplotním a vlhkostním zatížení. Metodika byla navržena na základě podmínek definovaných v ČSN EN 1604. Z prvopočátku návrhu metodiky, bylo otázkou, jaký typ prostředí má zásadní vliv na degradaci. Z tohoto hlediska byly navrženy tři prostředí na základě – zvýšené teploty, zvýšené vlhkosti a kombinace zvýšené vlhkosti a teploty a prostředí referenční (laboratorní podmínky). Na základě dvou zkušebních etap, bylo provedeno ověření a optimalizace této metodiky. V první etapě, kde výsledky vykazaly velký rozptyl hodnot, bylo následně usouzeno, že rozptyl vznikl v důsledku nehomogenity minerální vlny. Nicméně bylo poukázáno, že jako nejúčinnější zatížení na degradaci mechanických vlastností minerální vlny se jeví kombinace zvýšené teploty a zvýšené vlhkosti. V druhé etapě byla tato idea následně potvrzena, a tím se i ověřila metodika pro zkoušení trvanlivosti minerální vlny z pohledu změn vlastností v čase. Bylo zjištěno, že tato metodika může být pro daný účel úspěšně využita, nicméně bude ještě dále nutné srovnat výsledky této metodiky s reálným chováním materiálu při běžném zatížení ve stavební konstrukci, aby bylo možné upřesnit potřebnou dobu pro zatěžování vzorků za laboratorních podmínek a k této době určit, jaký reálný čas toto zatěžování reprezentuje.

Toto zatížení se může vyskytnout na běžných konstrukcích, v důsledku degradace hydroizolace, extrémních klimatických podmínek (vichřice, bouřka aj.) nebo v důsledku tlakového zatížení, jako je např.: pochozí a pojízdné střechy ve vodorovných konstrukcích nebo ve svislých (fasádní zateplení – ETICS) vlivem tahové, smykové nebo jiné síly. Kombinace těchto zatížení může mít fatální následky na danou stavební konstrukci.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] ROHSENOW, Warren, James P. HARTNETT a Young I. CHO, ed. *Handbook of heat transfer*. Third Edition. New York: McGraw-hill, 1998. ISBN 0-07-053555-8, 1501 s.
- [2] BERGMAN, Theodore L., Andrienne S. LAVINE, Frank P. INCROPERA a David P. DEWITT. *Introduction to heat transfer*. Sixth edition. John Wiley, 2011. ISBN 978-0470-50196-2.
- [3] *Vedení tepla* [online]. In: . s. 7 [cit. 2023-05-04].
http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_tepla.pdf
- [4] Technické izolace. In: *Technické izolace: Tepelné, zvukové a protipožární izolace* [online]. Rockwool. 2010, s. 23 [cit. 2023-05-04].
http://rwiumbracocz.inforce.dk/media/238212/technicke%20izolace.pdf?fbclid=IwAR39rGGgocCpVNNPfvjtd7w_WaK9SwipkukHlloeiihWsjLHbCNriSBRIE
- [5] ŠÍPKOVÁ, Veronika, Šárka KORBELOVÁ, Jiří LABUDEK a Michal KRAUS. *Stavební tepelné izolace pro svislé konstrukce*. Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3661-4.
- [6] *Jaký je rozdíl mezi přenosem tepla vedením, prouděním a sáláním?* [online]. 2015 [cit. 2023-05-04]. <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-prenosem-tepla-vedenim-proudenim-a-salanim>
- [7] ZACH, Jiří. *Speciální izolace*. Brno, 2006, 106 s.
- [8] ZACH, Jiří a Jitka HROUDOVÁ. *Možnosti využití izolačních materiálů na bázi odpadních textilních vláken v podlahách* [online]. 7.11.2021 [cit. 2023-05-04]. <https://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8009-moznosti-vyuziti-izolacnich-materialu-na-bazi-odpadnich-textilnich-vlaken-v-podlahach>
- [9] *Čím izolovat?* [online]. 2020 [cit. 2023-05-04]. <https://czechups.com/cim-izolovat-zakladni-druhy-izolacnich-materialu/>
- [10] *Foukaná izolace – cena není jedinou výhodou!* [online]. [cit. 2023-05-04].
<https://www.climatizer.cz/foukana-izolace-cena-neni-jedinou-vyhodou/>
- [11] ČSN EN ISO 9229. *Tepelné izolace – Terminologie*. 2008, 32 s.
- [12] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla MATULOVÁ. *Lehké stavební látky*. Brno, 2006, 203 s.
- [13] Pěnové sklo | Refaglass. Refaglass – moderní izolační pěnové sklo [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.refaglass.cz/penove-sklo/>
- [14] How Glass is Made? - Glass Manufacture. The History of Glass – Glass Facts[online]. [cit. 2023-05-04].
- [15] ZÁMEČNÍKOVÁ, Veronika. *Vlna nebo konopí na zateplení domu: Jde to i s přírodními materiály* [online]. 25.3.2019 [cit. 2023-05-04]. <https://www.ireceptar.cz/domov-a-bydleni/vlna-nebo-konopi-na-zatepleni-domu-jde-to-i-s-prirodnimi-materialy.html>
- [16] CHYBÍ, Chybík. *Dřevěné konstrukce a přírodní izolační materiály* [online]. 20.9.2010 [cit. 2023-05-04]. <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6791-drevene-konstrukce-a-prirodni-izolacni-materialy>
- [17] *Tepelné izolace* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://publi.cz/books/92/04.html>
- [18] ČSN EN 14303 (727225) *Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) - Specifikace*. Praha.

- [19] CASOPIS, Daibau. *Kamenná vlna nebo skelná vata* [online]. [cit. 2023-05-04]. https://www.daibau.cz/clanek/125/kamenna_vlna_nebo_skelna_vata
- [20] [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.isover.cz/blog/vyroba-cedicove-izolace>
- [21] *Production Process* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.rockwool.com/sys/siteassets/o2-rockwool/blog---rwna/mold-resistance/rockwool-stone-wool-manufacturing-production-process-fact-sheet.pdf>
- [22] TRDIČ, F., B. ŠIROK, P.R. BULLEN a D.R. PHILPOTT. Monitoring mineral wool production using real-time machine vision. *Real-Time Imaging*. 1999, **5**(2), 125-140. ISSN 1077-2014. doi:[https://doi.org/10.1016/S1077-2014\(99\)80010-2](https://doi.org/10.1016/S1077-2014(99)80010-2)
- [23] ŠIROK, Brane, Benjamin BIZJAN, Alen ORBANIĆ a Tom BAJCAR. Mineral wool melt fiberization on a spinner wheel. *Chemical Engineering Research and Design*. 2014, **92**(1), 80-90. ISSN 0263-8762. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.06.014>
- [24] [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.avmi.cz/co-je-mineralni-izolace>
- [25] *Pendl a formovací dopravník* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://enetextechnology.eu/web/produkty/vyrobni-linky/linky-na-vyrobu-mineralni-vaty/pendl-a-formovaci-dopravnik/>
- [26] CHEN, Ziwei, Hao WANG, Minghao WANG, Wenchao WU, Lili LIU a Xidong WANG. Simulation and experimental investigation on one-step process for recovery of valuable metals and preparation of clean mineral wool from red mud. *Journal of Cleaner Production*. 2022, **380**, 134982. ISSN 0959-6526. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134982>
- [27] TRDIČ, F., B. ŠIROK, P.R. BULLEN a D.R. PHILPOTT. Monitoring mineral wool production using real-time machine vision. *Real-Time Imaging*. 1999, **5**(2), 125-140. ISSN 1077-2014. doi:[https://doi.org/10.1016/S1077-2014\(99\)80010-2](https://doi.org/10.1016/S1077-2014(99)80010-2)
- [28] [online]. [cit. 2023-05-04]. <http://www.vumz.cz/kategorie/stroje-pro-izolacni-materialy.aspx>
- [29] *Výroba čedičové izolace* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.isover.cz/blog/vyroba-cedicove-izolace>
- [30] PETRÁNEK, Jan. [online]. [cit. 2023-05-04]. <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?bazalt>
- [31] *Basalt* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://geologyscience.com/rocks/basalt/>
- [32] *Basalt* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Basalt>
- [33] *Využití čediče* [online]. 23.9.2014 [cit. 2023-05-04]. <http://dumazahrada.info/vyuziti-cedice/>
- [34] *Struska* [online]. [cit. 2023-05-04]. <http://www.multimediaexpo.cz/mmeecz/index.php/Struska>
- [35] *Struska* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.lunacek.cz/a-zelezo-stale-teklo/struska/>
- [36] PETRÁNEK, Jan. [online]. [cit. 2023-05-04]. <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?diabas#>
- [37] *Diabase* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://geology.com/rocks/diabase.shtml>
- [38] [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.recyclingbristol.com/what-are-the-benefits-of-using-recycled-building-materials/>
- [39] *Životní cyklus výrobku* [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.isover.cz/blog/zivotni-cyklus-vyrobku>
- [40] *Využití odpadního materiálu z výroby minerální vlny do stavebních materiálů a produktů* [online]. [cit. 2023-05-04]. https://www.odpadoveforum.cz/TVIP2016/prispevky/111.pdf?fbclid=IwAR0KEvcVW0YTCw9LGubojjbbfFQB5E4ugobLfzHhkfEizPUt_Fjgp4Vg1VdE
- [41] [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://www.ibe.at/wp-content/uploads/2021/03/Recycling-of-mineral-wool-waste-3.htm>

- [42] [online]. 13.10.2014 [cit. 2023-05-04]. <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/11827-vyuziti-odpadnich-materialu-z-vyroby-mineralni-vlny-do-stavebnich-hmot?fbclid=IwAR1xjWYPdDcNaqytnT-74AwdEG1lIGil44O9iLfsM0ONHpN-fowtN3YTEebY>
- [43] MIANOWSKI, A., P. WASILEWSKI a J. POLAŃSKI. Briquetting of basalt wastes. *Powder Technology*. 1991, 68(2), 101-108. ISSN 0032-5910. doi: [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(91\)80116-Z](https://doi.org/10.1016/0032-5910(91)80116-Z)
- [44] [online]. [cit. 2023-05-04]. <https://p2infohouse.org/ref/23/22862.pdf>
- [45] Sattler T, Sartori M, Galler R, et al. Effects of cement addition and briquetting of rock wool on its geomechanical stability in landfills. *Waste Management & Research*. 2020;38(4):408-414. doi:10.1177/0734242X20906876
- [46] ČSN EN 12667 (730569) *Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu*. 2001. Praha.
- [47] ČSN EN 12939 (730571) *Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky s velkou tloušťkou o vysokém a středním tepelném odporu*. 2001. Praha.
- [48] ČSN EN ISO 13787 (730313) *Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace – Stanovení deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti*. 2003. Praha.
- [49] ČSN EN 12085 (727054) *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles*. 2013. Praha.
- [50] ČSN EN 823 (727042) *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky*. 2013. Praha.
- [51] ČSN EN 1602 (727046) *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti*. 2013. Praha.
- [52] ČSN EN 1607 (727051) *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky*. 2013. Praha.
- [53] ČSN EN 1607 (727051) *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky*. 2013. Praha.
- [54] *Vybíráme izolaci* [online]. 8.12.2022 [cit. 2023-05-25]. <https://www.buildex.cz/vybirame-izolaci>
- [55] *Odolnost ETICS vůči zatížení působícímu rovnoběžně s rovinou fasády* [online]. [cit. 2023-05-25]. https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/odolnost-etics-vuci-zatizeni-pusobicimu-rovnobezne-s-rovinou-fasady_107089.html
- [56] *PUR pěna* [online]. 8.12.2022 [cit. 2023-05-25]. <https://www.pur.cz/o-nas/caste-dotazy/>
- [57] *Opatření proti účinkům větru na plochých střeších* [online]. [cit. 2023-05-25]. <https://www.izolace.cz/clanky/opatreni-proti-ucinkum-vetru-na-plochych-strechach/>
- [58] ČSN P 73 0600 (730600) *Hydroizolace staveb – Základní ustanovení*. Praha, 2000.
- [59] *Vliv vlhkosti na tepelné izolace pro kontaktní zateplovací systémy* [online]. [cit. 2023-05-26]. <https://www.izolace.cz/clanky/vliv-vlhkosti-na-tepelne-izolace-pro-kontaktni-zateplovaci-systemy/>
- [60] ČSN EN 1604 (727048) *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení rozměrové stability za určených teplotních a vlhkostních podmínek*. Praha, 2013.
- [61] *Výroba minerální izolace Isover* [online]. [cit. 2023-05-26]. <https://www.youtube.com/watch?v=iqyhpQf3iyA&t=14s>

10 Seznam obrázků

Obr. č. 1 – Čedič ve skladovacím uložení.....	24
Obr. č. 2 – Struska ve skladovacím uložení.....	24
Obr. č. 3 - Koks.....	25
Obr. č. 4 – Rozvlákňovací zařízení [61]	25
Obr. č. 5 – Doprava minerální vlny z usazovacího bubnu [61].....	27
Obr. č. 6 – Vytvořený koberec po vrstvení minerální za pomoci „pendlovacího zařízení“ [61]	27
Obr. č. 7 - Krepovací zařízení [61]	28
Obr. č. 8 – Tvrdicí komora [61]	29
Obr. č. 9 – Minerální koberec po vytvrzení z tvrdící komory [61].....	29
Obr. č. 10 – Ukázka odřezání okrajů [61]	30
Obr. č. 11 – Zabalený minerální výrobek do PE fólie.....	31
Obr. č. 12 – Diabas – jedna ze základních vstupních surovin	34
Obr. č. 13 - Bauxit.....	36
Obr. č. 14 - Briketa	36
Obr. č. 15 – Grafické znázornění metodiky práce.....	47
Obr. č. 16 – Naformátovaná zkušební tělesa o rozměru 200 × 200 mm.....	47
Obr. č. 17 – Přivezený zkušební materiál lišící se pryskyřicí	47
Obr. č. 18 – Měření tloušťky d na pomoci číselníkového úchylkoměru.....	53
Obr. č. 19 - Měření hmotnosti m na laboratorních vahách	53
Obr. č. 20 - Ukázka zkušebního vzorku před proběhnutí tlakové zkoušky	55
Obr. č. 21 - Upevnění zkušebního vzorku do zkušebního lisu pro stanovení pevnosti v tahu	55
Obr. č. 22 – Grafické vyhodnocení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky.....	56
Obr. č. 23 - Ukázka zkušebního vzorku po tahové zkoušce.....	56
Obr. č. 24 - Grafické vyhodnocení výsledků napětí v tlaku při 10 % deformaci	57
Obr. č. 25 – Grafické schéma dělení velkoformátové desky.....	59

Obr. č. 26 - Měření tloušťky d pomocí číselníkového úchylkoměru.....	60
Obr. č. 27 - Upevnění zkušebního vzorku do zkušebního lisu pro stanovení pevnosti v tahu	62

11 Seznam tabulek

Tab. č. 1 - Typy zkoušek minerální vlny dle výrobní normy ČSN EN 14 303	37
Tab. č. 2 - Zvolené typy prostředí	45
Tab. č. 3 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny	53
Tab. č. 4 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny	54
Tab. č. 5 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny	54
Tab. č. 6 - Popis a uložení zkušebních vzorků v daných typech prostředí.....	55
Tab. č. 7 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny	60
Tab. č. 9 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny	61
Tab. č. 8 - Naměřené a vypočítané hodnoty rozměry a objemové hmotnosti minerální vlny	61
Tab. č. 10 - Popis zatěžovacích prostředí	62