



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM ODOLNOSTI POVRCHOVÝCH ÚPRAV ETICS VŮČI BIOTICKÉMU NAPADENÍ

STUDY OF THE ETICS SURFACE RESISTANCE TO BIOTIC ATTACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adéla Těžká

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Adéla Těžká
Název	Studium odolnosti povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení
Vedoucí práce	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

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

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

PODKLADY A LITERATURA

D'Orazio et al. Effects of water absorption and surface roughness on the bioreceptivity of ETICS compared to clay bricks, *Engineering Failure Analysis* 90 (2018), p. 103–115.

Barreira E. et Vasco P. de Freitas Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS), *Building and Environment* 63 (2013), p. 31–39.

Johansson, S. et al. Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative, humidity and surface temperature measurements, *Building and Environment* 45 (2010), p. 1153–1160.

Amaro, B. et al. Inspection and diagnosis system of ETICS on walls, *Construction and Building Materials* 47 (2013), p. 1257–1267.

Související technické normy a další odborná literatura.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Biotické napadení fasád objektů zateplených technologií ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) patří mezi aktuálně řešené problémy ve stavební praxi. Výrobci materiálů pro povrchové úpravy ETICS používají biocidní přípravky, zejména fungicidní a algicidní, ovšem jejich koncentrace jsou s ohledem na ochranu životního prostředí stále více omezovány a navíc se jedná o prostředky s časově omezenou účinností. Protože v současnosti neexistuje vhodný normový postup, kterým by bylo možné testovat odolnost povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení, bude tato diplomová práce zaměřena právě na tuto problematiku. Diplomová práce bude řešena ve spolupráci s firmou DEK a.s. V diplomové práci proveďte:

1. Za použití tuzemské a zahraniční odborné literatury zpracujte rešerši zaměřenou na biotické napadení fasád objektů zateplených pomocí ETICS, pozornost věnujte jednotlivým typům běžně používaných povrchových úprav ETICS.
2. Na základě získaných informací proveďte optimalizaci metodiky testování odolnosti povrchové úpravy ETICS vůči biotickému napadení navržené v roce 2018 v rámci BP.
3. Navrženou metodiku prakticky ověřte na vybraných standardně používaných povrchových úpravách a proveďte vyhodnocení odolnosti testovaných povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení.
4. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků a formulujte doporučení týkající se vhodnosti použití navržené metodiky ve stavební praxi.

Rozsah práce 60–80 stran.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá studiem odolnosti povrchovým úprav ETICS vůči biotickému napadení. Teoretická část vypracovává rešerši zaměřenou na biotické napadení fasád objektů zateplených pomocí kontaktního zateplovacího systémů ETICS. Na základě získaných informací při vypracování bakalářské práce a dalšího studia je zpracována optimalizace metodiky testování odolnosti povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení navržené v roce 2018. V rámci praktické části je navržená metodika ověřena, vyhodnocena a jsou v ní provedena doporučení týkající se vhodnosti použití navržené metodiky ve stavební praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

ETICS, biotické napadení, napadení fasád, plísně, řasy, povrchová úprava, omítka, fasáda, odolnost ETICS

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the study of resistance of ETICS surface treatments to biotic attack. The theoretical part elaborates a research focused on biotic attack of facades of buildings insulated by contact insulation systems ETICS. Based on the information obtained during the elaboration of the bachelor thesis and further study, the optimization methodology of ETICS surface treatment resistance to biotic attack proposed in 2018 is elaborated. In the practical part, the proposed methodology is verified, evaluated and recommendations concerning the suitability of using the proposed methodology in construction practice are implemented.

KEYWORDS

ETICS, biotic attack, attack of facades, molds, algae, surface treatment, plaster, facade, resistance ETICS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Adéla Těžká *Studium odolnosti povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení*. Brno, 2020. 103 s., 26 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 01. 2020

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala doc. Ing. Nikol Žižkové, Ph.D. za odborné vedení nad mojí diplomovou prací, věcné připomínky, čas a vstřícnost při konzultacích. Dále mé poděkování patří Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. a firmě DEK a.s. za poskytnuté materiály a spolupráci při zpracování praktické části této diplomové práce. Za odborný dozor a pomoc při práci v laboratoři výzkumného centra AdMaS bych chtěla poděkovat také Ing. Šárce Keprdové, Ph.D. Za korekci této diplomové práce, cenné rady a vědomosti získané během mého celého studia bych v neposlední řadě ráda poděkovala RNDr. Antonínu Těžkému, CSc.

Tato práce byla realizována za pomoci Technické univerzity v Liberci a výzkumnými infrastrukturami NanoEnviCz (projekt č. LM2015073) podporovanou Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Obsah

Úvod.....	12
Cíl práce	13
I. Teoretická část.....	13
1 Kontaktní zateplovací systém ETICS	13
1.1 Jednotlivé složky ETICS.....	16
1.2 Zákonné ověřování ETICS.....	17
1.3 Klasifikace nežádoucích odchylek (anomálií) v ETICS	17
1.3.1 Poškození materiálů	18
1.3.2 Vady barevnosti a estetiky	18
1.3.3 Vady a poruchy plochosti.....	19
1.4 Klasifikace nejpravděpodobnějších příčin vad a poruch v ETICS	19
1.5 Diagnostické metody pro ETICS	19
1.6 Možnosti (způsoby) opravy poškozených ETICS.....	20
2 Biotické napadení staveb.....	21
2.1 Biotické napadení zateplených budov.....	22
2.2 Mikroorganismy způsobující biotické napadení	23
2.2.1 Houby – plísně	24
2.2.2 Řasy.....	25
2.2.3 Mechy.....	26
2.2.4 Lišejníky.....	26
2.3 Biodeteriorace zateplovacích systémů ETICS	27
2.4 Fyzikální a technické faktory podporující tvorbu biotického napadení.....	28
2.5 Problém biotického napadení fasád.....	31
2.6 Indexy růstu mikrobiotického napadení.....	32
2.6.1 Index č. 1	33
2.6.2 Index č. 2.....	33
2.6.3 Index č. 3	34
3 Fasádní omítky	34

3.1	Rozdělení fasádních omítek	35
3.2	Podmínky vnějšího prostředí.....	38
3.3	Barevný vzhled.....	38
3.4	Odolnost omítek vůči krajním teplotním a vlhkostním vlivům	38
3.5	Difuzní parametry	39
3.6	Mechanismus biotického napadení fasád.....	40
4	Ochranné přípravky proti biotickému napadení.....	41
4.1	Fungicidní přípravky.....	41
4.2	Algicidní přípravky	42
4.3	Preventivní ochrana před napadením	42
4.4	Obnova ochrany omítky před biologickým napadením	43
5	Metodika stanovení rizika napadení fasád s ETICS mikroorganismy	43
5.1	Hodnocení výskytu mikroorganismů	44
5.1.1	Pracovní pomůcky potřebné k odebrání granulátu.....	44
5.1.2	Vlastní odběr granulátu	44
5.1.3	Matečná kultura z granulátu.....	45
5.1.4	Hodnocení výskytu mikroorganismů na vnějších fasádách	45
5.2	Uplatnění metodiky.....	46
II.	Praktická část	48
6	Optimalizace metodiky navržené v rámci bakalářské práce	48
7	Metodika zkoušení odolnosti ETICS vůči biotickému napadení	48
8	Příprava	50
8.1	Výroba vzorků.....	50
8.1.1	Zajištění optimálních laboratorních podmínek	51
8.1.2	Referenční vzorky	54
8.1.3	Práce v exteriér.....	55
8.1.4	Popis jednotlivých druhů omítek	59
8.2	Příprava mikrokultur	63
8.2.1	Příprava suspenze plísní	63

8.2.2	Příprava suspenze řas	65
9	Aplikace – kontaminace vzorků biotickým materiálem.....	66
10	Nastavení podmínek pro provedení zkoušek	68
10.1	Optimální laboratorní podmínky	68
10.2	Práce v exteriéru.....	69
10.2.1	Světové strany	69
10.2.2	Klimatické podmínky.....	69
10.3	Doba trvání zkoušky	71
10.3.1	Optimální laboratorní podmínky.....	71
10.3.2	Práce v exteriéru.....	71
11	Průběžné sledování.....	72
12	Zneškodnění kontaminovaných vzorků	76
13	Závěrečné vyhodnocení po ukončení testování	76
13.1	Vyhodnocení vzorků v optimálních laboratorních podmínkách	79
13.2	Vyhodnocení vzorků testovaných v exteriéru.....	94
	Závěr	95
	Seznam podkladů	97
	Seznam použitých zdrojů	97
	Seznam zkratk	100
	Seznam norem	101
	Řídící pokyny	101
	Seznam tabulek	101
	Seznam obrázků	102
	Seznam příloh.....	103

Úvod

Tepelněizolační kompozitní systémy známé v Evropě jako ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) a v USA jako EIFS (External Insulation and Finishing Systems) sestávají ze sady překrývajících se vrstev aplikovaných na vnější stěny budovy. Obecně se systém skládá dle technických požadavků ČSN 73 2901 na provádění zhotovitelem vnějších tepelněizolačních kompozitních systémů s tepelněizolačním výrobkem z pěnového polystyrenu (EPS) nebo z minerální vlny (MW), s konečnou povrchovou úpravou nebo omítkou a nátěrem, při plošné hmotnosti vrstev vně tepelněizolačního výrobku do 20 kg/m², spojovaných s podkladem pomocí lepicí hmoty nebo lepicí hmoty a hmoždinek, dodávaných výrobcem jako ucelený systém/sestava určená pro použití jak na nové, tak na stávající stěny a podhledy vystavené působení atmosférických vlivů. [1]

V posledním desetiletí se aplikace ETICS stala populárním opatřením ke zlepšení energetické náročnosti a odolnosti fasád vůči povětrnostním vlivům. Evropský průmysl ETICS je předním odvětvím pro externí kompozitní systémy tepelné izolace na světě. Prodej v roce 2011 činil přibližně 163 milionu m² s přibližně 3,3 miliardy EUR (cena materiálu). V současné době již bylo nainstalováno v celé Evropě 2 miliardy m² ETICS. [2]

Se zvyšující se produkcí dochází také díky zvýšené vlhkosti na povrchu ETICS k výskytu mikroorganismů, a to především plísní a řas, později i mechů a kombinace těchto organismů – lišejníků. Z vnějších napadených fasád se do ovzduší uvolňuje velké množství spor, které se mohou dostat do vnitřních prostorů bytů. Vzhledem k tomu, že plísně rostoucí na fasádách patří většinou k nejčastějším alergenům, je pobyt v takovém prostředí velkou zátěží pro osoby se sníženou imunitou. Problém proto není pouze estetickou záležitostí a je důležité mu věnovat náležitou pozornost.

Fasády orientované na sever, vyskytující se v blízkosti stromů a keřů, které obsahují spóry plísní, řas a zárodky mikroorganismů a zdroje zvýšené vlhkosti v podobě vodní ploch a toků, jsou nejvíce ohroženy. Biotické napadení na zateplovacích systémech začne projevovat známky přítomnosti již po pár letech užívání, řádově mezi 5 až 10 lety užívání.

Cíl práce

Cílem této diplomové práce je vypracovat rešerši zaměřenou na biotické napadení fasád objektů zateplených pomocí kontaktního zateplovacího systému ETICS. Na základě získaných informací provést optimalizaci metodiky testování odolnosti povrchové úpravy ETICS vůči biotickému napadení navržené v roce 2018 v rámci bakalářské práce. Navrženou metodiku prakticky ověřit na vybraných standardně používaných povrchových úpravách, provést vyhodnocení odolnosti testovaných povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení, zhodnotit dosažené výsledky a formulovat doporučení týkající se vhodnosti použití navržené metodiky ve stavební praxi.

I. Teoretická část

1 Kontaktní zateplovací systém ETICS

Podle studie z roku 2008 [3] o relativní oblasti aplikace ETICS v různých zemích byla tato technika vyvinutá ve 40. letech 20. století ve Švédsku. Oproti zbytku Evropy je např. v Portugalsku stále méně rozšířená, představuje zde pouze 1 % trhu. V důsledku debaty o tepelné účinnosti fasád vyvolané Kodexem charakteristik tepelného chování budov z roku 1990 (RCCTE), který podporuje plnění požadavků uživatelů budov a současně zaručuje nižší spotřebu energie, se používání tohoto typu zateplení rozšiřuje v roce 2005 také v Portugalsku. Statistiky ukazují, že používání systému ETICS v Portugalsku se v roce 2010 rozrostlo z přibližně 200 000 m², použité plochy do roku 2006, na přibližně 2,4 milionu m² v roce 2010.

V současné době na evropské úrovni stanoví směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov, která je základem portugalského RCCTE, povinné schvalování označení CE stavebních materiálů pro nové budovy i pro sanace. Příručka pro schvalování tohoto typu systému je ETAG 004, vydaná v roce 2000 EOTA (Evropská organizace pro technická schválení), která definuje dobré pracovní podmínky systému. Ve Francii byly publikace Règles professionnelles d'entretien et de rénovation des ETICS v roce 2010 zveřejněny po schválení agenturou Agence de la Qualité de Construction, což podpořilo vizuální hodnocení ETICS. V USA bylo zjištěno, že první aplikace ETICS se ukázaly jako problematické, a to kvůli snadnějšímu pronikání vody. Hlavní problém vyplynul z rozdílu

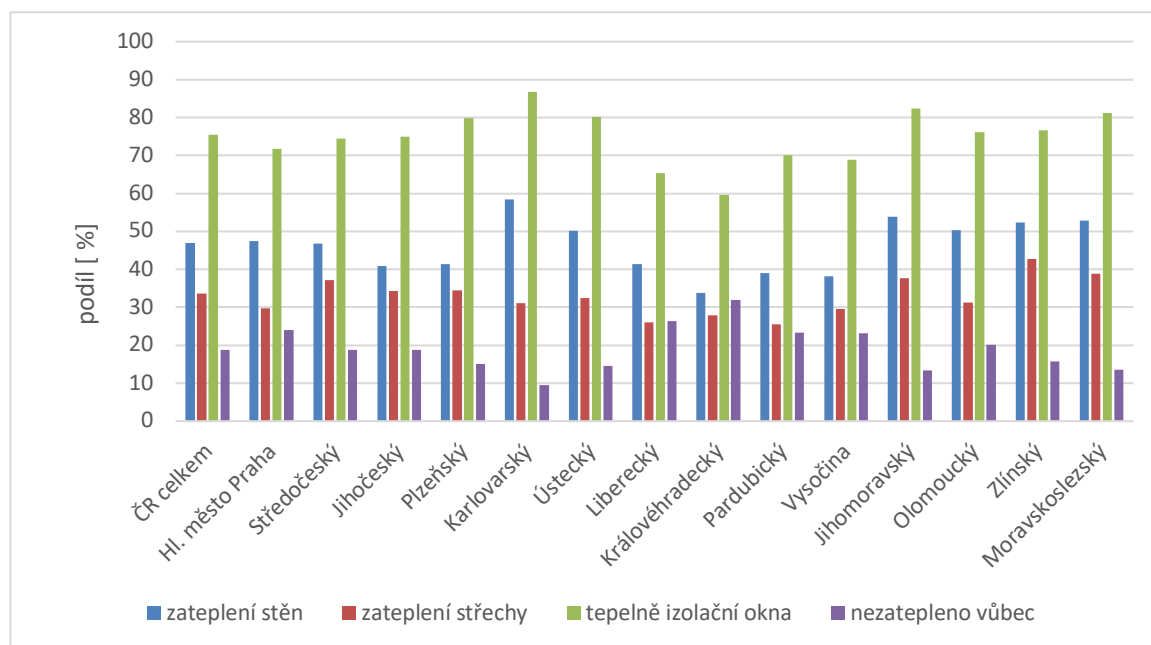
podkladu mezi evropskými budovami (zdivo a beton) a americkými (sádkartón, překližka, deska s orientovaným vláknem nebo dřevovláknitá deska).

V reakci na rostoucí potřebu udržovat a opravovat vnější tepelnou izolaci, byl vyvinut systém složený z několika nástrojů použitelných pro kontrolu, diagnostiku, opravu ETICS a pro jejich vzájemné zjednodušení. Tento systém se vztahuje na původní evropskou ETICS, ale bere v úvahu nedávná šetření americké společnosti pro zkušební materiály (ASTM), která zveřejnila Speciální technické publikace (STP) „EIFS: Materiály, vlastnosti a performance“. Kromě zmíněných dokumentů existují různé evropské studie týkající se typu vad a poruch, které mohou nastat v ETICS, jakož i diagnostických a opravných technik. [3]

Historie ETICS ve Střední Evropě sahá do 60. let, kdy se Německo začalo zabývat problematikou dodatečného zateplení budov, postavených koncem druhé světové války. První systém ETICS byl vyroben v Berlíně v roce 1957. Zpočátku byly tyto izolační systémy aplikovány pouze pomocí desek z tvrdé pěny z polystyrenu a syntetických pryskyřic. Později byly také použity minerální systémy. Německo není jedinou zemí, která začala v 60. letech využívat ETICS pro své zateplování. Své průkopníky si ETICS našel také v Rakousku a Švýcarsku. Již v 70. letech 20. století byla pobočka Holzkirchenu Ústavu fyziky staveb Fraunhofer IBP (Institute for Building Physics) několikrát pověřena zkoumáním dokončených budov za účelem stanovení spolehlivosti těchto systémů v praktických podmínkách (výsledky vyšetřování trvanlivosti systémů ETICS byly zveřejněny ve zprávách IBP). Pravidelně monitorují stárnutí různých projektů a přesně dokumentují svá zjištění. Poslední studie a poslední zprávy zdůrazňují, že i po více než 40 letech všechny kontrolované fasády nevykazují žádné známky selhání. Životní cyklus kompozitních systémů vnější tepelné izolace se tedy jeví mnohem delší, než se očekávalo. [4]

Od začátku šedesátých let bylo na izolaci budov v Německu použito více než 500 milionů m² externích tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS). ETICS je od roku 1988 zahrnut v evropské směrnici ETAG 004, pro schvalování vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů. V roce 2010 se vyprodukovalo 150 milionů m² kontaktně zateplených vnějších zdí systémem ETICS, z tohoto čísla šlo zhruba 10 % k provedení do České republiky. [5] V České republice se za pomoci kontaktních zateplovacích systémů izoluje od roku 1993. Následně se ETICS rozšířil po celé České i Slovenské republice a je běžnou

součástí stavebního průmyslu. Současná produkce tepelných izolantů činí za rok přibližně 16 milionů m², čímž se Česká republika dostala do popředí produkce na obyvatele v Evropě. Slovenská republika spotřebuje přibližně 2,5 milionu m² izolačních materiálů ročně. Na obrázku č. 1 lze vidět % podíl jednotlivých zateplení podle krajů v České republice.



Obrázek 1 - Ukazatel jednotlivých zateplení podle krajů ČR [6]

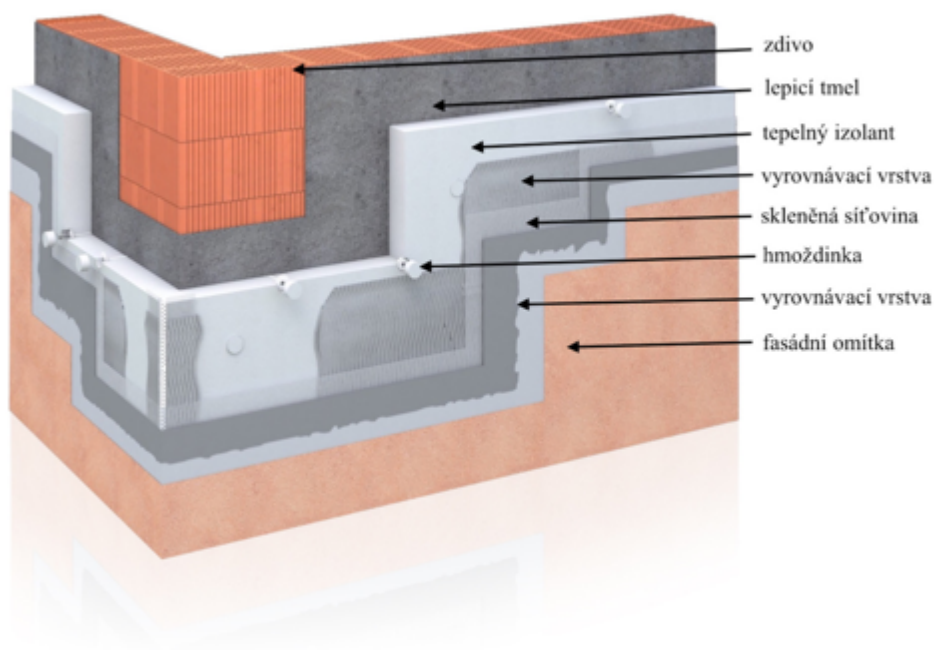
Cech pro zateplování budov České republiky vstoupil na podzim roku 2019 do přípravy evropské normy pro ETICS společně s Evropskou asociací pro vnější tepelné izolační kompozitní systémy (EAE) a stávají se tak partnery pro udržitelnou výstavbu a renovaci v Evropě. Od svého založení v roce 2008 Evropská asociace pro vnější tepelné izolační kompozitní systémy (EAE) usiluje o „kulturu udržitelnosti“ ve stavebnictví. Mezi členy EAE patří 12 národních asociací ETICS, šest hlavních evropských asociací dodavatelských materiálů a devět podpůrných členů, mezi které patří výrobci ETICS a výzkumné ústavy. EAE představuje asi 80 % evropských příjmů z ETICS. Jejich společným cílem je zlepšit energetickou účinnost evropského stavebního fondu. Důvodem je neustálý technický vývoj v oblasti materiálů, stavebních materiálů a technologií a neustálý dialog s politiky. [7]

1.1 Jednotlivé složky ETICS

ETICS neboli vnější tepelně izolační kompozitní systém, prodávající od výrobců jako ucelený certifikovaný zateplovací systém, se skládá z jednotlivých průmyslově předem zhotovených výrobků. Kupuje se od jednoho dodavatele v rámci jedné obchodní transakce, proto je v zásadě chybou si nechat montovat zateplení složené z komponentů nakoupených zvlášť u různých dodavatelů. Jednotlivé kontaktní zateplovací systémy jsou navrženy a schváleny tak, aby umožňovaly určitou variabilitu jednotlivých požadavků konkrétní stavby. Stavbu a všechna specifika obvodového pláště budovy musí správně vyhodnotit a navrhnout konkrétní projektant, který má za úlohu sestavení projektu zateplovacího systému budovy. [8]

Jednotlivými vrstvami systému ETICS jsou:

- Lepicí hmota případně mechanické kotvící prvky
- Tepelně izolační materiál
- Základní vrstva, která se může skládat z několika dílčích vrstev, kdy alespoň jedna z nich musí obsahovat skleněnou síťovinu
- Finální povrchová úprava



Obrázek 2 - Skladba zateplovacího systému ETICS [9]

1.2 Zákonné ověřování ETICS

ETICS se ověřuje jako ucelená sestava neboli systém s určenými součástmi. Zodpovědnost za takový systém nese jeho výrobce, který systém navrhl, sestavil a uvedl na trh. Uvedení ETICS na trh, a jeho následná realizace bez jeho předchozího ověření by přinášelo ohrožení základních požadavků na stavby. S ohledem na složitost ETICS nemůže laik takovéto ověřování provádět sám. Proto jsou pro tuto činnost určeny postupy a zároveň nezávislé právnické osoby, které tuto činnost provádějí. ETICS může být tedy uveden na trh jen po odpovídajícím ověření a vydání příslušných dokumentů. K ETICS musí být jeho výrobcem vydán dokument Prohlášení o vlastnostech nebo Prohlášení o shodě. To svědčí o skutečnosti, že ETICS prošel ověřením určeným postupem. Uvádění ETICS na trh bez Prohlášení o vlastnostech nebo bez Prohlášení o shodě je nezákonné. Každý ETICS má své určené zamýšlené použití, např. ETICS pro betonové a zděné podklady (stěny), ETICS pro podklady na bázi dřeva.

České právní předpisy umožňují v současnosti uvádět na trh ETICS jak podle evropských podmínek, tak podle národních podmínek. Pokud výrobce uvádí ETICS na trh podle evropských podmínek, vydává Prohlášení o vlastnostech. V případě uvádění ETICS na trh národní cestou vydává výrobce Prohlášení o shodě. Prohlášení o vlastnostech nebo o shodě musí obsahovat odkaz na dokumenty, na základě, kterých byla vydána (např. osvědčení nebo certifikát). Tato prohlášení jsou součástí dokumentace ETICS. [10]

1.3 Klasifikace nežádoucích odchylek (anomálií) v ETICS

Výskyt nežádoucích odchylek od plánovaného (požadovaného) stavu (anomálií) různé závažnosti může být zpočátku analyzován přímým vizuálním pozorováním fasády. Podle zvolených charakteristik lze každou nežádoucí odchylku identifikovat jako odpovídající určitému konkrétnímu vzoru. Typologie nežádoucích odchylek [3] je uspořádána a zařazena do seznamu klasifikace vad a poruch v ETICS, rozdělených do tří skupin: poškození materiálu, vady barevnosti/estetiky a vady a poruchy plochosti. [3]

Seznam klasifikace vad a poruch v ETICS:

Poškození materiálů

- Praskliny
 - Orientované
 - Neorientované

- Koroze výztuže
- Separace finálního nátěru
- Ztráta přídržnosti
 - Částečná
 - Celého systému
- Trhlina v materiálu

Vady barevnosti a estetiky

- Výkvěty
- Graffiti
- Skvrny způsobené vlhkostí
- Biotické napadení (houby, řasy, mechy, lišejníky)
- Jiné barevné odlišnosti

Vady a poruchy plochosti

- Nerovný povrch
- Viditelné spoje mezi deskami
- Vyboulení (vyvýšení) fasády
- Nesrovnalosti na povrchu
- Nesrovnalosti izolačních desek

1.3.1 Poškození materiálů

Skupina týkající se poškození materiálů zahrnuje mimo jiné případy, kdy dochází k poruchám zateplovacích systémů, v jehož důsledku vznikají praskliny, odtržení nebo ztráty přídržnosti. To je obecně způsobeno jevy mechanické povahy, jako jsou rozměrové změny, které mohou vést k praskání, ztrátě soudržnosti a rozpadu materiálu nebo dokonce celého systému. Anomálie v této skupině jsou ty, které s největší pravděpodobností ovlivní potřebné tepelné vlastnosti systému, které trpí těmito účinky.

1.3.2 Vady barevnosti a estetiky

Tato skupina zahrnuje vady, jejichž dopad je většinou vizuální a jak název napovídá, mění původní zbarvení fasády zašpiněním nebo změnou barvy. Anomálie, jako výkvěty, skvrny způsobené vlhkostí, graffiti a biotické napadení, jsou příklady, které vedou ke změně původní barvy.

1.3.3 Vady a poruchy plochosti

Poslední skupina pokrývá vady spojené s poruchami rovinnosti, které lze snadno identifikovat vizuálně, jsou to zpravidla nepravidelnosti povrchu, rozeznatelnost spojů desek nebo různé typy nesrovnalostí a vyboulení (vyvýšení) na fasádách.

1.4 Klasifikace nejpravděpodobnějších příčin vad a poruch v ETICS

Vady a poruchy se obecně vyvíjejí v důsledku kombinovaného působení různých nepříznivých degradačních faktorů, ke kterým může dojít současně nebo jako řada účinků, které zvyšují a zhoršují proces degradace. Každá anomálie může mít několik příčin, stejně jako konkrétní příčina může vést ke vzniku více než jedné poruchy. Pro lepší pochopení příčin je důležité shromažďovat informace o časové ose událostí, protože jejich původ může být stanoven v různých fázích životnosti ETICS. Přestože jsou pokyny pro postup výstavby jednotlivých částí zateplovacích systémů dobře zdokumentovány, mohou se vyskytnout chyby v raných fázích při výběru materiálů, při navrhování systému v rámci projektové dokumentace nebo při samotném provádění. Chyby, jako je volba izolace s nedostatečnou stabilitou, nebo bez rovnoměrné tloušťky, mohou být původem defektů rovinnosti. Nedostatečné detaily v návrhu a nepřesné aplikaci, jako je nedostatek výztužné síťoviny, nedostatek nátěru nebo nedostatečná příprava podkladu, se následně projeví vývojem trhlin nebo ztrátou soudržnosti. Jiné případy vývoje vad a poruch mohou být vyjádřeny během životnosti ETICS v důsledku vnějších účinků, jako jsou mechanická působení (např. růst parazitů, lidský zásah), nebo působením životního prostředí, jako je přítomnost vody (déšť, absorpce a kapilární vlhkost), povrchová kondenzace, kolísání teploty a znečištění. I v pozdější fázi životnosti systému ETICS mohou být chyby způsobeny nedostatečnou údržbou či nevhodnou opravou, které mohou vést ke ztrátě tepelné vlastnosti systému a ke zhoršení estetického vzhledu povrchové úpravy. [3]

1.5 Diagnostické metody pro ETICS

Před jakýmkoli zásahem je potřebné zajištění všech údajů o jednotlivých vadách a poruchách. Díky těmto údajům je možné zajistit lepší postup pro opravu a prevenci. Metody používané k diagnostickým metodám vad a poruch v ETICS mají za cíl upevnit znalosti o vztahu mezi poruchami a jejich příčinami a charakterizovat rozsah poruch pro vyhodnocení jejich důsledků. Vybrané metody musí být rychlé, levné, výnosné a snadno

aplikovatelné (kvalitativně i kvantitativně). Jakékoli používané vybavení by mělo být, pokud možno přenosné, aby nevyžadovalo externí zdroj energie, nepotřebovalo speciálně vyškoleného uživatele a mělo by být nedestruktivní. Z tohoto důvodu jsou upřednostňovány testy na místě, které nevyžadují dlouhou dobu pro získávání výsledků a nejsou tolik nákladné, jak je tomu u laboratorních testů. Diagnostické metody lze použít ke studiu parametrů, jako je vlhkost, mechanické vlastnosti a přítomnost soli. [3]

1.6 Možnosti (způsoby) opravy poškozených ETICS

Možnosti (způsoby) opravy byly také seskupeny podle úrovně závady v systému, jak je ukázáno v klasifikaci způsobů opravy níže:

Povrchová úprava

- Čištění
- Aplikace povrchové ochrany (hydrofobní, fungicid, biocid)
- Vyplnění / sanace trhlin
- Částečná / úplná výměna povrchové úpravy
- Nanášení nového nátěru na stávající vrstvu nátěru / barvy

Způsob zahrnující odstranění a nahrazení různých vrstev systému

- Vyplnění mezer / perforací materiálu
- Použití nového lepicího materiálu a / nebo mechanických kotev
- Úprava geometrických konstrukčních prvků
- Částečná / úplná výměna systému

Techniky ze skupiny povrchové úpravy jsou tedy nejméně rušivé, ovlivňují pouze povrch ETICS, aniž by bylo nutné odstraňovat nebo měnit vnitřní vrstvy systému. Zahrnují odstranění/nahrazení finální vrstvy, jako je vyplnění nebo sanace trhlin (které mohou také vyžadovat zásah do nejvnitřnějších vrstev v závislosti na závažnosti anomálie). Poslední techniky jsou nejrušivější a zahrnují odstranění a nahrazení různých vrstev systému, jako je oprava / výměna lepicího materiálu, mechanických kotev. Tento krok může vést až do úplné výměny systému. [3]

2 Biotické napadení staveb

Řasy, lišejníky a plísně se mohou objevit na většině běžných povrchů. Můžeme se s nimi setkat nejen na fasádních omítkách, ale také na skle, plechu či plastech. Podmínky pro tvorbu biotického porostu na povrchu materiálu jsou známy. Jedná se především o dostatečné zvlhčování daného povrchu vodou, a to jak srážkovou, tak kondenzující na jeho povrchu. Zateplené fasády jsou k růstu mikroorganismů náchylnější, neboť na jejich povrchu oproti klasickým stěnám dochází pravidelně k lehké kondenzaci vlhkosti (rosení). Rosení povrchu zateplených fasád je způsobeno tím, že subtilní povrchové souvrství tepelně oddělené od masivního podkladu tepelnou izolací se snadno ochladí a na povrchu fasády tak nastávají teplotní podmínky pro kondenzaci vzdušné vlhkosti. Častější výskyt řas, lišejníků a plísní na ETICS tak není ve většině případů zapříčiněn nekvalitou použitých materiálů nebo chybně navrženou skladbou ETICS, ale zejména přírodními zákony, jež popisuje fyzika a biologie. Četnost výskytu kondenzace vlhkosti na fasádě dále ovlivňují okolní podmínky. Rizikovými faktory jsou zejména zvýšená vlhkost vzduchu v blízkosti stavby, stinná místa, blízkost vodních ploch, hustý porost v blízkosti stavby (stromy, keře, lesy) a výskyt staveb s biotickým napadením fasády v okolí. Porost mikroorganismů se nejčastěji objevuje na severně orientovaných fasádách, kde díky absenci slunečního záření nemůže povrch materiálu dobře osychat. Biotický porost na fasádách je jevem, kterému při nepříznivých podmínkách lze jen těžko dlouhodobě zabránit. [11]

Biologická degradace neboli biotické napadení zahrnuje degradační procesy indukované nebo podmíněné působením života organismů. Projevují se fyzikální degradací (např. nárůst velikost kořenů nebo houbových vláken do substrátu), nebo chemickou korozí (např. rozpouštění substrátů). To znamená, že působící tlaky vedou k materiálové nebo chemické přeměně některých složek systému.

Aktivitami živých organismů, jako jsou mikrobi, hmyz, hlodavci, ptáci, ale i lidé, způsobují biologickou degradaci neboli jakoukoli změnu vlastností technických materiálů. Existuje spojení aktivních látek – biodetergentů a pasivních látek – použitých materiálů v procesu koroze, který může být substrátem pro život mikroorganismů. Se systémem biodetergentů je materiál otevřený a neživý materiál není schopen tento útok sám ubránit. Interakce biodeteriogenů a materiálů jsou typické pro různé formy biologického

poškození. Praktické účinky této interakce jsou změny materiálů: funkční (mechanické, elektrické, optické, chemické) a morfologické (barevné skvrny).

Stavební materiály (např. mramor, vápenec, pískovec, metamorfní horniny, ale také karbonovaný beton) mohou být velmi dobrým živným podkladem pro různé druhy mikroorganismů, které v tomto případě mohou velmi dobře růst. Jsou mikrobi, které odolávají nízkým teplotám (psychrofilní) a některé mikrobi dokáží tolerovat i vysoké pH ve stavební konstrukci (alkaliphile). Mezi organismy, které mohou žít s nízkým koncentrátem živin a vody ve velkém množství ve stavebních materiálech jsou zařazené osmofily a oligotrofy. Salinický výkvět na stěnách také není výjimečný a je na něm celá řada speciálních bakterií nazývaných halofilní.

Obecně jsou stavební budovy vhodným místem pro vývoj mikrobů, mezi hmyzem ničící dřevo a hlodavci, zde najdeme také útočiště pro ptáky a členovce. Nejčastěji vyskytující se mikroorganismy v budovách jsou mikromycety – houby, plísně, řasy, drobnější hmyz, zejména pak roztoče. Problém mikromycetů spočívá v tom, že vyrábějí kyseliny, toxiny a produkují organické kyseliny, jako je kyselina mravenčí, octová, propionová, citronová, šťavelová a další. Tyto kyseliny způsobují snížení pH stavebních materiálů všude tam, kde mají dostatečnou zásobu vápníku, vlhkosti a také živin potřebné pro svou existenci. [12]

2.1 Biotické napadení zateplených budov

Technické podmínky budov a jejich umístění nařízené ministerstvem infrastruktury vyžadovalo, aby nově navržené budovy měly sníženou hodnotu součinitele prostupu tepla. Tento koeficient musí být navíc v následujících letech postupně zpříšňován. To znamená použití tepelné izolace, která zapouzdří plášť budovy s vhodnou tloušťkou, aby byly splněny příslušné požadavky. To má některé pozitivní důsledky ve formě snížených tepelných ztrát v důsledku přenosu přes prvky budovy a snížených nákladů na vytápění budovy. Je však třeba více zkoumat hydrotermální problémy, aby bylo možné eliminovat jev kondenzace, tj. místa uvnitř bariéry nebo na jejím povrchu, kde kondenzuje vodní pára. Je také nutné zajistit účinné větrání, aby se odstranila vlhkost z budovy. Toto riziko expozice se týká interiéru budovy a musí mu být absolutně zabráněno z důvodu jeho nepříznivého účinku na lidské zdraví. Fenomén tvorby vlhkosti na površích, po kterém následuje invaze mikroorganismů na stejných místech, se však neomezuje pouze na interiér. Stále častěji jsou

na fasádách pozorovány barevné usazeniny. Výzkumy ukazují, že přibližně 85 % budov s fasádami ovlivněnými biotickou korozí jsou tepelně izolované budovy. [13]

Literatura upozorňuje na to, že ETICS s omítkou jako vnější vrstvou jsou náchylnější k biotickému růstu než monolitické stěny. Statistické údaje [14] z přírodních pozorování skutečně ukazují, že asi 35 % analyzovaných částí monolitické cihlové zdi v mírném podnebí vykazuje na povrchu mikrobiální růst. Toto procento dosahuje 55 % v případě budov s vnější vrstvou ETICS. Mezi nimi poréznost nejvíce ovlivňuje zadržování vody (převážně dešťové), hraje také roli při tvorbě biofilmu. [14]

2.2 Mikroorganismy způsobující biotické napadení

Rozšíření řas a hub v přírodě se odrazí také ve větším výskytu na stavbách. Z hlediska biotického napadení fasád se můžeme setkat s následujícími organismy:

- Houby
 - Plísně
 - Tmavě pigmentované houby
 - Kvasinky
 - Asexuálně tvořené spóry
 - Sexuální fruktifikace
- Řasy
- Mechy
- Lišejníky

Výskyt biologické koroze závisí na fyzikálně–chemických vlastnostech fasádních materiálů a dopadu na životní prostředí neboli vhodných podmínkách pro růst mikroorganismů. Biotický růst vždy umožňují tři rozhodující kritéria: současná přítomnost klíčivých mikroorganismů, příhodné klimatické podmínky a vhodná výživa v místě jejich rozmnožování (viz obrázek č. 3). Okolní prostředí vždy obsahuje početné výtrusy hub a buněk vodních řas, které jsou převážně vázány na částice prachu a roznášeny vzduchem. Snadno se usadí na nová místa a za příznivých životních podmínek (klima a dostatečná výživa) dorůstají z neviditelných mikroskopických malých „zárodků“ do viditelných kolonií. Při posuzování výskytu řas a hub na budovách stojí vždy v popředí pátrání po zdroji výživy a vlhkosti. [15]



Obrázek 3 – Podmínky pro růst řas a hub [15]

2.2.1 Houby – plísně

Plísně jsou mikroskopické houby, vyskytující se na místech se zvýšenou vlhkostí. V přírodě se nejčastěji vyskytují na rostlinném odpadu a v půdě. Nejvhodnější podmínkou pro růst plísni je teplota okolo 25 °C, proto se plísním nejvíce daří v domech s vlhkými zdmi a v přírodě od jara do podzimu. Ovšem jsou i druhy plísni, které rostou i při teplotách pod 10 °C. Proto se plísně vyskytují i na zdech domů, ve kterých se delší dobu nevytápí.

Mikročástice organických hmot sloužící jako živiny pro růst plísni, jsou zanechány na zdech z okolního ovzduší. Rozmnožovací útvary zvané spóry způsobují rozrůstání plísni. Při styku spóry na vlhkém místě s živinami začne spóra klíčit, následně roste a vytvoří reprodukční orgán. Tyto orgány uvolňují zralé spóry do okolí, které jsou ve velké míře i nebezpečné pro člověka, protože vyvolávají alergie včetně astmatického onemocnění. Zdravotní komplikace jako například bolest hlavy, dráždění pokožky, očí, poškození dýchacích cest, ale i spousta dalších nemocí, jsou způsobené produkcí organické látky známé jako plísňový zápach. [15]



Obrázek 4 - Plísně na omítkách ETICS [16]

2.2.2 Řasy

Řasy se na objektech z počátku vyskytují jen jako mikroskopické řasy, které se teprve hromadným rozmnožováním projeví jako viditelné kolonie. Tyto v převážné většině zeleně zbarvené organizmy žijí na povrchu materiálu samostatně, vytvářejí nitky nebo kolonie. U porézního materiálu se vyskytují také těsně pod povrchem, tam kde ještě mají dostatek světla k fotosyntéze. Závislost na světle u všech řas je dobře zřetelná např. ve zpřístupněných jeskyních: tam, kde je instalováno osvětlení, se často zem, stěny a vybavení zbarví do zelena. Při nedostatku světla řasy růst nemohou.

Mikrořasy tvoří často spolu s ostatními mikroorganismy živý povlak – biofilm, který je ochrannou proti chemikáliím a vysoušení. Aby měly zajištěnou látkovou výměnu a fotosyntézu, potřebují pro svůj růst také dostatek vody. Na fasádě je proto patrný porost řasami zejména v závislosti na počasí. Na konci vlhkého období se často na povrchu budovy zobrazují jako jasný zelený potah. Zelené řasy druhu *Trentepohlia* mohou vytvořit až zářivě červené povlaky. Po vyschnutí fasády se může tento biofilm úplně změnit, někdy se jeví jen lehce našedlý anebo je dokonce prakticky neviditelný. Zvlhčením porost řasami znovu zazelená. Zmiňovaný příjem vody se děje osmózou. Pro zachování životního procesu musí být uvnitř buněk udrženo vodní prostředí. Je-li v okolí více vody než uvnitř buňky, pak následuje vyrovnání následkem osmotického tlaku. Vlivem vyššího příjmu vody přestoupí řasa z klidového režimu do aktivní fáze růstu a fotosyntézy.

Podle jiného hlediska se řasy řadí k tajnosnubným rostlinám (těm, které ve skrytu vzkvétají). Při nárůstu se vytvoří z mikroskopicky malých buněk celý biofilm řas, který je často již viditelný z dálky (barevné mapy na fasádě či tzv. inkoustová kresba na skalních stěnách, což jsou stopy po stékání vody apod.). [15]



Obrázek 5 - Řasy na fasádě ETICS [17]

2.2.3 Mechy

Mechorosty jsou primitivní vyšší rostliny zelené barvy. Výtrusné organismy rostlin, u nichž soustava vodivých pletiv dosáhla jen omezeného stupně vývoje, nebo byla druhotně potlačena. Vývojově původnější zástupci mají lupenitovou stélku, vývojově mladší mají stélku rozlišenou na přichytná vlákna, lodyžku a lístky. Některé druhy mají vodivé pletivo – provazce protáhlých buněk, zprostředkujících rozvádění vody a živin. Podle systému se společně s hlevíky a játrovkami řadí do oddělení mechorostů. Je známo asi 10 000 druhů mechů v 700 rodech. V současné době je zaznamenáno v České republice 652 druhů mechů. Rostou zpravidla pospolitě a pokrývají celé relativně velké plochy. Naším nejběžnějším mechem je ploník, na nevápnitých zamokřených půdách roste rašeliník. Rostliny na bázi odumírají, na vrcholu stále dorůstají. Z odumřelých částí se postupně vytvářejí vrstvy nové. Lístky obsahují úzké buňky s chloroplasty, obklopené velkými odumřelými buňkami s otvory ve stěnách, za deště vyplněny vodou, kterou dlouho zadržují, za sucha pak vyplněny vzduchem. [18]

2.2.4 Lišejníky

Lišejník žije v symbiotickém společenství houby, řas a sinic. Stélky lišejníků tvoří houbová vlákna a v nich jsou rozptýleny buňky sinic nebo zelených řas. K podkladu je lišejník přirostlý přichytnými vlákny. Lišejníky jsou ekologicky vyhraněnou skupinou, schopnou růst na biotopech, na kterých by samotná řasa ani houby nemohly existovat. Vylučovanými kyselinami naleptávají skalnatý podklad. Odumřelé stélky vytvářejí základ humusové vrstvičky, umožňující život vyšším rostlinám. V arktických krajích jsou často potravou býložravců. Jsou vysoce citlivé na znečištění ovzduší. [18]

Lišejníky snášejí extrémní klimatické podmínky – teplota v rozmezí -268 až +100 °C, dlouhá období sucha. Minimální objem vody kolísá mezi 2 až 14 %, pH 5–6 (hraniční 2–9). V řadě případů je u lišejníků pozorována akumulace šřavelanů, která se zvyšuje se stoupajícím stářím organismu. [19]

Rozmnožují se nepohlavně buď odlamováním stélky, nebo vytvářením drobounkých tělísek – spletenců podhoubí s buňkami řas či sinic. V současnosti je známo přibližně 17 000 druhů lišejníků, každý rok jsou připisovány nové druhy. Lišejníky jsou považovány za nejpomaleji rostoucí organismy, přestože u nás žijí téměř celoročně. Nejpomaleji na tom jsou druhy s korovitou stélkou, např. lišejník zeměpisný, který roste rychlostí 0,06–1 mm za rok. Na druhou stranu se dožívají lišejníky velmi vysoké věku, např. stáří lišejníku zeměpisného se v nejvyšším českém pohoří odhaduje na 200–400 let.



Obrázek 6 - Lišejník na fasádě ETICS [20]

2.3 Biodeteriorace zateplovacích systémů ETICS

Zejména v klimatu České republiky jsou fasády velmi často vystaveny působení srážkové vody. To platí zejména o fasádách orientovaných na západ, protože vítr fouká převážně z tohoto směru a fasády orientované na sever, které jsou nejméně osvětleny sluncem. Výskyt mikroorganismů na stavebních materiálech má nepříznivý účinek, který vede k postupnému zhoršování až rozkladu. S ohledem na charakter biodeteriorace a vlastnosti materiálů lze rozlišit následující formy:

- **Mechanická biodeteriorace** – materiál se poškodí v důsledku přímého působení organismů, např. porušení na silnici způsobené kořeny stromů.
- **Chemická asimilační biodeteriorace** – pokud je materiál degradován v důsledku obsahu výživných látek, ovlivňuje hlavně produkty jako např. vlákna nebo dřevo.
- **Chemická disimilační biodeteriorace** – nastává, když metabolity z organismů poškozují strukturu materiálu, což vede ke korozi, např. rozpadu kamenů přerostlých organismy.
- **Biologická biodeteriorace** – nastává, když je přítomnost organismů nebo jejich sekrecí pro materiál nežádoucí. Běžným příkladem je zanášení trupů lodí, přímo u vodorysky, organismy, které vytvářejí zelenající se přerůstání. Na druhé straně příkladem úmyslné aplikace jsou listnaté rostliny, které se popínají na fasádách a považují se za žádoucí dekorativní prvek.

K problému zhoršování kvality fasád je třeba přistupovat tak, že se nejprve seznámíme s organismy, které ji způsobují. Hlavní agresoři jsou: řasy (způsobující zelenavý růst), plísňe (šedo-černé plísňe) nebo lišejníky produkované symbiotickým růstem řas a hub (zeleno-

černé skvrny). Jejich struktura, způsob reprodukce, metabolické procesy a účinek metabolických odpadních produktů na stavební materiály jsou základem znalostí pro akce zaměřené na prevenci koroze. Fasády jsou zpočátku kolonizovány jednotlivými bakteriemi, houbami a aerofytickými řasami. Zahajují proces biodeteriorace z důvodu nenáročnosti. Později, v důsledku mikroklima biofilmu, které se tvoří v rozvinutém stádiu, mohou poskytnout příznivé podmínky pro vývoj dalších organismů. Příkladem jsou lišejníky, tj. houby žijící v symbióze s řasami.

Obvykle se nacházejí v blízkosti okapových systémů, svodů a vybrání na stěnách, tj. prakticky nejvlhčích míst. Méně se vyskytují na fasádách modrozelené řasy, které jsou často součástí aerofytických společenstev. Biomasa řas, modrozelených řas a hub usnadňuje růst mechů a lišejníků, které mohou zhoršovat povrchy v důsledku zásahu do struktury materiálu. V důsledku metabolických transformací lišejníky produkují biogenní organické kyseliny a další chelatační látky, což způsobuje výskyt dutin, trhlin a korozních jám na povrchu. Nejcitlivější na jejich degradující účinek jsou uhličitanové minerály a železo–hořečnaté křemičitany, nejméně živce. [13]

2.4 Fyzikální a technické faktory podporující tvorbu biotického napadení

Podmínky prostředí mají rozhodující dopad na kolonizaci materiálů a vývoj mikroorganismů. Ne všechny lze odstranit, ale pokud jsou známy jejich příčiny a možné výskyty, lze jim účinně bránit již při samotném návrhu zateplovacího systému.

Mezi nejvýznamnější fyzikální faktory patří:

- Makroklimatické faktory
- Kvalita ovzduší
- Mikroklima
- Umístění

Makroklimatické faktory – srážky a teploty. Množství srážek, které podporuje vývoj mikroorganismů, je více než 800 mm / rok a průměrná teplota vzduchu 6 až 8 ° C. Při vyšších srážkách a vyšších teplotách není pozorována zvýšená kolonizace řas, což naznačuje větší dopad teploty než vlhkosti; změny počasí. Mikroklima se v posledních letech mění. Průměrná roční teplota se zvýšila o cca. 1 ° C po dobu 10 let a zimy jsou teplejší a vlhčí. Vyšší teplota a nepřítomnost mrazivých zim napomáhají rozvoji organismů.

Co se kvality ovzduší týče, zejména v městských aglomeracích se obsah CO₂ ve vzduchu zvyšuje. To usnadňuje získávání uhlíku, které autotrofní rostliny potřebují jako svou živinu. Výzkumy dokazují, že míra kolonizace mikroorganismy je rovněž ovlivněna nízkou kvalitou ovzduší.

Mikroklima v sousedství zelených a vodních nádrží vytváří příznivé podmínky pro rozvoj řas, a to díky zvýšenému počtu spor a celkové vyšší vlhkosti.

Umístění stěny vystavené slunci, tj. orientované na jih a východ, jsou méně často ovlivněny biologickou korozi, a to díky rychlejšímu sušení, než je tomu v případě severně a západně orientovaných stěn. Hustota zástavby a výška budov také v podstatě určují plochu vystavenou slunečnímu záření a tím i vlhkost bariér. [13]

Mezi technické faktory patří:

- Prvky budovy
- Nedostatek účinné izolace proti vlhkosti na suterénních stěnách a soklech
- Nedostatečná kvalita dokončovacích prací
- Rychlost propustnosti a nasákavosti finální povrchové vrstvy
- Vodní pára
- Tepelné mosty
- Struktura povrchu

Prvky budovy – fasádní dokončovací nebo ozdobné prvky, jako jsou: římsy, rohy, plochy kolem soklů, pod parapety, u stěn, přes markýzy, u balkonů. Všechna místa, kde se může voda akumulovat se, jsou ohrožena vývojem organismů.

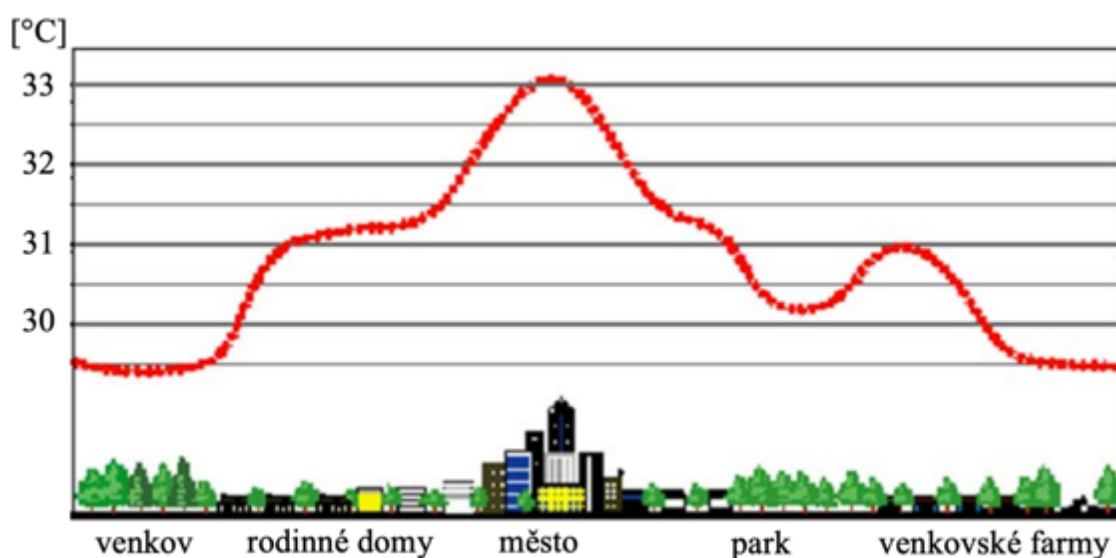
Nedostatečná kvalita dokončovacích prací, nejčastěji způsobena nevhodnými povětrnostními podmínkami během prací.

Vodní pára unikající z bytů prostřednictvím nakloněných oken kondenzuje na chladných površích fasády těsně nad okenními otvory.

Tepelné mosty – místa, kde dochází k posunu rosného bodu směrem dovnitř budovy. Vnější části fasády v těchto místech mají vyšší teplotu, což urychluje metabolické procesy mikroorganismů. Taková místa jsou viditelná v rozích a na spojích desek izolantů.

Struktura povrchu např. v podobě drsného povrchu anebo vinou nesprávně namontovaného lemování. [13]

Jedním z výsledných jevů může být fenomén městského tepelného ostrova – sluneční světlo dopadající a odrážející se od povrchů budov a ulic způsobuje, že teplota vzduchu je v průměru vyšší než v okolních příměstských oblastech. Ve velkých městech s vysokou koncentrací budov může být tento teplotní rozdíl až 10 ° C. Izoterma znázorněná na obrázku č. 6 zobrazuje charakteristický nárůst teploty v oblasti města, nazývaný účinkem městského tepelného ostrova. Jsou nerovnoměrně rozmístěny ve vertikálním průřezu městské zóny, dosahují maxima při koncentracích budov, ulic a chodníků a nižších hodnot v příměstských nebo zalesněných oblastech a v oblastech vodních nádrží. [13]



Obrázek 7 - Průřez teplot vzduchu ve velkém městě a jeho okolí [13]

To může mít konkrétní důsledky:

- podíl dlouhé vlnové délky přicházející z různých směrů vnitřního povrchu struktur, se zvyšuje v důsledku emise a odrazu do prostoru ulice se současným snížením ztrát do atmosféry
- indikátory v blízkosti budov: výška, délka a vzdálenost mezi nimi přispívá ke snížení rychlosti větru v zastavěné oblasti (snížené větrání prostor) a také celkovému zvýšení teplot
- vysoký podíl tepla naakumulovaného na fasádách, stejně jako velké plochy vyzařující odrazené (dlouhé vlny) tepla a materiály používané k výstavbě ulic zvyšují průměrnou teplotu
- snížení rychlosti proudění větru, přispívá ke snížené ventilaci znečištěných ulic
- teplo v atmosféře vytvářené v souvislosti se spalováním, výrobou energie, dopravou atd.

2.5 Problém biotického napadení fasád

Ačkoli kvalita většiny budov bude s největší pravděpodobností ovlivněna biologickým růstem v průběhu času, současná stavební tradice a poptávka po energetických úsporách vedly ke změnám v našem způsobu výstavby bytových domů, což v některých případech zvýšilo nebezpečí výskytu biologického růstu na fasádách. Ve Švédsku bylo v posledních desetiletích postaveno mnoho nových domů s konstrukcí s tenkým omítnutím na tepelné izolaci. Biologické znečištění se často vyskytuje na povrchu těchto fasád až několik let po výstavbě budov. I když tento problém může mít zdánlivě pouze estetický charakter, může to pro majitele budovy vést k různým ekonomickým a sociálním důsledkům. Fasáda, která je zpravidla považována za nejvýznamnější architektonický prvek budovy, vyvolá dojem špatně udržované budovy, pokud je zbarvená, i když je zbytek budovy v dobrém stavu. Vyhnout se takovému růstu je proto důležité. Švédsko není jedinou zemí, která zažila biologický růst na nově vybudovaném systému ETICS, několik dokumentů z Německa a dalších zemí se zabývá stejným problémem. [21]

Předchozí výzkumy ukázaly, že organismy nacházející se na budovách, zejména plísně, řasy, mechy a lišejníky, jsou zvláště přizpůsobeny k přežívání opakovaných cyklů sušení a rehydratace. Četné studie potvrdily, že hlavními omezujícími faktory biologických organismů, které se mohou usadit a růst na stavebních materiálech obecně, jsou relativní vlhkost a teplota (u organismů žijících na fasádách je nezbytná také účinná ochrana před UV zářením).

Již v roce 1969 Ayerst [21] měřil, že relativní vlhkost a teplota ovlivňovaly klíčení spór a mikrobiotický růst různých druhů. Výsledky byly uvedeny ve formě izolinii, tj. vrstevnic v T-RH-diagramu (diagram teploty a relativní vlhkosti) spojovacích bodů se stejnými rychlostmi růstu. Tyto izoliny byly nejdříve založeny na pozorování růstu na agarovém médiu, později vznikly také izoliny systému pro růst plísní na běžných stavebních materiálech. Protože však každý mikrobiologický druh má jinou potřebu s ohledem na relativní vlhkost a teplotu, je nutné každou izoliniu aktivovat pro konkrétní příklad (mikrobiologický druh i odlišný substrát) zvlášť. Ve snaze předpovídat potenciál růstu biotického napadení na stavebních materiálech, bylo vyvinuto několik metod predikce jejich růstů. Vycházejí ze dříve publikovaných izolinií nebo jiných podobných mezních hodnot, které se měří při stacionární teplotě a relativní vlhkosti. Moon a Augenbroe se pak pokusili tento typ analýzy dále rozvíjet, a to zohledněním „doby expozice“. Navíc tyto metody používají modely pro přenos tepla a hmoty, které umožňují stanovení povrchové

teploty a povrchové relativní vlhkosti. Tyto hydrotermální modely se zaměřují buď na tok tepla a vlhkosti v různých částech obvodového pláště budovy, nebo provádějí výpočty celé obvodové vrstvy budovy jako jednu jednotku. V obou případech mají tyto modely svá omezení, především proto, že obvykle chybí relevantní vstupní data – klima, materiálové vlastnosti atd.

Předchozí výzkumy ukázaly, že povrchová relativní vlhkost určuje podmínky pro růst mikrobiotického napadení, nikoli relativní vlhkost okolního vzduchu. To je zvláště důležité pro ETICS, protože na těchto systémech se může projevit povrchová kondenzace, i když okolní relativní vlhkost je nižší než 100 %. Měření povrchové teploty a relativní vlhkosti by proto mělo být spolehlivým ukazatelem předpovědi růstu mikroorganismů na ETICS. Toto bylo studováno ve Švédsku Sedlbauerem a Kuonlemem, kteří měřili povrchovou teplotu a vypočítali povrchovou relativní vlhkost (z povrchové teploty a okolní relativní vlhkosti) na stěně ETICS směřující na západ a na dvou stěnách provzdušněných cihel směřujících na sever a jih. Také diskutovali o důležitosti deště a kondenzaci a dále v inovativních způsobech, jak překonat problém růstu mikroorganismů povrchu. [21]

2.6 Indexy růstu mikrobiotického napadení

Z měření povrchové teploty a povrchové relativní vlhkosti bychom měli vypočítat indexy integrovaného růstu/aktivity napadení v určitých obdobích, např. měsíce. V zahraničí bylo popsáno již několik ukazatelů, které se používají pro hodnocení rizika či úrovně růstu biotického napadení. Například IAE/ASHRAE (globální školící středisko) mají řadu podmínek, které by měly být splněny, aby se zabránilo samotnému vzniku napadení. Dalším pokročilejším konceptem je RHT (součet hodnot relativní vlhkosti), který je definován jako součet hodnot v 10denních intervalech RH (relativní vlhkost) mínus referenční RH, vynásobený teplotou mínus referenční teplota (součet je proveden pouze tehdy, jsou-li obě hodnoty pozitivní). Přestože je koncepčně podobný některým níže uvedených indexům, má tu nevýhodu, že nezohledňuje index, kdy je teplota příliš vysoká pro růst biotického napadení, což je pro index fasády důležité. Sedlbauer navrhl dvoustupňový model růstu napadení, kdy růst nezačne, dokud nedojde k fázi klíčení spór. Klíčení spór je modelováno s ohledem na absorpci vlhkosti ve spóře a je založen na růstu izoliniích. Výsledek měření byl použit k porovnání výsledků dvou vyspělejších indexů (index 2 a 3 níže) a jednoduchého indexu interiéru (index 1 níže). Indexy 2 a 3 jsou založeny na znalostech toho, jak růst napadení závisí na teplotě a relativní vlhkosti. Ačkoli taková měření jsou dnes vzácná a obvykle se provádějí pro potravinové mikroorganismy, v budoucnu budou užitečná

ve chvílích, kdy bude k dispozici více takových měření. Ve všech případech vyšší hodnoty znamenají vyšší růst biotického napadení. [21]

2.6.1 Index č. 1

Ve studiích růstu napadení je možné zjistit, že k růstu mikroorganismů dochází pouze nad určitou relativní vlhkostí (při pokojové teplotě). Byly nalezeny různé limity růstu od 70 % do 80 % v závislosti na experimentálních podmínkách. První index je tedy založen pouze na relativní vlhkosti.

$$I_1 = \frac{\int_{\tau=t_0}^{t_1} f(\tau) d\tau}{t_1 - t_0}, f = \begin{cases} 1 \rightarrow \varphi(\tau) \geq \varphi_t \\ 0 \rightarrow \varphi(\tau) < \varphi_t \end{cases} \quad [1]$$

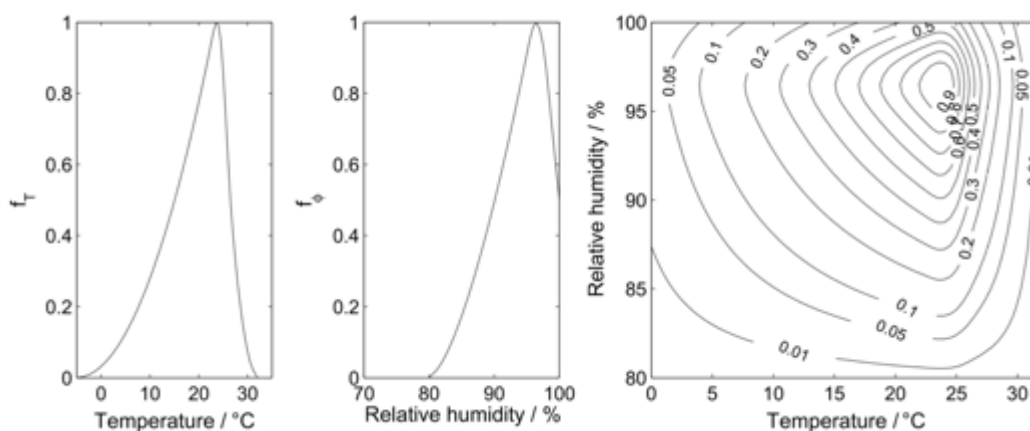
Zde je použita hodnota $\varphi_t = 80\%$, protože se jedná o běžně užívanou hodnotu pro zabránění výskytu mikroorganismů na budovách.

2.6.2 Index č. 2

Od studií v Ayerstu [21] v roce 1969 různí vědci naměřili aktivity mikroorganismů v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti. Vzorky byly vystaveny různým kombinacím teploty a relativní vlhkosti. Nejúplnější studie byly provedeny s plísněmi primárního významu v potravinářském a zdravotnickém průmyslu na agaru. Studie stavebních materiálů jsou obvykle méně podrobné a růst je často klasifikován pouze na čtyři až šest stupňů pokrytí vzorku. Nejběžnější plísní na omítnutých fasádách je *Cladosporium*, ale jen velmi málo studií se zabývá konkrétním příkladem omítnutých fasád napadených těmito rody plísní. Z úplnějších studií (jako je studie Ayerstova) je možné odvodit izolinie (sadu křivek spojujících body se stejnou aktivitou – doba růstu spór, atd.) v diagramu teploty a relativní vlhkosti. Protože nebyly publikovány žádné spolehlivé izolinie pro konkrétní druhy biotického napadení, v tomto případě napadení plísněmi rodu *Cladosporium* pěstovaných na stavebních materiálech, se vychází z informací a dat, získaných pro ideální růst těchto mikroorganismů na stavebních materiálech – tedy jejich potřebné teploty a relativní vlhkosti. Pomocí těchto informací lze vypočítat druhý index, který zohledňuje teplotu i relativní vlhkost:

$$I_2 = \int_{\tau=t_0}^{t_1} f_T(\tau) f_\varphi(\tau) d\tau \quad [2]$$

Vztah funkce f_{ϕ} a f_T jsou uvedeny na obrázku č. 7 spolu s izoliniemi vypočítanými z těchto křivek [21].



Obrázek 8 - Znázornění izolinií v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti [21]

2.6.3 Index č. 3

Poté, co jsou mikroorganismy vystaveny nepříznivým podmínkám, kterými jsou sušení a vysoké teploty, trvá nějakou dobu, než se obnoví aktivita, která působila před zahájením nepříznivých podmínek. Třetí index je podobný indexu č. 2, kde navíc působí funkce zotavení, která omezuje zvýšení indexu, kdy byl organismus mimo své růstové limity:

$$I_3 = \int_{\tau=t_0}^{t_1} f_r(\tau) f_T(\tau) f_{\phi}(\tau) d\tau \quad [3]$$

„Mimo růstové limity“ je definováno jako případy, kdy:

- je f_{ϕ} a f_T nulové
- teplota klesá pod T_{\min} nebo naopak stoupá nad T_{\max} ,
- relativní vlhkost klesá pod RH_{\min} [21]

3 Fasádní omítky

Výběr fasádní omítky je jednou z posledních fází dokončení budovy. Kromě estetických vlastností by měla splňovat také technické požadavky, které zajišťují jeho trvanlivost. Její složení, struktura a vlastnosti mají zásadní význam pro ochranu budovy před škodlivými a klimatickými vlivy vzhledem k životnímu prostředí. Neexistuje žádná univerzální omítka. Výběru omítky, jejíž složení a vlastnosti mají zajistit požadovanou trvanlivost, by měla

předcházet analýza okolí budovy a zvážení všech předpokládaných rizik s ní spojených. V dnešní době se pro izolační stěny budov používají tzv. dekorativní tenkovrstvé omítky (o tloušťce 2–3 mm). [13]

Pokud má být povrchová úprava ETICS z dekorativních pastovitých tenkovrstvých omítek, je nutné zohlednit následující skutečnosti a tomu přizpůsobit materiálovou bázi omítek:

- zvážení všech podmínky vnějšího prostředí
- barevný vzhled
- odolnost omítek vůči krajním teplotním a vlhkostním vlivům
- difuzní parametry

3.1 Rozdělení fasádních omítek

Podle druhu pojiva lze fasádní omítky pro ETICS rozdělit na:

- **minerální omítky** na bázi cementu a vápna s přidanými minerálními pojivy a modifikátory
- **silikátové omítky** na bázi draselného vodního skla jako pojiva
- **silikon-silikátové omítky** – silikátové omítky modifikované silikonovými pryskyřicemi
- **silikonové omítky** na bázi silikonové polymerní disperze a minerálních plniv
- **akrylátové omítky** obsahující pojivo z umělé pryskyřice (na bázi disperze)

Pojiva použitá v omítkách mají vliv na řadu jejich fyzikálně chemických vlastností, což je důvod, proč mají omítky odlišné vlastnosti. V případě minerálních omítek dochází k vazbě chemickou reakcí pojiva záměsovou vodou (hydratace) a poté s CO₂ z atmosféry, což způsobuje tuhnutí a tvrdnutí směsi. Ve skupině silikátových omítek navíc dochází k dlouhodobým reakcím pojiva s plnivem, pigmenty a minerálními složkami obsaženými v omítce. Vazba s disperzí v omítkách probíhá mechanicky, je relativně rychlá a spočívá ve fyzickém lepení v důsledku adheze sádrové vrstvy.

Omítky s cementově vápenatými pojivy vyžadují vzhledem ke své vysoké pórovitosti a sorptivitě další vrstvu fasádní barvy. Doporučuje se, aby byl povrch zateplovacích systémů natřen silikátovou barvou, která vyplní póry, a tím zabrání znečištění a pronikání vody, zatímco proces vzniku křemičitanu během let dodatečně posiluje strukturu. Alternativou silikátové barvy může být silikonová barva, která díky své odolnosti proti vodě zajistí odolnost proti nečistotám.

Silikátové omítky se vyznačují vysokým difuzním odporem – to umožňuje jejich použití v tepelně izolačním systému, dále pak nízkou náchylností k nečistotám a vysokou alkalitou. Naopak standardní omítky mají určité nevýhody, mezi něž patří vysoká sorpční vlastnost a citlivost na povětrnostní podmínky, a to již i během aplikace. Podklad pro tuto omítku musí být rovný, hladký a okolní teplota v průběhu aplikace by měla být mezi 8 °C a 25 °C. Kromě toho nemá být vítr příliš silný, vlhkost vzduchu příliš vysoká a silikát nesmí být vystaven přímému slunečnímu záření. Čerstvé omítky by měly být ochráněny sítí. Omezující podmínky použití způsobují praktické potíže, které vyžadují hledání kompetentního dodavatele, vysoké náklady a delší dodací lhůty, které jsou také ovlivněny povětrnostními podmínkami. Silikon-silikátové omítky mají vlastnosti typické pro silikátové omítky a přidání silikonové pryskyřice zlepšuje vazebné vlastnosti a omezuje jejich sorpční vlastnost. Rovněž snižuje citlivost požadavku na podklad, vnější podmínky a zlepšuje počáteční pevnost.

Akrylátové omítky jsou nejoblíbenější mezi investory, kteří se zajímají o rychlé tempo práce, bohatý výběr barev a zvýšenou odolnost vůči deformacím a poškrábání. Vyznačují se vysokou flexibilitou a odpuzováním vody. Lze je aplikovat při teplotách nad 5 °C. Aplikace je poměrně rychlá a snadná. Má to však také určité nevýhody, které omezují jejich působnost. Mezi ně patří:

- nízký difuzní odpor – nelze je použít, pokud je minerální vlna použita jako tepelná izolace
- umístění budovy – v místech s vysokou vlhkostí okolí
- způsob využití místností – nadměrná vodní pára nahromaděná ve zdi budovy může způsobit separaci omítky

Tyto látky – biocidy, se přidávají buď již ve fázi výroby, nebo jako alternativa může být omítka natřena barvou s touto přísadou. Vylepšenou variantou akrylátové omítky je akryláto-silikonová omítka. Přidání organo-křemičitých sloučenin vede ke zvýšení propustnosti par. Zároveň si zachovává výhody akrylátové omítky – odpuzování vody, flexibilitu a širokou škálu barev. Vnější omítka je vystavena působení širokého rozsahu teplot – v letní sezóně je zahřívána sluncem na teploty na 50 °C a v zimním období dosahuje až -20 °C. Musí se proto sama o sobě kombinovat řadu funkcí zajišťujících ochranu tepelné izolace a struktury jednotlivých vrstev zateplovacího systému. Cena, stejně jako

jednoduchost provádění a doba aplikace jsou hlavními faktory, které určují volbu vhodné omítky. V posledních letech se hodnocení odolnosti vůči mikroorganismům stalo důležitým kritériem.

Volba pěnového polystyrenu jako tepelné izolace s následnou akrylátovou omítkou, která je snadno použitelná a cenově velmi dostupná, je nejběžnějším způsobem zateplení stavebních objektů. Právě tato konfigurace se dnes nachází na většině budov, zejména ve městech. Po několika letech se však na fasádách objevují některé barevné defekty, které představují biologickou korozi. Není to vždy v tom, že volba pěnového polystyrenu a akrylátové omítky znamená kolonizaci mikroorganismů, hodně záleží na prostředí a klimatických podmínkách. Výběr kombinace tepelné izolace a povrchové úpravy by proto měl být vždy promyšlený. Obecně, v počátečním stádiu není výskyt zelených porostů nevratným procesem, ale eliminace je nákladná. Biologické korozi lze zabránit nebo ji významně oddálit již ve fázi projektování a zajištěním vysoké kvality dokončovacích prací.

V současné době jsou také používány struktury tenkovrstvé škrabané i mozaikové omítky, což zvyšuje jejich flexibilitu a umožňuje ochranu proti praskání za vysokých teplot. Tyto textury také usnadňují zachycování a zadržování dešťové vody v dutinách, jakož i nečistoty a dopravní prach, který je živinou pro organismy. Hodnota pH omítek je vyšší než 10,5 (vysoce zásaditá), což účinně brání růstu mikroorganismů (u nichž je příznivá hodnota pH v rozmezí 7–8,5). Čerstvé fasády mají přirozenou ochranu v počátečních letech provozu (přibližně 2–3 roky v závislosti na životním prostředí) díky hodnotě pH. V průběhu let však tento účinek zmizí. Životnost nátěrů se odhaduje na 5 let. Po uplynutí této doby se mohou ukázat nezbytná některá renovační opatření, jako je čištění a nanesení nové vrstvy nátěru.

Tmavé barvy omítek podporují absorpci velkého množství tepla, což vede k vysokým teplotám na povrchu, světlé barvy mají opačný efekt. Ochranný nátěr by měl být také odolný vůči UV záření, a tedy i proti stárnutí. Mezi základní vlastnosti patří mechanická pevnost, protože při provozu venku může být omítka vystavena nárazům. Posledním rizikem, které ovlivňuje trvanlivost omítky, je nedostatečná kvalita stavebního zpracování a provádění prací za nepříznivých povětrnostních podmínek. [13]

3.2 Podmínky vnějšího prostředí

Při výběru omítek s ohledem na vnější prostředí je stěžejním parametrem odolnost omítek proti růstu mikroorganismů. Vyšší přirozenou odolnost proti růstu mikroorganismů mají především materiály na bázi vodního skla a minerální materiály. U materiálů na bázi akrylátových a silikonových disperzí je naopak třeba počítat se sníženou odolností vůči těmto účinkům. Předností silikátových omítek je jejich nízký elektrostatický náboj, který zajišťuje, že povrch omítek nepřitahuje znečištěné mikročástice.

3.3 Barevný vzhled

Při volbě barevných odstínů omítek je nutné zohlednit světelnou odrazivost omítek (HBW). Tento činitel vyjadřuje odchýlení barvy od černého nebo bílého bodu (černý bod HBW = 0; bílý bod HBW = 100). Fasády s tmavšími odstíny barev absorbují více tepla než fasády se světlejšími odstíny. V průběhu dne dochází k cyklickému namáhání celého souvrství ETICS, zejména povrchové úpravy a základní vrstvy. K největším teplotním výkyvům dochází na jižních fasádách ve slunných zimních měsících. Přes den tmavé omítky absorbují velké množství tepla a v noci dojde vlivem nízkých teplot k prudkému ochlazení. Toto cyklické namáhání může vést k odlupování omítek nebo ke vzniku prasklin. Výrobci omítek doporučují volit u minerálních a silikátových omítek hodnotu $HBW > 30$ u ostatních typů omítek $HBW > 25$. Volbu odstínu povrchové úpravy je nutné zohlednit rovněž v případě použití EPS-F (G) s příměsí grafitu, neboť teplota, při které dochází k objemovým změnám šedého EPS-F (G) je přibližně o 10 °C nižší než u bílého EPS-F (cca 70 °C).

3.4 Odolnost omítek vůči krajním teplotním a vlhkostním vlivům

Je třeba zvážit případné reakce tenkovrstvé omítky s ohledem na vlhkostní, tepelné a jiné vlivy při její přípravě a zpracování. Jelikož se vnější tepelněizolační kompozitní systémy realizují po celou dobu stavební sezóny, je třeba si uvědomit, že jednotlivé vlivy se mohou navzájem posilovat (například vyšší teplota a současně vyhřátý podklad, nízká teplota a současně zvýšená vzdušná vlhkost). Zvýšená vlhkost vzduchu a nižší teploty vzduchu mohou podstatně ovlivnit dobu zrání omítky a způsobit nerovnoměrnost výsledného odstínu. Například materiálové složení silikátových omítek a přirozená chemická reakce při jejich zrání způsobuje, že silikátové omítky jsou velmi citlivé na podmínky provádění. Teplota vzduchu a podkladu by se při provádění měla pohybovat

v rozmezí 8 °C až 25 °C a vzdušná vlhkost do 60 %. V následující tabulce jsou pro zjednodušení a přehlednost uvedeny základní vlastnosti materiálových bází omítek, se zaměřením na chování ve vnějším prostředí a na podmínky provádění. [22]

Tabulka 1 - Orientační přehled vlastností vybraných druhů omítek [22]

Vlastnosti	Druh omítky			
	Akrylátová	Silikátová	Silikonová	Minerální
Prodyšnost	***	*****	****	*****
Nenasákavost	****	***	*****	*
Odolnost proti mikroorganismům	***	*****	***	****
Flexibilita	*****	***	*****	*
Odolnost vůči krajním teplotním a vlhkostním vlivům	*****	***	*****	***
Odolnost vůči znečištění	**	**	***	*
Paropropustnost	*	***	***	***
Pro hodnocení je použita varianta počtu bodů (hvězdiček). Jedna hvězdička vyjadřuje, že posuzovaná vlastnost je základní (čím více hvězdiček, tím lepší odolnost).				

3.5 Difuzní parametry

Difuzní parametry různých materiálových bází omítek lze porovnávat podle faktoru difuzního odporu (viz Tabulka č. 2). Na difuzní vlastnosti omítky má největší vliv poměr mezi plnivem a pojivem. Pokud je v omítce konstantní množství disperze (pojiva), bude se její difuzní propustnost zvyšovat s růstem obsahu pojiva. Pigment sice také ovlivňuje difuzi, ale v menší míře. Větší roli tedy zastává hrubost zrna (kameniva), struktura omítky a tloušťka vrstvy omítky. [22]

Tabulka 2 - Porovnávání faktoru difuzního odporu tenkovrstvých omítek [22]

Materiálová báze omítky	Struktura omítky (barva)	Faktor difuzního odporu (μ)
Silikonová	Zrnitá 2 mm (bílá)	100–130
Akrylátová	Zrnitá 2 mm (bílá)	110–140
Silikátová	Zrnitá 2 mm (bílá)	30–50

3.6 Mechanismus biotického napadení fasád

Mikroorganismy napadající fasády jsou primárně plísně a řasy, později se mohou objevit lišejníky, bakterie, nebo mechy. K jejich vývoji je mimo jiné potřebná vlhkost, přístup k živinám, které představují např. uhlík, dusík, fosfor, střední teplota a neutrální nebo téměř neutrální pH. Z pozorování vyplývá, že výskyt mikroorganismů je častější v budovách izolovaných pěnovým polystyrenem. Důvodem může být vysoký difúzní odpor a nízká propustnost vodních par materiálem. V důsledku těchto vlastností nedochází prakticky k pohybu vlhkosti mezi omítkou a konstrukční stěnou. Nadměrná voda tak nemůže migrovat stěnami budovy, což pak vede k nahromadění vlhkosti v dutinách vnější omítky. Použití tepelné izolace také omezuje přenos tepla ve vnější stěně. Během topného období na podzim a v zimě zůstávají fasádní plochy zateplených budov chladnější než v případě neizolovaných budov. Nelze tedy očekávat, že vlhkost bude sušena teplem zevnitř. Navíc se omítky vyznačují nízkou tepelnou kapacitou, mohou se rychle zahřívat a rychle ochladit. To může přispět k výskytu rosného bodu, a tudíž ke kondenzaci vodní páry na povrchu. Tenkovrstvé akrylátové omítky nemají žádnou přirozenou ochranu proti mikroorganismům a přidané biocidní látky ztratí své vlastnosti již po několika letech. Silikátové omítky ztrácejí svou ochrannou alkalickou vlastnost v průběhu času. Kromě toho bude systém nanášení omítek pravděpodobně ovlivněn mnoha chybami v provedení, a to nejčastěji u obtížných míst, kterými jsou například spáry mezi dekorativními prvky budovy, nebo oblasti okolo soklů.

Dalším faktorem, který může mít nepříznivý účinek na vznik a rozšíření mikroorganismů na fasádách, je absence environmentální analýzy umístění budovy, což má za následek nesprávný výběr omítky, která nemůže splnit podmínky týkající se trvanlivosti. Pro udržení trvanlivého nátěru se doporučuje každých 5 let kontrolovat technický stav budovy a fasádu čistit, zejména v oblastech se silným znečištěním vzduchu. Omítky

v tmavších barvách a hrubé struktuře s mnoha dutinami podporují absorpci světelné energie, urychlují stárnutí a zadržují vlhkost a dopravní prach. V důsledku toho je takový substrát snadno kolonizován spory řas, které se šíří ve vzduchu. Biotické napadení obvykle začíná na severní a západní straně. Díky menšímu vystavení slunečnímu záření zde mikroorganismy nacházejí substrát s vyšší vlhkostí a příznivou teplotou. Organické sloučeniny, např. uhlík, získávají ze vzduchu nebo znečištění usazeného na fasádách. Řasy nebo lišejníky (houby žijící v symbióze s řasami) jsou autotrofní organismy, často označované jako průkopnické druhy, které se snadno přizpůsobí měnícím se povětrnostním podmínkám. [13]

Viditelné známky přítomnosti organismů na fasádách jsou:

- vzhled těžko odstranitelných zelených a tmavých skvrn
- výskyt nazelenalých, hnědých a v některých případech černých výrůstků
- místní drobení a praskání omítky

4 Ochranné přípravky proti biotickému napadení

4.1 Fungicidní přípravky

Fungicidy jsou účinné přípravky proti houbovým chorobám, které se používají nejen pro likvidaci plísní na již napadených objektech, ale především jako preventivní ochrana. Obecně jsou fungicidy jednou ze skupin pesticidů. Pojem pesticid je používán jako souhrnné označení látek používaných k potlačování a zabíjení pro člověka nežádoucích organizmů.

Dle nařízení EP a Rady (EU) č. 649/2012 zahrnuje pojem pesticidy: a) „přípravky na ochranu rostlin“, tak jak jsou definovány nařízením č. 1107/2009, b) biocidní přípravky (biocidy), definované podle směrnice č. 98/8/ES jako: „účinné látky a přípravky obsahující jednu nebo více účinných látek ve formě, v níž jsou dodávány uživateli, určené k hubení, odpuzování, zneškodňování, zabránění účinku či jinému regulačnímu účinku na jakýkoliv škodlivý organizmus chemickým a biologickým způsobem“ a dále dezinfekční prostředky, insekticidy a parazitocidy podle směrnic 2001/82/ES a 2001/83/ES. Chemické, ale i některé biologické prostředky na ochranu proto spadají pod pojem pesticidy.

Fungicidy jsou jednou ze skupin pesticidů a jsou určeny k likvidaci a potlačování hub, resp. hub a houbám podobných organismů (například řasovky známé také jako oomycety). Desítky článků poukazují na fakt, že fungicidy jsou látky k hubení hub napadající pouze rostliny, což není tak úplně správně. Fungicidy jsou sice určeny k hubení hub, ale určitě nejen těch, které napadají rostliny. Používány jsou např. i v humánní a veterinární medicíně, ve stavebnictví jako ochrana dřeva, nátěrové hmoty. Správně definovat pojem fungicid nemusí být vzhledem k výše uvedenému úplně samozřejmé, můžou být chápány jako chemické látky působící proti houbovým bakteriím a virům. [23]

4.2 Algicidní přípravky

Algicidy jsou také jednou ze skupin pesticidů, které mají za úkol eliminaci růstu a rozmnožování nežádoucích zelených a hnědých řas. Anorganické algicidní látky často fungují na principu toxicity těžkých kovů, které ve své struktuře obsahují (měď, zinek, stříbro), nebo jde o látky oxidující, vysoce reaktivní (např. NaOCl). Nebezpečí těchto látek spočívá především v neselektivních účincích (nepůsobí jen proti autotrofním organismům) a v zátěži ekosystému – zvláště pak sedimentu, kde se mohou kumulovat těžké kovy či jiná toxická residua těchto sloučenin. Nejrozšířenějším algicidem vůbec je pravděpodobně modrá skalice ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Bezsporu největší výhodou je nízká cena a rychlý účinek. Zajímavou možností jak inhibovat růst řas je aplikace peroxidu vodíku, který na rozdíl od většiny anorganických látek nevnáší do ekosystému žádné kovy, a navíc reaguje velice rychle za vzniku netoxických produktů (kyslíku a vody). Aby došlo k zamezení vnosu toxických kovů do prostředí, klade se důraz na používání organických biocidních sloučenin. Ty jsou založeny na inhibici fotosyntézy řas a rostlin a tím zamezují jejich růstu. Mezi nejefektivnější patří kvartérní amoniové soli, glyfosát apod. [24]

4.3 Preventivní ochrana před napadením

Většina fasádních barev a omítkovin, které jsou dnes volně dostupné na trhu již obsahují základní koncentraci fungicidních a algicidních složek, které se postupně uvolňují po dobu několika let a slouží tak jako preventivní ochrana a předcházení výskytu biotického napadení na fasádách.

4.4 Obnova ochrany omítky před biologickým napadením

Zejména v oblastech se zvýšeným rizikem biologického napadení fasády se v závislosti na konkrétních místních podmínkách (jako jsou např. lokální mikroklima, častý výskyt mlh, blízkost vodních ploch, množství a druh blízké vegetace, expozice stavby povětrnostním vlivům, tvary a rozměry říms a klempířských výrobků odvádějících srážkovou vodu od líce fasády apod.) doporučuje v pravidelných intervalech obnovovat funkčnost ochrany omítky před biologickým napadením. Mimo to je třeba fasádu omýt biocidním prostředkem a opatřit nátěrem se zvýšenou biocidní ochranou bezprostředně po zjištění prvních příznaků biologického napadení. Konkrétní postup by měl vycházet z odběru vzorku biologického napadení z fasády stěrem, identifikace odbornou laboratoří a volby odpovídajícího chemického prostředku. [25]

5 Metodika stanovení rizika napadení fasád s ETICS mikroorganismy

Od konce roku 2017 existuje certifikovaná metodika stanovení rizika napadení fasád s ETICS mikroorganismy, kterou společně zpracovali ČVUT v Praze s firmou Stachema CZ s. r. o. Metodika byla vypracována v rámci projektu TAČR TA 04010837 s názvem „Vývoj nových materiálů a technologií pro údržbu a rekonstrukci budov s aplikovanými kontaktními tepelně – izolačními systémy obvodových plášťů (ETICS)“ a je určena odborné veřejnosti.

Tato metodika určuje postup a kritéria pro stanovení nutnosti biocidního zásahu na omítkovinách, které jsou součástí povrchové úpravy kontaktních zateplovacích systémů formou bodového ohodnocení zkoumané fasády z hlediska biotického rizika napadení vnějších plášťů. Metodika stanovuje přesný postup hodnocení biotické odolnosti vnějších plášťů budov. [26]

Postup je rozdělen do tří kroků:

1. **Vizuální a technická diagnostika** – první krok hodnotí vliv vnějších činitelů, které negativně působí na povrch fasády. Zmapují se vnější činitelé způsobující riziko růstu mikroorganismů na ETICS (vliv umístění objektu), provede se technický průzkum zkoumaného objektu (zjištění z čeho se povrchová úprava budovy skládá – typ a zrna omítkoviny, stáří povrchové úprav, přítomnost trhlin, případně použití biocidů v omítkovině) a následně se vizuálně zhodnotí zkoumaný objekt.

2. **Stanovení nasákavosti a vlhkosti fasády** – v případě vyššího stupně nebezpečí je doporučeno měření povrchové vlhkosti na fasádě. Testy se provádějí pro každou fasádu, dle její orientace zvlášť. Na každé fasádě bude min. 5 testů v místech, která nevykazují přítomnost trhlin a min. 24 hodin bez deště. Nasákavost bude zjištěná příložným vlhkoměrem nebo gravimetricky z odebraného vzorku omítek (% hm.). Nasákavost se stanovuje jako množství vody C proniklé do finální úpravy naměřené pomocí Karstenové trubice.
3. **Zmapování mikroorganismů** na vnějších fasádách a jejich životního stádia.

5.1 Hodnocení výskytu mikroorganismů

Metoda kvantifikace mikroorganismů vyskytujících se na vnějších fasádách z granulátu. Míra nebezpečnosti výskytu mikroorganismů je dána počtem mikroorganismů na 1 g granulátu a udává se v jednotkách KTJ/g.

5.1.1 Pracovní pomůcky potřebné k odebrání granulátu

Hliníková potravinářská folie nebo čisté odběrové nádoby, čistý štětec, 70 % etanolu, špachtle s listem z nerezové oceli, kompas (určení míst odběru vzhledem ke světovým stranám), metr (výběr místa odběru vzhledem k doporučení při odběru obrusu), nesmyvatelný popisovač.

5.1.2 Vlastní odběr granulátu

Místa pro odběr granulátu je třeba vybrat tak, aby byla zdokumentovaná alespoň jedna strana fasády. Doporučuje se začít s odběrem asi 1,5 m od země na severní nebo severozápadní straně a pak v rámci možností v pravidelných rozestupech pokračovat po celé fasádě a odebrat 4–6 vzorků. Je třeba se vyvarovat odběru v místech viditelného znečištění (tmavá a vlhká místa, s koloniemi pavouků). Vybrané místo se zdokumentuje (světová strana, metrika umístění, fotodokumentace) a před sběrem materiálu se čistým štětcem odstraní vnější prach včetně většiny neaktivních spor. Čistou špachtlí, která se dezinfikuje v 70 % etanolu, se provede odběr alespoň 0,5–1 g granulátu obrusem. Tento materiál se uchová v čisté alobalové folii nebo v čistých odběrových nádobách a předá se odborné mikrobiologické laboratoři, která stanoví počet mikroorganismů na 1 gram granulátu.

5.1.3 Matečná kultura z granulátu

Granulát získaný obrusem se kvantitativně přenese do sterilního fyziologického roztoku (0,8 % NaCl) a to v poměru 1 g granulátu na 4 ml roztoku, suspenze mikroorganismů se dále používá jako matečná kultura pro následující stanovení. [26]

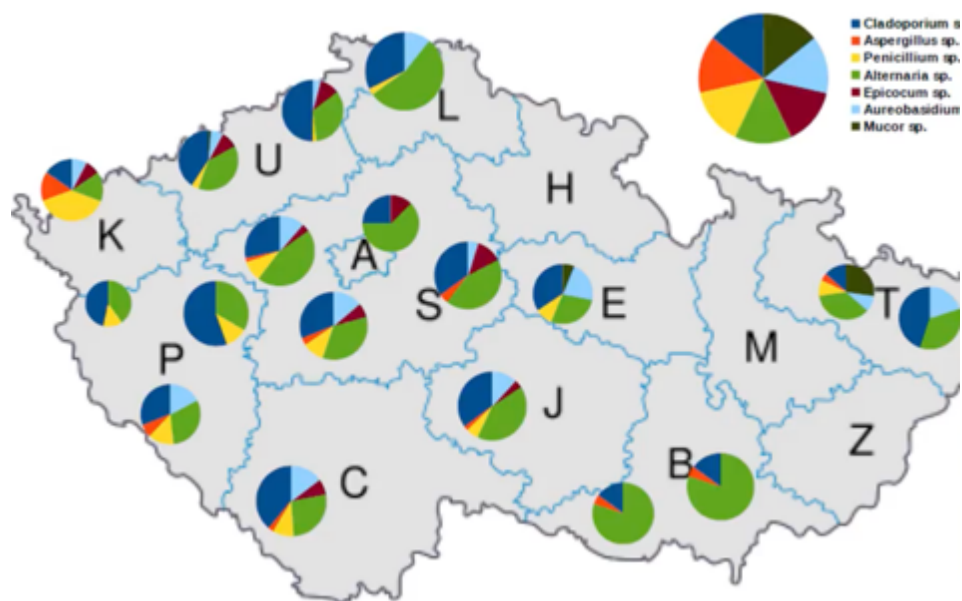
5.1.4 Hodnocení výskytu mikroorganismů na vnějších fasádách

Hodnocení biocidní odolnosti omítkovin se provádí na základě zjištěného množství mikroorganismů (KTJ), který je přepočítán na 1 g granulátu. Doporučené opatření je uvedeno v následující tabulce. V případě, že mikrobiální kultura je složena pouze z jednoho až dvou druhů, doporučuje se provést druhovou identifikaci a stanovit míru patogenity jednotlivých mikroorganismů. [26]

Tabulka 3 - Vyhodnocení množství mikroorganismů v 1 g granulátu [26]

Množství výskytu všech mikroorganismů v závislosti na růstu kolonií na mikrobiologické misce a doporučená opatření		
Intenzita růstu všech mikroorganismů		Doporučené opatření
řasy	ano	Sanace algicidním prostředkem určeným k likvidaci řas, odstranění stavebně rizikových faktorů
bakterie	více než 30 KTJ/g	Sanace biocidním prostředkem vhodným k likvidaci bakterií, odstranění stavebně rizikových faktorů
plísně	více než 30 KTJ/g	Sanace fungicidním prostředkem vhodným k likvidaci plísní, odstranění stavebně rizikových faktorů

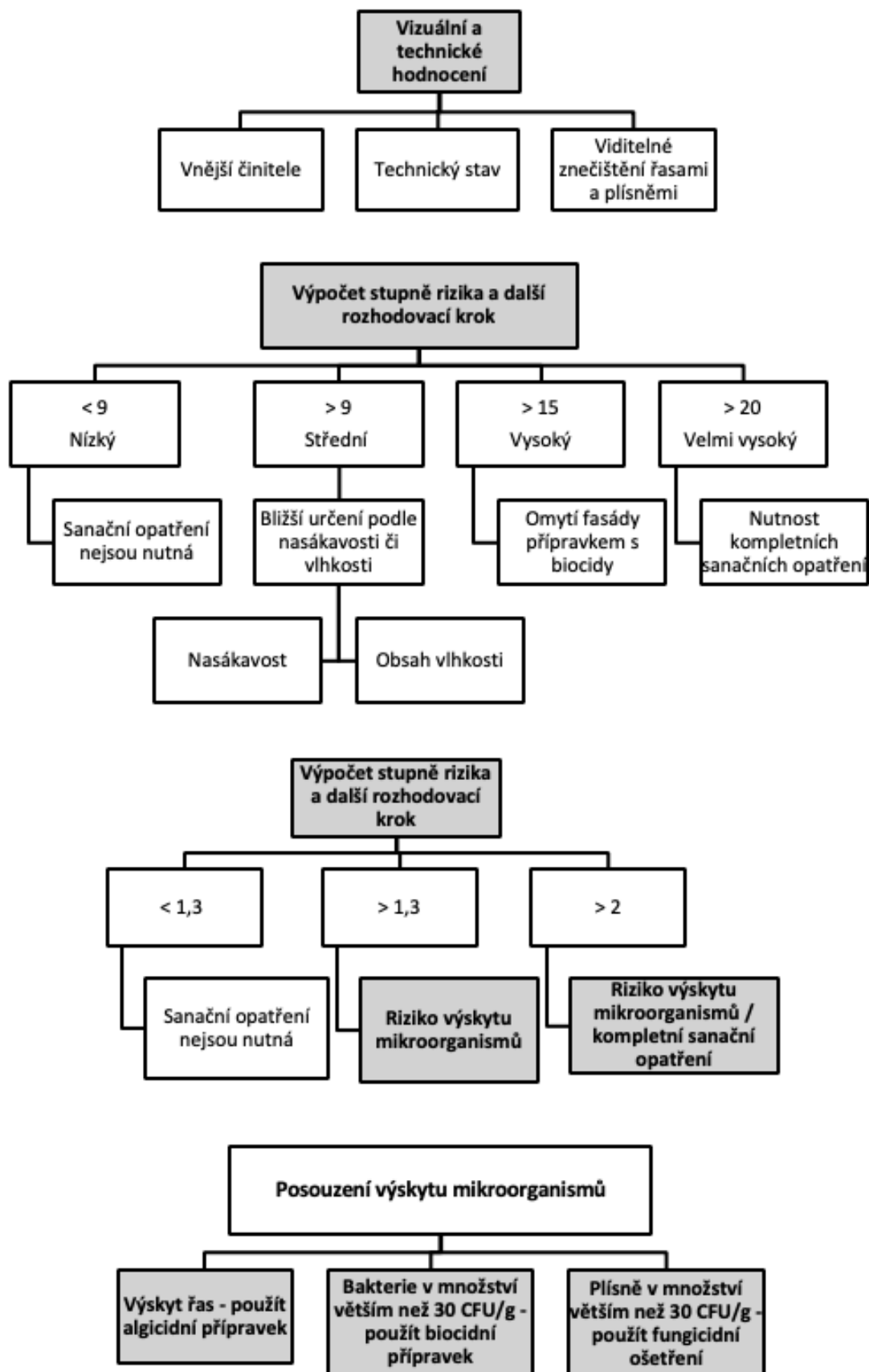
V případě dosažených hodnot uvedených v tabulce č. 3 je vhodné oslovit odbornou firmu ke konzultaci a případně i k provedení sanace. Pokud se na fasádě vyskytují řasy, bakterie i plísně, může být vybrán prostředek, který má schopnost likvidovat všechny uvedené mikroorganismy současně.



Obrázek 9 - Mapa ČR – výskyt biotického napadení na fasádách ETICS [26]

5.2 Uplatnění metodiky

V jednotlivých krocích jsou popsány dílčí postupy a hodnocení, ke kterému je v tabulkách v přílohách metodiky přiřazeno bodové hodnocení. Postup je založen na vyplnění bodového hodnocení do karty rizik podle návodu, a následném výpočtu koeficientu stupně rizika. Podle splnění předchozích kroků se provede vyhodnocení technického stavu ETICS podle Karty rizik s následným uplatněním metodiky (viz obrázek č. 10). [26]



Obrázek 10 - Postup jednotlivých dílčích činností, které hodnotí degradaci vnějších fasád s ohledem na možné riziko výskytu mikroorganismů [26]

II. Praktická část

V této studii byla ověřena upravená metodika růstu plísní a řas na vnějším kontaktně zateplovacím systému ETICS, který je běžně používaný v Evropě a široce dostupný na trhu. Vzorky byly podrobeny laboratornímu zrychlenému růstovému testu za účelem zkoumání vlivu chemického složení (druhu povrchové úpravy), v exteriéru také vlivu světových stran. Zkoušení odolnosti ETICS vůči biotickému napadení bylo prováděno na vzorcích, o předem určeném složení a rozměrech, v laboratorních podmínkách uměle vyvolanou kontaminací materiálu a v exteriéru umělou i přirozenou kontaminací materiálu vzdušným náletem.

Za tímto účelem byly v akcelerovaném růstovém testu použity spóry plísní *Alternaria Alternata* a zárodky zelených řas *Chlorella*, o nichž je známo, že zejména ony jsou zodpovědné za biologickou likvidaci fasád budov v přírodním prostředí. Samotné zkoušení odolnosti ETICS vůči biotickému napadení bylo navrženo v souladu s normou ČSN 72 4310, která definuje zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů.

Na závěr bylo provedeno zhodnocení dosažených výsledků a formulace doporučení, týkající se vhodnosti použití navržené metodiky ve stavební praxi.

6 Optimalizace metodiky navržené v rámci bakalářské práce

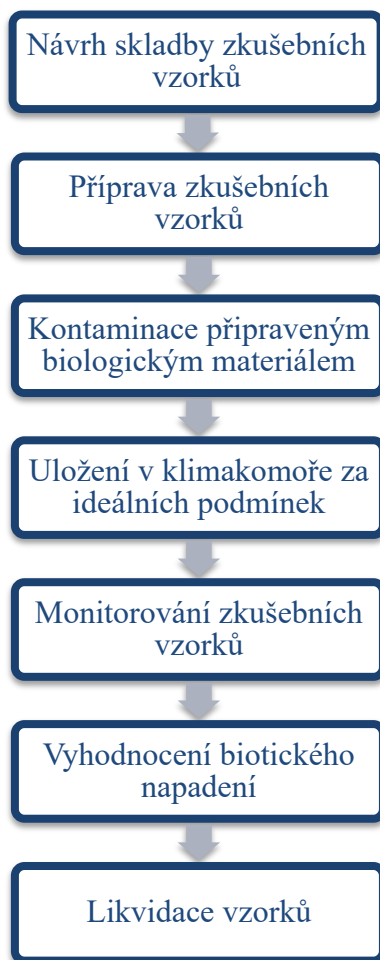
Na základě získaných odborných informací, vlastního studia a získaných praktických zkušeností byla tato metodika, oproti metodice navržené v rámci bakalářské práce, podstatným způsobem přepracována a doplněna.

7 Metodika zkoušení odolnosti ETICS vůči biotickému napadení

Povrchová úprava ETICS vůči biotickému napadení byla testována třemi způsoby:

- Prvním způsobem byla umělá kontaminace materiálu probíhající za laboratorních podmínek a následné uložení v klimakomoře (obrázek č. 11)
- Druhým způsobem testování odolnosti povrchové úpravy byla přirozená kontaminace materiálu probíhající v exteriéru (obrázek č. 12)
- Třetím způsobem testování byla umělá kontaminace materiálu, probíhající za přirozených klimatických podmínek v exteriéru (obrázek č. 12)

Umělá kontaminace probíhající v laboratoři za ideálních podmínek



Obrázek 11 – Umělá kontaminace za ideálních podmínek

Umělá kontaminace probíhající v exteriéru



Přirozená kontaminace v exteriéru



Obrázek 12 – Postup testování v exteriéru umělou kontaminací (vlevo), přirozenou kontaminací (vpravo)

8 Příprava

8.1 Výroba vzorků

První fází praktické části se uskutečnila příprava vzorků, které se skládají ze tří různých typů povrchové úpravy, jmenovitě silikon, silikát a silikon-silikát. Tyto vzorky byly dále podrobeny laboratornímu zrychlenému růstovému testu popsanému v kapitole 10 (nastavení podmínek pro provedení zkoušek). Podle normy ČSN 72 4310 Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním musí mít vzorky minimální rozměr $50 \times 50 \times 10$ mm, maximální rozměr pak $200 \times 200 \times 50$ mm.

8.1.1 Zajištění optimálních laboratorních podmínek

8.1.1.1 Výroba distanční podložky

Prvním krokem výroby vzorků pro práci v interiéru byl uskutečněn 3D tisk distančních podložek z PLA plastu, které zvedají vzorky nad dno Petriho misek a vytvářejí tak prostor pro vyplnění vodou, zajišťující potřebnou vlhkost vložených vzorků, viz obrázek č. 13.

PLA plast

PLA (polylactic acid – kyselina polyléččná) je biologicky plně odbouratelný materiál, vyráběný z kukuřičného nebo bramborového škrobu či z cukrové třtiny. Je stále více průmyslově využíván i pro svou rozpustnost v hydroxidu sodném. PLA je univerzální materiál pro technologii 3D tisku, vhodný i pro tisk relativně velkých předmětů. [27]



Obrázek 13 - Distanční podložka z PLA

8.1.1.2 Nanesení základní vrstvy

Na vyrobené distanční podložky byla nanášena první vrstva (obrázek č. 14), tvořená z lepidla vhodného pro ETICS, která vytváří u testovaných vzorků základní vrstvu.

Příprava

Hmota byla připravena postupným vmícháním potřebného množství suché směsi do přesně odměřeného množství čisté vody pomocí nástavce na ruční vrtačce. Doba míchání byla 2–5 minut. Přesné množství vody pro záměs odpovídalo doporučenému množství uvedenému na obalech, nebo v technických listech produktů daného výrobce. Nanášená hmota se uhladila nerezovým hladítkem. Pro aplikaci dalších povrchových úprav na základní vrstvu ETICS bylo třeba dodržet technologickou přestávku 3–5 dní (jak se uvádí v technických listech produktů daného výrobce).



Obrázek 14 - Nanesení základní vrstvy

8.1.1.3 Nanesení penetrační vrstvy

Po aplikaci základní vrstvy a potřebné technologické přestávce byla nanесena penetrační vrstva za pomoci válečku na jednotlivé vzorky. Funkcí penetrace je sjednocení nasákavosti podkladů, zpevnění nesoudržných podkladů a zvýšení přilnavosti pro další vrstvy povrchové úpravy.

Příprava

Před nanášením bylo potřebné penetrační vrstvu, stejně jak tomu bylo u základní vrstvy, důkladně promíchat pomocí nástavce na ruční vrtačce. Byly dodrženy poměry ředění, které udávaly jednotlivé technické listy od výrobců. Nátěr byl nanесen rovnoměrně doporučeným způsobem, za pomoci štětce.

8.1.1.4 Povrchová úprava

Na napenetrované vzorky byly nanесeny zvolené testované druhy omítek (obrázek č. 15). Od každého typu omítky bylo vytvořeno celkem 6 vzorků (3 testované na odolnost proti plísním a 3 proti napadení řasou). V tabulce č. 4 jsou popsány všechny použité druhy omítek pro testování biotického napadení systému ETICS v interiéru. Celkem bylo vyrobeno 48 vzorků. Byly zvoleny omítky, které patří mezi nejprodávanější na českém trhu. Jejich příprava a postup nanесení byl v souladu s doporučením a technickými listy jednotlivých výrobců.



Obrázek 15 – Povrchová úprava testovaných vzorků v optimálních laboratorních podmínkách

Tabulka 4 - Seznam použitých omítek v optimálních laboratorních podmínkách

Označení Vzorků	Typ omítky	Zrnitost [mm]	barva	Odolnost vůči biotickému napadení	
A	A1	silikon	1,5	bílá	Ano
	A2	silikon- silikát	1,5	bílá	Ano
	A3	silikon	1,5	bílá	Ne
	A4	silikát	1,5	bílá	Ano
B	B1	silikon	1,5	bílá	Ne
	B2	silikát	1,5	bílá	Ne
	B3	silikon	1,5	bílá	Ne
C	C1	silikon	1,5	bílá	Ano

8.1.1.5 Rozměry vzorků

Vzorky testované v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách byly navrženy pro svou práci v Petriho miskách, majících průměr 9,0 cm. Pro maximální využití velikosti těchto misek, byly navrženy a vyrobeny vzorky o průměru 8,5 cm, viz obrázek č. 16, (zbývajících 0,5 cm se získal volný prostor pro usnadnění manipulace). Vzorky byly vysoké 1,2 cm, testovaná plocha byla vysoká 0,4–0,5 cm a distanční podložka pod ní 0,6 cm (tento prostor byl před zahájením testování vyplněn vodou, pro udržování požadované vlhkosti).



Obrázek 16 - Rozměry testovaných vzorků pro interiér

Zkušební vzorky byly přemístěny na laboratorní pracoviště šetrným způsobem, aby nedošlo k jejich mechanickému, chemickému nebo biologickému narušení. Výroba probíhala ve spolupráci s firmou Stavebniny DEK a.s.

8.1.2 Referenční vzorky

Jako referenční vzorky byly použity Petriho misky s obsahem Czapek-Doxovy půdy (obrázek č. 17), které byly poskytnuty laboratořemi Masarykovy univerzity, dodávaly také potřebné živiny mikroorganismům, pro jejich růst.

8.1.2.1 Příprava standardních živných půd – Czapek-Doxova půda

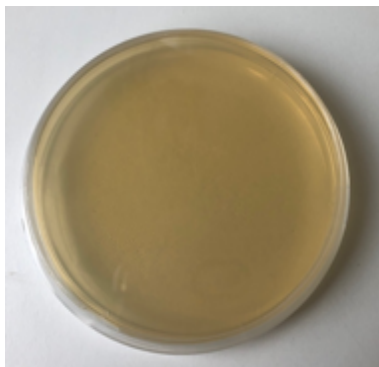
Složení:

- 3 g dusičnanu sodného NaNO_3
- 1 g primárního fosforečnanu draselného KH_2PO_4
- 0,5 g síranu hořečnatého krystalického $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 0,5 g chloridu draselného KCl
- 0,01 g síranu železnatého krystalického $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 30 g sacharózy
- 1000 ml destilované vody

Postup:

30 g sacharózy se rozpustí v 1000 ml destilované vody. Po rozpuštění se přidá 25 g proprané agarové řasy a rozvaří se v proudící páře, pH se upraví na 6,0 až 6,2. Směs se sterilizuje v autoklávu 30 minut při 0,1471 MPa nebo přerušovaně v proudící páře. Rozlévá se do Petriho misek. K přípravě Czapek-Doxovy půdy lze použít místo sacharózy stejného množství glukózy. Při této aplikaci je třeba glukózu rozpustit ve 100 ml destilované

vody, sterilizovat ji zvlášť filtrací nebo frakcionovanou sterilizací v proudící páře a sterilní roztok glukózy smíchat s rozehrátou a asi na 45 až 50 °C ochlazenou půdou, těsně před jejím rozlíváním do Petriho misek. Agarová báze se pak připravuje rozpuštěním jednotlivých jejích součástí v 900 ml destilované vody. [28]



Obrázek 17 - Czapek-Doxova půda (referenční vzorek)

Jako další referenční vzorky pro stanovení relativního růstu testovaných vzorků posloužily lékařské dřevěné špachtle (obrázek č. 18), které stejně jako vzorky zateplovacího systému, leží na distanční podložce. Srovnávací materiál byl vybrán, aby reflektoval stavebnímu materiálu.



Obrázek 18 - Dřevěné špachtle (referenční vzorek)

8.1.3 Práce v exteriér

8.1.3.1 Výroba nosné konstrukce

Pro testování v exteriéru byla nejdříve navržena a vyrobena nosná konstrukce, sestavena z dřevěných trámů, viz obrázek č. 19.



Obrázek 19 - Dřevěná nosná konstrukce

8.1.3.2 Volba tepelného izolantu

Jako tepelný izolant byl zvolen fasádní expandovaný polystyren EPS 70 F (obrázek č. 20) o tloušťce 8 cm, který byl přilepen k OSB deskám a následně ukotven k nosné konstrukci. Jedná se o nejpoužívanější desky pěnového EPS, používaného pro kontaktní zateplovací systémy ETICS. Výrobce deklaruje dlouhou životnost, ekologickou a zdravotnickou nezávadnost, trvalou odolnost proti vlhkosti i biologickou neutrálnost. Materiál splňuje požadavky na ETICS podle normy EN 13500, ETAG 004 a dále požadavky Kvalitativní třídy A dle CZB (Cech pro zateplování budov). Trvalá zatížitelnost v tlaku max. 1200 kg/m² při deformaci <2 %. [29]



Obrázek 20 - použitý polystyren EPS 70 F

8.1.3.3 Nanesení základní vrstvy

Na tepelný izolant byla nanесena 4 mm tlustá základní vrstva, skládající se z lepidla a výztužné tkaniny (skleněné síťoviny), viz obrázek č. 21.



Obrázek 21 - Nanesení základní vrstvy (mokrý stav – vlevo, suchý stav – vpravo)

8.1.3.4 Nanesení penetrační vrstvy

Na základní vrstvu byla nanesena penetrační vrstva. Penetrace má funkci sjednotit nasákavost podkladů, zpevnit nesoudržné podklady a zvýšit přilnavost pro další vrstvy povrchové úpravy.

8.1.3.5 Povrchová úprava

Na takto připravené vzorky byla nanesena finální vrstva testovaných druhů omítek (obrázek č. 22) od níže zmíněných výrobců. V tabulce č. 5 jsou popsány všechny použité druhy omítek pro testování biotického napadení systému ETICS v exteriéru. Povrchové úpravy byly realizovány v bílé barvě se zrnitostí 1,5 mm. Celkem byly vyrobeny od každé povrchové úpravy 3 testované oblasti na umělou kontaminaci a 1 testovaná oblast na přirozenou kontaminaci (8 testovacích oblastí od jedné povrchové úpravy). Celkem bylo tedy vyrobeno 120 testovacích oblastí, kdy umělou kontaminací prošlo 90 testovacích oblastí, přirozenou kontaminací 30 testovacích oblastí. Byly zvoleni výrobci, kteří nabízejí omítky patřící mezi nejprodávanější na českém trhu. Jejich příprava a postup nanesení byl v souladu s doporučením a technickými listy jednotlivých výrobců.



Obrázek 22 - Nanášení jednotlivých povrchových úprav

Tabulka 5 - Seznam použitých omítek pro práci v exteriéru

Označení Vzorků	Typ omítky	Zrnitost [mm]	barva	Odolnost vůči biotickému napadení	
A	A1	silikon	1,5	bílá	Ano
	A2	silikon-silikát	1,5	bílá	Ano
	A3	silikon	1,5	bílá	Ne
	A4	silikát	1,5	bílá	Ano
B	B1	silikon	1,5	bílá	Ne
	B2	silikát	1,5	bílá	Ne
	B3	silikon	1,5	bílá	Ne
C	C1	silikon	1,5	bílá	Ano
	C2	silikon-silikát	1,5	bílá	Ne
	C3	silikon	1,5	bílá	Ano
D	D1	silikon	1,5	bílá	Ano
	D2	silikon	1,5	bílá	Ano
	D3	silikon	1,5	bílá	Ano
E	E1	silikon	1,5	bílá	Ano
	E2	silikon	1,5	bílá	Ano

8.1.3.6 Klempířské prvky

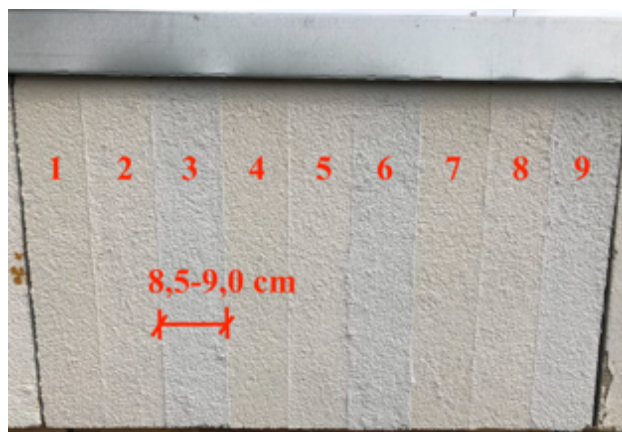
Konstrukce byla opatřena klempířskými prvky z důvodu zamezení případnému zatékání do konstrukce (jedná se o atmosférické vlivy), viz obrázek č. 23.



Obrázek 23 - Klempířské prvky na konstrukci v exteriéru

8.1.3.7 Rozměry vzorků

Na jedné testovací stěně se nachází 7 testovacích vzorků. Na jednom vzorku se nachází 9 různých testovacích oblastí, kdy každá z nich má šířku 8,5–9,0 cm a zastupuje vzorek od jednotlivých vybraných výrobců povrchových úprav, viz obrázek č. 24. Fotodokumentace jednotlivých vzorků se nachází v příloze č. 2.



Obrázek 24 - Vyznačení testovacích oblastí na jednom vzorku

Každý vzorek má šířku 80,5 cm a výšku 50 cm. Vzorky se nacházejí ve výšce 120 cm od země (obrázek č. 25).



Obrázek 25 - Vyznačené rozměry testovacích vzorků pro exteriér

Zkušební vzorky byly dopraveny na pracoviště takovým způsobem, aby nedošlo k jejich mechanickému, chemickému nebo biologickému narušení. Výroba probíhala ve spolupráci s firmou Stavebniny DEK a.s.

8.1.4 Popis jednotlivých druhů omítek

V následujících odstavcích jsou věcně popsány vlastnosti jednotlivých použitých omítek. Vzorky A1–C1 byly použity pro testování odolnosti v interiéru i exteriéru. Vzorky skupin C2–E2 byly testovány z důvodu kapacity laboratorního zařízení pouze za účelem odolnosti v exteriéru.

8.1.4.1 Omítka A1

Jednoduše zpracovatelná probarvená pastovitá omítka obsahující organické pojivo a silikonovou disperzi, je připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Jedná se o konečnou povrchovou úpravu omítkových systémů a kontaktních zateplovacích systémů. Je vhodná pro použití v exteriéru i interiéru. [30]

8.1.4.2 Omítka A2

Jednoduše zpracovatelná tenkovrstvá probarvená pastovitá omítka s progresivním samočisticím efektem. Připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Spojuje všechny výhody silikonových i silikátových pastovitých omítek. Využitím unikátních vlastností nanočástic se všechny nejdůležitější vlastnosti obou omítek umocňují. Omítka je vhodná na vápenocementové, cementové a polymercementové malty, omítky a základní vrstvy zateplovacích systémů ETICS. Omítka je zároveň hydrofobní. Tím zajišťuje, že zůstává na povrchu fasády minimum vody, která jinak utváří dobré živné podmínky pro mikroorganismy, růstu mikroorganismů zabraňuje i velmi malý podíl organických částí. [30]

8.1.4.3 Omítka A3

Tenkovrstvá omítka nové generace regulující vlhkost na povrchu fasády, který dokáže regulovat vlhkost. Po zvlhčení deštěm nebo rosou se zřetelně rychleji vysouší. Vlhkostní režim fasády se udržuje v přirozené rovnováze, takže řasy a plísně zde téměř nenaleznou živnou půdu. Používají se k barevnému ztvárnění a vytvoření strukturovaného povrchu při vytváření nových tradičních i zateplených fasád, jejich rekonstrukcích, modernizacích a renovacích. [30]

8.1.4.4 Omítka A4

Jednoduše zpracovatelná tenkovrstvá probarvená pastovitá omítka s fotokatalytickým efektem. Připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Díky modifikovanému silikátovému pojivu má omítka vlastnosti blízké silikátové omítce, není však tak citlivá na klimatické podmínky při zpracování a zrání. Unikátní receptura omítky s fotokatalytickým efektem zajišťuje dlouhodobou relativní čistotu povrchu omítky a vysoký stupeň ochrany omítky proti růstu mikroorganismů. Přispívá také k lepšímu životnímu prostředí tím, že na povrchu omítky dochází k reakci, která rozkládá zplodiny a sloučeniny, škodící lidskému zdraví, které jsou obsaženy ve vzduchu. [30]

8.1.4.5 Omítka B1

Průmyslově vyráběná tenkovrstvá pastovitá omítka se škrábanou nebo rýhovanou strukturou. Jedná se o součást zateplovacích systémů dle ETAG 004. Je to jednosložková silikonová omítka pastovité konzistence odolávající povětrnostním vlivům, paropropustná, vysoce vodoodpudivá, odolná vůči znečištění, běžně použitelná v exteriéru, omyvatelná. Je snadno zpracovatelná, univerzálně použitelná. [31]

8.1.4.6 Omítka B2

Samočisticí vysoce paropropustná pastovitá omítka s nanokrystalickou strukturou, dlouhodobě odolává přirozenému znečišťování, s fotokatalytickým efektem. Obsahuje inovované minerální pojivo, vodní sklo, minerální plniva, organické pojivo, barevné a bílé pigmenty, mikrovlákná, přísady a vodu. Je to omítka minerální, vysoce odolná klimatickým podmínkám a přirozenému znečišťování, vysoce propustná vodním parám a CO₂, vysychající bez vytváření nepříznivých napětí, vybavená fotokatalytickým efektem, snadno ručně i strojově zpracovatelná. Používá se zejména pro ochranu a estetické ztvárnění fasád. Inovovaná tenkovrstvá omítka pro zateplovací systémy, taktéž vhodná na původní i nové minerální omítky, stěrky anebo beton. [31]

8.1.4.7 Omítka B3

Pastovitá tenkovrstvá omítka s multifunkčním efektem bránícím biologickému znečištění a unikátní recepturou zvyšující efektivitu při zpracování. Je vysoce paropropustná, odolná vůči znečištění, snadno zpracovatelná, použitelná v exteriéru. Extrémně odolná klimatickým podmínkám, voděodolná, s vysokým jasnem, snadno udržovatelná. Zlepšená receptura s rychlejším vysycháním povrchu pro dlouhodobou ochranu proti napadení řasami a plísněmi. [31]

8.1.4.8 Omítka C1 [25]

Silikonová omítka slouží k vytváření finálních povrchových úprav stavebních konstrukcí ve vnějším i vnitřním prostředí. POUŽITELNÁ JAKO KRYCÍ DEKORATIVNÍ A OCHRANNÁ VRSTVA VŠECH TYPŮ VNĚJŠÍCH KONTAKTNÍCH ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ (ETICS). Omítka vykazuje vynikající stálost barev a vynikající odolnost proti špinění povrchu. Zajišťuje velmi paropropustný a vodoodpudivý povrch s vysokou pevností a pružností. [32]

8.1.4.9 Omítka C2

Omítka vytvářející finální povrchové úpravy stavebních konstrukcí ve vnějším i vnitřním prostředí. Vhodná pro povrchové úpravy omítek v sanačních systémech, má vynikající stálost barev, odolnost proti ušpinění povrchu. Zajišťuje velmi paropropustný a vodoodpudivý povrch s vysokou pevností. Při běžných podmínkách je dostatečně odolná vůči houbám, řasám a mechům. [33]

8.1.4.10 Omítka C3

Dekoratívni omítka na bázi hybridní silikonové disperze se strukturou „zrno na zrno“ podobnou škrábané omítce, určená pro povrchové úpravy fasád. Vhodná jako krycí vrstva na kontaktní tepelně izolační systémy a na sanační omítkové systémy. Omítky jsou plněné uhlíkovými vlákny, mají vysokou difúzní schopnost, jsou vodoodpudivé. Díky fotokatalytickému účinku se strukturované omítky vyznačují aktivním samočisticím efektem a zvýšenou ochranou omítky proti primárnímu napadení mikroorganismy (řasami a houbami). Uhlíková vlákna v omítce působí jako rozptýlená výztuž a omítka je díky tomu mimořádně mechanicky odolná. [34]

8.1.4.11 Omítka D1

Tenkovrstvá omítka na bázi silikonu s „rýhovanou“ strukturou. Slouží k vytváření dekorativních omítek na betonových podkladech, tradičních omítkách, při vnitřním použití i na sádrových podkladech, dřevotřískových či sádrokartonových deskách ve vnějším i vnitřním prostředí jako fasádní povrchovou úpravu v kontaktních systémech zateplení budov ETISC za použití desek z polystyrenu anebo minerální vlny. Omítka je vhodná pro použití na místech, kde je žádoucí vysoká paropropustnost, je také poměrně odolná proti biotickému napadení. [35]

8.1.4.12 Omítka D2

Tato tenkovrstvá silikonová omítka slouží ke zhotovení vrstvy ve vyztužené armovací síti v kontaktním systému zateplení budov. Omítka je zvláště vhodná na místa, kde je vyžadována vysoká odolnost proti mechanickému poškození (např. sokly budov, vjezdy garáží, parkoviště apod.). Omítka si udržuje vysokou elasticitu i v podmínkách, kdy běžné omítky vykazují trhliny a praskliny. Obsahuje kombinaci uhlíkových, skelných

a polyakrylamidových vláken, které zvyšují odolnost proti mechanickému poškození a nárazu. [35]

8.1.4.13 Omítka D3

Tenkovrstvá silikonová dekorativní omítka vhodná na použití v místech, kde je žádoucí vysoká paropropustnost spolu s nízkou savostí a vysokou odolností proti znečištění. Je dostupná v široké paletě barevných odstínů, obsahuje aditiva (zapouzdřené kapsle), které díky pozvolnému uvolňování zaručují, že omítka je dlouhodobě chráněna proti biologickému napadení. [35]

8.1.4.14 Omítka E1

Probarvená pastovitá omítka obsahující organické pojivo a silikonovou disperzi, připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Je vhodná pro použití do exteriéru i interiéru, tvoří konečnou povrchovou úpravu omítkových a kontaktně zateplovacích systémů. Na omítku byl následně nanesen jednosložkový nátěr, zajišťující vyšší odolnost vůči biotickému napadení, znečištění fasád i vyšší paropropustnost. [30]

8.1.4.15 Omítka E2

Pastovitá silikonová omítka obsahující organické pojivo, připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Tvořící konečnou povrchovou úpravu omítkových a kontaktně zateplovacích systémů jak v exteriéru, tak i v interiéru. Na omítku byl nanesen dvousložkový nátěr, zajišťující vyšší odolnost vůči biotickému napadení, znečištění fasád i vyšší paropropustnost. [30]

8.2 Příprava mikrokultur

8.2.1 Příprava suspenze plísní

Na základě studia byl proveden výčet nejčastěji se vyskytujících plísní na stavebních materiálech, kterými jsou:

- *Alternaria tenuis*
- *Alternaria alternata*
- *Cladosporium cladosporioides*
- *Trichoderma viride*

Pro účely této diplomové práce testování biotického napadení ETICS byla vybrána Kultura CCM F-397 *Alternaria alternata* syn. *A. tenuis*.

První testovací mikroorganismy, konkrétně plísně kmene *Alternaria alternata*, byly zakoupeny na vědecké fakultě Masarykovy univerzity, obor experimentální biologie, Česká sbírka mikroorganismů Brno. Zde byly samostatně vypěstovány a uloženy po dobu 25 dní. Od zahájení kultivace byla suspenze připravena za 3 týdny.

Kultura *Alternaria alternata* syn. *A. tenuis* byla na fakultě Masarykovy univerzity, obor experimentální biologie, Česká sbírka mikroorganismů Brno nejdříve oživena, pro zjištění její plodnosti. Po jejím zjištění následovala příprava suspenze spor, která vycházela z normy ČSN 72 4310 Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním, podle této normy se zjišťuje odolnost nebo stupeň intenzity plísňového napadení stavebních výrobků a materiálu.

Čisté kultury plísní byly uchovány ve zkumavkách na živné půdě Czapek-Dox (příprava viz odstavec 11.1.2.1.) ve zkumavkách. Po sterilizaci byly zkumavky položeny do šikmé polohy, aby se vytvořil klínek živné půdy, na jehož plošku se pak inokulovaly (očkovaly) plísně. Živná půda se nesměla dotýkat zátky. Přeočkování čistých kultur se provádělo přenesením spor očkovací jehlou z čisté kultury staré maximálně 1 měsíc, na sterilní živnou půdu při zachování sterilních podmínek. Očkování se provádělo v očkovacím boxu. Potom se zkumavky uložily do termostatu, kde se při teplotě 28 ± 2 °C nechaly do vysporulování kultur. Dále byly tyto kultury uchovány ve vhodném chladícím zařízení při teplotě v rozmezí 5 až 10 °C.

Příprava spórové suspenze

Spórová suspenze byla připravena v pitné vodě z určených kultur plísní dobře vysporulovaných (ne starších 28 dní) tak, že se do zkumavky s plísní přidal 1 ml pitné vody, prudce se zatřepala zkumavka a kapalina se rychle slila do vhodné nádobky s hrdlem s gumovou zátkou. Tato příprava musí probíhat relativně rychle, aby se do připravené kapaliny neuvolnily živné látky z agaru. Takto připravené spórové suspenze nesmí být starší 2 hodiny od jejich přípravy. Výsledná koncentrace spor v 1 ml roztoku byla v rozmezí $1-2 \times 10^6$. [28]

Pro testovanou plochu vzorků do exteriéru i ideálních laboratorních podmínek bylo potřeba 50 ml suspenze spor k přímému použití. Takto připravená suspenze byla uchována v teplotě 5 až 10 °C po dobu 3 dnů, následně byla suspenze převezena na místo aplikace ve skleněné nádobě s uzávěrem (ve které probíhala také její kultivace) v chladícím boxu. Požadované snížené teploty bylo docíleno pomocí předem vychlazených médií.

8.2.2 Příprava suspenze řas

Na základě publikovaných informací byl sepsán výčet nejčastěji vyskytujících se řas na stavebních materiálech:

- *Desmococcus vulgaris*
- *Apatococcus fuscideae*
- *Apatococcus lobatus*
- *Pleurococcus*
- *Chlorella vulgaris*
- *Stichococcus bacillaris*

Pro účely této diplomové práce testování biotického napadení ETICS byla vybrána rod *Chlorella*, pro jeho běžné využívání při testování různých stavebních materiálu na antialgální aktivitu.

Druhé testovací mikroorganismy, řasy *Chlorella vulgaris*, byly získány Technickou univerzitou v Liberci, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. Zde byly samostatně vypěstovány a uloženy po dobu 35 dní pro svůj nárůst. Od zahájení kultivace byla kultura připravena za 4 týdny.

Čisté kultury řas byly uchovány na standardní živné půdě Sladinkového agaru ve zkumavkách.

Příprava standardních živných půd – Sladinkového agaru:

Do 1000 ml čerstvé sladiny upravené na měrnou hmotnost 1,04014 se přidá 25 g proprané agarové řasy a rozvaří se v proudící páře. Upraví se pH na 5,2 až 5,5 a směs se znovu povaří v proudící páře asi 1 hodinu. Filtruje se vatou, rozdělí se v potřebných množstvích do vhodných nádobek a sterilizuje se v proudící páře přerušovaně tři dny po sobě vždy po 30 minutách. Není-li k dispozici čerstvá sladina, lze sladinkový agar připravit i ze zahuštěných sladinkových extraktů, které nejsou konzervovány a které se příslušně zředí.

Po sterilizaci se čisté kultury řas naočkovaly pomocí očkovacích jehel v očkovacím boxu. Naočkované kultury byly uloženy v nádobách vhodných na jejich kultivaci v kultivačním boxu při teplotě 20 ± 2 °C, kde se nechaly do jejich nárůstu biomasy.

Pro testovanou plochu vzorků do interiéru i exteriéru bylo potřeba 100 ml suspenze inokula k přímému použití. Takto připravená suspenze byla převezena na místo testování ve sterilních kultivačních lahvích s hydrofobním povrchem obsahující membránový filtr ve víčku, pro zajištění optimální výměny plynu s minimálním rizikem kontaminace [36] v chladícím boxu. Kultivační nádoby byly naplněny do poloviny svého objemu, pro zajištění výměny vzduchu přes filtr.

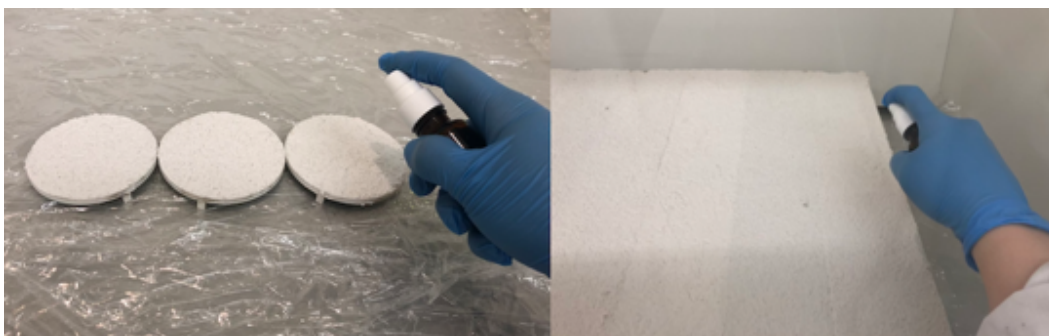
9 Aplikace – kontaminace vzorků biotickým materiálem

Před zahájením kontaminace vzorků se vždy musel obsah nádoby řádně promíchat z důvodu usazenin. Jednotlivé vzorky byly kontaminovány pomocí rozprašovače o obsahu 20 ml biotickým materiálem, který se naplnil z přenosných nádob, ve kterých byl biotický materiál uložen pro potřebu přepravy. Byly použity sterilní injekční stříkačky (obrázek č. 26).



Obrázek 26 - Přesun biotického materiálu pomocí injekční stříkačky

Suspenze spór se nastříkala rozprašovačem na zkoušené vzorky testované v exteriéru, v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách i na živné půdě (obrázek č. 27) tak, aby jednotlivé kapky suspenze na vzorku nesplývaly. Na každých 100 cm² bylo použito ½ ml suspenze. V průběhu postřikování bylo potřebné suspenzi promíchat.



Obrázek 27 - Kontaminace vzorků testovaných v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách (vlevo), v exteriéru (vpravo) rozprašovačem

Funkčnost rozprašovače byla předem otestována v laboratořích Masarykovy univerzity, důvodem bylo řešení určitého nebezpečí ucpávání rozprašovače kousky houbových a řasových vláken, viz obrázek č. 28.



Obrázek 28 - Testování nanášení plísní na stavební materiál v laboratořích MUNI

Celý tento úkon byl prováděn v laboratorní digestoři, vybavené přívodem a odvodem vzduchu, s možností uzavírání předního skla (z důvodu bezpečnosti a ochrany práce při nakládání s biotickým materiálem), viz obrázek č. 29.



Obrázek 29 - Aplikace biotického materiálu v laboratorní digestoři

10 Nastavení podmínek pro provedení zkoušek

Zrychlený růstový test byl prováděn za optimálních laboratorních podmínek pro kultivaci obou kmenů biotického materiálu podle ČSN 72 4310 – Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním a po konzultacích s odborníky z Technické univerzity v Liberci.

10.1 Optimální laboratorní podmínky

Po celou dobu trvání laboratorních zkoušek byla zachována konstantní teplota prostředí 28 ± 2 °C a relativní vlhkosti 96 ± 2 %. Požadované teploty a relativní vlhkosti bylo docíleno pomocí sušárny s garantovaným nastavením potřebné pracovní teploty. Potřebná relativní vlhkost byla získána přítomností destilované vody na dně Petriho misek přiměřené velikosti (průměr 9,0 cm), díky distančním podložkám, které tvořily volný prostor mezi testovanou plochou a dnem Petriho misek. Do každé misky bylo aplikováno 15 ml tekutiny (destilované vody), viz obrázek č. 30, která se v průběhu testování kontrolovala a 1 × doplňovala.



Obrázek 30 - Aplikace destilované vody pomocí plastové stříkačky

Po kontaminaci se všechny vzorky v Petriho miskách uzavřely pomocí parafilmu (transparentní termoplastické krycí fólie zabraňující kontaminace vzorků a samovolnému odpařování tekutiny) a uložily do klimakomory v laboratoři výzkumného Centra AdMaS, viz obrázek č. 31.



Obrázek 31 - Uložení vzorků v sušárně

10.2 Práce v exteriéru

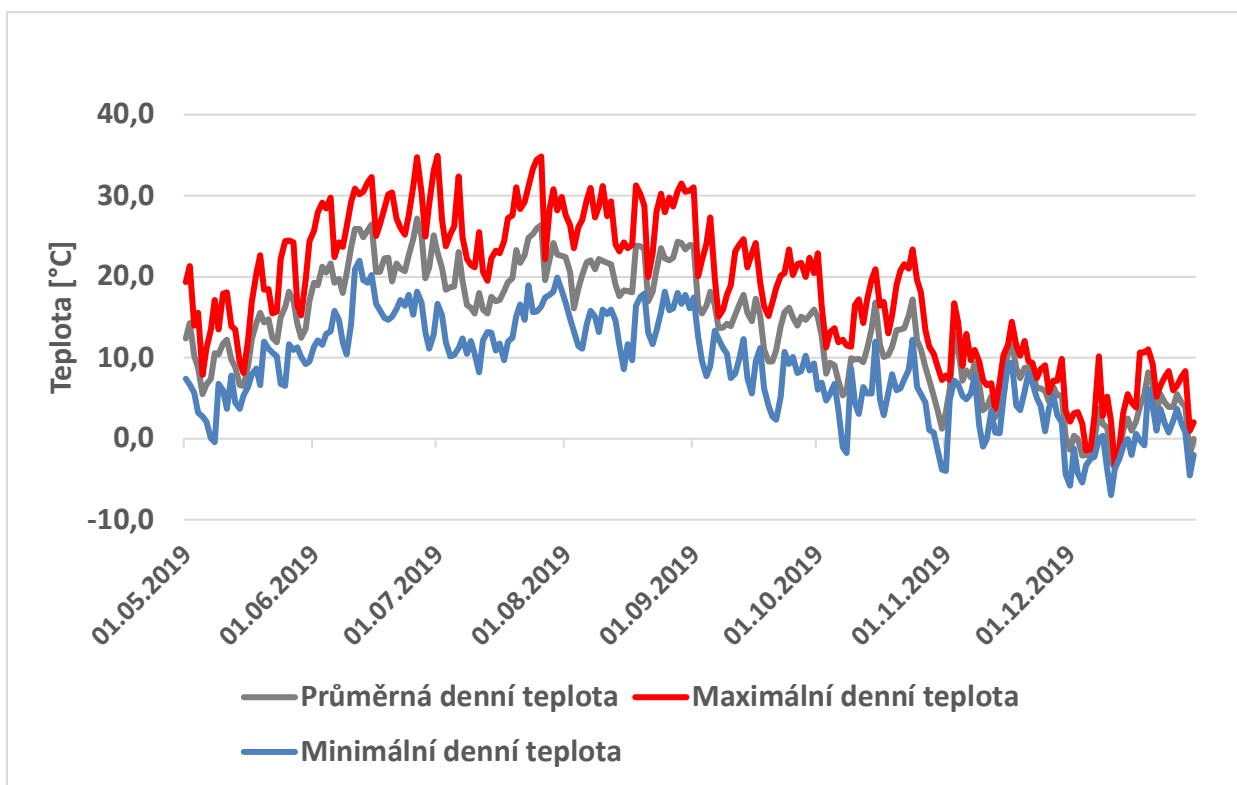
Testovací kampaň „in situ“ proběhla v průběhu intervalu od května 2019 do prosince 2019. Testované vzorky kontaminované biotickým materiálem i vzorky připravené k přirozené kontaminaci v exteriéru byly uloženy na předem určené místo v areálu výzkumného Centra AdMaS, které splňuje potřebné předpoklady. Mezi konkrétní požadavky se řadí vhodná oblast s dostatečným množstvím výživy (zeleně, rostlin) pro podporu růstu mikroorganismů, dále pak vliv světových stran a dostatek volného prostoru pro působení škály klimatických podmínek.

10.2.1 Světové strany

V rámci testování biotické odolnosti zateplovacích systémů ETICS uložených v exteriéru byl také prověřen vliv jednotlivých světových stran. S důrazem na severní a jižní stranu. U severní strany je možno předpokládat intenzivnější výskyt biotického napadení z důvodů kratšího slunečního svitu.

10.2.2 Klimatické podmínky

Meteorologická stanice v areálu výzkumného Centra AdMaS byla vzdálená od místa testování vzdušnou čarou 75 metrů. Měsíční průměry kolísání teplot jsou uvedeny v grafu č.1. Maximální teploty 34,9 °C bylo dosaženo 01. července 2019, minimální teploty -7,0 °C 11. prosince 2019.



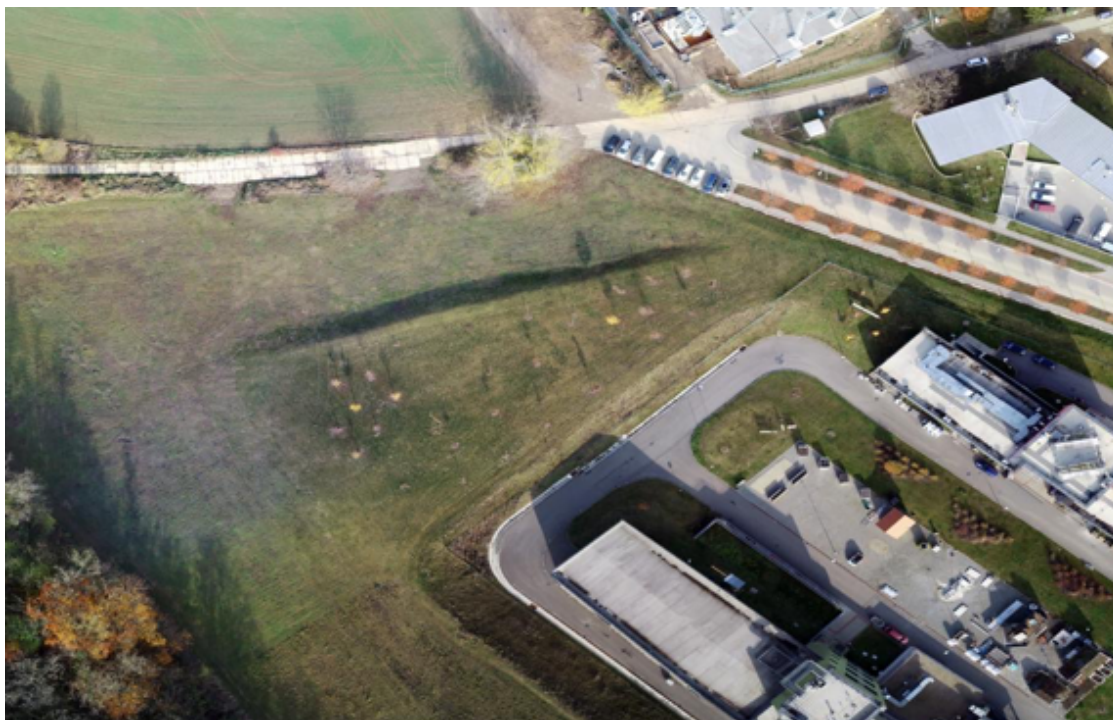
Graf 1 - Údaje z meteorologické stanice v průběhu testování

10.2.2.1 Zdroje výživy v testované oblasti

V blízkém okolí testovací stěny (umístěné v areálu výzkumného Centra AdMaS) byly průběžně po celou dobu sledování zaznamenávány druhy rostlin a zeleně, které společně vytvářejí živiny, potřebné pro růst mikroorganismů. Vyskytujícími se druhy rostlin v testované oblasti byly na základě pozorování:

- Jetel plazivý (*Trifolium repens*)
- Sedmikráska lepkavá (*olearia viscidula*)
- Lopuch větší (*Arctium lappa*)
- Jetel luční (*Trifolium pratense*)
- Bér sivý (*Setaria pumila*)
- *Carpesium abrotanoides*
- *Vigna luteola*
- Draslavec hadincovitý (*Helminthotheca echioides*)
- Rožec rolní (*Cerastium arvense*)
- Pampeliška lékařská (*Taraxacum officinale*)
- Třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*)
- Pcháč rolní (*Cirsium arvense*)
- *Acanthus ebracteatus*
- Devětsil lékařský (*Petasites hybridus*)
- Petržel listová (*Petroselinum*)
- Javor mléč (*Acer platanoides*)

Výše uvedené druhy rostlin (více v příloze č. 6) zajišťovaly přísun potřebných živin pro růst mikroorganismů, a to od května (začátku testování) až do ukončení sledování potřebného pro diplomovou práci. Na obrázku č. 32 lze vidět letecký snímek z dronu znázorňující testovanou oblast.



Obrázek 32 - Letecký snímek z dronu znázorňující testovanou oblast

10.3 Doba trvání zkoušky

10.3.1 Optimální laboratorní podmínky

Doba trvání zkoušky se stanovila v souladu s normou ČSN 72 4310. Udává zkušební období pro fungicidně neupravené materiály tříměsíční, pro materiály fungicidně upravené jako šestiměsíční. Z důvodů kombinované volby povrchové úpravy, kdy některé vzorky obsahovaly biotický prostředek proti napadení a jiné vzorky jej neobsahovaly, byla doba testování stanovena a provedena na 6 měsíců. Následně se testování prodloužilo ještě o 5 týdnů, a to z důvodů simulace deště, kdy vzorky byly zvlhčovány 1 × týdně pomocí rozprašovače a destilované vody.

10.3.2 Práce v exteriéru

Testování v exteriéru umělou i přirozenou kontaminací bylo časově rozvrženo na průběh jednoho roku tak, aby testování prošlo všemi ročními obdobími. Testování bylo

zahájeno na jaře (květen 2019), kdy rostliny a zeleň v blízkém okolí byly plně rozkvetlé a poskytovaly tak dostatečnou výživu pro růst mikroorganismů. Z tohoto důvodu došlo k přerušení testování na konci roku (v prosinci) v zimě, kdy nastaly minusové teploty a okolní zeleň již přestala poskytovat potřebné živiny.

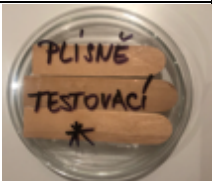
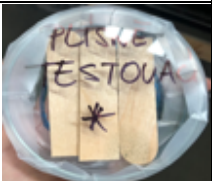
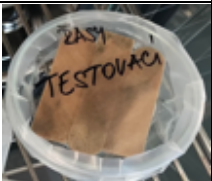
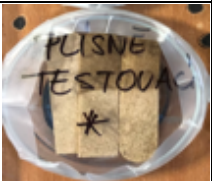

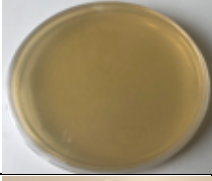
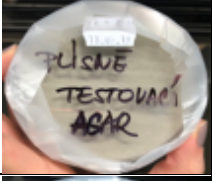




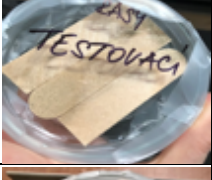




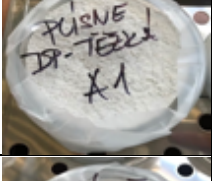

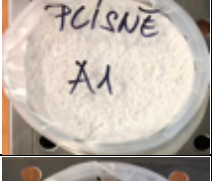


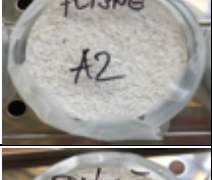

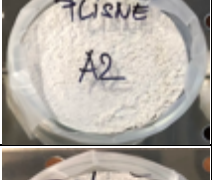


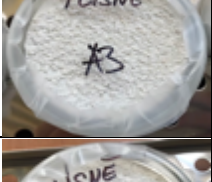

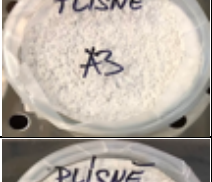


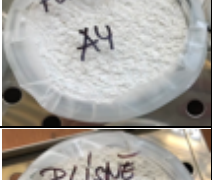

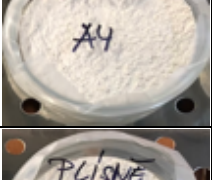


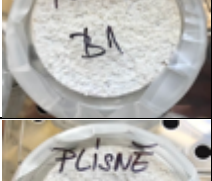
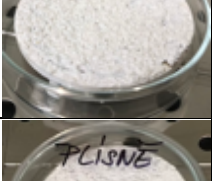
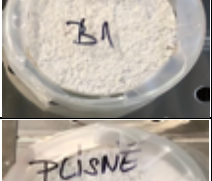



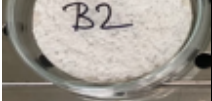


11 Průběžné sledování

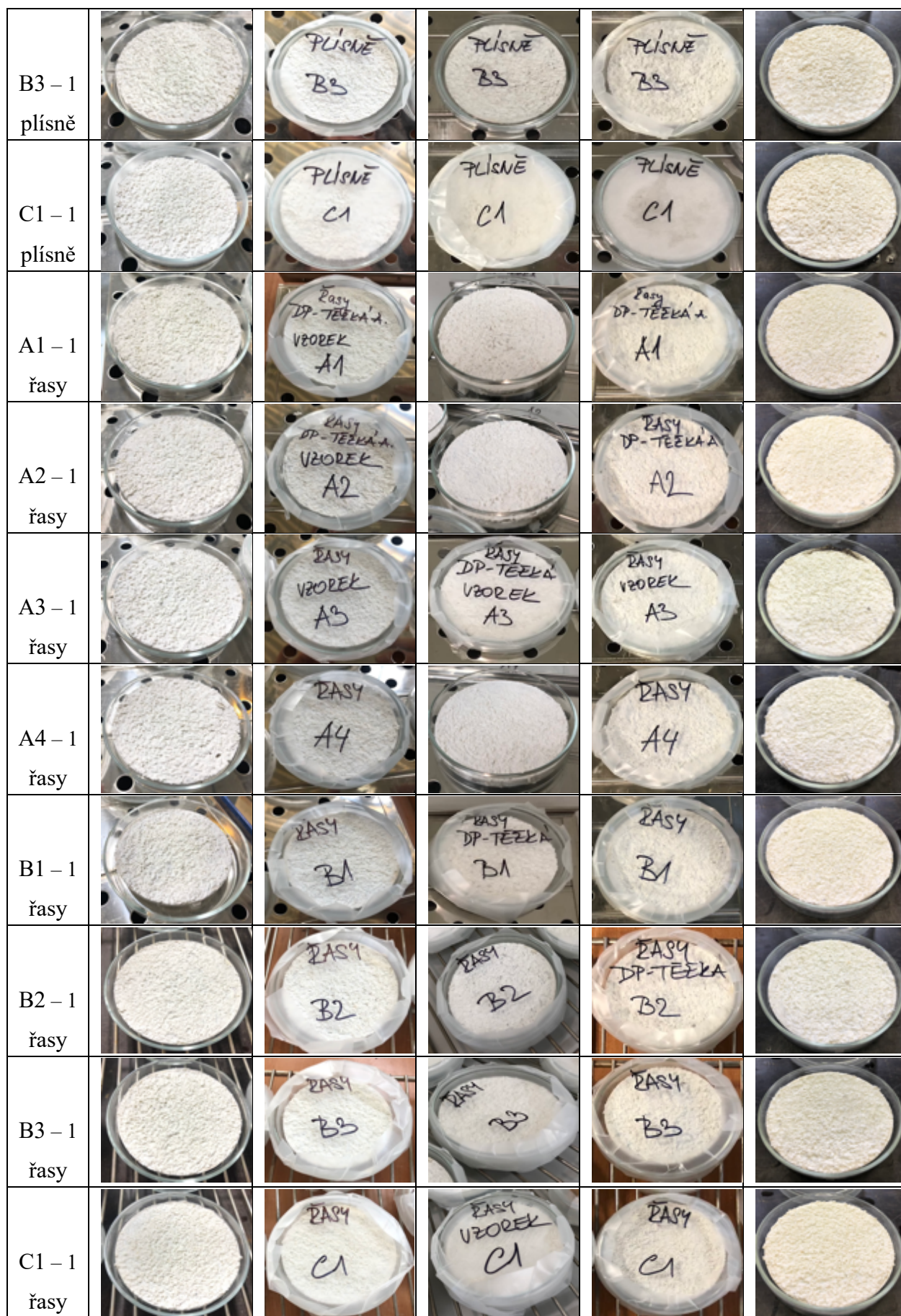
Testování odolnosti proti biotickému napadení na zateplovacích systémech ETICS v optimálních laboratorních podmínkách i v exteriéru bylo sledováno průběžně hodnocením intenzity růstu biotického napadení jednou týdně během zkoušky. Jednalo se o hodnocení orientační prováděné prostým okem. V rámci sledování byla průběžně pořizována i fotodokumentace, která se nachází v přílohách této diplomové práce.

U fotodokumentace mapující průběžné sledování vzorků testované proti odolnosti biotického napadení v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách v klimakomoře, byl vybrán vždy jeden zástupce každého druhu omítky.






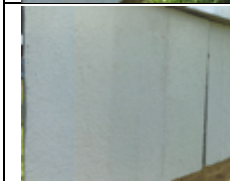


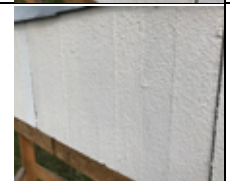

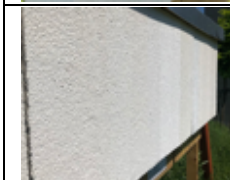


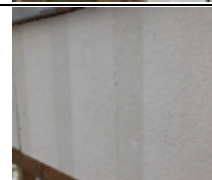



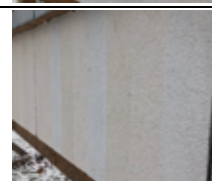
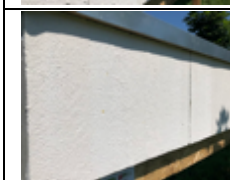



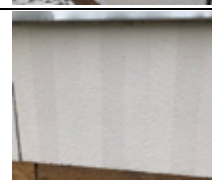



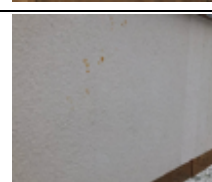

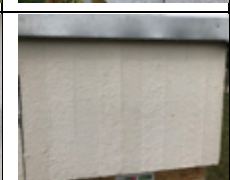




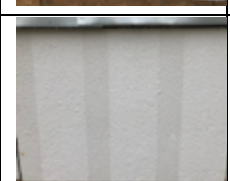







U průběžného sledování vzorků testovaných na odolnost proti biotickému napadení v exteriéru, byly vybrány náhodné vzorky, které obsahují vždy 9 testovacích oblastí reprezentujících odlišné druhy povrchové úpravy.

Tabulka 6 – Průběh sledování jednotlivých vzorků v optimálních laboratorních podmínkách

Ozn.	Kontaminace vzorků	20. května	3. června	2. září	Konec testování
Ref 1 plísň					
Agar 1 plísň					
Ref 1 řasy					
A1 – 1 plísň					
A2 – 1 plísň					
A3 – 1 plísň					
A4 – 1 plísň					
B1 – 1 plísň					
B2 – 1 plísň					



Tabulka 7 - Průběh sledování jednotlivých vzorků v exteriéru

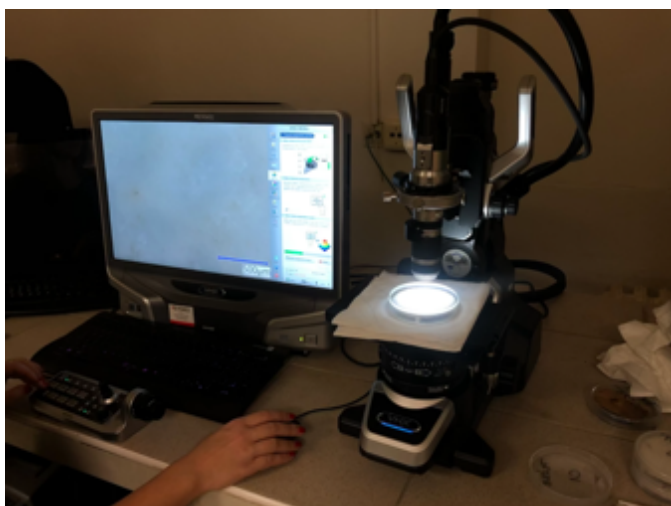
Kontaminace vzorků	21. června	20. srpna	11. října	Konec testování
				
				
				
				
				
				
				
				
				

12 Zneškodnění kontaminovaných vzorků

Po ukončení zkoušky byly testované i referenční vzorky kontaminované biotickým materiálem zneškodněny v připraveném roztoku Sava, který byl dostatečně účinný pro tyto účely.

13 Závěrečné vyhodnocení po ukončení testování

Růst mikroorganismů na povrchu vzorků byl hodnocen průběžně (jedenkrát týdně) vizuální kontrolou. Po ukončení testování byla provedena jednak vizuální kontrola vzorků prostým okem a dále také pořízení potřebné fotodokumentace. Následně bylo provedeno mikroskopické snímkování vývoje biotického napadení (růstu plísní a řas) za použití optického mikroskopu na Fakultě stavební se zvětšením 200 ×, viz obrázek č. 33.



Obrázek 33 - Pořizování vyhodnocovacích snímků mikroskopem

Intenzita růstu napadení se hodnotí stupnicí 1 až 5 dle normy ČSN 72 4310 – Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním. Veškeré zjištěné hodnoty se zapisují.

Tabulka 8 - Stupnice hodnocení biotického napadení VARIANTA 1

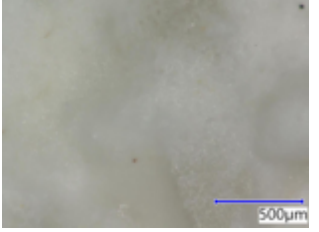

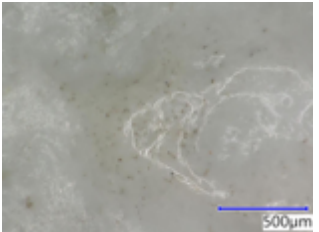

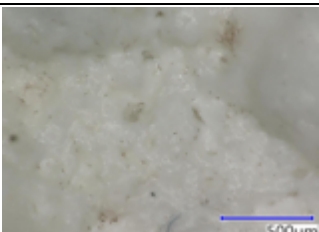

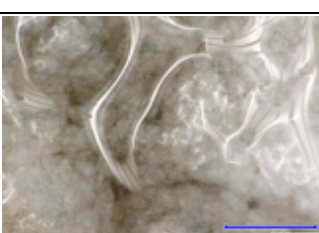

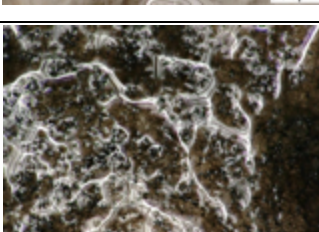

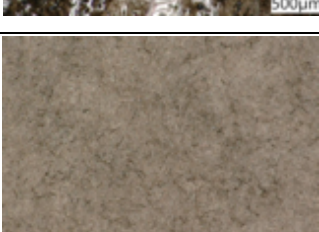

Stupeň	Popis
0	Plíseň/řasy neroste
1	růst je nepatrný (roztroušené kolonie plísní/řas)
2	růst je pozvolný (četné malé kolonie plísní/řas nebo souvislý lehký porost, který zaujímá méně než 25 % povrchu vzorku)
3	růst je intenzivní (porost zaujímá do 50 % povrchu vzorku)
4	růst je velmi intenzivní (porost zaujímá 75 % povrchu vzorku)
5	porost plísněmi/řasami je úplný (porost zaujímá 100 % povrchu vzorku)

Odolnost zkoušeného stavebního materiálu se vyhodnotí následovně:

- a) Stavební výrobek a materiál je proti napadení odolný (plíseň/řasy se na vzorku nevyvíjí)
- b) Stavební výrobek a materiál je proti napadení neodolný (stupeň intenzity růstu plísní/řas podle stupnice 1 až 5)

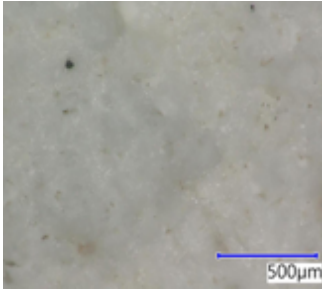

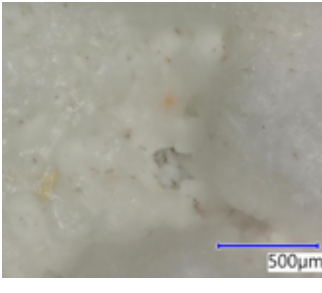

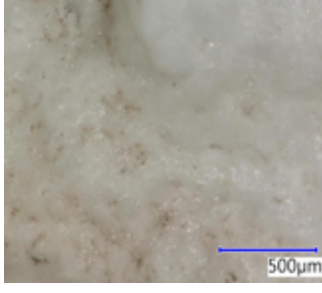

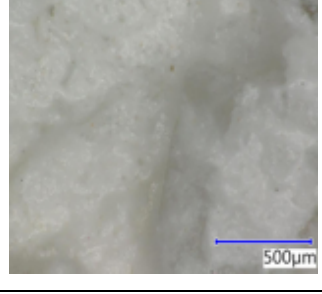

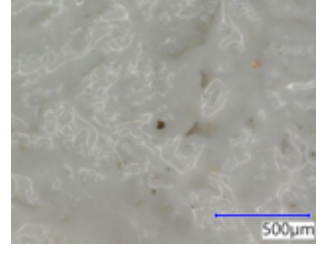

Hodnotící stupnice 1 až 5 dle ČSN 72 4310 – Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním plně nevyhovuje účelům této diplomové práce, a to z důvodu nedostatečného zohlednění rozrůstání kolonií plísní i řas. Proto byla navržena stupnice hodnocení varianta 2 (tabulka č. 9) s vlastní hodnotící stupnicí, která zohledňuje stupně rozrůstání jednotlivých kolonií plísní i řas. Jednotlivé stupně hodnocení jsou doplněné o snímky z mikroskopu i fotografie, které umožňují lepší představu o jednotlivých kategoriích.

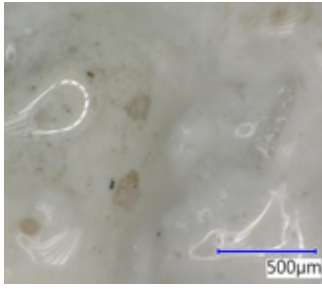

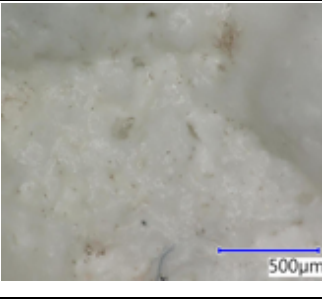

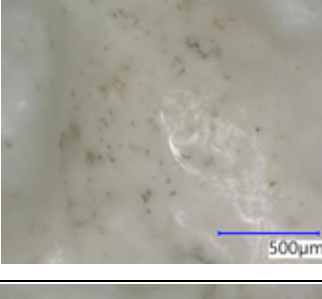

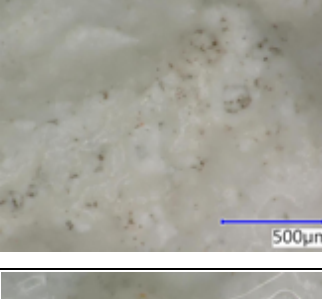
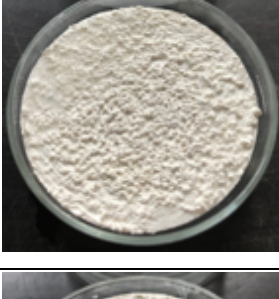
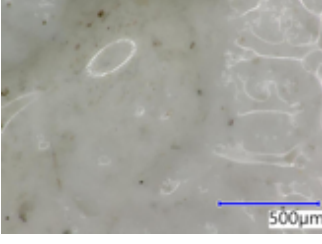

Tabulka 9 - Stupnice hodnocení biotického napadení VARIANTA 2

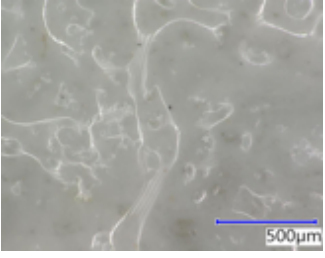

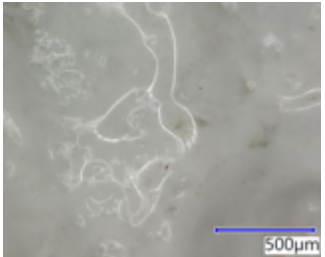

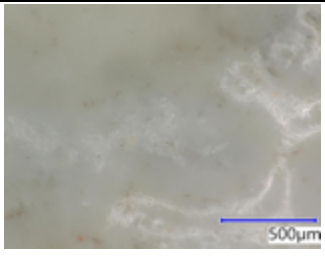





Stupeň	Označení	Popis	Snímek z mikroskopu	Fotodokumentace
0	Plíseň/řasy neroste	Nelze vidět spory ani kolonie na povrchu ani pod mikroskopem		
1	Růst je nepatrný -	Viditelné spory na povrchu		
2	Růst je pozvolný	Viditelné kolonie jen v určitých místech vzorku (okem neviditelné)		
3	Růst je intenzivní	Rozrostlé kolonie jen v určitém místě (do 25 % povrchu) (okem viditelné)		
4	Růst je velmi intenzivní	porost rozrostlý jen v určitém místě (nezaujímá 100 % povrchu)		
5	Porost je úplný	porost zaujímá 100 % povrchu vzorku		

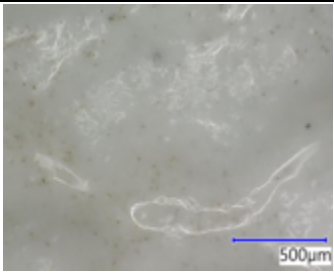

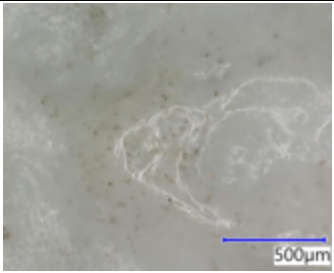

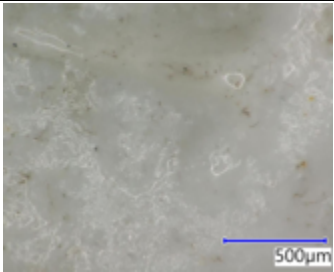

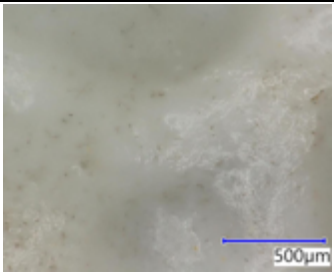

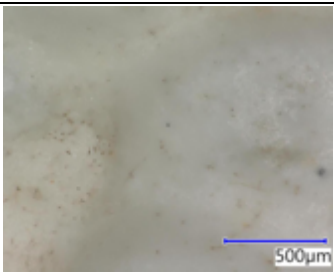

13.1 Vyhodnocení vzorků v optimálních laboratorních podmínkách

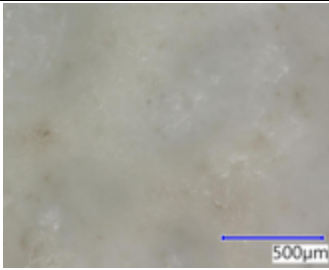

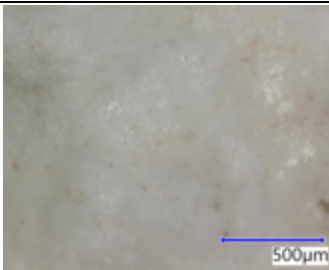
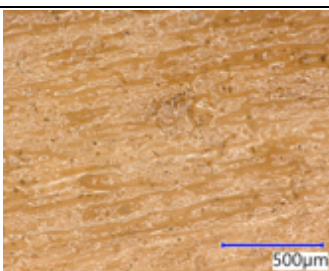
Tabulka 10 – Vyhodnocení jednotlivých vzorků po ukončení testování

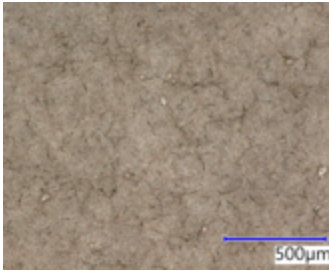
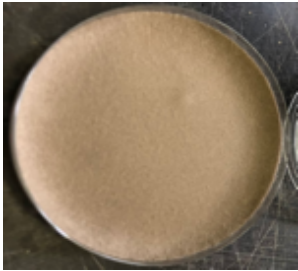
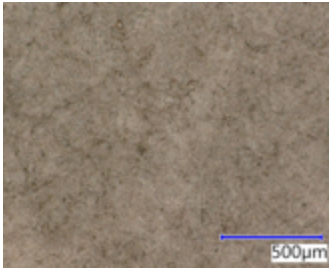

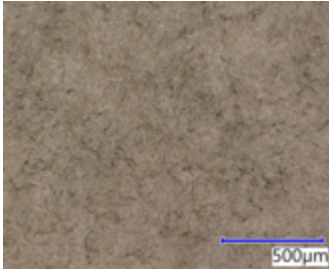

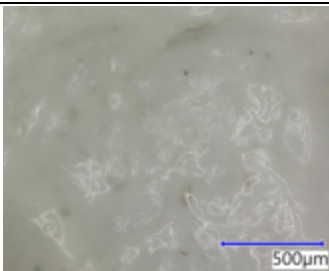

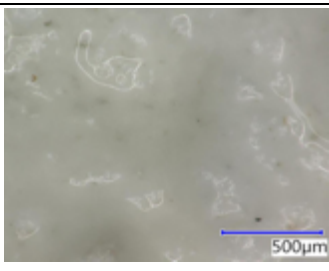

Označení vzorku	Stupeň *	Popis	Snímek z mikroskopu	Fotodokumentace
A1 – 1 plísně	1	Pod mikroskopem viditelné spory		
A1 – 2 plísně	1	Pod mikroskopem viditelné spory		
A1 – 3 plísně	1	Pod mikroskopem viditelné spory		
A2 – 1 plísně	0	Prostým okem ani pod mikroskopem nic viditelné		
A2 – 2 plísně	0	Na povrchu hodně tekutiny (H ₂ O) – horší viditelnost		

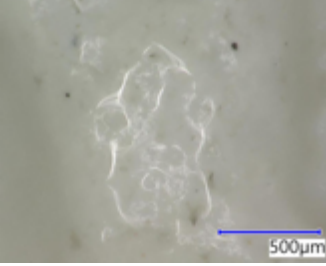



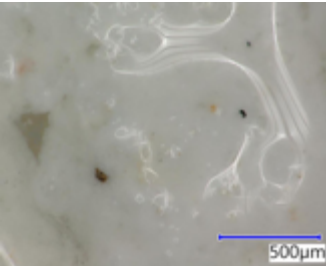

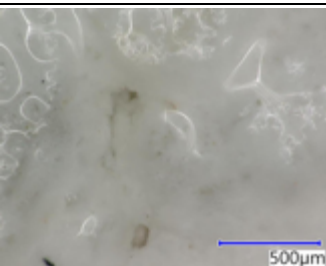

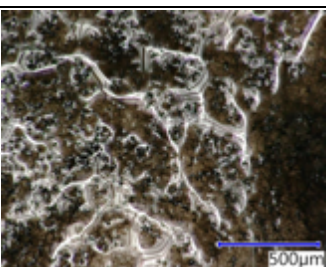

<p>A2 – 3 plísň</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu hodně tekutiny (H₂O) – horší viditelnost</p>		
<p>A3 – 1 plísň</p>	<p>2</p>	<p>Místy viditelné kolonie</p>		
<p>A3 – 2 plísň</p>	<p>2</p>	<p>Místy viditelné kolonie</p>		
<p>A3 – 3 plísň</p>	<p>1</p>	<p>Viditelné spory na povrchu</p>		
<p>A4 – 1 plísň</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu hodně tekutiny (H₂O) – horší viditelnost</p>		

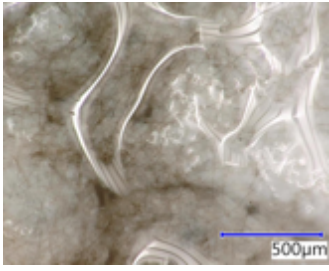

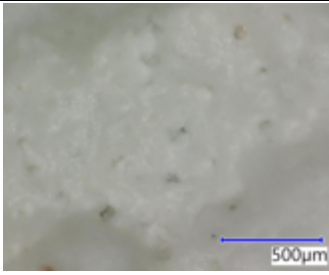

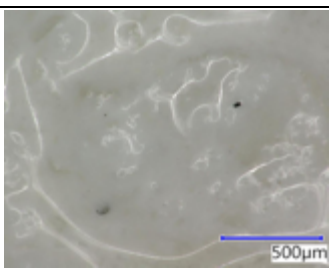

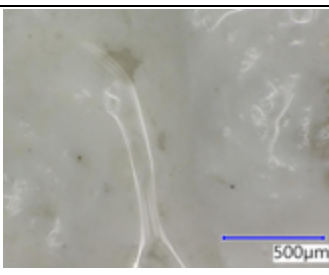

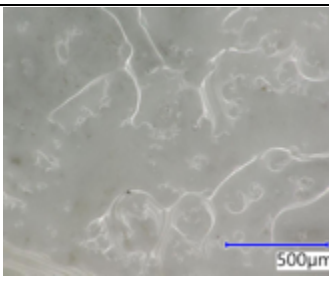

<p>A4 – 2 plísně</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu hodně tekutiny (H₂O) – horší viditelnost</p>		
<p>A4 – 3 plísně</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu hodně tekutiny (H₂O) – horší viditelnost</p>		
<p>B1 – 1 plísně</p>	<p>2</p>	<p>Místy kolonie</p>		
<p>B1 – 2 plísně</p>	<p>1</p>	<p>Horší viditelnost – tekutina na povrchu Viditelné spory</p>		
<p>B1 – 3 plísně</p>	<p>1</p>	<p>Horší viditelnost – tekutina na povrchu, viditelné spory</p>		

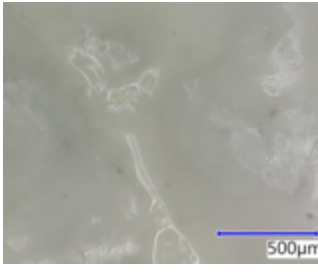

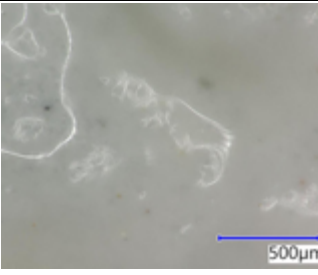

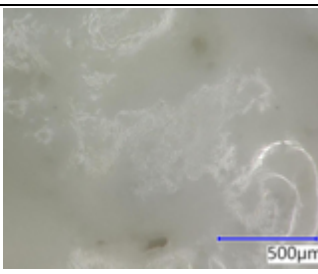

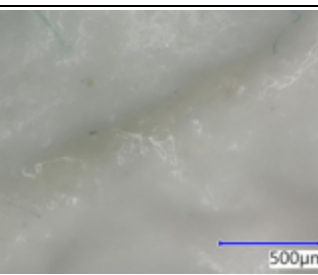

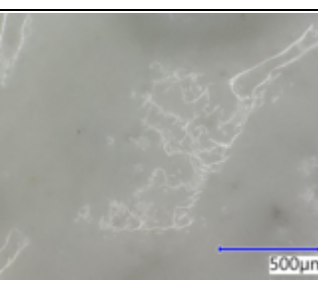

B2 – 1 plísň	2	Místy kolonie		
B2 – 2 plísň	1	Viditelné spory		
B2 – 3 plísň	2	Začínající kolonie (místy)		
B3 – 1 plísň	1	Viditelné spory pod mikroskopem		
B3 – 2 plísň	1	Viditelné spory pod mikroskopem		

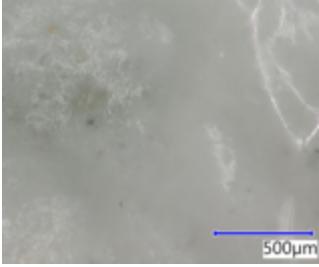

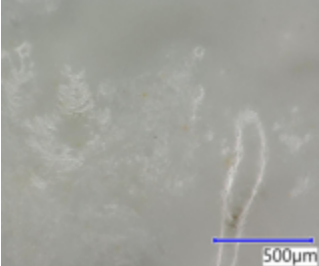

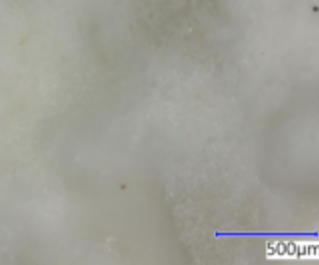





<p>B3 – 3 plísň</p>	<p>2</p>	<p>Spory s koloniemi na určitých miestech</p>		
<p>C1 – 1 plísň</p>	<p>0</p>	<p>Prostým okom ani pod mikroskopom nic viditeľné</p>		
<p>C1 – 2 plísň</p>	<p>0</p>	<p>Prostým okom ani pod mikroskopom nic viditeľné</p>		
<p>C1 – 3 plísň</p>	<p>0</p>	<p>Prostým okom ani pod mikroskopom nic viditeľné</p>		
<p>Ref 1 plísň</p>	<p>3</p>	<p>Spory na povrchu, kolonie v miestech, viditeľné okom</p>		

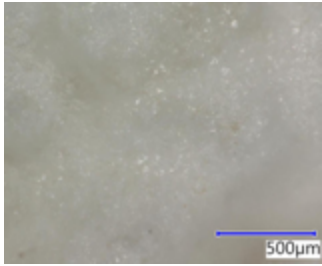

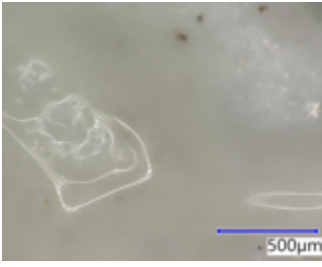

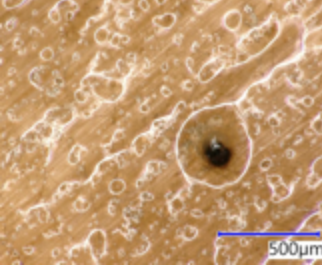

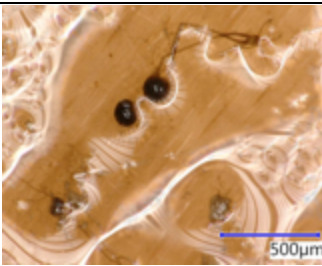

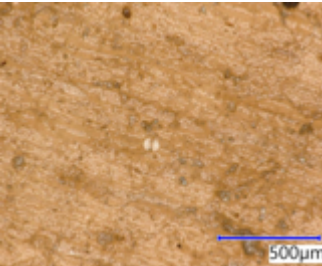

Agar 1 plísně	5	Napadení na celém povrchu vzorku Viditelné okem		
Agar 2 plísně	5	Napadení na celém povrchu vzorku Viditelné okem		
Agar 3 plísně	5	Napadení na celém povrchu vzorku Viditelné okem		
A1 – 1 řasy	0	Tekutina na povrchu – špatná viditelnost		
A1 – 2 řasy	0	Tekutina na povrchu – špatná viditelnost		

<p>A1 – 3 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Tekutina na povrchu – špatná viditelnost</p>		
<p>A2 – 1 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Tekutina na povrchu – špatná viditelnost</p>		
<p>A2 – 2 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Tekutina na povrchu – špatná viditelnost</p>		
<p>A2 – 3 řasy</p>	<p>1</p>	<p>Viditelné spory pod mikroskopem</p>		
<p>A3 – 1 řasy</p>	<p>4</p>	<p>Rozrostlé kolonie viditelné okem</p>		

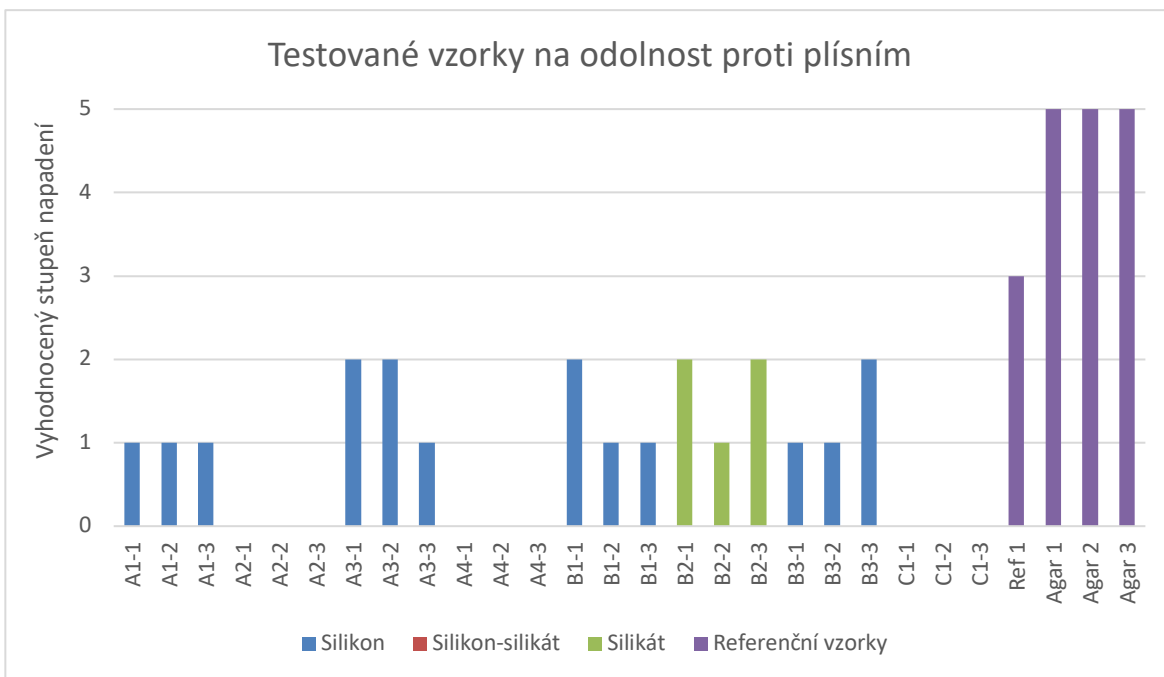
<p>A3 – 2 řasy</p>	<p>3</p>	<p>Místy kolonie viditelné na povrchu i pod mikroskopem</p>		
<p>A3 – 3 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>A4 – 1 řasy</p>	<p>1</p>	<p>Pod mikroskopem viditelné spory</p>		
<p>A4 – 2 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>A4 – 3 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		

<p>B1 – 1 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>B1 – 2 řasy</p>	<p>1</p>	<p>Pod mikroskopem viditelné spory</p>		
<p>B1 – 3 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>B2 – 1 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>B2 – 2 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		

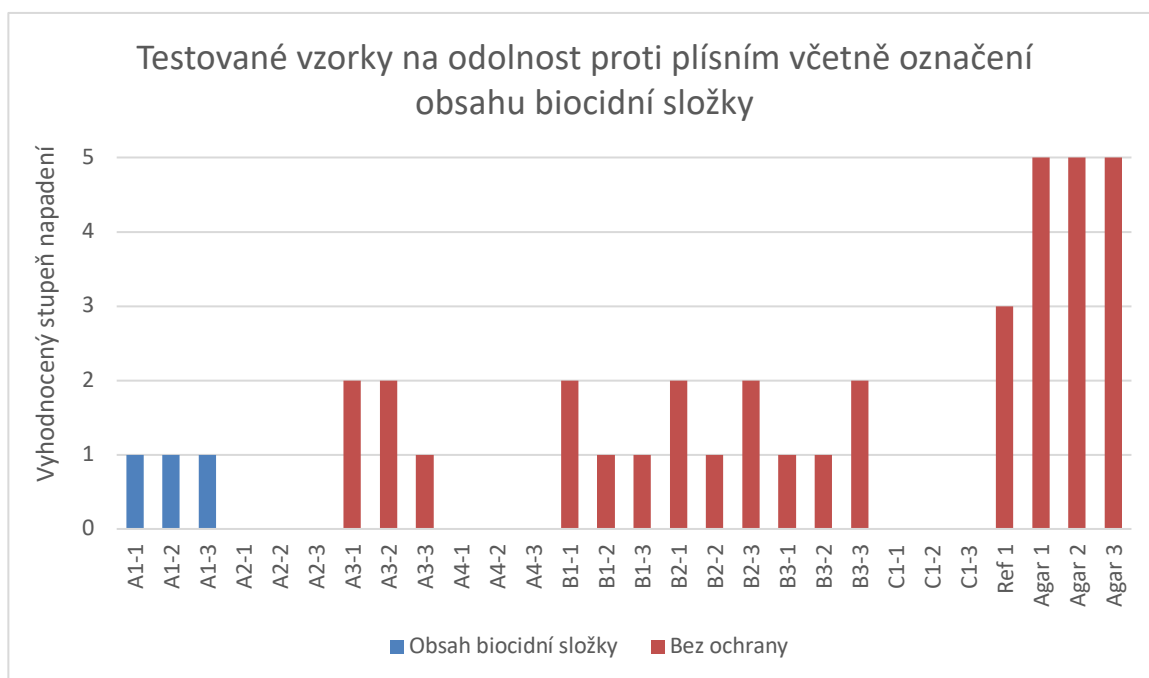
<p>B2 – 3 řasy</p>	<p>1</p>	<p>Pod mikroskopem viditelné spory</p>		
<p>B3 – 1 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>B3 – 2 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>B3 – 3 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		
<p>C1 – 1 řasy</p>	<p>0</p>	<p>Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné</p>		

C1 – 2 řasy	0	Na povrchu ani pod mikroskopem nic viditelné		
C1 – 3 řasy	0	Pod mikroskopem nic viditelné		
Ref 1 řasy	3	Částečné kolonie viditelné prostým okem		
Ref 2 řasy	4	Rozrostlé kolonie viditelné na povrchu		
Ref 3 plísně + řasy	4	Rozrostlé kolonie viditelné na povrchu		

*Stupeň vyhodnocený na základě Stupnice hodnocení biotického napadení varianta 2



Obrázek 34 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti plísním



Obrázek 35 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti plísním včetně označení biocidních složek

Odolnost testovaných vzorků v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách proti plísním lze vyhodnotit:

- Kromě kategorie vzorků A1 lze říci, že všechny vzorky obsahující biocidní (v tomto případě fungicidní) složku odolávají napadení plísní v plném rozsahu a nejsou na nich vidět známky napadení ani pod mikroskopem. Kategorie A1 obsahující biocidní složku, měla pod mikroskopem viditelné jednotlivé spory. V tomto případě lze říci, že také kategorie A1 odolává napadení, neboť spory byly viditelné pouze pod mikroskopem a za necelých 8 měsíců testování nezačaly vytvářet kolonie.
- Ostatní kategorie neobsahující biocidní složku jeví známky napadení od vyhodnoceného stupně 1 (viditelné jednotlivé spory) po stupeň 2 (na povrchu se začínají tvořit jednotlivé kolonie).
- Referenční vzorky obsahovaly napadení viditelné pod mikroskopem i pouhým okem. Testované vzorky na dřevě byly vyhodnoceny jako stupeň napadení 3 – obsahující kolonie viditelné pod mikroskopem i pouhým okem. Referenční vzorky na agaru, který jim poskytoval ideální podmínky pro růst, docílily maximálního stupně napadení – stupně 5 (napadení viditelné pod mikroskopem i pouhým okem po celém vzorku v plném rozsahu rozrostlých kolonií).
- Referenční vzorky pomáhaly k vyhodnocení optimálních podmínek pro růst testovaných mikroorganismů, proto lze říci, že plísně měly pro svůj růst zajištěné dobré podmínky.

Z pohledu povrchové úpravy:

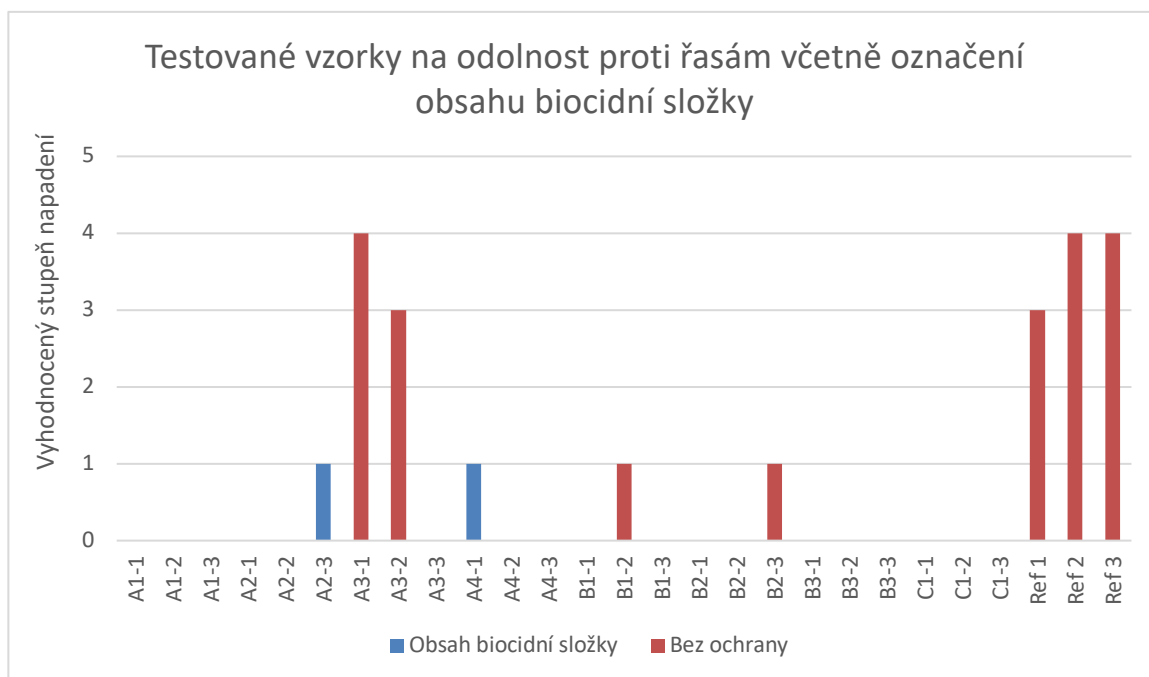
- 100 % odolal **silikon-silikát** v zastoupení kategorie A2.
- **Silikát** odolal pouze u jedné ze dvou testovaných kategorií (A4 a B2), která obsahovala biocidní složku.
- **Silikon** měl zastoupení v pěti kategoriích, kdy zcela odolala napadení plísní pouze kategorie C1, obsahující biocidní složku. Další kategorie (bez obsahu i včetně obsahu biocidní složky) vykazovaly známky napadení viditelné pod mikroskopem v podobě jednotlivých spor případně začínajících kolonií.

Závěrem lze považovat **100% úspěšné testování proti odolnosti plísním** u kategorií:

- **A2** – silikon-silikát obsahující biocidní složku
- **A4** – silikát obsahující biocidní složku
- **C1** – silikon obsahující biocidní složku



Obrázek 36 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti řasám



Obrázek 37 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti řasám včetně označení biocidních složek

Odolnost testovaných vzorků v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách proti řasám lze vyhodnotit:

- Kromě vždy jednoho zástupce kategorií A2 a A4, které měly pod mikroskopem viditelné jednotlivé spory/zárodky řas (vyhodnocený stupeň napadení 1), lze konstatovat, že vzorky obsahující biocidní (v tomto případě algicidní) složku, odolávají napadení řasou.
- Nejvíce patrné stupně napadení se objevily u vzorků z kategorie A3, která neobsahovala biocidní složku. Vzorek A3–1 dosáhl vyhodnoceného stupně napadení 4 – viditelné rozrostlé kolonie pod mikroskopem i pouhým okem. Vzorek A3–2 byl vyhodnocen jako stupeň 3 – viditelné kolonie pod mikroskopem i pouhým okem, které ještě nejsou tolik rozrostlé.
- U ostatních kategorií neobsahující biocidní složku nebylo možné provést kvalitní hodnocení, z důvodu obsahu tekutiny (vody) na povrchu jednotlivých vzorků, která znemožňovala přesné vyhodnocení.
- Referenční vzorky obsahovaly napadení viditelné pod mikroskopem i pouhým okem, vyhodnocené jako stupeň napadení 3 – obsahující kolonie viditelné pod mikroskopem i pouhým okem a stupeň napadení 4 – rozrostlé kolonie na povrchu vzorku viditelné pod mikroskopem i pouhým okem.
- Referenční vzorky pomáhaly k vyhodnocení optimálních podmínek pro růst testovaných mikroorganismů, proto lze říci, že řasy měly pro svůj růst zajištěné dobré podmínky.

Z pohledu povrchové úpravy:

- Nejvíce odolný je **silikon–silikát** v zastoupení kategorie A2 (příčemž vzorek A2-3 jeví jednotlivé spory/zárodky řas).
- **Silikát** v zastoupení 2 kategorií o celkovém počtu šesti vzorků, odolal 100% čtyřem vzorkům a další dva vzorky vykazují 1. stupeň napadení.
- **Silikon** zastoupený v pěti kategoriích měl největší úspěšnost testování odolnosti proti napadení řasou, kdy zcela (100% úspěšné testování) proběhlo u kategorií A1 a C1, které obsahují biocidní složku. Kategorie A1 nebylo možné vyhodnotit, z důvodu obsahu tekutiny (vody) na povrchu vzorku, která znemožňuje přesné vyhodnocení pod mikroskopem.

Závěrem lze považovat **100% úspěšné testování proti odolnosti řas** pouze u kategorie C1 – silikon obsahující biocidní složku. Ostatní složky nelze považovat za 100 % úspěšné z důvodu zařazení alespoň jednoho ze tří vzorků na stupeň napadení 1, případně obsahu tekutiny (vody) na povrchu vzorku, která znemožňovala přesné vyhodnocení.

13.2 Vyhodnocení vzorků testovaných v exteriéru

Vyhodnocení vzorků, testovaných v exteriéru přirozenou i umělou kontaminací vystavených běžným klimatickým podmínkám v exteriéru výzkumného Centra AdMaS v Brně, nebylo možné přesné provést. Jedním z důvodů jsou velké rozměry vzorků, které neumožňovaly přesné vyhodnocení vzorků pod optickým mikroskopem se zvětšením 200 ×, jak tomu bylo u vzorků testovaných v zajištěných optimálních podmínkách v laboratoři. Dalším důvodem je fakt, že vzorky na konci testování při vyhodnocení pouhým okem na vzorcích s umělou i přirozenou kontaminací neprojevily žádné známky přítomnosti mikroorganismů na povrchu. Provedeno bylo i několikanásobné zvětšení fotodokumentace pořízené v průběhu i na konci testování, které taktéž nejevilo žádný stupeň biotického napadení na povrchu vzorků.

Z tohoto důvodu bylo testování i přes svou ukončenou dobu testování pro účely této diplomové práce prodlouženo. I nadále v průběhu celého roku 2020 budou vzorky diplomantkou i zaměstnanci výzkumného Centra AdMaS kontrolovány a následně na konci roku jednotlivě vyhodnoceny a zařazeny stupněm napadení dle metodiky testování odolnosti povrchové úpravy ETICS vůči biotickému napadení navržené v rámci této diplomové práce.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo studium odolnosti povrchových úprav ETICS vůči biotickému napadení. Dále vypracovat rešerši zaměřenou na biotické napadení fasád objektů zateplených pomocí kontaktního zateplovacího systému ETICS. Nejvíce se rešerše zaměřuje na napadení plísněmi, řasami, mechy a lišejníky, které se nejčastěji vyskytují na stavebních objektech. V úvodu teoretické části této diplomové práce je stručně popsána charakteristika ETICS se svou historií vývoje a popisem jednotlivých složek ETICS. Práce se zaměřuje na problematiku nejen v České a Slovenské republice, ale obsahuje i zmínky o ETICS např. ve Švédsku, Portugalsku, Francii i USA. Podle ukazatelů Českého statistického úřadu je v České republice zatepleno kolem 60 % nemovitostí, a to jak bytových, tak rodinných domů. V České republice je tedy ETICS již běžnou součástí staveb. Ovšem s přibývajícím počtem zateplených objektů roste také počet objektů trpících napadením biotického původu.

Na základě získaných odborných informací, vlastního studia a získaných praktických zkušeností byla provedena optimalizace metodiky testování odolnosti povrchové úpravy ETICS vůči biotickému napadení navržené v roce 2018 v rámci bakalářské práce. Metodika byla podstatným způsobem přepracována a doplněna. Sloužila zároveň k ověřování poznatků, sepsaných v rámci teoretické části této diplomové práce. Dalším cílem bylo zhodnotit dosažené výsledky a formulovat doporučení týkající se vhodnosti použití navržené metodiky ve stavební praxi.

Vzorky povrchových úprav několika výrobců patřící mezi nejprodávanější na českém trhu, konkrétně silikon, silikon-silikát a samotný silikát, byly testovány na odolnost proti napadení plísněmi a řasami. Sledován byl také vliv biocidních složek, které obsahují jak fungicidní složku odolávající napadení plísněmi, tak algicidní složku proti napadení řasou. Výrobci jednotlivých povrchových úprav udávají odolnost svých materiálů vůči biotickému napadení, avšak zatím neexistují dostatečné důkazy, že tomu tak doopravdy je. I z tohoto důvodu je žádoucí se této problematice i nadále věnovat.

Zkoušení odolnosti povrchových vrstev ETICS vůči biotickému napadení bylo navrženo v souladu s normou ČSN 72 4310 - Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním. Umělá kontaminace pro jednotlivé povrchové úpravy byla navržena a testována vždy s konkrétním druhem biotického napadení, který jak je znám ze získaných zkušeností a vědomostí, patří mezi nejčastěji se vyskytující. Pro umělou kontaminaci vzorků

testovaných na odolnosti napadením plísněmi byl vybrán kmen *Alternaria alternata*, umělá kontaminace vzorků testovaných na odolnost řasou byla provedena za pomoci řasy kmene *Chlorella vulgaris*. Testované vzorky v exteriéru přirozenou i umělou kontaminací byly vystaveny klimatickým podmínkám v areálu výzkumného Centra AdMaS v Brně.

Pro vyhodnocení výsledků vzorků testovaných v zajištěných laboratorních podmínkách, bylo použito sledování vzorků pomocí optického mikroskopu, které nám umožnilo lépe zmapovat povrch vzorků, a to se zvětšením 200 ×. Mikroskopické snímkování potvrdilo, že nejméně odolné jsou vzorky povrchové úpravy neobsahující biocidní složku, které byly hodnoceny až stupněm napadení číslo 4. Nejvíce odolné byly vzorky s povrchovou úpravou silikon-silikát a následně samotný silikon a silikát, obsahující biocidní složku.

Ani v průběhu celého testování, ani při samotném hodnocení vzorků v exteriéru na konci testování se při vyhodnocení pouhým okem na vzorcích s umělou i přirozenou kontaminací neprojevíly žádné známky přítomnosti mikroorganismů na povrchu. Z tohoto důvodu bylo testování prodlouženo i přes ukončenou dobu testování pro účely této diplomové práce, a i nadále v průběhu celého roku 2020 budou vzorky uložené v exteriéru diplomantkou i zaměstnanci výzkumného Centra AdMaS kontrolovány a následně na konci roku vyhodnoceny.

Na základě poznatků a informací získaných v rámci této diplomové práce by bylo vhodné se problematice biotického napadení zateplovacích systému dlouhodoběji věnovat, zkoumat podmínky vzniku napadení, odolnost biocidních složek i odolnost povrchových úprav neobsahující biocidní složku. Neboť biotické napadení není problémem pouze estetiky a vzhledu nemovitostí, ale následně také problémem funkčnosti a konstrukce systému s následným negativním dopadem na lidské zdraví.

Metodika navržená v rámci této diplomové práce se jeví jako přínosná pro budoucí testování povrchových úprav na jejich odolnost proti biotickému napadení. Na základě dosažených výsledků je doporučen delší časový interval testování, a to v zajištěných laboratorních podmínkách u vzorků neobsahující fungicidní ani algicidní složku na 9 měsíců, u vzorků s povrchovou úpravou obsahující biocidní složku na 12 měsíců. Také v exteriéru byla doba testování, které probíhalo od května do prosince, nedostatečná. Dle poznatků při provádění praktické části této diplomové práce lze předpokládat vhodnou dobu testování v exteriéru v rozmezí 24 až 36 měsíců.

Seznam podkladů

Seznam použitých zdrojů

1. ČSN 73 2901 . *Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)*. 2017.
2. EMO. [Online] 2013. <http://www.euromortar.com/product-range/wall-insulation/>.
3. AMARO, Bárbara, a další. *Inspection and diagnosis system of ETICS on walls*. Lisbon, Portugal : IST, Technical University of Lisbon, 2013. stránky p. 1257-1267. Sv. Construction and Building Materials 47.
4. EAE. [Online] 2018. <https://www.ea-etics.eu/publications-events/brochures/>.
5. MACHALA, David. *Návrh skladby ETICS využívající izolační jádro z pórobetonu*. Brno : Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie , 2011.
6. Český statistický úřad. www.czso.cz. [Online] 2018. [Citace: 05. 12 2019.] <https://www.czso.cz/documents/10180/50619982/15018916020401.pdf/fc3abde3-544f-4f50-a9ec-1aaa9e9f838b?version=1.0>.
7. EAE. www.ea-etics.eu. [Online] 2019. [Citace: 01. 01 2020.] <https://www.ea-etics.eu/eae/profile/>.
8. ZOFI FASÁDY. www.zatepleni-fasad.eu. [Online] <https://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/jak-zateplit-dum-vata-nebo-polystyren/>.
9. STAVEBNINY DEK, a.s. Brno : ATELIER DEK, Stavebniny DEK, a.s., 2018.
10. Cech pro zateplování budov. www.czb.cz. [Online] [Citace: 22. 12 2019.] <https://www.czb.cz/certifikace/etics/>.
11. CEMIX. www.cemix.cz. [Online] 19. 10 2017. https://www.cemix.cz/data/files/pp_odstranovani_biotickeho_napadeni.pdf.
12. RYPAROVÁ, Pavla. *The cause of occurrence of microorganisms in civil engineering*. Praha : Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, 2016.
13. STANASZEK-TOMAL, Elbieta. *The Problem of Biological Destruction of Façades of Insulated Buildings - Causes and Effects*. Cracow, Poland : Chair of Building Materials Technology and Structure Protection, Faculty of Civil Engineering, PK Cracow University of Technology, 2017. Mater. Sci. Eng. 245 032012.
14. D'ORAZIO, Marco, a další. *Effects of water absorption and surface roughness on the bioreceptivity of ETICS compared to clay bricks*. Ancona, Italy : Department of

Construction, Civil Engineering and Architecture (DICEA), Università Politecnica delle Marche, 2014. stránky p. 20-27. Sv. Building and Environment 77.

15. **BÜCHLI, Roland.** *Řasy a houby na fasádách: příčina vzniku a ochrana před nimi.* Ostrava : Knihovnička M, 2011. ISBN 978-80-254-8786-0.

16. **POJAR, Petr.** ceskestavby.cz. *České stavby.* [Online] 25. 01 2017. [Citace: 24. 11 2019.] <https://www.ceskestavby.cz/clanky/jak-se-zbavit-plisne-na-fasadach-25109.html>.

17. **EUMEPS.** www.eumeps.com. [Online] 26. 02 2019. [Citace: 20. 12 2019.] <https://twitter.com/EUMEPS1>.

18. **JELÍNEK, Jan.** *Biologie pro gymnázia.* Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 2007. ISBN 978-80-7182-213-4.

19. **WASSERBAUER, Richard.** *Biologické znehodnocení staveb.* Praha : ARCH, 2000. ISBN 80-86165-30-2.

20. **RABŠTEINEK, O., PORUBA, M. a SKUHROVEC, J.** *Lišejníky, mechorošty a kaprad'orosty ve fotografii.* Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 2018. str. 220.

21. **JOHANSSON, Sanne, WADSO, Lars a SANDIN, Kenneth.** *Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements.* Lund, Sweden : autor neznámý, 2009. stránky 1153-1160. Sv. Building and Environment 45.

22. **ATELIER DEK, Kolektiv pracovníků střediska.** *Fasády - Vnější tepelněizolační kompozitní systémy(ETICS).* Brno : DEKTRADE a.s., 01/2013. ISBN 978-80-87215-12-8.

23. **PROKINOVÁ, Evženie.** Agromanual.cz. [Online] 25. 07 2019. [Citace: 28. 11 2019.] <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/fungicidni-ucinne-latky>.

24. **ZASADIL, Adam.** *Omezení rozvoje sinic a řas za využití běžně dostupných chemických přípravků.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně Lesnická a dřevařská fakulta, 2006/2007.

25. **BAUMIT.** www.baumit.cz. *Baumit zateplovací systémy.* [Online] 1. 5 2019. https://baumit.cz/files/cz/Technicke_dokumenty/Technologicke_predpisy_a_prirucky/Tech_nologicke_predpisy/2019_zateplovaky/TP_ETICS__2019_G.pdf.

26. **RYPAROVÁ, Pavla, Loušová ,Ivana, Balík, Lukáš, Jirků, Martin.** *Metodika stanovení rizika napadení fasád s ETICS mikroorganismy.* Praha : ČVUT v Praze, Stachema CZ s.r.o., 2017. TA 04010837.

27. **3D, MATERIÁL PRO.** materialpro3D.cz. [Online] 2019. [Citace: 12. 12 2019.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>.

28. **ČSN 72 4310.** *Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním.*
29. **ISOVER.** *www.isover.cz.* [Online] <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-70f>.
30. **WEBER.** *www.cz.weber.* [Online] [Citace: 12. 12 2019.] <https://www.cz.weber/vnejsi-fasady-omitky/tenkovrstve-pastovite-omitky>.
31. **BAUMIT.** *www.baumit.cz.* [Online] <https://baumit.cz/produkty/3902>.
32. **CEMIX.** *www.cemix.cz.* [Online] <https://www.cemix.cz/produkty/silikonova-omitka>.
33. **CENTRUM ZATEPLENÍ.** *www.centrum-zatepleni.cz.* [Online] [Citace: 12. 12 2019.] <https://www.centrum-zatepleni.cz/fasadni-omitky/specialni-omitky/cemix-silikonsilikatova-omitka/>.
34. **CAPAROL.** *www.caparol.cz.* [Online] 2018. [Citace: 10. 12 2019.] <https://www.caparol.cz/produkty/omitky/fasadni/silikonove/capatect-carbopor-reibputz.html>.
35. **CERESIT.** *www.ceresit.cz.* [Online] <http://www.ceresit.cz/cz/produkty/omitky-a-zateplovaci-systemy/tenkovrstve-omitky>.
36. **P-LAB.** *www.p-lab.cz.* [Online] https://www.p-lab.cz/katalog/lahvicka-kultivacni-prosuspenszni-kultury-s-filtrem-ve-vicku-greiner-bio-one_8850p.
37. **REMEŠ, Josef, a další.** *Stavební příručka 2.* Praha : Grada publishing,, 2014. SBN 978-80-247-5142-9.
38. **SHEILA VARELA, Luján, ARREBOLA, Carmen a CORTINA, Mariano González.** *Experimental comparative study of the thermal performance of the façade of a building refurbished using ETICS, and quantification of improvements.* místo neznámé : Sustainable Cities and Society, 2019. Sv. 51.
39. **TAVARES, João, SILVA, Ana a DE BRITO, Jorge.** *Computational models applied to the service life prediction of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS).* Lisbon, Portugal : Military Academy, 2019. stránky 1169-1203.
40. **EAE.** *www.ea-etics.eu.* [Online] <https://www.ea-etics.eu/etics/about-etics/>.
41. **YANG, Xiufeng, a další.** *Experimental investigation on transient natural ventilation driven by thermal buoyancy.* Shanghai, China : School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, 2014. stránky p. 29-39. Sv. Building and Environment.
42. **KULT, Petr.** *www.cistenimyti-natery-fasad.cz. Čištění, mytí, nátěry fasád.* [Online] <https://www.cistenimyti-natery-fasad.cz/odstaneni-plisni-ras-mechu-lisejniku/>.
43. **HOLEC, Milan.** [Online] https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/poruchy/rasy-lisejniky-a-mechy-na-strechach_102217.html.

Seznam zkratek

ETICS – vnější kontaktní zateplovací systém (External Thermal Insulation Composite System)

EIFS – Vnější izolační dokončovací systém (Exterior insulation finishing system)

USA – Spojené státy americké (United States of America)

RCCTE – Fakulta strojního inženýrství, Univerzita Porto

EOTA – Evropská organizace pro technické posuzování (European Organisation for Technical Assessment)

ETAG – řídicí pokyn pro evropská technická schválení (European Technical Approval Guideline)

ASTM – Americká společnost pro zkušební materiály

STP – speciální technické publikace

D – destruktivní

ND – nedestruktivní

T – teplota [$^{\circ}\text{C}$]

T_{min} – minimální teplota [$^{\circ}\text{C}$]

T_{max} – maximální teplota [$^{\circ}\text{C}$]

RH – relativní vlhkost

RH_{min} – minimální relativní vlhkost

RH_{max} – maximální relativní vlhkost

RHT – součet hodnot relativní vlhkosti

HBW – světelná odrazivost omítky

KTJ – zjištěné množství mikroorganismů

MW – minerální vlna

EPS – expandovaný polystyren

XPS – extrudovaný polystyren

PUR – polyuretanová pěna

PF – fenolická pěna

ČR – Česká republika

PLA – kyselina polyléčná (polylactic acid)

HBW – Světelná odrazivost konečné povrchové úpravy

CZB – Cech pro zateplování budov

IBP – Institut pro budování fyziky (Institute for Building Physics)

Seznam norem

ČSN 73 2901 – Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)

ČSN 73 2902 - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) - Navrhování a použití mechanického upevnění pro spojení s podkladem

ČSN 72 4310 – Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním

ČSN EN 13162+A1 (72 7201) – Tepelněizolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace

ČSN EN 13163+A1 (72 7202) – Tepelněizolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) – Specifikace

Řídící pokyny

ETAG 004 – Řídící pokyn pro evropská technická schválení vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů s omítkou (ETICS)

ETAG 014 – Řídící pokyn pro evropská technická schválení plastových kotev pro připevnění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů s omítkou

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Orientační přehled vlastností vybraných druhů omítek [22]	39
Tabulka 2 - Porovnávání faktoru difuzního odporu tenkovrstvých omítek [22].....	40
Tabulka 3 - Vyhodnocení množství mikroorganismů v 1 g granulátu [26]	45
Tabulka 4 - Seznam použitých omítek v optimálních laboratorních podmínkách.....	53
Tabulka 5 - Seznam použitých omítek pro práci v exteriéru	58
Tabulka 6 – Průběh sledování jednotlivých vzorků v optimálních laboratorních podmínkách	73
Tabulka 7 - Průběh sledování jednotlivých vzorků v exteriéru	75
Tabulka 8 - Stupnice hodnocení biotického napadení VARIANTA 1.....	77
Tabulka 9 - Stupnice hodnocení biotického napadení VARIANTA 2.....	78
Tabulka 10 – Vyhodnocení jednotlivých vzorků po ukončení testování	79

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukazatel jednotlivých zateplení podle krajů ČR [6]	15
Obrázek 2 - Skladba zateplovacího systému ETICS [9]	16
Obrázek 3 – Podmínky pro růst řas a hub [15]	24
Obrázek 4 - Plísňe na omítkách ETICS [16].....	24
Obrázek 5 - Řasy na fasádě ETICS [17]	25
Obrázek 6 - Lišejník na fasádě ETICS [20].....	27
Obrázek 7 - Průřez teplot vzduchu ve velkém městě a jeho okolí [13]	30
Obrázek 8 - Znázornění izoliní v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti [21]	34
Obrázek 9 - Mapa ČR – výskyt biotického napadení na fasádách ETICS [26].....	46
Obrázek 10 - Postup jednotlivých dílčích činností, které hodnotí degradaci vnějších fasád s ohledem na možné riziko výskytu mikroorganismů [26].....	47
Obrázek 11 – Umělá kontaminace za ideálních podmínek	49
Obrázek 12 – Postup testování v exteriéru umělou kontaminací (vlevo), přirozenou kontaminací (vpravo)	50
Obrázek 13 - Distanční podložka z PLA.....	51
Obrázek 14 - Nanesení základní vrstvy.....	52
Obrázek 15 – Povrchová úprava testovaných vzorků v optimálních laboratorních podmínkách	53
Obrázek 16 - Rozměry testovaných vzorků pro interiér	54
Obrázek 17 - Czapek-Doxova půda (referenční vzorek)	55
Obrázek 18 - Dřevěné špachtle (referenční vzorek).....	55
Obrázek 19 - Dřevěná nosná konstrukce.....	56
Obrázek 20 - použitý polystyren EPS 70 F	56
Obrázek 21 - Nanesení základní vrstvy (mokrý stav – vlevo, suchý stav – vpravo)	57
Obrázek 22 - Nanášení jednotlivých povrchových úprav	57
Obrázek 23 - Klempířské prvky na konstrukci v exteriéru	58
Obrázek 24 - Vyznačení testovacích oblastí na jednom vzorku	59
Obrázek 25 - Vyznačené rozměry testovacích vzorků pro exteriér	59
Obrázek 26 - Přesun biotického materiálu pomocí injekční stříkačky.....	66
Obrázek 27 - Kontaminace vzorků testovaných v zajištěných optimálních laboratorních podmínkách (vlevo), v exteriéru (vpravo) rozprašovačem	67
Obrázek 28 - Testování nanášení plísní na stavební materiál v laboratořích MUNI	67

Obrázek 29 - Aplikace biotického materiálu v laboratorní digestoři	67
Obrázek 30 - Aplikace destilované vody pomocí plastové stříkačky	68
Obrázek 31 - Uložení vzorků v sušárně	69
Obrázek 32 - Letecký snímek z dronu znázorňující testovanou oblast.....	71
Obrázek 33 - Pořizování vyhodnocovacích snímků mikroskopem.....	76
Obrázek 34 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti plísním	90
Obrázek 35 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti plísním včetně označení biocidních složek.....	90
Obrázek 36 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti řasám.....	92
Obrázek 37 - Grafické vyhodnocení testování odolnosti proti řasám včetně označení biocidních složek.....	92

Seznam příloh

Příloha 1 - Výroba vzorků interiér

Příloha 2 - Výroba vzorků exteriér

Příloha 3 - Kontaminace vzorků biotickým materiálem

Příloha 4 - Sledování testovaných vzorků v exteriéru

Příloha 5 - Sledování vzorků v optimálních podmínkách

Příloha 6 - Zeleň v okolí testované oblasti v exteriéru