

# **VLASTNOSTI OMÍTKOVÝCH KOMPOZITŮ S VLÁKENNOU VÝZTUŽÍ**

Ing. Alžbeta Samková

**AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Název disertační práce:** Vlastnosti omítkových kompozitů s vláknennou výztuží  
**Autor:** Ing. Alžbeta Samková  
**Obor doktorského studia:** Textilní technika a materiálové inženýrství  
**Forma studia:** Prezenční  
**Školící pracoviště:** Katedra materiálového inženýrství  
**Školitel:** Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.  
**Konzultant:** Ing. Radka Pernicová, Ph.D.

**Složení komise pro obhajobu disertační práce:**

předseda:  
prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D. FT TUL, katedra materiálového inženýrství

místopředseda:  
doc. Ing. Lukáš Čapek, Ph.D. FT TUL, katedra technologií a struktur  
prof. Ing. Michal Šejnoha, Ph.D., DSc. ČVUT, Fakulta stavební, katedra mechaniky  
doc. Ing. Pavel Pokorný, Ph.D. FT TUL, katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

doc. Ing. Lenka Prokopová, Ph.D. ČVUT, Fakulta architektury, Ústav stavitelství  
Ing. Luboš Běhálek, Ph.D. (oponent) FS TUL, katedra strojírenské technologie  
Ing. Blanka Tomková, Ph.D. FT TUL, katedra materiálového inženýrství

oponent, který není členem komise  
prof. Ing. Zbyšek Pavlík, Ph.D. ČVUT, Fakulta stavební, katedra materiálového inženýrství a chemie

S disertační prací je možno seznámit se na studijním oddělení doktorského studia Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

Liberec, 2024

## Doktorské studium

Seznam zkoušek	Strukturní teorie vlákenných soustav, 22. 10. 2015 Matematická statistika a analýza dat, 10. 03. 2016 Struktura a vlastnosti textilních vláken, 09. 09. 2016 Strukturní mechanika vlákenných systémů, 19. 06. 2017 Experimentální technika oboru, 26. 09. 2019
SDZ	Státní doktorská zkouška vykonána dne 15.06.2020 s celkovým hodnocením prospěla.

## Pedagogická činnost

Výuka	Zkoušení textilií, 2015 - 2023 Textilní vlákna, 2015 - 2023 Technologické výpočty a zpracování dat, 2019 - 2023
Vedení DP a BP	Litvinová Radka, <i>Možnost využití čedičové vaty a krátkých vláken jako částečné náhrady cementu v kompozitech</i> , DP, 2023
Výzkumné projekty	<b>Možnosti vyztužení omítek pomocí vlákenných materiálů</b> , řešitel, SGS TUL 2016. <b>Pokročilé hybridní pásy pro výrobu kompozit přesným vnutím</b> , spoluřešitel, TAČR 2017 – 2019. <b>Ochranné oděvy proti radiofrekvenčnímu elektromagnetickému záření s dostatečným komfortem a dalšími přidanými vlastnostmi</b> , spoluřešitel, TAČR 2018. <b>Určení změny fyzikálních vlastností omítek vyztužených vlákenným materiálem</b> , řešitel, SGS TUL2018. <b>Vývoj a testování 3D vlákenných útvarů pro tkáňové inženýrství</b> , spoluřešitel, SGS TUL 2019. <b>Studium možností energetického využití geopolymerních/cementových materiálů s využitím textilních plniv</b> , řešitel, SGS TUL 2020. <b>Vývoj a testování hydrogelových vláken</b> , spoluřešitel, SGS TUL 2020. <b>Vývoj kompozitních tubulárních scaffoldů metodou bezjehlového elektrostatického zvlákňování</b> , spoluřešitel, SGS TUL 2021. <b>Hybridní materiály pro hierarchické struktury</b> , spoluřešitel, OP VVV 2022. <b>Vývoj a testování nanovlákenných materiálů jako nosičů buněk při elektrické simulaci</b> , spoluřešitel, SGS TUL 2022.

## Anotace

Tato disertační práce je zaměřena zejména na vývoj a studium omítkových kompozitů s krátko-vláknennou výztuží. Problematika omítkových kompozitů je řešena z hlediska jejich mechanických a fyzikálních vlastností, které jsou důležitou součástí jejich návrhu a spolehlivého působení ve vyrobené konstrukci. Teoretická část práce se věnuje obecným vlastnostem a výrobě vláknenné výztuže a omítkové matrice.

V experimentální části disertační práce byla nejprve stanovena délka a optimální množství krátko-vláknenné výztuže pro jednotlivé typy matric (vápeno-cementová, vápenná, sádrová, cementová). Na základě těchto experimentů a poznatků byly následně vyrobeny omítkové kompozity, které byly podrobeny základnímu mechanickému testování.

Jedním z důležitých procesů probíhajících u stavebních materiálů je sorpce vlhkosti. Vlhkost může pronikat do materiálů z okolního prostředí, například vzduchu nebo země a ovlivňovat tak mechanické a chemické vlastnosti materiálů. Z tohoto důvodu se práce zabývá i testováním transportu kapalné vody omítkovým kompozitem.

Nedostatečná akustická izolace a nekvalitní zvuková absorpce mohou vést k nadměrnému šíření hluku v budovách, a to může mít negativní dopad na lidský organismus. Tyto problémy jsou stále více diskutovaným tématem, z toho důvodu byl sledován vliv vláknenné výztuže na akustické vlastnosti omítkových kompozitů.

Mimo mechanických vlastností kompozitů ve stavebnictví je v dnešní době poměrně aktuální požadavek na schopnost stínění elektromagnetického pole. Práce se tedy zabývá i otázkou, zda může mít krátko-vláknenná výztuž pozitivní vliv také na tyto specifické fyzikální vlastnosti daných kompozitních materiálů.

### **Klíčová slova:**

Akustická pohltivost, čedičové vlákno, elektromagnetické stínění, mechanické vlastnosti, omítkové kompozity, skleněné vlákno, transport kapalné vody, uhlíkové vlákno.

## Abstract

This thesis is focused on the development and study of plaster composites with short-fiber reinforcement. The issue of plaster composites is solved in terms of their mechanical and physical properties, which are an important part of their design reliable operation in production. The theoretical part is devoted to the general properties and production of fiber reinforcement and plaster master.

In the experimental part of the dissertation were firstly determined the length and optimal amount of short-fiber reinforcement for individual master types (lime-cement, lime, gypsum, cement). On the basis of these experiments and findings, plaster composites were subsequently produced, which were subjected to basic mechanical testing.

One of the important processes taking place in building materials is humidity sorption. Humidity can get into the materials from the environment, for example the air or the ground and affect the mechanical and chemical properties of materials. For this reason, the thesis also deals with testing the transport of liquid water through the plaster composite.

Deficient of acoustic isolation and poor sound absorption can lead to abnormal spread of sound in buildings and can have a negative impact to the human organism. These issues are increasingly discussed topic, which is why the effect of fiber reinforcement on the acoustic properties of plaster composite was monitored.

Out of the mechanical properties of composites in the construction industry is also current requirement on shield ability of electromagnetic field. So this dissertation deals with the question of whether reinforcement with short fibers can also have a positive effect on these specific physical properties of given composite materials.

**Keywords:**

Acoustic absorption, basalt fibres, carbon fibres, electromagnetic shielding, glass fibres, liquid water transport, mechanical properties, plaster composites.

**Anotace**

Esta tesis trata sobre el estudio de los composites de yeso con refuerzo de fibras cortas. El objetivo principal es analizar las propiedades mecánicas y físicas de los compuestos de yeso. Uno de los miembros clave el compuesto es la cantidad y longitud óptimas de refuerzo de fibra. La determinación de estas propiedades se basa principalmente en pruebas mecánicas básicas.

La absorción de humedad en los materiales de construcción es un fenómeno común. La humedad puede penetrar materiales del entorno circundante, como el aire o el suelo. La absorción de humedad en los materiales de construcción afecta las propiedades mecánicas y químicas del material, por esta razón el trabajo también trata de probar el transporte de agua líquida a través del compuesto de yeso.

Un aislamiento acústico insuficiente y una mala absorción del sonido pueden provocar a la excesiva difusión del ruido en los edificios, y esto puede tener un impacto negativo en el organismo humano. Estos problemas son un tema cada vez más discutido, razón por la cual se monitoreó el efecto del refuerzo de fibra sobre las propiedades acústicas de los compuestos de yeso. Además de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos en la industria de la construcción, hoy en día existe un requisito relativamente actual para la capacidad de blindaje del campo electromagnético. Por lo tanto, el trabajo aborda la cuestión de si el refuerzo de fibras cortas también puede tener un efecto positivo en estas propiedades físicas específicas de materiales compuestos dados.

**Klíčová slova:**

Absorción acústica, blindaje electromagnético, compuestos de yeso, fibra de basalto, fibra de carbono, fibra de vidrio, propiedades mecánicas, transporte de agua líquida.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Přehled o současném stavu problematiky .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíle disertační práce .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Popis vlastního řešení.....</b>	<b>3</b>
3.1.1	Mechanické vlastnosti .....	3
3.1.2	Sorpční vlastnosti .....	5
3.1.3	Akustická pohltivost.....	7
3.1.4	Elektromagnetické stínění .....	8
3.1.5	Užitná hodnota .....	11
<b>4</b>	<b>Dosažené výsledky a jejich uplatnění .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>Použité matrice .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2</b>	<b>Výztužný materiál.....</b>	<b>13</b>
<b>4.3</b>	<b>Stanovení délky a množství vláken .....</b>	<b>15</b>
<b>4.4</b>	<b>Příprava vzorků .....</b>	<b>16</b>
<b>4.5</b>	<b>Základní mechanické vlastnosti .....</b>	<b>17</b>
4.5.1	Pevnost v tahu za ohybu.....	17
4.5.2	Pevnost v tlaku .....	18
4.5.3	Rázová houževnatost.....	19
4.5.4	Transport kapalné vody .....	20
4.5.5	Vliv množství vlákenné výztuže na transport kapalné vody .....	20
4.5.6	Transport vodní páry .....	25
<b>4.6</b>	<b>Akustické vlastnosti .....</b>	<b>27</b>
4.6.1	Vliv množství vlákenné výztuže na akustickou pohltivost omítkového kompozitu.....	28
<b>4.7</b>	<b>Hodnocení schopnosti materiálu stínit elektromagnetické pole .....</b>	<b>33</b>
4.7.1	Vliv množství vlákenné výztuže na schopnost stínit elektromagnetické pole.....	33
4.7.2	Vliv vlhkosti na schopnost stínit elektromagnetické pole .....	35
4.7.3	Mechanismus elektromagnetického stínění.....	37
4.7.4	Vliv tloušťky omítkového kompozitu na schopnost stínit elektromagnetické pole.....	37
<b>4.8</b>	<b>Stanovení užitné hodnoty pro omítkové kompozity .....</b>	<b>38</b>
4.8.1	Stanovení užitné hodnoty omítkových kompozitů pro speciální účely (EMS) .....	39
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Doporučení na pokračování práce .....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Seznam publikovaných prací studenta DSP (včetně uvedení všech spoluautorů publikovaných prací a jejich autorských podílů) a jejich případné citace .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Curriculum Vitae .....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti .....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>Vyjádření školitelky doktorandky.....</b>	<b>51</b>
<b>12</b>	<b>Oponentské posudky disertační práce.....</b>	<b>52</b>

# 1 Přehled o současném stavu problematiky

Na celém světě existuje mnoho typů zděných budov v závislosti na lokálních zdrojích a tradicích. Povrchová úprava zdiva ve formě omítek má již velmi dlouhou tradici a díky své konstrukční snadnosti a ekonomické výrobě lze předpokládat, že bude mít i nadále svůj zásadní význam ve stavebnictví.

Myšlenka zabudovat mřížku do maltové matrice pochází z konce 40. let 19. století, o necelé století později Pier Luigi Nervi aplikoval cementovou omítku přes vrstvu ocelové sítě [1]. Obdobnou technologii je textílem vyztužený beton. Tento kompozit využívá skleněné, uhlíkové nebo aramidové tkaniny odolné vůči alkáliím v kombinaci s cementovým betonem. Díky vysoké pevnosti v tlaku i tahu je používán pro stavbu tenkých strukturálních prvků jako je trvalé bednění nebo fasáda [2][3].

Začlenění krátko-vlákněné výztuže do omítkové (cementové) matrice se obvykle provádí za účelem zlepšení tahových vlastností a snížení křehkosti kompozitu. V praxi se běžně používá cementová matrice, do které se přidává krátko-vlákněná ocelová nebo skleněná výztuž. V novějších výzkumech se autoři zaměřili i na vlákna uhlíková [4] nebo vlákna s nízkým modulem pružnosti jako je polypropylen [5][6].

Současná věda se zaměřuje především na studium základních faktorů ovlivňujících mechanickou pevnost kompozitů. Jednou z hlavních problematik je vazba mezi vláknem a matricí. Vlákněná výztuž oddaluje dobu vzniku trhlin a brání jejich šíření. Napětí z matrice je přenášeno na vlákna procházející rovinou trhliny, čím se zabraňuje selhání kompozitu. Následně je napětí přeneseno zpět do okolní matrice pomocí rozhraní vlákno/matrice. [3][7][8][9]

Dalším faktorem ovlivňujícím pevnost kompozitu je distribuce vláken. Ta je proto rozhodujícím faktorem pro dosažení požadovaného mechanického výkonu. Rovnoměrné rozložení vláken je však ve skutečnosti obtížně dosažitelné, proto je tento problém předmětem mnoha studií. [10][11][12][13][14]

Na vlastnosti omítkových kompozitů má také vliv pórovitost matrice. Pro správné pochopení a vysvětlení fyzikálních jevů v omítkách je v mnoha pracích studována poréznost struktur a její chování. [15][16][17][18][19]

Vlhkost vnitřního prostředí má značný vliv na zdraví a pocit komfortu obyvatel. Relativní vlhkost (RH) ovlivňuje vnímání kvality vnitřního vzduchu a tepelnou pohodu. Jestliže je hodnota RH příliš nízká nebo naopak příliš vysoká zvyšuje se riziko rozvoje alergií a jiných onemocnění. Proto je snaha udržovat ve vnitřních prostorech optimální hodnotu RH (v rozmezí 40 – 60 %). [20][21] V případě vyšších hodnot RH (nad 80 %) může docházet nejen k biologickému růstu, ale v některých případech může dojít ke zkrácení předpokládané životnosti daného stavebního materiálu. [22]

Vlhkost je jedním z hlavních faktorů podílejících se na rozkladu stavebních materiálů. Voda může pronikat do struktury materiálu např. kapilárním vztláním nebo kondenzací vzdušné vlhkosti, což může mít za následek fyzikální a chemické změny. [23][24] Kompozity mají obvykle sklon k absorbování většího množství vody, než je tomu u čisté matrice. Některé studie ukázaly, že k nejvýraznějšímu zvýšení obsahu vlhkosti dochází u kompozitů s vyšším množstvím vláken. [25][26] Naopak omítkové kompozity s rostlinnými materiály jako je sláma nebo kukuřičná dřeň poukazují na zvýšení propustnosti vodní páry. [27][28][29] Vlhkost je v kompozitech transportována pomocí difuze v matrici a na rozhraní vlákno – matrice. Vlákna proto mohou ovlivnit kinetiku absorpce vody a transportní kapacitu. [30][31] V poslední době se mnoho vědců zabývá výzkumem materiálů tlumící vlhkost, které mohou absorbovat/desorbovat vlhkost prostřednictvím porézní struktury. Výměna vlhkosti umožňuje autonomní regulaci vlhkosti, díky čemuž se tyto kompozity zdají být slibné z hlediska realizace trvalé regulace vnitřní vlhkosti a při snižování energetických nákladů. [32][33]

Jedním z velkých témat dnešní doby je neustále rostoucí hladina hluku, která je spjatá s obrovským technologickým pokrokem v mnoha odvětvích každodenního života. Je mnoho lékařských výzkumů dokazujících negativní dopad dlouhodobého vystavení hluku nebo vysoké hladiny hluku na lidský organismus. Tyto faktory ovlivňují nejen psychický stav, ale i celkové zdraví člověka. [34][35][36][37]

Schopnost stavebních materiálů pohlcovat zvukové vlny je závislá na jejich tuhosti, hustotě a pórovitosti [38][39][40]. Běžně využívané stavební materiály jako jsou cihly, beton, pórabeton, železobeton, skelná vata, polystyren a další, mají již známé a prozkoumané obecně mechanické a tepelně izolační vlastnosti. Jejich výroba má však negativní dopad na životní prostředí, a proto se

v posledních letech dostávají do popředí stavební kompozity využívající některé klasické přírodní materiály (čočka, konopí, dřevo sláma, rákos, rýžové slupky, ...). [41][42][43]

Dalším velkým tématem jsou výzkumy zabývající se opětovným použitím ať už biologických nebo průmyslových odpadních materiálů (ovčí vlna, juta, recyklovaná bavlna, syntetické tkaniny, celulóza, dřevo, konopí, ...) jako zvukové izolace [44][45][46][47][48]. Ovšem v případě cementových kompozitů, které jsou zásadité, může lehce dojít k poškozování jak rostlinných, tak živočišných vláken a spolu s absorpcí vody postupem času značně oslabují spojení mezi vláknem a matricí [49].

Jak již bylo zmíněno, pohlcování zvuku závisí také na pórovitosti materiálu. Dle některých studií je použití vláken ve stavebních kompozitech v tomto ohledu pozitivní. Přidání přírodních vláken může mírně zvýšit otevřenou pórovitost a díky relativně vyššímu objemu pórů je tedy možná výsledná absorpce zvuku vyšší. [50][51][25]

Moderní vývoj v elektronice (speciálně v bezdrátových a komunikačních systémech) přináší do běžného života mnoho výhod. Je třeba si ale také uvědomit, že s těmito pokroky dochází ke zvýšenému výskytu elektromagnetických vln v našem okolí. Nadměrná přítomnost těchto vln může negativně ovlivňovat lidské zdraví [52][53][54][55].

Dnes již běžně využívané kovové stínění trpí řadou nevýhod jako je vysoká hmotnost, náchylnost ke korozi nebo obtížné zpracování [56][57][58][59]. Ve studiích zabývajících se elektromagnetickým stíněním stavebních materiálů se často používají příměsi s vysokou elektrickou vodivostí nebo materiály na bázi uhlíku [60][61][62][63], což může vést ke zvýšení účinnosti elektromagnetického stínění a zároveň k nárůstu stavebních nákladů a nákladů na následnou údržbu. Některé studie využívají minerální příměsi jako je popílek, saze nebo struska, které se běžně využívají jako doplňkové cementové materiály pro jejich stabilní mechanické vlastnosti, vhodné elektromagnetické vlastnosti, nízké emise CO<sub>2</sub> a dobrou finanční dostupnost [63][64][65][66][67]. Slibné výsledky dosahují také cementové kompozity s plnivem ve formě uhlíkových nanotrubic, které se vyznačují vysokou elektrickou vodivostí, což vede k vysokým hodnotám účinnosti elektromagnetického stínění (SE) [68][69][70][71]. Avšak využití nanotrubic do cementových kompozitů vede také k extrémně vysokým výrobním nákladům. Z plniv na bázi uhlíku se jako nejvýhodnější zdají uhlíková vlákna, která mají nižší výrobní náklady (oproti např. uhlíkovým nanotrubicím) a zároveň mají vysokou pevnost, vysoký modul pružnosti a dobrou elektrickou vodivost [72][73][74][75].

Jelikož je cement základní materiál, který se hojně využívá ve stavebnictví, využívá ho převážná většina výzkumů v této oblasti jako matrici. Nicméně samotná cementová matrice má špatnou účinnost elektromagnetického stínění.

Ve stavebnictví se používá až 60 % surovin získávaných z litosféry, proto má toto odvětví velký vliv na životní prostředí [76]. Vytváří se velké množství stavebního a demoličního odpadu, přičemž pouze 50 % je recyklováno [77][78]. S neustálým nárůstem environmentálních problémů (klimatické změny, ubývání přírodních zdrojů, problémy spojené se znečištěním a nakládáním s odpady) roste také potřeba vytvářet úspornější a udržitelnější materiály se stále lepšími fyzikálními a mechanickými vlastnostmi.

V současné době se průmyslový i akademický svět zaměřuje na vývoj udržitelných materiálů/kompozitů vyztužených přírodními vlákny. Mnoho odborných prací se zabývalo možnostmi použití přírodní vlákna jako alternativní vyztužení. Vlákna jako konopí, len, juta, čedič, sisal atd. jsou schopné vykazovat mechanické vlastnosti srovnatelné se syntetickými vlákny [79][80]. Díky nízké hustotě, srovnatelným specifickým vlastnostem, snížené spotřebě energie, menším zdravotním rizikům, obnovitelnosti, recyklovatelnosti, biologické rozložitelnosti a nízkým nákladům je použití přírodních vláken v kompozitech lukrativní možností. Jedna z hlavních nevýhod využití těchto vláken jako vyztuže je slabá interakce mezi vlákny a matricí. Proto se řada vědců ve svých studiích zabývala chemickým a fyzikálním ošetřením vlákna pro zvýšení drsnosti povrchu, zlepšení přilnavosti vlákna a matrice a snížení absorpce vlhkosti [81][82]. Chemická ošetření většinou zahrnují nebezpečná činidla, proto se od tohoto způsobu povrchové úpravy upouští a do popředí se dostávají biologické úpravy založené na využití působení vhodných hub a enzymů. Odstraněním hydrofilní fáze pektinu a hemicelulózy, které slouží jako pojivo svazku vláken můžeme selektivně zlepšit homogenitu, jemnost a účinnost vláken ve struktuře s nižším dopadem na životní prostředí oproti tradičním metodám. [83][84]



## 2 Cíle disertační práce

Téma disertační práce je motivováno snahou vytvořit krátko-vlákněné omítkové kompozity v současné době z běžně používaných omítek, které by optimalizovaly stěžejní fyzikální vlastnosti omítek a zároveň by měly pozitivní vliv na jejich životnost a tím přispěli ke snížení neustále narůstajících environmentálních problémů. Jedním z podnětů k tomuto výzkumu jsou současné požadavky na opravy fasád historických budov, které mají specifické nároky na stavební i vyztužující (vlákněné) materiály.

1. Primárním cílem disertační práce je analýza **vlivu vlákněné výztuže na mechanické vlastnosti omítkových kompozitů**. Práce je zaměřena na studium mechanických a fyzikálních vlastností v souvislosti s jejich strukturou. Jedním z klíčových určujících členů kompozitu je distribuce použité disperze, optimální množství a délka vlákněné výztuže. Stanovení těchto vlastností vychází primárně ze základního mechanického testování. Na základě literární rešerše byly vybrány tři druhy krátko-vlákněné výztuže, které byly doplněny perlinkovou výztuží pro možnost porovnání vyztužujících účinků.
2. Sorpcí vlhkosti do stavebních materiálů dochází k mechanickému i chemickému narušování materiálu, což přímo souvisí s většinou poškození stavebních konstrukcí. Z toho důvodu se práce zabývá i testováním **transportu kapalné vody** u analyzovaných omítkových kompozitů.
3. V současné době je často řešený problém negativní vliv hluku na zdraví člověka. Jelikož jsou stavební materiály přímým účastníkem v dané interakci se zvukovými vlnami, je sledován vliv vlákněné výztuže na **akustickou pohltivost** omítkových kompozitů.
4. Mimo mechanických vlastností kompozitů ve stavebnictví je v dnešní době poměrně aktuální požadavek na **schopnost stínění elektromagnetického pole**. Práce se tedy zabývá otázkou, zda může mít krátko-vlákněná výztuž pozitivní vliv také na tyto specifické fyzikální vlastnosti daných kompozitních materiálů. Jelikož schopnost stínit elektromagnetické pole mají pouze elektricky vodivé materiály, byla pro tento experiment vybrána výztuž ve formě uhlíkových vláken.

V závěru práce je k nalezení poměrně jasné posouzení chování vlákněných omítkových kompozitů při běžném mechanickém či klimatickém zatížení. Dále jsou shrnuty možnosti ovlivnění těchto parametrů a analýza vybraných fyzikálních vlastností, konkrétně akustického a elektromagnetického stínění.

## 3 Popis vlastního řešení

V této kapitole jsou uvedeny a popsány zkoušky a použité metody pro zhodnocení vlastností kompozitů uvedených v experimentální části práce.

### 3.1.1 Mechanické vlastnosti

Podkapitola obsahuje popis základních mechanických zkoušek, použitých pro testování omítkových kompozitů.

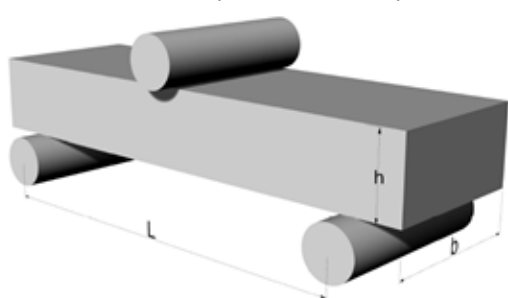
#### Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

Pevnost je jednou z nejdůležitějších vlastností kompozitů. Pevnost se zjišťuje pomocí testování pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu. Pevnost v tahu za ohybu se testuje na trámčích o velikosti 40 x 40 x 160 mm. Při stanovování pevnosti v tahu za ohybu je zkušební těleso zatěžováno podle obrázku 1a. Klasický tah v tomto případě nelze provést z důvodu upnutí vzorků do čelistí. Vzhledem k povaze materiálu by při upnutí do čelistí docházelo k rozdrčení materiálu. Testování probíhalo v souladu s normou ČSN EN 1015-11 [85].

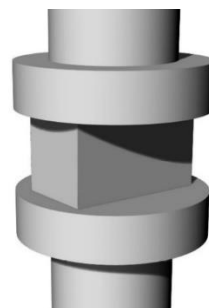
Pevnost v tahu za ohybu [MPa] je dále stanovena dle vzorce (1):

$$R_f = \frac{3Fl_p}{2bh^2}, \quad (1)$$

kde  $b$  je šířka vzorku [mm],  $h$  je výška vzorku [mm],  $l_p$  je vzdálenost válcových podpěr [mm] a  $F$  je lomové zatížení [N]. Výsledné hodnoty se udávají s přesností na 0,1 MPa.



a) Zatěžování zkušební tělesa při zkoušce trojbodým ohybem



b) Zatěžování zkušební tělesa pro stanovení pevnosti v tlaku

Obr. 1 Způsoby zatěžování zkušebních těles při mechanickém testování

Pevnost v tlaku se stanovuje na zlomcích testovaných trámek po stanovení pevnosti v tahu za ohybu (40 x 40 x 80 mm). Zatěžování vzorku je znázorněno na obr. 1b. Testování probíhalo v souladu s normou ČSN EN 1015-11 [85].

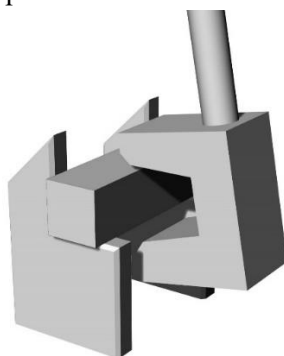
Pevnost v tlaku [MPa] se stanovuje dle vzorce (2):

$$R_m = \frac{F_c}{A_p}, \quad (2)$$

kde  $F_c$  je nejvyšší zatížení při porušení [N] a  $A_p$  je plocha průřezu vzorku [mm<sup>2</sup>].

### Stanovení rázové houževnatosti

Rázová houževnatost je velmi dobrým ukazatelem odolnosti materiálu vůči deformaci. Houževnatost souvisí se schopností materiálu rychle absorbovat energii. Rázovou houževnatost lze stanovit pomocí Charpy testu a slouží jako simulace různých druhů nárazů (obr. 2). Pro toto měření byly použity vzorky o velikosti 40 x 40 x 160 mm. Testování probíhalo v souladu s normou ČSN EN ISO 179-1 [86].



Obr. 2 Schéma testování rázové houževnatosti

Rázová houževnatost  $A_\omega$  [J·mm<sup>-2</sup>], představuje kinetická energie  $E_c$  [J], která je potřebná k přeražení zkušební tělesa a vztahena na její původní plochu průřezu – šířku  $b$  [mm] a tloušťku/výšku  $h$  [mm] (3).

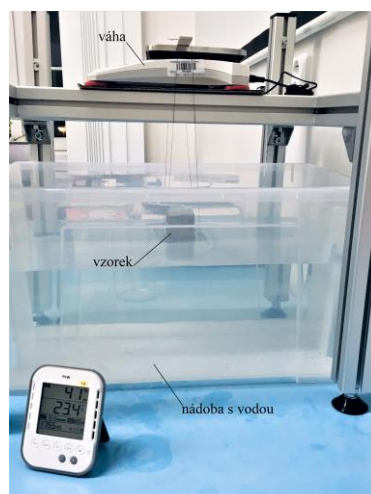
$$A_\omega = \frac{E_c}{bh} \quad (3)$$

### 3.1.2 Sorpční vlastnosti

V této podkapitole jsou popsány experimenty, které byly použity pro popis sorpčních vlastností omítkových kompozitů.

#### Transport kapalné vody

Transport kapalné vody byl stanoven na základě změny hmotnosti vzorku dle normy ČSN EN ISO 15148 [87].



Obr. 3 Schéma měřícího zařízení pro transport kapalné vody

Pro tento sorpční experiment je potřeba, aby vzorky byly po obvodu izolovány pomocí epoxidové pryskyřice, čímž se zajistí jednosměrný transport vody. Vzorek se čelní neizolovanou stranou ponoří 2 - 3 mm pod vodní hladinu, zároveň je zavěšený na automatické digitální váze, která v daný časový okamžik zaznamenává nárůst hmotnosti vzorku (obr. 3). Změna hmotnosti  $M$  [%] byla stanovena pomocí (4):

$$M = \frac{M_t - M_0}{M_0} 100 \quad (4)$$

kde  $M_t$  [g] je naměřená hodnota hmotnosti v čase  $t$  a  $M_0$  [g] je počáteční hmotnost.

#### Transport vodní páry

Transport molekul vodní páry je jedním z faktorů, který výrazně ovlivňuje životnost a technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Jedním z hlavních ukazatelů funkčnosti omítek jsou součinitel difúze vodní páry a faktor difúzního odporu. Vodní páry obsažené ve vzduchu difundují z místa o vyšším parciálním tlaku do místa s nižším parciálním tlakem. Obecně by tedy měl difúzní odpor klesat směrem z interiéru ven do exteriéru. Součinitel difúze vodní páry a faktor difúzního odporu lze stanovit z hodnoty součinitele difúzní propustnosti, která se stanoví na základě metody bez teplotního spádu dle normy ČSN 727031 [88].

Metoda spočívá v jednosměrném prostupu vodní páry vzorkem, dochází k měření difúzního toku vodní páry, která projde testovaným tělesem. Pro metodu bez teplotního spádu je třeba zajistit stálou teplotu a relativní vlhkost nad a pod testovaným tělesem. Při měření musí být vzorek parotěsně a vodotěsně izolován a utěsněn v misce naplněné vysoušedlem. Takto připravené vzorky se periodicky váží a zaznamenává se hmotnostní přírůstek či úbytek. Součinitel difúze vodní páry  $D$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] se vypočítá podle vztahu (5):

$$D = \frac{\Delta m d R_p T}{A_{vz} t M_{H_2O} \Delta p_p}, \quad (5)$$

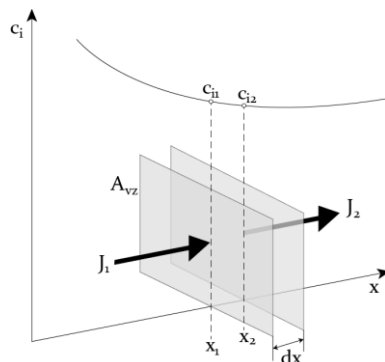
kde  $\Delta m$  je množství vodní páry prodifundované vzorkem [kg],  $d$  je tloušťka vzorku [m],  $R_p$  [ $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] je univerzální plynová konstanta,  $T$  [K] je absolutní teplota,  $A_{vz}$  [ $\text{m}^2$ ] představuje plochu testovaného vzorku, která je ve styku s daným prostředím,  $t$  [s] je časové období související s transportem hmotnosti vodní páry,  $M_{H_2O}$  [ $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ] je molární hmotnost vody a  $\Delta p_p$  [Pa] je rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod povrchem vzorku. Faktor difúzního odporu  $\mu$  [-] se stanoví podle (6):

$$\mu = \frac{D_a}{D}, \quad (6)$$

kde  $D_a$  [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ] je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu, jehož hodnota je  $2,3\cdot 10^{-5} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ . Hodnota faktoru difúzního odporu vyjadřuje o kolikrát je transport vodní páry materiálem pomalejší, než je transport vodní páry vzduchem. [89][90]

V porézních materiálech dochází k transportu vodní páry konvekcí nebo difúzí. Difúze může probíhat pouze v kapilárách s průměrem větším než  $10^{-7}$  m, protože tu nedochází ke kapilární kondenzaci. V souvislosti s porézními strukturami se velmi často uvažuje o modelu, kde je tlakový gradient základní hybnou silou a rychlost vodní páry představuje transportní parametr. Pokud tedy budeme mít prodyšnou porézní strukturu, může tu docházet k velkým konvenčním tokům, které způsobí pouze malý tlakový gradient. V porézní struktuře dochází během transportu k absorpci části molekul vodní páry na povrchu matrice. Tento jev je vyvolán v důsledku interakce mezi molekulami plynu/páry a povrchem matrice Van der Waalsovými silami. Takto absorbované molekuly se mohou dále šířit pevným materiálem. [90][91]

Nestacionární difúze je jev, při kterém dochází k pohybu částic látky z oblasti s vysokou koncentrací do oblasti s nižší koncentrací. Koncentrace látky se mění v závislosti na čase a prostoru a je způsobena různými faktory (rozdíl koncentrací mezi dvěma oblastmi, teplotní gradient nebo rozdíl tlaku). Tyto faktory vytvářejí hybnou sílu, která způsobuje pohyb částic látky. Princip nestacionární difúze je znázorněn na obrázku 4. Jestliže budeme mít na obou stranách hranolu rozdílné koncentrace, bude zde docházet k transportu látky z místa s vyšší koncentrací na místo o nižší koncentraci přes kontrolní objem s průřezem  $A_{vz}$ . Pokud z jedné strany vstupuje větší množství látky, než ze strany druhé vystupuje, část látky zůstává v kontrolním objemu a zvyšuje v něm koncentraci. Změnu koncentrace látky v závislosti na čase lze popsat 2. Fickovým zákonem. [90][91][92]



Obr. 4 Princip nestacionární difúze

V následujícím experimentu předpokládáme jednosměrný transport vodní páry, kdy součinitel propustnosti pro vodní páru  $\delta_p$  je konstantní. Množství procházející vodní páry lze stanovit podle rovnice (7):

$$n \frac{M_{H_2O}}{R_p T} \frac{\partial^2 p_{wv}}{\partial t} = \delta_p \frac{\partial^2 p_p}{\partial d^2}, \quad (7)$$

kde  $n$  [-] představuje porozitu materiálu stanovenou jako objem porézního prostoru k celému vzorku,  $R_p$  [ $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] je univerzální plynová konstanta,  $T$  [K] je absolutní teplota,  $M_{H_2O}$  [ $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ] je molární hmotnost vody,  $d$  [m] je tloušťka vzorku,  $t$  [s] je čas související s hmotnostní transportované vodní páry,  $\Delta p_p$  [Pa] je rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod měřeným povrchem vzorku. [90][91]

Dále byla stanovena ekvivalentní difúzní tloušťka (8)  $S_d$  [m], která vyjadřuje, jakou tloušťku by musela mít vrstva vzduchu, aby měla stejný difúzní odpor jako měřený materiál.

$$S_d = \mu d, \quad (8)$$

kde  $\mu$  [-] je faktor difúzního odporu a  $d$  [m] je tloušťka materiálu.

Pro tento experiment byly vyrobeny vzorky ve tvaru válce o průměru 100 mm a tloušťce 20 mm. Vzorek byl vzduchotěsně a parotěsně izolován po obvodu epoxidovou pryskyřicí, následně byl utěsněn plastelínou do hliníkové misky, která obsahovala nasycený roztok  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (RH v misce bylo 98 %). Změna hmotnosti vzorku byla zaznamenána pomocí vah v závislosti na čase. Měření se provádělo v akváriu, jehož počáteční RH bylo 0 %.

### 3.1.3 Akustická pohltivost

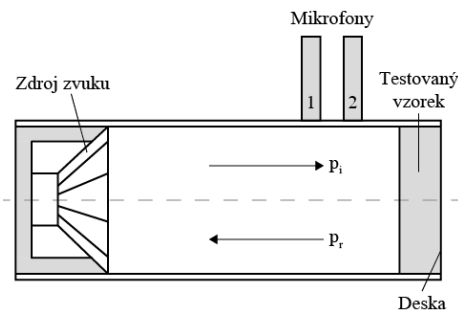
Akustickou pohltivost lze stanovit pomocí impedanční trubice metodou přenosové funkce dle normy ČSN ISO 10534-2 [93]. Na jednom konci trubice je umístěný měřený vzorek a na druhém konci reproduktor napájený generátorem signálu. Signál je následně zesílen v zesilovači. Pro měření akustického tlaku jsou použity dva mikrofony (obr. 5).

Činitel zvukové pohltivosti  $\alpha$  [-], který představuje poměr absorbované a dopadající energie je při kolmém dopadu akustického vlnění definován následovně (9)(10):

$$\alpha = 1 - |\beta|^2 \quad (9)$$

$$\beta = \frac{H_{12} - H_I}{H_R + H_{12}} e^{2k_0 \cdot x_1 i}, \quad (10)$$

kde  $\beta$  [-] je činitel zvukové odrazivosti, je dán poměrem odražené akustické energie od určité plochy k dopadající akustické energii na tuto plochu.  $H_{12}$  je přenosová funkce signálů detekovaných mikrofony 1 a 2,  $H_I$  je přenosová funkce pro dopadající vlnu,  $H_R$  je přenosová funkce pro odraženou vlnu,  $k_0$  komplexní vlnové číslo,  $x_1$  je vzdálenost mezi vzorkem a vzdálenějším mikroskopem,  $i$  je imaginární jednotka. [93][94]



Obr. 5 Schéma měření akustické pohltivosti pomocí impedanční trubice

Při zvažování hluku v konstrukci je třeba vzít v úvahu subjektivní vnímání hluku, zejména v městském prostředí [95]. Zvukové pole je popsáno změnami proměnných v ustáleném stavu, jako je tlak, rychlost, teplota a hustota, které popisují stav prostředí, ve kterém se zvuk šíří.

Pro normálně dopadající akustickou vlnu na rozhraní s akustickou impedancí  $z_1$  a  $z_2$  lze zapsat činitele zvukové odrazivosti (11):

$$\beta = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \quad (11)$$

Činitele zvukové pohltivosti lze tedy zapsat (12):

$$\alpha = 1 - \left| \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right|^2 \quad (12)$$

Akustická impedance  $Z$  [ $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ ] materiálu je poměr akustického tlaku k související rychlosti částic, lze ho také vyjádřit pomocí činitele zvukové odrazivosti dle vztahu:

$$Z = \rho_{o_2} c \frac{1+\beta}{1-\beta} \quad (13)$$

kde  $\rho_{vz}$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] je hustota vzduchu při aktuální teplotě a  $c$  představuje rychlost zvuku [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]. Skutečná rychlost zvuku  $c$ , která závisí na modulu pružnosti  $E$  [ $\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ] a hustotě materiálu  $\rho_m$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ], je určena rychlostí šíření podélných vln resp. příčných vln v neohraničeném prostoru podle (14). [96] Specifickou mechanickou impedancí  $Z$  [ $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ ] (13) lze použít ke kvantifikaci přenosu zvuku mezi dvěma materiály jako poměr procházející a dopadové energie. [93][94]

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho_m}} \quad (14)$$

### 3.1.4 Elektromagnetické stínění

Lze jej definovat jako odrušovací prostředek, který umožňuje snížit rušivé vyzářování (zdroj) nebo naopak zvýšit elektromagnetickou odolnost (přijímač). Stínění je nástroj, který umožňuje zabránit šíření rušivého elektromagnetického pole z vymezeného prostoru nebo do tohoto prostoru. Velmi často se používají stínící kryty a stínění, které stíní celý přístroj nebo jeho část, která působí jako zdroj rušení. Jedná se o vysoce efektivní způsob elektromagnetické ochrany před rušením kontinuálního i impulzního charakteru. Elektromagnetické pole působí ve velmi širokém frekvenčním pásmu. Pro zdroje střídavého proudu dosahuje frekvenční pás až 50 Hz, pro dlouhovlnná, středovlnná a krátkovlnná rozhlasová vysílání se pohybuje v rozsahu 100 MHz - 30 MHz, 100 MHz – 500 MHz pro televizní vysílače a FM a pro mobilní telefony a radarové zdroje tento rozsah může být až několik GHz.

Špatná volba odrušovacího prostředku (nebo špatná montáž a instalace) často vede k zhoršení parametrů námi stíněného zařízení a ve výsledku může zvýšit celkovou hladinu rušení tak, že stíněné zařízení ruší nebo je rušeno více než zařízení nestíněné. [97][98]

#### Účinnost stínění

Kvalitu elektromagnetického stínění (EMS) jakožto lineárního systému lze posoudit pomocí koeficientu stínění  $K_s$  [-] viz rovnice (15), který je stanoven poměrem intenzity elektrického pole  $E_t$  [ $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ] (magnetického pole  $H_t$  [ $\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ ]) uvnitř stíněného objektu a intenzit  $E_i$  ( $H_i$ ) v témže bodě bez stínícího krytu (intenzita pole dopadajícího na stínící přepážku)

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} \quad (15)$$

Pro běžné využití se z tohoto koeficientu stanoví účinnost elektromagnetického stínění  $SE$  [dB], která vyjadřuje zeslabení rušivého pole stíněním (16):

$$SE = 20 \log \frac{1}{K_S} = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \text{ nebo } SE = 20 \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right|. \quad (16)$$

V případě, že je prostředí na obou stranách stínící přepážky stejné a vlna dopadající na přepážku je homogenní, jsou obě definice  $SE$  stejné. Jsou-li prostředí různá na obou stranách stínění nebo jedná-li se o stínění v blízké zóně elektromagnetického pole získáme z výše uvedených vztahů různé výsledky. Pokud nelze posoudit elektrické a magnetické pole odděleně, je možné stanovit účinnost stínění pomocí výkonu (17):

$$SE = 10 \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|, \quad (17)$$

kde  $P_i$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] je výkonová hustota pole dopadající na stínící přepážku a  $P_t$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] je analogická hodnota propuštěná stíněním.[99][100]

#### Mechanismus stínění

Pro určení efektivnosti stínění je třeba definovat složky elektromagnetické vlny, která pronikne do stíněné oblasti při známé velikosti, známých parametrech stínící přepážky a známých parametrech okolního prostředí. Vztah pro účinnost stínění  $SE$  [dB] ve vzdáleném elektromagnetickém poli lze také definovat pomocí fyzikálních mechanismů (18):

$$SE = R + A + M_R, \quad (18)$$

kde  $R$  [dB] je odraz,  $A$  [dB] absorpce a  $M_R$  [dB] je mnohonásobný odraz elektromagnetického záření. Pro další rozbor lze zjednodušeně uvažovat o rovinné kovové desce, na kterou kolmo dopadá rovinná elektromagnetická vlna, která se šíří ve směru osy  $z$ . Z hlediska stínění je kolmý dopad vlny na plochu kovové přepážky nejhorším případem. Při dopadu elektromagnetické vlny pod jiným úhlem je vlna procházející stínící přepážkou a pokračující dále do stíněného prostoru vždy menší (obr. 6). Dalším předpokladem je neomezená plocha stínící přepážky, která dovoluje zanedbat efekty na jejích okrajích.

K útlumu odrazem ( $R$ ) dochází vlivem částečného odrazu energie vlny, ke kterému dochází nejen na rozhraní mezi dielektrikem s impedancí (např. vzduch) a kovovou stěnou přepážky s impedancí, ale také na „výstupním“ rozhraní mezi kovovou stěnou a dielektrikem (vzduchem). K hlavnímu útlumu odrazem dochází na „vstupním“ rozhraní a k výstupnímu rozhraní postupuje už jen zlomek energie vlny, přičemž jeho přenos je přibližně konstantní. Útlum odrazem tedy nezávisí na tloušťce stínící kovové přepážky.

Absorpční útlum ( $A$ ) vzniká pohlcením části energie elektromagnetické vlny při jejím průchodu stínící kovovou přepážkou o tloušťce  $t$  vlivem tepelných ztrát. Množství pohlcené části energie je závislé na materiálu přepážky, její tloušťce a frekvenci vlnění (19).

$$A = 20 \log |e^{-\gamma t}| = 20 \log e^{at} = 20 \log e^{\frac{t}{\delta}} = 8,6859 \frac{t}{\delta} \quad (19)$$

kde  $\delta$  [m] (20) představuje hloubku vniku elektromagnetického pole do kovového materiálu. [99][101]

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \mu \sigma f}} \quad (20)$$

kde  $f$  [Hz] je frekvence vlnění,  $\mu_m$  [ $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ ] je magnetická permeabilita a  $\sigma$  [ $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ ] je elektrická vodivost. Obecný vztah pro absorpční útlum (21) lze psát:

$$A = 8,69 \frac{t}{\delta}; A = 0,0848 t \sqrt{\mu_m \sigma f}. \quad (21)$$

Útlum vlivem mnohonásobného odrazu ( $M_R$ ) viz rovnice (22) vzniká v důsledku opakovaných odrazů na vstupu a výstupu stínící přepážky (obr.6).

$$M_R = 20 \log \left| 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 e^{-\frac{2t}{\delta}} e^{-j\frac{2t}{\delta}} \right|, \quad (22)$$

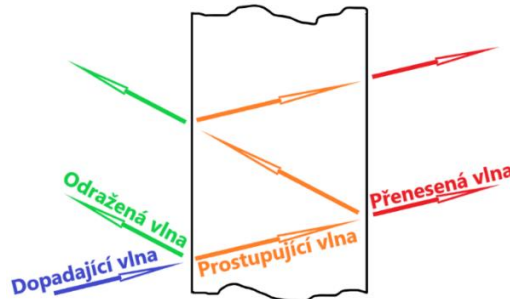
kde  $Z_0$  [ $\Omega$ ] je vlnová impedance pro vakuum nebo suchý vzduch a  $Z_M$  [ $\Omega$ ] je vlnová impedance pro vodivé prostředí stínící přepážky. Je-li stínící přepážka vyrobena z dobře vodivého materiálu ( $Z_0 \gg Z_M$ ) a její tloušťka  $t$  [m] je podstatně větší než hloubka vniku ( $t \gg \delta$ ) je výraz  $M \sim 0$ . V takovém případě lze zanedbat vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost stínění. Má-li stínící přepážka výrazně menší tloušťku ve srovnání s hloubkou vniku ( $t \ll \delta$ ) je útlum mnohonásobnými odrazy záporný a hodnota  $M$  snižuje celkovou účinnost stínění.

Pomocí dvouportového síťového analyzátoru lze získat parametry rozptylu označené jako  $S_{11}^*$  [dB] (nebo  $S_{22}^*$ ) a  $S_{21}^*$  [dB] (resp.  $S_{12}^*$ ). Tyto parametry poskytují informace o odrazu  $SE_R$  [-], absorpci  $SE_A$  [-] a prostupu  $SE_T$  [-] podle (23)(24)(25):

$$S_{11}^* = 10 \log |S_{11}|^2; S_{21}^* = SE = 10 \log |S_{21}|^2 \quad (23)$$

$$SE_R = |S_{11}|^2 \text{ a } SE_T = |S_{21}|^2; SE_A = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (24)$$

$$SE_R = \frac{1}{10^{\frac{|S_{11}^*|}{10}}}; SE_T = \frac{1}{10^{\frac{|S_{21}^*|}{10}}}. \quad (25)$$



Obr. 6 Skládání vlny vlivem mnohonásobného odrazu ve stěně přepážky

Jestliže je  $SE > 10$  dB v důsledku odrazu lze považovat vícenásobnou účinnost stínění za zanedbatelnou a můžeme ji vyjádřit jako  $(1 - SE_R)$ . Další možností, jak posoudit význam odrazu a absorpce vln je vyjádřit procentuální podíly odražených a absorbovaných vln, které je založeno na rozdělení nepropuštěného záření na složky. (26)

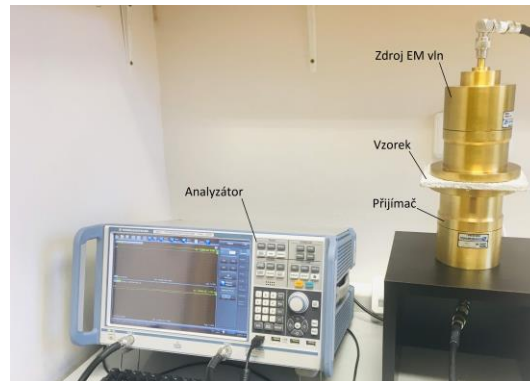
$$R = \frac{SE SE_R}{1 - SE_T}; A = \frac{SE SE_A}{1 - SE_T} \quad (26)$$

Je tedy zřejmé, že nejvhodnější materiál pro elektromagnetické stínění musí mít vysokou elektrickou vodivost a vysokou magnetickou permeabilitu. Z toho důvodu se pro tyto účely používají převážně kovy. Trendem dnešní doby je nahrazování kovů kompozitními materiály zejména z důvodu ceny, hmotnosti a vhodnějším mechanickým vlastnostem. Do kompozitů se využívají částicová plniva s vysokou elektrickou vodivostí (útlum elektromagnetického pole odrazem a absorpcí) a plniva s vysokým poměrem délka/tloušťka (tvorba vodivých řetězců).



Efektivitu stínění neovlivňuje pouze použitý materiál, ale také frekvence zdroje elektromagnetického záření, vzdálenost zdroje záření od stínícího prvku a v neposlední řadě množství a tvar nespojností jako jsou trhliny, mezery, díry, atd. [102]

Na obrázku 7 je zobrazeno testovací zařízení pro EMS. Měření probíhalo podle normy ASTM D 4935-18 [103].



Obr. 7 Testovací zařízení EMS

### 3.1.5 Užitná hodnota

Termín kvalita vyžaduje kvalifikaci ve smyslu svého kontextu a toho, do jaké míry je považováno za dobré nebo špatné. Cílem je obvykle zajistit, aby produkt vyhovoval účelu, odpovídal očekávání zákazníka a také poskytoval příležitost k zisku. Index kvality má umožnit hodnotit klíčové faktory, které přispívají k vytvoření „vhodné kvality“. Vytváří se na základě kvalitativních a kvantitativních ukazatelů, které měří různé aspekty kvality (výrobní standardy, funkčnost, vzhled a design, spokojenost zákazníka, atd.).[104][105][106]

Pro hodnocení celkového výkonu vyrobených kompozitů byl zvolen index kvality  $QI$ . Nejprve je vytvořena funkce pro odhad stupně kvality pro každou vlastnost dle vztahu (27)

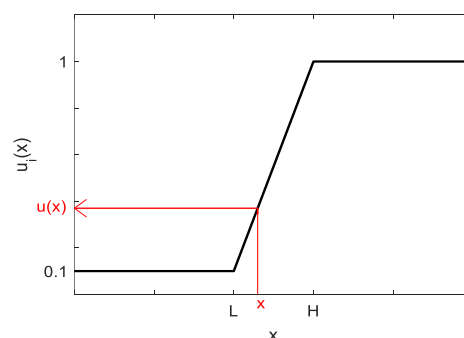
$$u_i(x) = f(x, L, H), \quad (27)$$

kde  $H$  je zcela vyhovující,  $L$ , je nevyhovující a  $x$  je aktuální naměřená hodnota stejné vlastnosti, jak je znázorněno na obrázku 8.

Na základě stupně kvality všech podstatných znaků, které byly vyselektovány, jako stěžejní, lze index kvality  $QI$  ( $0 \leq QI \leq 1$ ) stanovit pomocí váženého geometrického průměru dle vztahu (28):

$$QI = e^{\sum_{i=1}^m (w_j \ln(u_j))}, \quad (28)$$

kde  $w_j$  je odpovídající hodnota váhy dané vlastnosti (která se pohybuje od 0 do 1),  $j$  je sumační index a  $m$  je celkový počet vlastností. [106][107]



Obr. 8 Diagram konstrukce užité hodnoty [107]

## 4 Dosažené výsledky a jejich uplatnění

### 4.1 Použité matrice

V této kapitole budou popsány jednotlivé druhy omítek, použité v následujících experimentech. Při selekci byly vytipovány běžně dostupné a obvykle používané vnitřní omítky v České republice.

#### Vápenná omítka

Vápenná omítka byla pořízena od firmy HASIT. Je určena pro ruční zpracování vnějších i vnitřních prostředí. Lze ji využít i jako povrchovou úpravu u zdrsňených jádrových omítek (štuk). Deklarované vlastnosti od výrobce jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Vlastnosti vápenné omítky uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tlaku	0,4 – 2,5 N·mm <sup>-2</sup>
Propustnost vodních par	≤ 20
Kapilární absorpce vody	$C \leq 0,40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
Tepelná vodivost	$\lambda \leq 1,17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Reakce s ohněm	A1 (nehořlavé materiály)
Trvanlivost	NPD (no performance determined)
Přidrženost	≥ 0,1 N·mm <sup>-2</sup>
Uvolňování nebezpečných látek	NPD

#### Vápenocementová omítka

Vápenocementová omítková směs je produktem společnosti SATSYS technology a.s. Tato omítka je určena do exteriérů i interiéru budov, je vhodná pro omítání betonových, pórobetonových a cihelných podkladů a také na smíšené zdivo. Kombinace nízké objemové hmotnosti a nízkého modulu pružnosti umožňují eliminovat objemové změny podkladu. Omítka je hydrofobizovaná, tepelně izolační a difuzně otevřená, což napomáhá k odstranění vlhkosti a zamezuje vzniku plísní. Vlastnosti deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Vlastnosti vápenocementové omítky uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tlaku	1,20 N·mm <sup>-2</sup>
Pevnost v tahu za ohybu	≥ 0,5 MPa
Propustnost vodních par	< 8
Kapilární absorpce vody	$C \leq 0,40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
Součinitel tepelné vodivosti	$\lambda < 0,08 \text{ W} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}$
Reakce s ohněm	A1 (nehořlavé materiály)
Přidrženost	0,35 N·mm <sup>-2</sup>
Zrnitost	0 - 2 mm

#### Sádrová omítka

Sádrová omítka pochází od firmy Rigips SAINT - GOBAIN. Jedná se o lehčenou omítku s hlazeným povrchem určenou k omítání stěn a stropů v interiéru. Omítka je vhodná pro všechny typy podkladů, nehodí se pod keramické obklady a na čerstvý nebo mokřý beton se nesmí aplikovat. Je určena především pro ruční zpracování. Deklarované vlastnosti od výrobce jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Vlastnosti sádrové omítky uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tahu za ohybu	> 1,0 MPa
Pevnost v tlaku	> 2,5 MPa
Pevnost v přidrženosti	> 0,5 MPa
Faktor difuzního odporu	= 10

### Cementová omítka

Omítku firmy Weber SAINT - GOBAIN lze použít v interiéru i exteriéru. Jedná se o vícevrstvou jádrovou omítku určenou pro ruční zpracování. Omítka je vhodná pro použití v místech se zvýšeným požadavkem na pevnost a odolnost proti vodě. Deklarované vlastnosti od výrobce jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4 Vlastnosti cementové omítky uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tlaku	6 MPa
Propustnost vodních par	= max. 30
Kapilární absorpce vody	$C \leq 0,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
Tepelná vodivost	$\lambda \leq 0,72 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Reakce s ohněm	A1 (nehořlavé materiály)
Přídržnost	Min. $0,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
Zrnitost	4 mm

### 4.2 Výztužný materiál

Jako výztuž byla použita, v této kapitole popsaná, vlákna. Čedičová a skleněná vlákna byla vybrána s ohledem na jejich vlastnosti a historii používání těchto vláken ve stavebnictví a možnosti následného využití i na starších budovách. Uhlíkové vlákno bylo do experimentů zařazeno pro možnost specifického využití v oblasti elektromagnetického stínění. Pro ucelenost informací a možnost porovnávání jednotlivých vlastností kompozitních materiálů byly do experimentů přidány běžně využívané vyztužující materiály ve stavebnictví v podobě skleněné a čedičové perlinky.

#### Skleněná vlákna

Skleněná vlákna byla pořízena od firmy SKLOCEMENT BENEŠ. Jedná se o vysokopevnostní a vysokomodulové sekané prameny z alkalivzdorných fibril. Vlákenné svazky mají speciální povrchovou úpravu zabezpečující integritu pramene a odolnost proti abrazi. Jednotlivé prameny jsou tvořeny 100 kusy individuálních vláken. Využívají se v podlahových betonech, potěrech, stěrkách a při výrobě tenkostěnných prefabrikátů ze sklocementu. Vlastnosti deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Vlastnosti skleněných svazků uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Délka vlákna	12 mm
Průměr filamentu	14 $\mu\text{m}$
Jemnost	45 tex
Obsah lubrikantu	0,08 %
Vlhkost	max. 0,3 %
Elektrická vodivost	velmi nízká
Specifická hmotnost	$2,68 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Bod měknutí	860 °C
Chemická odolnost	velmi vysoká
Modul pružnosti	72 GPa
Pevnost pramene v tahu	1700 MPa

#### Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna byla pořízena od firmy HAVEL COMPOSITES. Pro dosažení požadovaných vlastností jsou vlákna opatřena lubrikací. Vlastnosti deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Vlastnosti uhlíkových vláken uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tahu	3800 MPa
Modul pevnosti v tahu	242 GPa

Elektrický odpor	$1,55 \cdot 10^{-3} \cdot \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$
Hustota	$1,81 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Průměr vlákna	7,2 $\mu\text{m}$
Obsah uhlíku	95 %

### Čedičová vlákna

Čedičová vlákna pochází od firmy BASALTEX, která nabízí vlákna udržitelná, inertní, žáruvzdorná a ohnivzdorná. Vlákna jsou vhodná pro textilní a kompozitní aplikace. Vlastnosti deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Vlastnosti čedičových vláken uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Průměr filamentu	13 $\mu\text{m}$
Jemnost fibrily	0,35 tex
Obsah vlhkosti	Ne víc než 1 %
Chemická odolnost:	úbytek hmotnosti během 3 dnů
2H NaOH	2,5 %
SH HCl	2,5 %

### Skleněná perlínka

Skleněná perlínková tkanina WEBER THERM má speciálně navrženou povrchovou úpravu zabezpečující ochranu mřížky proti alkalickému působení lepidel a dalších používaných materiálů. Zároveň tato úprava zabraňuje posuvu přízí v armovací tkanině. Perlínka se běžně používá v exteriérech, interiérech a u venkovních omítek. Vyznačuje se vynikající rozměrovou stabilitou, vysokou mechanickou pevností a je kompatibilní se všemi hlavními fasádními systémy. Vlastnosti deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 8 a 9.

Tab. 8 Vlastnosti skleněné perlínky uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Plošná hmotnost upravené tkaniny	$145 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$
Plošná hmotnost rezné tkaniny	$117 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$
Limitní kyslíkové číslo (LOI)	20 %
Světlost ok	4,0 x 4,5 mm

Tab. 9 Pevnost a protažení skleněné perlínky uvedené výrobcem (osnova/útek)

Způsob uložení	Pevnost [N / 50 mm]		Protažení [%]
	Nominální hodnota	Jednotlivá hodnota	Průměrná hodnota
Standartní podmínky	2100 / 2200	1900 / 1800	3,8 / 3,8
5 % NaOH	1300 / 1350	1000 / 900	3,5 / 3,5
Rychlostest	1500 / 1600	1100 / 1 000	3,5 / 3,5
3 iontový roztok (ETAG 004)		1000 / 1000 50 % / 50 %	

### Čedičová perlínka

Firma BASALTEX nabízí perlínky vyrobené z čedičových vláken, které mají přirozenou alkalickou a korozivzdornou odolnost. Používají se jako výztuž do betonu, do betonových a zděných konstrukcí. Vlastnosti deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Vlastnosti čedičové perlínky uvedené výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Plošná hmotnost	$125 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$
Světlost ok	5 x 5 mm
Limitní kyslíkové číslo (LOI)	20 %

### 4.3 Stanovení délky a množství vláken

Cílem experimentu bylo zjistit jaká délka a množství vláken je optimální pro použití v omítkových kompozitech.

Ke stanovení délky jednotlivých vláken (sklo, čedič, uhlík) bylo potřeba otestovat soudržnost vláken a matrice. Pro tento experiment byly vyrobeny vzorky o rozměrech 40 x 40 x 40 mm, do kterých byly vloženy svazky vláken (do hloubky 20 mm). Jemnost vláknenných svazků je uvedena v tabulce 11. Svazky vláken byly vkládány do každého typu použité matrice (vápenná, vápeno-cementová, sádrová, cementová). Pro každý typ vzorku (kombinace matrice + vlákno) bylo zhotoveno 5 vzorků.

Tab. 11 Parametry svazků vláken

Vláknenný svazek	Čedič	Sklo	Uhlík
Jemnost svazku [tex]	223,5	178,8	200

Takto vytvořené testovací objekty tvrdly po dobu 21 dní. Následně byly vzorky testovány pomocí dynamometru LabTest 4.050 (obr. 9). Rychlost napínání vláknenného svazku byla 2 mm/min a upínací délka byla 100 mm. Průměrné hodnoty měření jsou uvedeny v tabulce 12.

Naměřené hodnoty byly použity pro výpočet kritické délky vlákna dle vztahu (29):

$$l_c = \frac{R_{mV} d_{vl}}{2\tau_m}, \quad (29)$$

kde  $l_c$  [mm] je kritická délka,  $R_{mV}$  [MPa] je pevnost vláken,  $d_{vl}$  [mm] je průměr vláken  $\tau_m$  [MPa] je pevnost rozhraní mezi matricí a vlákny ve smyku.

Tab. 12 Parametry svazků vláken zapuštěných do matrice/omítky

Druh matrice Druh vláknenného svazku	Vápenná	Vápeno-cementová	Sádrová	Cementová
	Síla vytržení [N]			
Sklo	19,9	22,1	27,6	43,3
Čedič	11,4	16,3	23,1	29,0
Uhlík	24,3	36,4	61,4	76,7

Kritická délka vlákna představuje minimální délku vlákna, která je ještě schopná přenášet napětí. Této délky lze dosáhnout pouze obtížně. Pro výpočet efektivní délky vlákna  $l$  byl použit vzorec (30) od W. D. Callister [108]:

$$l = 15l_c. \quad (30)$$

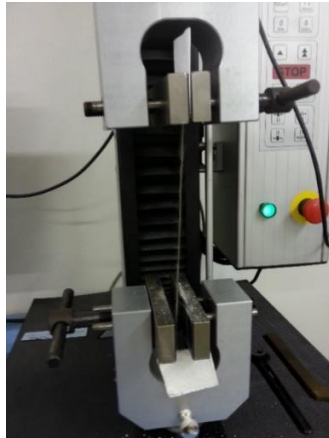
Vzorce (30 a (31) jsou určené pro kompozity s polymerní matricí. Jelikož byla v experimentu použita jiná matrice, je potřeba výpočet pro efektivní délku upravit, proto byl použit vztah tvarového součinitele (aspektní poměr  $\alpha_p$ ), čímž byla vypočtena reálná délka vláknenné výztuže (31):

$$\alpha_p = \frac{l}{d}. \quad (31)$$

Konečná délka vláknenné výztuže byla určena jako efektivní délka násobená aspektním poměrem. V tabulce 13 jsou uvedeny průměrné hodnoty vypočtených délek vláken pro jednotlivé typy omítek. Vzhledem k malé variabilitě výsledků a k aktuální nabídce vláken na trhu, byla pro každé vlákno stanovena jedna délka, která byla použita u všech druhů omítek, viz tabulka 13.

Tab. 13 Konečná délka krátkovláknenné výztuže

	Vápeno-cementová omítka	Sádrová omítka	Vápenná omítka	Cementová omítka	Použitá délka vláken
sklo	7,6 mm	6,4 mm	11,9 mm	6,2 mm	<b>12 mm</b>
čedič	7,7 mm	6,9 mm	7,8 mm	6,4 mm	<b>8 mm</b>
uhlík	7,4 mm	6,3 mm	7,9 mm	6,1 mm	<b>8 mm</b>



Obr. 9 Testování soudržnosti vláken s matricí

Při stanovování obsahu krátko-vlákněné výztuže byly výchozím bodem betonové kompozity, jejichž obsah vlákněné složky je obvykle 6 hm%. Obsah vlákněné výztuže byl nejprve zvolen 5, 6 a 7 hm%. Po smíchání matrice s takto vysokým obsahem vláken docházelo k velmi špatnému propojování omítkové matrice a vláken už při samotné výrobě kompozitních vzorků. Z tohoto důvodu bylo pro následující experimenty zvoleno 1, 2 a 3 hm% vyztužení.

K stanovení množství vlákněné výztuže byl použit výpočet hmotnostního podílu (32):

$$w_i = \frac{V_i \rho_i}{\sum V_i \rho_i}, \quad (32)$$

kde  $w_i$  [%] je hmotnostní podíl  $i$ -té složky,  $V_i$  [%] je objemový podíl  $i$ -té složky a  $\rho_i$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] je hustota  $i$ -té složky.

#### 4.4 Příprava vzorků

Pro každý experiment byly zhotoveny formy, tak aby odpovídaly požadavkům na jednotlivá měření a příslušným normám. Omítkové kompozity byly vyrobeny ze 4 vybraných matric do kterých byly přidány 3 druhy krátkých vláken ve 4 úrovních (0, 1, 2 a 3 hm%). Pro ucelenost informací a možnost porovnávání jednotlivých vlastností kompozitních materiálů byly do experimentů přidány běžně využívané vyztužující materiály ve stavebnictví v podobě skleněné a čedičové perlínky. Pro každý typ kompozitu (kombinace vlákno + hm% + matrice) bylo vyrobeno 5 testovacích vzorků, celkem bylo zhotoveno 240 ks pro měření jedné vlastnosti v celkovém rozsahu. Příprava vzorků probíhala v souladu s normou ČSN EN 1015-11 [85]. Přehled označení jednotlivých vzorků podle druhu omítky a použité výztuže je uveden v tabulce 14.

Tab. 14 Přehled označení vyrobených vzorků

		krátká vlákna									perlínka	
		čedič (basalt)			sklo			uhlík			čedič	sklo
omítka	0%	1%	2%	3%	1%	2%	3%	1%	2%	3%		
<b>Vápenná</b>	<b>V</b>	V1b	V2b	V3b	V1s	V2s	V3s	V1u	V2u	V3u	<b>Vbp</b>	<b>Vsp</b>
<b>Vápeno-Cementová</b>	<b>V-C</b>	V-C1b	V-C2b	V-C3b	V-C1s	V-C2s	V-C3s	V-C1u	V-C2u	V-C3u	<b>V-Cbp</b>	<b>V-Csp</b>
<b>Sádrová</b>	<b>S</b>	S1b	S2b	S3b	S1s	S2s	S3s	S1u	S2u	S3u	<b>Sbp</b>	<b>Ssp</b>
<b>Cementová</b>	<b>C</b>	C1b	C2b	C3b	C1s	C2s	C3s	C1u	C2u	C3u	<b>Cbp</b>	<b>Csp</b>

\*uvedené množství vlákněné výztuže je v hm%

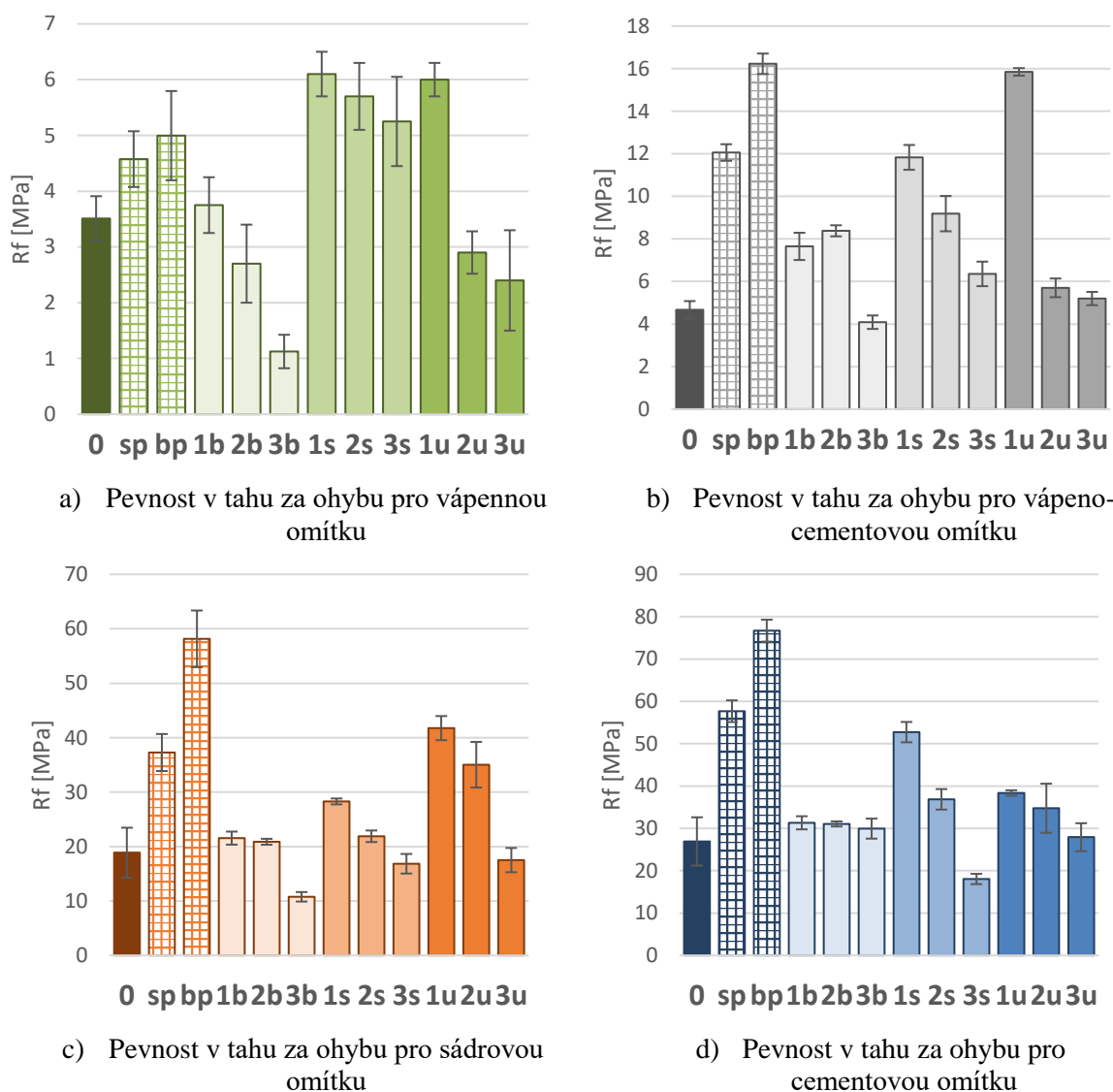
Pokud je vzorek označen např. S2u znamená to, že vzorek je ze sádrové omítky, do které byly přidány 2 hm% uhlíkových vláken.

## 4.5 Základní mechanické vlastnosti

### 4.5.1 Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu byla testována pomocí tříbodového ohybu pomocí dynamometru Tiratest T2400. Schéma tříbodové zkoušky je na obr. 1. Experiment probíhal dle normy ČSN EN 1015-11 [85]. Měření bylo uskutečněno na testovacích tělesech (5 ks) s rozměry 40 x 40 x 160 mm. Zatěžování bylo zvyšováno rovnoměrnou rychlostí. Výsledkem této zkoušky je maximální síla dosažená při porušení testovacího tělesa. Z této hodnoty byla následně určena pevnost v tahu za ohybu dle vztahu (1). Vzorky byly podrobeny zkoušce pevnosti po 28 dnech. Poloviny testovacích těles získané z této zkoušky byly následně použité pro testování pevnosti v tlaku.

Na obrázku 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty spolu s 95% IS pro všechny použité výztuže vždy pro jeden druh omítky. Z důvodu velkého rozsahu dat u všech použitých omítek nebylo v grafickém znázornění použito jednotné měřítko. Jak je z obrázku patrné nelze uvést jeden druh výztuže, která by dosahovala nejlepších výsledků u všech omítek. U cementové a sádrové omítky se nejvíce projevil vyztužující účinek u čedičové perlínky, z důvodu její spojité struktury.



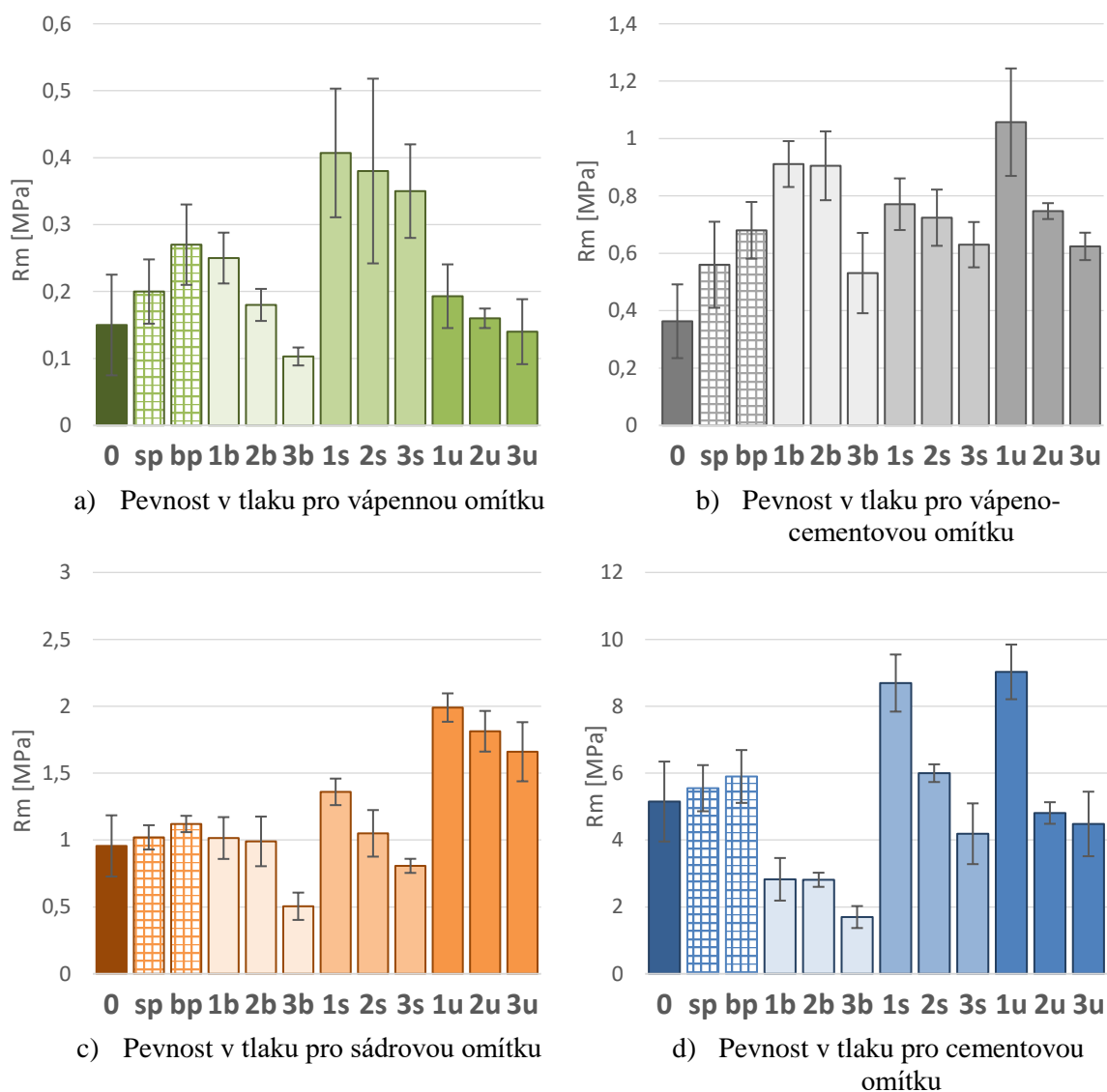
Obr. 10 Pevnost v tahu za ohybu pro jednotlivé omítky

Vzorky vápeno-cementové omítky vyztužené čedičovou perlínkou dosahují také nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu, ale zároveň jsou srovnatelné se vzorkem vyztuženým 1 hm% uhlíkových vláken, neboť uhlíková vlákna mají výrazně lepší mechanické vlastnosti než ostatní použitá vlákna. Výjimku tvoří vápenná omítky, kde krátkovláknenná skleněná a uhlíková výztuž dosahovala lepších výsledků než

vzorky s čedičovou perlíčkou, protože je zde lepší interakce mezi vlákny a matricí, která je jemnozrná. Dále je vidět, že při použití vyššího obsahu vláken ve vzorcích se napětí v ohybu snižuje. To je dáno tím, že při použití většího množství vláken dochází ke snižování obsahu matrice, což vede k horšímu propojení vláken s matricí a dochází ke špatnému přenosu napětí mezi jednotlivými vlákny. Při porušení vzorků byl znatelný vliv vlákně výztuže (krátkovlákně i plošné) na soudržnost vzorku. Vzorky vyztužené perlíčkou dosahovaly většinou vyšších výsledků pevnosti v tahu za ohybu. Po porušení vzorku bylo patrné, že u vzorků s perlíčkami docházelo ke snadnějšímu zvětšování praskliny a samotný vzorek držel pouze ve spodní části díky perlince. Vzorky obsahující krátká vlákna měly výztuž rozptýlenou v celém vzorku, což je nejrovnoměrnější. Po prasknutí vlákna celou trhlinu přemostovala, tudíž nedocházelo k tak snadnému zvětšování trhliny (jako u vzorků s perlíčkou) a k jednoduchému oddělení polovin vzorku. Tento fakt by obecně mohl mít pozitivní vliv na prodloužení životnosti omítky.

#### 4.5.2 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla testována na testovacích tělesech o velikosti 40 x 40 x 80 mm. Měření probíhalo na dynamometru Tiratest T2400 v souladu s normou ČSN EN 1015-11 [85]. Vzorek byl zatěžován plynule s konstantním přírůstkem síly až do jeho porušení. Při testování byla zaznamenávána hodnota maximálního tlaku při porušení tělesa a následně byla z této hodnoty vypočtena pevnost v tlaku dle vztahu (2). Z důvodu velkého rozsahu dat u všech použitých omítek nebylo v grafickém znázornění použito jednotné měřítko.



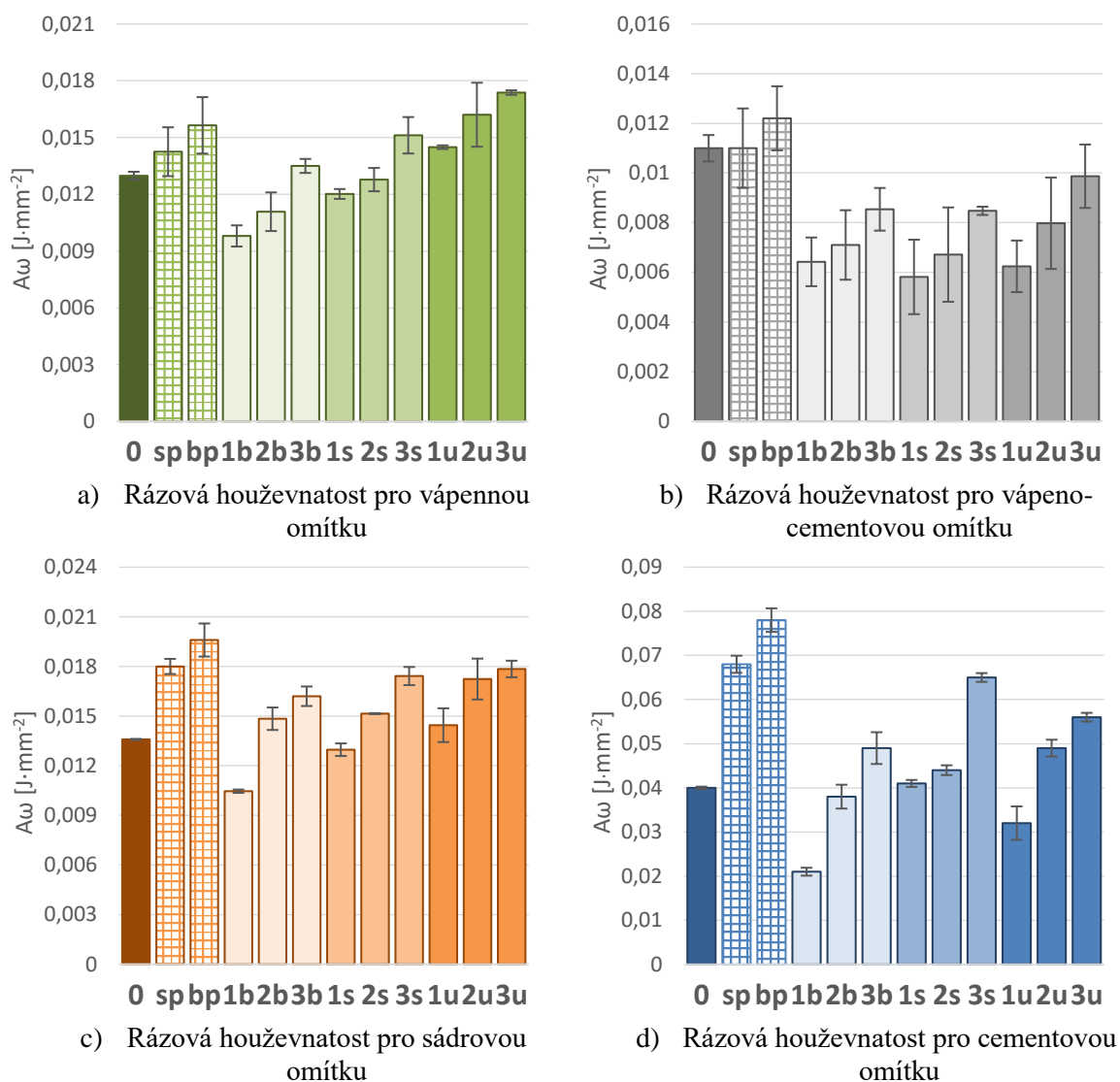
Obr. 11 Porovnání pevnosti v tlaku pro jednotlivé typy omítek



Z výsledků testování pevnosti v tlaku (obr. 11) se prokázal 1% hmotnostní podíl mezi vlákny a matricí nevhodnější. Mezi matricí a vlákny vzniká optimální spoj, což umožňuje dobrý přenos zatížení z matrice na vlákno. Výjimku tvoří cementová omítka, u které čedičová výztuž způsobila celkové zhoršení pevnosti v tlaku. V průběhu samotného testování tlakové odolnosti vzorků vyztužených vlákny docházelo ke zmenšování výšky vzorků při současném zvětšování jejich šířky. I přes tento fakt si většina vzorků zachovala celistvost. Opačně se chovaly vzorky bez jakékoli výztuže. U těchto vzorků docházelo při testování ke vzniku výrazných prasklin, které dále vedly k drobení a samotné destrukci vzorků.

### 4.5.3 Rázová houževnatost

Rázová houževnatost byla testována na přístroji Charpy Labtest CHK50J. Pro testování byly zhotoveny vzorky o velikosti 40 x 40 x 160 mm. Měření probíhalo v souladu s normou ČSN EN ISO 179-2 [86]. Z důvodu velkého rozsahu dat u všech použitých omítek nebylo v grafickém znázornění použito jednotné měřítko.



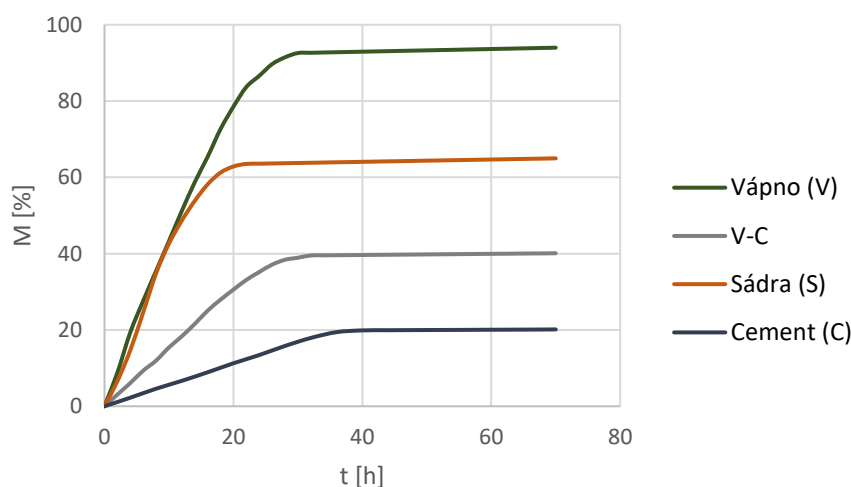
Obr. 12 Porovnání rázové houževnatosti pro jednotlivé typy omítek

Z uvedených výsledků (obr. 12) je patrný příznivý vliv většího množství vláken na schopnost vzorku odolávat rázu. U vápeno-cementové omítky (obr. 12b) je patrné, že již sama omítka má dobrou rázovou houževnatost. Ke zlepšení této vlastnosti došlo pouze u vzorku vyztuženého čedičovou perlínkou (obr. 12b). U cementové a sádrové omítky (obr. 12) dosahovala nejvyšších hodnot rázové houževnatosti také čedičová perlínka. Výjimku tvoří vápenná omítka, kde lepších výsledků dosahuje

vzorek se 3 hm% uhlíkových vláken. Pokud porovnáme pouze krátkovláknennou výztuž nejlépe rázu odolává cementová omítka se 3 hm% skleněných vláken. Sádrová a vápenná omítka dosáhly nejlepších výsledků s 3 hm% uhlíkových vláken.

#### 4.5.4 Transport kapalné vody

Pro tento experiment byly vzorky vyrobeny a testovány dle normy ČSN EN ISO 15148 [87]. K zajištění absorpce vody pouze z jedné (spodní) strany, byly vzorky po obvodu natřeny epoxidovou pryskyřicí. Princip testování spočívá v zaznamenávání hmotnostního přírůstku v pravidelných časových intervalech. Pro měření byly použity váhy, které se umístily na konstrukci, pod kterou byla nádoba s vodou. Na váhy byl následně umístěn (zavěšen) vzorek tak, aby jeho spodní strana byla ponořena do vody (obr. 3). K zaznamenání hmotností byl použit dataloger LabQuest 2, který odečítal aktuální váhu vzorku každých 60 minut. Měření probíhalo v laboratoři při konstantních klimatických podmínkách (RH  $30 \pm 5 \%$ , teplota  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ )



Obr. 13 Transport kapalné vody pro jednotlivé druhy omítek

Na obrázku 13 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z 5 měření pro jednotlivé omítky. Největší hmotnostní přírůstek byl zaznamenán u vápenné omítky, což může být dáno tím, že vápno má schopnost absorbovat vodu a transportovat ji svou strukturou. Naopak nejnižší hmotnostní přírůstek byl zaznamenán u cementové omítky. Cement má obecně pevnější a těsnější strukturu. Proto má voda tendenci zůstat na povrchu, místo aby pronikala dovnitř. Nejdříve dosáhla rovnovážného stavu sádrová omítka.

#### 4.5.5 Vliv množství vláknenné výztuže na transport kapalné vody

Omítkové kompozity s vápennou, vápeno-cementovou a sádrovou matricí byly testovány po dobu 70 hodin. U cementových kompozitů docházelo k pomalejšímu transportu kapalné vody, proto doba testování trvala 120 hodin.

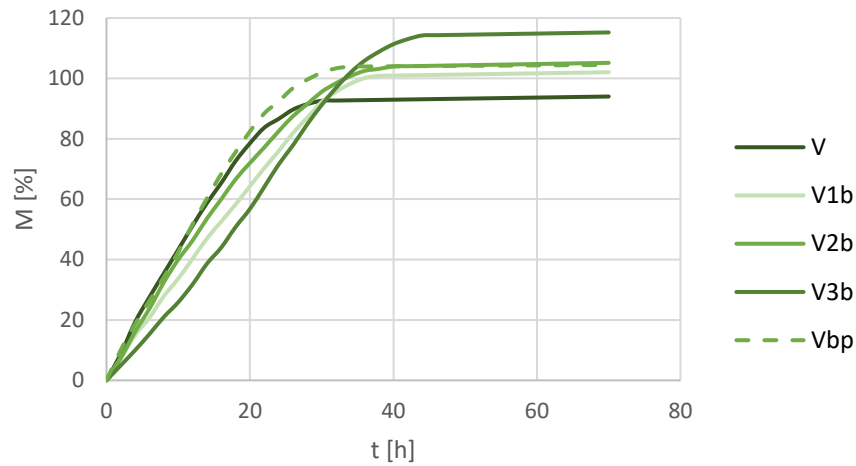
Na obrázku 14 je znázorněna závislost průměrné hodnoty změny hmotnosti  $M$  na čase vápenných kompozitů. Z výsledků je patrný vliv výztuže na hmotnostní přírůstek vzorků.

Přidání čedičových vláken do vápenné omítky (obr. 14a) vede nejenom ke zvýšení absorpce, ale také k prodloužení času, za který vzorek vodu přijímá. U vzorků V1b, V2b a V3b došlo k zvýšení hmotnosti o 10, 14 a 21 %.

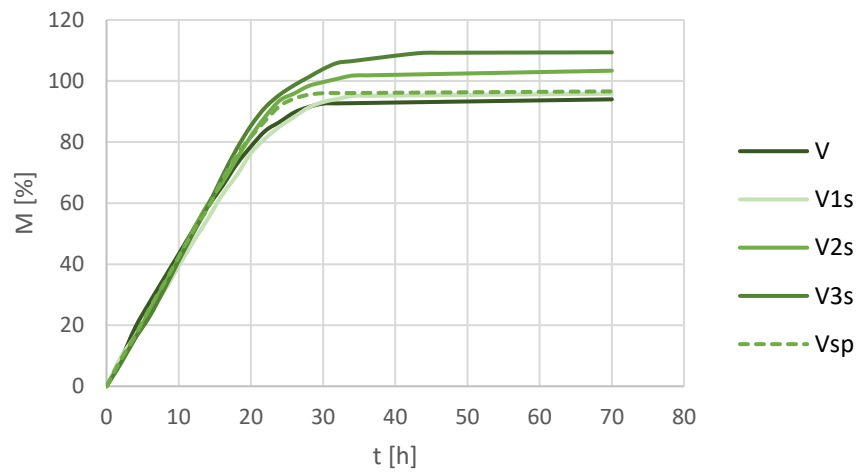
U vzorku V1s došlo k nárůstu hmotnosti pouze o 2 %. Důvodem by mohl být fakt, že použitá skleněná vlákna jsou určena do stavebních materiálů a mají povrchovou úpravu, která odolává alkalickému prostředí. Přidání krátkých vláken vede obecně ke zvýšení pórů ve struktuře omítek, což mohl být důvod zvýšeného hmotnostního přírůstku vlhkosti u vzorku V2s a V3s (obr. 14b).

Mezi vápennými kompozity s uhlíkovými vlákny vykazoval největší hmotnostní nárůst (o 16 %) vzorek V3u, zároveň tento vzorek pomaleji přijímal vodu stejně jako vzorek V3b. Tento fakt by mohl

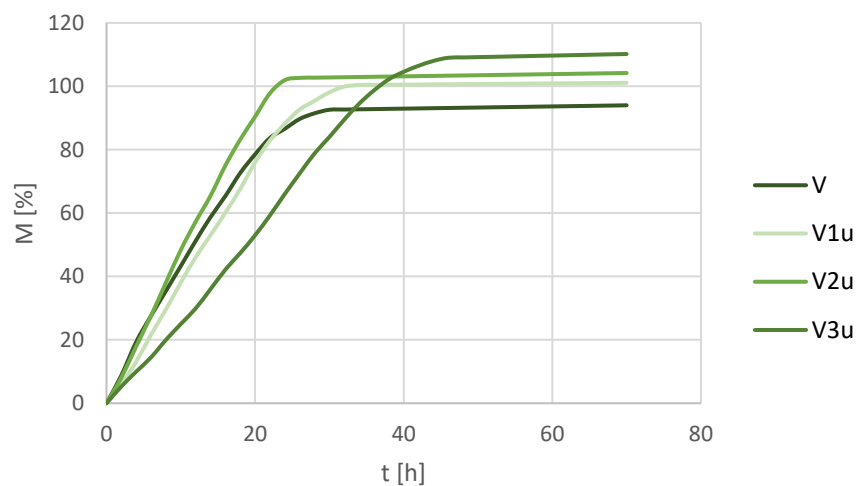
být dán zvýšenou pórovitostí omítky, což vede jednak k vyššímu hodnotě  $M$ , a zároveň u většího množství pórů dochází k jejich pomalejšímu zaplňování, a tedy zpomalení sání.



a) Čedičová vlákna



b) Skleněná vlákna



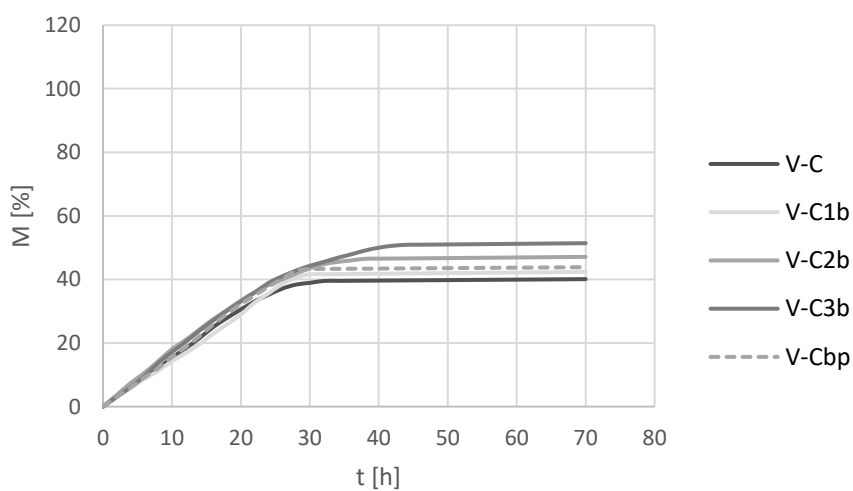
c) Uhlíková vlákna

Obr. 14 Transport kapalné vody pro vápennou omítku

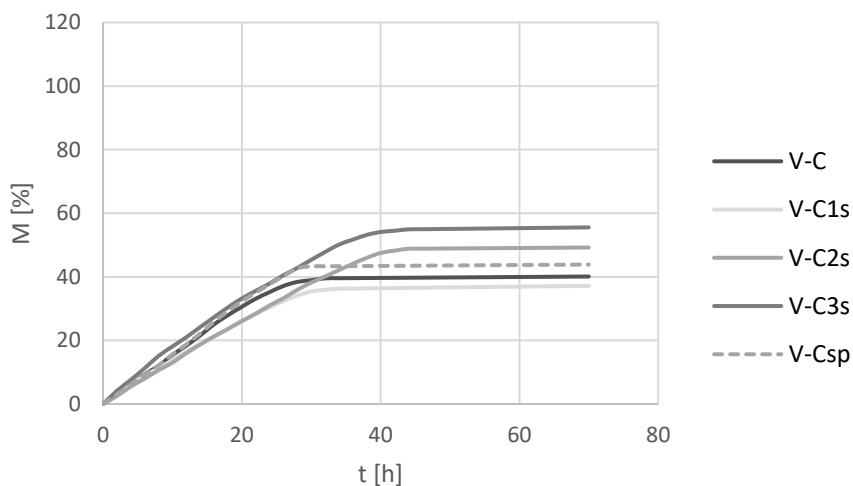
Přidání krátkovláknenné výztuže do vápeno-cementové omítky vede obecně ke zvýšení hmotnostního přírůstku (obr.15). Výjimku tvoří pouze vzorek s 1 hm% skleněných vláken, kde došlo ke snížení hmotnosti o 4 %.

U sádrové omítky (obr.16) můžeme sledovat obdobný trend jako u vápenné a vápeno-cementové omítky. Přidání 1 hm% skleněné výztuže vede ke snížení hmotnostního podílu o 3 %. Dále můžeme pozorovat, že se zvyšujícím se podílem vláken ve vzorku se prodlužují časy sání.

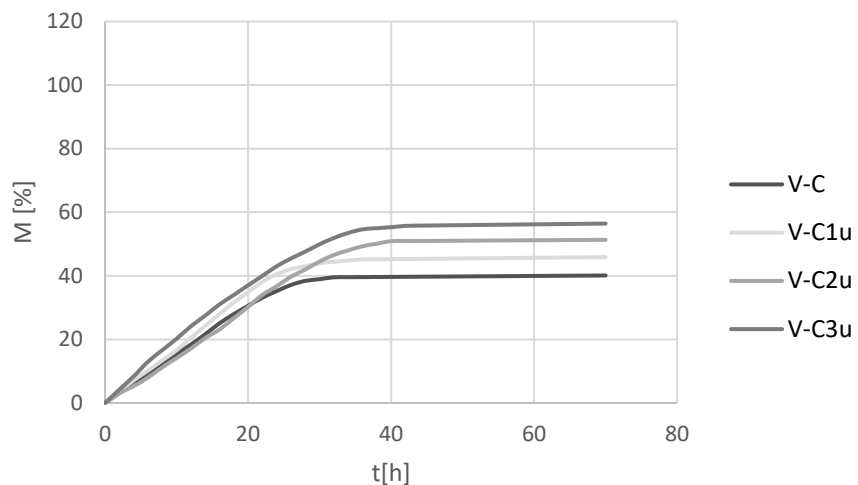
Na obrázku 17 jsou uvedeny výsledky pro cementové kompozity. Samotná cementová omítka přijímá 20 % vody, což je nejmenší procento ze všech použitých omítek (obr. 13). Přidání krátkovláknenné výztuže v kombinaci s kamínky, které cementová omítka obsahuje, vede k tvorbě pórů, což má za následek zvýšený transport vody do struktury omítky. U cementové omítky je vidět, že použití výztuže ve formě perlinek se projevilo nižší hodnotou hmotnostního přírůstku na rozdíl od vzorků s krátkými vlákny. Vzhledem k tomu, že cementová omítka má kompaktnější strukturu, může vést použití perlínky k tvorbě menšího množství pórů, které mají vliv na savost vzorku.



a) Čedičová vlákna

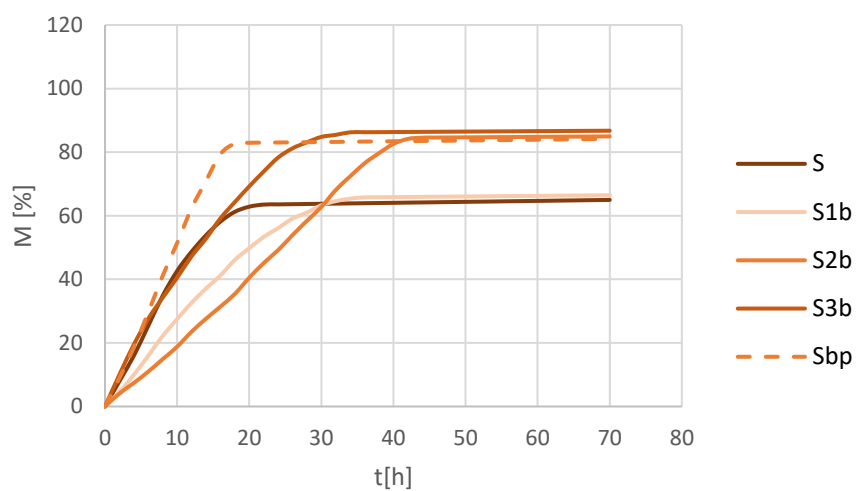


b) Skleněná vlákna

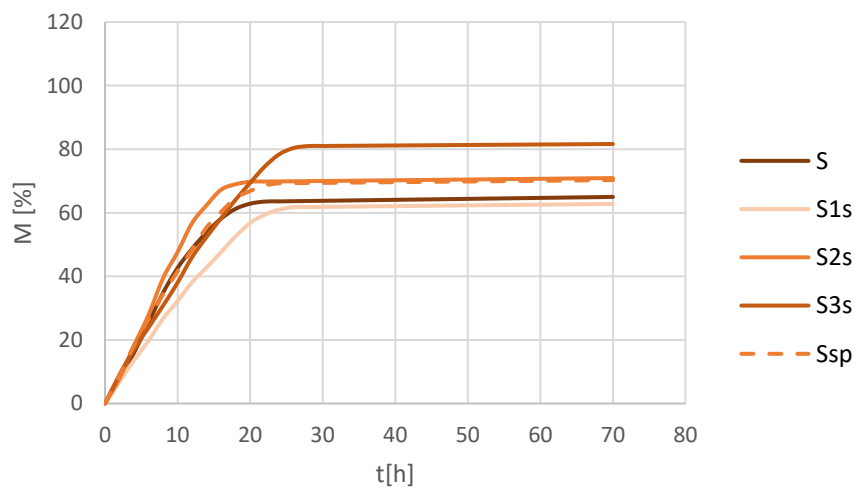


c) Uhlíková vlákna

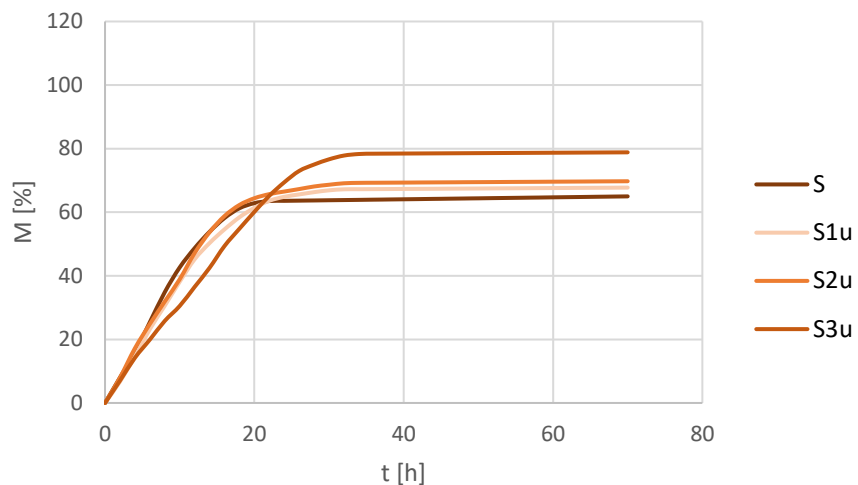
Obr. 15 Transport kapalné vody pro vápeno-cementovou omítku



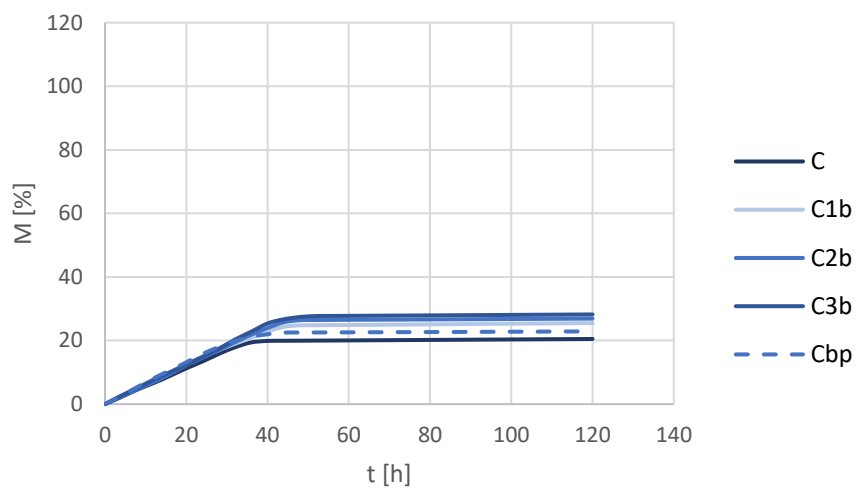
a) Čedičová vlákna



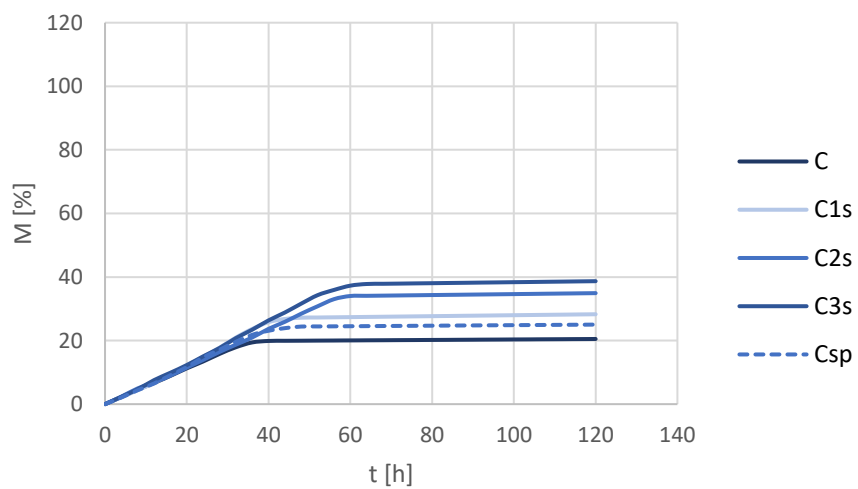
b) Skleněná vlákna



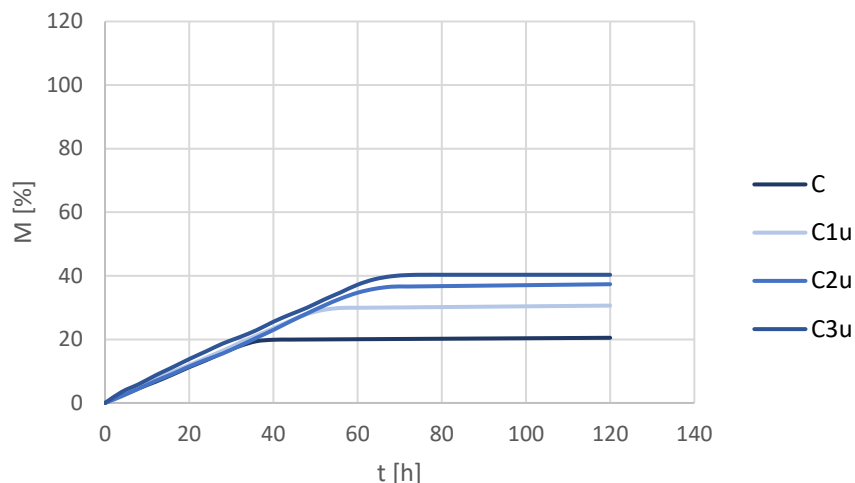
c) Uhlíková vlákna  
Obr. 16 Transport kapalné vody pro sádrovou omítku



a) Čedičová vlákna



b) Skleněná vlákna



c) Uhlíková vlákna

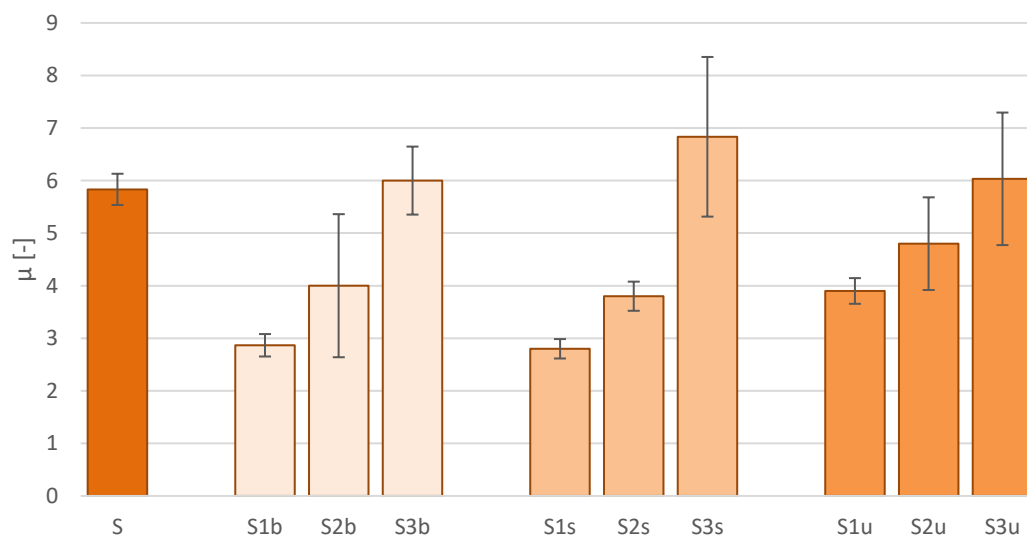
Obr. 17 Transport kapalné vody pro cementovou omítku

#### 4.5.6 Transport vodní páry

Pro tento experiment byly vyrobeny vzorky ve tvaru válce o průměru 100 mm a výšce 20 mm. Vzorek byl vzduchotěsně a parotěsně izolován po obvodu epoxidovou pryskyřicí, následně byl utěsněn plastelínou do hliníkové misky, která obsahovala nasycený roztok  $K_2SO_4$  (RH v misce bylo 98 %). Změna hmotnosti vzorku byla zaznamenána pomocí vah v závislosti na čase. Měření se provádělo v uzavřeném „akváriu“, jehož počáteční RH bylo 0 %. Testování probíhalo v souladu s normou ČSN 72 7031 [88].

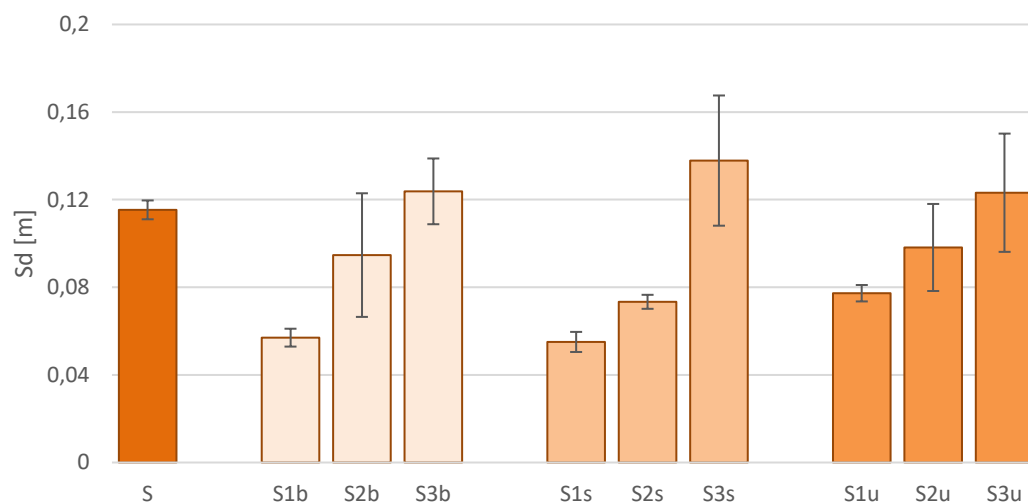
Měření transportu vodní páry bylo realizováno v Kloknerově ústavu v Praze. Vzhledem k rozsahu měření (množství vzorků a časové náročnosti) byla naměřena pouze jedna kompletní sada vzorků (1, 2 a 3 hm%, čedič, sklo uhlík) u sádrové omítky. Pro tento experiment byla s ohledem na všestranné použití a dobré mechanické vlastnosti (viz kapitola 4.5.1) vybrána sádrová omítka. U zbylých omítek (vápenná, vápeno-cementová, cementová) byl s ohledem na mechanické vlastnosti (viz kapitola 4.5.1) měřen transport vodní páry pouze u vzorků s 1 hm% vláknenné výztuže.

Na obrázku 18 jsou znázorněny průměrné hodnoty faktoru difuzního odporu z 5 měření po 7 dnech. Pro každé množství vláknenné složky je uveden 95% IS. Sádrová omítka bez vláknenné výztuže dosahuje hodnoty  $\mu=5,8$ . Přidání 3 hm% vláken vede k nárůstu faktoru difuzního odporu z čehož vyplývá, že transport vodní páry bude těmito vzorky více omezen.



Obr. 18 Faktor difuzního odporu sádrového kompozitu

Na obrázku 19 jsou průměrné výsledky ekvivalentní difúzní tloušťky pro sádrové kompozity po 7 dnech. Tento parametr vyjadřuje, jakou tloušťku by musela mít vrstva vzduchu, aby kladla stejný odpor jako měřený vzorek. Nejvyšších hodnot dosahují vzorky S3s a S3u, které dosahují ekvivalentní difúzní tloušťku 0,13 a 0,12 m.

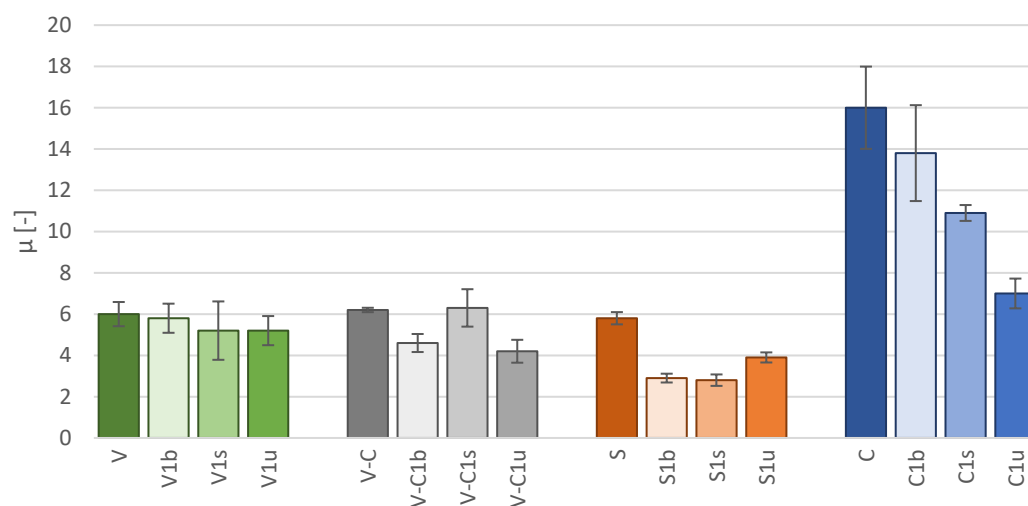


Obr. 19 Ekvivalentní difúzní tloušťka sádrových kompozitů

Na obrázku 20 jsou průměrné hodnoty faktoru difúzního odporu z 5 měření pro jednotlivé typy omítek s 1 hm% vlákně výztuže po 7 dnech testování. Přidání 1 hm% vlákně výztuže vede ke snížení hodnoty faktoru difúzního odporu pro vápennou, sádrovou a cementovou omítku. Výjimku tvoří vápeno-cementová omítka, kde vzorek s 1 hm% skleněných vláken (V-C1s) dosahuje obdobné hodnoty  $\mu$  (6,3) jako má samotná vápeno-cementová omítka.

Vápeno-cementová omítka je termoizolační a přidání skleněné výztuže ve formě vlákněných svazečků může vést k snazšímu zaplňování pórů než u vzorků s čedičovými a uhlíkovými vlákny. A z tohoto důvodu může u těchto kompozitů docházet k obtížnějšímu transportu vodní páry.

Z výsledků je dále patrná vysoká hodnota faktoru difúzního odporu samotné cementové omítky. Cement má obecně pevnější a těsnější strukturu. Proto má voda tendenci zůstat na povrchu, místo aby pronikala dovnitř. Vzhledem k těmto vlastnostem byla vyšší hodnota  $\mu$  (16) v porovnání s ostatními omítkami předpokládaná. Zároveň se ukázalo, že největší vliv na snížení hodnoty faktoru difúzního odporu u cementového kompozitu má přidání 1 hm% uhlíkové výztuže.

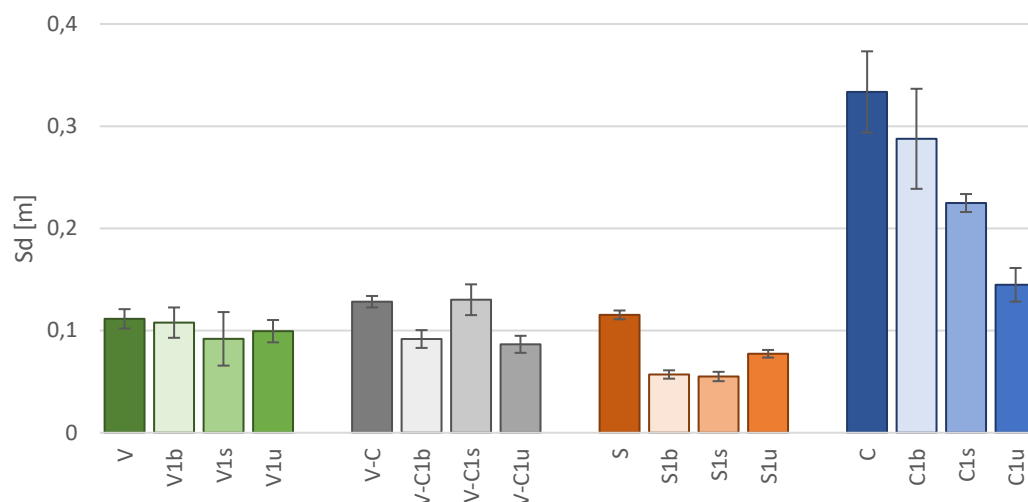


Obr. 20 Faktor difúzního odporu omítkových kompozitů s 1 hm% vláken

Na obrázku 21 jsou průměrné výsledky ekvivalentní difúzní tloušťky pro omítkové kompozity s 1 hm% vláken po 7 dnech testování. Výsledky vápenné, vápeno-cementové a sádrové omítky jsou



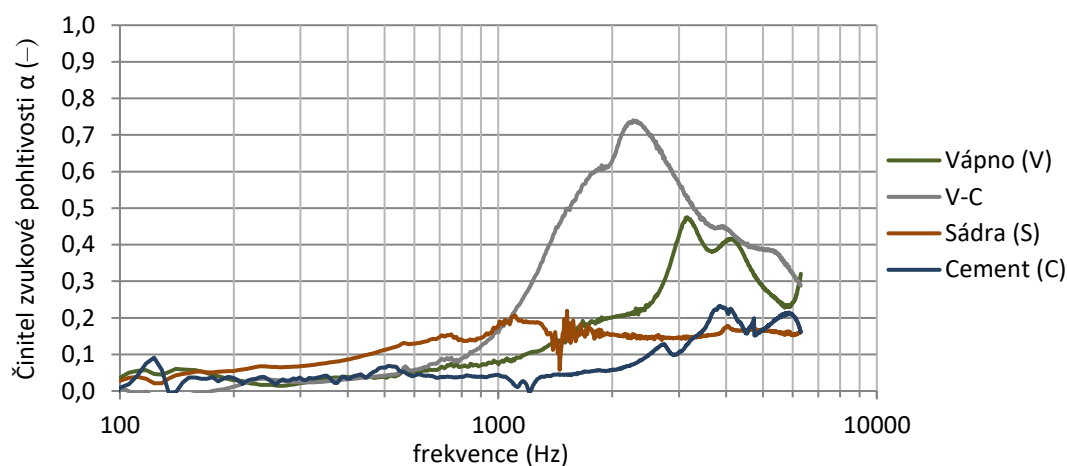
srovnatelné a dosahují průměrné hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky 0,1 m. Nejvyšší hodnoty  $S_d$  dosahuje samotná cementová omítka a omítka s 1 hm% čedičových vláken (0,3 m).



Obr. 21 Ekvivalentní difúzní tloušťka omítkových kompozitů s 1 hm% vláken

#### 4.6 Akustické vlastnosti

Akustická pohltivost byla měřena na impedanční trubici podle normy ČSN ISO 10534-2 [93]. Impedanční trubice se skládá z trubice malého průměru, která je vhodná pro měření činitele zvukové pohltivosti při větších frekvencích (500 – 6400 Hz) a z velké trubice umožňující měření činitele zvukové pohltivosti při malých frekvencích (0 – 1600 Hz). Při frekvenci <500 – 1600> Hz se jedná o přechodovou oblast mezi oběma trubicemi. Proto byly pro toto měření vyrobeny dvě sady vzorků s průměrem 100 mm a 29 mm a tloušťkou 10 mm. Od každého typu vzorku bylo zhotoveno 5 ks.



Obr. 22 Činitel zvukové pohltivosti pro jednotlivé typy omítek

Na obrázku 22 je znázorněna závislost průměrných hodnot činitele zvukové pohltivosti na frekvenci pro jednotlivé typy omítek. Z výsledků je patrné, že nejvyšší pohltivosti dosahuje vápeno-cementová omítka.

Fyzikálním principem pohlcování zvuku je přeměna části zvukové energie na teplo. V momentě, kdy akustická vlna pronikne do porézního materiálu, jsou molekuly vzduchu nuceny vibrovat v pórech a ztrácejí energii. To se děje v důsledku tření o povrch částic tvořící strukturu materiálu.

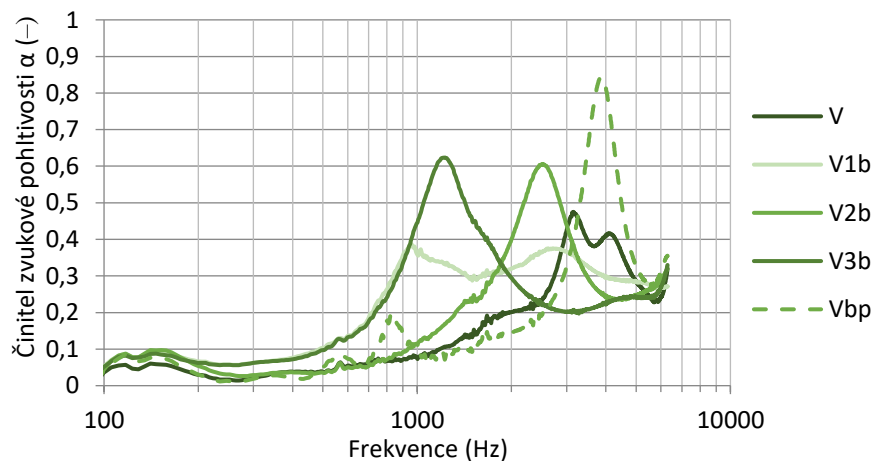
Vzhledem k tomu, že vápeno-cementová omítka je termo-izolační a obsahuje duté křemičité kuličky a tyto kuličky dále ještě vytváří póry v omítce, je možné vysoký činitel zvukové pohltivosti předpokládat. Omítka má činitel zvukové pohltivosti 0,73 při frekvenci 2425 Hz (objemová hmotnost

je  $116 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). U vápenné omítky má křivka činitele zvukové pohltivosti dva vrcholy. To znamená, že má dvě dominantní absorpční frekvence. První vrchol křivky zvukové pohltivosti vápenné omítky je 3375 Hz a dosahuje činitele 0,47 a druhá dominantní frekvence je 4523 Hz. Cementová a sádrová omítky vykazují podobné výsledky zvukové pohltivosti jejich činitel zvukové pohltivosti je kolem hodnoty 0,2.

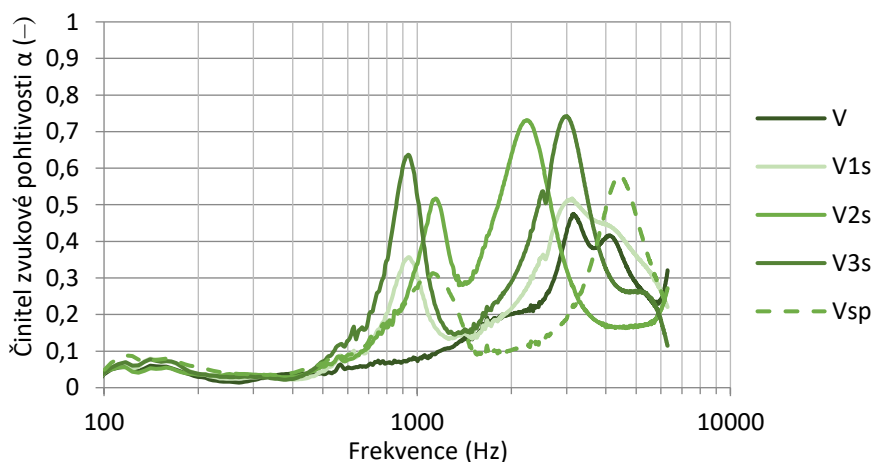
#### 4.6.1 Vliv množství vlákně výztuže na akustickou pohltivost omítkového kompozitu

U vápenného kompozitu s čedičovou výztuží (obr. 23a) dochází v porovnání s vápenným materiálem bez výztuže k rozšíření spektra pohlcovaných frekvencí při současném mírném poklesu (kolem frekvence 3 – 4 kHz) činitele zvukové pohltivosti při přidání 1 hm%. Průběh této křivky má 2 rezonanční píky, které dosahují stejných hodnot  $\alpha$  (0,38). U vzorků se 2 a 3 hm% získáváme srovnatelné hodnoty činitele zvukové pohltivosti 0,6 a 0,62, rozdíl u těchto vzorků spočívá ve frekvenci, při které dosahují svého maxima (V2b rezonuje při frekvenci 2625 Hz, V3b při frekvenci 1260 Hz). Nejvyššího činitele zvukové pohltivosti bylo dosaženo u kompozitu s čedičovou perlínkou (0,84) při frekvenci 3926 Hz, kde došlo ke zlepšení vzhledem k samotné omítce o 78,7 %.

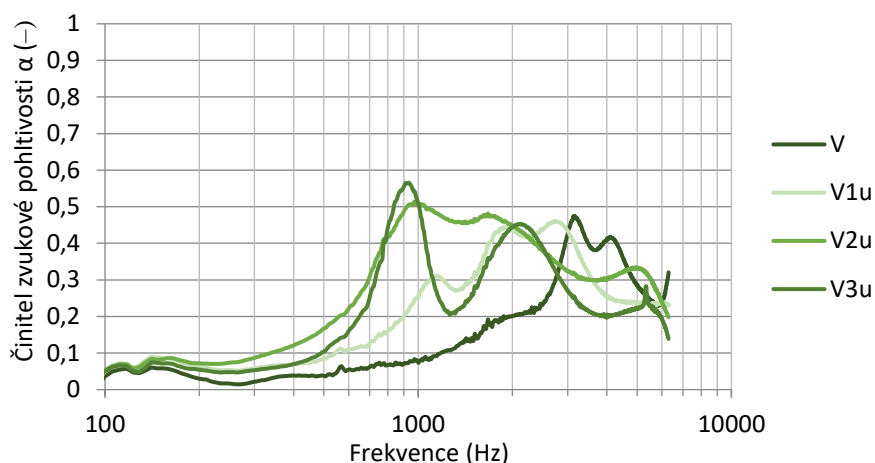
Při porovnání výsledků vápenných vzorků se skleněnými vlákny (obr. 23b) dosahují vzorky se 2 a 3 hm% obdobných hodnot  $\alpha$  (0,72 a 0,73) při frekvencích 2309 a 3064 Hz. U těchto vzorků došlo k nárůstu  $\alpha$  o 53,2 a 55,3 %. K nárůstu došlo také u vzorku se skleněnou perlínkou (21,3) při frekvenci 4564 Hz ( $\alpha = 0,57$ ). U vzorku V1s došlo pouze k nepatrnému nárůstu činitele  $\alpha$  v porovnání s nevyztuženou omítkou.



a) Čedičová vlákna



b) Skleněná vlákna



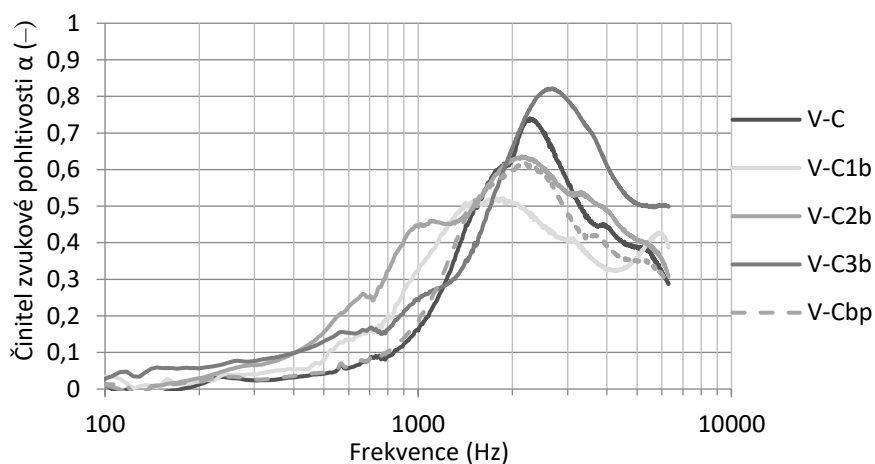
c) Uhlíková vlákna

Obr. 23 Vliv typu vlákněné výztuže na činitele akustické pohltivosti vápenné omítky

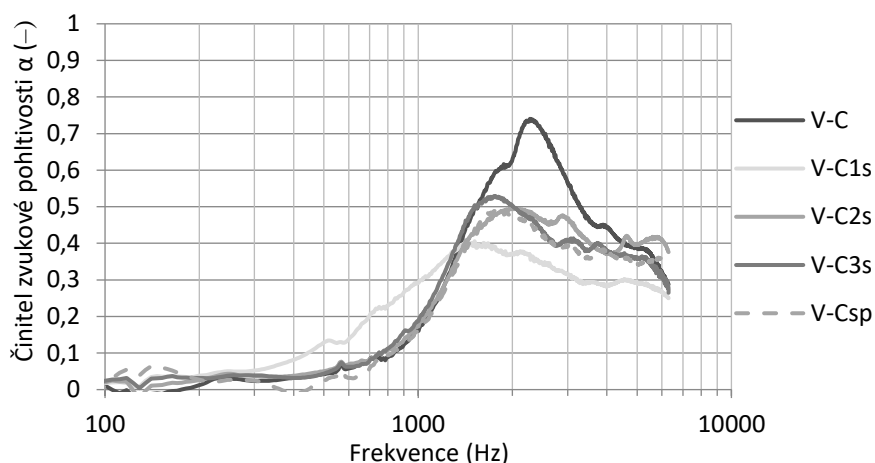
U vápenných vzorků s uhlíkovými vlákny (obr. 23c) došlo k rozšíření spektra pohlcovaných frekvencí při současném mírném poklesu pohlcovaného maxima směrem k nižším frekvencím. Činitel zvukové pohltivosti vzorku V1u dosahuje hodnoty 0,45. K největšímu nárůstu (19,1 %)  $\alpha$  oproti prázdnému vzorku došlo u omítky se 3 hm% (0,56). Tento vzorek má 2 dominantní píky, a to při frekvencích 949 Hz a 2203 Hz.

Vápeno-cementová omítka obsahuje duté křemičité kuličky, které vytvářejí ve struktuře omítky póry. Tento fakt se projevil na hodnotě činitele zvukové pohltivosti samotné omítky (0,73) bez vlákněné výztuže. Na obrázku 24a je znázorněn průběh  $\alpha$  vzorků s čedičovými vlákny. Z výsledků je patrný nárůst (12,3 %) činitele zvukové pohltivosti pouze u 3 hm% při frekvenci 2725 Hz. U vzorku V-C1b došlo k poklesu  $\alpha$  o 30,1 % a Vzorky V-C2b a V-Cbp mají obdobné hodnoty jako samotná omítka. Důvodem může být fakt, že vlákna tu budou sloužit spíše jako plnivo a budou vyplňovat póry, které křemičité kuličky vytváří ve struktuře.

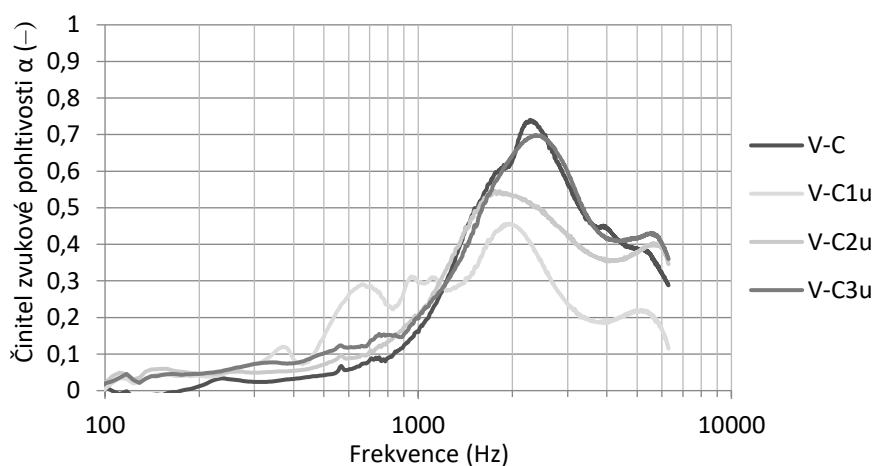
Z výsledků na obrázcích 24b a 24c je patrné, že přidání skleněných a uhlíkových vláken nevede k nárůstu činitele zvukové pohltivosti. Pouze vzorek se 3 hm% uhlíkových vláken se přibližuje hodnotě  $\alpha$  samotné omítky (0,69) a rezonuje při frekvenci 2479 Hz (pokles o 5,5 %). U vzorků V-C1s a V-C1u můžeme pozorovat, že se průběh činitele zvukové pohltivosti od frekvence 400 Hz do 1000 Hz výrazně liší od ostatních vzorků a nabývá tu vyšších hodnot  $\alpha$ .



a) Čedičová vlákna



b) Skleněná vlákna



c) Uhlíková vlákna

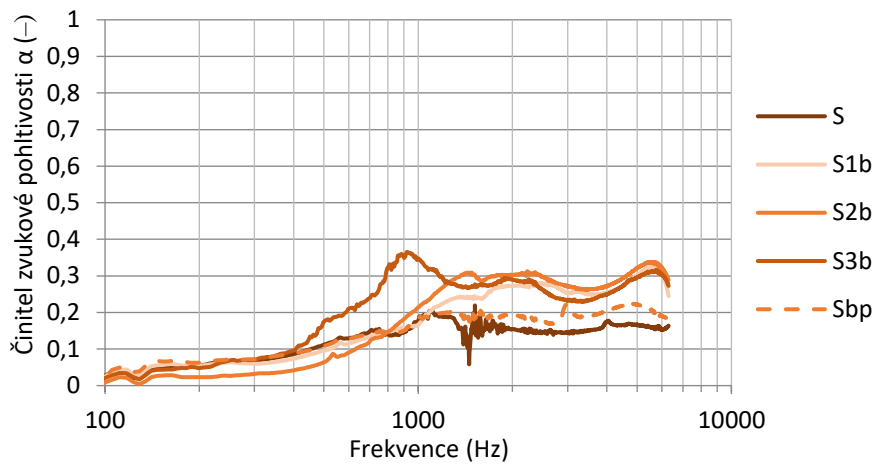
Obr. 24 Vliv typu vlákněné výztuže na činitele akustické pohltivosti vápeno-cementové omítky

Při porovnání výsledků sádrové omítky (obr.25) se zbylými typy omítek, nevykazují vzorky s vláknennou výztuží výrazného zlepšení oproti prázdnému vzorku. To by mohlo být dáno tím, že vlákna v omítce nemají možnost kmitat, a tudíž tu nedochází k žádné výraznější rezonanci. Nejvyšší hodnoty činitele zvukové pohltivosti dosahují vzorky S3b (0,36), S3s (0,33) a S3u (0,35), u těchto vzorků došlo k nárůstu  $\alpha$  o 63,6; 50 a 59,1 %. Přičemž vzorky S3b (938 Hz) a S3u (814 Hz) rezonují při podobných frekvencích.

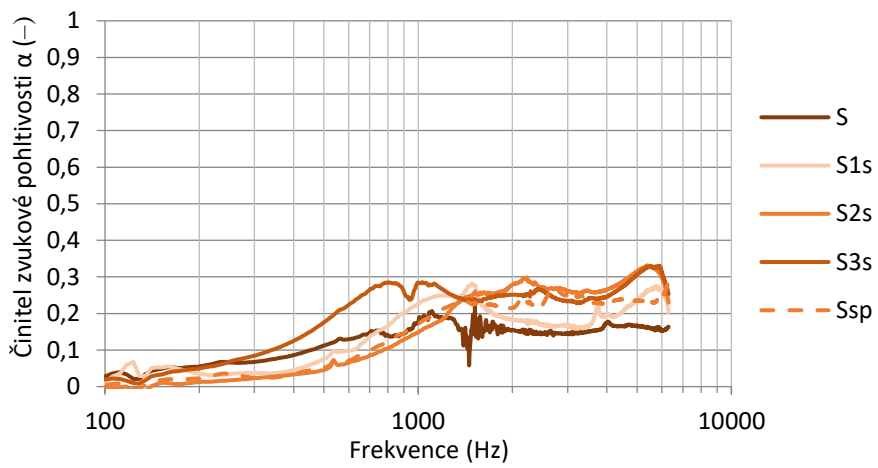
Činitel zvukové pohltivosti cementové omítky dosahuje hodnoty 0,23 při frekvenci 3984 Hz. Přidání vlákněné výztuže (čedič, sklo, uhlík) vede obecně ke zvýšení činitele zvukové pohltivosti. Z průběhu křivek je patrný nárůst činitele zvukové pohltivosti u vzorků s výztuží od frekvence 500 Hz, u samotné omítky bez výztuže dochází k nárůstu až kolem frekvence 1100 Hz.

U čedičové výztuže (obr. 26a) dosahují vzorky se 3 hm% (0,49) a 2 hm% (0,42) podobných hodnot  $\alpha$  při frekvencích 1893 Hz a 2432 Hz. U těchto vzorků dochází k nárůstu o 113 % a 82,6 %. Z obrázku 26b lze vidět nejvyšší nárůst (91,3 %)  $\alpha$  u vzorku C3s (0,44). Vzorky C2s a C1s dosahují stejné hodnoty  $\alpha$  (0,36), avšak při frekvencích (1693 Hz a 2338 Hz) a dochází tu k nárůstu o 56,5 %.

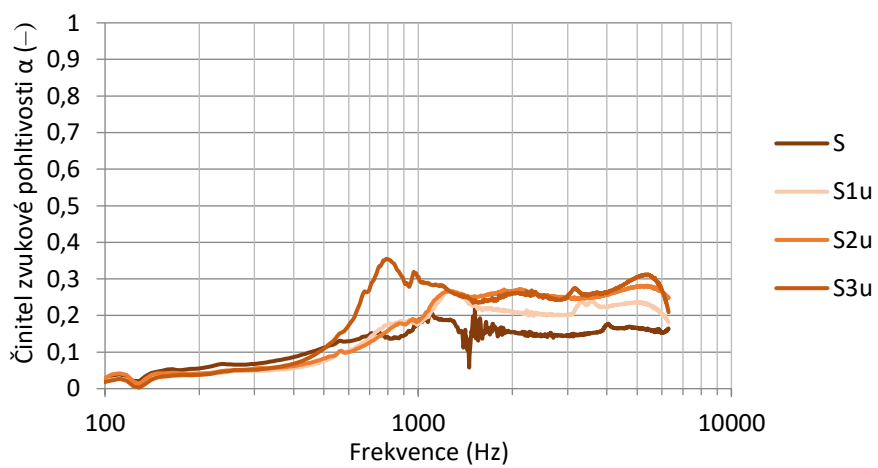
Cementový kompozit se 3 hm% uhlíkových vláken dosáhl hodnoty  $\alpha$  0,59 při frekvenci 2063 Hz. Při stejné frekvenci rezonuje i vzorek se 2 hm% uhlíkových vláken (0,46). U těchto vzorků došlo k nárůstu  $\alpha$  o 156,5 a 100 %.



a) Čedičová vlákna

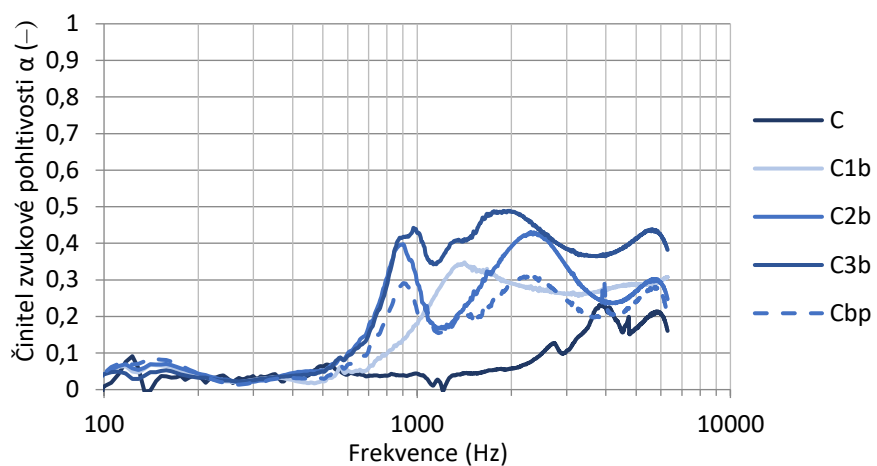


b) Skleněná vlákna

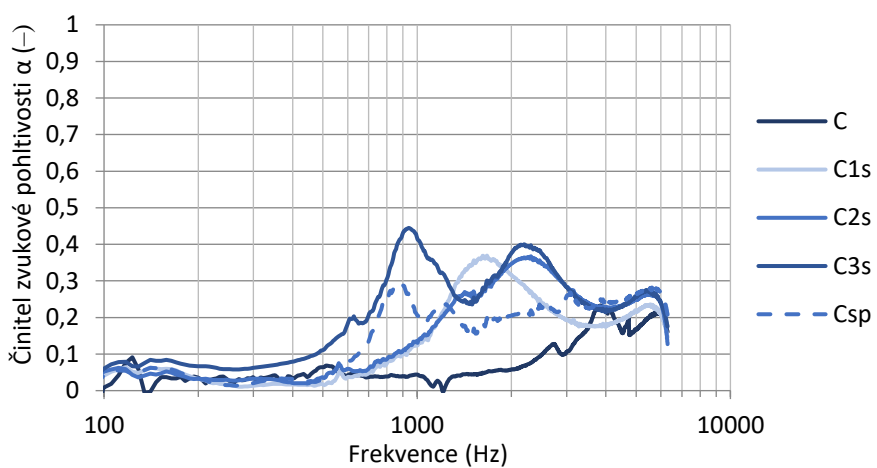


c) Uhlíková vlákna

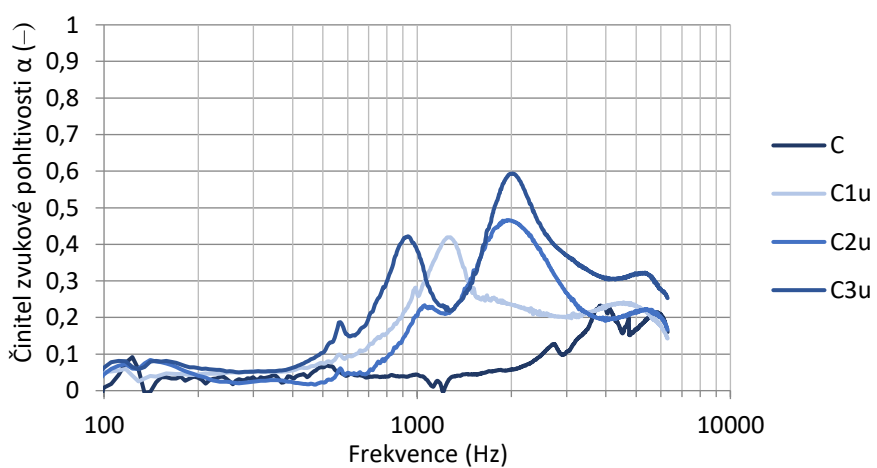
Obr. 25 Vliv typu vláknenné výztuže na činitele akustické pohltivosti sádrové omítky



a) Čedičová vlákna



b) Skleněná vlákna



c) Uhlíková vlákna

Obr. 26 Vliv typu vlákenné výztuže na činitele akustické pohltivosti cementové omítky

#### 4.7 Hodnocení schopnosti materiálu stínit elektromagnetické pole

Účinnost elektromagnetického stínění (SE) jednotlivých vzorků byla měřena podle normy ASTM D 4935-18 [103]. Testovací zařízení je uvedeno na (obr. 7). Provedené testy byly v rozsahu 30 - 3000 MHz, což je nejrozšířenější pásmo používané pro veřejnou komunikaci a přenos dat. Pro experiment byla vyrobena testovací tělesa o rozměrech 100 x 100 x 10 mm. Aby měl materiál schopnost stínit elektromagnetické pole, musí být elektricky vodivý. Z toho důvodu byla jako výztuž pro tento experiment použita uhlíková vlákna. U ostatních vláken (sklo, čedič), které byly použity jako výztuž, nebyl předpoklad elektrické vodivosti, a tedy ani elektromagnetického stínění. Uhlíková vlákna byla použita v poměru 1, 2 a 3 hm%. Pro každý hm. poměr bylo vyrobeno 5 vzorků, umožňující další statistickou analýzu včetně odhadu polohy a variability hodnocené veličiny.

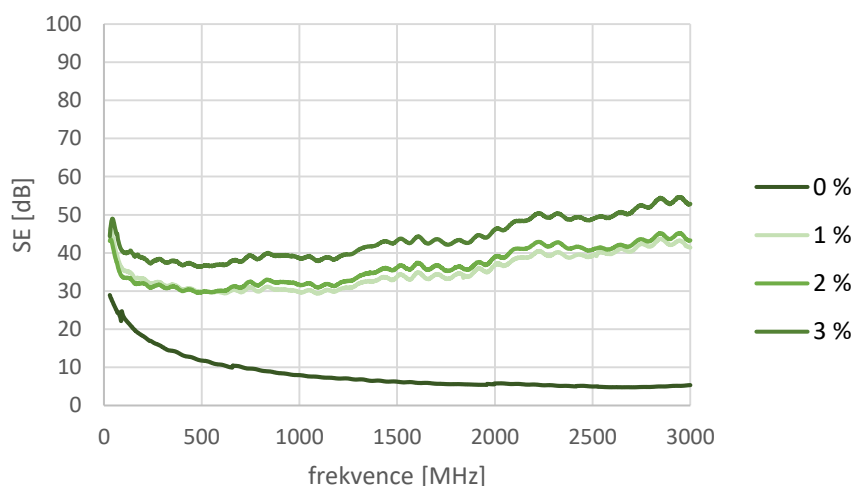
Účinnost elektromagnetického stínění byla měřena na testovacím zařízení (obr. 7), které se skládá z vektorového analyzátoru Rhode a Schwarz ZN3 a přerušného koaxiálního vedení Electrometric model EM-2107A (držák vzorků). Měření probíhalo dle normy ASTM D 4935-18 v rozsahu 30 - 3000 MHz.

Studován byl vliv množství vláknenné výztuže, vliv matrice, vliv obsahu vlhkosti a vliv tloušťky kompozitu na výslednou hodnotu SE. Prostudovány jsou také jednotlivé mechanismy SE, které způsobují útlum elektromagnetického záření.

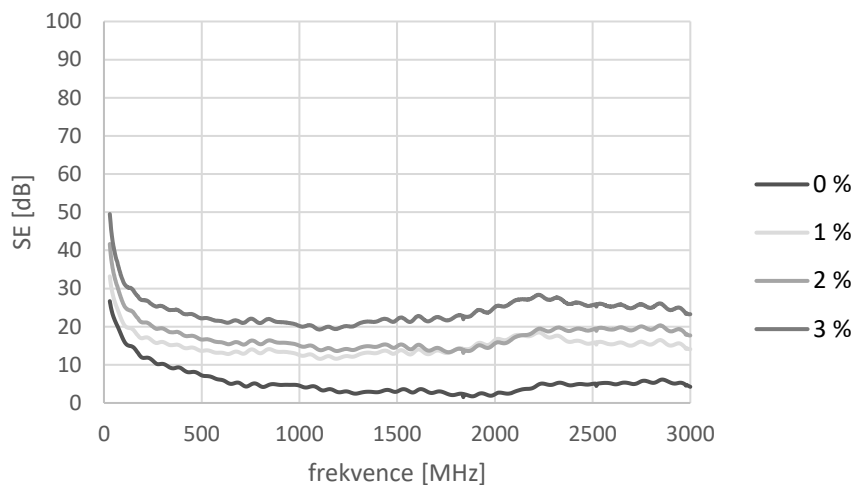
##### 4.7.1 Vliv množství vláknenné výztuže na schopnost stínit elektromagnetické pole

Pro tento experiment byla použita pouze uhlíková vlákna (u ostatních druhů výztuží nelze stínící schopnost předpokládat) v poměru 1, 2 a 3 hm%. Vzorky byly před samotným měřením klimatizovány po dobu 24 hodin při relativní vlhkosti vzduchu  $65 \pm 5$  % a teplotě  $20 \pm 2$  °C. Na obrázku 27 je zobrazena závislost SE na frekvenci pro vzorky, které se lišily jak obsahem vodivé komponenty, tak typem matrice.

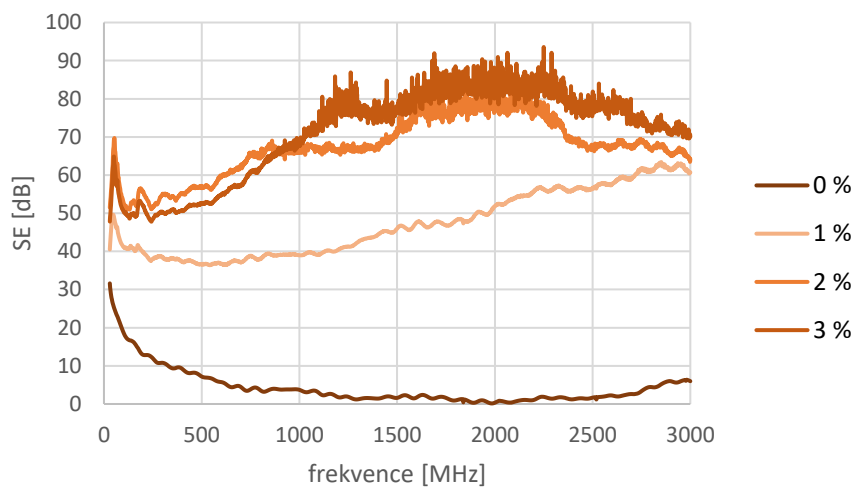
Z výsledků je patrné, že se zvyšujícím se podílem uhlíkových vláken v matrici významně roste schopnost omítkových kompozitů stínit elektromagnetické pole, což potvrzuje teoretický rozbor. Navzdory této skutečnosti jsou kompozity s vyšším podílem uhlíkových vláken (3 hm%) méně vhodné s ohledem na zhoršení základních mechanických veličin (viz kapitola 9). Na obrázku 28 jsou znázorněny průměrné hodnoty SE při frekvenci 1500 MHz pro jednotlivé druhy omítek a pro dané množství výztuže. Pro každé množství vláknenné složky je uveden 95% IS. V grafu na obrázku je potvrzen významný vliv množství uhlíkových vláken na SE, přičemž čím vyšší množství uhlíkových vláken v kompozitu, tím vyšší SE. Závislost množství vláknenné výztuže na SE je vyjádřena mocninou funkcí. Vhodnost použití tohoto modelu potvrzuje relativně vysoký koeficient determinace, a to 0,84 – 0,98.



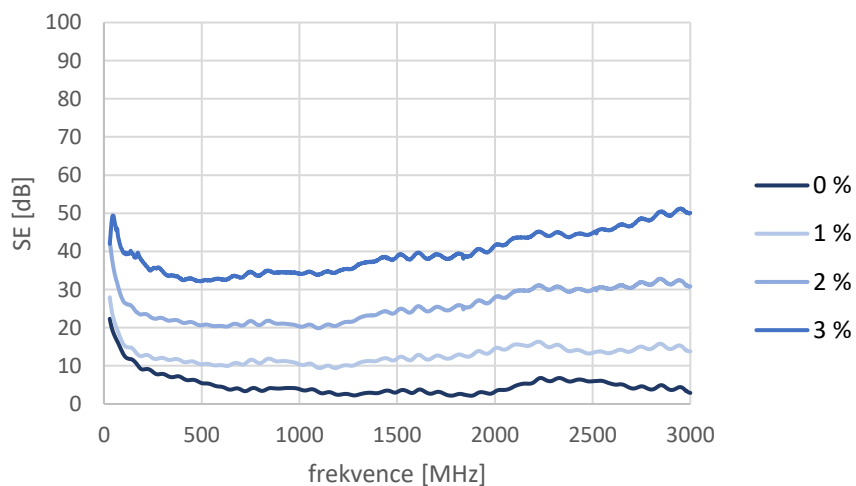
a) Vápenná omítká s uhlíkovými vlákny



b) Vápeno-cementová omítka s uhlíkovými vlákny



c) Sádrová omítka s uhlíkovými vlákny



d) Cementová omítka s uhlíkovými vlákny

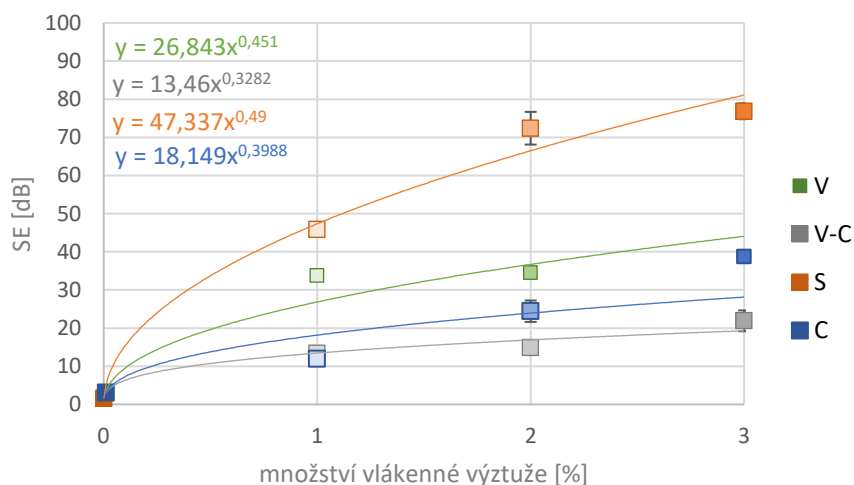
Obr. 27 Vliv vlákenného podílu na elektromagnetické stínění vzorku



Tab. 15.: Třídy elektromagnetické účinnosti pro profesionální použití

Třída	5 vynikající	4 velmi dobrý	3 dobrý	2 průměrný	1 uspokojující
Rozsah elektromagnetické účinnosti	SE > 60 dB	60 dB ≥ SE > 50 dB	50 dB ≥ SE > 40 dB	40 dB ≥ SE > 30 dB	30 dB ≥ SE > 20 dB

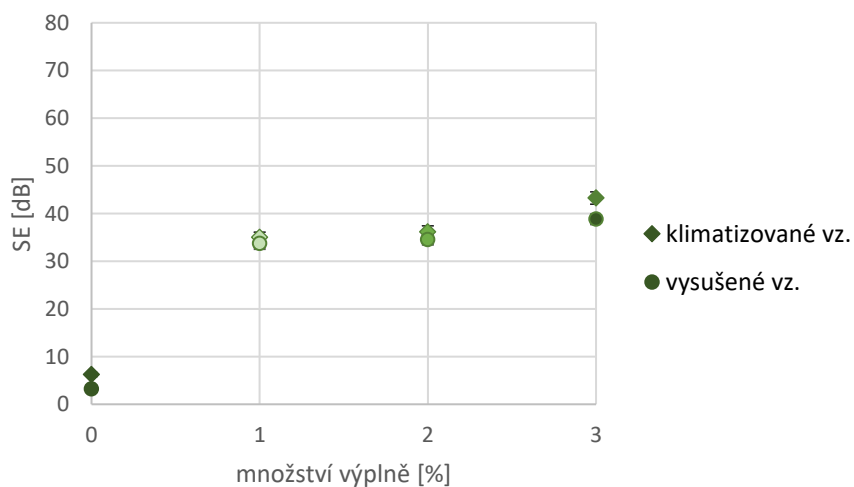
Pokud porovnáme výsledky 1 a 2 hm% obsahu uhlíkových vláken s žebříčkem hodnot pro profesionální použití (tab. 15) zařadíme vzorky cementové omítky se 2 hm% uhlíkových vláken do skupiny „uspokojující“. Vzorky vápenné omítky s 1 i se 2 hm% uhlíkových vláken lze zařadit do skupiny „průměrný“ a vzorky sádrové omítky s 1 hm% vláken do skupiny „dobrý“ a se 2 hm% vláken do skupiny „vynikající“. Vápeno-cementová omítka při frekvenci 1500 MHz nedosáhla 20 dB, tudíž ji nelze zařadit do žádné ze tříd.



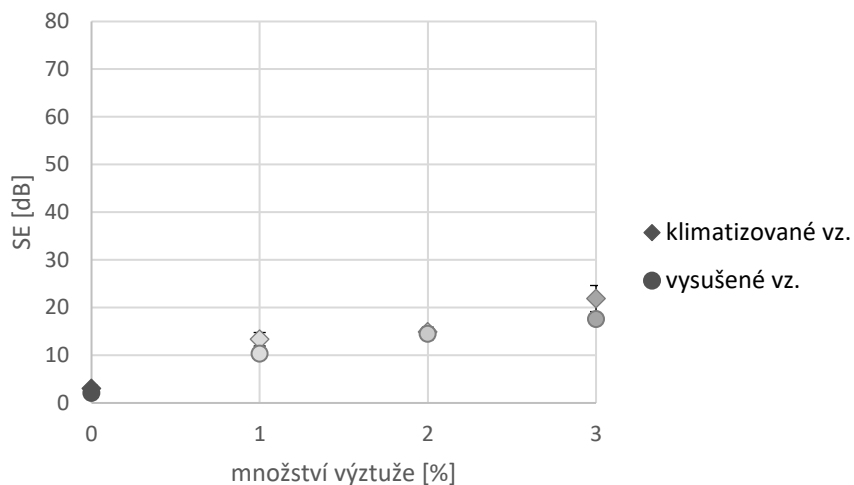
Obr. 28 SE pro jednotlivé typy omítek při frekvenci 1500 MHz

#### 4.7.2 Vliv vlhkosti na schopnost stínit elektromagnetické pole

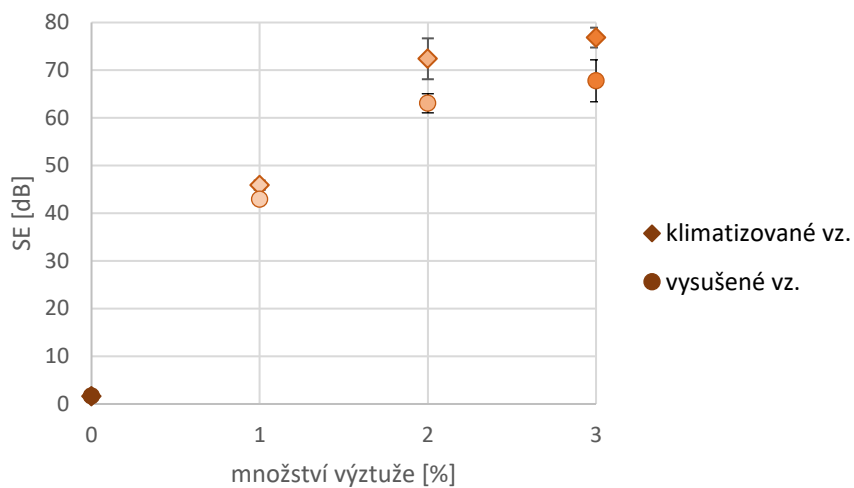
Vlhkost obecně může ovlivňovat vodivost materiálu. Vysoký obsah vlhkosti v omítkových kompozitech může tedy způsobit jejich vyšší elektrickou vodivost, tedy i lepší schopnost stínit elektromagnetické pole. Vzhledem k tomuto faktu byly vzorky vysušeny po dobu 24 hodin při teplotě 180 °C a následně změřeny. Tyto vzorky jsou v experimentech označeny jako „vysušené“. V kapitole 4.7.1 byly vzorky klimatizovány (RH 65 ± 5 %, teplota 20 ± 2 °C) po dobu 24 hodin a následně bylo provedeno měření, proto jsou v dalších experimentech označovány jako „klimatizované“.



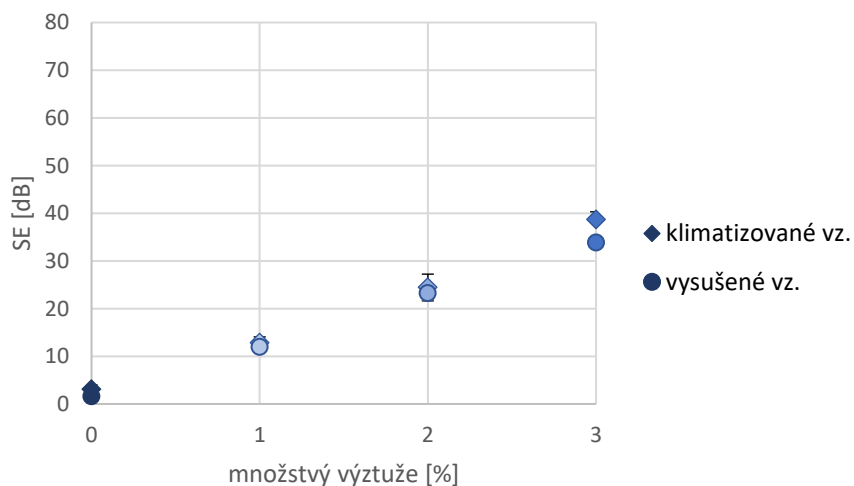
a) Vápenná omítka s uhlíkovými vlákny



b) Vápno-cementová omítka s uhlíkovými vlákny



c) Sádrová omítka s uhlíkovými vlákny



d) Cementová omítka s uhlíkovými vlákny

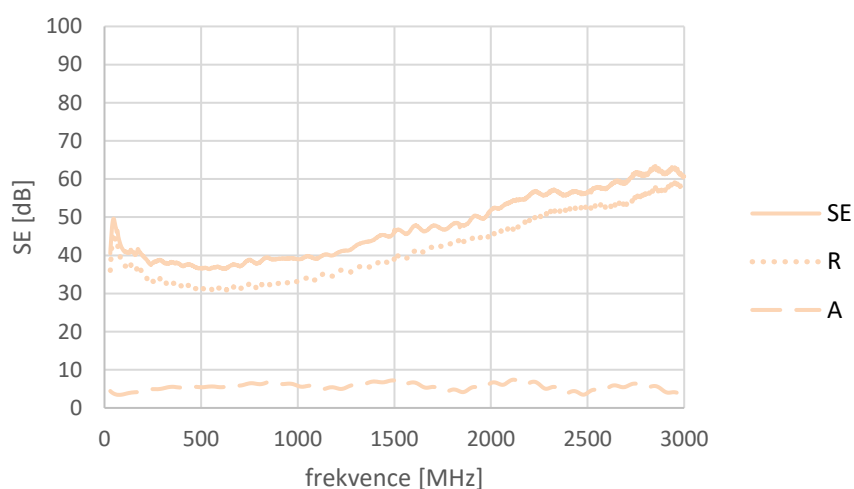
Obr. 29 Porovnání účinnosti elektromagnetického stínění klimatizovaných a vysušených vzorků při frekvenci 1500 MHz

Nejběžnější bezdrátové technologie, jako je televizní a rozhlasové vysílání, mobilní telefony, satelitní rádio a televize, bezdrátové počítačové sítě, Bluetooth, GPS atd., využívají rádiové frekvence, které se pohybují od cca 10 kHz do 300 GHz. Velmi často se účinnost stínění vyhodnocuje pro frekvenci 1500 MHz, což je frekvence blízká pracovní frekvenci mobilních telefonů. Proto byly porovnány výsledky „klimatizovaných“ a „vysušených“ vzorků právě při této frekvenci (obr.29). U všech typů omítek se potvrdil předpoklad vyšší stínící účinnosti u „klimatizovaných“ vzorků. Největších rozdílů elektromagnetického stínění dosahují vzorky se 2 a 3 hm% uhlíkových vláken u všech typů omítek.

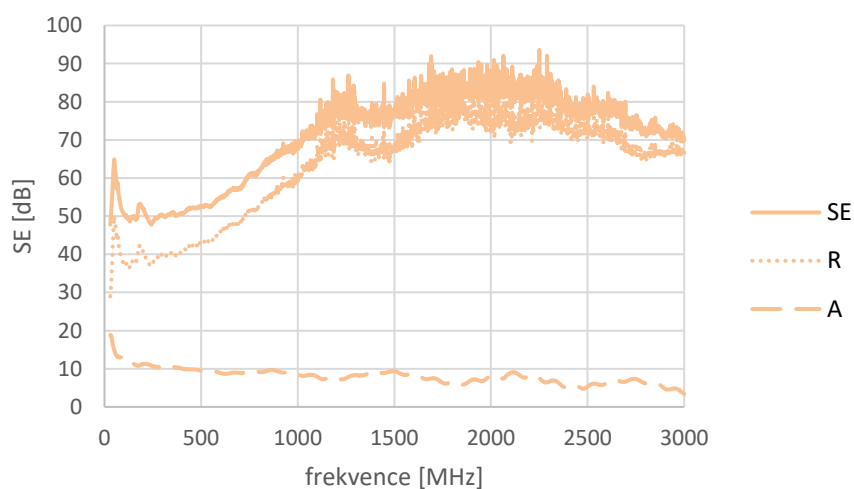
#### 4.7.3 Mechanismus elektromagnetického stínění

Účinnost elektromagnetického stínění lze popsat pomocí fyzikálních mechanismů, kterými jsou zejména odraz a absorpce.

Na obrázku 30 jsou pro názornost uvedeny výsledky stínění a jejich mechanismy pro sádrovou omítku. S ohledem na nedostatečné mechanické vlastnosti omítkových kompozitů, jsou zde uvedeny výsledky pouze pro kompozity s 1 a 2 hm% uhlíkových vláken. Z výsledků je patrné, že účinnost stínění omítkových kompozitů je dána převážně odrazem vlny od povrchu vzorku. U vzorků dochází pouze k nepatrnému absorpčnímu útlumu.



a) Sádrová omítka s 1 hm% uhlíkových vláken



b) Sádrová omítka se 2 hm% uhlíkových vláken

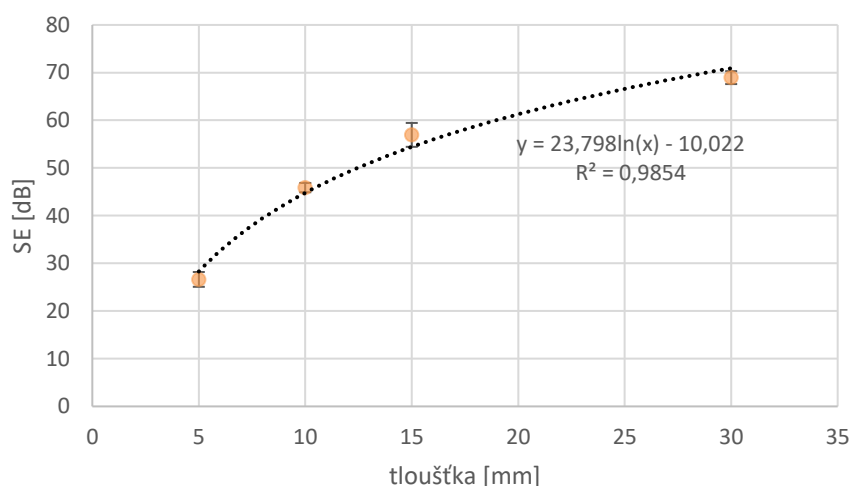
Obr. 30 Mechanismus elektromagnetického stínění sádrových kompozitů

#### 4.7.4 Vliv tloušťky omítkového kompozitu na schopnost stínit elektromagnetické pole

Z uvedených výsledků omítkových kompozitů vyplývá, že k útlumu elektromagnetického záření u omítkových kompozitů dochází převážně odrazem energie vlny. K odrazu dochází nejen na vstupní straně kompozitu, ale také na straně výstupní. Proto byl zkoumán vliv tloušťky kompozitu na účinnost

elektromagnetického stínění. Jak uvádí teoretický rozbor, tloušťka materiálu je také jedním z vlivných parametrů pro celkovou stínící účinnost (viz kapitola 3.1.4). Cílem této kapitoly je prozkoumat, zda vliv tloušťky kompozitu je statisticky významný na SE.

Pro tento experiment byla s ohledem na všestranné použití, dobré mechanické vlastnosti (viz kapitola 4.5.1) a zároveň velmi dobrou schopnost stínit elektromagnetické pole (obr. 27c) vybrána sádrová omítka s 1 hm% uhlíkových vláken. V předchozích experimentech byly testovány vzorky o tloušťce 10 mm. Pro tento experiment byly zvoleny tloušťky 5, 10, 15 a 30 mm. Před samotným měřením byly vzorky klimatizované po dobu 24 hodin, relativní vlhkosti  $65 \pm 5 \%$  a teplotě  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pro každou tloušťku bylo zhotoveno 5 vzorků, ze kterých byla následně vypočtena průměrná hodnota a stanoven 95% IS.



Obr. 31 Vliv tloušťky na účinnost elektromagnetického stínění

Na obrázku 31 je zobrazena závislost SE měřena při frekvenci 1500 MHz na tloušťce sádrového kompozitu obsahující 1 hm% uhlíkových vláken. Z obrázku je patrné, že tloušťka má statisticky významný vliv na SE. Tuto závislost je možno popsat logaritmickou funkcí s velmi vysokým koeficientem determinace ( $\sim 0,99$ ). Z předchozí kapitoly 4.7.3 vyplývá, že omítkový kompozit absorbuje pouze malou část vlny a samotné stínění je dané převážně odrazem. Z obrázku je vidět, že se zvyšující se tloušťkou roste účinek stínění, ale je zde patrný pokles rychlosti nárůstu účinku stínění v rozmezí tloušťky 15 a 30 mm. Předpokladem je, že při určité tloušťce dojde nejprve ke zmírnění, a poté k ustálení stínícího efektu a tloušťka kompozitu přestane mít vliv na účinnost stínění.

#### 4.8 Stanovení užité hodnoty pro omítkové kompozity

Index kvality ( $QI$ ) shrnující vybrané vlastnosti lze použít pro hodnocení celkového výkonu pokročilých kompozitů viz kapitola 3.1.5. Pro stanovení indexu kvality byly vybrány vhodné vlastnosti charakterizující kompozitní materiál. S přihlédnutím k aktuálním cenám stavebních materiálů, které neustále rostou, byla k vlastnostem přidána cena kompozitu (stanovená pro 1 kg směsi). Vybrané vlastnosti, včetně dolní a horní hranice vyjadřující nevyhovující ( $L$ ) a vyhovující ( $H$ ) hodnoty jsou uvedeny v tabulce 16. Hodnoty  $L$ ,  $H$  a váhy  $w_i$  byly stanoveny na základě úvah o budoucím použití kompozitů. Po stanovení  $QI$  u všech druhů omítek se všemi druhy krátkovlákně výztuže byly vzhledem k pořizovací ceně a dobrým mechanickým vlastnostem na prvních 5 příčkách pouze cementové kompozity (C1s, C2s, C1b, C2b, C1u). Při výběru stavebních materiálů je klíčovým faktorem kvalita a důraz na bezpečnost, proto byly pro další vyhodnocení vybrány pouze kompozity s 1 hm% krátkovlákně výztuže.

V tabulce 17 jsou uvedeny hodnoty indexu kvality pro omítkové kompozity s 1 hm% krátkovlákně výztuže. Dále je zde uvedeno pořadí od nejvhodnějšího typu vzorku, a to s ohledem na jeho mechanické vlastnosti, sorpční vlastnosti a pořizovací cenu omítky a vlákně výztuže. Nejvyšší hodnoty  $QI$  dosáhl vzorek C1s (0,95). Do cementové, sádrové a vápenné matrice se pro 1 hm% nejvíce hodí použít skleněná výztuž. U vápeno-cementové omítky se ukázala jako nejlepší výztuž (s ohledem

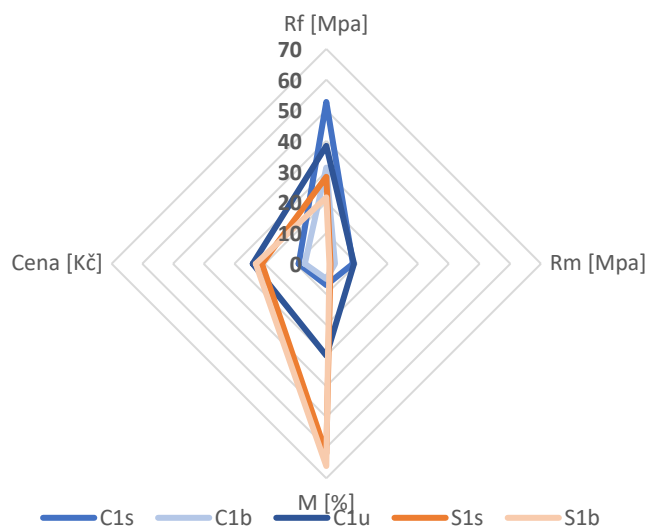
na všechny vybrané vlastnosti) vlákna uhlíková. Na obrázku 32 je zobrazeno prvních 5 vzorků s nejvyšší hodnotou QI a jejich závislost na vybraných vlastnostech.

Tab. 16 Vlastnosti pro stanovení užité hodnoty omítkových kompozitů

Vlastnost	<i>L</i>	<i>H</i>	$w_i$ [-]
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	3,5	26,9	0,3
Pevnost v tlaku [MPa]	0,15	5,15	0,2
Transport kapalné vody [%]	93	20	0,2
Cena [Kč]	50	1	0,3

Tab. 17 Index kvality omítkových kompozitů

vzorek	C1s	C1b	C1u	S1s	S1b	S1u	V-C1u	V-C1s	V-C1b	V1s	V1b	V1u
QI	0,95	0,87	0,83	0,60	0,52	0,36	0,30	0,27	0,26	0,24	0,20	0,12
pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



Obr. 32 Vliv jednotlivých vlastností na stanovení užité vlastnosti omítkových kompozitů (v grafu je uvedeno prvních 5 vzorků)

#### 4.8.1 Stanovení užité hodnoty omítkových kompozitů pro speciální účely (EMS)

Díky širokému využívání moderních elektronických produktů a rozsáhlému pokrytí signálů bezdrátového přenosu v běžném životě jsou elektromagnetické vlny běžně přítomny v prostorech kolem nás. Nadměrná přítomnost elektromagnetických vln může mít negativní dopad na živé organismy. Proto je elektromagnetické stínění účinným nástrojem prevence proti nepříznivým účinkům elektromagnetického znečištění.

S ohledem na tyto znalosti byla stanovena také užité hodnoty pro omítkové kompozity s uhlíkovou výztuží. Tyto kompozity by mohly být využity jako omítky do místností, kde by bylo třeba odstínit elektromagnetické pole (místnosti se speciálním zařízením jako jsou rentgeny, magnetická rezonance, skenery, vysílače, radiolokátory, výpočetní střediska, ...). Některá elektrická zařízení generují vysoké elektromagnetické pole a tento způsob by mohl vést k zmírnění úniku elektromagnetických vln z místnosti.

Při stanovování *QI* byla vyzdvižnuta hodnota SE pro frekvenci 1,5 GHz a naopak byly mírně potlačeny mechanické a sorpční vlastnosti. V tabulce 18 jsou uvedeny vybrané vlastnosti současně s horní (*H*) a dolní (*L*) mezí a hodnotou  $w_i$ .

V tabulce Tab. 19 jsou uvedeny hodnoty *QI* pro omítkové kompozity s uhlíkovou výztuží. S ohledem na vybrané vlastnosti a cenu kompozitu, která byla stanovena pro 1 kg směsi, se ukázal vzorek C3u s hodnotou 0,71 jako nejvhodnější k možnému využití k elektromagnetickému stínění.

Pokud tento vzorek klasifikujeme dle třídy elektromagnetické účinnosti pro profesionální použití zařadíme ho do třídy 2 „průměrný“ viz kap. 4.7.1. Následují vzorky S1u a S2u, které lze zařadit do třídy 3 „dobrý“ a třídy 5 „vynikající“. Na obrázku 33 je zobrazeno prvních 5 vzorků s nejvyšší hodnotou QI a jejich závislost na vybraných vlastnostech.

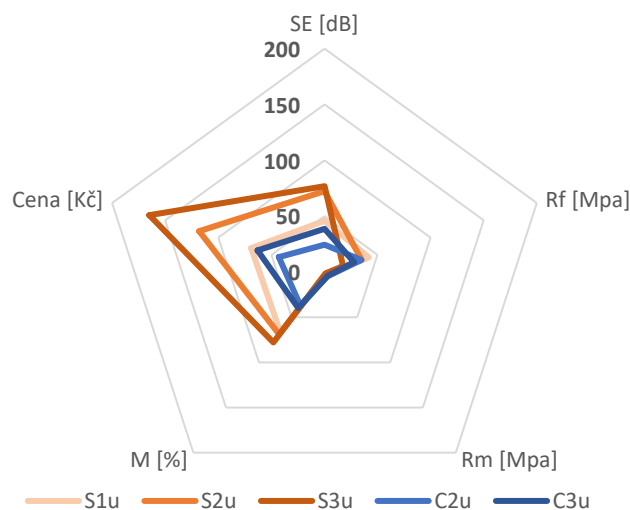
Tab. 18 Vlastnosti pro stanovení užité hodnoty omítkových kompozitů s EMS

Vlastnost	<i>L</i>	<i>H</i>	$w_i$ [-]
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	3,5	26,9	0,15
Pevnost v tlaku [MPa]	0,15	5,15	0,10
Transport kapalné vody [%]	93	20	0,15
Elektromagnetické stínění [dB] pro $f = 1,5$ GHz	20	50	0,50
Cena [Kč]	100	1	0,10

Tab. 19 Index kvality omítkových kompozitů pro SE

vzorek	C3u	S1u	S2u	S3u	C2u	C1u	V1u	V3u	V2u	V-C1u	V-C3u	V-C2u
QI	0,71	0,69	0,63	0,56	0,44	0,30	0,29	0,24	0,23	0,19	0,18	0,16
pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Popsaný vztah pro určení indexu kvality (kap. 3.1.5) je univerzální. Pro jeho stanovení je možné použít i další charakteristiky, které budou žádoucí pro konečný účel použití. Při znalosti základních charakteristik vlastností a s ohledem na účel použití lze QI použít pro výběr vhodných materiálů.



Obr. 33 Vliv dílčích vlastností na stanovení užité vlastnosti omítkových kompozitů pro SE (v grafu je uvedeno prvních 5 vzorků)

## 5 Závěr

Omítka slouží zejména k ochraně povrchu proti poškození. Proto jsou životnost a celistvost omítek důležité faktory, které ovlivňují vlastnosti stavebních systémů a ve výsledku také spotřebu stavebního materiálu. Při jejím porušení může docházet k snadnějšímu pronikání vlhkosti dovnitř do stavební konstrukce, a to může být příčina rychlejší degradace materiálu. Z tohoto důvodu bylo vhodné navrhnout omítkové kompozity s optimálními užitnými vlastnostmi, které prodlouží dobu mezi prováděním oprav a tím i životnost konstrukce.

Disertační práce byla zaměřena na vytvoření omítkového kompozitu: směsi omítky a krátkých vláken, konkrétně čedičových, skleněných a uhlíkových jako výztuže ke čtyřem běžně využívaným omítkám (vápenné, vápeno-cementové, sádrové, cementové). Cílem bylo vytvořit takové omítkové kompozity, které by prodlužovaly životnost těchto materiálů a zároveň by měly pozitivní vliv i na další

funkce omítky, a tím by mohly přispět ke zdraví a pocitu komfortu obyvatel. Navržené omítkové kompozity se skleněnými a čedičovými vlákny jsou zároveň akceptovatelné z pohledu historie používání těchto vláken ve stavebnictví a s možností jejich případného využití i na starších budovách (jejichž použití není v rozporu s požadavky na ochranu památek). Omítky s uhlíkovou výztuží mají potenciál jako stínící materiál pro zmírnění problémů znečištění elektromagnetickým zářením a daly by se využít v laboratořích, nemocnicích a jiných místech, kde je potřeba minimalizovat expozici tohoto záření.

Základní přínos práce lze shrnout v následujících bodech:

- Pro jednotlivé experimenty byly vyrobeny kovové nebo silikonové formy tak, aby odpovídaly rozměrům potřebným k danému testování.
- Na základě měření soudržnosti vláken a matrice byla pro jednotlivé omítky vypočtena délka vláknenné výztuže. Dále bylo stanoveno množství vláken na 5, 6 a 7 hm%. Výroba vzorků a následné mechanické testování však ukázala nevhodnost tak vysokého procenta vláken z hlediska zpracovatelských vlastností omítkových kompozitů, proto bylo množství výztuže upraveno na 1, 2 a 3 hm%.
- Testování omítkových kompozitů ukázalo skutečnost, že nelze vybrat jeden druh krátkovláknenné výztuže, která by vedla k celkovému zlepšení testovaných vlastností u všech použitých matric. Avšak použití 1 až 2 hm% vláken má pozitivní vliv zejména na pevnostní charakteristiky u všech omítek.
- U sorpčních vlastností se ukázala zejména skleněná výztuž jako vyhovující, neboť došlo k poklesu nebo jen k mírnému nárůstu těchto vlastností u vápenné, vápeno-cementové a sádrové matrice. Také byl testován transport vodní páry, z naměřených dat byly vypočteny faktor difúzního odporu a ekvivalentní difúzní tloušťka. Přidání 3 hm% vláken vede k nárůstu faktoru difúzního odporu z čehož vyplývá, že transport vodní páry bude těmito vzorky více omezen. Výsledky ekvivalentní difúzní tloušťky vápenné a vápeno-cementové omítky jsou srovnatelné a dosahují průměrné hodnoty 0,1 m.
- Pro měření akustické pohltivosti pomocí impedanční trubice byly vyrobeny dva druhy vzorků, tak aby bylo možné měřit při větších i malých frekvencích. Ze získaných dat byl vypočten činitel zvukové pohltivosti, který ukázal pozitivní vliv většího množství vláken u vápenného, sádrového a cementového kompozitu na výslednou akustickou pohltivost omítky.
- Schopnost kompozitu stínit elektromagnetické pole roste s rostoucím hmotnostním podílem uhlíkové výztuže. Z naměřených dat byla vypočtena účinnost stínění omítkových kompozitů a na základě těchto výsledků byl navržen experiment zabývající se vlivem tloušťky na SE. Na základě tohoto experimentu byl vytvořen model, který ukázal, že vliv tloušťky vzorku na SE není lineární a s přibývajícím tloušťkou dochází ke zmírnění nárůstu SE. Dále byl zkoumán mechanismus elektromagnetického stínění, který ukázal, že účinnost stínění je u omítkových kompozitů dána převážně odrazem.
- Na závěr práce byl zhodnocen celkový výkon omítkových kompozitů. Pro tento účel byl vypočten index kvality, který umožňuje shrnout vybrané vlastnosti, které lze stanovit a měnit na základě úvah o budoucím použití kompozitů. Ukázalo se, že optimální kombinace testovaných vlastností a ceny, která je z hlediska spotřebitele důležitá, dosahují na prvních 5 příčkách pouze cementové kompozity (C1s, C2s, C1b, C2b, C1u). Použitý vztah je díky své variabilitě a možnosti volby požadovaných vlastnostních charakteristik vhodný pro použití při výrobě omítkových kompozitů.

Také byly porovnány vyrobené kompozity s odbornými pracemi jiných autorů. Ukázalo se, že autoři Iucolano a spol.[109] testovali sádrový kompozit vyztužený 1 a 2 hm% skleněných vláken (délka vl. 10 mm). Autoři zaznamenali zvýšení pevnosti v tahu za ohybu u 1 hm% o 10 %. U odpovídajícího vzorku z této studie (sádra s 1 hm% skleněných vláken) došlo také ke zvýšení této vlastnosti, ale o 49,7 %. Demircan a spol. [110] testovali vápenné kompozity s 1,2 hm% čedičových (6 mm), uhlíkových (6 mm) a skleněných (6 mm) vláken. Zjistili, že při tomto hmotnostním podílu dochází k poklesu pevnosti v tahu za ohybu v porovnání s referenčním vzorkem. V této disertační práci bylo zjištěno že přidání 1 hm% k vápenné matrici má pozitivní vliv na tuto vlastnost.

Dále se ukázalo, že převážná většina odborných prací zabývajících se elektromagnetickým stíněním v oblasti stavebnictví používá jako matrici pouze cementové materiály. Cementová matrice má však špatnou účinnost elektromagnetického stínění. Tato disertační práce se zabývala využitím i jiných než cementových matric a díky tomu přináší ucelenější informace o dané problematice.

Závěrem je tedy možné říct, že práce přináší všeobecný přehled základních vlastností pro omítkové kompozity, které vychází z běžně dostupných a obvykle používaných omítek v našem podnebním pásmu. Zároveň lze konstatovat, že přidání krátkých vláken k omítkové matrici má pozitivní vliv na vlastnosti a životnost omítek. Ovšem je důležité vybrat vhodnou kombinaci omítky a vlákenné výztuže vzhledem k požadovaným výsledným vlastnostem.

## 6 Doporučení na pokračování práce

- Studium vysýchavost omítek.
- Vliv alkalického prostředí na změnu vlastností vláken.
- Stárnutí omítkového kompozitu vlivem reálných (vzorky vystavené na slunci, dešti, mrazu) a simulovaných podmínek (xenotest, klimakomora – změna teploty a vlhkosti).

## 7 Seznam publikovaných prací studenta DSP (včetně uvedení všech spoluautorů publikovaných prací a jejich autorských podílů) a jejich případné citace

Publikace	Citace
1. <b>A. Samková</b> , P. Pokorný, T. Kalous, J. Erben, M. Pechočiaková, P. Kryšková, <i>Fibre reinforcement effect on plaster composite properties</i> , Nanofibers, Applications and Related Technologies - NART 2015, Conference Proceedings, Technical University of Liberec, 2015, Technical University of Liberec, Czech Republic, 1, ISBN: 978-80-7494-265-5, p. 189-195, 7 pages, 2015.	-
2. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, M. Pechočiaková, <i>Optimization parameters of plaster composites</i> , EAN 2016 - 54th International Conference on Experimental Stress Analysis, 1, ISBN: 978-80-261-0624-1, 6 pages, 2016.	3
3. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, <i>Influence of carbon fiber fraction on plaster composites ability to electromagnetic shielding</i> , Workshop for Ph.D. Students of Faculty of Textile Engineering and Faculty of Mechanical Engineering TUL, Liberec, Technická univerzita v Liberci, 1, ISBN: 978-80-7494-293-8, p. 115-118, 4 pages, 2016.	-
4. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, M. Pechočiaková, <i>The influence of fiber reinforcement on the properties of gypsum plaster</i> , International Ph.D. Students Day, Liberec, Technická univerzita v Liberci, 1, ISBN: 978-80-7494-355-3, p. 106-109, 138 pages, 2017.	-
5. P. Kulhavý, <b>A. Samková</b> , <i>Study of the acoustic attenuation in plaster composites in dependency on added fiber reinforcement</i> , Vibroengineering Procedia, JVE International, p. 179-185, 6 pages, ISSN: 2345-0533, [Online], 2017.	1
6. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, M. Pechočiaková, <i>Possibilities to improve electromagnetic shielding of plaster composites adding carbon fibers</i> , IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Institute of Physics Publishing, 6 pages, ISSN: 1757-899X, n. 4, 2017.	3
7. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, V. Tunáková, M. Petrů, <i>Improving Electromagnetic Shielding Ability of Plaster-Based Composites by Addition of Carbon Fibers</i> , Advances in Materials Science and Engineering, London, Hindawi Limited, 1, p. 1-14, 14 pages, ISSN: 1687-8434, n. 7, [Online], 2018.	7
8. P. Kulhavý, <b>A. Samková</b> , M. Petrů, M. Pechočiaková, <i>Improvement of the Acoustic Attenuation of Plaster Composites by the Addition of Short-Fibre Reinforcement</i> ,	4



Advances in Materials Science and Engineering, Hindawi Publishing Corporation, 1, 15 pages, ISSN: 1687-8434, [Online], 2018.	
9. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, R. Jirkovec, <i>Impact of the plaster medium on fibres degradation</i> , International Ph.D. students Day - book of extended abstracts, Liberec, Technická univerzita v Liberci, 1, 4 pages, 2019.	-
10. <b>A. Samková</b> , P. Kulhavý, M. Pechočiaková, <i>Effect of fibrous reinforcement on moisture absorption of plaster composites</i> , Aachen-Dresden-Denkendorf International textile conference Book of abstracts, Aachen, p. 263, 1 pages, 2019.	-
11. M. Pelcl, M. Kovář, <b>A. Samková</b> , P. Novák, <i>Classification Nanofibrous Wound Dressings by Using Textile Technique</i> , NANOCON 2016, Ostrava, TANGER Ltd., ISBN: 978-80-87294-68-0, p. 145-150, 6 pages, 2016.	-
12. P. Kulhavý, M. Ryvolová, P. Srb, M. Petru, <b>A. Samková</b> , <i>Irregular Winding of Pre-preg Fibres Aimed at the Local Improvement of Flexural Properties</i> , Tekstilec, University of Ljubljana, 1, p. 310-316, 7 pages, ISSN: 0351-3386, n. 4, [Online], 2017.	3
13. M. Venkataraman, J. Militký, V. Baheti, R. Pulíček, J. Novotná, <b>A. Samková</b> , K. Voleská, P. Srb, <i>Sophisticated hybrid tapes for fabrication of composites by precise winding</i> , AUTEX, Istanbul Turkey, AUTEX, p. 1-3, 3 pages, 2018.	-
14. M. Venkataraman, J. Militký, V. Baheti, R. Mishra, R. Pulíček, J. Novotná, <b>A. Samková</b> , K. Voleská, P. Srb, <i>Preparation of hybrid tapes for fabrication of composites</i> , Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings 2018 - 11th Textile Bioengineering and Informatics Symposium, TBIS 2018, China, Binary Information Press, 1, ISBN: 978-1-5108-7035-2, p. 1-7, 7 pages, ISSN: 1942-3438, 2018.	-
15. J. Novotná, V. Baheti, <b>A. Samková</b> , <i>Impact strength of Epoxy composites with fly ashe as the fillers</i> , Proceedings of Aachen Dresden Denkendorf International Textile Conference, ISBN: 1867-6405, p. 264, 1 pages, [Online], 2018.	-
16. V. Baheti, D. Karthik, J. Novotná, <b>A. Samková</b> , R. Pulíček, M. Venkataraman, P. Srb, K. Voleská, J. Militký, <i>Creep behaviour of particle filled epoxy composites</i> , The Twenty-Sixth Annual International Conference on COMPOSITES/NANO ENGINEERING, [Online], 2018.	-
17. M. Venkataraman, J. Militký, J. Novotná, <b>A. Samková</b> , K. Voleská, P. Srb, V. Baheti, R. Mishra, R. Pulíček, <i>Sophisticated Glass Tapes for Fabrication of Composites</i> , Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, Global Science Press, 1, p. 35-42, 8 pages, ISSN: 1940-8676, n. 1, [Online], 2019.	2
18. R. Jirkovec, T. Kalous, P. Holec, <b>A. Samková</b> , J. Chvojka, <i>Nanofibrous scaffold for bone tissue engineering via AC electrospinning</i> , Proceedings of the 5th World Congress on New Technologies, Avestia Publishing, 1, ISBN: 978-192787762-3, 2 pages, ISSN: 2369-8128, 2019.	-
19. K. Voleská, M. Venkataraman, J. Militký, J. Novotná, <b>A. Samková</b> , <i>Influence of plasma treatment on the resulting useful properties of tapes made of glass fibers</i> , International Conference on Natural Fibres (ICNF), Porto, Portugal, ICNF, p. 1-4, 4 pages, 2019.	-
20. D. Karthik, V. Baheti, J. Novotná, <b>A. Samková</b> , R. Pulíček, M. Venkataraman, P. Srb, K. Voleská, Y. Wang, J. Militký, <i>Effect of particulate fillers on creep behaviour of epoxy composites</i> , Materials Today: Proceedings, Oxford, Elsevier, 1, p. 217-220, 4 pages, ISSN: 2214-7853, n. 1, [Online], 2019.	2
21. J. Militký, M. Venkataraman, V. Baheti, J. Novotná, R. Pulíček, <b>A. Samková</b> , K. Voleská, P. Srb, D. Křemenáková, R. Mishra, B. Behera, <i>Characterization and Strength Distribution of Fibrous Glass Tapes</i> , Recent Trends in Fibrous Material Science, Liberec, Technical University of Liberec, 1, ISBN: 978-80-7494-493-2, p. 9-52, 44 pages, 2019	-
22. R. Jirkovec, <b>A. Samková</b> , T. Kalous, J. Chaloupek, J. Chvojka, <i>Preparation of a Hydrogel Nanofiber Wound Dressing</i> , Nanomaterials, MDPI, 12 pages, ISSN: 2079-4991, n. 9, [Online], 2021.	11

23. R. Jirkovec, P. Holec, Š. Hauzerová, <b>A. Samková</b> , T. Kalous, J. Chvojka, <i>Preparation of a Composite Scaffold from Polycaprolactone and Hydroxyapatite Particles by Means of Alternating Current Electrospinning</i> , ACS Omega, WASHINGTON, American Chemical Society, p. 9234-9242, 9 pages, ISSN: 2470-1343, n. 13, [Online], 2021.	9
24. R. Jirkovec, J. Erben, <b>A. Samková</b> , J. Chaloupek, J. Chvojka, <i>The effect of the electrospinning setup on the surface energy of polycaprolactone nanofibre layers</i> , Journal of Industrial Textiles, THOUSAND OAKS, SAGE Publications Ltd, p. 8517-8527, 11 pages, ISSN: 1528-0837, n. 5_SUPPL, [Online], 2022.	-
25. M. Venkataraman, J. Militký, D. Křemenáková, D. Karthik, <b>A. Samková</b> , M. Petrů, <i>Hybrid Prepreg Tapes for Composite Manufacturing: A Case Study</i> , Materials, BASEL, Mdpi, 14 pages, ISSN: 1996-1944, n. 2, [Online], 2022.	-

## 8 Seznam použité literatury

- [1] E. Lenticchia, R. Ceravolo, and C. Chiorino, "Damage scenario-driven strategies for the seismic monitoring of XX century spatial structures with application to Pier Luigi Nervi's Turin Exhibition Centre," *Eng. Struct.*, vol. 137, pp. 256–267, Apr. 2017.
- [2] A. Brückner, R. Ortlepp, and M. Curbach, "Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 39, no. 292, pp. 741–748, 2006.
- [3] C. Ding, L. P. Guo, and B. Chen, "Theoretical analysis on optimal fiber-matrix interfacial bonding and corresponding fiber rupture effect for high ductility cementitious composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 223, pp. 841–851, Oct. 2019.
- [4] J. Gao, Z. Wang, T. Zhang, and L. Zhou, "Dispersion of carbon fibers in cement-based composites with different mixing methods," *Constr. Build. Mater.*, vol. 134, pp. 220–227, Mar. 2017.
- [5] A. Izaguirre, J. Lanas, and J. I. Alvarez, "Effect of a polypropylene fibre on the behaviour of aerial lime-based mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 992–1000, Feb. 2011.
- [6] S. Eve, M. Gomina, and G. Orange, "Effects of Polyamide and Polypropylene Fibres on the Setting and the Mechanical Properties of Plaster," *Key Eng. Mater.*, vol. 264–268, pp. 2531–2536, May 2004.
- [7] F. G. Carozzi and C. Poggi, "Mechanical properties and debonding strength of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for masonry strengthening," *Compos. Part B Eng.*, vol. 70, pp. 215–230, Mar. 2015.
- [8] C. Lu and C. K. Y. Leung, "Effect of fiber content variation on the strength of the weakest section in Strain Hardening Cementitious Composites (SHCC)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 141, pp. 253–258, Jun. 2017.
- [9] M. Li and V. C. Li, "Rheology, fiber dispersion, and robust properties of engineered cementitious composites," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 46, no. 3, pp. 405–420, 2013.
- [10] G. Zak, C. B. Park, and B. Benhabib, "Estimation of three-dimensional fibre-orientation distribution in short-fibre composites by a two-section method," *J. Compos. Mater.*, vol. 35, no. 4, pp. 316–339, 2001.
- [11] B. Boulekbache, M. Hamrat, M. Chemrouk, and S. Amziane, "Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 9, pp. 1664–1671, Sep. 2010.
- [12] M. Cao, Y. Mao, M. Khan, W. Si, and S. Shen, "Different testing methods for assessing the synthetic fiber distribution in cement-based composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 184, pp. 128–142, Sep. 2018.
- [13] L. Martinie and N. Roussel, "Simple tools for fiber orientation prediction in industrial practice," *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 10, pp. 993–1000, Oct. 2011.
- [14] P. Stähli, R. Custer, and J. G. M. Van Mier, "On flow properties, fibre distribution, fibre orientation and flexural behaviour of FRC," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 41, no. 1, pp. 189–196, Jan. 2008.
- [15] J. Bochen and S. Gil, "Properties of pore structure of thin-layer external plasters under ageing in simulated environment," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 8, pp. 2958–2963, Aug. 2009.
- [16] C. Nunes, L. Pel, J. Kunecký, and Z. Slížková, "The influence of the pore structure on the moisture transport in lime plaster-brick systems as studied by NMR," *Constr. Build. Mater.*, vol. 142, pp. 395–409, Jul. 2017.
- [17] M. Jerman *et al.*, "Effect of cyclic wetting and drying on microstructure, composition and length changes of lime-based plasters," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 104, p. 103411, Nov. 2019.
- [18] H. Yang, H. Cui, W. Tang, Z. Li, N. Han, and F. Xing, "A critical review on research progress of graphene/cement based composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 102, pp. 273–296, Nov. 2017.
- [19] L. Liu *et al.*, "Investigation of pore structure and mechanical property of cement paste subjected to the

- coupled action of freezing/thawing and calcium leaching,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 109, pp. 133–146, Jul. 2018.
- [20] A. V. Arundel, E. M. Sterling, J. H. Biggin, and T. D. Sterling, “Indirect health effects of relative humidity in indoor environments,” *Environ. Health Perspect.*, vol. VOL. 65, pp. 351–361, 1986.
- [21] A. P. Jones, “Indoor air quality and health.”
- [22] H. Viitanen *et al.*, “Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures,” *J. Build. Phys.*, vol. 33, no. 3, pp. 201–224, Jan. 2010.
- [23] N. Karagiannis, M. Karoglou, A. Bakolas, M. Krokida, and A. Moropoulou, “Drying kinetics of building materials capillary moisture,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 137, pp. 441–449, Apr. 2017.
- [24] B. Seng, C. Magniont, and S. Lorente, “Characterization of a precast hemp concrete. Part I: Physical and thermal properties,” *J. Build. Eng.*, vol. 24, p. 100540, Jul. 2019.
- [25] L. Randazzo, G. Montana, A. Hein, A. Castiglia, G. Rodonò, and D. I. Donato, “Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plasters: The influence of mineralogical and textural characteristics,” 2016.
- [26] N. Benmansour, B. Agoudjil, A. Gherabli, A. Kareche, and A. Boudenne, “Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building,” *Energy Build.*, vol. 81, pp. 98–104, Oct. 2014.
- [27] M. Palumbo, F. McGregor, A. Heath, and P. Walker, “The influence of two crop by-products on the hygrothermal properties of earth plasters,” *Build. Environ.*, vol. 105, pp. 245–252, Aug. 2016.
- [28] Y. Jiang *et al.*, “Moisture buffer, fire resistance and insulation potential of novel bio-clay plaster,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 244, p. 118353, May 2020.
- [29] E. Latif, M. Lawrence, A. Shea, and P. Walker, “Moisture buffer potential of experimental wall assemblies incorporating formulated hemp-lime,” *Build. Environ.*, vol. 93, no. P2, pp. 199–209, Nov. 2015.
- [30] C. J. Tsenoglou, S. Pavlidou, and C. D. Papaspyrides, “Evaluation of interfacial relaxation due to water absorption in fiber-polymer composites,” 2006.
- [31] S. P. Subramaniyan, M. A. Imam, and P. Prabhakar, “Fiber packing and morphology driven moisture diffusion mechanics in reinforced composites A R T I C L E I N F O,” *Compos. Part B*, vol. 226, pp. 1359–8368, 2021.
- [32] Y. Cui, Y. Zhang, and H. Janssen, “EMPD-based moisture buffering quantification with moisture-dependent properties (I): Modelling and simulations,” *Build. Environ.*, vol. 205, p. 108266, Nov. 2021.
- [33] H. Wan, G. Huang, S. Liu, S. Fan, X. Xu, and J. Yu, “Optimal moisture buffering thickness of the hygroscopic material layer: Modeling and derivation,” *Build. Environ.*, vol. 205, p. 108257, Nov. 2021.
- [34] D. Welch, D. Shepherd, K. N. Dirks, and R. Reddy, “Health effects of transport noise,” *Transp. Rev.*, pp. 1–21, Jun. 2023.
- [35] Hakzah, A. I. Pawelloi, N. Nasir, and S. Hamzah, “The effect of traffic noise on public health,” *Enfermería Clínica*, vol. 30, pp. 249–253, Oct. 2020.
- [36] J. Hong, H. Kang, T. Hong, H. S. Park, and D. E. Lee, “Construction noise rating based on legal and health impacts,” *Autom. Constr.*, vol. 134, p. 104053, Feb. 2022.
- [37] M. S. Andargie, M. Touchie, and W. O’Brien, “A review of factors affecting occupant comfort in multi-unit residential buildings,” 2019.
- [38] C. Díaz and A. Pedrero, “An experimental study on the effect of rolling shutters and shutter boxes on the airborne sound insulation of windows,” *Appl. Acoust.*, vol. 70, no. 2, pp. 369–377, Feb. 2009.
- [39] M. Frontczak and P. Wargoeki, “Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments.”
- [40] D. Cuiyun, C. Guang, X. Xinbang, and L. Peisheng, “Sound absorption characteristics of a high-temperature sintering porous ceramic material.”
- [41] B. Marques *et al.*, “Rice husk cement-based composites for acoustic barriers and thermal insulating layers,” *J. Build. Eng.*, vol. 39, p. 102297, Jul. 2021.
- [42] M. A. Pedre ~ No-Rojas, M. J. Morales-Conde, F. P. Erez-G Alvez, and C. Rodríguez-Li, “Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste,” 2017.
- [43] T. Januševičius, J. Mažuolis, and D. Butkus, “Sound reduction in samples of environmentally friendly building materials and their compositions,” 2016.
- [44] A. D. T. Le, C. Maalouf, T. H. Mai, E. Wurtz, and F. Collet, “Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope,” *Energy Build.*, vol. 42, pp. 1797–1806, 2010.
- [45] Z. M. Ghermezgoli, M. Moezzi, J. Yekrang, A. Rafat, P. Soltani, and F. Barez, “Sound absorption and thermal insulation characteristics of fabrics made of pure and crossbred sheep waste wool,” *J. Build. Eng.*, vol. 35, p. 102060, 2021.
- [46] F. Karimi, P. Soltani, M. Zarrebini, and A. Hassanpour, “Acoustic and thermal performance of polypropylene nonwoven fabrics for insulation in buildings,” *J. Build. Eng.*, vol. 50, p. 104125, 2022.
- [47] E. T. Dönmez and E. Türker, “Thermal and Sound Insulation Performances of Building Panels Produced

- by Recycling Waste Fibres of Yarn Factories,” *Text. Appar.*, vol. 32, no. 1, pp. 9–23, Mar. 2022.
- [48] I. Oancea, C. Bujoreanu, M. Budescu, M. Benchea, A. Mihaela, and G. Adinaru, “Considerations on sound absorption coefficient of sustainable concrete with different waste replacements,” 2018.
- [49] A. P. Fantilli and D. Jóźwiak-Niedźwiedzka, “Influence of Portland cement alkalinity on wool-reinforced mortar,” <https://doi.org/10.1680/jcoma.20.00003>, vol. 174, no. 3, pp. 172–181, Dec. 2020.
- [50] N. Neithalath, J. Weiss, and J. Olek, “Acoustic performance and damping behavior of cellulose–cement composites,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 26, no. 4, pp. 359–370, May 2004.
- [51] P. Glé, E. Gourdon, and L. Arnaud, “Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity,” 2010.
- [52] D. A. Savitz, “Epidemiologic Studies of Electric and Magnetic Fields and Cancer: Strategies for Extending Knowledge,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 101, pp. 83–91, Jun. 1993.
- [53] T. J. Bender *et al.*, “Cancer incidence among semiconductor and electronic storage device workers,” *Occup. Environ. Med.*, vol. 64, no. 1, pp. 30 LP – 36, Jan. 2007.
- [54] Z. Lou, R. Li, J. Liu, Q. Wang, Y. Zhang, and Y. Li, “Used dye adsorbent derived N-doped magnetic carbon foam with enhanced electromagnetic wave absorption performance,” *J. Alloys Compd.*, vol. 854, p. 157286, Feb. 2021.
- [55] D. Wanasinghe, F. Aslani, and G. Ma, “Effect of water to cement ratio, fly ash, and slag on the electromagnetic shielding effectiveness of mortar,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 256, p. 119409, Sep. 2020.
- [56] J.-M. Thomassin, C. Jé Rôme, T. Pardoën, C. Bailly, I. Huynen, and C. Detrembleur, “Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials,” 2013.
- [57] X. Li, X. Yin, S. Liang, M. Li, L. Cheng, and L. Zhang, “2D carbide MXene Ti<sub>2</sub>CTX as a novel high-performance electromagnetic interference shielding material,” 2019.
- [58] C. Xiang *et al.*, “Lightweight and ultrathin TiO<sub>2</sub>-Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>TX/graphene film with electromagnetic interference shielding,” 2018.
- [59] W. wu Jin, W. kai Wang, S. Mazumdar, G. zhong Xu, and Q. Q. Zhang, “Carbon foams with Fe-organic network-derived Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> for efficient electromagnetic shielding,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 304, p. 127797, Aug. 2023.
- [60] X. Zhang and W. Sun, “Microwave absorbing properties of double-layer cementitious composites containing Mn-Zn ferrite,” 2010.
- [61] W. Meng, D. Yuping, L. Shunhua, L. Xiaogang, and J. Zhijiang, “Absorption properties of carbonyl-iron/carbon black double-layer microwave absorbers,” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 321, pp. 3442–3446, 2009.
- [62] R. A. Khushnood, S. Ahmad, P. Savi, J.-M. Tulliani, M. Giorcelli, and G. A. Ferro, “Improvement in electromagnetic interference shielding effectiveness of cement composites using carbonaceous nano/micro inerts.”
- [63] Y. Li, Y. Liu, C. Jin, J. Mu, and J. Liu, “Research on mechanical and electromagnetic shielding properties of cement paste with different contents of fly ash and slag,” *NDT E Int.*, vol. 133, p. 102736, Jan. 2023.
- [64] L. Baoyi, Y. ↑ Duan, and L. Shunhua, “The electromagnetic characteristics of fly ash and absorbing properties of cement-based composites using fly ash as cement replacement,” 2011.
- [65] M. Ozturk and D. D. L. Chung, “Enhancing the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon-fiber reinforced cement paste by coating the carbon fiber with nickel,” *J. Build. Eng.*, vol. 41, p. 102757, Sep. 2021.
- [66] M. Ozturk, O. Akgol, K. Sevim, M. Karaaslan, M. Demirci, and E. Unal, “Experimental work on mechanical, electromagnetic and microwave shielding effectiveness properties of mortar containing electric arc furnace slag.”
- [67] H. Süleyman Gökçe, D. Hatungimana, and K. Ramyar, “Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete.”
- [68] I. W. Nam and H. K. Lee, “Synergistic effect of MWNT/fly ash incorporation on the EMI shielding/absorbing characteristics of cementitious materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 115, pp. 651–661, Jul. 2016.
- [69] D. Micheli *et al.*, “Shielding effectiveness of carbon nanotube reinforced concrete composites by reverberation chamber measurements,” *Proc. 2015 Int. Conf. Electromagn. Adv. Appl. ICEAA 2015*, pp. 145–148, Oct. 2015.
- [70] D. Micheli *et al.*, “Electromagnetic properties of carbon nanotube reinforced concrete composites for frequency selective shielding structures,” 2016.
- [71] A. P. Singh *et al.*, “Multiwalled carbon nanotube/cement composites with exceptional electromagnetic interference shielding properties,” *Carbon N. Y.*, vol. 56, pp. 86–96, May 2013.
- [72] Z. Liu, H. Ge, J. Wu, and J. Chen, “Enhanced electromagnetic interference shielding of carbon fiber/cement composites by adding ferroferric oxide nanoparticles,” 2017.
- [73] J. Chen, D. Zhao, H. Ge, and J. Wang, “Graphene oxide-deposited carbon fiber/cement composites for

- electromagnetic interference shielding application,” 2015.
- [74] H. N. Yoon, D. Jang, H. K. Lee, and I. W. Nam, “Influence of carbon fiber additions on the electromagnetic wave shielding characteristics of CNT-cement composites,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 269, p. 121238, Feb. 2021.
- [75] G. Logesh *et al.*, “Carbon fiber reinforced composites from industrial waste for microwave absorption and electromagnetic interference shielding applications,” *Ceram. Int.*, vol. 49, no. 2, pp. 1922–1931, Jan. 2023.
- [76] M. del Río Merino, J. Santa Cruz Astorqui, P. Villoria Sáez, R. Santos Jiménez, and M. González Cortina, “Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, pp. 649–656, Jan. 2018.
- [77] L. C. M. Eberhardt, H. Birgisdottir, and M. Birkved, “Potential of Circular Economy in Sustainable Buildings,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 471, no. 9, 2019.
- [78] J. Markarian, “Reducing the environmental impact of manufacturing,” *Pharm. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 36–38, 2016.
- [79] H. Ku, H. Wang, N. Pattarachaiyakoop, and M. Trada, “A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 42, no. 4, pp. 856–873, Jun. 2011.
- [80] G. Di Bella, V. Fiore, G. Galtieri, C. Borsellino, and A. Valenza, “Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene),” *Constr. Build. Mater.*, vol. 58, pp. 159–165, May 2014.
- [81] M. Le Troedec *et al.*, “Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 39, no. 3, pp. 514–522, Mar. 2008.
- [82] I. Van de Weyenberg, T. Chi Truong, B. Vangrimde, and I. Verpoest, “Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline fibre treatment,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 37, no. 9, pp. 1368–1376, Sep. 2006.
- [83] T. Gurunathan, S. Mohanty, and S. K. Nayak, “A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 77, pp. 1–25, Oct. 2015.
- [84] F. Iucolano, B. Liguori, P. Aprea, and D. Caputo, “Evaluation of bio-degummed hemp fibers as reinforcement in gypsum plaster,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 138, pp. 149–156, Apr. 2018.
- [85] ČSN EN 1015-11, “Zkušební metody malt pro zdivo část 11: Stanovení pevnosti zatvrdělých malt v tahu za ohybu a v tlaku.” Praha: Český normalizační institut., 2020.
- [86] ČSN EN ISO 197-2, “Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy.” Praha: Český normalizační institut., 2000.
- [87] ČSN EN ISO 15148, “Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení nasákavosti částečným ponořením.” 2004.
- [88] ČSN 727030, “Stanovení součinitele difúzní páry stavebních materiálů. Všeobecná část.” 1974.
- [89] M. Balík and Kolektiv, *Odvhlčování staveb - 2. Grada*, 2008.
- [90] M. Pinterić, *Building Physics*. Springer Cham, 2021.
- [91] M. Binnewies, R. Glaum, M. Schmidt, and P. Schmidt, *Chemical Vapor Transport Reactions*. De Gruyter, 2012.
- [92] L. Ptáček, *Nauka o materiálu I*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001.
- [93] “ČSN ISO 10534-2 Akustika - Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích – Část 2: Metoda přenosové funkce.” Praha: Český normalizační institut., 2000.
- [94] R. Ďuriš and E. Labašová, “The design of an impedance tube and testing of sound absorption coefficient of selected materials,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1050, p. 12003, Jan. 2021.
- [95] D. A. Bies and C. H. Hansen, *Engineering Noise Control - Theory and Practice*, Spon Press. London, UK, 2009.
- [96] M. Möser, *Engineering Acoustic: An Introduction to Noise Control*. Springer, 2009.
- [97] S. Duquesne, C. Magniez, and C. Giovanni, *Multifunctional Barriers for Flexible Structure*. Springer, 2010.
- [98] V. Schejbal, K. Dvořák, and J. Šroll, “Electromagnetic compability and shielding,” *Electrorevue*, vol. 13, 2011.
- [99] P. A. Chatterton and M. A. Houlden, *Electromagnetic Theory to Practical Design*. Wiley, 1992.
- [100] J. Svačina, “Elektromagnetická kompatibilita,” 2002. [Online]. Available: [https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/EMC/EMC\\_skripta.pdf](https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/EMC/EMC_skripta.pdf).
- [101] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*. New Jersey: Wiley, 2009.
- [102] R. Perumalraj, B. S. Dasaradan, R. Anbarasu, P. Arokiajaj, and S. Leo Harish, “Electromagnetic shielding effectiveness of copper core-woven fabrics,” *J. Text. Inst.*, vol. 100, no. 6, pp. 512–524, 2009.
- [103] ASTM 4935-18, “Test method for measuring the electromagnetic shielding effectiveness os planar materials.” Conshohocken, 2018.
- [104] J. E. Ross, *Total Quality Management*. CRC Press, 1999.
- [105] J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook*, 5 th ed. NY USA: McGraw-Hill, 1998.

- [106] S. Keen, "Use-Value, Exchange Value, and the Demise of Marx's Labor Theory of Value," *J. Hist. Econ. Thought*, vol. 15, pp. 107–121, Mar. 1993.
- [107] V. Tunakova, M. Tunak, and J. Novotna, "Porous, low thickness carbon-fiber reinforced epoxy composites with excellent flexibility and superior electromagnetic radiation protection," *J. Ind. Text.*, vol. 53, p. 15280837231159868, Jan. 2023.
- [108] W. D. Callister and J. G. David Rethwisch, *Material science and Engineering*. John Wiley a Sons, 2014.
- [109] F. Iucolano, L. Boccarusso, and A. Langella, "Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour," *Compos. Part B Eng.*, vol. 175, p. 107073, Oct. 2019.
- [110] R. K. Demircan, B. A. Tayeh, D. N. Celik, G. Kaplan, and D. E. Tobbala, "The effect of animal and synthetic fibers on the physico-mechanical durability and microstructure properties of natural hydraulic lime-based mortars," *Mater. Today Commun.*, vol. 35, p. 106041, Jun. 2023.

## 9 Curriculum Vitae

### OSOBNÍ ÚDAJE

Jméno a příjmení	Ing. Alžbeta Samková
Datum narození	2. 7. 1989
Adresa	S. K. Neumanna 434, Česká Třebová 560 02
Telefon	731604654
E-mail	alzbeta.samkova@tul.cz

### VZDĚLÁNÍ

<b>2014 - nyní</b>	<b>Technická univerzita v Liberci</b> , Fakulta textilní, Katedra materiálového inženýrství (prezenční doktorské studium).
<b>2012 - 2014</b>	<b>Technická univerzita v Liberci</b> , Fakulta textilní, Katedra materiálového inženýrství. Diplomová práce: Hodnocení komfortu materiálů automobilových sedaček v reálných podmínkách.
<b>2009 - 2012</b>	<b>Technická univerzita v Liberci</b> , Fakulta textilní, Katedra oděvnictví. Bakalářská práce: Tvorba animace konstrukčních postupů typových představitelů oděvů a prádla metodiky UNIKON+ v prostředí PDS Tailor.
<b>2005 - 2009</b>	<b>Střední odborná škola a Střední odborné učiliště</b> , Pardubice, Oděvnictví, maturita.

### PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

<b>2019 - nyní</b>	<b>Technická univerzita v Liberci</b> : Odborně technický pracovník na katedře materiálového inženýrství.
<b>2017 - 2023</b>	<b>Člen akademického senátu FT TUL</b> (1 místopředseda).

### STÁŽE

<b>2019</b>	<b>Chalmers University of Technology</b> , Division of Building Technology, 3 měsíční stáž, Göteborg, Švédsko.
<b>2018</b>	<b>Norwegian University of Science and Technology</b> : Department of Manufacturing and Civil Engineering, 3,5 měsíční stáž, Gjøvik, Norsko.

### ČINNOSTI V RÁMCI TUL

<b>2021, 2022, 2023</b>	Projektové dny pro žáky SŠ.
<b>2021</b>	Podpurný kurz matematiky v rámci projektu IRP, příprava a realizace večerního doučování pro studenty 1. ročníku bakalářského studia.

<b>2020, 2022, 2023</b>	Prezentace FT na veletrhu pomaturitního a celoživotního vzdělávání GAUDEAMUS.
<b>2017, 2018</b>	Pomoc při konání akce burza firem (menza).
<b>2017</b>	Prezentace FT na majálesu Liberec.
<b>2017</b>	Pomoc při organizování mezinárodní konference CEC.

#### ZNALOSTI A DOVEDNOSTI

<b>Jazyky:</b>	Angličtina – B2
<b>Laboratorní technika:</b>	Optická a elektronová mikroskopie, mechanické testy, základy diferenciální skenovací kalorimetrie, základy termogravimetrické analýzy
<b>Programy:</b>	MS Office, obrazová analýza (Image-J), Photoshop

## 10 Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti

Během svého působení na katedře jsem byla členem několika řešitelských týmů výzkumných projektů. Projekt *Pokročilé hybridní pásy pro výrobu kompozit přesným vynutím* (program na podporu aplikovaného výzkumu TAČR ZÉTA č. TJ01000929) byl zaměřen na přípravu pokročilých hybridních rozprostřených pásků z multifilů obsahujících speciální prekondenzované matrice pro výrobu kompozit. Projekt *Ochranné oděvy proti radiofrekvenčnímu elektromagnetickému záření s dostatečným komfortem a dalšími přidanými vlastnostmi* (program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací TAČR GAMA č. TG01010117) se zabýval přípravou, konstrukčním řešením a výrobou ochranných oděvů proti radiofrekvenčnímu elektromagnetickému záření s dostatečným komfortem a dalšími přidanými vlastnostmi.

Z hlediska studentských projektů vyhlášených FT TUL jsem vedla tři projekty SGS, v rámci kterých jsem se zabývala vlastnostmi omítkových kompozitů při použití různých druhů vlákenné výztuže a možností energetického využití geopolymerních/cementových materiálů s využitím textilních plniv. Byla jsem také součástí čtyřech výzkumných týmů SGS (Vývoj a testování 3D vlákenných útvarů pro tkáňové inženýrství, projekt č. 21306; Vliv plazmatických úprav uhlíkových plniv na vlastnosti epoxidových kompozitů, projekt č. 21308, Vývoj kompozitních tubulárních scaffoldů metodou bezjehlového elektrostatického zvlákňování, projekt č. 2021-6045, Vývoj a testování nanovlákenných materiálů jako nosičů buněk při elektrické simulaci, projekt č. 2022-60-50).

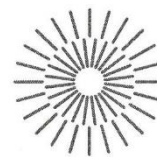
V rámci doktorského studia jsem vedla cvičení v předmětu „Textilní vlákna“, „Zkoušení textilií“ a „Technologické výpočty a zpracování dat“. Dále jsem vedla diplomovou práci na téma *Možnost využití čedičové vaty a krátkých vláken jako částečné náhrady cementu v kompozitech*.

Stáže jsem absolvovala na 2 zahraničních pracovištích. V roce 2018 jsem byla 3,5 měsíce na Norwegian University of Science and Technology pod vedením prof. Sotiriose Grammatikose. Věnovala jsem se testování absorpce dřevo-plastových kompozitů a výrobě a testování cementových vzorků vyztužených popílkem. V roce 2019 jsem absolvovala tří měsíční stáž na Chalmers University of Technology u prof. Lupinga Tanga, kde jsem se zabývala výrobou a testováním cementových vzorků vyztužených uhlíkovými vlákny a textilií. V rámci této stáže jsem zároveň připojila k výzkumu cementové baterie v Research Institutes of Sweden RISE.



# 11 Vyjádření školitelky doktorandky

FAKULTA TEXTILNÍ TUL



## HODNOCENÍ ŠKOLITELE

NÁZEV PRÁCE: Vlastnosti omítkových kompozitů s vláknennou výztuží

AUTORKA: Ing. Alžbeta Samková

Předložená disertační práce Ing. Alžbety Samkové se zabývá výzkumem vlivu vláknenné výztuže na výsledné vlastnosti omítkových kompozitů.

Rešeršní část disertační práce je zaměřena na omítky, které tvoří matici kompozitu a vlákna použitá v experimentu jako výztuž kompozitu. V této části jsou také stanoveny cíle disertační práce. Kapitola uzavírá část zaměřená na teorii testování vlastností omítkových kompozitů v následující experimentální části.

V experimentální části disertační práce jsou podrobně popsány materiály použité pro výrobu omítkových kompozitů s vláknennou výztuží. Jako matrice byly použity 4 druhy omítek a 3 druhy vláken (čedičová, skleněná a uhlíková), která byla použita v různých koncentracích (1, 2 a 3 %). Následně pak byl sledován vliv vláknenné příměsi na výsledné vlastnosti daného omítkového kompozitu. Navržené vzorky omítkových kompozitů doktorandka analyzovala z hlediska vlastností: mechanických, sorpčních, akustických a u kompozitů s uhlíkovými vlákny i schopnost stínění elektromagnetického záření. Experimentální část je uzavřena kapitolou zabývající stanovením užité hodnoty navržených omítkových kompozitů.

Přínosem práce je komplexnost hodnocení vlastností omítkových kompozitů, jsou zde hodnoceny i obvykle nesledované vlastnosti, které v budoucnu mohou získat na významu, nejen v běžném použití omítek, ale i při speciálním použití (např. při nutnosti odstínění od elektromagnetického záření nebo odhlučnění místností či celých budov).

Výzkumy uváděné v této práci zahrnovaly mezioborové propojení. Doktorandka dílčí výsledky hojně publikovala a prezentovala na mezinárodních konferencích (10 publikací). Doktorandka přistupovala k řešení disertační práce s invencí. Podílela se i na řešení dalších projektů na katedře materiálového inženýrství.

V rámci doktorského studia doktorandka absolvovala dvě odborné mezinárodní stáže: 2019 - Chalmers University of Technology, Division of Building Technology, 3 měsíční stáž, Göteborg, Švédsko; 2018 - Norwegian University of Science and Technology: Department of Manufacturing and Civil Engineering, 3,5 měsíční stáž, Gjøvik, Norsko. Pravidelně aktivně prezentuje FT na veletrhu vzdělávání Gaudeamus. Výsledky výzkumu prezentuje na mezinárodních konferencích. Plní si své povinnosti na katedře a při výuce odborných předmětů.

Kontrola plagiátorství proběhla 14.7.2023 a nebyla nalezena relevantní podobnost s jinou literaturou. Nejvyšší nalezená míra podobnosti byla 3%. Z hlediska obsahu, grafické úpravy a použitých literárních odkazů práce splňuje požadavky kladené na disertační práci.

Předloženou disertační práci DOPORUČUJI k obhajobě

Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.

V Liberci 14.7.2023

## 12 Oponentské posudky disertační práce

### Posudek disertační práce

**Autor práce:** Ing. Alžběta Samková  
**Název práce:** Vlastnosti omítkových kompozitů s vláknennou výztuží  
**Studijní obor:** P3106 Textilní inženýrství

**Oponent:** prof. Ing. Zbyšek Pavlík, Ph.D.  
Katedra materiálového inženýrství a chemie, Fakulta stavební, ČVUT  
v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, pavlikz@fsv.cvut.cz

#### Aktuálnost tématu disertační práce

Využití vláknové výztuže při cílené modifikaci stavebních materiálů, v tomto případě komerčně vyráběných omítkových směsí, je vysoce aktuální téma výzkumu alternativních stavebních materiálů.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

#### Splnění cílů disertační práce

Cíle práce jsou podrobně formulovány na str. 12. Hlavní cíle práce byly formulovány takto: a) analýza vlivu vláknové výztuže na mechanické vlastnosti omítek, b) analýza transportu vlhkosti (kapalné a plynné) ve studovaných omítkách, c) měření akustické pohltivosti, d) studium schopnosti stínit elektromagnetické pole. Na základě představeného výzkumu je možné konstatovat, že cíle práce byly splněny.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

#### Postup řešení problému – metody zpracování

Zvolené metody zpracování, rozsah realizovaných experimentů a jejich vyhodnocení jsou v souladu s použitými normovými postupy a běžnou laboratorní praxí. V rámci řešení disertační práce doktorandka aplikovala širokou škálu laboratorních metod. V rámci obhajoby práce by bylo dobré uvést, zda všechny prezentované experimenty realizovala doktorandka osobně. Je např. uvedeno, že měření transportních parametrů vodní páry bylo provedeno na Kloknerově ústavu, ČVUT v Praze.

Metody řešení by bylo vhodné doplnit o analýzu strukturních vlastností omítek, např. pomocí MIP, SEM, OM, atd. V práci postrádám analýzu vlivu použití vláknové výztuže na porézní strukturu omítek, např. ve vazbě na jejich trvanlivostní charakteristiky. Vyzdvihují naopak studium akustické pohltivosti a stínění elektromagnetického záření, které se běžně u omítek neprovádí.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input checked="" type="checkbox"/> nadprůměrné	<input type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	---	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

### Význam disertační práce pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

Téma práce a dosažené výsledky jsou potenciálně aplikovatelné jak v navazujícím, aplikovaném výzkumu, tak přímo v praxi, při výrobě suchých maltových směsí.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrné	<input checked="" type="checkbox"/> průměrné	<input type="checkbox"/> podprůměrné	<input type="checkbox"/> slabé
-------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------

### Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Jazyková a formální úroveň práce je standardní a odpovídá řešené problematice.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrná	<input checked="" type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------

### Hodnocení publikační a jiné činnosti doktoranda

V databázi WoS má doktorandka 11 článků, z toho 7 článků bylo publikováno v časopisech a 4 ve sbornících konferencí. Celkem má doktorandka v databázi WoS 42 citací, s h-indexem 4.

Z hlediska zahraničního ohlasu je publikační činnost doktorandky průměrná, s ohledem na řešenou problematiku, je možné ji klasifikovat jako postačující.

Hodnocení:

<input type="checkbox"/> vynikající	<input type="checkbox"/> nadprůměrná	<input checked="" type="checkbox"/> průměrná	<input type="checkbox"/> podprůměrná	<input type="checkbox"/> slabá
-------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------

### Poznámky a připomínky k textu práce

Téma práce je zajímavé a potenciálně spjaté s praxí. Metody a způsob řešení práce byly zvoleny vhodně a rutině aplikovány pro dosažení cílů práce. V práci postrádám zejména analýzu struktury omítek ve vazbě na použité typy vláknové výtzuže. Jelikož se doktorandka zabývala studiem vlhkostních vlastností, bylo by dobré realizovat také měření akumulčních parametrů vlhkosti, tj. sorpčních izoterem a retenčních křivek.

V rámci obhajoby práce by bylo vhodné zodpovědět následující dotazy.

- i) Str. 37 – měření difúzních parametrů bylo realizováno při spádu RH 0/98%. Jak bylo docíleno hodnoty 0% RH? Proč nebylo realizováno měření při spádu RH 50/98 %, které se běžně provádí?
- ii) Str. 36 – doktorandka zmiňuje pojem kapilární kondenzace. Bylo by dobré tento pojem vysvětlit a popsat mechanismy akumulace plynné vlhkosti v porézním prostoru.
- iii) Str. 62-80 – jsou prezentovány křivky nasákavosti získané v rámci vertikálního 1-D experimentu. Nebylo by vhodnější z těchto křivek stanovit vlhkostní absorpční koeficient či přímo hodnotu vlhkostní vodivosti? Studované materiály by pak bylo snadnější porovnat.

## Závěr

Uchazečka zpracováním disertační práce prokázala způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci ve smyslu § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a změnách a doplnění dalších zákonů.

Doporučuji, aby disertační práce **byla** přijata k obhajobě a aby v případě jejího úspěšného obhájení byl

Ing. Alžbětě Samkové

udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce „Ph.D.“ uváděné za jménem).

Datum: 23.10.2023

Podpis oponenta práce: .....



## OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

<b>Název:</b>	<b>Vlastnosti omítkových kompozitů s vláknennou výztuží</b>
<b>Doktorandka:</b>	<b>Ing. Alžběta Samková</b>
<b>Školitelka:</b>	<b>Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.</b> TUL, Fakulta textilní, katedra materiálového inženýrství
<b>Studijní program:</b>	P3106 Textilní inženýrství
<b>Studijní obor:</b>	Textilní technika a materiálové inženýrství
<b>Oponent:</b>	Ing. Luboš Běhálek, Ph.D. TUL, Fakulta strojní, katedra strojírenské technologie

Disertační práce Ing. Alžběty Samkové se zabývá vývojem omítkových kompozitů s krátko-vláknennou výztuží na bázi čedičových, skleněných a uhlíkových vláken a studiem jejich užitečných vlastností odpovídající jejich aplikačnímu potenciálu. Hlavním cílem je analýza vlivu vláknenné výztuže na mechanické vlastnosti, sorpci vlhkosti (transport kapalné vody a vodní páry), akustickou pohltivost a elektromagnetické stínění omítkových kompozitů s vápennou, cementovou, vápenocementovou a sádrovou omítkou. Dílčími cíli bylo porovnání užitečných vlastností krátko-vláknenných kompozitů s běžně používanými kompozity s čedičovou a skleněnou perlínkovou tkaninou.

Práce je rozdělena do pěti kapitol. V **kapitole 1** seznamuje doktorandka čtenáře s předmětem a cíli disertační práce a s přehledem současného stavu. V uvedeném přehledu je odkazováno na výzkumné studie, z nichž jsou uváděny obecné poznatky a závěry. Osobně bych uvítal detailnější přehled získaných rešeršních poznatků i konstatování, zda se studovanou problematikou krátko-vláknových omítkových kompozitů zabývaly i jiné výzkumné práce a případně s jakými závěry. **Kapitola 2** je věnována charakteristice, výrobě a vlastnostem čedičových, skleněných a uhlíkových vláken, dále charakteristice, výrobě a vlastnostem vzdušného a hydraulického pojiva, testování vlastností omítkových kompozitů a způsobu stanovení indexu kvality. K této kapitole mám následující formální připomínky:

- *pro hustotu materiálu je v textu nevhodně používáno různé označení včetně jednotek: měrná hmotnost (viz fyzikální symboly), hustota (např. str. 15, 21, 39) nebo specifická hmotnost (str. 46),*
- *rovněž používání různých symbolů pro značení vzdálenosti válcových podpěr ( $L_p$ ) a ( $l_p$ ) není vhodné,*
- *domnívám se, že při popisu způsobu stanovení rázové houževnatosti je chybně odkazováno na předpis ČSN EN ISO 179-2, který specifikuje metodu pro stanovení rázových vlastností Charpy ze záznamu závislosti síla-průhyb, zatímco v disertační práci byla tato stanovena z korigované energie spotřebované při přeražení zkušebního tělesa a jeho tloušťky a šířky.*

**Kapitola 3** se zabývá popisem experimentální studie, charakteristikou použitých omítek (pojiva) a vláknenné výztuže, stanovením délky a množství vláken, přípravou vzorků, stanovením mechanických vlastností, sorpce kapalné vody a vodní páry, akustické pohltivosti,



účinnosti elektromagnetickému stínění a indexu kvality. Oceňuji, že výsledky užitečných vlastností jsou znázorněny nejen komplexně, ale že jsou zobrazeny také samostatně z pohledu vlivu pojiva (matrice), typu vláknenné výztuže a jejího množství. Bohužel tato kapitola je zatížena celou řadou formálních chyb menšího nebo většího významu. Mezi doporučení a připomínky, formou zpětné vazby, uvádím:

- *pro vlastnosti omítek a výztuže uvedených v tab. 2 až tab. 11 chybí citační zdroj, který by objasnil typ (obchodní označení) pojiva,*
- *jednotky pevnosti jsou v uvedených tabulkách nevhodně vyjadřovány různými způsoby (jednou v MPa, podruhé jako N·mm<sup>-2</sup>),*
- *jednotka tepelné vodivosti uvedená u pojiv je chybná,*
- *vlivem překladu je výraz „vlákno“ v textu zbytečně nahrazován označením „filament“, ponechal bych jednotné označování v celé práci – vlákno,*
- *pro stanovení kritické délky vláken (viz str. 48) postrádám záznamy vlastností, které jsou potřebné pro její stanovení,*
- *v textu by bylo vhodné popsat postup přípravy vzorků (míchání, dávkování apod.),*
- *při popisu stanovení pevnostních charakteristik postrádám zkušební rychlost, popřípadě rychlost, kterou byla v průběhu zkoušky zvyšována deformace,*
- *způsob rozdělení obrázků od jejich popisu nepovažuji za šťastný,*
- *údaje na obr. 19c neodpovídají záznamu hodnot uvedených v tab. 16 a na obr. 20*
- *diskuse na str. 54, kdy je uváděno, že u vzorku V-C1u se pevnost v tahu za ohybu zvýšila o 153 % neodpovídá skutečnosti,*
- *označení pevnosti v tahu za ohybu (viz obr. 19 a obr. 20) by mělo být dle zavedené symboliky ( $R_t$ ), viz seznam použitých zkratk a symbolů a dále viz str. 33 a str. 34, rovněž označení pevnosti v tlaku ( $R_c$ ), viz obr. 22 a obr. 23 (namísto  $R_m$ ),*
- *na str. 62 jsou pro vzorky V1b, V2b a V3b uváděny jiné přírůstky hmotnosti, než byly naměřeny (viz tab. 19),*
- *také u kompozitů s cementovým pojivem a čedičovými nebo skleněnými vlákny neodpovídají hodnoty hmotnostních přírůstků v tab. 19 hodnotám na obr. 30a a obr. 30b,*
- *další rozpor v měřených hodnotách byl zaznamenán u difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťky sádrových kompozitů (viz tab. 20 a obr. 3.8 a dále tab. 21 a obr. 39),*
- *v textu se zaměňují pojmy tloušťka, výška, délka vzorku (viz str. 37 a str. 80),*
- *na str. 100 a str. 110 je odkazováno chybně na kap. 8 a kap. 9, které v práci nejsou,*
- *na obr. 58 je pro složky elektromagnetického stínění používána jiná symbolika, než byla zavedena v úvodu práce, místo symbolů ( $SE_R$ ) a ( $SE_A$ ) se uvádí ( $R$ ) a ( $A$ ).*

Jednotlivé výsledky a dílčí závěry jsou zhodnoceny v **kapitole 4**. Zde bych považoval za vhodné, aby výsledky byly diskutovány s poznatky publikovanými v odborných pracích zabývajících se tematikou krátko-vláknových omítkových kompozitů, které doktorandka zmiňuje např. v závěrečné kapitole 5. K závěrům, které doktorandka uvádí nemám žádných závažných připomínek. Zhodnocení a závěr jsou provedeny přehledně a srozumitelně s jednoznačným přínosem v oblasti výzkumu krátko-vláknových omítkových kompozitů.



Zhodnocení disertační práce dle Studijního a zkušebního řádu Technické univerzity v Liberci:

### **1. Zhodnocení významu disertační práce pro obor**

Téma disertační práce je vysoce aktuální, o čemž svědčí také citované odborné studie v disertační práci. Řešená problematika je mezioborová, propojuje znalosti z textilního a stavebního oboru. Doktorandka provedla řadu experimentů, které hodnotí vliv čedičové, skelné a uhlíkové krátko-vláknové výztuže na aplikační vlastnosti omítkových kompozitů na bázi vápenného, cementového, vápenocementového a sádrového pojiva a dosažené výsledky jsou využitelné pro další rozvoj oboru i pro použití v aplikační sféře (zejména v oblasti akustických vlastností a elektromagnetického stínění omítek).

### **2. Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle**

Návrh postupu řešení výzkumného úkolu má logickou stavbu a v průběhu jeho popisu jsem nezaznamenal závažných nedostatků. Formální nepřesnosti jsem uvedl výše. Zvolené metodiky práce odpovídají standardnímu postupu při řešení výzkumných prací, experimentální metody byly použity v souladu s mezinárodními standardy a výtčených cílů disertační práce (viz str. 12) bylo dosaženo nadprůměrně.

### **3. Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního přínosu autorky disertační práce**

Výsledky měřených užitečných vlastností kompozitních struktur jsou přehledně dokumentovány v tabulkách a grafech, které jsou doplněny slovním hodnocením a z dílčích hledisek, které zohledňují typ pojiva, typ plniva a jeho množství, také vhodně diskutovány. Kladně hodnotím zhodnocení celkového výkonu omítkových kompozitů pomocí indexu kvality, z něhož vyplývá pro použité výztuže výhodnost cementového pojiva.

Při grafickém vyjadřování výsledků se bohužel doktorandka nevyhnula chybám, které v dílčích částech vedou k nesouladu s tabulkovými hodnotami. V diskusi výsledků by bylo vhodné získané poznatky také více diskutovat se závěry obdobných výzkumných studií. I přes tyto uvedené připomínky konstatuji, že z výsledků práce je zřejmé, že autorka úspěšně realizovala navržené experimenty a prokázala schopnost vědecké práce. Vlastní přínosy doktorandky jsou součástí závěrečného shrnutí výsledků experimentální studie. Chtěl bych pozitivně vyzdvihnout skutečnost, že doktorandka se věnovala i oblastem ne zcela obvyklým pro hodnocení vlastností omítek, kterými jsou změny akustické pohltivosti vlivem přidaného vláknového plniva a účinnost stínění elektromagnetickému poli.

### **4. Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální a jazykové úrovni disertační práce**

Disertační práce je členěna odpovídajícím způsobem. Rešeršní část shrnuje podstatné a známé aspekty ovlivňující užité vlastnosti omítkových kompozitních struktur, popisuje charakteristiku, výrobu a vlastnosti pojiv i vyztužujících vláken. Způsob řešení navrženého experimentálního výzkumu a jeho popis jsou srozumitelné, získané výsledky jsou v některých případech objasněny s bližším rozбором problému. Práce je doplněna rozsáhlým přehledem použité literatury, autorka použila celkem 137 literárních zdrojů. Formální i jazyková úroveň práce je na dobré úrovni, přesto se autorka nevyhnula pravopisným chybám a překlepům, jejichž četnost je však malá.



## 5. Vyjádření k publikační činnosti doktorandky

K řešené problematice je na str. 128 doplněn přehled vlastních publikací doktorandky: 8 příspěvků ve sborníku z toho 4 v databázi Scopus nebo Web of Science a 2 recenzované odborné články v odborném periodiku *Advances in Materials Science and Engineering* s IF: 1,399 (Q4) a 12 citačními ohlasy. Doktorandka prokázala, že její studium bylo integrální součástí její vědecké činnosti.

## 6. Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje nebo nedoporučuje disertační práci k obhajobě

Předložená disertační práce a její téma je vysoce aktuální a má přínos praktický i teoretický. Disertační práce i přes uvedené připomínky, které jsou převážně formálního charakteru, prokazuje, že autorka ovládá příslušné vědecké metody, je schopna vyhodnotit výsledky navržených experimentů, v dílčích oblastech přináší nové poznatky v oboru a umí je odpovídajícím způsobem publikovat. Na základě výše uvedených skutečností **doporučuji práci Ing. Alžbety Samkové k obhajobě**, a po jejím úspěšném ukončení udělení vědecko-akademické hodnosti „doktor“ a titulu Ph.D.

### Dotazy k obhajobě:

- a) V disertační práci na str. 52 uvádíte, že při použití vyššího obsahu vláken dochází k jejich horšímu propojení s matricí. Bylo toto ověřeno mikroskopicky nebo se jedná o vlastní hypotézu?
- b) Čím si vysvětlujete pokles sorpce kapalné vody u vápenocementové kompozitní struktury s 1 % skelné výztuže, zatímco u vápenného, cementového, ale i sádrového pojiva dochází při 1 % skelné výztuže k jejímu nárůstu?
- c) Mohla byste objasnit detailněji přípravu kompozitních struktur a způsob stanovení kritické i konečné délky vláken (nejlépe na konkrétním příkladě, který by doplnil popis na str. 48 a na str. 49)?
- d) Na str. 102 dokládáte špatnou distribuci uhlíkových vláken ve vápenocementové omítce. Bylo by možné nějakým způsobem tuto distribuci zlepšit?
- e) Bylo by možné porovnat elektromagnetické stínící schopnosti vyvinutých kompozitních struktur s obdobnými strukturami uvedenými v odborné literatuře nebo komerčně dostupnými?

V Liberci, 26. února 2024

Luboš  
Běhálek

Digitálně  
podepsal Luboš  
Běhálek  
Datum: 2024.02.26  
09:29:43 +01'00'

Ing. Luboš Běhálek, Ph.D.