



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Nové metody sanace plísní na stavebních konstrukcích

New Methods of Mold Remediation on Building
Structures

Disertační práce

Ing. Zuzana Rácová

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Pozemní stavby
Vedoucí disertační práce: prof. Ing. Martin Jiránek, CSc.

Praha, 2020

I hereby declare that this doctoral thesis is my own work and effort written under the guidance of the tutor prof. Ing. Martin Jiránek, CSc.

All sources and other materials used have been quoted in the list of references.

Signed,

Zuzana Rácová, 1/2020



Tímto prohlašuji, že jsem uvedenou práci vypracovala samostatně pod vedením školitele prof. Ing. Martina Jiráňka, CSc.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu literatury.

Podepsána,

Zuzana Rácová, 1/2020



Poděkování

Děkuji svému školiteli panu prof. Ing. Martinu Jiránkovi, CSc. za jeho podporu při zpracování disertační práce, za jeho cenné rady a ochotné konzultace. Dále mé poděkování i patří mému prvnímu školiteli panu prof. Ing. Richardu Wasserbauerovi, DrSc. za možnost pracovat na tématu ze světa mikrobiologie.

Dále bych chtěla poděkovat celému týmu kolegyní a kolegů při Katedře konstrukcí pozemních staveb a z Technoparku Kralupy Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, kteří mne v práci podporovali, a za jejich cenné rady a konzultace.



Anotace

Předložená disertační práce je zaměřena především na biologickou degradaci stavebních materiálů a konstrukcí se zvláštním zřetelem na mikroskopické vláknité houby. Mikroskopické vláknité houby (plísně) se vyskytují všude kolem nás a produkty svých metabolismů narušují povrch stavebních materiálů a ve spojení s působením bakterií a řas působí řadu problémů a to nejen ve stavebnictví.

Na rozdíl od řas se plísně často vyskytují také v interiérech stavebních objektů, kde kromě stavebních materiálů ohrožují osoby, domácí zvířata a další organismy a to především prostřednictvím spor a mykotoxinů. Zdravotní problémy se liší dle druhu plísně, její koncentrace ve vzduchu a obranyschopnosti jedince. Zdravotní komplikace osob, od dýchacích potíží, alergií až ke karcinogenním účinkům, byly hybným impulsem k výběru tohoto tématu.

Teoretická část shrnuje výběr dosavadních publikovaných informací o problematice plísní z českých i zahraničních publikací a konferencí o biodeterioraci stavebních děl obecně a následně se zvláštním zřetelem na mikroskopické vláknité houby. Dále jsou zde uvedeny dosavadní používané a nové metody a postupy v boji proti plísním, jednak z hlediska prevence jejich výskytu, ale také z hlediska sanace napadených prvků.

Druhá část práce je věnována experimentální činnosti zaměřené na výskyt plísní na stavebních materiálech i reálných konstrukcích a na preventivní opatření. Zabývá se možnostmi využití nanotechnologie (nanovláknité textilie a roztoky s nanočásticemi) a fotokatalyticky aktivních nátěrů na bázi ZnO pro ochranu materiálů proti výskytu a rozvoji plísní na jejich povrchu. Část práce se věnuje i ověření metody ochrany materiálů před plísněmi prostřednictvím aplikace organismu *Pythium oligandrum* známého jako „chytrá houba“.

V závěru práce jsou shrnuty výsledky jednotlivých experimentů a na základě jejich analýzy jsou následně formulována doporučení pro praxi.

Klíčová slova: plísně, biodegradace, biodeteriorace, prevence, sanace, nanovláknité textilie, PVA, fotokatalýza, *Pythium oligandrum*

Abstract

This dissertation thesis is focused mainly on biological degradation of building materials and structures with special attention to microscopic filamentous fungi. Microscopic filamentous fungi (mould) occur all around us and their metabolism products disrupt the surface of building materials and, in conjunction with bacteria and algae, cause a number of problems, not only in the construction industry.

Unlike algae, fungi often also occur in interiors of buildings where, in addition to building materials, they threaten people, pets and other organisms, mainly through spores and mycotoxins. Health problems vary according to the type of fungus, its concentration in the air and the individual's immunity. The health complications of people, from respiratory problems, allergies to carcinogenic effects, have led to the choice of this topic.

The theoretical part summarizes the selection of existing published information on mold issues from Czech and foreign publications and conferences focused on the topic of biodeterioration of construction works in general and subsequently with special attention to mould. Furthermore, there are mentioned existing and new methods and procedures in the fight against fungi, both in terms of prevention of their occurrence, but also in terms of remediation of the infected elements.

The second part is devoted to experimental activities focused on the occurrence of molds on building materials and real structures and on prevention. It deals with the possibilities of using nanotechnology (nanofiber textiles and solutions with nanoparticles) and photocatalytically active coatings based on ZnO for protecting materials against occurrence and mould growth on their surface. Part of the thesis also deals with verification of the methods for protecting materials against mould by application of the organism *Pythium oligandrum* known as the "smart fungus".

In conclusion, the results of individual experiments are summarized and recommendations for practice are formulated based on their analysis.

Keywords: mold, biodegradation, biodeterioration, prevention, remediation, nanofiber textiles, PVA, photocatalysis, *Pythium oligandrum*



Seznam zkratek

Zkratka	Definice v původním jazyce	Definice česká
a_w	Water activity	Součinitel hydroskopické rovnováhy (vodní aktivita)
BPR	Biocidal Products Regulation	Nařízení o biocidních přípravcích
BPD	Biocidal Products Directive	Směrnice o biocidních přípravcích
CCM	Czech Collection of Microorganisms	Česká sbírka mikroorganismů
CIE	International Commission on Illumination	Mezinárodní komise pro osvětlování
ČSN	Czech Standart resp. Czechoslovak Standard	Česká technická norma
DBM	Department of Biochemistry and Microbiology	Ústav biochemie a mikrobiologie
EHS	European Economic Community	Evropské hospodářské společenství
ECHA	European Chemicals Agency	Evropská agentura pro chemické látky
EPS	Expanded polystyrene	Pěnový expandovaný polystyren
ETICS	External thermal insulation composite system	Vnější kontaktní zateplovací systém
EU	European Union	Evropská unie
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
KTJ	Colony Forming Units (CFU)	Kolonie tvořící jednotky
MEA	Malt Extract Agar	Agar se sladovým extraktem
PDA	Potato dextrose agar	Bramborovo-dextrózový agar
PVA	Polyvinylalkohol	Polyvinyl alkohol
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals	Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek
SEM	Scanning Electron Microscope	Rastrovací elektronový mikroskop
SI	The International System of Units	Mezinárodní systém jednotek
TiO ₂	Titanium oxid	Oxid titaničitý
ZnO	Zinc Oxide	Oxid zinečnatý



Obsah

1 Úvod	11
2 Motivace a cíle práce	13
2.1 Motivace.....	13
2.2 Zaměření práce.....	14
2.3 Cíle práce	15
3 Současný stav problematiky	16
3.1 Biologická degradace a biodeteriogeny	16
3.1.1 Vybraní zástupci skupiny biodeteriogenů	18
3.2 Mikroskopické vláknité houby.....	25
3.2.1 Metody sběru dat o mikrobiálním znečištění, kultivace a hodnocení plísní	25
3.2.2 Zdravotní rizika spojená s plísněmi	28
3.2.3 Plísně stavebních děl	29
3.3 Současné metody ochrany proti plísním	34
3.3.1 Současné metody sanace a prevence	36
3.3.2 Současné látky s biocidním efektem	37
3.4 Nové metody ochrany proti plísním	41
3.4.1 Nanotechnologie	42
3.4.2 Fotokatalýza	47
3.4.3 Biologická ochrana – <i>Pythium oligandrum</i>	50
4 Experimentální část	54
4.1 Monitoring chování vybraných stavebních materiálů ve vztahu k biologické degradaci	54
4.1.1 Monitoring druhového složení plísní v ovzduší.....	54
4.1.2 Monitoring plísní na nově pořízených deskových materiálech.....	56
4.1.3 Monitoring plísní na vzorcích ETICS odebraných z reálných konstrukcí	66
4.1.4 Tepelné izolace na přírodní bázi v porovnání s pěnovým polystyrenem a minerální vlnou.....	73
4.2 Ochrana stavebních materiálů pomocí nanotechnologií	77
4.2.1 Výroba nanovláknitých textilií.....	77
4.2.2 Tahová pevnost nanovláknitých textilií.....	78
4.2.3 Ověření biocidní účinnosti nanovláknitých textilií	81
4.3 Ochrana stavebních materiálů pomocí fotokatalyticky aktivních nátěrů	88
4.3.1 Příprava nátěrů.....	88
4.3.2 Fotokatalytická aktivita a samočistitelnost nátěrů	89
4.3.3 Biocidní studie	97



4.4	Ochrana stavebních materiálů pomocí biotechnologií.....	103
4.4.1	Kultivace organismu <i>Pythium oligandrum</i>	103
4.4.2	Monitoring růstu <i>Pythium oligandrum</i> na stavebních materiálech	104
4.4.3	Biocidní studie	106
4.4.4	Aplikace <i>Pythium oligandrum</i> jako sanačního opatření	110
5	Závěry a doporučení	113
	Reference	116
	Seznam obrázků	128
	Seznam tabulek	131
	Publikace autora	132
	Účast na grantových projektech	140



1 Úvod

Mikroskopické vláknité houby obývají naši planetu přibližně 300 milionů let. Člověk se je během své existence naučil využívat ve svůj prospěch především v potravinářství (při výrobě sýrů, vína, dále při výrobě kyseliny citronové) a medicíně při přípravě antibiotik [1][2].

Dále existují studie zaměřené na využití enzymů produkovaných plísněmi k recyklaci plastů. Jako příklad může sloužit objev z Islamabadu (Pákistán), kde zjistili, že enzym produkovaný plísní *Aspergillus tubingensis* je schopen rozkládat polyester a polyuretan [3]. Podobná vlastnost byla objevena Yalskou expedicí v Amazonii u rostlinného patogenu, plísně *Pestalotiopsis microspora*, žijící symbioticky na břečtanu popínavém. Enzym této houby dokáže rozkládat polyuretan bez přístupu vzduchu. Tuto skutečnost by bylo možné využít uvnitř těles skládky [3][4]. Další studie se zabývají problematikou takzvaného samohojitelného betonu (angl. self-healing concrete), u kterého se využívá schopnost plísní a bakterií zacelovat trhliny v betonu. Specifická skupina těchto mikroorganismů proniká do struktury materiálu a vyplňuje mikrotrhliny či póry, tím zároveň zvyšuje nepropustnost betonové konstrukce pro vodu a v některých případech dokonce i její pevnost [5].

I přes tyto trendy ale obecně platí, že zvýšený výskyt plísní v životním prostředí člověku škodí. Patří vedle pylů a roztočů k významným alergenům, některé druhy produkují nebezpečné látky mykotoxiny přímo do potravin, mohou působit onemocnění kůže, nebo vyvolat život ohrožující onemocnění u oslabených jedinců.

Stavební objekty jsou napadány bakteriemi, řasami, plísněmi apod. Ve většině případů se jedná o konsorcia těchto mikroorganismů. Tento problém se týká všech typů staveb – historických, rekonstruovaných, energeticky sanovaných i novostaveb. U historických objektů se setkáváme se zatékáním a se vztlínající vlhkostí, a s tím spojenou zvýšenou salinitou a vznikem biofilmů typických pro kamenné zdivo. Novostavby a materiály v nich zabudované



stále čelí častěji problému s napadením především plísněmi a to v důsledku tlaku na zkrácení doby výstavby a tzv. uzavírání stavební vlhkosti v objektu. Dále není možné zapomenout na vznik tepelných mostů, které představují svými tepelně vlhkostními podmínkami vhodné útočiště právě pro plísně [6][7].

Sanace míst s výskytem plísní a hledání preventivních opatření proti jejich výskytu jsou v současné době, kdy je vyvíjen tlak na rychlost výstavby a snaha zlepšovat vnitřní prostředí budov, aktuální problematikou. Cílem mého výzkumu bylo zjistit, zda by navrhovanými opatřeními mohla být kromě klasických metod (náštříky, nátěry, atd.) aplikace nanovláken ve formě textilií. Testování byla podrobena nanovláknem vyrobená na bázi polymerního roztoku PVA (polyvinylalkohol) a poté roztoku PVA s kationty mědi a stříbra. Jako další možná ochrana před plísněmi je v této práci uvedena aplikace fotokatalyticky aktivních nátěrů a nátěru s mykoparazitickým organismem *Pythium oligandrum*. Kontaminace nežádoucími mikroorganismy je problematikou hned několika oborů lidské činnosti. Jako první se nabízí potravinářství, dále medicína a v neposlední řadě také stavebnictví. Právě kontaminace stavebních materiálů mikroorganismy se může stát potenciálním rizikem pro samotnou konstrukci jak z pohledu statického, tak i estetického [8]. Přítomné organismy na povrchu materiálů mohou mít navíc negativní dopad i na zdraví uživatelů stavebních objektů, jedná-li se o osoby se sníženou imunitou.

Kvalita vnitřního prostředí budov bývá v souvislosti s plísněmi často podceňována a to nejen v případě novostaveb, ale především u stávajících budov.

2 Motivace a cíle práce

2.1 Motivace

Stavby se už od počátku svého vzniku stávají součástí ekosystému nejrůznějších organismů. Vytváří neosídlené niky, které představují volná působiště v první řadě pro mikroorganismy (jako jsou bakterie, plísně následované řasami) a další organismy jak z rostlinné, tak také živočišné říše. Zdali a v jakém rozsahu bude objekt mikroorganismy napaden, závisí především na zvoleném materiálu, provedení problematických detailů, umístění stavby, oslunění, existenci a druhu okolní zeleně, pH přiléhající zeminy a v neposlední řadě na provozu a způsobu užívání stavby.

Napadení organismy může mít pro stavbu, ale také pro její uživatele negativní dopad a to od estetického efektu přes závažnější degradaci stavebních materiálů až po ohrožení zdraví uživatelů.

S problematikou plísní ve stavbách jsem se poprvé setkala ještě před studiem na Stavební fakultě. Bydlela jsem tehdy v bytovém domě, kde se v jednotlivých bytech v posledních dvou podlažích plísně hojně vyskytovaly (obr. 1).

Zájem o toto téma ve spojení se oblibou přírody a biologie mě přivedl k panu profesorovi Wasserbauerovi. Pod jeho vedením jsem se na zmíněný bytový dům zaměřila ve své bakalářské práci. Zabývala jsem se v ní příčinami výskytu plísní v tomto objektu, jejich identifikací a možnými zdravotními riziky, které mohly tyto konkrétní plísně představovat pro nás, uživatele objektu, a naše sousedy.





Obr. 1 Problematická místa s výskytem plísní v bytovém domě

Téma plísní ale nebylo možné plně vyčerpát a to ani v rámci diplomové práce. Nevěřila jsem tomu, že doporučení správného provádění staveb s eliminací tepelných mostů, zamezení zvýšené vlhkosti vzduchu interiéru apod. jsou uplatnitelná za všech podmínek a ve všech objektech. Dospěla jsem k názoru, že se s jistotou budeme setkávat s plísněmi v interiéru i nadále. Nabízela se otázka – Jaké jsou možnosti tuto situaci změnit? Chtěla jsem zjistit, zda je možné aplikovat jiné postupy než klasické biocidní přípravky. U těch navíc došlo díky změně legislativy k úpravě složení nebo úplnému zákazu používání [9], což bylo dalším motivem vydat se v hledání fungicidní ochrany jiným směrem.

Zvolila jsem si tedy metody ze tří odvětví, u kterých jsem chtěla prozkoumat a také ověřit jejich účinnost proti plísním pomocí laboratorních i polních experimentů. Na základě analýzy získaných výsledků bych pak byla schopná připravit podklady pro stavební profesionály, jak aplikovat a pracovat při zvolených opatřeních.

2.2 Zaměření práce

Tato disertační práce je zaměřena na problematiku mikroskopických vláknitých hub ve stavebních objektech a zejména na ověření účinnosti nových sanačních metod, na omezení jejich výskytu a růstu. Práce v experimentální části mapuje plísně vyskytující se jak v interiéru staveb, tak na jejich fasádách. Sleduje náchylnost materiálů na bázi dřeva a silikátových materiálů k rozvoji plísní v laboratorních podmínkách. Dále je pozornost věnována laboratornímu ověření účinnosti navržených metod v boji proti plísním a také vývoji těchto metod. Výzkum je soustředěn na metody z oblasti nanotechnologie, fotokatalyticky aktivních nátěrů a metody využívající biologickou složku jako přirozeného predátora a inhibitora mikroskopických vláknitých hub.

2.3 Cíle práce

Cílem této práce je objasnit problematiku výskytu a rozvoje plísní na povrchu materiálů a stavebních konstrukcích, především v objektech pro pobyt osob a přispět tak k zodpovězení dosud nevysvětlených otázek zabývajících se touto problematikou. Práce má také ověřit účinnost ekologičtějších sanačních metod v boji proti plísním ve srovnání s dnes běžně používanými metodami na chemické bázi.

Konkrétní cíle práce:

- Porovnat deskové materiály z pohledu náchylnosti pro rozvoj plísní;
- Identifikovat druhové složení plísní vyskytujících se na nově pořízených deskových materiálech a porovnat je s plísněmi izolovanými z ovzduší nebo ověřit, zda se jedná o kontaminaci z výrobního závodu;
- Identifikovat druhové složení plísní vyskytujících se na nově pořízených deskových materiálech a porovnat je s plísněmi izolovanými z ovzduší nebo ověřit, zda se jedná o kontaminaci z výrobního závodu;
- Analyzovat plísně na vzorcích ETICS odebraných z reálných konstrukcí s cílem zjistit příčiny růstu plísní na ETICS a rozsah jejich výskytu, tj. zda se vyskytují jen ve vrstvách vnější omítky nebo pronikají i do tepelného izolantu;
- Stanovit účinnost nových technologií pro ochranu stavebních materiálů proti růstu plísní na bázi fotokatalyticky aktivních nátěrů, nanotechnologií a biotechnologií;
- Na základě získaných poznatků definovat doporučení pro navrhování a provádění staveb, která by minimalizovala výskyt plísní ve stavbách.

K dosažení cílů byla použita řada laboratorních experimentů jak na vzorcích nových stavebnin, tak na vzorcích odebraných z reálných staveb zatížených běžným tepelně vlhkostním režimem. Vzorky byly následně kultivovány v laboratorních podmínkách. Experimentální výsledky byly ve většině případů analyzovány jako procento pokrytí vzorku plísněmi.

V případě stanovení účinnosti nových sanačních metod byly zvoleny také laboratorní experimenty a dále také aplikace nově navržených metod na reálných stavbách. V obou případech byl sledován výskyt a rozvoj plísní.



3 Současný stav problematiky

3.1 Biologická degradace a biodeteriogeny

Stavební materiály jsou poškozovány působením fyzikálních a chemických dějů. Tyto pochody mohou být důsledkem působení povětrnosti, znečištěného prostředí, vzlínající vody obsahující soli v ní rozpuštěné, ale také nevhodným stavebním zásahem, špatného výběru materiálu či některé z jeho složek, případně jeho špatným technologickým zpracováním. Vzhledem k tomu, že stavební materiály jsou většinou heterogenní systémy, je důležité sledovat nejen poškození hmoty jako celku, ale i poškození jejích jednotlivých složek. Obecně lze degradaci materiálů dělit do těchto skupin:

- Fyzikální degradace

Mezi fyzikální degradační děje řadíme takové, při nichž je materiál vystaven různým silám a tlakům (vně i uvnitř), jež poškozují jeho fyzikální strukturu. Vznik těchto sil nejčastěji souvisí se změnami teploty, působením vody a vodných roztoků solí, vznikem nových minerálů, mechanickými vibracemi a oděrem povrchu.

- Chemická degradace

Do této skupiny zahrnujeme děje, při nichž se mění chemické složení materiálu nebo některé jeho složky reakcí s okolím (s vodou, s nečistotami z atmosféry nebo ze vzlínající vody, s metabolickými produkty živých organismů, při nevhodném konzervátorském zásahu apod.). Výsledkem probíhající chemické koroze je zpravidla změna barvy, objemu, především ale zvýšení nebo naopak snížení rozpustnosti napadené složky.

- Biologická degradace (biodegradace, biokoroze)

Tento pojem zahrnuje degradační procesy vyvolané či podmíněné působením živých organismů (obr. 2). Jejich působení se však ve své podstatě projevuje jako fyzikální degradace

(např. vrůstání kořenů nebo houbových vláken do substrátu) nebo chemická koroze (rozpuštění substrátu např. „lišejníkovými“ kyselinami apod.), tzn. vznikem tlaků, působících na materiál nebo chemickou přeměnou některé ze složek [10], [11].

Obor biokoroze (biodegradace) technických materiálů vznikl jako vědní obor ve čtyřicátých letech dvacátého století za války v jihovýchodní Asii. Tehdy bylo pravděpodobně poprvé pozorováno selhání vojenské techniky v prostředí vlhkých tropů, prokazatelně způsobené mikroorganismy [12]. Biokorozí je míněna každá změna vlastností technických výrobků podmíněná životní činností organismů, přičemž biokorozi může působit mikrob, hmyz, hlodavec, pták, ale i člověk [13].

V procesu biokoroze se aktivně uplatňuje biodeteriogen a pasivně materiál, který může (ale také nemusí) být substrátem. Systém biodeteriogen – materiál je otevřený, protože neživý materiál není schopen se reakcí bránit napadení. Pro obor biokoroze jsou typické nejrůznější formy interakce biodeteriogen – materiál [14]. Jednoduchá forma interakce nastává již při prostém osídlení technických výrobků společenstvem mikroorganismů. Praktickými důsledky této interakce jsou změny materiálů funkční (mechanické, elektrické, optické, chemické) a morfologické (barevné skvrny, zpráškování, fibrilace). Při vzniku a průběhu biokoroze se přihlíží nejen k podmínkám vnějšího prostředí (makroklima), ale i k podmínkám, které panují bezprostředně na styku biodeteriogen – materiál. Zatímco makroklima ovlivňuje existenci biodeteriogenů v daném prostředí, mikroklima (především aktuální teplota a vlhkost) může ovlivnit napadení materiálů určitým druhem biodeteriogenů [15][16].

V dnešní době slouží stavební substráty (např. pískovec, mramor, vápence, vyvřelé a metamorfované horniny, ale také zkarbonatovaný beton) jako velmi dobré prostředí pro celou řadu mikroorganismů, které se ve specifických podmínkách velmi dobře rozvíjí. Na stavebním díle se objevují desítky rodů mikrobů, které podle nyní přijaté definice můžeme plným právem počítat mezi tzv. extrémofily. Je zřejmé, že na stavbách musí mikrobi žít většinou v nízkých teplotách (psychrofilny) a mnohdy snášet i vysoké pH (alkalofily). Výjimkou nejsou ani solné výkvěty na zdivu, na kterých žije řada specializovaných bakterií (halofily), ani nízké koncentrace živin a vody (oligofily, osmofily) [17].

Stavební objekty jsou obecně vhodným místem pro rozvoj mikrobů, dřevokazného a synantropního hmyzu a hlodavců. Poskytují také úkryt členovcům a ptákům. Z hlediska četnosti výskytu se ve stavebních objektech nejčastěji setkáváme s mikromycetami (plísněmi), řasami a s různými formami synantropního hmyzu zvláště s roztoči.



Problematika biokoroze ve stavebnictví je v současné praxi zúžena na dvě základní otázky: na diagnostiku a likvidaci dřevokazných hub a na likvidaci plísní.



Obr. 2 Biodegradace gotické omítky kostela sv. Jakuba v Prachaticích v místě konzoly, která při dešti vytváří podmínky pro rozstříkávání vody a tím optimální podmínky pro růst mechů, řas a lišejníků. Okolní plochy vykazují známky značného stupně odvápnění (Jiří Hošek)

3.1.1 Vybraní zástupci skupiny biodeteriogenů

Mikroskopické vláknité houby (plísně, mikromycety)

Plísně jsou mikroskopické vláknité houby, jejichž základem těla je vláknitý útvar zvaný hyfa, který se složitě větví v podhoubí (mycelium). Z podhoubí vyrůstají rozmnožovací orgány a z nich se uvolňují výtrusy – spory, které jsou lehké a hydrofobní. Kontaminují povrchy a předměty. Ze spory vyklíčí vlákno, které se za příznivých podmínek rozrůstá v hyfu. Plísně se šíří také rozrůstáním hyf a jejich úlomků. Plísně se vyskytují v nejrůznějších prostředích v podobě barevných nárostů mycelia – bílé, krémové, žluté, zelené, modré, šedé či černé. Barva mycelia je ovlivněna druhem plísně. Za barevnost je zodpovědný obsah pigmentů, ty

zbarvují i výtrusy – spory plísní. Plísním vyhovuje vlhko, jsou nenáročné na živiny a rostou v různém prostředí na široké škále materiálů. Optimální teplota pro růst plísní zahrnuje široké rozmezí v závislosti na druhu plísně (18 - 28 °C), některé rostou i při -10 °C nebo 60 °C. Plísně jsou navíc schopny vhodně si upravit pH prostředí substrátu, v němž rostou [18][19].

Analýzy ukázaly, že mnoho barevných změn spojených s minerálními depozity je ovlivněno zvláštními, kvasinkám podobnými mikroorganismy a společenstvem mikroskopických hub, které vytváří na stavebních materiálech mikrokolonie. Potvrdilo se, že sazím podobné částice na kameni jsou ve skutečnosti buňky mikroorganismů, které pro své tmavé zbarvení přísluší zejména k čeledi *Dematiaceae*. Zástupci této čeledi žijí nejvíce v půdě, ale také na dřevu, listech rostlin a na ochranných nátěrech, dominují na kameni. Produkují polyfenolické a huminové látky. Právě ty jsou původci tmavého zbarvení skal a stavebního kamene, přičemž barvy se mění od medově žluté až k temně hnědé a černé. Korozní aktivita: Mikromycety (plísně) přispívají ke zpráškování dekoračního kamene, a to především rozpouštěním, rekrystalizací a redepozicí kalcitu. Produkují organické kyseliny, které působí jako chelatizační agens (komplexolýza), ovlivňují demineralizaci kamene a vyluhování Al^{3+} , Mg^{2+} , Si^{4+} , Fe^{2+} , M^{2+} . Mikromycety penetrují kámen, změkčují zrna kalcitu a dolomitu a pronikají hyfami podél zvětralých minerálů [20][21][22].

Dřevokazné houby

Dřeviny, které jsou vůči houbám relativně odolné (akát, dub, kaštan), obsahují větší podíl průvodních toxických látek typu tříslovin a živic. Naopak jiné průvodní složky na bázi dusíku, hořčíku, draslíku a vápníku růst hub stimulují. Dřevo se rovněž stává přístupnější pro houby po předúpravách chemickými látkami, zářením, případně po ataku bakteriemi nebo plísněmi. Pozoruhodné je, že celulózovorní houby rozkládají většinou jehličnaté dřeviny, zatímco ligninovorní houby degradují většinou listnaté dřeviny. Je to vlastně v protikladu s primární chemickou strukturou dřevin, protože jehličnany obsahují více ligninu než listnaté dřeviny. Většina dřevokazných hub vyžaduje minimální vlhkost dřeva v rozmezí 30 až 40 %. Dřevomorka domácí se spokojí s vlhkostí dřeva 18 až 19 %. Naopak má-li být zastaven růst dřevokazných hub, musí podíl vzduchu ve dřevě klesnout na 5 až 20 %, přičemž ostatní prostory ve dřevě při postřiku nebo bazénování zaplní voda. Dřevokazných hub je velké množství. Většinou se s nimi ale setkáváme buď jako s parazity, kteří následně rozkládají dřevo pokácených stromů (např. troudnatec pásovaný a kopytovitý), nebo jako se saprofyty, kteří vegetují na pařezech a odumřelém dřevě.



Z mnoha desítek druhů náleží pouze několik k obávané skupině hub, které napadají dřevo v obydlích nebo ve sklepích. Jejich růstové projevy (způsob tvorby podhoubí, provazců, plodnic, zbarvení a rozpad dřeva) jsou v řadě případů natolik typické, že mohou dobře sloužit k identifikaci jednotlivých rodů. Z dřevokazných hub jsou, nejnebezpečnější celulózožravé houby, které působí tzv. červenou nebo také hnědou hnilobu. K nim náleží dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*), koniofora sklepní (*Coniophora puteana*), pórnatka Vaillantova (*Poria Vaillantii*), trámovka plotní (*Gloeophyllum sepiarium*), trámovka jedlová (*Gloeophyllum abietinum*), trámovka trámová (*Gloeophyllum trabeum*), outkovka řadová (*Trametes serialis*), outkovka zprohýbaná (*Antrodia sinnuosa*) a čechratka sklepní (*Paxillus pannuoides*). K ligninovožravým houbám náleží václavka obecná (*Armillaria mellea*), outkovka pestrá (*Trametes versicolor*), kornatka obrovská (*Corticium evolvent*), troudnatec kopytovitý (*Fomes fomentarius*), pevník chlupatý (*Stereum hirsutum*) aj.

Na rozdíl od plísní vystačí dřevokazné houby v řadě případů s nižší vlhkostí substrátu a rovněž na teplotě nejsou příliš závislé. Velmi zajímavý je vztah dřevokazných hub k aciditě substrátu. Jednotlivé druhy hub velmi rychle nastavují optimální pH dřeva a při umělém vychýlení pH např. roztoky pufrů jsou schopny udržet pro ně optimální pH. Všeobecně je možno říci, že celulózožravé houby regulují aciditu většinou k nižším hodnotám pH než houby ligninovožravé. Záleží ovšem na kmeni houby (její provenienci) a stáří kultury. V době zrání vytvářejí dřevokazné houby v plodnicích velké množství bazidiospor. Za určitých podmínek (sušší substrát) se tvoří přímo v myceliu tzv. vedlejší výtrusy, nebo se houby rozmnožují pouhou fragmentací mycelia. To je nebezpečné při sanačních pracích, kdy se v objektu likvidují části dřevěné konstrukce napadené dřevokaznými houbami.

Postup rozkladu hmoty dřeva je dvojitý. Buď z povrchu dovnitř dřeva (tak postupuje koniofora, dřevomorka, pórnatka), nebo z vnitřku k povrchu. Nákaza se v tomto případě dostává do dřeva trhlinami (trámovka, outkovka).

Rovněž prorůstání obou skupin hub dřevem je charakteristické. Z míst infekce pronikají dřevokazné houby dřevnými paprsky a odtud vnikají do hmoty dřeva. Zatímco celulózožravé houby vnikají do buněk dřeva jednotlivými hyfami, přičemž otvory ve stěnách si otvírají příslušnými enzymy - houby působí depolymerizaci hemicelulózy a celulózy (hnědá hniloba), ligninovožravé houby vnikají do buňky celým svazkem hyf, který se často bohatě větví - působí depolymerizaci ligninu, hemicelulózy a celulózy (bílá hniloba).

Dřevokazné houby vstupují do řady vzájemných vztahů, které závisí mimo jiné na teplotě substrátu, stáří houby, množství živných látek a především na tvorbě toxinů, které zabraňují

růstu protikultury. Saprofytické houby atakují mnohem větší počet hub než paraziti. Je to dáno tím, že saprofytické houby vyžadují nejen odumřelé dřevo, ale především do něj vstupují sekundárně a dostávají se do styku s odumřelými, nebo parazitickými druhy hub nebo skupinou plísní, které ze dřeva postupně vytlačují nebo jim konkurují [23][12].

Pevnost dřevěných smrkových prvků v tlaku rovnoběžně s vlákny klesá v důsledku působení celulózovorních hub o 20 až 25 % za měsíc, u ligninovorních hub je pokles o něco pomalejší, okolo 15 až 20 %. K poklesu meze pevnosti v tlaku kolmo na vlákna v tangenciálním směru dochází u hniloby působené zástupci obou skupin dřevokazných hub s podobnou intenzitou (mírně výraznější je u ligninovorních dřevokazných hub). Pokles pevnosti v tlaku kolmo na vlákna se pohyboval zpočátku okolo 30 % za měsíc působení [24]. K výpočtu únosnosti a posouzení konstrukce stropu napadené biologickou korozí je potřeba znát tzv. zbytkový průřez (neovlivněný korozí). Jednou z možností, jak jej zjistit bez nutnosti rozřezání trámu na prvky je použití nedestruktivních (ultrazvukem) a semidestruktivních (rezistografem) metod [25][26][27].

Silikátové bakterie (silikátové mikroorganismy)

Jedná se o chemoorganotrofní bakterie, které rostou již od 5 % hmotnostní vlhkosti zdiva a aktinomycety, které přežívají i při 2% hmotnostní vlhkosti. Optimální pH pro bakterie je 7, ale v čerstvě zbudovaných betonových konstrukcích byl nalezen mikrob žijící i při pH 12. Optimální teplota je 15-30 °C. Pro některé tzv. psychrofilní organismy je optimální teplota + 5 °C. Silikátové bakterie zahrnují řadu odlišných rodů. Bakterie dávají přednost růstu na hrubozrnných pískovcích s příměsí uhličitánů a jílových minerálů [28][29].

Hlavní zástupci: *Micrococcus halobius*, *Corynebacterium* sp.

Sinice a řasy

Řasy jsou jednoduché mikroorganismy podobné rostlinám, obsahující chlorofyl, nemají diferencované buňky, tělo je tvořeno pouze stélkou. Tyto organismy žijí v mořích, řekách, jezerech, v půdě i na vlhkých stavebních materiálech, všude tam, kde jsou vhodné podmínky. Především je nutná přítomnost světla slunečního záření pro jejich fotosyntézu, a vzdušná vlhkost. Na druhou stranu potřebné množství minerálních látek je minimální. Řasy rostou nejen na povrchu, ale prorůstají i do pórů stavebního kamene. Dokáží přežít v intervalu teplot od 0 °C do 85 °C. Řasy vyžadují k růstu světlo, vzdušnou vlhkost a minerální látky. Velmi



dobře rostou v místech, kde je nějaký čas zadržována voda (římsy, parapety oken, balkóny, chráněné zóny zdiva). Za příznivých podmínek tvoří rozsáhlé povlaky různé konzistence, tloušťky a barvy. Převládá barva zelená, namodralá, ale také šedá, hnědá a v suchých místech až černá. Řasy dobře rostou na povrchu i v pórech a prasklinách kamene, případně aktivně kámen penetrují. V nároku na světlo nejsou náročné. Vyskytují se sice především na ozářených místech, avšak mohou vegetovat i při extrémně nízkém osvětlení ve spojení s nízkou teplotou (okolo 0 °C). Nesnášejí pH okolo 12. Jakmile však vlivem atmosférické karbonatice klesne pH na cca 9, je nástup řas na vlhkém kameni zákonitý. Řasy dobře snášejí velké teplotní výkyvy (0 až +85 °C). V nouzi vystačí pouze se vzdušnou vlhkostí (*Pleurococcus*, *Trebauxia*), růst je proto patrný především v zimě a na jaře.

Řasy agresivní vůči stavebnímu kameni především svými metabolity, zvláště organickými kyselinami, barvivy (karoten, astaxantin) a látkami působícími uvolňování kationtů ze stavebního kamene chelatizací. Mohou vrůstat do malých štěrbin a při navlhání a rozšiřování objemu působí narušení materiálu [30].

Hlavní zástupci: *Chroococcus*, *Pleurococcus*, *Gloeocapsa*

Řasy v souvislosti se stavebním dílem byly nejvíce zkoumány v souvislosti s výskytem povlaků na stavebním kameni. Řasy na stavebním kameni způsobují degradaci svými metabolity a také zadržováním vody, která je problematická především v mrazových cyklech. Řasy se běžně vyskytují v konsorciu s bakteriemi, které také degradují stavební materiál. Klasická ochranná opatření se provádějí běžnými organickými a anorganickými látkami, které v závislosti na čase a okolních podmínkách postupně ztrácejí účinnost. To ale neznamená, že kámen je jediným materiálem, který je před působením řas v ohrožení. Stále častěji se setkáváme s růstem řas na fasádách objektů o různém materiálovém složení. Do rukou se nám dostávají především problémy objektů po rekonstrukci s dodatečně zateplenými fasádami. V dalších případech je právě výskyt řas prvním podnětem pro provedení rekonstrukce. Pro investora se jedná především o estetický problém a nikoliv o jev často signalizující problém konstrukce samotné.

Řasy jsou prvními organismy, které jsou ve formě barevných skvrn viditelné na stavebních konstrukcích [31]. U materiálů s počátečním vysokým pH, jako například betonové konstrukce v prvním stádiu expozice, je v počátku viditelná ochrana před tímto napadením, ale díky vysoké koncentraci CO₂ v ovzduší, způsobující karbonatice, se tato výhoda rychle snižuje. Řasy na fasádách způsobují spíše estetické škody, i když na druhou stranu hrají velkou roli v mrazových cyklech a podporují růst i dalších mikroorganismů. Řasy se nevyskytují

osamoceně, ale v konsorciu (obr. 3) s typickými bakteriemi, které samotné mají také poměrně velké degradační účinky.

Warscheid and Braams (2000) popsali na několika stranách problematiku biologického znehodnocení kamene se zaměřením na důležitost ošetřování tohoto materiálu. Dále se autoři popisují další činitele, které ovlivňují nebo zvyšují riziko biodegradace kamene, jako jsou například povětrnostní vlivy – vítr, slunce, déšť, sníh, vzdušná vlhkost, proměnlivost teplot vzduchu, působení chemické koroze. V neposlední řadě to jsou také zdroje polutantů v ovzduší produkované antropogenní činností (např. vytápění, doprava automobily, letadly apod.). Tyto polutanty ve formě plynů, aerosolů a prachových částic ulpívají na povrchu konstrukcí a stojí na počátku utváření tzv. krust. Následky biologické degradace nejsou závislé pouze na okolním prostředí a druhu organismu, ale také na typu kamene, jeho chemickém složení, pórovitém systému.

Na film vytvořený mikroorganismy na povrchu stavebních materiálů je nutné nahlížet jako na komplexní ekosystém, který se vyvíjí v závislosti na okolních podmínkách – požadavky na světlo, přítomnost uhlíku, dostatečná vlhkost atd. Metabolická aktivita řas je závislá především na světle a vlhkosti. Zelené biofilmy v místech, kam nedopadá světlo, nejsou s největší pravděpodobností způsobené řasami, ale jinými organismy produkující zelené barvivo.

Součástí diskutované publikace je identifikace biodegradačních činitelů v závislosti na barvě skvrn vyskytujících se na povrchu kamene. Autoři tvrdí, že pro přesnou identifikaci je bezesporu nutné použít nějakou další identifikační metodu (ještě lépe kombinace více takových metod založených na různých principech), na jejímž základě bude zvolena taková sanační metoda, která povede k odstranění a prevenci dalšího výskytu biofilmu. A poté následuje kapitola o prevenci biologické degradace, ve které kladou autoři důraz na volbu vhodného stavebního materiálu, návrh konstrukce a výběr vhodného biocidního přípravku s co nejdelším efektem proti růstu řas a dalších mikroorganismů [32].

Alberto Torrisi publikoval v roce 2007 výsledky svého výzkumu zaměřeného na biologickou degradaci kamene způsobenou řasami. Upozorňuje na fakt, že vždy je lépe začít se sanací kamene co nejdříve, kdy je biofilm na povrchu kamene v počátečním stádiu. Při experimentu pokryl povrch vápencového pískovce napadeného skupinou řas tenkou vrstvou na bázi prvků v tomto pořadí: zlato/chróm/nikl/zlato. Jako biodeteriogenní agens byly použity následující druhy řas *Calotrix parietina*, *Entophysalis rivularis*, *Loefrenia hofmannii* a *Ulothrix zonata*. Vzorky byly uchovány za podmínek zrychleného stárnutí, tj. v termostatu při teplotě 18 °C



v termostatu ve vlhkém prostředí za současné simulace denních a nočních cyklů (12 hodin vystaveny působení světla 500 lx a 12 hodin ve tmě) po dobu 30 dnů. Torrisi získal výsledky, které by mohly být v budoucnosti uvedeny do praxe, ale zároveň dodává, že je nutné posoudit vliv této metody na životní prostředí s ohledem na použítá rozpouštědla, a tak je nezbytné získat výsledky při aplikovaném výzkumu v reálných podmínkách [33]. Důležitou roli při výběru sanační metody hrají i ekonomické faktory.

Další odborný článek je zasazen do Kambodži do jednoho z nejvýznamnějších archeologických nalezišť v jihovýchodní Asii. V období 9. – 15. století zde leželo hlavní sídlo Khmerské říše a z té doby se zachovalo velké množství památek. Památkový komplex Angkor leží v provincii Siem Reap a od roku 1992 je zapsán na seznam světového dědictví UNESCO. Jedná se o oblast se střídajícím se extrémním suchem a vlhkem během roku. Častý je také výskyt vyšších rostlin v interiérech, ale i na povrchu pískovce, což představuje pro konstrukční prvky další riziko. Autoři se zabývají problematikou biofilmů na chrámech z pískovce. Jako dominující biodeteriogen byla identifikována *Chroococcidiopsis* (fotosyntetizující sinice) v konsorciu s řasami a bakteriemi. Jednalo se o první podrobnou studii složení biofilmu zaměřenou na sinice a řasy.

Zkoumané biofilmy byly zelené, šedé, hnědé, černé a růžové barvy. K identifikaci jednotlivých mikroorganismů zde bylo použito mikroskopické a molekulární analýzy. Jednotlivé organismy jsou začleněny do skupin podle barvy biofilmů. Uvedený nález dominantního organismu se shoduje s obdobnými studii provedenými na pískovcových chrámech v Indii a Jižní Americe. Studie mimo jiné potvrzuje fakt, že sinice jsou odolné vůči vysychání a slunečnímu záření. Autoři opět poukazují na důležitost znalosti přesného složení biofilmů pro jeho další studium a návrhu opatření pro ochranu památek z pískovce a nejen z tohoto materiálu [34].



Obr. 3 Severozápadní fasáda bytového domu v Litvínově s výskytem biofilmu tvořeným plísněmi, řasami a bakteriemi

3.2 Mikroskopické vláknité houby

Tato kapitola se podrobněji zaměřuje na plísně a zdravotní rizika, která představují pro člověka, a na místa stavebních objektů, kde se s plísněmi nejčastěji setkáváme. Dále je kapitola věnována běžným příčinám výskytu plísní.

3.2.1 Metody sběru dat o mikrobiálním znečištění, kultivace a hodnocení plísní

Z hlediska expozice člověka je zásadní výskyt mikroorganismů ve vdechovaném vzduchu. Tato hodnota je ovšem s počasím, provozem budovy, větráním a proměnlivými vnitřními zdroji značně kolísavá. Proto se také sleduje výskyt mikroorganismů na površích nebo v prachu. Zvolená technika sběru mikroorganismů a použité přístroje mají vliv na výsledek, tudíž lze výsledky různých pracovních skupin obtížně srovnávat. Tradiční metody spočívají ve zjištění počtu životaschopných jednotek, tedy těch, které jsou schopny se za příznivých podmínek rozmnožovat. Metody se dělí na:

- aktivní, kdy je vzduch nuceně nasáván tak, aby částičky ulpěly na živné půdě
- pasivní, které využívají volného pohybu spor plísní a bakterií ve vzduchu a jejich samovolného usazování na živnou půdu, případně na různé povrchy, ze kterých lze usazený bioaerosol odebrat.

Následně se mikroorganismům vytvoří vhodné prostředí pro růst (jsou stanoveny teploty a kultivační doba). Po kultivaci se vyhodnotí kvantitativně počet kolonií, příp. druhová

skladba. Aby byly vytvořeny vhodné podmínky pro obě sledované skupiny, jsou živné půdy odlišné pro plísně (vláknité mikromycety) popř. kvasinky a bakterie [35][36].

Aktivní metoda odběru vzorku vzduchu využívá zařízení aeroskop (obr. 4) podle standardního operačního postupu a kultivací na živné půdě. Předpis popisuje přípravu prostor, jejich nutnost vyvětrání a omezení provozu, a to jak nuceně, tak přirozeně větraných, a následně postup a umístění aeroskopu při vlastním odběru. Metoda aktivního nasávání vzduchu aeroskopem je zatím jediná varianta, která je dle uzákoněných předpisů porovnatelná s limitní hodnotou, kdy se za vyhovující považuje, nepřekročí-li vzorek limit 500 KTJ/m^3 [37].



Obr. 4 Příklad aeroskopu (Merck millipore)

Další z aktivních metod, která se na rozdíl od metody spadové používá k odběru vzorků mikroorganismů z povrchu materiálů, předmětů nebo stěn, je metoda stěrová. Principem metody je provádění stěru z plochy sterilním vatovým (případně i jiným) tamponem z plochy vymezené šablonou tvaru čtverce o velikosti 100 x 100 mm. Před odběrem je vhodné navlhčit tampon sterilní destilovanou vodou, fyziologickým roztokem nebo o povrch sterilní kultivační půdy. Na misku se sterilní kultivační půdou se po odběru přenesení stěr z tamponu a získané mikroorganismy se v uzavřené misce kultivují. Přenesení na misku probíhá v místě odběru nebo při zpracování donesených vzorků v laboratoři.

Pasivní metoda odběru vzorků mikroorganismů ze vzduchu se nazývá spadová metoda. Jedná se o nejstarší metodu, která je využívána již od 19. století. Principem metody je přirozené sedání bioaerosolu na sterilní živnou půdu v otevřené Petriho misce, na které je následně kultivován. Doba expozice se musí uzpůsobit očekávanému množství mikroorganismů. Jedná se o metodu velmi citlivou na proudění vzduchu. Doporučená doba spadu je 10 a 30 minut. Po odběru jsou misky opět uzavřeny, aby nedošlo k nežádoucí kontaminaci. Měrnou jednotkou je v tomto případě KTJ/m^2 testovaného povrchu. Je natolik

v mikrobiologické praxi zaběhlá, že se pro hodnocení napadení mikroorganismy používá i míra plochy porostlá mikroorganismy bez přepočítávání na běžné jednotky SI.

Pro hodnocení kontaminace prachu mikroorganismy je možné použít jednotku KTJ/g prachu. Jeho složení je totiž podstatně stabilnější než aktuální stav vzduchu a sám o sobě je živnou půdou pro mikroorganismy. A to především díky svému složení - organické nečistoty, šupinky lidské kůže apod. V 1 g domácího prachu se mohou nacházet tisíce životaschopných (kultivovatelných) mikroorganismů. Metoda používaná k odběru mikroorganismů z prachu ale i povrchu vzorků je metoda otisková. Ke zkoumanému povrchu se přikládá adhezivní páska a z ní jsou mikroorganismy přeneseny na podložní sklíčko pro okamžité sledování vzorku pod mikroskopem nebo na sterilní živnou půdu.

Živné půdy v miskách zajišťují optimální přísun živin při kultivaci mikroorganismů. Živných půd je celá řada, liší se složením, účelem použití a selektivitou. Je třeba vždy u vzorků rozlišovat Petriho misky, na kterých budou vždy kultivovány bakterie nebo plísně. Tyto misky zpravidla obsahují odlišné živné půdy, které mohou inhibovat ostatní skupiny mikroorganismů [35][38].

Kultivace živých organismů zachycených přímo na živných půdách (aeroskop, spad, otisky) probíhá přímo na této půdě. Pokud je vzorek odebrán na pomocný materiál (tampon nebo páska) je nutné vzorek vhodnou metodou uvolnit, naředit a následně na živnou půdu přenést. Možných metod je celá řada, a tak je nutné přistupovat i k získaným výsledkům. Porovnávat je možné pouze výsledky odebrané stejnou metodou a získané stejným zpracováním. Samotná kultivace se liší podle detekovaného mikroorganismu. Vzorky s bakteriemi (pro kultivaci bakterií) jsou ukládány do biologického termostatu s teplotou nastavenou na 30 ± 1 °C na dobu 72 hodin. Tam za daných podmínek při aerobní inkubaci vyrostou na příslušné živné půdě kolonie bakterií, které se následně spočítají. Pro vzorky s plísněmi je termostat nastaven na teplotu 25 ± 1 °C na 3 až 5 dnů. Po uplynutí inkubace se vzorky vyjmou a spočítají počty kolonií tvořících jednotky nebo se zhodnotí plocha porostlá myceliem plísní [39][40][41].

Identifikace plísní bývá prováděna na základě signifikantních znaků sledovaných na misce nebo pod mikroskopem. Sledovanými znaky jsou například rychlost růstu, charakter povrchu, barva mycelia, barva spor, přítomnost výpotku. Mikroskopické znaky jsou pozorovány na připravených nativních preparátech nebo sklíčkových kulturách (metoda visuté kapky nebo vlhké komůrky). Těmito znaky jsou charakter mycelia, uspořádání a tvar fruktifikačních orgánů a přítomnost chlamydo spor [42].



Další možností je použití kultivačních půd pro identifikaci a selektivní selektivní kultivaci vybraných mikroorganismů. Moderní metoda používaná k identifikaci mikroorganismů včetně plísní je metoda Metoda Maldi-TOF. Jedná se hmotnostní spektrometrii s laserovou desorpcí a ionizací za účasti matrice s průletovým analyzátozem. Hmotnostní spektra získaná během analýzy jsou specifická (jako otisk prstu) pro každý testovaný mikroorganismus. Pro identifikaci mikroorganismů jsou získané proteinové profily porovnávány s referenční databází kontrolních kmenů. [43][44].

3.2.2 Zdravotní rizika spojená s plísněmi

Plísně patří k významným faktorům, které mohou velmi negativně ovlivnit zdraví člověka. Mohou způsobovat alergická a mykotická onemocnění. Spóry mikromycet jsou závažnými alergeny. V závislosti na jejich koncentraci v ovzduší může dojít k alergickému onemocnění včetně astma bronchiale. Alergie na plísně je častá zejména u dětí. I když toxinogenní mikromycety a mykotoxiny (sekundární metabolity plísní) působí především v potravinách a jsou příčinou tzv. dietární expozice, některé spóry plísní obsahují také mykotoxiny. Mykotoxiny patří mezi nízkomolekulární neproteinové komponenty, produkované myceliem plísně, které mohou vyvolat akutní toxickou reakci a mají mutagenní, teratogenní, karcinogenní a estrogenní efekt. Plísně během svého růstu produkují těkavé organické látky, některé z nich člověk vnímá jako plísněový zápach. Tyto látky mohou poškozovat a dráždit sliznice dýchacích cest, oči a také způsobovat bolesti hlavy a podráždění pokožky. Plísně mohou poškozovat zdraví člověka i tím, že způsobují mykotická onemocnění. [45].

Mykoalergózy hrozí všude tam, kde je masivní nárůst plísněového mycelia a v ovzduší vysoký počet plísněových spor nebo těkavých látek (volatilních mykotoxinů), které plísně uvolňují. U vnímavých osob vzniká přecitlivělost projevující se onemocněním dýchacího ústrojí, zejména průduškovým astmatem a alergickou rýmou, někdy bolestí hlavy a pálením očí. Účinek plísní jako alergenů závisí na koncentraci spor a těkavých látek v ovzduší. Dále je reakce člověka ovlivněna délkou expozice zvýšené koncentraci spor, které je člověk vystaven, a také jeho aktuálním zdravotním stavem a stavem jeho imunitního systému. Mezi nejčastější alergeny patří druhy plísní *Alternaria*, *Cladosporium*, *Botrytis*, *Aspergillus*, *Penicillium* a *Mucor*. Mykotoxikózy jsou závažná onemocnění způsobená plísněovými jedy – mykotoxiny, které některé plísně mohou vylučovat do napadených potravin, což je také nejčastější forma plísní, s níž se člověk dostane do styku. Mykotoxiny jsou jedním ze sledovaných parametrů v potravinách, který poukazuje na kvalitu zpracovávaných vstupních surovin[46][47].

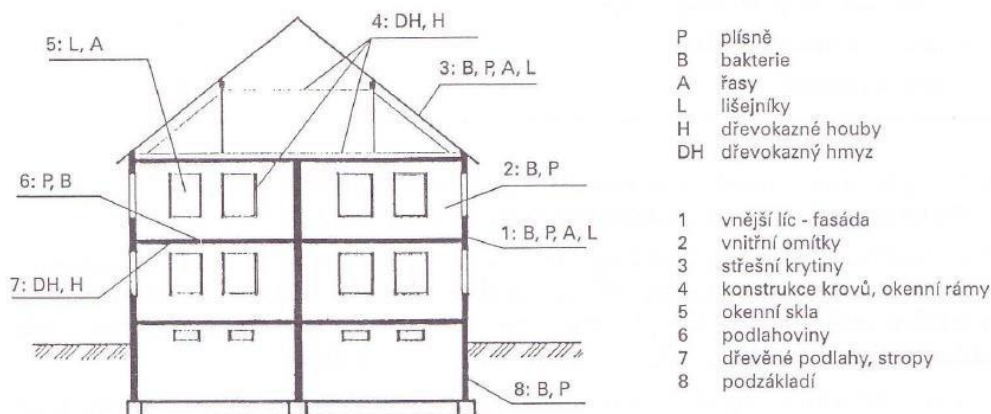
Přibližně 50 mykotoxinů má přímou souvislost s onemocněním člověka a zvířat. Nebezpečné jsou zejména imunosupresivní (snižují obranyschopnost organismu a v důsledku toho zvyšují jeho náchylnost k řadě onemocnění) a karcinogenní účinky. Známé jsou Aflatoxiny B1 a B2 produkované druhy *Aspergillus flavus* a *Aspergillus parasiticus* nebo Patulin produkovaný druhy *Penicillium patulum*, *Penicillium expansum*, *Penicillium cyclopium* a některými druhy rodu *Aspergillus*.

Dermatomykózy (zejména plísňové onemocnění nohou) působí nejčastěji dermatofyta rodů *Trichophyton*, *Microsporum* a *Epidermophyton*. Jsou častými plísněmi vyskytujícími se v prostředí šaten a sprch v areálech koupališť, plaveckých bazénů a fitcenter. Zdrojem infekce jsou většinou lidé s plísňovým onemocněním nohou. Infekční šupinky kůže z nohou nakažených jedinců ulpívají na dlaždicích, rohožích a podlahách. Další osoby se nakazí jejich našlápnutím. Postižené partie svědí, mokvají, drolí se a lámou. Šíření plísní může provozovatel zařízení bránit důslednou dezinfekcí podlahových prostor vytíráním a střídáním vhodných dezinfekčních prostředků (např. Savo prim, Orthosept P, Stericlean), návštěvníci nošením ochranné obuvi a osobní zodpovědností (osoby trpící plísňovým onemocněním by do vyléčení neměly jmenovaná zařízení navštěvovat).

Zdravotní účinky ostatních bioteriogenů nejsou uváděny, protože se jimi tato disertační nezabývá.

3.2.3 Plísně stavebních děl

Jak již bylo zmíněno výše, stavební konstrukce a používané materiály bývají vhodným útočištěm pro biodeteriogeny různého druhu (obr. 5). Tato kapitola se zaměřuje na plísně, které jsou hlavním biodeteriogenem této disertační práce.



Obr. 5 Oblasti budovy s největší aktivitou biodegradačních činitelů [16](Wasserbauer, 2000)

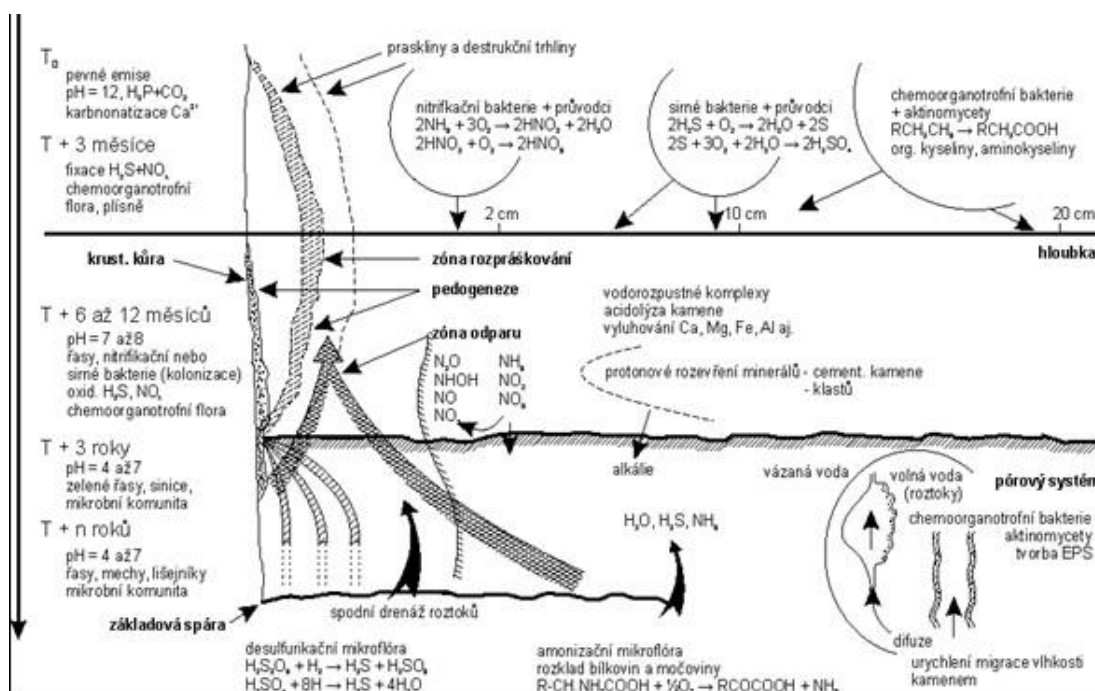
Následující výčet nezahrnuje všechny části a materiály stavebního díla, ale pouze ty nejčastěji napadávané koloniemi mikroskopických vláknitých hub.

3.2.3.1 Kámen

Biokoroze vlhkého stavebního a dekoračního kamene není v přírodních podmínkách způsobena pouze jediným druhem biodeteriogenů, ale celým společenstvem, které žije ve složitých ekologických vztazích. Velmi častá je asociace řas a bakterií nebo řas a plísní (řasa *Chlorella*, bakterie *Micrococcus*, *Flavobacterium*, plísně *Aspergillus*, *Penicillium*). Ve všech případech řasy udržují ve svém okolí vhodnou vlhkost, čímž vytvářejí příznivé mikroklima pro růst plísní a bakterií [18][32].

Plísně se nevyskytují pouze na povrchu kamene ve stavebních konstrukcích. Rozsáhlá studie biofilmu vápencových kvádrů byla provedená v Íránu v Pasargádách, kde byla otevřená hrobka z 6. stol. př. n. l., která je na seznamu světového dědictví UNESCO. Plísně získané z povrchu biochemickými a mikroskopickými metodami (*Cladosporium* sp., *Embellisia* sp., *Cryptococcus* sp., *Candida* sp., *Meyerozyma* sp., *Arthirinium* sp., *Ulocladium* sp., *Montagnulaceae* sp., *Fusarium* sp., *Humicola* sp. a *Pseudozyma* sp.) byly později detegovány i v hlubších vrstvách vápencových bloků hrobky a způsobovaly vedle barevných změn jejich rozrušení, leptání, biomineralizaci a drolení [48].

Zajímavé výsledky ukázala studie [49] srovnávající tepelně vlhkostní charakteristiky izolace z kamenné vlny a z konopí. Kamenná vlna se vyrábí ze směsi kameniva - čedič, diabas, atd. a používá se jako tepelná, zvuková a protipožární izolace. Oproti skelné vlně je tužší, a proto ji lze používat k izolaci šikmých střech, příček i fasád či do protipožárních konstrukcí. Vedle součinitele prostupu tepla a rizika kondenzace vodních par bylo počítáno a následně sledováno také riziko rozvoje plísní u sendvičů skládajících se z OSB desky a vrstvy izolace. I když výpočet nasvědčoval tomu, že vzorek s kamennou izolací je náchylnější k rozvoji plísní a její povrch by měl být plísněmi pokryt, po skončení experimentu a rozebrání sendviče, byly obě izolační vrstvy bez nálezu plísní.



Obr. 6 Schéma biodeterioračního působení nižších organismů na stavební kámen konstrukční prvky staveb. Na ose x je hloubka, do které pronikají mikroorganismy a ve které působí korozivně, osa y znázorňuje čas a průběh sukcese mikroorganismů a osídlování povrchu kamene různými rostlinnými formami. Šipky naznačují průběh vzlínání vody do zdiva a tvorbu deskové koroze. Spodní část zaznamenává chemické a biologické procesy v základové spáře stavebních objektů [16]

3.2.3.2 Dřevo a výrobky na bázi dřeva

Pro dřevo a výrobky na bázi dřeva představují plísně určité riziko. Ale daleko větším nebezpečím pro tento materiál jsou dřevokazné houby a následně napadení dřevokazným hmyzem. Tyto biodeteriogeny rozrušují materiál a v porovnání s plísněmi obecně poměrně rychle snižují jeho pevnost a působí více do hloubky materiálu.

Nicméně na povrchu výrobků na bázi dřeva mohou plísně také růst, což dokládá příklad v minulosti provedené studie zabývající se povalovým dřevěným stropem. Byl prokázán výskyt plísní na povrchu povalového stropu, který vizuálně nenasvědčoval napadení plísněmi. Identifikace plísní provedená na základě snímků z mikroskopu potvrdila výskyt následujících rodů plísní: *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Pithomyces chartarum*, *Curvularia lunata*, *Penicillium série biverticillata*, *Arthrimum phaeospermum*, *Chrysosporium pannorum* [50].

3.2.3.3 Beton

V poslední době se při analýzách mikroflóry betonových konstrukcí stále častěji objevují zmínky o významné degradační aktivitě chemoorganotrofních bakterií a mikromycet (plísní). Dominantní postavení při biokorozi betonu hrají mikroskopické vláknité houby

(mikromycety) a to především zástupci rodů *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* a *Trichoderma*. Jedná se tedy o běžné epifytní či půdní mikromycety, které jsou schopny růst na nepatrných částech prachu a špíny, rychle kolonizovat porézní povrch betonu a produkovat organické kyseliny (kyselinu mravenčí, octovou, propionovou, citronovou, šťavelovou a další). Tím mohou snižovat pH betonu i pod hodnotu 7. Uvádí se, že například některé kmeny *Aspergillus niger* produkovaly glukonovou a šťavelovou kyselinu, která způsobila u betonu z portlandského cementu úbytek Ca^{2+} o 4 % a pevnost betonu se snížila až o 60 %. K takovýmto případům může docházet zejména v zemědělských a potravinářských provozech (mlékárny a masné provozy), kde mají mikromycety dostatečný přísun živin [16].

3.2.3.4 Asfaltové krytiny

Bakteriologické analýzy narušených asfaltových střešních pásů prokázaly v některých výdutích přítomnost plísní rodů *Scopulariopsis*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Humicola*, *Acremonium*, řas a velkého množství chemoorganotrofních bakterií. Laboratorními analýzami bylo prokázáno, že napadeny jsou především nosné vložky z organických materiálů, např. netkaná textilie. Jako zcela odolné byly shledány skleněné rohože a polyesterové nosné vložky. Zatím však nelze přesně říci, jak významný je podíl mikroflóry na výsledné destrukci krytiny. Příklad asfaltové krytiny zdegradované působením vody a mikroorganismů je zachycen na obr. 7.



Obr. 7 Pohled na zdegradovaný povrch ploché střechy s asfaltovými pásy, bytový dům v Litvínově

3.2.3.5 Sádrokarton

Obecně jsou ohroženy konstrukce ze sádrokartonu, které jsou vystaveny zvýšené relativní vlhkosti vzduchu, nebo které jsou přímo zkrápěny vodou (např. v koupelnách). Citlivým článkem je papír, který je pro plísně ideálním zdrojem živin. Výrobci jsou si tohoto problému vědomi a přizpůsobují své desky pro vlhké prostory, jako jsou koupelny (desky se impregnují) a prostory s vysokou pravděpodobností kondenzace vodní páry jako jsou například průmyslové prádelny či velkokapacitní vývařovny, interiéry s trvalým výskytem vody, ke kterým se řadí haly plaveckých bazénů, veřejné sprchy ve sportovních zařízeních, wellness centra, dále provozy myté tlakovou vodou, prostory s kolísavou teplotou a vysokou vlhkostí (garáže, parkovací prostory), ale i místa se zvýšeným rizikem vzniku plísní, jako je ostění střešních oken. Odolnost desek pro tyto prostory proti vodě zajišťuje kromě impregnace sádrového jádra i vodoodpudivá skelná rohož, která je použita místo běžného sádrokartonového papíru. Deska neobsahuje žádný organický komponent, který by mohl představovat živnou půdu pro plísně.

3.2.3.6 Technické příčiny výskytu plísní

Podle dostupných informací se mikromycety v naprosté většině vyskytují v posledním a předposledním podlaží a u štítů panelových bytových objektů. Příčinou bývá kondenzace vodní páry na chladných vnitřních površích obvodového pláště v místě tepelných mostů. Z dosud získaných podkladů je možné odhadnout, že celkový rozsah napadení je v průměru 2-7 % z celkového počtu bytů. V některých případech bylo plísněmi v posledním podlaží napadeno 50-90 % všech bytů.

V poslední době dochází ke zvýšenému výskytu plísní v novostavbách. Zde hraje hlavní roli spěch a snaha o co nejrychlejší návratnost vložených investic, které investory nutí uvádět stavby do provozu, aniž by proběhlo alespoň částečně přirozené vysychání objektu. Navíc jsou do staveb montována velmi dobře těsnící okna, která bez pravidelného větrání mohou být pro nevyzrálou novostavbu pravou pohromou.

Samostatnou kapitolou je pak dokončování a uzavírání staveb v zimním období či dokonce zahajování staveb v zimě, kdy dochází nejen k provlhnání obvodového pláště, ale často i ke zplesnivění celého krovu a ataku dřevokaznými houbami.

Mezi základní příčiny výskytu plísní patří následující poruchy stavebních objektů:

- Nedostatečný tepelný odpor obvodového pláště
- Lokální poruchy panelů a jejich styků



- Kondenzace vlhkosti uvnitř konstrukce
- Nedostatečná regulace otopných soustav
- Nízká teplota vnitřního vzduchu
- Nesprávné těsnění spár
- Nevhodně volený materiál či povrchová úprava (neprodyšnost povrchu)
- Nedostatečná intenzita větrání
- Zatékání deště porušenou střešní krytinou
- Porušená izolace proti zemní vlhkosti (neefektivní drenáž)
- Poruchy rozvodu vody
- Stavební vlhkost, mokré technologie (uvedení objektu do provozu bezprostředně po dokončení)

Dalšími častými příčinami jsou:

- Probetonovaná místa v tepelné izolaci panelů
- Široká okrajová žebra panelů
- Absence tepelně izolační vrstvy
- Netmelené spáry (hnízda ptáků a myší)
- Nadměrná šířka spár
- Tepelné mosty pod prahem balkónových dveří
- Infiltrace vzduchu balkónovými dveřmi
- Intenzivně chlazené stěny lodžii
- Zatékání do oken, do nadpraží balkónových dveří
- Nedokonalé odvětrání střešního prostoru apod. [12][51]

3.3 Současné metody ochrany proti plísním

Obecně máme v boji proti plísním k dispozici metody mechanické, chemické a fyzikální. Mechanické metody zahrnují odstraňování prachu, nečistot a zbytků organického materiálu z povrchů. Mechanické metody jsou často kombinovány s fyzikálními a chemickými prostředky. Například při omývání povrchu vodou se používají detergenční přípravky (tenzidy), které díky své vysoké smáčivosti emulgují odstraňované nečistoty a ničí přítomné mikroorganismy včetně plísní. Dalším opatřením je ventilace, kdy je odváděn zvířený prach nebo vodní pára, která by jinak kondenzovala na stěnách a stropěch. Jako ochrana před

plísněmi je vhodná klimatizace, která dodává mikrobiologicky čistý vzduch o požadované teplotě a vlhkosti. Je však třeba dbát na její údržbu a výměnu filtrů. Z fyzikálních prostředků je uplatňována expozice UV záření, ošetření teplem. V literatuře se uvádí ochrana proti mikroorganismům za použití studeného plasmatu. Další možností je ošetřit povrch materiálů tak, aby byl hydrofobní, a neumožňoval tak ulpívání nečistot. V případě chemických metod se uplatňují látky s biocidním účinkem. Ty mohou být biologické nebo chemické povahy ve formě plynů, kapalin a suspenzí. Aplikace bývá prováděna ve formě nátěrů, postřiků, namáčením nebo plynováním (fumigace) [52][53].

Jsou-li předměty či prostory zaplísněny, je důležité vybrat k likvidaci plísní vhodný dezinfekční prostředek a vhodnou metodu. Přípravek se vybírá podle materiálu, na kterém plísně rostou, podle rozsahu nárůstu a podmínek prostředí. V chemických dezinfekčních přípravcích zajišťují fungicidní účinek určité chemické látky - aktivní chlór, aldehydy a jejich deriváty, alkoholy, kvartérní amoniové sloučeniny, organické kyseliny, peroxosloučeniny, sloučeniny jódu a kovů. K dezinfekci lze použít i fyzikální metody - var, UV záření, parní dezinfekční přístroje. V případě likvidace plísní je vhodná konzultace s odborníky (na hygienické stanici lze získat potřebné informace, hygienická služba může provést mikrobiologickou kontrolu vnitřního ovzduší). Je-li zaplísnění většího rozsahu, je vhodné obrátit se na specializovanou firmu, která provede odborný zásah. Je však třeba vědět, že k trvalému odstranění plísní je nutno zjistit primární příčinu výskytu plísní v dané lokalitě a tuto příčinu odstranit [19].

I přes dodržení technologických procesů a postupů, může nastat za určitých podmínek kontaminace interiéru a iniciace růstu plísní na povrchu materiálu. V případě, že toto riziko hrozí, je nutné volit vhodnou biocidní ochranu. Algicidní nebo čistě fungicidní ochrana stavebních materiálů jen proti určitému druhu plísní se systematicky neprovádí, jedná se spíše o preventivní opatření proti skupině mikroorganismů obecně. Běžně se používají roztoky kovů, ale i jiné složitější, především organické látky. Dříve běžně dostupné biocidní přípravky české výroby se dnes nesmí kvůli legislativním změnám od června roku 2014 používat [9].

V současné době jsou prováděny studie moderních sanačních metod s využitím nanovláknitých textiliích. Tato potenciaálně perspektivní cesta umožní použít biocidy v menší koncentraci nebo i ty, které jsou v současné době zakázané například z důvodu toxicity pro vodní organismy, např. sloučeniny mědi. Tyto látky s potenciálně biocidním



účinkem jsou vnášeny do nanovláknité textilie ve formě iontů nebo samotných nanočástic [34][54].

Nanovláknité textilie mají specifické vlastnosti a to především velký specifický měrný povrch. Tím umožňují použití nižší koncentrace biocidních přípravků nebo dokonce použití problematických toxických činidel, které se pevně ukotví do nanovláknitých textilií. V důsledku toho se nesníží jejich účinek, ale zamezí se vylučování toxických látek do okolního prostředí nebo se alespoň do určité míry zpomalí. Na druhou stranu mohou být i samotné nanočástice pro člověka zdraví škodlivé. Předtím, než je uveden výrobek na trh je nutné znát také míru jejich toxicity pro živé organismy vč. člověka [55][56].

Účinek stříbra je znám od nepaměti, jeho biocidní účinky jsou známy proti široké škále organismů. Nejčastěji se používá jeho biocidní účinek proti bakteriím, ale úspěšně působí i proti řasám jak dokazují již provedené experimenty [30][57][58]. Stříbro způsobuje poškození nukleových kyselin, deaktivuje enzymy a také poškozuje aktivní transport do buněk přes membrány. Závislost účinku je daná množstvím stříbrných iontů v nanovláknitých textiliích a jejich postupnou difuzí do okolí. Zmíněná studie také poukazuje na možnost využití nanočástic Ag, CuO a ZnO.

Nanotechnologie jako taková je moderní záležitostí, která pronikla téměř do všech oborů lidské činnosti včetně botaniky, kde byl na rozdíl od našeho kýženého biocidního efektu, sledován efekt zcela opačný a to na podporu vývoje rostlin [59].

Co se týče algicidního (proti řasám) efektu kovových nanočástic je v literatuře vyzdvihován oxid titaničitý (TiO_2), ale jen od určité koncentrace v nanášeném roztoku. Dalšími nanočásticemi, které inhibovaly růst řas, byl oxid ceričitý (CeO_2), který působil algicidně díky rozpadu buněčné stěny řas [60][61]. Kovové nanočástice oxidu křemičitého (SiO_2) rovněž působily jako inhibitory pro růst řas. Částice přilnuly k vnějšímu povrchu buněčné stěny a přes ni nedocházelo k žádnému transportu látek [62]. Dalším zkoumaným inhibitorem růstu řas byly nanočástice hliníku (Al). Jeho vliv byl zkoumán na řase *Chlorella sp.* a způsoboval značný úbytek chlorofylu [63].

3.3.1 Současné metody sanace a prevence

Nejdůležitějším preventivním a zároveň sanačním opatřením pro zamezení výskytu plísní je odvedení přebytečné vlhkosti z objektu a její regulace společně s teplotou vzduchu. Cílem opatření není snížit vlhkost vzduchu na dosažitelné minimum, ale upravit ho tak, aby byly parametry vnitřního vzduchu nevhodné pro rozvoj plísní. Hodnota relativní vlhkosti vzduchu

by se měla pohybovat kolem 50 %. Nižší hodnota relativní vlhkosti by totiž představovala jiná zdravotní rizika např. ve formě vysychání sliznic [64]. Stavbu je nutné navrhnout, sanovat a především provést tak, aby na vnitřním povrchu nedocházelo během celého roku ke kondenzaci vodních par. Dále je důležité jakékoliv havárie např. porušení instalací řešit okamžitě a důsledně. Základními běžně aplikovanými sanačními opatřeními jsou úpravy konstrukcí: provádění zateplování objektů, rekonstrukce střešních pláštů, výměna dešťových svodů, výměna stávajících oken. V uvedených případech je nutné zajistit nuceným větráním nebo větrací štěrbinou instalovanou v rámu okna cestu pro vlhkost odváděnou z objektu. Doplňkové řešení představuje dezinfekce zasažených povrchů (postřiky biocidy) a prostor (například fumigace ve sklepech).

3.3.2 Současné látky s biocidním efektem

Biocidním přípravkem se rozumí podle článku 3 nařízení (EU) č. 528/2012 [9], o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání jakákoli látka nebo směs ve formě, v jaké se dodává uživateli, skládající se z jedné nebo více účinných látek nebo tuto látku (tyto látky) obsahující nebo vytvářející, určené k ničení, odpuzování a zneškodňování jakéhokoliv škodlivého organismu, k zabránění působení tohoto organismu nebo dosažení jiného regulačního účinku na tento organismus jakýmkoliv způsobem jiným než pouhým fyzickým nebo mechanickým působením. Další definice má za biocidní přípravek jakoukoliv látku nebo směs vytvořená z látek nebo směsí, použitých s úmyslem zničení, odpuzování a zneškodňování jakéhokoliv škodlivého organismu, k zabránění působení tohoto organismu nebo dosažení jiného regulačního účinku na škodlivý organismus jakýmkoliv jiným způsobem než pouhým fyzickým nebo mechanickým působením. Účinnou látkou se pak rozumí látka nebo mikroorganismus, který působí na škodlivé organismy nebo proti škodlivým organismům [65][66].

Přípravek s biocidním účinkem bývá obvykle volen podle materiálu, na kterém plísně rostou, podle rozsahu nárůstu a podmínek prostředí. V chemických dezinfekčních přípravcích zajišťují fungicidní účinek určité chemické látky - aktivní chlór, aldehydy a jejich deriváty, alkoholy, kvartérní amoniové sloučeniny, organické kyseliny, peroxosloučeniny, sloučeniny jódu a kovů. Fyzikální ochrana pak zahrnuje var, UV záření a dezinfekci za použití páry a zvýšeného tlaku (autoklávy). Způsob likvidace plísní je vhodné konzultovat s odborníky (např. z hygienické stanice včetně mikrobiologické kontroly vnitřního ovzduší). Je-li zaplísnění většího rozsahu, je vhodné obrátit se na specializovanou firmu, která provede odborný zásah.



V této souvislosti je nutné poznamenat, že k trvalému odstranění plísní je nutno zjistit primární příčinu výskytu plísně v dané lokalitě (technická příčina, zdroj kontaminace), a tuto příčinu ideálně co nejdříve odstranit.

Současné biocidní prostředky mají základ v různých chemických sloučeninách. Mají různou účinnost proti různým mikroorganismům. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/8/ES o uvádění biocidních přípravků na trh biocidních přípravků dělí tyto přípravky do čtyř kategorií a 23 typů:

- Dezinfekční prostředky a obecné biocidní konzervanty
- Konzervační prostředky
- Hubení škůdců
- Jiné biocidní přípravky [9]

Vpříloze nařízení o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání jsou biocidní přípravky rozčleněny do 22 různých typů seskupených do čtyř hlavních oblastí.

Jelikož nařízení se nevztahuje na biocidní přípravky používané jako konzervační přípravky pro potraviny a krmiva, obsahuje ve srovnání s předcházející směrnicí o jeden typ přípravků méně [67].

Biocidní přípravky mohou obsahovat jednu nebo více účinných látek a mohou být biologického nebo chemického původu. Používají se jako chemikálie nebo mikroorganismy, směsi nebo jsou součástí produktů. Biocidy se používají hlavně v oborech:

- Zdravotní péče: Biocidy jsou aktivní složky v antiseptických a dezinfekčních prostředcích, které se v nemocnicích a jiných zdravotnických zařízeních hojně používají ke kontrole mikroorganismů a prevenci infekcí. Používají se také k uchování farmaceutických přípravků.
- Spotřebitelské produkty: Mnoho spotřebních výrobků obsahuje biocidy, např. stavební materiály, kosmetika, výrobky pro domácnost, nábytek, textil a tapety. Pravidelné používání produktů osobní hygieny, jako jsou kosmetika, čisticí prostředky a domácí dezinfekční prostředky, jsou hlavním zdrojem expozice biocidům v domácím prostředí.
- Výroba potravin: Biocidy jsou v potravinářském průmyslu široce používány jako dezinfekční prostředky a konzervační látky. Používají se k dezinfekci zařízení, kontejnerů, povrchů nebo potrubí pro výrobu potravin, přepravu a skladování potravin nebo nápojů (včetně pitné vody).
- Chov hospodářských zvířat: Biocidy hrají důležitou roli při ochraně hospodářských zvířat před nemocemi, které mohou přenášet na člověka (zoonózy). Jsou používány k dezinfekci hospodářských budov nebo zvířat (struků).

- Úprava vody: Biocidy mohou být použity pro různé aplikace, včetně čištění vody, čištění odpadních vod nebo průmyslového využití. Pro úpravu pitné vody se běžně používá chlór, ozón nebo oxid chloričitý.
- Dezinfekce kontejnerů v dopravě: Používání nákladních kontejnerů se v posledních letech zvýšilo a nyní je téměř veškerá nákladní doprava přepravována tímto způsobem. Některé kontejnery jsou fumigovány biocidy (např. Methylbromid, fosfin), aby se chránilo zboží během přepravy a aby se zabránilo šíření hmyzu a jiných škůdců z jedné země do druhé [56].

Biocidy se používají v každodenním životě v domácnostech a při práci (např. potravinářství, zemědělství, zdravotnictví). Mohou mít toxické, karcinogenní účinky, ovlivňovat endokrinní žlázy a jinak nepříznivě ovlivňovat lidské zdraví a životní prostředí. Biocidy používají pracovníci v mnoha průmyslových odvětvích a sektorech. Použití biocidů na pracovišti vyžaduje přiměřenou ochranu, informace a školení pro pracovníky, kteří s biocidem mohou přijít do styku nebo s ním přímo pracují [68]. Nejenom že zabíjejí patogeny, ale také zabíjejí nepatogeny, což znamená, že mohou být také nebezpeční pro člověka. Existuje celá řada různých tříd biocidních látek; nejméně 30% biocidů jsou endokrinně narušující, perzistentní, toxické pro vodní organismy nebo karcinogenní, podle PAN - Pesticide Action Network, což je souhrn 600 nevládních organizací [69]. Například formaldehyd, vysoce účinný dezinfekční prostředek se širokým spektrem, je známým senzibilizátorem kůže a je klasifikován IARC jako lidský karcinogen. Rossmore popisuje biocidy jako „nezbytné zlo, aby se zabránilo mikrobiologickým katastrofám [66].

Biocidy představují zvláštní riziko pro těhotné ženy, nenarozený život, malé děti nebo lidi s vážným chronickým onemocněním. Zdravotní rizika způsobená dezinfekčními prostředky nebo jinými nebezpečnými biocidy zahrnují účinky na kůži, oči, dýchací systém, nervový systém a další orgány. Podle PAN Europe ještě nebyla dostatečně prozkoumána zdravotní rizika většiny biocidů na trhu EU (včetně nově vyvinutých nano-biocidů). Kumulativní expozice a kombinované efekty se zvažují jen zřídka. Biocidy mohou také představovat riziko pro životní prostředí: bylo prokázáno, že použití antifoulingového činidla tributyltin (TBT) má vážný a dlouhodobý dopad na mořské ekosystémy [70].

Stříbro je jedním z kovů, který se používá jako biocidní látka pro jeho nepatogenní působení na lidský organismus. Bylo publikováno několik studií zaměřených na toto téma a byl prokázán účinek nanočástic a iontů stříbra. Stříbro se prakticky používá jako ochrana před bakteriemi a plísněmi například v textilním průmyslu a medicíně [71][72][73][74]. Cílem výzkumu je najít vhodnou povrchovou úpravu stavebních materiálů jako prevenci před

výskytem plísní. Jednou z možností je možnost použití nanovláknitých textilií dotovaných stříbrnými nanočásticemi [75][76].

3.3.2.1 Legislativa věnující se biocidní ochraně materiálů proti plísním

V souvislosti s potřebou sjednotit legislativní předpisy EU a jednotlivých členských států, bylo nezbytné zavést právní předpisy v oblasti biocidních přípravků platné v celé EU, protože postupy pro schvalování biocidních přípravků byly zavedeny pouze v některých zemích (např. Švédsko, Velká Británie, Nizozemsko), zatímco většina členských států nevyžadovala povolení pro mnoho biocidních přípravků [77].

Cílem směrnice o biocidních přípravcích 98/8/ES bylo harmonizovat evropský trh s biocidními přípravky a jejich účinnými látkami a zajistit vysokou úroveň ochrany lidí, zvířat a životního prostředí. Směrnice stanovila pozitivní seznamy schválených účinných látek v přílohách I, IA a IB [55][77]. Směrnice o biocidních přípravcích přijatá v roce 1998 byla v roce 2012 revidována a nahrazena novým nařízením o biocidních přípravcích EU 526/2012 – BPR [78].

Revize směrnice o biocidních přípravcích byla nezbytná, protože během 11 let provádění bylo zjištěno několik nedostatků. Byl aktualizován a přizpůsoben nejnovějšímu vývoji politiky pro řešení problémů s postupem povolování a vzájemného uznávání [56]. Směrnice o biocidních přípravcích byla kritizována jako příliš komplikovaná a příliš nákladná, zejména pro malé a střední podniky. Průmysl chtěl mít jednodušší a rychlejší schvalovací postupy [79]. BPR a BPD mají podobnosti, jako je dvoufázový přístup k autorizaci: účinné látky jsou nejprve testovány a schváleny a zařazeny do seznamu Společenství (příloha I) s následným povolením přípravku obsahujícího účinnou látku. Problematika biocidních přípravků, jejich povolování a hodnocení biocidních přípravků a jejich účinných látek je zanesena v následujících právních předpisech.

- Nařízení EP a Rady (EU) č. 528/2012, o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání
- Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 354/2013, o změnách biocidních přípravků povolených podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012
- Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 414/2013, kterým se stanoví postup pro povolování stejných biocidních přípravků v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012

- Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 564/2013, o poplatcích a platbách splatných Evropské agentuře pro chemické látky podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012 o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání
- Nařízení Komise (EU) č. 613/2013, kterým se mění nařízení (ES) č. 1451/2007, pokud jde o další účinné látky v biocidních přípravcích, které mají být zkoumány v rámci programu přezkoumání
- Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) č. 736/2013, kterým se mění nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012, pokud jde o trvání pracovního programu přezkumu stávajících biocidních účinných látek
- Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) č. 837/2013, kterým se mění příloha III nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012, pokud jde o požadavky na informace nezbytné k povolení biocidních přípravků
- Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 88/2014, kterým se stanoví postup pro změnu přílohy I nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012 o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání
- Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) č. 492/2014, kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 528/2012, pokud jde o pravidla pro obnovení povolení biocidních přípravků, která podléhají vzájemnému uznávání
- Zákon č. 120/2002 Sb., o podmínkách uvádění biocidních přípravků a účinných látek na trh a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů [80][81][82][83][84][9].

3.4 Nové metody ochrany proti plísním

V této práci jsou uvedeny některé z možných metod ochrany proti plísním, pro něž je společný jmenovatel a to biocidní ochrana s využitím minimálního množství chemických a zdraví škodlivých látek. Uvedené metody jsou metodami, kterým bude věnována pozornost i v následujících částech práce. Jedná se o využití nanotechnologie, fotokatalyticky aktivních nátěrů a ošetření materiálu přípravkem s biologickou složkou. Pokud bychom chtěli uvedené metody zařadit do výše prezentované klasifikace, charakterem působení proti plísním bychom se pohybovali na hranici mezi chemickými a fyzikálními metodami. Prezentované metody totiž využívají látek s chemickým biocidním účinkem, ale v některých případech vytváří bariéry pro vnik živin k plísním, zamezují dotaci vlhkosti a v případě metody s biosložkou dochází k zaškrcení vláken plísně a opět k zabránění vyživení plísně spíše než působení chemickému ve formě produkce enzymů nebo toxinů.



3.4.1 Nanotechnologie

Nanomateriály jsou chemické látky nebo materiály skládající se z částic, jejichž velikost se minimálně v jednom rozměru pohybuje od 1 do 100 nanometrů. Vzhledem ke zvýšenému objemu specifického povrchu mohou mít nanomateriály ve srovnání se stejnými materiály, jejichž rozměry nejsou v řádu nanometrů, odlišné charakteristické vlastnosti. Fyzikálně-chemické vlastnosti nanomateriálů se proto mohou lišit od vlastností velkoobjemových látek nebo částic o větší velikosti.

Nanotechnologie se rychle šíří. Na evropském trhu již existuje velký počet výrobků obsahujících nanomateriály (např. baterie, nátěrové hmoty, antibakteriální oděvy, kosmetika, potravinářské výrobky). Nanomateriály nabízejí technické a komerční možnosti, mohou však představovat riziko pro životní prostředí a vyvolávat obavy o zdraví a bezpečnost lidí a zvířat. I z tohoto důvodu se nanomateriály a jejich použitím mimo jiné zabývá i Nařízení EU o biocidních přípravcích. Nařízení o biocidních přípravcích obsahuje konkrétní ustanovení pro nanomateriály. Tato ustanovení se týkají přípravků a látek, které splňují kritéria definovaná v nařízení o biocidních přípravcích. Tyto definice vycházejí z doporučení Komise ohledně definice nanomateriálů. Tato ustanovení platí pro účinné a neúčinné látky s těmito vlastnostmi:

- 50 % či více částic má alespoň v jednom rozměru velikost v intervalu 1–100 nm,
- částice jsou v nevázané formě nebo jako agregát či aglomerát.

Komise může tuto definici upravit v závislosti na technickém a vědeckém pokroku a rovněž může na žádost členského státu přijmout rozhodnutí o tom, zda konkrétní látka je nanomateriálem. Podle nařízení BPR nezahrnuje schválení účinné látky její nanoformu, pokud to není výslovně uvedeno. Pro nanoformy účinných látek se musí obvykle vypracovat samostatná dokumentace s veškerými požadavky na údaje.

Pokud se nanoforma účinných a neúčinných látek používá v biocidním přípravku, je nutné příslušné posouzení rizik. Na štítku biocidního přípravku musí být uveden název každého nanomateriálu následovaný slovem „nano“ v závorce. Přípravky obsahující nanomateriály jsou vyloučeny ze zjednodušeného postupu povolování. Členské státy musí každých pět let podávat zprávu o provádění nařízení BPR. Tato zpráva musí obsahovat informace o použití nanomateriálů v biocidních přípravcích a zjištěných potenciálních rizicích. Zprávy se předkládají Komisi do 30. června příslušného roku a zahrnují období do 31. prosince roku předcházejícího jejich předložení [85].

Možnosti aplikací nanomateriálů a jejich modifikací v různých technologických odvětvích jsou velmi široké. V environmentálních oblastech a v medicíně poutají v posledních letech velkou pozornost vědeckých skupin. Určité typy nanomateriálů disponují různými pozitivními vlastnostmi, které se liší vzhledem ke konkrétnímu typu nanočástice. Nicméně je třeba zkoumat i jejich potenciální toxické vlastnosti, jejich možnost akumulace v životním prostředí a v neposlední řadě také studovat jejich možné škodlivé účinky na zdraví člověka. Studie Pauly Brandeburové (2019) sumarizuje možné škodlivé účinky vybraných typů nanomateriálů, jejich schopnosti akumulaci v životním prostředí, toxicitu pro bakteriální, živočišné nebo rostlinné buňky. Popisuje nejpravděpodobnější mechanismy způsobující jejich toxicitu. Současné poznatky však poukazují na značný potenciál využití nanomateriálů v oblasti léčby onemocnění, jakými jsou civilizační choroby či tumorové onemocnění. Z tohoto důvodu je nutné všechny nové typy nanomateriálů určené pro medicínské použití důkladně popsat a to včetně jejich toxicity. Tento aspekt může být velkou výzvou do dalších výzkumů v oblasti nanoekotoxicity [86].

3.4.1.1 Výroba nanovláken

Příprava nanovláken je možná několika různými způsoby. Prvním způsobem je tažení (dloužení) vláken z polymerní kapky za využití mikropipety. Tento proces byl u každé kapky několikrát opakován a jednotlivá vlákna byla ukládána na substrát. Problémem této metody dloužení vláken byla její malá univerzálnost spočívající v malém počtu použitelných polymerů. Takto vytvořená vlákna je možné získat pouze z viskoelastických materiálů, které jsou dostatečně soudržné a schopné překonat silnou deformaci. Ve skutečnosti se nejednalo o nanovláknitou textilií, ale pouze o vytvoření jednotlivých vláken [87]. Dalším způsobem přípravy nanovláken, je pomocí šablonové syntézy. Nanovláknata jsou generována skrz nanoporézní šablonu, kde pomocí rozdílů tlaků kapalin dochází k tvorbě vláken, která ve styku s tuhoucím roztokem tvrdnou. Nanovláknata je možné získat fázovou separací, kdy je nejprve polymer rozpuštěn ve vhodném rozpouštědle do výsledného gelu. Následuje fázová separace, kdy dojde k odstranění rozpouštědla a dochází k vysušení vzorku [88].

Dalším způsobem získávání nanovláken je odstředivé spřádání. Trysky s polymerními roztoky jsou vloženy hroty do stran do zařízení, které se roztočí natolik vysokou úhlovou rychlostí, že odstředivá síla působící na polymerní roztok překoná povrchové napětí a vlákna jsou tvořena pomocí dostředného zrychlení. Nanovláknata, jsou zachycována na kolektoru.



Jedná se o metodu rychlou, ale poměrně finančně náročnou. Jednou z posledních metod tvorby nanovláken je foukání z taveniny. Získaná vlákna mají v průměru mikrometr, nejedná se tedy o nanovlákná v pravém slova smyslu. Tavenina polymeru je protlačena tryskou a vlákno je následně zachyceno ohřátým vzduchem, který proudí vysokou rychlostí a vytváří tak strukturu na podkladním kolektoru [89][90].

Posledním způsobem tvorby vláken je elektrostatické zvlákňování [91][89][92]. Tento způsob výroby vláken byl zvolen i pro nanovláknité textilie připravované a následně testované pro potřeby této práce. Porovnání jednotlivých metod výroby nanovláknitých textilií je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1 Tabulka porovnání jednotlivých metod výroby nanovláknitých textilií [93]

Technologie	Typ výroby	Průměr vytvářených vláken	Požadavky na strojní vybavení	Výhody	Nevýhody
Tažení	laboratorní	2 – 100 nm	malé	velmi jemná vlákna	diskontinuální proces, malá produktivita
Syntéza šablonou	laboratorní	cca 100 nm	vhodné šablony či membrány	přesné rozměry vláken dle šablony, další zpracování	speciální šablony
Fázová separace	laboratorní	50 – 500 nm	malé	přímá výroba vlákenné vrstvy	omezeno jen na určité polymery
Samosestavování	laboratorní	7 – 100 nm	střední	velmi jemná vlákna	velmi složitý proces
Technologie Melt-blown	průmyslová	> 250 nm	velké	vysoká produktivita výroby	jen některé polymery
Bikomponentní vlákna „ostrovky v moři“	průmyslová	> 500 nm	velké	řiditelný průměr vláken	další zpracování, jen některé polymery
Forcespinning	průmyslová	> 400 nm	velké	menší náročnost na přípravu roztoků a tavenin, možnost řízení procesu	rozpuštědla nesmí způsobovat korozi, poměrně velký průměr vláken
Elektrostatické zvlákňování	průmyslová	50 – 500 nm (i více)	v závislosti na objemu výroby (obecně malé)	velké množství polymerů, výroba přímo vlastní vrstvy, nekonečný pás, ...	vysoké napětí, nestabilita procesu

3.4.1.2 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování bylo popsáno kolem roku 1960 panem Geoffreyem Taylorem. Jeho práce se zabývaly především popisem tvaru polymeru při vytahování z hrotu trysky pomocí elektrického napětí. Z polymerního roztoku v elektrostatickém poli jsou vytvářeny tzv. Taylorovy kužely. Jedná se o kuželovité útvary, z jejichž vrcholu se táhne vlákno [94].

Při procesu elektrostatického zvlákňování se využívá vysokého napětí. Toto napětí slouží k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerního roztoku nebo taveniny. Elektroda, na které je vysoké napětí, je přímo spojena s polymerním roztokem. Tento roztok je následně zvlákněn kapilárou (zvlákňovací tryskou). V prostředí mezi špičkou kapiláry a uzemněným kolektorem je vysoké napětí a díky tomu vzniká tzv. Taylorův kužel na špičce kapiláry, z kterého jsou produkována submikronová vlákna. Taylorův kužel je následkem relaxace indukovaného náboje k volnému povrchu kapaliny na výstupu ze zvlákňovací trysky. Po vzniku Taylorova kuželu následuje vytlačování nabitě kapaliny. Po odpaření rozpouštědla vlákna ztuhnou a vytvoří jakousi vláknennou vrstvu na povrchu kolektoru. Nabitý proud se zrychluje a ztenčuje v elektrickém poli, nakonec narazí na uzemněnou elektrodu kolektoru, na které se usadí. Při určitých podmínkách se kapalinový proud stává nestabilním před dosažením kolektoru. U kapaliny s nižší molekulární hmotností vzniká tzv. elektrostatické rozprašování, což je proces, při kterém vzniká sprška malých nabitých kapiček, což je následkem počátku nestability. Kapaliny, mezi něž patří i polymerní kapaliny, s vyšší viskozitou mají viskoelastické síly, které stabilizují proud. Toto dovoluje formování vláken, která ztuhnou a na kolektoru se uloží ve formě netkané textilie [95].

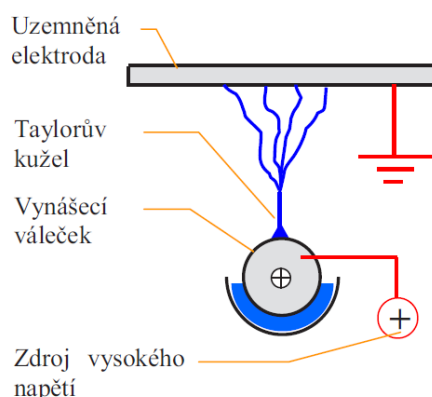
Dále byla v historii věnována pozornost morfologii získaných vláken. Byla také sledována závislost tvaru a velikosti vláken na viskozitě polymerního zvlákňovacího roztoku, teplotě a velikosti napětí [96][97]. S nižší teplotou a při vyšším elektrickém napětí byla výsledná vlákna menšího průměru. Elektrostaticky zvlákněná nanovlákna mají řadu významných vlastností. Tyto vlastnosti je činí výbornými kandidáty pro širokou škálu aplikací. Lze je využít ve formě vysoce účinných filtrů, separačních membrán, výztuh pro kompozitní materiály, biologických aplikací, v tkáňovém inženýrství, ale také jako nanoelektrická zařízení a vodíkové nádrže pro palivové články.

Technologie využívající elektrostatické zvlákňování a zároveň technologie použité při výrobě nanovláknitých textilií pro tuto práci se nazývá nanospider.



3.4.1.3 Nanospider

Se zvyšujícím se zájmem o nanovláknité textilie bylo potřeba zefektivnit jejich výrobu – zrychlit ji. Proto bylo nutné modifikovat klasickou metodu elektrostatického zvlákňování, kde byla podkladní plocha pro tvorbu textilie staticky připevněna k zařízení. Nová technologie zvaná Nanospider byla vynalezena týmem profesora Oldřicha Jirsáka na Technické univerzitě v Liberci (TUL) [98]. Tato metoda umožňuje kontinuální výrobu. Dávkovací tryska dodávající polymer byla nahrazena vanou naplněnou polymerním roztokem, do které je vložena rotační válcová elektroda. Otáčející se elektroda, která je částečně ponořena do polymerní lázně, na sebe nanáší velmi tenkou vrstvu polymerního roztoku. Z této vrstvy se vytváří působením elektrostatického pole Taylorovy kužely. Další významnou změnou je mobilita podkladního substrátu. Díky neustálému posunu podkladní matrice (spunbond) se velmi urychluje proces výroby. Ze zařízení je možné odebrat „nekonečně“ dlouhý pás nanovláknité textilie limitovaný pouze šířkou válcové rotační elektrody. Proces výroby nanovláknité textilie metodou Nanospider je zachycen na obr. 8.



Obr. 8 Schéma výroby nanovláknité textilie metodou NANOSPIDER [99]

Pro metodu Nanospider je charakteristická elektroda ve tvaru válce, která je částečně ponořena do polymeru a rotuje. Rotující elektroda vynáší polymer blíže k opačné elektrodě. Načež se na hladině polymeru začnou vytvářet skupiny Taylorových kuželů. Hlavním principem této metody je poznatek, že na tenké vrstvě polymeru lze vytvořit Taylorovy kužely. Dále je metoda stejná jako u elektrostatického zvlákňování. Vlákna jsou opět formována pomocí elektrostatického pole a následně uspořádána ve formě textilie na kolektoru. Jelikož je touto formou vyráběna netkaná textilie, musí být na kolektoru umístěna nosná vrstva (spunbond) [99] [100].

3.4.1.4 Nanovláknité textilie

Elektrostatickým zvlákňováním se připravují ultra jemná (0,1 μm) vlákna z polymerního roztoku nebo polymerní taveniny pomocí elektrostatických sil. Nejčastěji se zvlákňují polymery ve formě roztoku, jelikož viskozita polymerních tavenin dosahuje vyšších hodnot, nedovoluje utváření jemných vláken. Pomocí této metody byly již zvlákněny různé druhy polymerů přírodních i syntetických.

Polymery používané k produkci nanovláknitých textilií jsou například polyvinylidenfluorid, polyuretan, polyakrylonitril, polyvinylbutyral a polyvinylalkohol (PVA). Polymer PVA byl zvolen pro výrobu nanovláknitých textilií pro potřeby této práce. Jednak se jedná o polymer rozpustný ve vodě a také je finančně dostupný.

Vlastnosti polymerních vláken jsou ovlivněny složením zvlákňovacího roztoku (základní polymer), nastavením zařízení pro výrobu textilií, tloušťkou získané textilie, ale i okolními podmínkami (především teplotě a vlhkosti vzduchu). Dalším aspektem ovlivňujícím vlastnosti nanovláknité textilie, která vychází ze složení zvlákňovacího roztoku, je metoda stabilizace textilie. Například textilie na bázi PVA je nutné stabilizovat, aby nebyly, tak jako základní polymer, rozpustné ve vodě. Existuje několik metod stabilizace. Od expozice zvýšené teplotě, přes namáčení v roztocích metanolu, acetonu až po vystavení působení par glutaraldehydu [101][102], [103]. Na základě zvolené metody stabilizace dochází ke změně struktury a mechanických vlastností nanovláknité textilie [104].

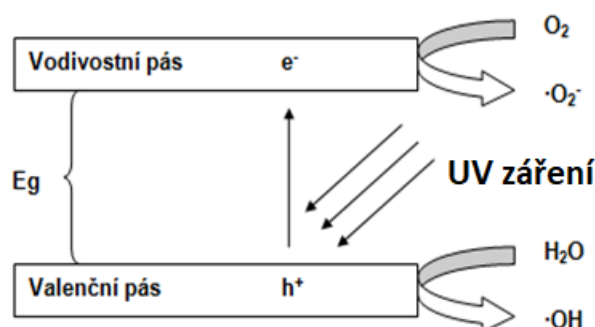
3.4.2 Fotokatalýza

Ačkoliv je proces fotokatalýzy spojován zejména s odstraňováním znečišťujících látek z životního prostředí (rozklad organických látek ve vodách či ve vzduchu), je možno tento proces využít v ochraně před biodeteriorací [105]. Proces je založen na ozařování polovodičových materiálů (např. TiO_2 či ZnO), zářením o energii odpovídající minimálně šířce zakázaného pásu daného polovodiče. V případě nejčastěji užívaného fotokatalyzátoru oxidu titaničitého v modifikaci anatas, je nutno užít záření o vlnové délce minimálně 388 nm. Jedná se tedy o tzv. měkké UV-A záření, které je obsaženo ve slunečním světle. V literatuře se uvádí, že z denního světla dopadajícího na zemský povrch lze využít cca 4% UV pro fotokatalytické procesy [106].

Absorpce UV záření dochází k excitaci elektronu z valenčního pásu do vodivostního pásu, kdy ve valenčním pásu dojde k vytvoření tzv. vakance – kladného nositele náboje. Tato vakance se vyznačuje vysokým oxidačním potenciálem a je schopna totálně oxidovat

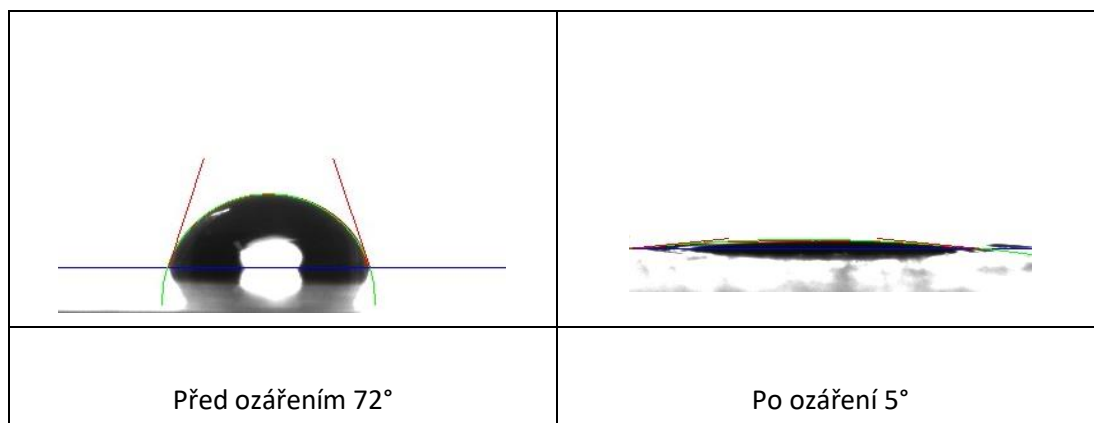


organické látky buď přímo, nebo prostřednictvím hydroxylových $\cdot\text{OH}$ radikálů, které vznikají s reakcí s naadsorbovanou vodou. Excitované elektrony ve většině případů zpětně rekombinují s generovanými vakancemi za vzniku tepelné energie, malá část dosáhne povrchu částice fotokatalytického materiálu, kde se může účastnit redoxních reakcí (např. reakcí s kyslíkem dochází k tvorbě superoxidového radikálu $\cdot\text{O}_2^-$, který se vyznačuje také oxidační schopností [107][108]. Princip fotokatalýzy je často vysvětlován na níže uvedeném obr. 9.

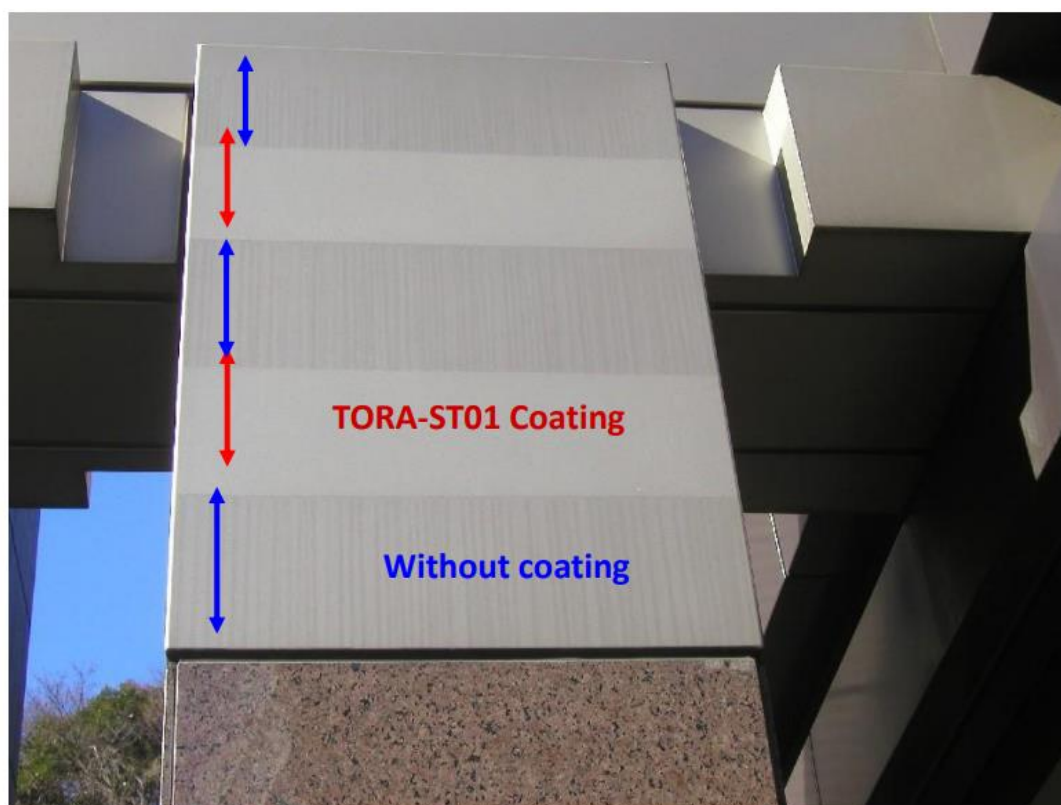


Obr. 9 Princip fotokatalýzy

Z hlediska praktického využití je nutno fotokatalyticky aktivní materiál imobilizovat do vhodného pojivového systému, například nátěru. Takovéto nátěry vykazují schopnost po ozáření UV zářením se méně špinit, zabraňovat růstu biofilmů či inaktivovat růst hub a bakterií. Samočisticí schopnost těchto nátěrů je dána kombinací fotokatalytické aktivity (schopnosti produkovat radikály s vysokým oxidačním potenciálem) a dále tzv. indukovanou superhydrofilitou. Povrchy pokryté fotokatalyticky aktivním materiálem vykazují po ozáření hydrofilní chování (obr. 10). Při styku s vodou nedochází na takovýchto površích k tvorbě kapiček, nýbrž voda odtéká ve formě tenkého filmu, což způsobuje odstraňování nečistot z povrchu [109]. Příklad komerčního fotokatalyticky aktivního nátěru je uveden na obr. 11. Nejčastěji studovaným fotokatalyzátorem je oxid titaničitý v modifikaci anatas. Další krystalografické modifikace TiO_2 rutil a brookit nejsou z pohledu fotokatalytických aplikací zajímavé, neboť vykazují zanedbatelnou fotokatalytickou aktivitu. Rutil se využívá díky svému indexu lomu jako pigment [110][111].

Obr. 10 Příklad změny kontaktního úhlu na tenké transparentní vrstvě TiO₂ před a po ozáření (Michal Baudys)

Mimo TiO₂ je dalším zajímavým materiálem oxid zinečnatý (ZnO), který vykazuje stejnou šířku zakázaného pásu jako TiO₂, 3.2eV, takže pro iniciaci je opět nutno užít UV-A zářením. Oxid zinečnatý se vyrábí oxidací par kovového zinku a užívá se jako pigment a dále jako aktivátor vulkanizačních procesů.



Obr. 11 Příklad komerčního fotokatalyticky aktivního nátěru TORA-STO

3.4.3 Biologická ochrana – *Pythium oligandrum*

3.4.3.1 Zařazení a charakteristika organismu

Pythium oligandrum je mikroskopický nepatogenní, houbový, mikroskopický, eukaryotní organismus. Jedná se o půdní organismus izolovaný kořenový systém mnoha druhů plodin. Uvádí se, že v 1 g půdy se nachází 4 – 20 životaschopných zárodků. Zástupci rodu *Pythium* jsou obecně spíše rostlinnými patogeny. *Pythium oligandrum* je ale mykoparazit, který parazituje na patogenních plísních, především na druzích napadající klíčící semena a semenáčky, díky tomu dokáže rostliny chránit. Těchto mykoparazitárních schopností se využívá v biologické ochraně rostlin, v průmyslu a v posledních letech také v lékařství k léčbě mykóz člověka a domácích mazlíčků. V literatuře bývá *P. oligandrum* označováno jako „chytrá houba“ [112][113][114][115].

V minulosti bylo *P. oligandrum* řazeno do říše hub (*Fungi*), ale jelikož mají organismy z třídy *Peronosporomycetes* (*oomycety*), kam patří i rod *Pythium*, specifické vlastnosti, které vlastnostem hub neodpovídají, řadíme jej do nové říše *Straminipila* (*Chromista*). Proto dnes o oomycetách mluvíme jako o "houbám podobných" organismech.

Buněčná stěna oomycety *P. oligandrum* je tvořena z celulózy (β -1,4-glukan) a z dalších β -glukanů, např. z mycolaminarinu (β -1,3- a β -1,6-glukan). V buněčné stěně se také vyskytují proteiny bohaté na hydroxyprolin. Jako zásobní látka slouží *Pythiu* polysacharidy [116][117][79][118] [119].

Lyzin *Pythium* syntetizuje stejně jako rostliny cestou přes DAP (α , ϵ diaminopimelovou kyselinu), pravé houby fylogeneticky mladší AAA dráhou. DAP dráha je spojena s řadou mitochondriálních typů, u oomycet to jsou tubulární krysty. Pro pohlavní rozmnožování oomycety *P. oligandrum* hrají významnou roli steroly, ovlivňující meiózu, směrový růst gametangiálních os nebo např. pro lokální změkčení stěny v místě kontaktu mezi gametangii. Většina oomycet je závislá na vnějších zdrojích fytosterolů, pro zástupce rodu *Pythium* je tato závislost jen částečná [119].

3.4.3.2 Objev organismu

První zmínka o mikroorganismu *Pythium oligandrum* pochází z roku 1930 od amerického vědce Charlese Drechslera. Původně bylo *P. oligandrum* považováno za sekundární patogen hrachu, protože bylo izolováno z kořenů hrachu setého společně s dalšími, již známými fytopatogeny rodu *Pythium*. Drechsler v roce 1943 zjistil, že se v tomto případě nejedná

o fytopatogen, ale *P. oligandrum* napadá další druhy hub z čeledi *Pythiaceae*, a tím pádem se tedy jedná o mykoparazita [120][121].

Český vědec doc. Ing. Dáša Veselý, DrSc. organismus v roce 1965 izoloval a dospěl k názoru, že se jedná mykoparazit, který využívá ke svému metabolismu buňky jiných hub. To bylo začátkem pro využití *P. oligandrum* v zemědělství k biologické ochraně rostlin. Po zmapování organismu, zvládnutí jeho kultivace a zavedení průmyslového velkoobjemového získávání zárodků bylo možné vytvořit přípravek Polyversum. Společnost Bio Agens Research and Development – BARD, s.r.o. začala s výzkumem a výrobou mikrobiálních přípravků s fungicidním účinkem, které mají využití jak v oblasti ochrany omítek v interiéru staveb (přípravek BioRepel), humánní, tak i veterinární a navázala tak na výzkumný program firmy Biopreparáty spol. s.r.o., která se zaměřuje na aplikaci organismu *P. oligandrum* na ochranu rostlin v zemědělství. V roce 1992 byla poprvé využita houba na léčbu kožních mykóz u člověka. Toxikologické studie prokázaly, že *Pythium oligandrum* nemá žádné negativní účinky na lidský organismus, tj. že je zdravotně nezávadné. Následně byl uveden na trh první kosmetický biopreparát určený na léčbu mykóz kůže nohou a odstraňování pachových symptomů [122][123][124][125].

3.4.3.3 Kultivace, morfologie a rozmnožování

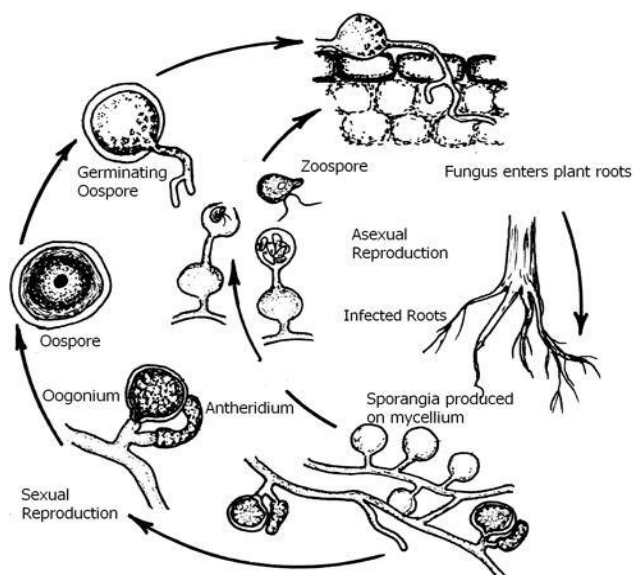
Pythium bývá kultivováno na médiích s přírodními složkami, jako je např. bramboro-dextrózový agar (PDA), bramborovo-mrkvový agar (PCA), agar se sladovým extraktem (MEA), kukuřičný (CMA) či vločkový agar. Může přirůstat v desítkách milimetrů během jednoho dne v závislosti na použitém médiu. Optimální teplota pro růst na PCA se pohybuje kolem 27 °C, hlavní hyfy jsou pak až 7 µm široké. Kultury vypěstované na kukuřičném agaru jsou bohaté na oogonia, kolonie pak jsou nažloutlé a mají krustózní vzhled. Většina oogonií vzniká partenogeneticky, ale občas může být přítomno i antheridium v závislosti na použitém médiu a teplotě, např. zavlažovaný fazolový agar podporuje tvorbu antheridií (cca při teplotě 18 °C) [126].

Další možnost kultivace *Pythia* je jeho pěstování na kultivačním mediu obohaceném o prekurzory auxinů (včetně tryptofanu a indol-3-acetaldehydu), kdy dochází k jejich metabolizaci přes tryptaminovou dráhu na tryptamin, látku podobnou auxinům. Tryptamin je dále v rostlinných živných roztocích absorbován do kořenového systému, což má za následek tvorbu sekundárních kořenů a v celkovém měřítku zvětšení kořenového objemu [115][127].



Tělo organismu *P. oligandrum* (stélka) je tvořeno houbovým vláknem - hyfou. Hlavní hyfa je až 7 µm široká. Soubor hyf tvoří mycelium. Mycelium *P. oligandrum* je coenocytické, tj. nepřehrádkované. *P. oligandrum* má také haustoria. Jedná se o přeměněná houbová vlákna, která prostupují tkáň hostitele a vysávají z něj živiny. Haustoria vznikají přeměnou houbových vláken. Špička haustoria má tvar háčku. Jako vegetativní orgány slouží sporangia a jako pohlavní orgány – oogonia a antheridia. Sporangia tvoří složité komplexy skládající se z nepravidelných vláknitých, vejčitých až laločnatých jednotek, která jsou buď lineární, nebo rozvětvená. Tento druh sporangia se nevyskytuje u jiných známých druhů se zdobeným oogoniem. Laločnatá sporangia jsou velká 12 x 20 µm, vláknitá 38-12 µm. Ve sporangiih se tvoří dvoubičíkaté zoospory, jejich velikost je 10-15 µm. Encystmentací tvoří *P. oligandrum* encystované zoospory, ty jsou velké až 10 µm. Oogonia jsou kulovitá, většinou interkalární, občas také terminální s ostnatými, úzkými výběžky. Velikost oogonií je 22-24 µm [128].

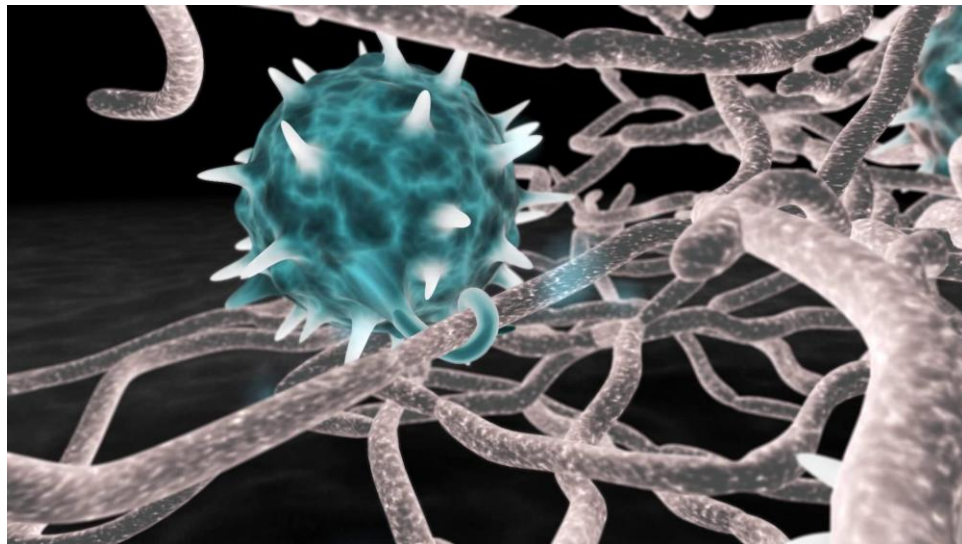
P. oligandrum má zastoupeny oba dva reprodukční cykly (obr. 12) – nepohlavní (vegetativní) a pohlavní (generativní). Nepohlavní cyklus převažuje nad pohlavním - představuje přibližně 80 % reprodukce. U nepohlavního rozmnožování hrají vedoucí roli sporangia se zoosporami. *P. oligandrum* se liší od mnoha ostatních druhů oomycet tím, že zygoty - oospory dokáže tvořit i partenogenezí, tj. bez pohlavního procesu, kdy se nevytváří samčí gametangium, ale dochází k samooplození uvnitř samičího gametangia [129][130].



Obr. 12 Vývojový cyklus *P. oligandrum* [131]

3.4.3.4 Mechanismus účinku

P. oligandrum je, jak již bylo zmíněno výše, mykoparazit, napadá fytopatogenní houbové organismy, ale i kvasinky. Svými hyfami obtáčí *P. oligandrum* mycelium svého hostitele tak, jak je vidět na obr. 13. Poté tvoří hydrolytické enzymy, pomocí nichž lépe proniká do buněk hostitele, rozkládá jeho mycelia a některé rozmnožovací orgány (sklerocia). Získané živiny využívá pro svůj růst. Na podkladě výživové a prostorové konkurence vytlačuje z daného místa patogenní houby. Kromě tvorby houbových vláken a charakteristických ostnatých oospor produkuje *P. oligandrum* v průběhu svého metabolismu také velké množství enzymů, jejichž hlavním úkolem je usnadnit průnik hyf do napadené houby. Rovněž je prokázáno, že vytváří nevhodné prostředí pro bakterie, tudíž mají bakteriostatický účinek [112][132][133].



Obr. 13 Pohled na zygomycetu *Pythium oligandrum* [133]

4 Experimentální část

Kapitola Experimentální část se zabývá dvěma hlavními tématy, která je možné charakterizovat jako monitoring chování materiálů a reálných konstrukcí ve vztahu k biologické degradaci a experimenty sloužící k ověření účinnosti předkládaných metod v boji proti plísním. V experimentech, u nichž bylo potřeba vzorky inokulovat nebo testovat biocidní účinnost proti plísním, byly použity plísně ze sbírky mikroorganismů DBM (VŠCHT v Praze).

4.1 Monitoring chování vybraných stavebních materiálů ve vztahu k biologické degradaci

Kapitola 4.1 Monitoring chování vybraných stavebních materiálů ve vztahu k biologické degradaci pojednává o laboratorních experimentech na nově pořízených deskových materiálech na bázi dřeva a sádry a na vzorcích ETICS odebraných z reálných staveb.

4.1.1 Monitoring druhového složení plísní v ovzduší

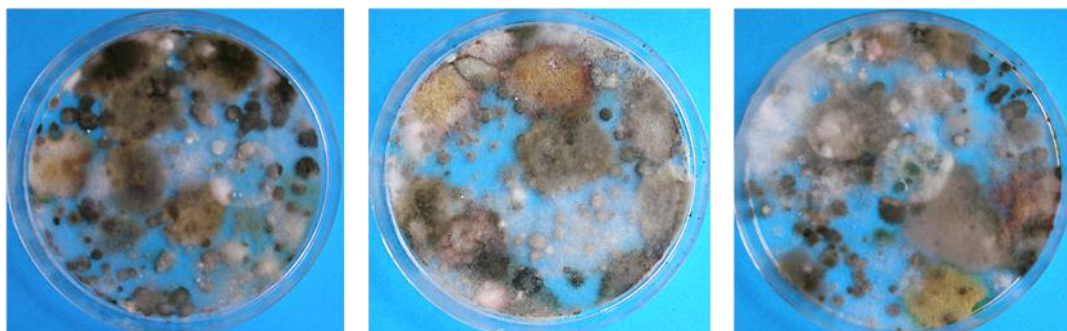
Cílem experimentů zkoumajících přítomnost plísní ve vzduchu je přítomné plísně identifikovat a kvantifikovat a dále potvrdit nebo vyvrátit hypotézu, že kmeny plísní přítomné ve vzduchu jsou tytéž kmeny, které se vyskytují i na kontaminovaných stavebních materiálech. Odborná literatura uvádí, že koncentrace plísní v interiérech se pohybuje v širokém rozmezí a významně se odvíjí od koncentrace plísní ve venkovním vzduchu [36].

Odběr plísní ze vzduchu byl proveden pasivní spadovou metodou. Otevřené Petriho misky se sladidlovým agarem nebo agarem podle Czapka-Doxe (P-lab, Česká republika) byly exponovány po dobu 60 minut. Místa odběru odpovídala místům, kde byly prováděny odběry vzorků pro další experimenty, například odběr vzorků z fasád v Praze, Čelákovících, Jirkově, Ostravě, u Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Buštěhradu. Po odběru byly vzorky přeneseny do laboratoře a kultivovány po dobu 5 – 7 dnů při teplotě 23 ± 3 °C v biologickém termostatu. Z mycelií narostlých na miskách byly připraveny nativní preparáty

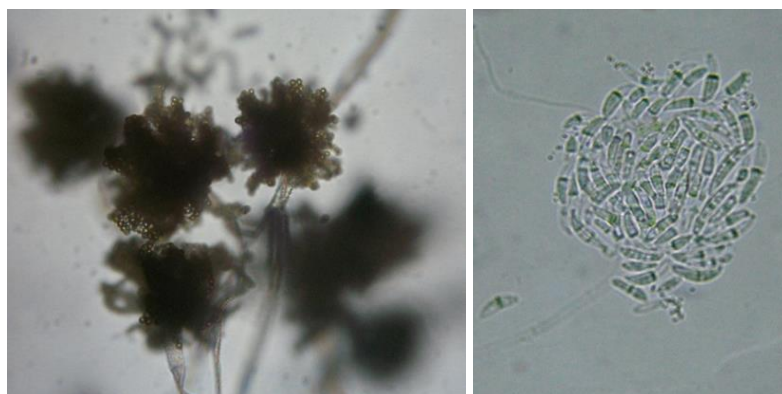
nebo preparáty pro metodu visuté kapky, ty bylo nutné opět kultivovat. Tento postup slouží k separaci jednotlivých kmenů plísní, a jejich identifikaci pozorováním pod mikroskopem (Olympus BX 41 nebo FL 3003). Následně byly plísně identifikovány na základě signifikantních znaků podle identifikačních klíčů [18][134]. Byly sledovány jednotlivé druhy plísní ale také jejich poměrné zastoupení. To bylo hodnoceno jako procentuální zastoupení plísní na misce. Plísně s nejčtetnějším výskytem následně figurovaly jako modelové organismy pro další experimenty.

Výsledky

Identifikované plísně a jejich poměrné zastoupení se měnilo v průběhu roku. To je v souladu s publikovanými pracemi [135]. Pohled na misky po kultivaci plísní ze vzduchu získaných spadovou metodou je uveden na obr. 14. Z těchto plísní byly připraveny mikroskopické preparáty (obr. 15) pro následnou identifikaci. Nejčastěji se obecně napříč jednotlivými odběry vyskytovaly následující rody plísní: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*.



Obr. 14 Pohled na misky po kultivaci plísní ze vzduchu získaných spadovou metodou



Obr. 15 Mikroskopický snímek plísní izolovaných z ovzduší; vlevo *Cladosporium* sp., vpravo *Fusarium* sp.

Výsledky spadové metody prokázaly dominanci kmenů plísní přítomných ve vzduchu v exteriéru objektů, u nichž probíhaly odběry vzorků. Těmito kmeny byly rody plísní *Cladosporium*, *Aspergillus* a *Penicillium*, což je v souladu s literaturou [136]. Dále bylo napříč experimenty potvrzeno, že plísně identifikované ve vzduchu jsou totožné s plísněmi, které kontaminují stavební materiál. Vliv přítomných plísní na stavební konstrukce byl prokázán. Stejně tomu bylo i u výsledků studií prováděných v Evropě i mimo ni. Zároveň byla v souladu s již publikovanými pracemi i koncentrace plísní v ovzduší v průběhu roku. V průběhu léta a podzimu byla koncentrace plísní nejvyšší [136][35]. Další podmínky, které ovlivňovaly množství plísní, souvisely s polohou objektu, okolní zástavbou, zelení, průmyslem, vybavením a užíváním domu, případně polohou bytu v rámci bytového domu. Proto je třeba získat i informace o vlastním prostředí, ve kterém je sběr prováděn. Je nezbytné zaznamenat hodnoty, jako jsou teploty, relativní vlhkosti vzduchu i povrchů, ze kterých je vzorek odebírán, a další související faktory, jako např. přítomnost domácích mazlíčků, četnost úklidu, znečištění okolního exteriéru a další [36].

4.1.2 Monitoring plísní na nově pořízených deskových materiálech

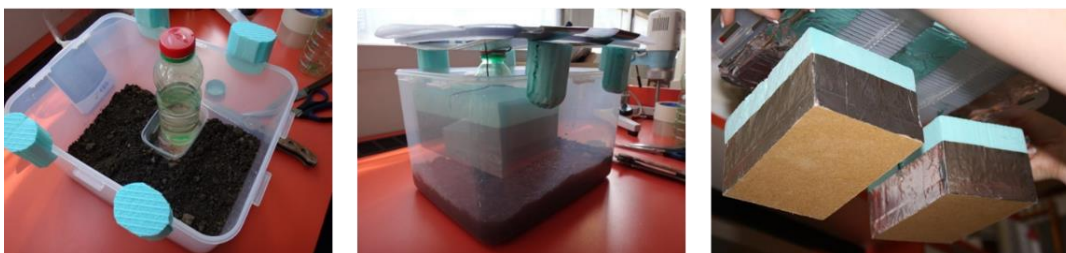
V této dílčí studii bylo sledováno chování vybraných nově pořízených deskových materiálů vystavených vhodným podmínkám pro růst plísní - expozici zvýšené relativní vlhkosti vzduchu a působení půdních organismů. Cílem bylo zmapování, identifikace a porovnání druhů plísní na jednotlivých materiálech. Povrch vzorků byl sledován a v případě viditelného mycelia, byl odebrán vzorek stěrovou metodou pro identifikaci plísně.

4.1.2.1 Vystavení deskových materiálů působení půdních organismů

Vzorky ze skupiny čtyř vybraných deskových materiálů (tabulka 2) o rozměrech 100 x 150 mm byly vystaveny působení půdních organismů (50 mm nad pravidelně zvlhčovanou zeminou z Buštěhradu) po dobu pěti měsíců ve vlhkém prostředí za přístupu vzduchu. Sestava experimentu je zachycena na obr. 16.

Tab. 2 Testované deskové materiály pro experiment Vystavení deskových materiálů působení půdních organismů

Číslo materiálu	Materiál	Tloušťka desky [mm]
1	Masivní smrkové dřevo	20,0
2	OSB	18,0
3	Dřevovláknó DHF	15,0
4	Sádrovláknó	15,0



Obr. 16 Sestava experimentu

Výsledky

Po pěti měsících od počátku experimentu byly nejvíce porostlé plísněmi vzorky z masivního smrkového dřeva, přibližně 25 % plochy vzorku. Lépe působení půdních organismů včetně plísní odolávala dřevovláknitá deska a OSB deska, které byly viditelně napadeny plísněmi z 15 %. Nejlépe růstu a rozvoji plísní odolávala dřevovláknitá deska a sádrovlákno. Za tento pozitivní výsledek je zodpovědné vyšší pH materiálu. To však v průběhu času klesá a i dřevovláknitá deska se stává vhodným podkladem pro plísně, pokud se vyskytuje v prostředí se zvýšenou vlhkostí a přítomnými kontaminanty.

4.1.2.2 Nově pořízené deskové materiály ve vhodném prostředí pro plísně bez úprav

Vzhledem k tomu, že v předešlém experimentu bylo několik parametrů, které nebylo možné přesně nastavit, například koncentrace biodeteriogenů, rovnoměrná vlhkost prostředí v jednotlivých boxech, bylo nutné upravit nastavení experimentu. Dalším problematickým místem byla větrací mezera, která zajišťovala přístup vzduchu a také samotná skutečnost, že při průběžných kontrolách docházelo k otevírání boxů, a tak byl experiment v kontaktu s prostředím mikrobiologické laboratoře, kde bylo manipulováno i s dalšími kontaminanty a biodeteriogeny. Bylo nutné experiment zjednodušit a sjednotit také podmínky, kterým budou testované materiály vystaveny.

Cílem tohoto experimentu bylo ověřit, zda samotné materiály nejsou zdrojem kontaminace pro stavbu jako celek, jinými slovy, zda jsou nové stavební materiály zdrojem plísní.

I v případě tohoto experimentu se jednalo o nově pořízené stavební materiály, jejichž přehled je v tabulce 3. Pro měření pH materiálů byla použita kolorimetrická metoda (komerční set Merck) z vodného výluhu. Ze zakoupených desek byly připraveny vzorky o rozměrech 40 x 40 mm. Vzorky bez jakýchkoliv úprav byly umístěny do Petriho misek na sladidinový agar (P-lab, ČR). Vzorky byly po dobu 16 dní v termostatu s teplotou 23 ± 3 °C.

Následně byla zhotovena fotodokumentace a byly připraveny laboratorní preparáty metodou visutých kapek a nativní preparáty. Identifikace plísní byla provedena obdobným způsobem, který je uveden v kapitole 4.1.1.

Hodnocení růstu plísní bylo provedeno vizuálně jako procentuální pokrytí plochy vzorku materiálu, stejně tak i zastoupení jednotlivých druhů plísní v Petriho miskách bylo hodnoceno v procentech.

Tab. 3 Testované deskové materiály pro experiment zjištění přítomných plísní

Číslo materiálu	Materiál	Tloušťka desky [mm]
1	Masivní smrkové dřevo	20,0
2	Sádrokarton běžný	12,5
3	Sádrokarton impregnovaný	12,5
4	Konstrukční sádrokarton	12,5
5	OSB	18,0
6	OSB	16,0
7	Dřevovlákn	22,0
8	Sádrovlákn	10,0
9	Sádrovlákn	15,0
10	Dřevotříška	16,0

Výsledky

Vizuálně byla ložiska plísní pozorována na všech materiálech a to jak ze skupiny materiálů na bázi dřeva, tak i u materiálů na bázi sádry. Bylo sledováno poměrné množství plísní na jednotlivých materiálech. Tyto výsledky jsou uvedeny v tabulce 4. Graf na obr. 17 zobrazuje, jak jsou testované materiály náchylné, respektive jak velké množství zárodků plísní s nimi vnášíme do konstrukce. Je zřejmé, že materiály na bázi dřeva jsou nositeli většího množství plísní než materiály na bázi sádry, ale ani v těchto materiálech není množství plísní zanedbatelné. U této skupiny materiálů se opět uplatňuje jejich vyšší pH v období po výrobě. pH jednotlivých materiálů je rovněž uvedeno v tabulce 4. Souhrnně byly materiály při tomto experimentu napadeny v řadě: dřevotříška (povrch porostlý ze 100 %), OSB deska (tl. 18 mm), dřevovlákn, sádrovlákn (tl. 10 mm), sádrovlákn (tl. 15 mm), masivní smrkové dřevo, OSB deska (tl. 16 mm), konstrukční sádrokarton, běžný sádrokarton a sádrokarton impregnovaný. V tabulce 5 jsou pak uvedeny testované materiály a plísně, které se na nich objevily vč. procentuálního zastoupení jednotlivých typů plísní v Petriho misce. Na obr. 19 je zachycen stav vzorku ze sádrovláknité desky po 5 a 16 dnech od počátku experimentu.

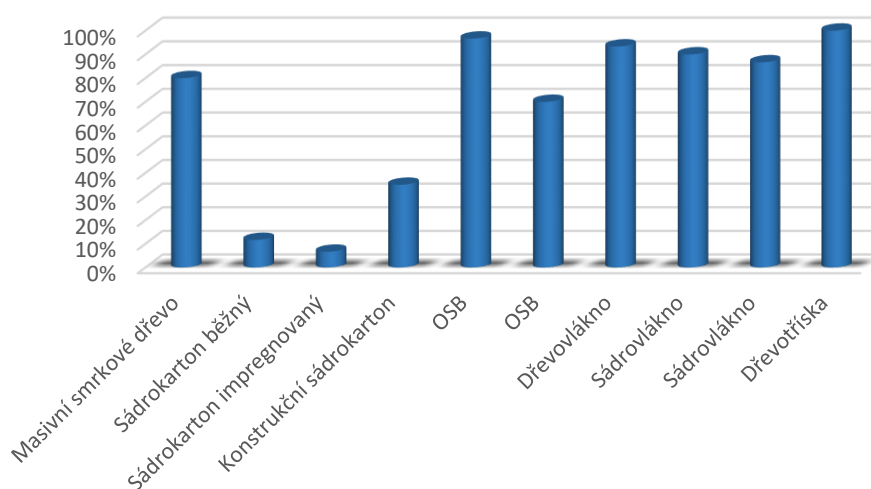
Druhý experiment poukázal na fakt, že stavební materiály samotné jsou nositeli spor plísní a představují riziko pro konstrukci a také pro uživatele objektů. Vizuálně byla ložiska plísní pozorována na všech materiálech a to jak ze skupiny materiálů na bázi dřeva, ale také sádry.

Provedená analýza ukazuje na skutečnost, že do konstrukce zabudováváme potenciální riziko rozvoje růstů plísní a to jen zabudováním běžných stavebních materiálů. Z tohoto důvodu je nutné dbát na preventivní opatření za použití biocidní ochrany (ať už klasickou cestou ve formě postřiků a nátěrů nebo využití nových metod jako např. nanotechnologie) a dodržování technologických postupů s minimalizací vzniku tepelných mostů.

Téměř identická skupina plísní identifikovaných i ve vzdušném prostředí a na povrchu materiálů by v budoucnu mohla vézt k mylné myšlence, že materiály byly napadeny plísněmi ze vzduchu až po zabudování do konstrukce.

Tab. 4 Procentuální část plochy vzorku porostlá plísněmi a pH vzorků

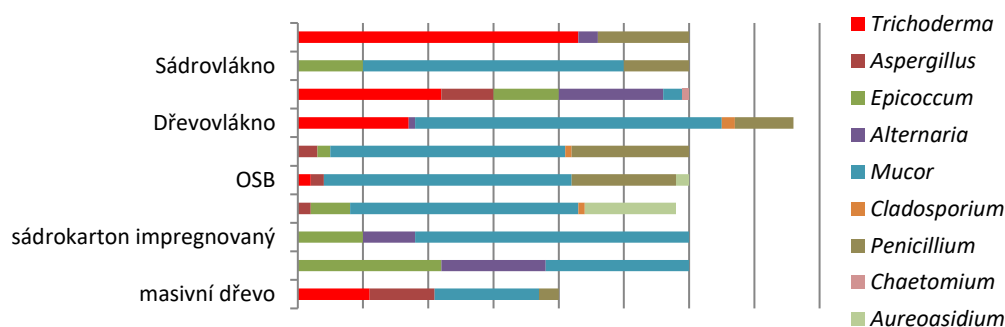
Č.	Materiál	pH	Číslo vzorku		
			1	2	3
1	Masivní smrkové dřevo	5.5	95%	60%	85%
2	Sádrokarton běžný	7.0	10%	10%	15%
3	Sádrokarton impregnovaný	7.0	10%	5%	5%
4	Konstrukční sádrokarton	7.0	30%	70%	5%
5	OSB	5.0	100%	100%	90%
6	OSB	4.5	100%	80%	30%
7	Dřevovlákn	5.0	95%	100%	85%
8	Sádrovlákn	9.0	90%	100%	80%
9	Sádrovlákn	7.5	80%	80%	100%
10	Dřevotříška	4.5	100%	100%	100%



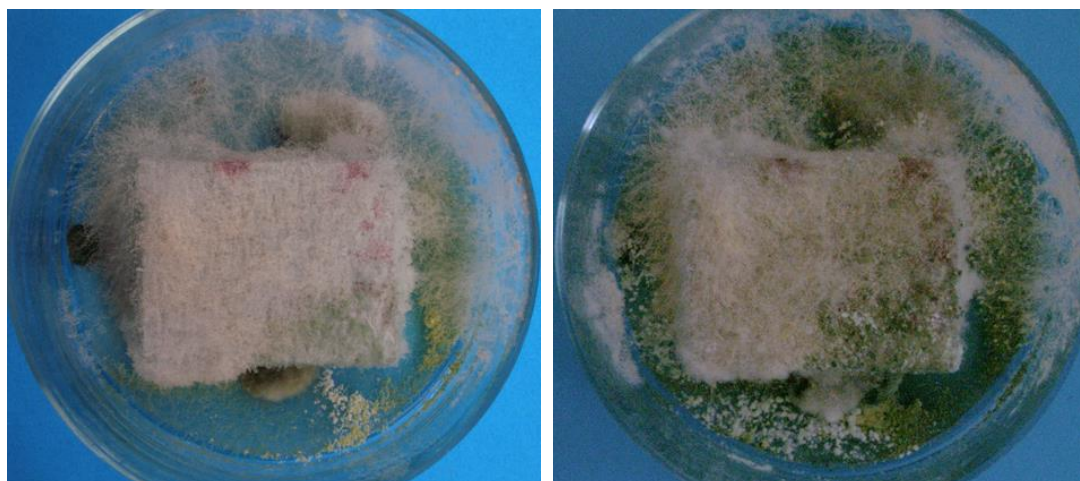
Obr. 17 Procentuální pokrytí vzorku myceliem u materiálů bez ošetření

Tab. 5 Druhová skladba plísní na jednotlivých materiálech

Materiál	Číslo vzorku/druh plísně; její procentuální zastoupení na misce		
	1	2	3
Masivní smrkové dřevo	<i>Mucor</i> ; 100%	<i>Aspergillus</i> ; 20% <i>Trichoderma</i> ; 15% <i>Mucor</i> ; 50% <i>Penicillium</i> ; 15%	<i>Trichoderma</i> ; 40% <i>Aspergillus</i> ; 30% <i>Mucor</i> ; 30%
Sádrokarton běžný	<i>Mucor</i> ; 30% <i>Epicoccum</i> ; 20% <i>Alternaria</i> ; 50%	<i>Mucor</i> ; 60% <i>Epicoccum</i> ; 30% <i>Alternaria</i> ; 10%	<i>Mucor</i> ; 20% <i>Epicoccum</i> ; 60% <i>Alternaria</i> ; 20%
Sádrokarton impregnovaný	<i>Mucor</i> ; 50% <i>Alternaria</i> ; 40% <i>Epicoccum</i> ; 10%	<i>Mucor</i> ; 60% <i>Epicoccum</i> ; 40%	<i>Mucor</i> ; 100%
Konstrukční sádrokarton	<i>Mucor</i> ; 100%	<i>Mucor</i> ; 75% <i>Aspergillus</i> ; 10% <i>Cladosporium</i> ; 5%	<i>Aureoasidium</i> ; 70% <i>Epicoccum</i> ; 30%
OSB	<i>Mucor</i> ; 60% <i>Penicillium</i> ; 40%	<i>Mucor</i> ; 60% <i>Penicillium</i> ; 20% <i>Aspergillus</i> ; 10% <i>Trichoderma</i> ; 10%	<i>Mucor</i> ; 70% <i>Penicillium</i> ; 20% <i>Aureobasidium</i> ; 10%
OSB	<i>Mucor</i> ; 90% <i>Aspergillus</i> ; 5% <i>Cladosporium</i> ; 5%	<i>Penicillium</i> ; 90% <i>Mucor</i> ; 10%	<i>Mucor</i> ; 80% <i>Aspergillus</i> ; 10% <i>Epicoccum</i> ; 10%
Dřevovlákn	<i>Mucor</i> ; 85% <i>Penicillium</i> ; 15%	<i>Mucor</i> ; 70% <i>Penicillium</i> ; 10% <i>Cladosporium</i> ; 10% <i>Trichoderma</i> ; 5% <i>Alternaria</i> ; 5%	<i>Trichoderma</i> 80% <i>Penicillium</i> ; 20%
Sádrovlákn	<i>Trichoderma</i> ; 40% <i>Aspergillus</i> ; 40% <i>Alternaria</i> ; 20%	<i>Trichoderma</i> ; 40% <i>Epicoccum</i> ; 30% <i>Alternaria</i> ; 20% <i>Mucor</i> ; 5% <i>Chaetomium</i> ; 5%	<i>Trichoderma</i> ; 30% <i>Epicoccum</i> ; 20% <i>Alternaria</i> ; 40% <i>Mucor</i> ; 10%
Sádrovlákn	<i>Mucor</i> ; 100%	<i>Mucor</i> ; 50% <i>Penicillium</i> ; 50%	<i>Mucor</i> ; 50% <i>Epicoccum</i> ; 50%
Dřevotřísk	<i>Mucor</i> ; 60% <i>Penicillium</i> ; 40%	<i>Mucor</i> ; 75% <i>Alternaria</i> ; 5% <i>Penicillium</i> ; 20%	<i>Mucor</i> ; 80% <i>Alternaria</i> ; 10% <i>Penicillium</i> ; 10%



Obr. 18 Poměrné zastoupení kmenů plísní na jednotlivých vzorcích



Obr. 19 Sádroláknitá deska v 5. (vlevo) a v 16. dni (vpravo) od počátku experimentu

4.1.2.3 Nově pořízené deskové materiály ve vhodném prostředí pro plísně po UV expozici

Na základě výsledků získaných z předchozí studie vyvstala otázka, jestli povrch vzorků opravdu nemohl být kontaminován plísněmi ze vzduchu během skladování v prodejně nebo při jejich transportu. Z tohoto důvodu bylo nutné zničit spory plísní z povrchu vzorků a sterilizovat je. Nastavení experimentu bylo stejné jako v předchozím případě, jen před vložením vzorků do misek byly vzorky exponovány UV záření pro zneškodnění spor plísní na povrchu. Byla použita germicidní UV-C lampa (G13, 55 W, s emisním maximem 253 nm, vzdálenost od vzorků 1 m) po dobu 20 minut na každou ze šesti stěn vzorku. Dále následoval identický postup jako v předchozím případě (kap. 4.1.2.2).

Výsledky

Tak jako byl podobný postup studia plísní na povrchu vzorků bez ošetření, bylo dosaženo i velmi podobných výsledků u vzorků, které byly před kultivací vystaveny expozici UV záření. Jen růst plísní byl pomalejší a méně masivní než u vzorků, které před kultivací nebyly nijak ošetřeny. V obou případech byly vzorky vystaveny vhodným podmínkám pro růst plísní – v prostředí s vysokou relativní vlhkostí vzduchu blízkou 100 %, optimální teplotou a s živinami vhodnými pro růst plísní. Závěr této dílčí studie je, že sterilizace UV expozicí není dostatečná, protože nedošlo ke zničení spor plísní. Docházelo ke klíčení spor a růstu plísní na povrchu vzorků, i když pomaleji a v menší míře, než bez jakéhokoliv opatření.

4.1.2.4 Nově pořízené deskové materiály vystavené zvýšené relativní vlhkosti vzduchu

V další studii došlo k omezení podmínek pro růst plísní ve srovnání s předchozími studiemi. Růst plísní byl sledován na vzorcích deskových materiálů o rozměrech 40 x 40 mm. Třetí rozměr byl dán tloušťkou desky materiálu. Materiálová základna pro tento experiment byla rozšířena oproti předchozím o masivní smrkové dřevo a desku ze dřevovláknů o jiných tloušťkách, než bylo použito doposud. A navíc byla do skupiny studovaných materiálů zařazena i cementotřísková deska. Testované materiály jsou uvedeny v tab. 6, včetně hodnot pH měřených kolorimetrickou metodou (Merck). Pohled na vzorky je na obr. 20.

Tab. 6 Studované nově pořízené deskové materiály

Číslo materiálu	Materiál	Tloušťka desky [mm]	pH [-]
1	Masivní smrkové dřevo	20,0	5.5
2	Sádrokarton běžný	12,5	7.0
3	Sádrokarton impregnovaný	12,5	7.0
4	Konstrukční sádrokarton	12,5	7.0
5	OSB	18,0	5.0
6	OSB	16,0	4.5
7	Dřevovlákn	22,0	5.0
8	Dřevovlákn DHF	15,0	4.5
9	Sádrovlákn	10,0	9.0
10	Sádrovlákn	15,0	7.5
11	Dřevotříska	16,0	4.5
12	Masivní smrkové dřevo	10,0	5.5
13	Cementotřísková deska	18,0	10.0



Obr. 20 Studované deskové materiály; řazení zleva doprava odpovídá číslování uvedenému v tabulce 7

Vzorky byly na počátku experimentu opět zbaveny plísní na jejich povrchu expozicí UV zářením po dobu 20-ti minut z každé strany. Následně byly uloženy do dvou skříňových exsikátorů s rozdílnou vlhkostí prostředí pro prokázání hypotézy, že určitá hodnota vlhkosti prostředí je spouštěčem pro růst plísní na povrchu vybraných stavebních materiálů. Vzorky byly vloženy do prostředí o relativní vlhkosti vzduchu 78 % (což je blízká hodnota kritické 80 % RH) a vlhkosti 97 % (v tomto případě se jedná o hodnotu blízkou 100 % relativní vlhkosti vzduchu, která byla i vlhkostí v Petriho miskách v předchozí studii pro kultivaci plísní). Rovnoměrná vlhkost byla v prostoru exsikátoru zajištěna ventilátorem umístěným nad hladinou nasyceného roztoku soli. Nádoby s roztoky solí byly umístěny ve spodní části exsikátorů. V případě RH 78 % se jednalo o roztok síranu amonného ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) a v případě RH 97 % byl použit roztok síranu draselného (K_2SO_4). Sestava experimentu je zachycena na obrázku 21. Experiment probíhal za laboratorní teploty (23 °C) a monitoring materiálů byl plánován na dobu 30 dní. Byl sledován růst mycelia plísní na povrchu vzorků. Sledována byla plocha pěti stěn vzorku; dvě o rozměrech 40 x 40 mm a tři boční stěny o rozměru 40 x rozměr daný tloušťkou desky (10 až 22) v mm. Čtvrtá z bočních stěn byla ze sledování vyloučena. Po celou dobu byla tato stěna v kontaktu s podložkou a v průběhu experimentu se tato stěna neměnila. Dále byl sledován dominantní druh plísně jednotlivých materiálů. Na konci experimentu byly ze vzorků odebrány plísně stěrovou a otiskovou metodou. Plísně byly následně kultivovány a identifikovány podle postupu uvedeného v kapitole 4.1.1.2.



Obr. 21 Pohled na skříňové exsikátory

Výsledky

V tabulce 7 jsou zachyceny výsledky monitoringu chování nově pořízených deskových materiálů vystavených prostředí o relativní vlhkosti vzduchu 97 %. U většiny ze sledovaných vzorků byla po 30 dnech více než polovina jejich plochy pokryta myceliem plísní. Příklad stavu vzorků po 30 dnech od počátku experimentu je zachycen na obr. 22. Po dalších 120 dnech byly až na výjimky vzorky porostlé plísněmi téměř po celém povrchu. V případě nižší 78 % relativní vlhkosti prostředí nebyl zaznamenán růst plísní na povrchu vzorků v průběhu měsíčního pozorování a ani v průběhu dalších 120 dnů nedošlo k iniciaci růstu plísní na žádném ze sledovaných vzorků.

Tab. 7 Plocha vzorku porostlá plísněmi vyjádřená v procentech celkové zkoumané plochy vzorku

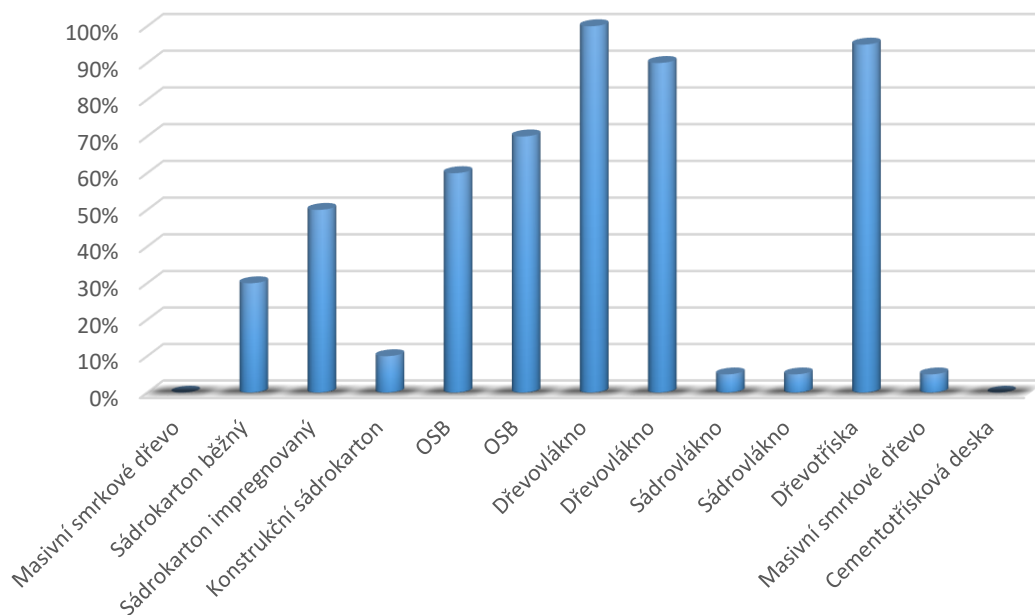
Číslo materiálu	Materiál	Plocha pokrytá plísněmi [%]
1	Masivní smrkové dřevo	0
2	Sádrokarton běžný	30
3	Sádrokarton impregnovaný	50
4	Konstrukční sádrokarton	10
5	OSB	60
6	OSB	70
7	Dřevovlákn	100
8	Dřevovlákn DHF	90
9	Sádrovlákn	5
10	Sádrovlákn	5
11	Dřevotřísky	95
12	Masivní smrkové dřevo	5
13	Cementotřísková deska	0

Studie také ukázala, že povrch vzorků z materiálů na bázi dřeva představuje lepší podmínky pro růst a vývoj plísní než v případě masivního smrkového dřeva. Vzorky OSB desek a dřevovláknité desky byly pokryty plísněmi z 90 % povrchu, zatímco masivní smrkové dřevo bylo pokryto plísněmi maximálně z 5 %. Vyšší růst plísní byl pozorován u vzorků všech typů sádrokartonových desek včetně impregnovaného sádrokartonu. Nejslabší složkou těchto desek byla jejich papírová část. Nejlepší výsledky odolnosti vůči růstu plísní byly dosaženy u vzorků cementotřískové desky. Vzhledem k tomu, že se jednalo o nový materiál, došlo zde opět k uplatnění vyššího pH materiálu.

Pro názornější možnost porovnání s předchozími studiemi jsou výsledky růstu plísní na vzorcích z 97 % relativní vlhkosti zobrazeny také ve formě grafu na obr. 23. Kromě plochy napadené plísněmi byl mapován i dominantní druh plísně jednotlivých materiálů. Tyto dominantní druhy plísní jsou uvedeny v tab. 8.



Obr. 22 Vzorky po 30 dnech v RH 97 %; zleva OSB deska 16 mm, dřevovláknno 22 mm, dřevovláknno DHF 15 mm



Obr. 23 Graf procentuálního pokrytí vzorků v 97 % relativní vlhkosti vzduchu myceliem plísní

Tab. 8 Dominantní druhy plísní materiálů identifikovaných ze vzorků po 150 dnech v 97 % relativní vlhkosti vzduchu

Číslo materiálu	Materiál	Dominantní plíseň
1	Masivní smrkové dřevo	<i>Trichoderma viride</i>
2	Sádrokarton běžný	<i>Aspergillus niger</i>
3	Sádrokarton impregnovaný	žádný dominantní druh
4	Konstrukční sádrokarton	<i>Aspergillus niger</i>
5	OSB	<i>Penicillium funiculosum</i> <i>Trichoderma viride</i>
6	OSB	<i>Trichoderma viride</i>
7	Dřevovláknno	<i>Trichoderma viride</i>
8	Dřevovláknno DHF	<i>Trichoderma viride</i>
9	Sádrovláknno	žádný dominantní druh
10	Sádrovláknno	<i>Penicillium funiculosum</i>
11	Dřevotříška	<i>Aspergillus niger</i>
12	Masivní smrkové dřevo	<i>Aspergillus niger</i>
13	Cementotříšková deska	<i>Aspergillus niger</i>

4.1.3 Monitoring plísní na vzorcích ETICS odebraných z reálných konstrukcí

V předcházejícím experimentu byly studovány nové materiály vystavené dvěma relativním vlhkostem vzduchu, 78 % a 97 %, které bývají v reálných konstrukcích dosaženy jen ojediněle, a většinou se jedná o krátkodobé zvýšení vlhkosti vzduchu. Z tohoto důvodu byla pozornost zaměřena na reálné konstrukce.

Problematickým místem objektů v souvislosti s biofilmem jsou fasády objektů. Na fasády s kontaktním zateplovacím systémem s pěnovým polystyrénem a minerální vlnou stáří 10 a více let. Ve spolupráci s paní docentkou Šilarovou, společností Český Caparol s.r.o. a Laboratoři molekulové spektroskopie VŠCHT Praha byly vytipovány bytové domy a analyzovány vzorky omítek a omítkových souvrství ETICS.

Z objektů s realizovaným kontaktním zateplovacím systémem v období 1997 – 2012 v Čelákovících, Chomutově – Jirkově a Ostravě byly odebrány vzorky tak, aby bylo možné ověřit procesy chemismu a biologického stárnutí omítkových souvrství kontaktních zateplovacích systémů. V rámci výzkumu byly testovány vzorky na přítomnost a rozvoj plísní a řas typických pro tyto konstrukce s určením jejich časového vzniku. Tato část průzkumu probíhala v Technoparku Kralupy Vysoké školy chemicko – technologické v Praze. Dále byly vzorky ve formě obrusů analyzovány v Laboratoři molekulové spektroskopie VŠCHT v Praze. Průzkum byl proveden na celkem 37 vzorcích omítek kontaktních zateplovacích systémů odebraných celkem z jedenácti objektů ve třech charakteristických lokalitách.

Pro potřeby mikrobiologického průzkumu a chemické analýzy byly odebrány vzorky finální vrstvy omítkových systémů sterilním skalpelem do odběrné sterilní nádoby ve formě obrusu. Z vytipovaných objektů byly pořízeny i výřezy omítkových souvrství z plochy 100 x 100 mm. Pohled na fasádu, z níž byly provedeny odběry, je uveden na obr. 26. Příklad vzorků odebraných v lokalitě Chomutov – Jirkov je na obr. 25.

Vzorky byly označeny, zaznamenány údaje o počasí, místě odběru a byla pořízena fotodokumentace. Dále byly zaznamenány informace o objektu jako lokalita, rok výstavby a realizace dodatečného zateplení, použitý konstrukční systém, tepelný izolant, informace o omítkovém souvrství, orientaci fasády a také, zdali byl podklad před dodatečným zateplením upraven, očištěn nebo byl bez úprav. Dále byly zhotoveny dva nové laboratorní srovnávací vzorky o velikosti 100 x 100 mm v Kozomíně.

Odběry vzorků v jednotlivých lokalitách byly provedeny za souhlasu vlastníků v následujících termínech:

- Čelákovice 31. 10. 2016
- Chomutov - Jirkov 7. 11. 2016
- Ostrava 25. 11. 2016



Obr. 24 Pohled na fasády bytových domů s naznačenými místy odběru vzorků



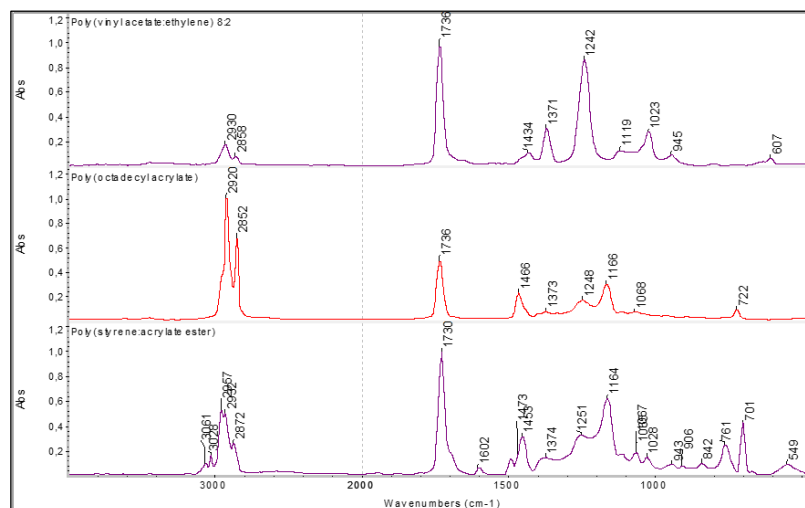
Obr. 25 Vzorky obrusů a výřezů z omítkových souvrství z lokality Chomutov - Jirkov

Vzorky byly přeneseny do laboratoří Fakulty stavební ČVUT v Praze a Technoparku Kralupy VŠCHT v Praze, kde proběhla kultivace na Petriho miskách s živným médiem (Czapek-Dox

agar) po dobu 4 dnů při RH vzduchu blízké 100 % a teplotě 25 ± 3 °C pro zjištění přítomnosti a následnou identifikaci plísní. Po dostatečném nárůstu přítomných plísní byla použita metoda visuté kapky pro další identifikaci pod mikroskopem (Olympus BX41). Identifikace plísní byla provedena obdobným způsobem, který je uveden v kapitole 4.1.1. Bylo vyhodnoceno procentuální pokrytí misky plísněmi. Pro zjištění přítomnosti řas byl sypký vzorek omítky kultivován ve 25 ml roztoku podle Knoppa po dobu 2 měsíců v režimu 16/8 (den/noc).

Vzorky odebrané z omítek byly nanесeny na diamantový ATR krystal a proměřeny. Cílem tohoto měření je identifikace anorganických částí omítkové vrstvy. Dále byly vzorky nanесeny na leštěnou ocelovou podložku a podrobeny extrakci toluenem. V odparku extraktu byla identifikována přítomnost organického pojiva v omítce. Identické stěry/obruse vzorků omítek byly dodány do laboratoře molekulové spektroskopie VŠCHT Praha paní Ing. Novotné. K analýze materiálu byla zvolena metoda infračervené spektroskopie. Infračervená spektroskopie je absorpční spektroskopií. Každá chemická vazba mezi atomy ve vzorku pohlcuje (absorbuje) dopadající infračervené záření v závislosti na energii svého vibračního pohybu. Pohlcená energie dopadajícího záření se ve spektru projeví absorpčním pásem, jehož poloha na ose x (tj. poloha na ose vlnočtů) je specifická pro typ chemické vazby, tj. pro dané chemické složení vzorku. Tato měřicí metoda dovoluje identifikovat chemické složení vzorku na základě vyhodnocení IR spekter, resp. polohy absorpčních pásů ve spektru. Infračervená spektroskopie je metodou srovnávací, tzn. IR spektrum je vyhodnoceno na základě srovnání reálných spekter se spektry standardů uložených v knihovně spekter. Reálné IR spektrum je superpozicí spekter všech složek analyzované směsi. V tomto případě je identifikace založena na vyhodnocení poloh analytických absorpčních pásů s využitím knihovny spekter, diferenčních spekter, případně derivačních spekter a zkušenosti chemika – analytika.

Analýza byla provedena na FTIR spektrometru Nicolet 6700 (Thermo-Nicolet, USA) ve spojení s mikroskopem Continuum parametry měření: reflektanční měření, spektrální rozsah $4000 - 650$ cm^{-1} , spektrální rozlišení 4 cm^{-1} , počet akumulací spekter 128, apodizace Happ-Genzel. Spektra byla zpracována programem Omnic 8.1 (Nicolet Instruments Co., USA) a identifikována s použitím knihovny spekter VŠCHT Praha. IR spektra standardů pojiv (poly(vinylacetát-ethylenu, polystyren-akrylátu a akrylátu) v omítkách jsou zachycena na obrázku 26.



Obr. 26 IR spektra standardů pojiv v omítkách – srovnávací křivky

Výsledky

Výsledky provedeného průzkumu na celkem 37 vzorcích omítek odebraných celkem ze třinácti objektů ve třech lokalitách byly pro přehlednost shrnuty do následující tab. 9. V tabulce jsou uvedeny výsledky všech provedených experimentů pro jednotlivé vzorky.

Ve sledovaných vzorcích bylo vyjádřeno procento pokrytí Petriho misky plísní (obr. 27) a byla určena přítomnost skupiny plísní, nejčastějším zástupcem byla *Alternaria* sp. A to ve všech lokalitách. Tento kmen převažoval na fasádách orientovaných na sever. V případě ostatních plísní už pak orientace fasády neměla takový význam, a to jak co do množství plísní, tak co do druhového složení. Je nutné podotknout, že odběr všech vzorků proběhl v období 14 dnů. To je v souladu s literaturou [41], kde se uvádí, že v průběhu roku se mění druhová skladba plísní v ovzduší.



Obr. 27 Vzorek č. 6 z Čelákovic; vlevo po kultivaci, vpravo mikroskopický snímek výřezu omítky s biofilmem

Procentuální znečištění fasád bylo pro jednotlivé objekty zprůměrováno vzhledem k lokálnímu rozdílnému výskytu množství plísní na Petriho miskách při více vzorcích z jednoho objektu, odebraných z různých světových stran a to u čtyř objektů (v ulici Spojovací v Čelákovcích, v ulici Písečná v Chomutově - Jirkově a v ulici Okružní v Ostravě - Orlové). Doba realizace na tuto abnormalitu nemá vliv, neboť fasády výše zmíněných objektů jsou z celého spektra sledovaného období od roku 1965 až do roku 1998.

Analyzovaná organická pojiva ze získaných 37 vzorků ve velké většině neodpovídala pojivům, která avizovali správci objektů dle dodaných podkladů výrobcem. Především akrylátové omítky dle správců byly na bázi polyvinylacetát-ethylenu, což je pojivo jiných vlastností a lépe mísitelné se silikony. U omítek, které byly v dodávkách označeny jako silikonové, nebyl dle infračervené spektroskopie silikon přítomen. Dokonce ani při další extrakci toluenem nebyl silikon zjištěn. Porovnání křivek spekter dodaných vzorků bylo provedeno se srovnávacími spektry z knihoven. Vliv exhalace vnějšího prostředí na omítková souvrství je patrný u vzorků 3V a 4V z Ostravy (tabulky 10 a 11), především z detekce síranu vápenatého.

Tab. 9 Výsledky laboratorní analýzy vzorků obrusů omítek; fasády očištěné před instalací izolantu jsou označeny *

vzorek	laboratorní analýza								
	lokalita	označení vzorku	plocha misky pokryta plísněmi	průměr za objekt (omítku)	plísně		přítomnost řas	orientace fasády	anorganické složky
rod					% zastoupení na misce				
Čelákovice	1*	90%	58%	<i>Alternaria</i> sp.	100%	ano	sever	CaCO ₃ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)
	2*	25%		<i>Alternaria</i> sp.	100%	ano	sever	CaCO ₃ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)
	3*	20%	53%	<i>Fusarium</i> sp.	60%	ne	jih	CaCO ₃ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)
				<i>Stachybotrys</i> sp.	40%				
	4*	70%		<i>Alternaria</i> sp.	70%	ano	sever	CaCO ₃	Poly(vinylacetát-ethylen)
				<i>Cladosporium</i> sp.	30%				
	5*	70%	<i>Alternaria</i> sp.	50%	ne	východ	CaCO ₃ , křemičitan, SiO ₂	Polystyren-akrylát, poly(vinylacetát)-ethylen	
			<i>Cladosporium</i> sp.	50%					
	6	90%	90%	<i>Cladosporium</i> sp.	30%	ano	sever	CaCO ₃ , křemičitan, SiO ₂	Polystyren-akrylát
				<i>Aureobasidium</i> sp.	70%				
7	90%	<i>Cladosporium</i> sp.		60%	ano	sever	CaCO ₃ , křemičitan, SiO ₂	Polystyren-akrylát	
		<i>Aureobasidium</i> sp.		20%					
		<i>Scopulariopsis</i> sp.	10%						

Tab. 10 – pokračování Výsledky laboratorní analýzy vzorků obrusů omítek

vzorek		laboratorní analýza							
lokalita	označení vzorku	plocha misky pokryta plísními	průměr za objekt (omítku)	plísně		přítomnost řas	orientace fasády	anorganické složky	organické pojivo
				rod	% zastoupení na misce				
Chomutov	1*	30%	70%	<i>Mucor</i> sp.	80%	ano	severovýchod	CaCO ₃	Poly(vinylacetát-ethylen)
				<i>Cladosporium</i> sp.	20%				
	2*	90%	70%	<i>Alternaria</i> sp.	100%	ne	severozápad	CaCO ₃	Poly(vinylacetát-ethylen)
	3*	90%		<i>Alternaria</i> sp.	80%				
				<i>Cladosporium</i> sp.	20%	ne	jihozápad	CaCO ₃ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)
	4	100%	<i>Alternaria</i> sp.	70%					
				<i>Aureobasidium</i> sp.	30%	ne	jihozápad	CaCO ₃ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)
	5	95%	92%	<i>Alternaria</i> sp.	100%				
	6	80%		<i>Alternaria</i> sp.	100%	ano	severovýchod	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)
	7	95%	95%	<i>Alternaria</i> sp.	80%	ne	jihozápad	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan, SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)
		<i>Aureobasidium</i> sp.		20%					
8	90%	95%	<i>Alternaria</i> sp.	60%	ano	severozápad	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan, SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)	
			<i>Aureobasidium</i> sp.	10%					
			<i>Cladosporium</i> sp.	30%					
9	95%	95%	<i>Alternaria</i> sp.	80%	ano	severozápad; dvě vrstvy	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan, SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)	
			<i>Aureobasidium</i> sp.	20%					
10	100%	95%	<i>Alternaria</i> sp.	60%	ne	severovýchod	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan, SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)	
			<i>Aureobasidium</i> sp.	10%					
			<i>Cladosporium</i> sp.	30%					
Ostrava	V1/1	100%	98%	<i>Alternaria</i> sp.	100%	ne	sever	CaCO ₃ , SiO ₂	Polystyren akrylát
	V1/2	95%		<i>Alternaria</i> sp.	100%				
	V2	95%	95%	<i>Alternaria</i> sp.	70%	ne	sever	CaCO ₃ , CaSO ₄ , SiO ₂	Akrylát
				<i>Cladosporium</i> sp.	30%				
	V3/1	100%	98%	<i>Alternaria</i> sp.	100%	ano	sever-severovýchod	CaCO ₃ , SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)
	V3/2	95%		<i>Alternaria</i> sp.	100%				
	V4/1	95%	98%	<i>Alternaria</i> sp.	80%	ano	jih	CaCO ₃ , křemičitan	Polystyren-akrylát (velmi málo)
				<i>Fusarium</i> sp.	20%				
	V4/2	100%	98%	<i>Alternaria</i> sp.	70%	ano	sever	CaCO ₃ , křemičitan	Polystyren-akrylát (velmi málo)
<i>Aureobasidium</i> sp.				30%					
3V*	20%	48%	<i>Cladosporium</i> sp.	100%	ne	severovýchod	CaCO ₃ , CaSO ₄ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)	
4V*	75%		<i>Alternaria</i> sp.	100%					ano



Tab. 11 – pokračování Výsledky laboratorní analýzy vzorků obrusů omítek

vzorek		laboratorní analýza							
lokalita	označení vzorku	plísňě				přítomnost řas	orientace fasády	anorganické složky	organické pojivo
		plocha misky pokryta plísňemi	průměr za objekt (omítku)	rod	% zastoupení na misce				
Zkušebna Kozomín	S1 Ca	0%	0%	-	-	ne	-	CaCO ₃	Akrylát
	S2 We	0%	0%	-	-	ne	-	CaCO ₃	Poly(vinylacetát-ethylen)

Tab. 12 Výsledky laboratorní analýzy vzorků výřezů omítek

vzorek		laboratorní analýza							
lokalita	označení vzorku	plísňě				přítomnost řas	orientace fasády	anorganické složky	organické pojivo
		plocha misky pokryta plísňemi	rod	% zastoupení na misce					
Čelákovice	1	90%	<i>Alternaria</i> sp.	100%	ano	sever	CaCO ₃ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)	
	6	90%	<i>Cladosporium</i> sp.	30%	ano	sever	CaCO ₃ , křemičitan, SiO ₂	Polystyren-akrylát	
			<i>Aureobasidium</i> sp.	70%					
	7	90%	<i>Cladosporium</i> sp.	60%					
			<i>Aureobasidium</i> sp.	20%					
<i>Scopulariopsis</i> sp.			10%						
Chomutov	7	95%	<i>Alternaria</i> sp.	80%	ne	jiho západ	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan, SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)	
			<i>Aureobasidium</i> sp.	20%					
	8	90%	<i>Alternaria</i> sp.	60%	ano	severo západ	CaCO ₃ , hlinitokřemičitan, SiO ₂	Poly(vinylacetát-ethylen)	
			<i>Aureobasidium</i> sp.	10%					
<i>Cladosporium</i> sp.	30%								
Ostrava	3V	20%	<i>Cladosporium</i> sp.	100%	ne	severo východ	CaCO ₃ , CaSO ₄ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)	
	4V	75%	<i>Alternaria</i> sp.	100%	ano	severo západ	CaCO ₃ , CaSO ₄ , SiO ₂ , křemičitan	Poly(vinylacetát-ethylen)	

Dílčí analýza zaměřená na vliv použitého tepelně izolačního materiálu na růst plísni na finální vrstvě omítky srovnávala pěnový polystyren a izolaci z minerálních vláken. U vzorků, které byly odebrány z omítkového souvrství na KZS s minerálními vlákny, byl pozorován růst

plísni (> 50 % plochy misky pokryté plísněmi) v průměru ve větší míře než v případě, kdy byl použit pěnový polystyren (< 50 % plochy misky pokryté plísněmi). Pozitivní výsledky ve prospěch polystyrenu mohou být zkresleny v důsledku rozdílné orientace fasád, z nichž byly vzorky odebírány a také skutečnosti, že minerální vlákna vykazovala již během odběru zvýšenou vlhkost, což je jeden z důležitých faktorů ovlivňující rozvoj plísní v materiálu.

Z výsledků této studie byl závěr takový, že složení finální vrstvy ETICS nemělo na míru znečištění plísněmi vliv. Jinými slovy nezáleží na typu omítky a použitém organickém pojivu. Vliv použitého izolantu byl minimální a spíše zanedbatelný. Roli hrála hrubost použité finální vrstvy omítkového souvrství. Čím větší hrubost, tím lépe ulpívá prach a další nečistoty z ovzduší na fasádě, a tím vzniká živná půda pro mikroorganismy. Dále se uplatňovala orientace fasády, z níž byly vzorky odebírány. Nejvíce byly porostlé plísněmi vzorky z fasád orientovaných na sever, dále na severozápad a severovýchod. Velký vliv měla také příprava fasády před aplikací tepelného izolantu. Z výsledků vyplývá, že pokud byl povrch před aplikací očištěn (podle získaných informací od správců objektu), bylo finální souvrství v menší. Stav fasád byl ovlivněn i svým okolím. V případě blízké vzrostlé zeleně vč. blízkosti lesa a v průmyslových oblastech, dokázalo ke kontaminaci fasádního souvrství ve větší míře.

4.1.4 Tepelné izolace na přírodní bázi v porovnání s pěnovým polystyrenem a minerální vlnou

Studie kontaktních zateplovacích systémů poukázala na možné rozdíly v napadení fasád z hlediska tepelně izolačních materiálů. V souvislosti s tím se objevila otázka, jak se chovají jednotlivé tepelné izolace při napadení plísněmi. Materiálová základna tepelně izolačních materiálů je velmi obsáhlá. Je tvořena jak materiály na čistě přírodní bázi (jako například izolační desky ze slámy, konopí apod.), tak i materiály průmyslově zpracovanými (polystyren, pěnové sklo, minerální vlákna atd.). Další dělení tepelných izolací je podle obnovitelnosti zdroje pro jejich výrobu. Příkladem izolantů z obnovitelných zdrojů je dřevovláknitá izolace, izolace ze slámy, konopí, ovčí vlákno, papír. Pokud bychom uvažovali, že odpadní skleněné střepty použijeme na výrobu pěnového skla, je možné ho teoreticky také zařadit do této skupiny. Ze zdrojů neobnovitelných se ve stavební praxi používají izolace jako minerální vlákno (čedič) a polystyren (ropa).

Pro tuto studii byla zvolena skupina materiálů používaných jako tepelné izolanty. Vedle nejvíce používaných pěnového polystyrenu a minerální vlny, byla zaměřena pozornost také



na izolanty na přírodní bázi a na konopný beton. Pro ilustraci jsou uvedeny v tab. 11 izolační materiály společně s příslušnými fyzikálními vlastnostmi, jako jsou objemová hmotnost, tepelná vodivost a doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na základě těchto známých parametrů byla získána potřebná tloušťka tepelné izolace a hmotnost jednoho metru čtverečního této izolace. Sjednocujícím parametrem všech izolantů je součinitel prostupu tepla $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, což odpovídá doporučené hodnotě součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu $18 \text{ }^\circ\text{C}$ až $22 \text{ }^\circ\text{C}$ včetně pro vnější stěny [137].

Tab. 13 Příklad tepelně izolačních materiálů

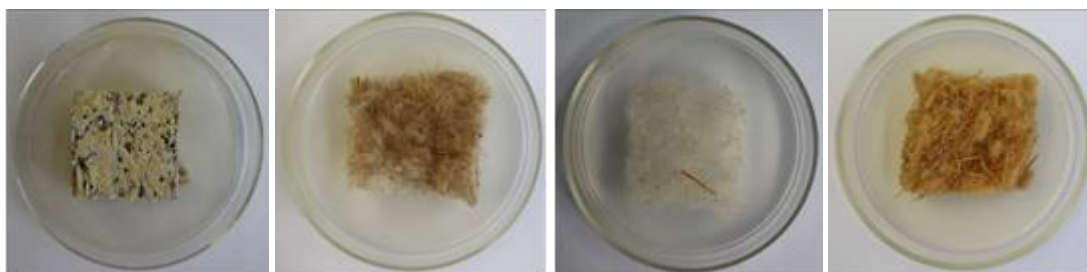
Materiál tepelné izolace	ρ [kg/m^3]	λ [W/mK]	U [$\text{W/m}^2\text{K}$]	d [m]	Hmotnost 1 m^2 [kg/m^2]
Expandovaný polystyren	25	0,036	0,25	0,14	3,60
Minerální vlna	60	0,036		0,14	8,64
Skleněná vlna	20	0,040		0,16	3,20
Pěnové sklo	100	0,036		0,14	14,00
Dřevěná vlna	75	0,043		0,17	12,90
Celulóza	55	0,040		0,16	8,80
Ovčí vlna	30	0,040		0,16	4,80
Sláma	150	0,064		0,26	38,40

Pro samotný experiment byly použity tepelné izolace uvedené v tab. 13 (jednotlivé typy dřevovláknitých desek se liší způsobem výroby a objemovou hmotností rostoucí od označení I do III, mechanickou pevností a odolností). Z izolačních desek byly zhotoveny vzorky o rozměrech $30 \times 30 \text{ mm}$. Čtvercové vzorky izolací byly bez další úpravy umístěny do sterilních skleněných krystalizačních misek se sladinovým agarem (OXOID, Velká Británie). Misky byly kultivovány v inkubátoru při teplotě $23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 30 dnů. Příklad uspořádání vzorku na miskách je uveden na obr. 28. Byl sledován růst plísní a procento pokrytí plochy vzorku plísněmi. Po kultivaci proběhla identifikace plísní, která byla provedena obdobným způsobem, který je uveden v kapitole 4.1.1. Růst plísní na vzorcích izolací byl sledován vizuálně a pod mikroskopem. Stupnice použitá pro hodnocení růstu plísní je uvedena

v tabulce 12, která vychází z ČSN EN ISO 846 Plasty – hodnocení působení mikroorganismů [138].

Tab. 14 Hodnocení růstu plísní

Intenzita růstu plísně	Hodnocení
0	pod mikroskopem není patrný žádný růst
1	růst viditelný pouze pod mikroskopem
2	růst viditelný pouhým okem, pokrývající až 25 % povrchu
3	růst viditelný pouhým okem, pokrývající méně než 50 % povrchu
4	značný růst pokrývající více než 50 % povrchu
5	masivní růst pokrývající celý zkoumaný povrch



Obr. 28 Pohled na vzorky tepelných izolací; zleva konopný beton, len, ovčí vlna, dřevovláknno

Výsledky

Výsledky monitoringu růstu plísní na povrchu vzorků jednotlivých izolantů v průběhu studie jsou uvedeny v tab. 13. Na vzorcích byly identifikovány následující rody plísní: *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Mucor* sp., *Aureobasidium* sp. a *Fusarium* sp. U vzorků s podílem dřevěné složky byla identifikována také *Trichoderma* sp.

První zaznamenaný růst plísní pod mikroskopem byl pozorován u vzorků ze lnu, konopné izolace s kukuřičným škrobem a slámy. Nejdéle růstu plísní odolával vzorek z konopného betonu.

Z uvedených výsledků vyplývá, že ani jeden typ izolačního materiálu není zcela imunní vůči rozvoji plísní. Na základě analýzy vzorků izolantů odebíraných in-situ a výsledků laboratorních experimentů nelze tedy doporučit bez znalosti podmínek na stavbě jeden konkrétní izolant. Pro volbu konkrétního izolačního materiálu je nutné zohledňovat více faktorů včetně jeho umístění na fasádě a typu stavby, tepelný odpor materiálu, jeho mechanickou a požární odolnost, šetrnost materiálu k životnímu prostředí, manipulaci, cenu apod. Dále byla

výsledky potvrzená vyšší náchylnost materiálů na rostlinné bázi oproti izolaci z ovčího vlákna, minerální vlně nebo polystyrenu. Výsledek odolnosti konopného betonu byl podpořen vyšší hodnotou pH materiálu.

Je nutné zmínit, že vzorky byly během experimentu vystaveny ideálním podmínkám pro rozvoj plísní (zvýšená vlhkost vzduchu, teplota a dostatek živin). Takovým podmínkám není materiál na stavbě běžně vystaven, ale je nutné předcházet výskytu plísní především zabráněním kontaktu materiálu před i po zabudování zvýšené vlhkosti (vzdušné i zkondenzované) nebo s dešťovými srážkami. Identifikované druhy plísní patří mezi běžně se vyskytující plísně. Pro zdravého jedince by neměla být krátkodobá expozice těmto plísním nebezpečná.

Tab. 15 Výsledky monitoringu růstu plísní na tepelných izolacích v čase

Materiál tepelné izolace	Den po inokulaci								
	0.	2.	6.	10.	14.	18.	22.	26.	30.
minerální vlna	0	0	0	1	2	3	3	4	4
EPS	0	0	0	1	1	2	2	3	4
konopný beton	0	0	0	0	0	0	0	1	1
len	0	0	1	2	2	3	3	3	3
ovčí vlna	0	0	0	0	1	2	2	2	3
konopí s bico vláknem	0	0	0	1	1	2	3	3	3
konopí s kukuřičným škrobem	0	0	1	2	3	3	3	4	4
dřevovláknno I	0	0	0	1	2	3	3	4	4
dřevovláknno II	0	0	0	0	1	1	2	3	3
dřevovláknno III	0	0	0	0	0	1	1	2	3
sláma	0	0	1	1	3	3	4	4	4
papír	0	0	0	1	1	2	3	3	3

4.2 Ochrana stavebních materiálů pomocí nanotechnologií

Předkládaná metoda s biocidním účinkem primárně proti plísním využívá především nanovláknité textilie a dále testuje polymerní roztoky, z nichž byly tyto textilie zvlákněny.

4.2.1 Výroba nanovláknitých textilií

Nanovláknina byla připravena metodou elektrostatického zvláknování technologií Nanospider na zařízení Nanospider TM LB 500 (Elmarco, Czech Republic). Použité zařízení je uvedeno na obr. 29. Při výrobě všech testovaných nanotextilií byly použity dva polymery, tj. polypropylen (jako nosná textilie) a polyvinylalkohol (zvlákněvaný polymer). Polypropylen patří mezi krystalické polymery. Jeho stupeň krystalinity se pohybuje od 60 do 75 %. Je to látka neprůhledná. Čistý polypropylen má bod tání 176 °C a nízkou objemovou hmotností (0,90 až 0,92 g/cm³). Polypropylen má v podstatě nepolární strukturu, takže má výborné elektroizolační vlastnosti. Co se týká jeho chemické odolnosti, tak bobtná v ketonech, uhlovodících a esterech. Při teplotě 90 °C se rozpouští v chlorovaných a aromatických uhlovodících. Dobře odolává vroucí vodě a sterilizaci vodní párou. Jeho teplotní použitelnost je krátkodobě do 135 °C, dlouhodobě do 100 °C. Polyvinylalkohol je bílá práškovitá hmota zřetelně krystalického charakteru. Jeho fyzikální vlastnosti ovlivňují především dvě veličiny, tj. polymerační stupeň a stupeň hydrolýzy (reesterifikace). Zcela hydrolyzovaný polyvinylalkohol má bod tání 228 °C a teplotu skelného přechodu 85 °C. Polyvinylalkohol je použitelný při teplotách od 50 °C do 130 °C. Nad 200 °C se rozkládá [139][140].



Obr. 29 Nanospider TM LB 500

Nosná textilie (tzv. spunbond) musí mít antistatickou úpravu. Nanovláknitá textilie je tvořena vlákny ulpívajícími na povrchu této nosné textilie. Druhý zmíněný polymer tvoří hlavní složku zvláknovacího roztoku. Z důvodu následné stabilizace jsou přidána i tzv. síťovací činidla glyoxal a kyselina fosforečná (Sigma-Aldrich, USA).

Složení použitého základního zvláknovacího roztoku pro objem 500 ml je následující:

- 375 g PVA (Sloviol, 16 %)
- 117g demineralizované vody
- 4,4 g glyoxal
- 3 g kyselina fosforečná 75% (Krňanský, 2010).

Dále byly k základnímu zvláknovacímu roztoku před zvláknováním přidávány dopanty s potenciálně biocidním účinkem např. ionty stříbra, mědi, nanočástice stříbra apod.

Nastavení přístroje: výška uzemněné elektrody 140 cm, napětí mezi elektrodami bylo v rozmezí 75-80 kV, teplota v laboratoři byla okolo 25 °C a relativní vlhkost prostředí byla okolo 50 %. Relativní vlhkost je velmi důležitý parametr při výrobě textilií. Pokud je totiž relativní vlhkost příliš vysoká, tak přístroj, buď nezvláknuje, nebo se na nosné textiii tvoří nepravidelné shluky nanotextilie.

Po zvláknění bylo nutné textilie stabilizovat. Pro stabilizaci byla použita vždy jedna z následujících metod.

- Stabilizace teplem v sušárně při teplotě 140 °C po dobu 10 minut
- Namáčení v roztoku metanolu a acetonu po dobu 5 minut
- Expozice v parách glutaraldehydu po dobu 24 hodin.

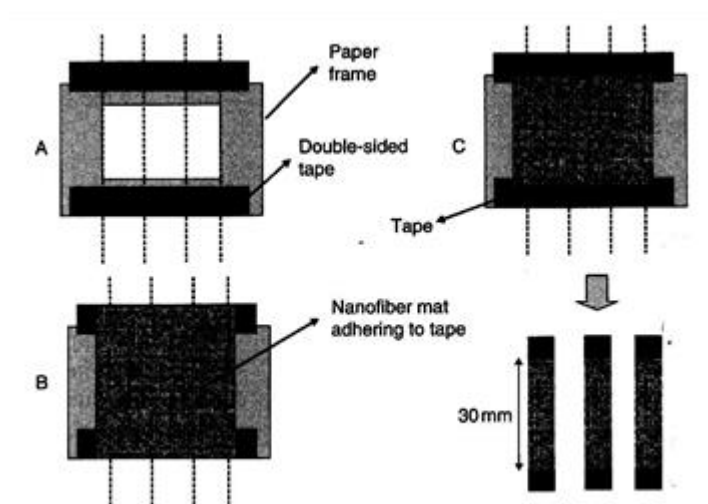


Obr. 30 Zvláknování pomocí zařízení Nanospider TM LB 500; vlevo proces zvláknování, vpravo nanovláknitá textilie na nosném PP spunbondu

4.2.2 Tahová pevnost nanovláknitých textilií

Mapování mechanických vlastností je jedním z důležitých parametrů pro použití nanovláknitých textilií v praxi. Testování nanotextilií bylo dle dostupné literatury testováno

na obdélníkových vzorcích [90] nebo na vzorcích tvaru „Y“, tedy podobně jako se testují např. plasty [141]. Zkouška spočívala v uložení vzorků zkušebního lisu, aby bylo možné získat mechanické vlastnosti – modul pružnosti, pevnost v tahu, případně průtažnost. Wang a jeho kolegové (2005) [142] ve své práci stanovili mechanické vlastnosti nanovláknenných textilií o tloušťce 100 μm vyrobených z polyvinylalkoholu (PVA) [143]. Ding a kol. došel k závěrům, že s vyšším obsahem PVA v textilií se zvyšuje modul pružnosti [90]. Problémem však bylo stanovení mechanických vlastností nanotextilií o menších tloušťkách. S těmito vzorky se totiž obtížně manipuluje, je zde riziko poničení či úplného zničení zkušebních vzorků. Tento problém vyřešil Ramakrishna se svými kolegy. Přišli s poměrně jednoduchým principem přípravy a manipulace se vzorky. Vzali pás určité šířky a délky a přelepily ho páskou. To vyřešilo problém upnutí vzorku do tahového přístroje, aniž by byl vzorek zničen ještě před provedením zkoušky. Následně byl tento pás rozdělen na vzorky příslušné délky a šířky. Poté byly tyto vzorky upnuty do tahového přístroje, kde byly zjištěny jejich mechanické vlastnosti [142]. Na obr. 31 je znázorněn postup při výrobě vzorků pro tahovou zkoušku. Ramakrishna a kol. přišel také na to, že mechanické vlastnosti závisí na rozložení vláken a pórů v testované nanotextilii. Proto je důležité provést před pokusy i optickou analýzu, aby byly vybrány vzorky s téměř homogenním rozložením vláken a pórů [87].



Obr. 31 Schéma přípravy zkušebních vzorků pro zkoušku pevnosti v tahu [87]

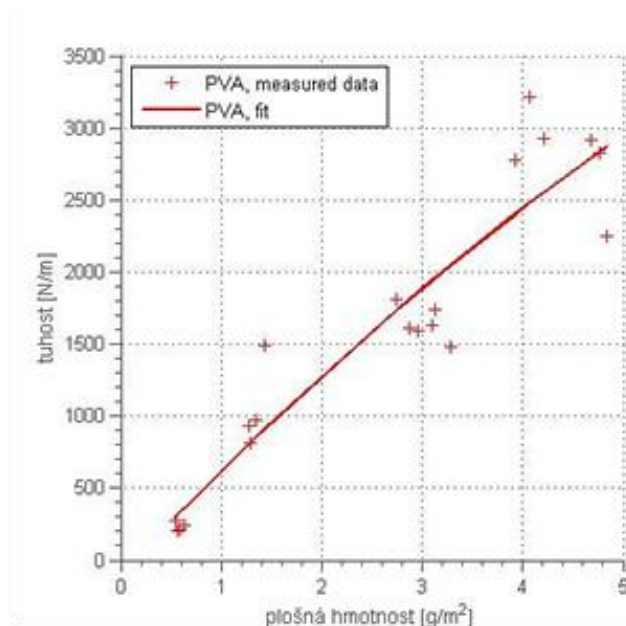
Testované nanotextilie na bázi PVA byly vyrobeny technologií Nanospider (kapitoly 3.4.1.3 Nanospider a 3.4.1.4 Nanovláknité textilie) a stabilizovány v sušárně při teplotě 140 $^{\circ}\text{C}$ po dobu 10-ti minut [144]. Příprava zvlákněného PVA probíhala za teploty 25 $^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduch 45 %. Na vyrobených nanotextiliích byla zkoušena pevnost v tahu pomocí

přístroje LabTest 4.100SP1. Vlastní měření probíhalo v rozsahu do 50 N, v kterém je garantována přesnost přístroje 0,1 % pro sílu 2 N.

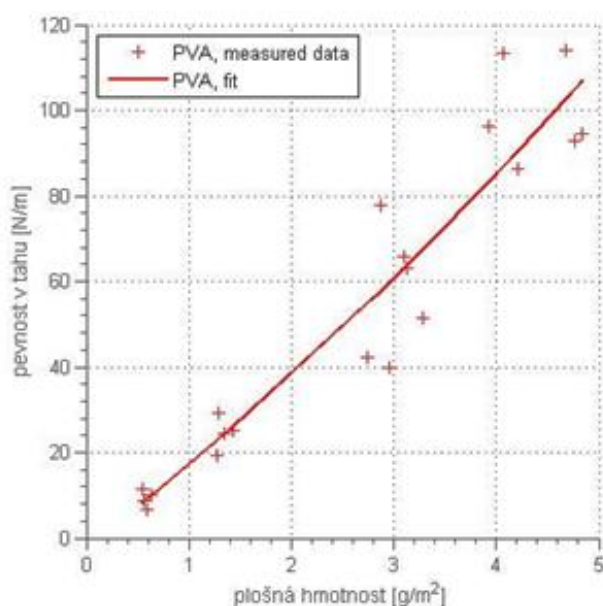
Z textilií byly nejdříve připraveny obdélníky o rozměrech 130 mm × 25 mm. Tyto vzorky byly na koncích přelepeny páskou tak, že čistý rozměr mezi konci lepicích pásek byl 100 mm. Lepicí páska byla použita pro lepší uchycení vzorků do tahového stroje, aniž by došlo k poškození samotné textilie před započítáním samotné zkoušky. Před upevněním vzorku do přístroje z něj byla oddělena nosná vrstva tzv. spunbond, který do té doby chránil vzorek před jeho předčasným poškozením. Testování bylo provedeno u několika druhů vzorků. Tyto vzorky se lišily plošnou hmotností, průměrné hodnoty pro jednotlivé sady vzorků byly: 4,8 g/m², 3,1 g/m², 1,4 g/m² a 0,7 g/m².

výsledky

Získané výsledky jdou prezentované na obr. 32 a 33. Na obr. 32 je vykreslena závislost tuhosti PVA stabilizované nanotextilie v jednotkách N/mm na plošné hmotnosti. Z těchto výsledků je patrné, že tato závislost je téměř lineární. Obdobně lineární charakter má závislost pevnosti v tahu na plošné hmotnosti, viz obr. 33. V obou závislostech se tedy projevil předpoklad, že s rostoucí plošnou hmotností se budou zvyšovat i mechanické vlastnosti nanotextilií [144][145]. Vyšší rozptyl stanovených hodnot u nejvyšší gramáže, lze eliminovat větším počtem vzorků. Pravděpodobně zde došlo k větším nehomogenitám při vlastní výrobě, což dokazuje i rozdílná hodnota plošné hmotnosti jednotlivých vzorků.



Obr. 32 Závislost tuhosti na plošné hmotnosti studovaných PVA nanovláknitých textilií



Obr. 33 Závislost pevnosti v tahu na plošné hmotnosti studovaných PVA nanovláknitých textilií

Výsledky

Byla sledována závislost tahové pevnosti a tuhosti na plošné hmotnosti nanovláknitých textilií na bázi PVA. Studované vzorky byly ze čtyř typů textilií o rozdílných plošných hmotnostech. Měřením byl potvrzen předpoklad, že s rostoucí plošnou hmotností materiálu se budou zvyšovat i mechanické vlastnosti materiálu [144][145]. Jinými slovy, se zvyšující se plošnou hmotností nanovláknité textilie na bázi PVA bylo dosaženo vyšší tuhosti a tahové pevnosti sledovaných vzorků.

Získané výsledky je možno použít například při navrhování nanotextilií na bázi jiných polymerů [64]. S využitím získaných dat je možné předpovídat mechanické charakteristiky nanotextilií na bázi PVA při podobném nastavení (teplota, relativní vlhkost atd.).

4.2.3 Ověření biocidní účinnosti nanovláknitých textilií

Následuje několik experimentů zaměřených na ověření účinnosti nanovláknitých textilií a zvláknovacích roztoků proti plísním a dalším mikroorganismům.

4.2.3.1 Ověření fungicidních vlastností nanovláknitých textilií vůči plísním z reálného objektu

Experiment sestával ze dvou hlavních částí. Nejprve byla provedena identifikace mikroskopických vláknitých hub vyskytujících se v konkrétním objektu a pak byly testovány

antimikrobiální vlastnosti několika druhů nanotextilií v souvislosti s identifikovanými druhy hub. Kultivace byla provedena při teplotě 23 ± 3 °C. Identifikace byla provedena podle postupu uvedeného v kapitole 4.1.1.

Zkoumaným objektem byl bytový dům systému T02B v Litvínově. Nejrozsáhlejší výskyt plísní byl zaznamenán ve 4. nadzemním (nejvyšším) podlaží a v oblasti obvodových zdí, prostorech spížních skříní, na ostěních a nadpražích oken. Obě použité průzkumné metody, stěrová a otisková, potvrdily výskyt plísní rodů *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Aureobasidium* sp., *Cladosporium* sp., *Culvularia* sp., *Epiccocum* sp., *Penicillium* sp. a *Pithomyces* sp. Souvislost mezi chorobami, kterými trpí uživatelé bytů, s těmi, které způsobují nalezení zástupci hub, byla více než zjevná [146].

Pro zkoumání antimikrobiálních vlastností nanotextilií byly použity plísně s nejvyšší četností výskytu: *Penicillium* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Alternaria alternata* a jejich kombinace. Testu byly podrobeny nanotextiile vyrobené zvlákněním základního polymerního roztoku PVA a základního polymerního roztoku PVA s přídavkem mědi a stříbra. (Sigma-Aldrich, USA). Roztoky s přídavkem stříbra byly připraveny ze základního roztoku přidáním AgNO_3 (CuSO_4) do koncentrace 0,5 % a 1 % hm. finální textilie. Pro elektrostatické zvláknování metodou Nanospider byla použita rotační válcová elektroda šířky 500 mm. Vzdálenost mezi elektrodami byla 140 mm, napětí při zvláknování bylo 80 kV. Zvláknování bylo prováděno na nosnou podkladní textili (spunbond) vyrobené z polypropylenu o plošné hmotnosti 18 g/m^2 s antistatickou úpravou. Laboratorní podmínky při zvláknování byly teplota 26 °C a relativní vlhkost vzduchu 41 %. Částice stříbra i mědi byly přidány do vodného roztoku PVA před zvláknováním a bylo použito ultrazvukové lázně po dobu 1 minuty. Zvláknování bylo provedeno na přístroji Nanospider TM LB 500.

Bylo připraveno 6 typů vzorků (označení I až VI) pro každý typ polymeru s příměsí. Vzorky I až III byly připraveny za přidáním 5 % AgNO_3 (CuSO_4) do PVA. Vzorek I byla jednovrstvá nanotextilie připravená při frekvenci posunu nosné textilie 5 Hz. Vzorek II byla dvouvrstvá nanotextilie s posunem při výrobě první vrstvy 5 Hz a druhé 10 Hz. Vzorek III byla dvouvrstvá nanotextilie, obě vrstvy byly vyrobeny při posunu nosné textilie 5 Hz. Jako kontrola byla použita textilie PVA bez příměsí připravená stejně jako vzorek II. Obdobně byly připraveny i nanovláknité textilie z nichž byly připraveny kruhové vzorky IV, V a VI, jen s tím rozdílem, že iontů Ag^+ a Cu^{2+} byl dvojnásobný v porovnání se vzorky I až III. Vzorky byly při experimentu aplikovány i s nosnou textilií.

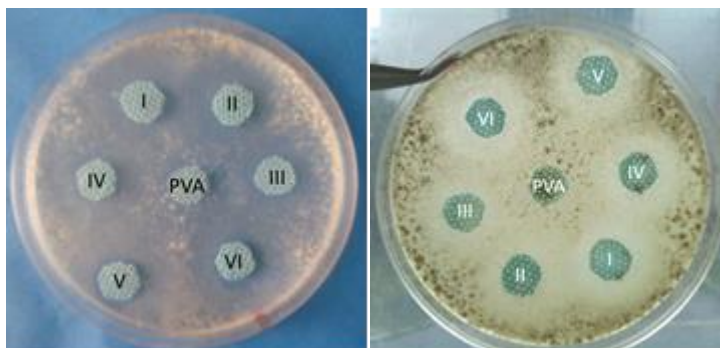
Vlastní experiment byl proveden na Petriho miskách se živnou půdou - agar připravený podle Czapka-Doxe (Imuna, Slovensko), na něž byl rovnoměrně v celé ploše nanesen fyziologický roztok s plísněmi (*Penicillium sp.*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Alternaria alternata*). Kultivace byla provedena při teplotě 23 ± 3 °C po dobu 1 týdne.

Výsledky

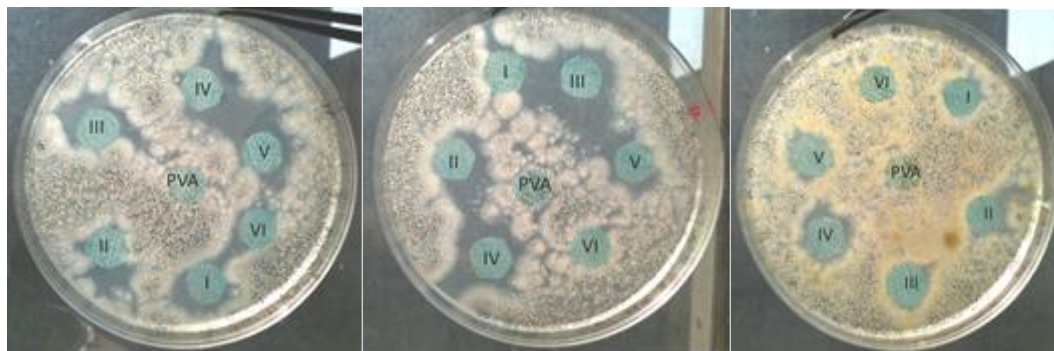
Bez jakéhokoliv opatření by docházelo k rozvoji plísní a vznikal by tak souvislý povrch na celé ploše misky. Cílem experimentu bylo zjistit, jak se tato situace změní, pokud na povrch živné půdy přiložíme zkoumané nanotextilie ihned po nanesení fyziologického roztoku s plísněmi. Dále bylo nutné zjistit velikost vzniklé antimikrobiální zóny a závislost její velikosti na typu použité nanotextilie (tzv. haló efekt), konkrétně na typu kationtů inkorporovaných do nanovláknité textilie (stříbro a měď) a zároveň na jejich koncentraci ve zvlákněvaném vodném polymerním roztoku.

Experimentálně bylo prokázáno, že nanotextilie připravená na bázi PVA bez příměsí v porovnání s nanotextiliemi s příměsemi má zanedbatelný antimikrobiální účinek. Pokud se ale budou porovnávat antimikrobiální vlastnosti nanotextilií se stříbrem a mědí, dospějeme k závěru, že v první fázi (2 dny po aplikaci) byl zaznamenán vyšší antimikrobiální efekt u stříbra, ale v další fázi (4 dny po aplikaci) byly výsledky u obou iontů takřka totožné.

Závislost antimikrobiálního efektu na koncentraci iontů mědi (obr. 34) a stříbra (obr. 35) je zřejmá při pohledu na misku s nanotextiliemi s přidavkem iontů mědi aplikovanými na plíseň *Aspergillus terreus*. Je zde dobře patrný počáteční rozvoj zón (haló efekt) bez růstu plísní. Vzhledem k tomu, že při aplikaci nanotextilií na Petriho misky nebyla odstraněna podkladní textilie (spunbond), je potřeba uvážit i její vliv na celý experiment.



Obr. 34 Plíseň *Aspergillus terreus* s aplikovanými nanotextiliemi po dvou (vlevo) a čtyřech (vpravo) dnech po aplikaci; PVA, I až VI nanotextilie s ionty mědi



Obr. 35 Plísně *Aspergillus niger* (vlevo), *Aspergillus niger* a *Penicillium* (uprostřed), *Aspergillus niger* a *Alternaria alternata* (vpravo) s aplikovanými nanotextiliemi po čtyřech dnech po aplikaci; PVA, I až VI nanotextilie s ionty stříbra.

4.2.3.2 Ověření fungicidních vlastností nanovláknitých textilií s přidavkem Ag^+ aplikovaných na dřevo

V této studii byly testovány nanovláknité textilie s přidavkem stříbrných iontů aplikované na vzorky masivního smrkového dřeva o velikosti 40 x 40 x 10 mm.

Nanovláknité textilie byly připraveny na zařízení Nanospider LB 500 (Elmarco, Česká republika) metodou elektrostatického zvlákňování. Základní polymerní roztok byl obohacen o ionty stříbra (součástí dusičnanu stříbrného $AgNO_3$, P-lab, ČR). Nastavení zařízení bylo: 78 kV, 0,100 mA a vzdálenost mezi elektrodami byla 130 mm, byla použita rotační válcová elektroda délky 600 mm. Laboratorní podmínky při výrobě nanovláknitých textilií byly teploty 23 °C a relativní vlhkost vzduchu 25 %. Nanovláknitá textilie byla připravena jako třívrstvá membrána. Průměr vlákna byl v rozmezí od 50 do 200 nm. Ionty stříbra představovaly 1 % z konečné hmotnosti nanovláknité textilie. Byly použity čtyři různé typy vzorků. Jednotlivé textilie se lišily způsobem stabilizace a časovým sledem balení vzorku a stabilizace. Nanovláknité textilie byly v tomto experimentu aplikovány na vzorky bez nosné PP textilie (spunbondu).

Modelovým organismem byly běžné kontaminanty budov a vnitřního prostředí ve střední Evropě. Konkrétně byla použita směs kmenů následujících plísni *Trichoderma*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*.

Sledované vzorky dřeva byly obaleny nanovláknitou textilií. Před stabilizací textilií byly pokryty dva vzorky a po tomto procesu stabilizace byly pokryty dva zbývající vzorky. Byly použity dva různé způsoby stabilizace. Jednou z nich byla tepelná stabilizace (expozice 140 °C po dobu 10 minut) a druhou pak byla expozice glutaraldehydovým parám (24 hodin, RT). Tyto

vzorky jsme připravili stejným způsobem v pěti opakováních. Označení vzorků je uvedeno v tabulce 14.

Na začátku bylo nutné vystavit dřevo vyšší relativní vlhkosti, aby vzorky obsahovaly vyšší množství vlhkosti a modelovaný stav byl blíže reálným podmínkám. Stav expozice byl kolem 100 % relativní vlhkosti po dobu 1 dne.

Tab. 16 Označení vzorků v závislosti na zvolené metodě stabilizace nanovláken

Vzorek	Popis vzorku, použitá metoda stabilizace a časový sled procesu stabilizace a obalení vzorku dřeva
A	Stabilizace glutaraldehydovým parami, obalení vzorku dřeva před procesem stabilizace nanovláken
B	Stabilizace glutaraldehydovým parami, obalení vzorku dřeva po procesu stabilizace nanovláken
C	Stabilizace teplem, obalení vzorku dřeva před procesem stabilizace nanovláken
D	Stabilizace teplem, obalení vzorku dřeva po procesu stabilizace nanovláken
K	Kontrolní vzorek bez ošetřeného povrchu (bez nanovláken)

Inokulační roztok byl připraven jako fyziologický roztok s výše zmíněným konsorciem kmenů plísni. Skleněné Petriho misky s průměrem 180 mm s agarem (Czapeck-Dox, OXOID LTD, Anglie) byly inokulovány 600 μ l inokulačního roztoku a byly preinkubovány po dobu 3 dnů. Následně byly vzorky dřeva s textiliemi uloženy na sterilní skleněné tyčinky tvaru písmene U do misek s agarem. Skleněné tyčinky byly zvoleny kvůli separaci vzorků a agaru z důvodu vyloučení přenosu živin z agaru. Miska se vzorky byla provedena v pěti opakováních. Inkubace probíhala za teploty 23 ± 3 °C. Růst plísni na vzorcích byl pozorován po dobu pěti týdnů. Pozorování spočívalo v mapování růstu plísni na povrchu vzorku a případně vzniklé zóny kolem vzorku bez plísni, nazvané halo efekt. Stupnice použitá pro hodnocení růstu je uvedena v tabulce 15. Důvodem zavedení další hodnotící škály růstu plísni byla potřeba sledovat kromě horního povrchu vzorku také jeho boční stěny a případnou zónu bez plísni v jeho okolí.

Tab. 17 Stupnice hodnocení růstu plísni na vzorcích dřeva obalených nanovláknitými textiliemi

Hodnocení	Popis stavu růstu plísni na povrchu vzorků
1	Zóna kolem vzorku bez plísni je větší než 10 mm
2	Zóna kolem vzorku bez plísni je menší než 10 mm
3	Povrch vzorků bez viditelných plísni
4	Slabý nárůst plísni na bočních stěnách vzorku
5	Silný nárůst plísni na bočních stěnách vzorku
6	Slabý nárůst plísni na horním povrchu vzorku
7	Silný nárůst plísni na horním povrchu vzorku



Výsledky

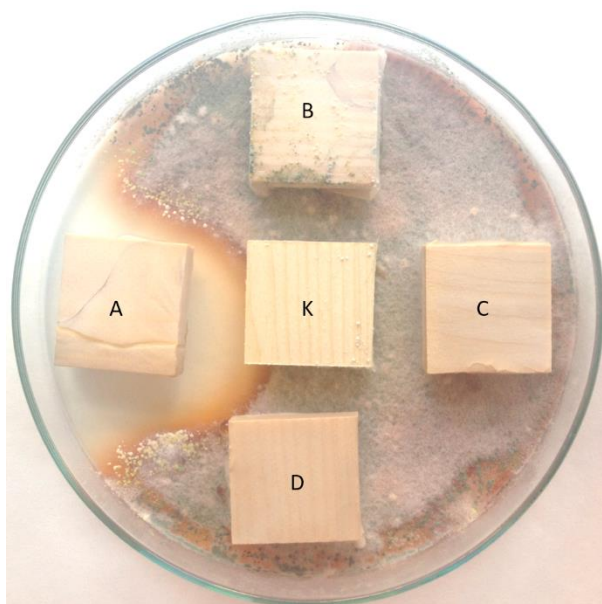
Byl sledován a zaznamenán růst plísní na povrchu a kolem vzorků dřeva. V tabulce 16 jsou uvedeny výsledky vybraných časových intervalů jako průměrná hodnota ze všech opakování.

Výsledky neprokázaly významný rozdíl mezi způsobem stabilizace a postupu obalení a procesu stabilizace během prvních čtyř dnů. Sedmý den byla pozorována první změna v růstu plísní podle druhu ochrany. Pouze vzorek A (stabilizace expozicí glutaraldehydovými parami, obalení před procesem stabilizace) byl 100% chráněn, na zbývajících vzorcích byl viditelný růst plísní. Situace, která byla na konci experimentu, ukázala, že nejlepší ochranou dřeva bylo balení vzorků pomocí nanovlákných textilií před stabilizací glutaraldehydovými parami.

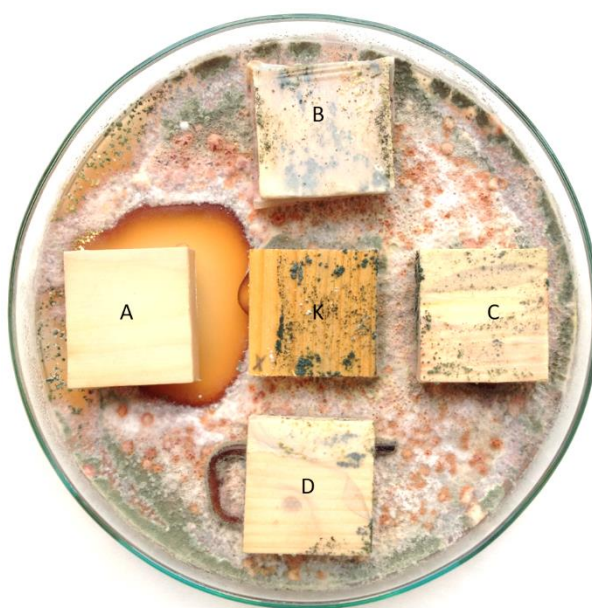
Podobných výsledků bylo dosaženo i v případě obalení vzorků dřeva před tepelnou stabilizací. Vzorky, které byly zabaleny do dřívě stabilizované textilie z nanovláken, měly na povrchu větší plochu pokrytou plísněmi než pomocí stabilizace zabalených vzorků a lepších výsledků bylo dosaženo v případě použití tepelné stabilizace. Nejmasivnější nárůst plísní byl pozorován, jak bylo očekávána, na kontrolním vzorku bez jakéhokoli ošetření. Příklad růstu plísní na vzorcích dřeva obalených do nanovláknité textilie je znázorněn na obr. 36 a 37.

Tab. 18 Hodnocení růstu plísní na povrchu vzorků v čase

Označení vzorku	Den od počátku experimentu						
	0.	1.	4.	7.	11.	13.	31.
A	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	2	4	6	6	7
C	1	1	2	3	3	3	4
D	1	1	2	4	4	5	6
K	1	1	2	4	7	7	7



Obr. 36 Fotografie misky s dřevěnými vzorky obalenými nanovláknitými textiliemi 7. den od počátku experimentu



Obr. 37 Fotografie misky s dřevěnými vzorky obalenými nanovláknitými textiliemi 11. den od počátku experimentu

Předkládaná studie byla zaměřena na fungicidní účinek čtyř vzorků pokrytých nanovláknitými textiliemi na bázi PVA dotovanými ionty stříbra. V předchozích studiích [147][148][75] byl prokázán vliv stříbrných iontů v nanovláknitých textiliích na bázi PVA na růst plísní. Byl sledován růst konsorcia plísní na povrchu vzorků ze smrkového dřeva zabalených do nanovláknitých textilií. Nejlepší výsledky byly dosaženy v případě dřevěných vzorků, které byly zabaleny do nanovláknité textilie před stabilizací pomocí glutaraldehydových par. Nelze

však vyloučit, že páry aldehydu ovlivňovaly pouze textilie. U takto připravených vzorků nebyl růst plísní pozorován po dobu jednoho měsíce.

4.3 Ochrana stavebních materiálů pomocí fotokatalyticky aktivních nátěrů

V současné době řada barev a nátěrů obsahuje speciální přísady, jako jsou biocidy, látky s antimikrobiální aktivitou, které lze použít jako prevence proti biologickému poškození ošetřovaného povrchu. Přítomnost nanočástic stříbra a mědi může zabránit růstu mikroorganismů. Samočisticí fasádní barvy obsahující fotokatalytické částice (většinou TiO_2) se objevují také na trhu. Takové barvy nejsou po ozáření slunečním zářením náchylné ke znečištění, a tak pomáhají udržovat vnější povrch budovy čistý. Další typ barev je připraven s cílem zlepšit kvalitu vzduchu v exteriéru pomocí fotokatalytických oxidačních organických sloučenin, jako je acetaldehyd, formaldehyd atd. Tato kapitola se zabývá aplikací částic ZnO a TiO_2 do vodou ředitelného akrylátového nátěru. Cílem je stanovit vlastnosti nátěru (fotokatalytická aktivita a samočistitelnost) a antibakteriální a fungicidní účinnost. Všechny uvedené testy porovnávaly referenční akrylátový nátěr bez přídavku a s přídavkem ZnO a TiO_2 . V rámci práce byly aplikovány dva fotokatalyzátory TiO_2 a ZnO do vodou ředitelného pojiva na bázi akrylátů. Cílem bylo ověřit fotokatalytickou aktivitu připravených nátěrů a rovněž schopnost inaktivace růstu bakterie *Escherichia coli* a plísně *Aspergillus niger*. Fotokatalytická aktivita byla stanovena pomocí metody resazurinového inkoustu.

4.3.1 Příprava nátěrů

Studované nátěry byly připraveny dispergací komerčního ZnO (Wiehart, Rakousko) nebo TiO_2 (Aeroxide TiO_2 P25, Evonik, Německo) do vodou ředitelného akrylátového pojiva (BASF, Německo) v množství 8 hm. % v nátěrové hmotě pomocí hřídelové míchačky (IKA, Německo). To odpovídá přibližně 16 % v sušině. Jako pomocných látek bylo dále užito dispergační aditivum, reologické aditivum (záhustka), odpěňovač a jako plniva bylo použito uhlíčitano vápenatého (Omya, Česká republika). Velikost krystalů ZnO vypočtená na základě rozšíření difrakční linie pomocí Shererovy rovnice byla stanovena na 70 nm. Specifický povrch použitého ZnO byl stanoven pomocí měření dusíkové BET izotermy na $6 \text{ m}^2/\text{g}$. V případě oxidu titaničitého P25 bylo fázové složení dle XRD stanoveno na 70% anatasové a 30% rutilové fázi s velikostí krystalů anatasu 22 nm a velikostí specifického povrchu $50 \text{ m}^2/\text{g}$.

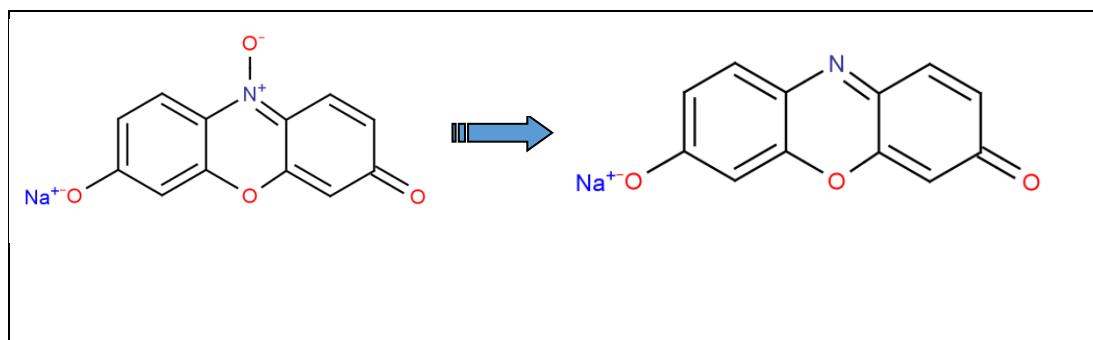
Fázové složení a velikost krystalu byly změřeny pro oba práškové materiály na difraktometru X'Pert Pro (Panalytical) v centrálních laboratořích VŠCHT, hodnoty specifického povrchu byly stanoveny pomocí porozimetru Asap 2020 (Micromeritics).

Nátěry byly aplikovány štětcem na sterilní skleněné tabulky o rozměrech 40 x 40 mm.

4.3.2 Fotokatalytická aktivita a samočistitelnost nátěrů

Pro stanovení fotokatalytické aktivity nátěrů je možno použít oxidativních rozkladů azobarviv. Sledovaným parametrem je pokles koncentrace modelového barviva v čase expozice UV zářením. Uvedené metody se vyznačují nízkým kvantovým výtěžkem. Kvantový výtěžek je definován jako poměr mezi počtem přeměněných molekul modelového barviva k množství absorbovaných fotonů. V důsledku rekombinačních reakcí je kvantový výtěžek oxidačních reakcí velmi malý (desetiny procent). Z tohoto důvodu je pokles koncentrace modelových barviv poměrně pomalý.

Mimo oxidačních reakcí je možno pro stanovení fotokatalytické aktivity nátěrů využít metodu založenou na redukcí barviva resazurinu v modelovém inkoustu. Systém inkoustu obsahuje kromě barviva resazurinu i glycerol. Glycerol slouží jako lapač fotoindukovaných vakancí (glycerol je ve značném přebytku a je vakancemi oxidován na glyceraldehyd či glycerovou kyselinu), excitované elektrony poté redukují resazurin do formy resorufinu, přičemž tato redukce je spojená s barevnou změnou z modré do růžové (obr. 38). Resazurin není pouhým UV zářením redukován, takže míra barevné přeměny inkoustu je úměrná fotokatalytické aktivitě studovaného povrchu. Tato metoda umožňující kvantifikaci fotokatalytické aktivity může být použita i pro ověření samočistící schopnosti nátěru [149][150].



Obr. 38 Schéma redukce barviva resazurinu na resorufin

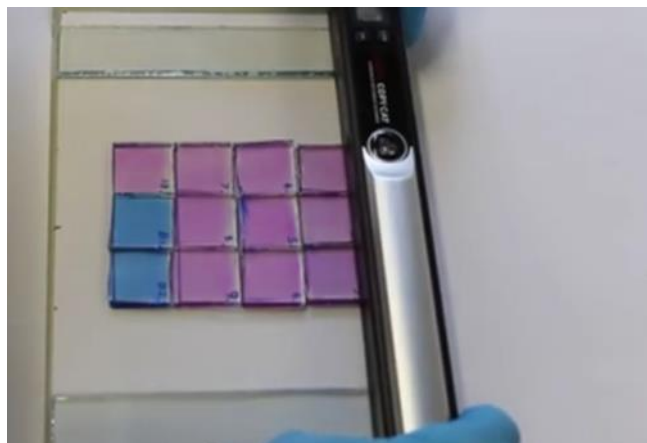
Fotokatalytická aktivita byla stanovena pomocí indikátoru inkoustu obsahujícího resazurinové barvivo. Tato metoda je založena na pozorování změny barvy z růžové na

modrou, ke které dochází na fotokatalytickém povrchu a bývá označována jako resazurinový test. Byly připraveny tři nátěry – bez přídavku, s 8 hm% přídavku ZnO a s 8 hm% přídavku TiO₂. Vzorky byly exponovány UV záření po dobu 250 sekund ve fotoreaktoru (UV box). Jako zdroj UV záření byly použity dvě zářivky blacklight o příkonu 15 W (výrobce EICO) s emisním maximem 351 nm. Intenzita UV záření byla nastavena regulací vzdálenosti stolku UV boxu od zářivek, až byla dosažena intenzita 2 mW/cm². Soustava pro měření fotokatalytické aktivity nátěrů je zachycena na obr. 39.

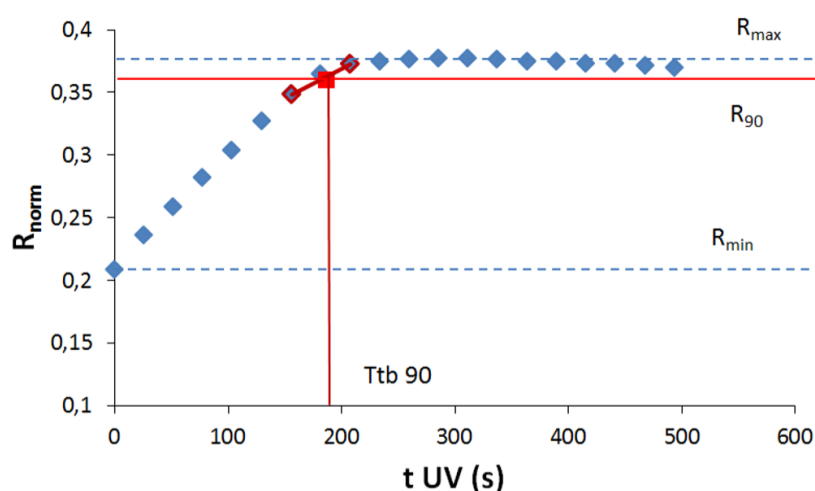
Fotokatalytická aktivita je vyjádřena jako čas, který je potřebný k dosažení 90 %-ní barevné přeměny. Testované vzorky jsou ozařovány v pravidelných intervalech UV zářením, obraz vzorků byl zaznamenáván ručním skenerem (Copy Cat lion), jak je vidět na obr. 40. Poté byly jednotlivé digitalizované obrazy rozloženy na jednotlivé barevné komponenty systému RGB. Vynesením závislosti normalizovaného červeného kanálu R jako funkce času expozice UV zářením se získá závislost s typickým nárůstem s následujícím ustálením hodnoty $R_{(t)}$ v čase, kdy se barva naneseného inkoustu již nemění či zůstává konstantní. Použitím vhodného tabulkového kalkulátoru (MS Excel) a programovacího jazyka Visual Basic, je možno vytvořit makro umožňující vypočítat takovou hodnotu času expozice UV zářením, která bude rovna 90 %-ní hodnotě rozdílu maximální a minimální hodnoty červeného kanálu, jak je znázorněno na obr. 41.



Obr. 39 Soustava pro měření fotokatalytické aktivity nátěrů



Obr. 40 Záznam obrazu povrchu vzorků po barevné přeměně resazurinového vzorku na fotokatalytsky aktivním povrchu (aktivní vzorky – růžová barva, referenční vzorky – modrá barva, nedochází k barevné přeměně)



Obr. 41 Závislost normalizovaného červeného kanálu na čase expozice s vyznačeným výpočtem 90 %-ní barevné přeměny

Samočistící schopnost připravených nátěrů byla sledována jednak pomocí objektivního měření barevnosti a také vizuálním pozorováním v závislosti na době atmosférické expozice vzorků. Lze předpokládat, že nátěry s obsahem fotokatalytsky aktivního materiálu nebudou tolik náchylné k zašpinění jako referenční vzorek. Měření barevnosti bylo provedeno na kolorimetru CR-400 Konica Minolta obr. 42. Použitý kolorimetr využívá barevný prostor $L^*a^*b^*1976$ (obr. 43). Barevný odstín je možno vyjádřit jako bod v trojrozměrném prostoru. Při praktických aplikacích je někdy důležitější znalost barevné odchylky namísto přesných barevných souřadnic $L^*a^*b^*$. Barevná odchylka ΔE se vypočte dle následujícího vztahu rovnice barevné difference (1) jako nejbližší vzdálenost barevné souřadnice vzorku a standardu. Jako standard byly použity vzorky před atmosférickou expozicí. V pravidelných intervalech byly vzorky proměřeny a spočteny parametry ΔE . Pokud nátěr vykazuje

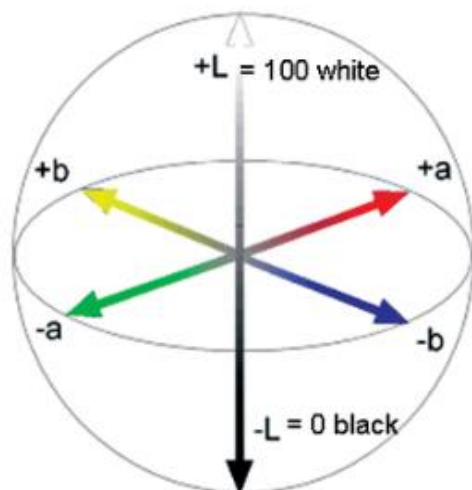
samočistící vlastnosti, tak si uchovává stále původní vzhled a míra barevné odchylky je malá. Je-li odchylka $\Delta E \leq 1,5$, lze označit i barevnou odchylku jako malou a pouhým okem těžko postřehnutelnou [151].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

kde $\Delta L = L_{ST} - L_{VZ}$; $\Delta a = a_{ST} - a_{VZ}$; $\Delta b = b_{ST} - b_{VZ}$;



Obr. 42 Měření změny barevnosti - kolorimetr CR-400 Konica Minolta



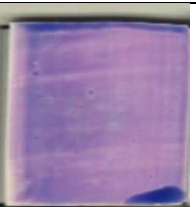
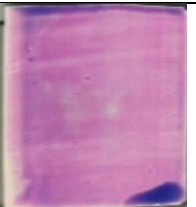
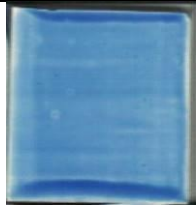
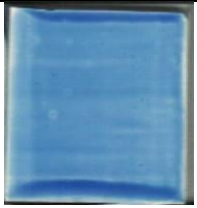




Obr. 43 Barevný prostor L*a*b*

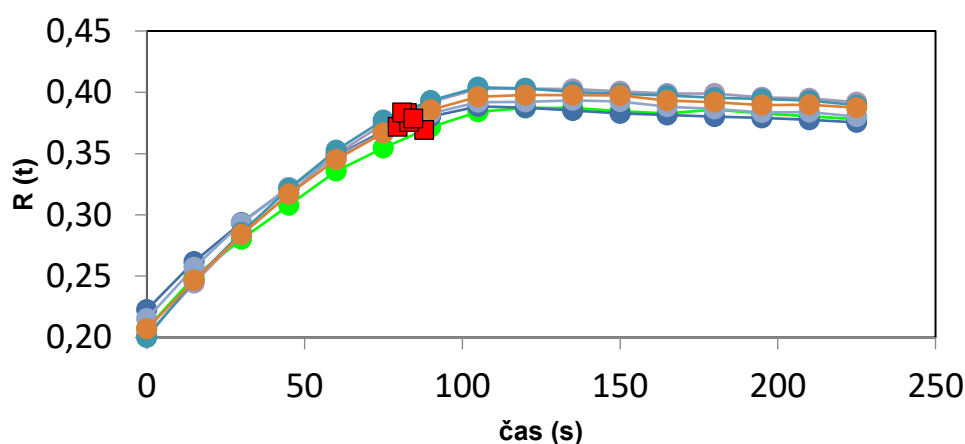
Výsledky – fotokatalytická aktivita

Fotokatalytická aktivita byla testována pomocí metody založené na redukci resazurinového inkoustu. Na obrázcích v následující tabulce 17 jsou znázorněny barevné přechody nátěru s vrstvou resazurinového inkoustu v závislosti na době expozice UV zářením. Z výsledků je zřejmé, že na aktivním nátěru s obsahem ZnO dochází již po 15 sekundové expozici k barevné změně z modré do růžové, naproti tomu v případě nátěru bez aktivního ZnO k barevné změně barviva z modré do růžové nedochází.

Tab. 19 Barevná změna resazurinového inkoustu na vzorku nátěru s obsahem ZnO

vzorek/čas expozice (sekundy)	0	15	30	60
Aktivní nátěr 8% ZnO				
Referenční nátěr bez ZnO				

Fotokatalytickou aktivitu je možno kvantifikovat jako čas UV expozice, za kterou dojde k 90 %-ní barevné přeměně barviva v inkoustu. Průběh závislosti červeného kanálu R v závislosti na době expozice UV zářením je znázorněn na obr. 44. Barevný přechod modelového inkoustu indikující fotokatalytickou aktivitu studovaného povrchu je spojen s nárůstem červeného kanálu (modrý resazurin bude absorbovat převážně červenou část spektra, zatímco redukovaná forma vykazující červené barviva bude červenou barvu odrážet). Červenými čtverci jsou na níže uvedeném grafu znázorněny časové body odpovídající 90 %-ní barevné přeměně pro jednotlivé vzorky nátěru s obsahem ZnO (tabulka 18). Se zvyšující se dobou expozice se barva filmu inkoustu na vzorku již nemění, a proto je hodnota červeného kanálu konstantní.



Obr. 44 Průběh červeného kanálu v závislosti na době expozice UV zářením

Tab. 20 Barevné změny resazurinového inkoustu na nátěru s obsahem ZnO.





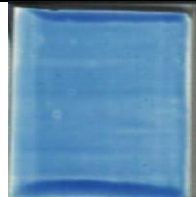

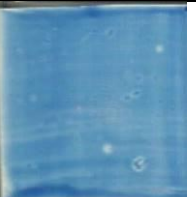
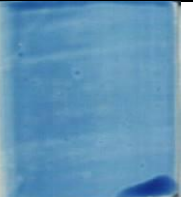
Vzorek	Rmax	Rmin	90% R	ttb/ s	(xi - x)	Modified Z-Score	Výsledek testu
#1	0.3916	0.2117	0.3736	87.93	5.10	1.96	OK
#2	0.3928	0.2270	0.3762	79.56	3.26	1.25	OK
#3	0.4073	0.2062	0.3872	82.46	0.37	0.14	OK
#4	0.3977	0.2197	0.3799	83.19	0.37	0.14	OK
#5	0.4084	0.2043	0.3880	80.95	1.87	0.72	OK
#6	0.4021	0.2113	0.3830	84.46	1.64	0.63	OK

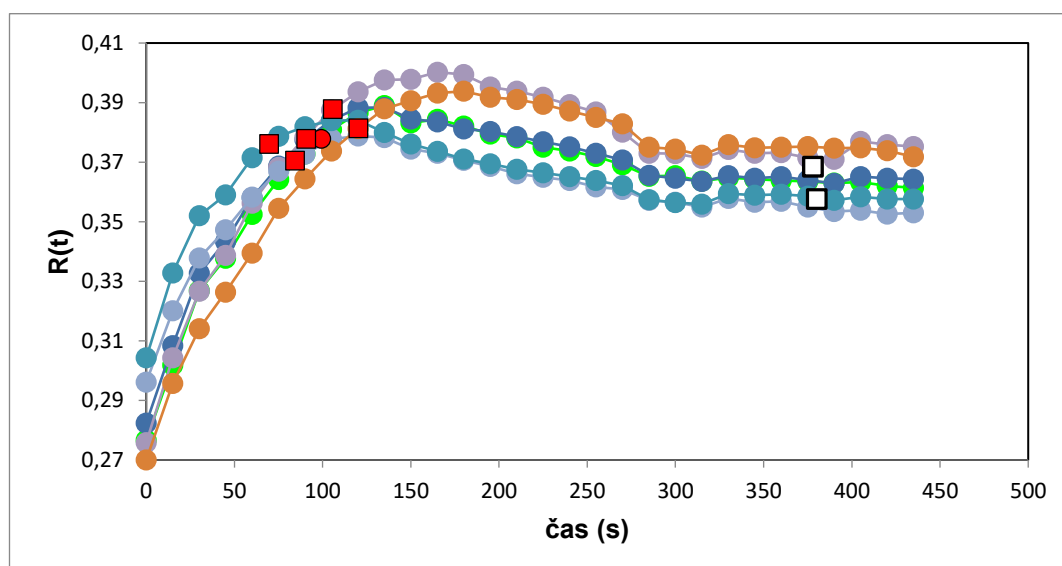
Čas 90%-ní barevné přeměny

Průměr	83.09	/ s
ochylka	3	/ s
%	4	
Počet vzorků	6	vzorků

Pro srovnání je v další části uveden nátěr s obsahem TiO_2 . Obdobně jako v případě vzorků s obsahem ZnO dochází k barevné přeměně pouze na aktivním vzorku, na referenčním vzorku bez TiO_2 k odbarvení nedochází (tabulka 19). Průběh červeného kanálu je velice obdobný jako v případě nátěru s obsahem ZnO (obr. 45). Vypočtené hodnoty TTb 90 jsou znázorněny červenými čtverci. Hodnoty, které jsou příliš odlehle od střední hodnoty (Z skóre vyšší než 2,5), jsou vyloučeny a do průměrné hodnoty se již dále nezapočítávají (tabulka 20). Na základě dosažených výsledků času 90 %-ní barevné přeměny, je možno konstatovat, že oba dva vzorky nátěrů vykazují obdobnou fotokatalytickou aktivitu.

Tab. 21 Barevné změny resazurinového inkoustu na nátěru s obsahem TiO₂.

vzorek/čas expozice (sekundy)	0	15	30	60
Aktivní nátěr 8% TiO ₂				
Referenční nátěr bez TiO ₂				



Obr. 45 Průběh fotokatalytického experimentu v čase – nátěr s obsahem TiO₂

Tab. 22 Výsledek kvalitativního testu – nátěr s obsahem TiO₂

Vzorek č.	Rmax	Rmin	90% R	t _{tb} /s	(xi - x)	Modifikované Z-score	Výsledek testu
1	0.3866	0.2742	0.3754	99.18	3.25	0.12	OK
2	0.3860	0.2800	0.3754	90.61	11.82	0.44	OK
3	0.3978	0.2734	0.3854	105.68	3.25	0.12	OK
4	0.3764	0.2937	0.3681	84.36	18.07	0.68	OK
5	0.3817	0.3019	0.3737	69.56	32.87	1.24	OK
6	0.3914	0.2676	0.3790	120.24	17.81	0.67	OK
7	0.3747	0.2885	0.3660	378.05	275.62	10.36	Odlehlá hodnota
8	0.3637	0.2785	0.3552	380.21	277.78	10.44	Odlehlá hodnota

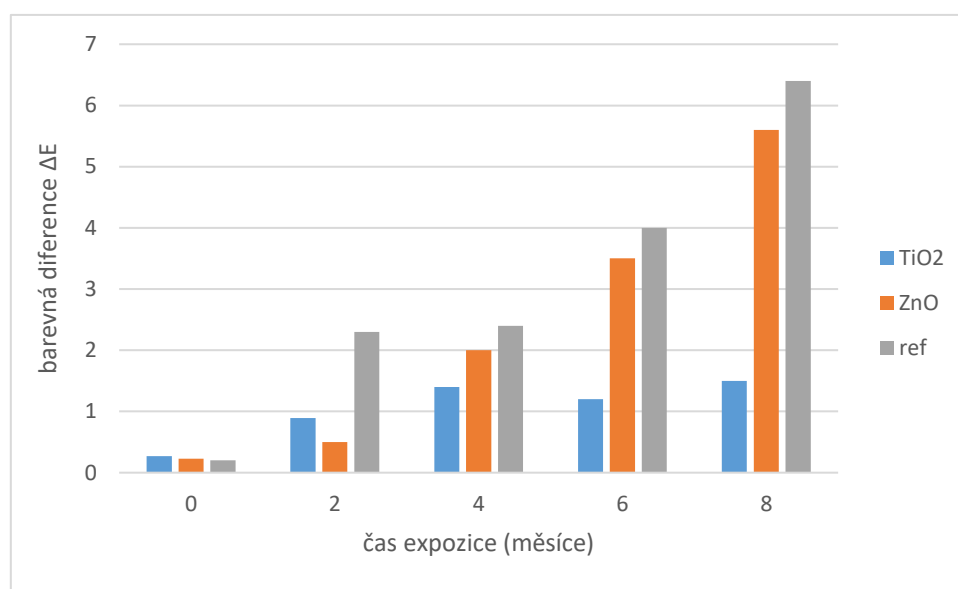
Tab. 23 – pokračování Výsledek kvalitativního testu – nátěr s obsahem TiO₂

Čas 90%-ní barevné přeměny			
Průměr	165.99	/ s	
Standardní odchylka	132	/ s	
%	80		
Počet vzorků	8		Samples
Čas 90%-ní barevné přeměny (odlehlé hodnoty vyloučeny)			
Průměr	94.94	/ s	
Standardní odchylka	18	/ s	
%	19		
Počet vzorků	6		Samples

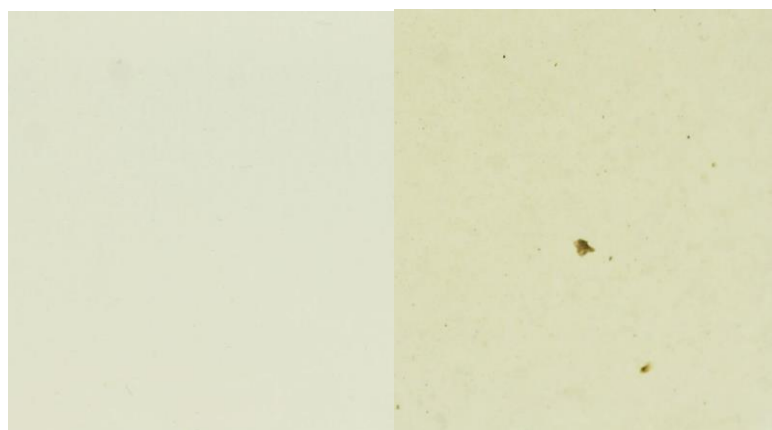
Výsledky - samočistitelnost nátěrů

Ověření samočisticích vlastností nátěrů, tj. schopnosti se nešpinit při vystavení venkovní expozici, bylo realizováno jednak pomocí vizuálního pozorování a jednak pomocí objektivního měření barevnosti. Atmosférické expozici byl vystaven referenční nátěr bez fotoaktivního materiálu a dále nátěry obsahující 8 hm% TiO₂ a ZnO. Výsledky barevných změn ΔE v závislosti na době expozice jsou zobrazeny v grafu na obr. 46. V případě referenčního nátěru dochází se zvyšujícím se stupněm expozice k postupnému navýšení barevné difference ΔE . To je způsobeno zachytáváním prachových částic na povrchu nátěru. Kromě poléťavého prachu se uplatňuje také exhalace z dopravy a další zdroje emisí. V neposlední řadě je toto navýšení způsobeno meteorologickými vlivy včetně dešťových srážek. V případě nátěru s obsahem ZnO je situace obdobná jako v případě referenčního nátěru. S rostoucí dobou expozice dochází k nárůstu barevné odchylky ΔE . Ačkoliv resazurinový test prokázal měřitelnou fotokatalytickou aktivitu nátěru s obsahem ZnO, nebyla u tohoto nátěru zaznamenána odolnost vůči zašpinění při atmosférické expozici. Jiná situace nastává v případě nátěru s obsahem TiO₂. S rostoucí dobou atmosférické expozice nedochází k tak významnému nárůstu barevné difference ΔE ve srovnání s nátěrem s obsahem ZnO a referenčním nátěrem bez přídavku fotokatalyticky aktivní složky. Rozdílné chování nátěru s obsahem ZnO a TiO₂ lze vysvětlit pravděpodobně nízkou stabilitou oxidu zinečnatého. ZnO na rozdíl od TiO₂ může reagovat s exhalacemi v ovzduší např. SO₂ nebo CO₂, kdy dochází k reakci na sírany a uhličitany u ZNO dochází rovněž k fotokorozi [149][150], kdy během expozice UV zářením dochází ke zborcení krystalické struktury ZnO a rozpouštění zinku. Z tohoto důvodu lze jako

vhodný materiál do samočisticích nátěrů doporučit TiO_2 , který je považován za inertní. Samočisticí schopnost nátěru s obsahem TiO_2 je rovněž znázorněna na obr. 47, kde je zobrazeno porovnání výsledků referenčního nátěru a nátěru s obsahem TiO_2 po osmiměsíční expozici. Z výsledků vyplývá, že v případě nátěru s obsahem TiO_2 byla zaznamenána menší míra zašpinění ve srovnání s referenčním nátěrem.



Obr. 46 Samočisticí schopnost testovaných nátěrů v čase



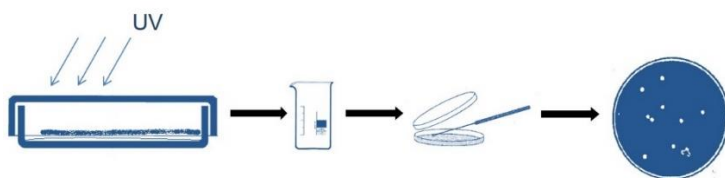
Obr. 47 Porovnání nátěru s obsahem TiO_2 (vlevo) s referenčním nátěrem (vpravo) po osmiměsíční expozici

4.3.3 Biocidní studie

Mimo fotokatalytické aktivity byla sledována schopnost inaktivace růstu *Escherichia coli* v tenkém filmu bakteriální suspenze, byla sledována také inaktivace růstu plísní. Test byl proveden při ozařování UV zářením, za tmy a dále na referenčním nátěru bez obsahu TiO_2 .

Metodika vychází z normy ISO 27447 [152] užívané pro ověření antibakteriální aktivity fotokatalyticky aktivních povrchů. Dále byla sledována inaktivace růstu plísně *Aspergillus niger* na kultivačních miskách. Tato metodika vychází z normy ČSN EN ISO 846 pro hodnocení působení mikroorganismů na plastech [138].

Pro antibakteriální studii byl zvolen modelový organismus bakterie *Escherichia coli*. Suspenze bakterií v tenké vrstvě (o objemu 50 μl) byla aplikována do skleněné Petriho misky (o průměru 90 mm) na tenkou vrstvu nátěru na navlhčeném papíru. Miska se vzorkem byla po uzavření vystavena expozici UV záření o maximální hodnotě vlnové délky λ_{max} rovné 370 nm a intenzitě 0,8 mW/cm² a to po dobu 30 a 60 minut. Následně byl proveden oplach vzorku fyziologickým roztokem. 1 ml roztoku získaného oplachem byl aplikován na sterilní misku s živným agarem metodou přímého výsevu. Po 24 hodinové kultivaci byly spočteny KTJ (kolonie tvořící jednotky). Test byl proveden při ozařování UV zářením a bez této expozice, tzn. za tmy. Schéma postupu práce při antibakteriální studii je znázorněno na obr. 48. V rámci antibakteriální studie byl testován opět referenční nátěr bez přídavku a pak nátěry s přídavkem ZnO a TiO₂. Přídavky v nátěru byly v množství 2,1 hm %, 4,2 hm %, 6,2 hm % a 8,1 hm %.



Obr. 48 Schéma postupu antibakteriální studie

Fungicidní vlastnosti byly studovány pomocí inaktivace modelového organismu plísně *Aspergillus niger* [105][153]. Petriho misky s agarem se sladovým extraktem (Oxoid, Velká Británie) obsahující vzorky nátěrů (25 x 25 mm) byly naočkovány postřikem suspenze fyziologického roztoku obsahujícího spory *Aspergillus niger*. Byl použit referenční nátěr bez přídavku a s přídavkem 8 hm. % ZnO a 8 hm. % TiO₂. Pro vyloučení infekce samotného nosiče nátěru byl postup aplikován i na sklo bez nátěru a na živný agar bez skla a nátěru jako kontrola růstu *Aspergillus niger*. Každý test byl proveden se vzorky v pěti opakováních. Vzorky byly kultivovány při teplotě 23 ± 3 ° C v cyklu světlo/tma (16/8 hodin). Experiment byl vyhodnocen jako antimykotická aktivita testované barvy vizuálně po 28 dnech. Růst a vývoj mycelia plísně na misce a povrchu povlaku na skleněné podložce byl monitorován průběžně v průběhu experimentu tak, aby bylo možné srovnání pro nátěr s přídavkem a bez přídavku ZnO a TiO₂.

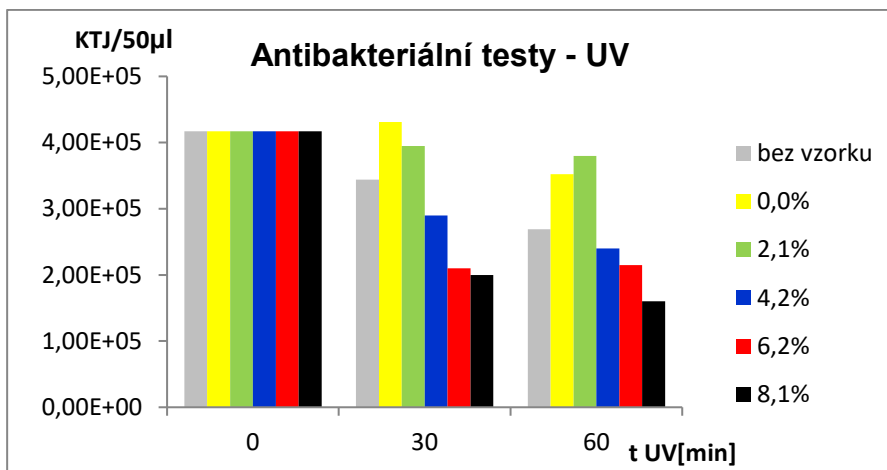
Výsledky - Antibakteriální aktivita

V rámci experimentální studie byly provedeny testy inaktivace *Escherichia coli* ve formě tenkého filmu bakteriální suspenze aplikované na nátěry s obsahem fotoaktivního materiálu s obsahem jednak ZnO a TiO₂. Každý experiment byl proveden ve dvou variantách a to za expozice UV záření a za tmy. Výsledky inaktivace na nátěrech z TiO₂ vyjádřeny jako počet kolonií tvořících jednotky vztažených na 50 μl suspenze. Výsledky jsou znázorněny v grafech na obr. 49 až 52. Z dosažených výsledků vyplývá, že na vzorcích bez obsahu TiO₂ za tmy dochází k mírnému zvýšení počtu kolonií tvořících jednotku, což je pravděpodobně způsobeno tím, že pojivo obsažené v nátěru bez aktivní složky představuje vhodný živný substrát pro modelový organismus *Escherichia coli*. V případě testu za světla byl zaznamenán obdobný trend. Naproti tomu v případě čistého skla (označení bez vzorku) je patrný vliv účinku samotného UV záření, kdy dochází k poklesu KTJ. Vyšší efekt inaktivace byl zaznamenán u vzorků s obsahem fotokatalyticky aktivního TiO₂, kdy pokles KJT je úměrný množství TiO₂ v nátěru. V případě experimentu za tmy k výraznějšímu poklesu KTJ nedochází. Pokles KTJ je tedy způsoben přítomností TiO₂ v součinnosti s ozařováním UV zářením.

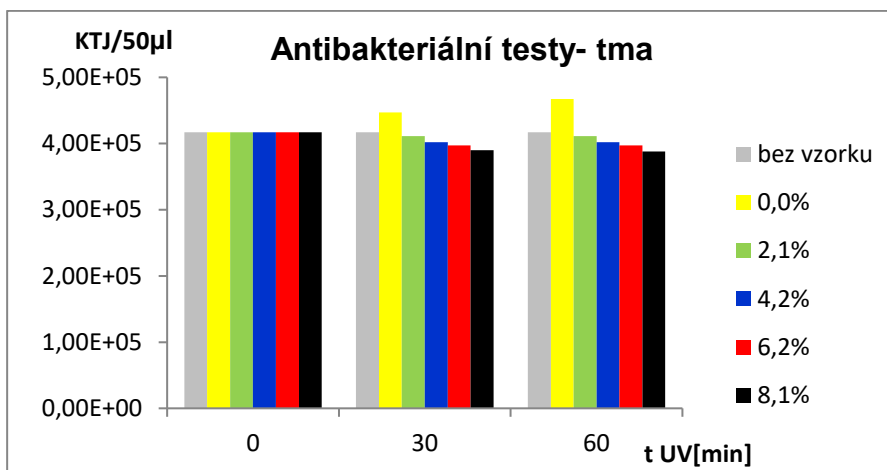
V případě nátěrů s obsahem ZnO je situace odlišná. V případě expozice UV zářením dochází u vzorků s obsahem ZnO již po 30-minutové expozici k razantnímu poklesu KTJ. V případě testu za tmy dochází rovněž k poklesu KTJ, ale tento efekt je výrazný pouze u vzorku s nejvyšším obsahem ZnO.

Na základě výše uvedených výsledků je možno konstatovat, že přítomnost ZnO vykazuje schopnost inaktivace růstu testovaného mikroorganismu, a to jak za tmy, kdy tento efekt je dán pravděpodobně částečným rozpuštěním ZnO a přechodu do formy Zn²⁺, tak také za světla, kdy je tento efekt výraznější a je dán kombinací samotného ZnO a jeho fotokatalytickou aktivitou. Naproti tomu v případě TiO₂ inaktivace růstu za tmy nebyla zaznamenána. Oxid titaničitý sám o sobě nevykazuje antibakteriální aktivitu, a je nutné ji iniciovat UV zářením, přičemž v porovnání s ZnO je jeho antibakteriální aktivita nižší. K podobným závěrům došly autorky Vytrášová a Hochmannová [154], kde se zabývají studiem antibakteriální aktivity nátěrů s obsahem TiO₂ a ZnO. Závěrem bylo, že u nátěrů s ZnO je antibakteriální aktivita vyšší.

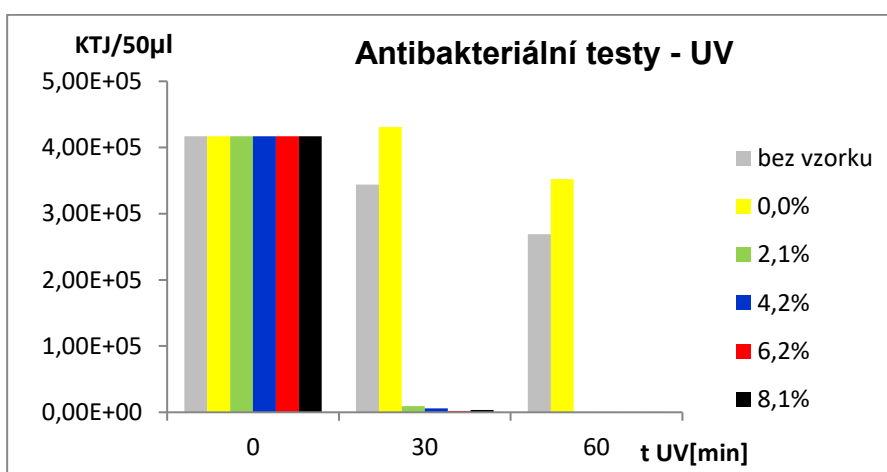




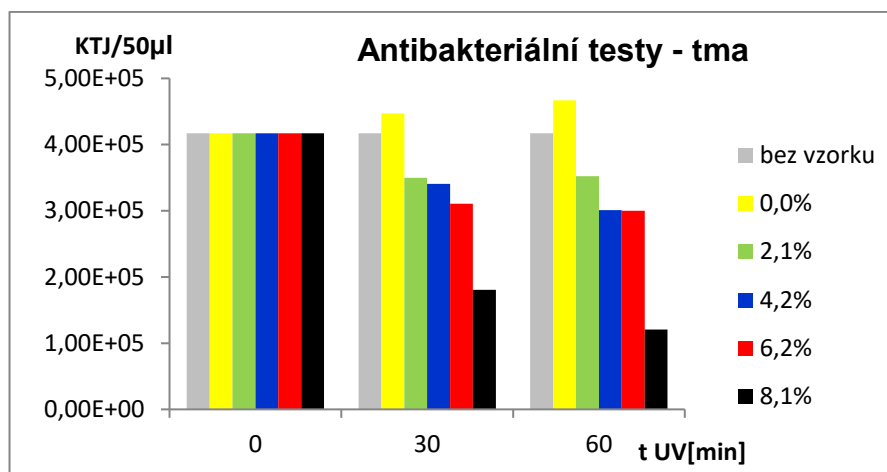
Obr. 49 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem TiO₂ za expozice UV záření



Obr. 50 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem s obsahem TiO₂ za tmy



Obr. 51 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem ZnO za expozice UV záření



Obr. 52 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem ZnO za tmy

Výsledky - Fungicidní vlastnosti

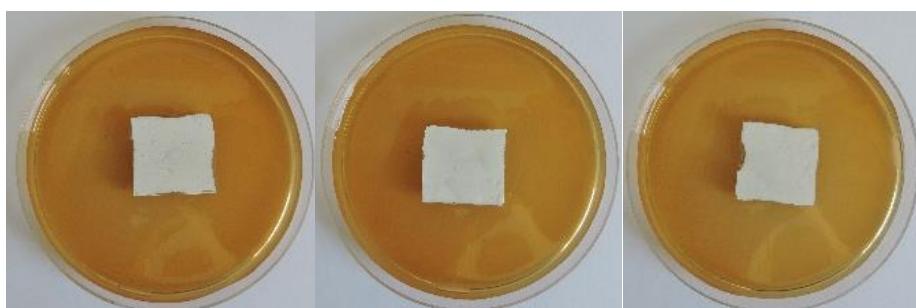
Další sledovanou vlastností vzorků studovaných nátěrů byla schopnost inaktivace růstu plísně *Aspergillus niger*. Testy byly provedeny pro tři typy vzorků – vzorek referenční, s obsahem 8 % hm. TiO_2 a 8 % ZnO. Nejprve byl proveden experiment bez inokulace pro ověření, že vzorky nátěrů nejsou ještě před inokulací kontaminovány sporama plísní. Výsledky testů jsou znázorněny na obr. 53. Z výsledků je patrné, že připravené vzorky nátěrů nejsou kontaminovány cizími agens.

Následně byl proveden ostrý experiment s počáteční inokulací plísní *Aspergillus niger*. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 21 a znázorněny na obr. 54. Ze snímků je patrné, že v případě užití referenčního nátěru dochází k rozvoji růstu mycelia *A. niger* na povrchu sledovaných vzorků. V případě fotokatalyticky aktivních nátěrů je situace odlišná. Na vzorku nátěru s obsahem ZnO nebyl zaznamenán růst mycelia ani klíčení spor plísní po 28 denní kultivaci za tmy. V případě nátěru s TiO_2 nebyl tento efekt prokázán. Rozvoj plísní nebyl pouhým okem pozorován, ale dvanáctý den od počátku experimentu bylo pozorováno klíčení spor na povrchu vzorku. Výsledky fungicidních testů dobře korelují s výsledky provedené studie s *Escherichia coli*. V případě vzorku obsahujícího TiO_2 nelze očekávat výraznou fungicidní či antibakteriální aktivitu bez excitace UV zářením. V případě vzorku s obsahem ZnO je situace jiná. Vzorky obsahující ZnO vykazovaly schopnost inaktivace *Escherichia coli* bez expozice UV záření a rovněž došlo k inhibici růstu plísně *Aspergillus niger* při kultivaci na agaru v Petriho miskách za tmy. Obdobné výsledky fungicidního efektu ZnO byly dosaženy v práci Sardella a kol. [155].

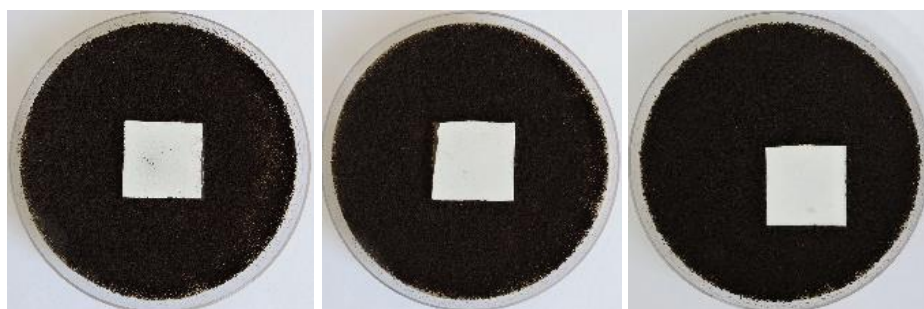
Z hlediska potencionální aplikace lze říci, že po potřeby samočistitelnosti je v případě TiO_2 klíčová přítomnost UV záření. Naproti tomu v případě využití aktivních nátěrů jako účinná ochrana proti biodeterioraci je významná přítomnost ZnO . V případě vzorků s obsahem ZnO nebyla zaznamenána sice výrazná samočistící schopnost, nicméně byl prokázán účinek inaktivace *E. coli* a *A. niger* a to bez nutnosti expozice povrchu UV záření.

Tab. 24 Výsledky hodnocení růstu *A. niger* na nátěrech s TiO_2 a ZnO v čase

Vzorek/den kultivace	0.	6.	8.	12.	28.
Aktivní nátěr s 8 % ZnO	0	0	0	0	0
Referenční nátěr s ZnO	0	0	1	2	3
Aktivní nátěr s 8 % ZnO bez inokulace	0	0	0	0	0
Referenční nátěr s ZnO bez inokulace	0	0	0	0	0
Aktivní nátěr s 8 % TiO_2	0	0	0	1	1
Referenční nátěr s TiO_2	0	0	0	1	2
Aktivní nátěr s 8 % TiO_2 bez inokulace	0	0	0	0	0
Referenční nátěr s TiO_2 bez inokulace	0	0	0	0	0
Kontrolní vzorek	0	4	5	5	5



Obr. 53 Fotografie vzorků nátěrů bez inokulace; zleva referenční nátěr, nátěr s TiO_2 a nátěr s ZnO



Obr. 54 Fotografie vzorků nátěrů s inokulací po 14-denní kultivaci; zleva referenční nátěr, nátěr s TiO_2 a nátěr s ZnO

4.4 Ochrana stavebních materiálů pomocí biotechnologií

Uvedená kapitola se zabývá možnostmi kultivace organismu *Pythium oligandrum* v kultivačních médiích a na povrchu deskových materiálů na bázi dřeva a sádry. Dále je pozornost věnována účinnosti roztoků s obsahem *P. oligandrum* získaných různým postupem výroby a sledu kultivace na a v živných tekutých médiích a pevných kultivačních půdách (agarech). Během experimentu byly použity kultury organismu ze třech různých zdrojů. Aby bylo možné organismus využít k ochraně materiálů, bylo nutné jej rozmnožit a zvládnout jeho kultivaci.

4.4.1 Kultivace organismu *Pythium oligandrum*

Na základě literatury a doporučení byl v první fázi kultivace zvolen komerční bramborovo-glukózový agar (Oxoid, Velká Británie a Carl Roth, Německo) a kultivace na miskách při teplotě 24 °C v inkubátoru za tmy. Množství kultury ve formě granulátu s nosičem aplikované na agar bylo přibližně 0,2 gramu. Nárůst mycelia byl, a tak bylo nutné hledat další způsoby a kultivační média. Jako ideálním médiem se ukázal bramborovo-glukózový agar připravovaný v laboratoři. Složení tohoto média na 1 litr bylo:

250 g brambor

20 g glukózy

20 g agaru

1 l vody

Identicky bylo připravováno i tekuté médium, jen bez přídavku agaru. Kultivace v tekutém médiu probíhala v první fázi za laboratorních podmínek na třepačce (100 ot./min), v další fázi ve velkokapacitním třepacím inkubátoru (obr. 55) a frekvenci třepání 100 – 140 ot./min při teplotě 26 °C v Technoparku Kralupy VŠCHT v Praze, kde je možná kultivace v Erlenmeyerových baňkách o objemu 100 až 1000 ml na čtyřech nezávislých patrech.

Při přípravě dalších médií bylo použito kukuřice (komerční i připravované půdy), bramborový a kukuřičný škrob. Ale jak se ukázalo, škrob není jedinou součástí brambor a kukuřice, která je při růstu tohoto organismu využívána, proto byl následně testován i růst organismu na médiích z bramborového a kukuřičného šrotu. Jako další alternativa zdroj škrobu byl použit maniok. Byly použity hlízy této rostliny z Brazílie s vysokým obsahem škrobu. Výnosnost



mycelia z médií z jeho výluhu byla velmi uspokojivá, ale i vzhledem k ceně přibližně 100 Kč za 1 kg, byla pro další kultivaci dána přednost médiím připravovaných z brambor.

Na pevných médiích bylo myceliu bílé barvy, v tekutých médiích při kultivaci s třepáním vytváří bělavé až lehce nažloutlé pelety.



Obr. 55 Velkokapacitní třepací inkubátor pro kultivaci *Pythium oligandrum*

4.4.2 Monitoring růstu *Pythium oligandrum* na stavebních materiálech

Po kultivaci na médiích byl nutné ověřit možnost kultivace i na dalších substrátech. Pro potřeby této práce byl testován růst *P. oligandrum* na stavebních deskových materiálech. Byly připraveny vzorky deskových stavebních materiálů (tabulka 21) o rozměrech 40 x 40 mm v pěti opakováních. Třetí rozměr představovala tloušťka vlastní desky. Vzorky byly vystaveny UV záření (germicidní lampa, G13, 55 W, s emisním maximem 253 nm, vzdálenost od vzorků 0,3 m) po dobu 30 minut pro každou ze šesti stran. Následně byly uloženy do exsikátorů s relativní vlhkostí vzduchu 100 % po dobu 48 hodin.

Jako modelový organismus byl použit organismus *Pythium oligandrum* kultivovaný v laboratoři v tekutém bramborovo-glukózovém médiu a na pevné půdě tvořené bramborovo-glukózovým agarem (obdoba tekutého s přídavkem 20 g agaru pro mikrobiologii, Oxoid, Velká Británie). Pro studii bylo použito mycelium sejmuté z pevného média uloženého do 100 ml fyziologického roztoku, suspenze byla umístěna na třepačku s frekvencí 150 kmitů za minutu po dobu 2 hodin. Inokulum bylo na vzorky aplikováno formou postřiku. Následně byly vzorky uloženy zpět do exsikátorů se 100 % relativní vlhkostí. Výskyt

a rozvoj plísní byl sledován vizuálně a pod mikroskopem po dobu 20 dnů. Stupnice použitá pro rozvoj organismu *Pythium oligandrum* na povrchu vzorků je uvedena v tabulce 14.

Výsledky

Hodnocení růstu bylo nutné v této dílčí studii rozdělit na hodnocení růstu plísní, protože jak bylo potvrzeno v kapitole 4.1.2.3 i po zneškodnění plísní na povrchu vzorků, dochází k jejich rozvoji na povrchu vzorků, pokud jsou vystaveny ideálním podmínkám pro růst plísní. Druhé hodnocení se pak týkalo růstu *P. oligandrum*. Výsledky hodnocení růstu plísní jsou uvedeny v tabulce 22, výsledky hodnocení růstu *P. oligandrum* jsou pak v tabulce 23.

Tab. 25 Výsledky hodnocení růstu plísní v čase

Materiál	Den experimentu				
	0.	5.	10.	15.	20.
Masivní smrkové dřevo	0	0	1	2	2
Sádrokarton běžný	0	2	3	4	4
Sádrokarton impregnovaný	0	1	2	2	3
Konstrukční sádrokarton	0	1	2	3	3
OSB	0	2	3	3	4
OSB	0	2	2	3	3
Dřevolákno	0	1	1	2	2
Dřevolákno	0	1	2	3	4
Sádrovlákno	0	0	0	0	1
Sádrovlákno	0	0	0	0	1
Dřevotříska	0	1	1	1	2
Masivní smrkové dřevo	0	0	1	1	2
Cementotřísková deska	0	0	0	0	0

Tab. 26 Výsledky hodnocení růstu *P. oligandrum* v čase

Materiál	Den experimentu				
	0.	5.	10.	15.	20.
Masivní smrkové dřevo	0	0	1	2	2
Sádrokarton běžný	0	0	0	1	2
Sádrokarton impregnovaný	0	0	0	1	2
Konstrukční sádrokarton	0	0	0	1	2
OSB	0	1	2	2	2
OSB	0	1	2	2	2
Dřevolákno	0	0	0	1	2
Dřevolákno	0	0	0	1	2
Sádrovlákno	0	0	0	0	0
Sádrovlákno	0	0	0	0	0
Dřevotříska	0	0	0	1	1
Masivní smrkové dřevo	0	0	1	2	2
Cementotřísková deska	0	0	0	0	0



Pythium oligandrum rostlo během této studie na všech testovaných materiálech vyjma sádrovláknitých a cementotřískových desek. Rychlejší a masivnější růst byl pak zaznamenán na dřevě a desek na bázi dřeva než u sádrokartonů. Nejméně vhodným materiálem pro růst *P. oligandrum* se v tomto experimentu jeví desky ze sádrovlákna a cementotřískové desky.

Jak je vidět z výsledků, růst *P. oligandrum* koresponduje s růstem plísní na povrchu vzorků. U vzorků, u nichž dochází k nárůstu plísní ve zvýšené míře, dochází také k většímu rozvoji plísní, které *P. oligandrum* ke svému životu a růstu potřebuje. Byla potvrzena možnost kultivovat *Pythium oligandrum* i na jiných materiálech než interiérových omítkách [156] a v budoucnu tuto kulturu použít i pro ochranu těchto materiálů.

4.4.3 Biocidní studie

Biocidní studie zaměřená na účinnost organismu vycházela ze dvou typů vzorků s kulturou. Šest vzorků označených písmeny A až F obsahovaly kulturu *Pythium oligandrum* v různých tekutých kultivačních médiích v Erlenmeyerových baňkách. Vzorky byly rozděleny na dvě skupiny, a to:

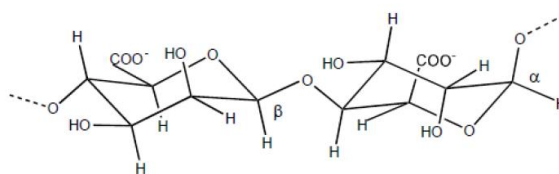
- A1 - F1 tekuté kultivační médium
- A2 - F2 dezintegrováný obsah Erlenmeyerovy baňky → *Pythium oligandrum* + kultivační médium.

Druhým typem vzorků bylo 13 vzorků v Petriho miskách s kulturou *Pythium oligandrum* rostoucích na různých ztužených kultivačních médiích. Vzorky byly označeny písmeny G až S. Seznam vzorků je uveden v tabulce 19 i s médii, která byla použita při kultivaci kultury *P. oligandrum*.

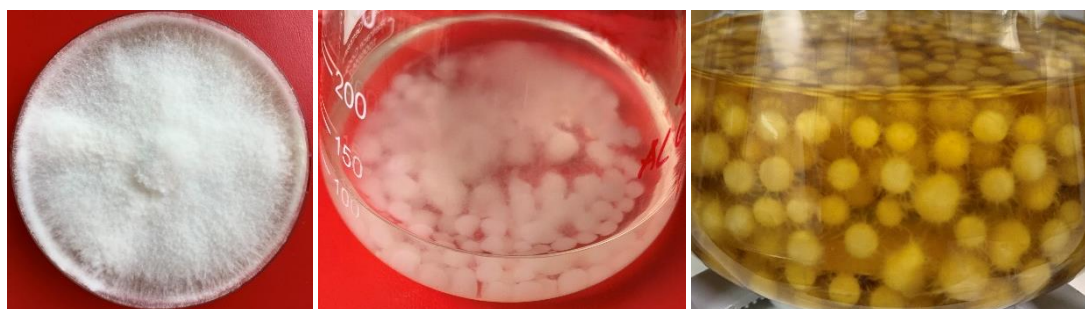
Ke kultivaci kultur byla použita tato média:

- PDI a PDA (komerční i připravované v laboratoři)
- z kukuřičného šrotu a škrobu
- a ve formě alginátu.

Cílem přípravy alginátu je získat gelovité kulovité útvary s obsahem *P. oligandrum*. Jedná se o polysacharid získaný z jednoduché kyseliny glukuronové a mannuronové. Ve formě vápenatých solí se vytváří pevná struktura ve formě solu (gelu) (obr. 56). Příklad způsobů kultivací na pevné půdě i tekutém médiu jsou na obr. 57.



Obr. 56 Struktura alginátu; vlevo kyselina β -D-mannuronová, vpravo kyselina α -L-glukuronová [157]



Obr. 57 *P. oligandrum* na misce S PDA (vlevo), ve formě gelových kuliček (uprostřed) a ve formě pelet v médiu připraveném z kukuřičného škrobu (vpravo)

Modelovými organismy pro tuto studii byly:

- *Penicillium sp.*
- *Aspergillus brasiliensis*

Bylo použito živné médium MHA (Mueller Hinton Agar, OXOID LTD, Velká Británie).

K testování biocidní aktivity daných vzorků byla použita difuzní metoda na tuhém médiu, která je v souladu s mezinárodní normou CLSI. Tato metodika předepisuje jak zvolené médium (MHA), tak způsob inokulace a hustotu inokula.

Testované vzorky byly na inokulované misky naneseny dvěma způsoby:

1. Na sterilní papírový disk položený na povrch média byl aplikován objem vzorku 10 μ l.
2. Do vytvořené jamky (průměr 5 mm) na inokulované misce byl aplikován objem vzorku 70 μ l.

K přípravě jednotlivého inokula byla použita vykultivovaná kultura mikromycet. Z nich byly připraveny ve fyziologickém roztoku suspenze o koncentraci přibližně 10^6 KTJ/ml. Inokulace předsušených Petriho misek byla provedena sterilním tamponem namočeným v příslušném inokulu, které bylo rovnoměrně rozetřeno po celém povrchu misky ve 3 směrech.

Ad 1) Na povrch takto připravených jednotlivých misek byly položeny sterilní disky, které byly nasyceny kapkami testovaných vzorků o objemu 10 μ l.

Ad 2) Na takto připravených jednotlivých miskách byly vytvořeny vždy dvě jamky o průměru 5 mm. Do nich bylo napipetováno po 70 μ l testovaného vzorku.

Následná kultivace v miskách probíhala v termostatu při 25 °C. Nárůst modelových organismů byl hodnocen po 72 hodinách od inokulace a to jako velikost inhibiční zóny v milimetrech.

Výsledky

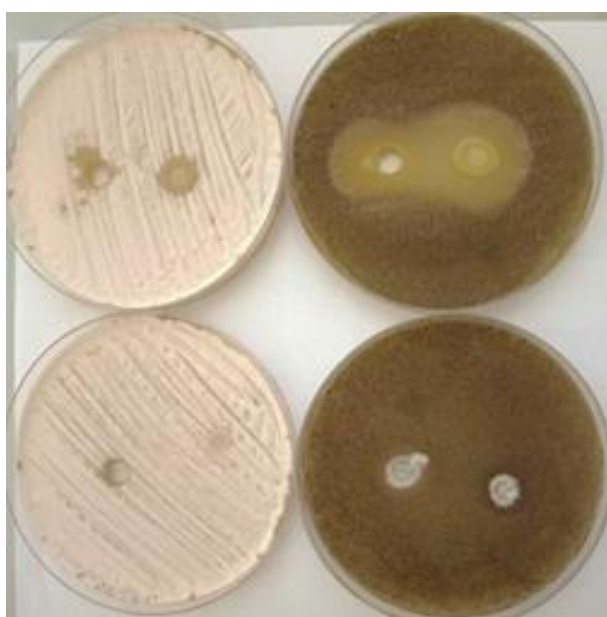
Výsledky nárůstu modelových organismů (*Penicillium* sp. a *Aspergillus brasiliensis*) jsou uvedeny v tabulce 24.

Tab. 27 Výsledky hodnocení nárůstu modelových organismů

vzorek			<i>Penicillium</i>		<i>Aspergillus</i>		
			průměr zóny [mm]				
			disk	jamka	disk	jamka	
Erlenmeyerovy baňky	A	<i>P. oligandrum</i> kukuřičný šrot s glukózou	roztok 1	0	0	0	0
			mix 2	0	0	0	0
	B	<i>P. oligandrum</i> v PDI	roztok 1	0	0	0	0
			mix 2	0	0	0	0
	C	<i>P. oligandrum</i> kukuřičný šrot s glukózou	roztok 1	0	0	0	0
			mix 2	0	0	0	0
	D	<i>P. oligandrum</i> v PDI	roztok 1	0	0	0	0
			mix 2	0	0	0	0
	E	Alginát + dezint. <i>P. oligandrum</i> z PDI + CaCl ₂ v kukuř. škrobu	roztok 1	0	0	0	0
			mix 2	0	0	0	0
	F	Alginát + dezint. <i>P. oligandrum</i> z kukuř. Šrotu + CaCl ₂ v kukuř. škrobu	roztok 1	0	0	0	0
			mix 2	0	0	0	0
Petriho misky	G	PDA + 1 peleta <i>P. oligandrum</i> z kukuř. šrotu		0	0	0	0
	H	PDA + 3 pelety <i>P. oligandrum</i> z PDI		0	0	13	18
	I	PDA + dezint. <i>P. oligandrum</i> z kukuř. šrotu		18	20	16	20
	J	PDA + dezint. <i>P. oligandrum</i> + alginát + CaCl ₂		15	0	17	0
	K	PDA + dezint. <i>P. oligandrum</i> z PDI + 4 ml ALG + 3 ml CaCl ₂		0	0	12	12
	L	PDA komeční (Roth) + 3 pelety <i>P. oligandrum</i> z PDI		0	0	14	17
	M	PDA komeční (Roth) + dezint. <i>P. oligandrum</i> z kukuř. šrotu		19	20	20	20
	N	PDA komeční (Roth) + 1 peleta <i>P. oligandrum</i> z kukuř. šrotu		0	0	0	0
	O	PDA komeční (Roth) + dezint. <i>P. oligandrum</i> z PDI + 4 ml ALG + 3 ml CaCl ₂		0	0	30	25
	P	kukuř. šrot + 3 pelety <i>P. oligandrum</i> z PDI		0	0	0	0
	Q	kukuř. šrot + dezint. <i>P. oligandrum</i> + ALG + CaCl ₂		14	17	12	15
	R	kukuř. šrot + 1 peleta <i>P. oligandrum</i> z kukuř. šrotu		0	0	0	0
S	kukuř. šrot + dezint. <i>P. oligandrum</i> z PDI + 4 ml ALG + 3 ml CaCl ₂		0	0	0	14	

U vzorků získaných z tekutého média nebyl biocidní efekt prokázán. U vzorků A - F nebyla zjištěna žádná antifungální aktivita vůči oběma indikátorovým plísním (*Penicillium* sp. a *Aspergillus brasiliensis*). U vzorků získaných z tuhého média byl biocidní efekt prokázán pouze u několika vybraných vzorků. Antifungální aktivita vůči oběma indikátorovým plísním byla zaznamenána pouze u vzorků označených I, J, M, Q. U vzorků O a S byla zaznamenána aktivita pouze vůči *Aspergillus brasiliensis*. Ze zóny u vzorku O (v případě organismu *Aspergillus brasiliensis*) byla vykultivována bakterie *E. coli*. Zbývající vzorky antifungální aktivitu nevykazovaly.

Narostlé kultury na Petriho miskách byly přelity fyziologickým roztokem a uvolněny z povrchu s použitím skleněné tyčinky. Na obr. 58 je viditelný výsledek biocidní studie u vzorků s označením P a O. Vzorek P nevykazoval žádný biocidní efekt a inhibiční zóna byla v tomto případě nulová. Vzorek P byl získán kultivací 3 kusů pelet *P. oligandrum* (z tekutého PDI) na pevném PDA médiu. Naproti tomu u vzorku O, který byl vykultivován z gelové substance *P. oligandrum* na misce s agarem a kukuřičným šrotem, je pozorovatelný fungicidní efekt vůči plísni *Aspergillus* ve formě zóny, v níž byl růst plísně inhibován.



Obr. 58 Výsledek biocidní studie vzorků P (dole) a O (nahore); vlevo misky s *Penicillium* sp. a vpravo s *Aspergillus brasiliensis*

4.4.4 Aplikace *Pythium oligandrum* jako sanačního opatření

4.4.4.1 Aplikace *Pythium oligandrum* na vzorcích deskových materiálů porostlých plísněmi

Ke kultuře *P. oligandrum* na pevném bramborovo-glukózovém médiu bylo přidáno 5 ml fyziologického roztoku. Vzorek byl dezintegrován a následně štětcem aplikován na vzorky s předešlým nárůstem plísní. Konsorcium plísní bylo aplikováno ve formě postřiku na vzorky (o rozměru 40 x 40 mm) zbavené spor plísní na povrchu expozicí UV zářením (germicidní lampa, G13, 55 W, s emisním maximem 253 nm, vzdálenost od vzorků 0,3 m) po dobu 30 minut z každé ze šesti stěn vzorků. Konsorcium se skládalo z následujících kmenů plísní: *Aspergillus niger van Tieghem* (kmen ATCC 6272), *Penicillium funiculosum Thom* (kmen CMI 114933), *Paecilomyces variotii* (kmen ATCC 18502), *Trichoderma viride* (kmen ICC 080). Kultivace probíhala v inkubátoru ve vlhkém prostředí za teploty 23 ± 3 °C po dobu 90 dnů na vzorcích uložených na skleněných podložkách z tyčinek ve tvaru písmene U nad agarem podle Czapka-Doxe (OXOID LTD, Anglie). Za účelem rychlejšího nárůstu plísní byly vytvořeny ideální podmínky pro růst plísní, ale zároveň bylo zabráněno přímému kontaktu vzorku s agarem. Po dostatečném nárůstu plísní byly vzorky deskových materiálů vyjmuty z inkubátoru z misek s agarem a vloženy do separátního boxu s přístupem vzduchu na dobu 30 dnů, ale tentokrát bez agaru, dotace vlhkosti a živin pro plísně ve formě agaru. Cílem bylo pozastavení růstu plísní a přiblížení se tak reálným podmínkám, kdy například dojde ke krátkodobému zvýšení vlhkosti prostředí a materiálu, ale nikoliv k podpoře růstu cestou dodáním živin nebo naopak k rychlému vysušení napadeného materiálu.

Následně proběhla aplikace *P. oligandrum* s fyziologickým roztokem na polovinu horní stěny vzorku porostlého vzorku. Aplikace byla provedena ve formě nátěru štětcem se syntetickými štětiniemi. Štětce byly předtím namočeny v roztoku ethanolu a exponovány UV zářením (germicidní UV-C lampa, G13, 55 W, s emisním maximem 253 nm, vzdálenost od štětců 0,3 m) ve Flow boxu. Horní stěna vzorku a její změny byly monitorovány po dobu následujících 60 dnů.

Výsledky

Po prvních 90 a následujících 30 dnech, kdy probíhala iniciační fáze růstu inokulovaného konsorciem plísní, byl povrch vzorků pokryt myceliem plísní. Po aplikaci *P. oligandrum* byl zaznamenán postupný úbytek tohoto mycelia v důsledku probíhajícího mykoparazitického působení *P. oligandrum*. Nejlépe pozorovatelný byl výsledek u vzorků

z dřevoláknité desky (obr. 59), u kterých kromě předpokládané poloviny plochy vzorku bez plísní, tvořila tato plocha bez plísní 70 % sledovaného povrchu vzorků. Naopak žádný efekt neměla aplikace *P. oligandrum* u vzorků ze sádrokartonů (obr. 60). Vrstva papíru si udržovala vlhké prostředí vhodné pro organismy tvořící inokulum a jeho povrch byl porostlý souvislou vrstvou mycelia plísní a *P. oligandrum* nebylo vizuálně pozorováno. U zbylých vzorků pak došlo shodně k zastavení růstu a omezení mycelia na polovině vzorku, kam bylo *P. oligandrum* aplikováno.



Obr. 59 Fotografie vzorku z dřevovlákná sanovaného aplikací *P. oligandrum* a detailní pohled



Obr. 60 Fotografie vzorku z konstrukčního sádrokartonu sanovaného aplikací *P. oligandrum*

4.4.4.2 Aplikace *P. oligandrum* na stěnu s plísněmi

Kultura *P. oligandrum* v tekutém bramborovo-glukózovém médiu byla v laboratoři dezintegrována a přenesena do zkušebního objektu, kde byla aplikována na stěnu s opakovaným výskytem plísní. *Pythium oligandrum* bylo přidáno do nátěrové hmoty na bázi síranu barnatého a ve formě tohoto nátěru aplikováno na vlhkou, kontaminovanou stěnu suterénního prostoru v rodinném domě. Aplikace kultury byla provedena ve formě nátěru sterilním štětcem na napadenou stěnu. Před aplikací nátěru nedošlo k očištění stěny ani jinému opatření. Napadená stěna byla monitorovaná po dobu 30 měsíců.

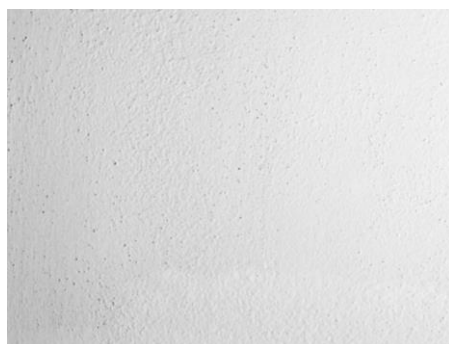
Výsledky

Na napadené stěně nebyl pozorován výskyt a rozvoj plísní po celou dobu pozorování. Dokonce i kontrolní stěry z původně napadené a protější interiérové stěny, která ani v minulosti nevykazovala známky napadení plísněmi, potvrdily účinnost aplikovaného nátěru s *P. oligandrum*.

Výsledky tohoto experimenty jsou zřejmé při pohledu na zkušební stěnu. Na obr. 61 je zachycen stav kontaminované stěny před aplikací a po aplikaci nátěru na bázi síranu barnatého s mikroorganismem *P. oligandrum*. Fotografie jsou pořízeny s časovým odstupem 4 měsíců. Je na nich vidět estetický efekt, došlo k vizuálnímu potlačení růstu plísní. Na obr. 62 je stěna 30 měsíců po aplikaci nátěru s biocidním účinkem. Je nutné podotknout, že během experimentu nedošlo k úpravě režimu užívání a větrání objektu rodinného domu.



Obr. 61 Fotografie stěny s nárůstem plísní před aplikací (vlevo) a po aplikaci *P. oligandrum* (vpravo)



Obr. 62 Fotografie monitorované stěny 30 měsíců po aplikaci *P. oligandrum*

5 Závěry a doporučení

V práci bylo mapováno chování deskových stavebně konstrukčních materiálů na bázi dřeva a sádry v laboratorních podmínkách, a to jak na neošetřených stavebních materiálech získaných z prodejní sítě, testovaných při různých vlhkostech prostředí, tak po iniciaci růstu plísní na jejich povrchu inokulací konsorciem plísní.

Obecně náchylnější pro rozvoj plísní byly materiály na bázi dřeva ve srovnání s výrobky na bázi sádry, kde byl tento efekt podpořen vysokým pH materiálu, které vytváří nevhodné podmínky pro růst těchto organismů. Z materiálů na bázi dřeva byl jako nejodolnější materiál kvalifikováno masivní dřevo. To je i díky svému naturelu schopno pracovat se vzdušnou vlhkostí, a pokud není měněn nebo střídán stav zaplavený/suchý dřevěný prvek z masivu, dokáže dřevo odolávat zubu času po několik staletí.

Z nových deskových materiálů bez jakéhokoliv ošetření byly identifikovány plísně rodů *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Mucor* a *Penicillium*. Identické plísně byly izolovány také z ovzduší. Je tedy zřejmé, že plísně z ovzduší jsou kontaminanty materiálů, které se v něm vyskytují. Pokud byly materiály před experimentem ošetřeny expozicí UV záření pro zneškodnění spor plísní, byly na povrchu vzorků detekovány plísně stejných rodů jako v předchozím případě. Růst plísní byl ale zpomalen a nebyl tak masivní jako u neošetřených vzorků.

Pokud byly vzorky po expozici UV záření vystaveny zvýšené relativní vlhkosti vzduchu, byl monitorován růst plísní u vzorků v 97 % relativní vlhkosti vzduchu. Dominantními plísní pro materiály na bázi dřeva byla *Trichoderma viride*, u materiálů na bázi sádry to byl *Aspergillus niger*. V případě nižší 78 % relativní vlhkosti prostředí nebyl zaznamenán růst plísní na povrchu vzorků v průběhu měsíčního pozorování a ani v průběhu dalších 120 dnů nedošlo k iniciaci růstu plísní na žádném ze sledovaných vzorků.

Část práce zaměřená na odběr a analýzu vzorků z kontaktních zateplovacích systémů realizovaných před deseti a více lety, potvrdila minimální vliv použitého typu izolantu (nepatrně menšího napadení dosahovaly ETICS s použitým pěnovým polystyrenem ve srovnání s těmi zateplenými minerální vatou), obsahu anorganických složek a typu použitého



organického pojiva. Práce také potvrdila hypotézu, že vzorky plísní odebrané ve stejném období ze vzduchu a z povrchu materiálů, korespondují z hlediska druhové skladby plísní.

Obecně lze za nejvýznamnější příčiny růstu plísní v interiéru budov považovat existenci tepelných mostů, kondenzaci vodních par (ať už v důsledku již zmíněných mostů nebo chybného režimu užívání prostor) a v neposlední řadě také kontaminaci vnitřních prostor uživateli, nedostatečnou údržbu objektu, jeho nevyhovující větrání nebo umístění stavby. Umístění stavby vzhledem k okolní zeleni, průmyslu, orientaci fasády vůči světovým stranám a poměrnému zastoupení kmenů plísní v ovzduší hraje pak dominantní roli v oblasti napadení plísněmi ze strany exteriéru.

Dalším hlavním cílem a také náplní této práce bylo ověření biocidní účinnosti nových technologií. Převážně v laboratorních podmínkách byly studovány metody s potenciálně nižším dopadem na životní prostředí než ty současně používané. Předkládané metody inhibice růstu plísní jsou z oblasti nanotechnologie, fotokatalyticky aktivních nátěrů a metody využívající biologickou složku. Nanovláknité textilie na bázi PVA byly účinné v závislosti na formě a typu použitého aditiva a to jak v případě zásahu proti růstu plísní, tak i řas jakožto skupině organismů, s níž vytváří plísně přirozené konsorcium a často žijí v symbióze. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u textilií s obsahem měděných a stříbrných iontů a nanočástic stříbra.

Biocidní vlastnost fotokatalyticky aktivních materiálů byla studována na modelových organismech *Aspergillus niger* a *Escherichia coli* a to za expozice UV záření a za tmy. Vyšších inhibičních výsledků dosahoval vodou ředitelný akrylátový nátěr s 8 hm. % přídavkem ZnO ve srovnání s nátěrem s obsahem 8 hm. % TiO₂.

Biocidní účinek byl prokázán i u roztoků obsahujících *Pythium oligandrum*, ale pouze za předpokladu, že během kultivace organismu došlo ke kombinaci živných médií (například PDA a pevné kultivační půdy získané z agaru a kukuřičného škrobu nebo šrotu). Významně lepších výsledků bylo dosaženo u vzorků po dezintegraci a přípravě vzorku ve formě alginátu.

Uvedené metody jsou cestou k vývoji nových výrobků, které by mohly posloužit jako preventivní nebo sanační metody v boji proti mikroskopickým vláknitým houbám. Obecně ale platí, že ideálním sanačním opatřením je to, ke kterému není potřeba se vůbec přiklonit. Tedy stav, kdy problém s výskytem plísní vůbec nevznikne. Doporučením pro praxi je tedy předcházet vzniku těchto problémů a pamatovat na ně již při návrhu stavby. Pokud je navrženo kontaktní zateplení objektu pro úpravu průběhu izotermy rosného bodu, je nutné

podklad vždy očistit před prováděním samotného zateplení a to jak u novostaveb, tak u dodatečného zateplení objektů.

Pokud už je nějaký zásah potřebný, je nutné se zamyslet nad tím, s jakými látkami pracujeme. V první řadě je třeba všechna nová řešení sanace plísní prozkoumat a kromě jejich vývoje myslet také na další dopady tohoto řešení pro životní prostředí a pro další organismy než ty, proti nimž je primárně zaměřeno.

Dále by bylo vhodné omezit obsah potenciálně nebezpečných chemických látek a také zjednodušit schvalovací proces nových výrobků a usnadnit jejich zavedení na trh.

V souvislosti s nově navrženými novými metodami se objevují i další otázky, které by byly zajímavými tématy pro další vědecké práce. Příklady takových otázek jsou:

- Jaké vlastnosti by měly nanovláknité textilie na bázi jiného polymeru a rozpouštědla? Byla by nutná stabilizace těchto vláken, a jak by ovlivnila samotnou textilií?
- Jak dlouho zůstanou přidané účinné složky ve vláknech a kam se z ní dostanou?
- Je zinek v nátěrech bezpečný? Nebo tomu bude jako v případě mědi, titanu a azbestu, které se v minulosti běžně používaly.
- Jak dlouhodobý účinek budou mít navržené metody po aplikaci, jak budou reagovat v povětrnostních podmínkách? A jsou opravdu tak bezpečné?



Reference

- [1] X. C. Lv, Z. Q. Huang, W. Zhang, P. F. Rao, a L. Ni, „Identification and characterization of filamentous fungi isolated from fermentation starters for Hong Qu glutinous rice wine brewing", *J. Gen. Appl. Microbiol.*, roč. 58, č. 1, s. 33–42, 2012.
- [2] L. García-Agudo, P. Aznar-Marín, F. Galán-Sánchez, P. García-Martos, P. Marín-Casanova, a M. Rodríguez-Iglesias, „Otomycosis due to Filamentous Fungi", *Mycopathologia*, roč. 172, č. 4, s. 307–310, 2011.
- [3] S. Khan *et al.*, „Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis*", *Environ. Pollut.*, roč. 225, s. 469–480, 2017.
- [4] M. H. Alma, M. A. Basturk, a M. Digrak, „New polyurethane-type rigid foams from liquified wood powders", *J. Mater. Sci. Lett.*, roč. 22, č. 17, s. 1225–1228, 2003.
- [5] H. Žáková, J. Pazderka, Z. Rácová, a P. Ryparová, „EFFECT OF BACTERIA *BACILLUS PSEUDOFIRMUS* AND FUNGUS *TRICHODERMA REESEI* ON SELF-HEALING ABILITY OF CONCRETE", *Acta Polytech. CTU Proc.*, roč. 21, s. 42–45, bře. 2019.
- [6] M. Rulík *et al.*, *Mikrobiální biofilmy*, 1st vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011.
- [7] F. stavební) Solař, Jaroslav (VŠB-TU Ostrava, „Příčiny nadměrné vlhkosti dřevěných stavebních prvků v budovách - TZB-info", 2014. [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/11208-priciny-nadmerne-vlhkosti-drevenych-stavebnich-prvku-v-budovach>. [vid.: 25-čer-2018].
- [8] J. Paříková a I. Kučerová, *Jak likvidovat plísně*. Grada, 2001.
- [9] „NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 528/2012 EUR-Lex - 32012R0528 - EN - EUR-Lex". [Online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1494577830816&uri=CELEX:32012R0528>. [vid.:28-čer-2018].
- [10] L. Svoboda, *Stavební hmoty*. Jaga, 2004.
- [11] P. Brown, J. C.-D. of building materials, a undefined 1988, „Mechanisms of deterioration in cement-based materials and in lime mortar", *bcin.ca*.
- [12] J. Witzany, T. Čejka, R. Wasserbauer, a R. Zigler, *PDR - Poruchy, Degradace a rekonstrukce*. České vysoké učení technické, 2010.



- [13] L. K. Herrera a H. A. Videla, „The importance of atmospheric effects on biodeterioration of cultural heritage constructional materials“, in *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2004.
- [14] H. A. Videla a L. K. Herrera, „Microbiologically influenced corrosion: looking to the future“, s. 169–180, 2005.
- [15] C. E. Hagentoft a A. S. Kalagasidis, „Drying Potential of Cold Attic Using Natural and Controlled Ventilation in Different Swedish Climates“, in *Procedia Engineering*, 2016, roč. 146, s. 2–7.
- [16] R. Wasserbauer, *Biologické znehodnocení staveb*. ABF - Arch, 2000.
- [17] F. Canganella a J. Wiegel, „Anaerobic thermophiles“, *Life*, roč. 4, č. 1. MDPI AG, s. 77–104, 26-úno-2014.
- [18] O. Fassatiová, *Plísňe a vláknité houby v technické mikrobiologii*. 1979.
- [19] M. Chlupáčová, „Prevence plísňových onemocnění :: ZDRAV.cz :: Zdraví a zdravotnictví“, 2002. [Online]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/czsp/edice/plne_znani/prevence_plisni.pdf. [vid.: 21-zář-2017].
- [20] F. Bartoli, A. C. Municchia, Y. Futagami, H. Kashiwadani, K. H. Moon, a G. Caneva, „Biological colonization patterns on the ruins of Angkor temples (Cambodia) in the biodeterioration vs bioprotection debate“, *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2014.
- [21] R. J. Koestler, R. Kumar, a A. V. Kumar, „Biodeterioration of Stone in Tropical Environments: An Overview“, *J. Am. Inst. Conserv.*, 2002.
- [22] M. Ljaljevic-Grbic a J. Vukojevic, „Role of fungi in biodeterioration process of stone in historic buildings“, *Zb. Matice Srp. za Prir. Nauk.*, 2009.
- [23] L. Reinprecht, *Wood Deterioration, Protection and Maintenance*. 2016.
- [24] J. Frankl, „THE CHANGES IN COMPRESSION STRENGTH OF WOOD ALONG AND ACROSS GRAIN CAUSED BY AN IMPACT OF DAMAGE TO WOOD BY WOOD-DAMAGING FUNGI“, in *ENGINEERING MECHANICS 2009*, 2009, s. 261–272.
- [25] J. Frankl, „Wood-damaging fungi in truss structures of baroque churches“, *J. Perform. Constr. Facil.*, 2015.
- [26] Y. Fang, L. Lin, H. Feng, Z. Lu, a G. W. Emms, „Review of the use of air-coupled ultrasonic technologies for nondestructive testing of wood and wood products“, *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017.



- [27] B. K. Brashaw *et al.*, „Nondestructive testing and evaluation of wood: A worldwide research update“, *For. Prod. J.*, 2009.
- [28] N. J. Rowan, J. A. Clarke, J. E. Smith, J. G. Anderson, R. C. McLean, a N. J. Kelly, „Development of a technique for the prediction/alleviation of conditions leading to mould growth in houses | Aspergillus & Aspergillosis Website“, 1998.
- [29] M. Sasaki, T. Jojima, M. Inui, a H. Yukawa, „Simultaneous utilization of d-cellobiose, d-glucose, and d-xylose by recombinant *Corynebacterium glutamicum* under oxygen-deprived conditions“, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2008.
- [30] O. Bondarenko, K. Juganson, A. Ivask, K. Kasemets, M. Mortimer, a A. Kahru, „Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: A critical review“, *Archives of Toxicology*. 2013.
- [31] G. Escadeillas, A. Bertron, E. Ringot, P. J. Blanc, a A. Dubosc, „Accelerated testing of biological stain growth on external concrete walls. Part 2: Quantification of growths“, *Mater. Struct. Constr.*, 2009.
- [32] T. Warscheid a J. Braams, „Biodeterioration of stone: A review“, *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2000.
- [33] A. Torrisi, „Evaluation of five fluorinated compounds as calcarenite protectives“, *J. Cult. Herit.*, roč. 9, č. 2, s. 135–145, 2008.
- [34] C. C. Gaylarde a L. H. G. Morton, „Deteriogenic biofilms on buildings and their control: A review“, *Biofouling*, roč. 14, č. 1. Harwood Academic Publishers GmbH, s. 59–74, 1999.
- [35] O. Rubinová, A. Rubina, J. Bernard, a L. Frič, „Mikrobiální mikroklima budov (II) - TZB-info“, *TZB-info*, 2015.
- [36] B. Flannigan, J. Papadakis, a K. Seidel, „DOOR AIR QUALITY & ITS IMPACT ON (formerly COST Project 61 3) Environment and Quality of Life Biological in Indoor E“.
- [37] *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb - Zákony.cz.*
- [38] J. Julák a Univerzita Karlova., *Praktická cvičení a semináře z lékařské mikrobiologie*. Karolinum, 2009.
- [39] I. 4833-2:2013(E), „Microbiology of the food chain - Horizontal method for the enumeration of microorganisms“, *Int. Stand.*, 2013.
- [40] „ČSN ISO 21527 1 - náhled normy“. [Online]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/inc/nahled_normy.php?norma=560650-csn-iso-21527-1&kat=82562.



- [vid.: 18-říj-2017].
- [41] P. Ryparová a Z. Rácová, „Characterisation of microorganism from individual layers of the building envelope (ETICS) and methods of their sampling”, in *Key Engineering Materials*, 2016.
- [42] J. Vytřasová, „MYKOTOXINY Univerzita Pardubice Fakulta chemicko-technologická Katedra biologických a biochemických věd”.
- [43] „MALDI–TOF MS – MiniAtlas vad”. [Online]. Dostupné z: <http://umtk.vscht.cz/miniatlas-vad/metody/maldi-tof-ms/>. [vid.: 29-pro-2019].
- [44] „Hmotnostní spektrometrie MALDI TOF - Časopis Vesmír”. [Online]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1999/cislo-8/hmotnostni-spektrometrie-maldi-tof.html>. [vid.: 29-pro-2019].
- [45] F. Malíř a V. Ostrý, *VLÁKNITÉ MIKROMYCETY(plísně),MIKROTOXINY A ZDRAVÍ ČLOVĚKA - Elektronický obchod*. Brno, 2003.
- [46] J. Velisek a J. Hajšlová, *Chemie potravin 2*. 2009.
- [47] Z. Vepřikova *et al.*, „Mycotoxins in Plant-Based Dietary Supplements: Hidden Health Risk for Consumers”, *J. Agric. Food Chem.*, 2015.
- [48] P. Mohammadi a N. Maghbol-Balasin, „Isolation and molecular identification of deteriorating fungi from cyrus the great tomb stones”, *Iran. J. Microbiol.*, 2014.
- [49] E. Latif, M. Anca Ciupala, C. Wijeyesekera, a O. Malaysia, „The comparative in situ hygrothermal performance of Hemp and Stone Wool insulations in vapour open timber frame wall panels”.
- [50] Z. Rácová, „Povalový strop v klášteře Theatinů na Malé Straně”, České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum., Praha, 2013.
- [51] S. Roaf, D. Crichton, a F. Nicol, „The Failure of ‘Modern Buildings’”, in *Adapting Buildings and Cities for Climate Change*, 2010.
- [52] L. Šilhánková, *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnologie*. Praha: Academia, 2002.
- [53] V. Scholtz, J. Pazlarova, H. Souskova, J. Khun, a J. Julak, „Nonthermal plasma - A tool for decontamination and disinfection”, *Biotechnology Advances*. 2015.
- [54] Z. Rácová, J. Richter, K. Staněk, a P. Ryparová, „Sorption properties and susceptibility to mould growth of wood-based materials used in modern crawl spaces”, in *CESB 2016 - Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future*, 2016.
- [55] „98/8/ES - SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY... | Esipa.cz”, 1998.



- [Online]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31998L0008>. [vid.: 04-úno-2018].
- [56] D. ENV - Environment, „amending Annex III to Regulation (EU) No 528/2012 of the European Parliament and of the Council as regards the information requirements for authorisation of biocidal products (Text with EEA relevance)", 2012.
- [57] W. R. Li, X. B. Xie, Q. S. Shi, H. Y. Zeng, Y. S. Ou-Yang, a Y. Ben Chen, „Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on Escherichia coli", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2010.
- [58] M. A. Radzig, V. A. Nadtochenko, O. A. Koksharova, J. Kiwi, V. A. Lipasova, a I. A. Khmel, „Antibacterial effects of silver nanoparticles on gram-negative bacteria: Influence on the growth and biofilms formation, mechanisms of action", *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 2013.
- [59] E. Masarovicová a K. Králová, „Metal nanoparticles and plants", *Ecol. Chem. Eng. S*, roč. 20, č. 1, s. 9–22, bře. 2013.
- [60] J. Lang, J. Kalbáčová, V. Matějka, a J. Kukutschová, „PREPARATION, CHARACTERIZATION AND PHYTOTOXICITY OF TiO₂ NANOPARTICLES", 2010.
- [61] N. J. Rogers *et al.*, „Physico-chemical behaviour and algal toxicity of nanoparticulate CeO₂ in freshwater", *Environ. Chem.*, roč. 7, č. 1, s. 50, 2010.
- [62] K. Van Hoecke, K. A. C. De Schampheleere, P. Van Der Meeren, S. Lucas, a C. R. Janssen, „Ecotoxicity of silica nanoparticles to the green alga *Pseudokirchneriella subcapitata*: Importance of surface area", *Environ. Toxicol. Chem.*, roč. 27, č. 9, s. 1948–1957, 2008.
- [63] I. M. Sadiq, S. Pakrashi, N. Chandrasekaran, a A. Mukherjee, „Studies on toxicity of aluminum oxide (Al₂O₃) nanoparticles to microalgae species: *Scenedesmus* sp. and *Chlorella* sp.", *J. Nanoparticle Res.*, roč. 13, č. 8, s. 3287–3299, srp. 2011.
- [64] M. Parizek *et al.*, „Nanofibrous poly(lactide-co-glycolide) membranes loaded with diamond nanoparticles as promising substrates for bone tissue engineering", *Int. J. Nanomedicine*, roč. 7, s. 1931–1951, 2012.
- [65] Státní zdravotní ústav, „Vybrané definice, SZÚ". [Online]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/vybrane-definice>. [vid.: 10-úno-2019].
- [66] H. W. Rossmore, „Introduction to biocide use", in *Handbook of Biocide and Preservative Use*, Dordrecht: Springer Netherlands, 1995, s. 1–18.
- [67] „Typy přípravků - ECHA". [Online]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/regulations/biocidal-products-regulation/product->



types. [vid.: 07-zář-2018].

- [68] E. Schmitz-Felten, „Occupational exposure to biocides (disinfectants and metal working fluids) - OSHWiki". [Online]. Dostupné z: [https://oshwiki.eu/wiki/Occupational_exposure_to_biocides_\(disinfectants_and_metal_working_fluids\)](https://oshwiki.eu/wiki/Occupational_exposure_to_biocides_(disinfectants_and_metal_working_fluids)). [vid.: 07-zář-2018].
- [69] C. a. H. Kegley, S.E., Hill, B.R., Orme S., „Pesticide Action Network", *PAN Pestic. Database*, 2010.
- [70] C. Schweer, „Biocides – risks and alternatives - Challenges and perspectives regarding the handling of biocides in the EU".
- [71] R. J. B. Pinto *et al.*, „Antifungal activity of transparent nanocomposite thin films of pullulan and silver against *Aspergillus niger*", *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 2013.
- [72] N. Perkas, G. Amirian, S. Dubinsky, S. Gazit, a A. Gedanken, „Ultrasound-assisted coating of nylon 6,6 with silver nanoparticles and its antibacterial activity", *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007.
- [73] I. Perelshtein, G. Applerot, N. Perkas, G. Guibert, S. Mikhailov, a A. Gedanken, „Sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their antibacterial activity", *Nanotechnology*, 2008.
- [74] H. Kong a J. Jang, „Antibacterial properties of novel poly(methyl methacrylate) nanofiber containing silver nanoparticles", *Langmuir*, 2008.
- [75] Z. Rácová a P. Ryparová, „Silver inhibition effect of nanoparticles on specific mold group growth", in *NANOCON 2015 - 7th International Conference on Nanomaterials - Research and Application, Conference Proceedings*, 2015.
- [76] P. Ryparová a Z. Rácová, „Biocidal efficiency on consortium algae and bacteria of nanofiber textiles doped by biocide substance", in *NANOCON 2015 - 7th International Conference on Nanomaterials - Research and Application, Conference Proceedings*, 2015.
- [77] A. P. Buckle, C. V. Prescott, a R. Sharples, „Europe’s biocidal products directive: benefits and costs in urban pest management", 2005.
- [78] „EUR-Lex - 32012R0526 - CS - EUR-Lex". [Online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32012R0526>. [vid.: 09-zář-2018].
- [79] D. Ziggers, „Harmonisation needed for biocidal products", 2012. [Online]. Dostupné z: <https://www.allaboutfeed.net/Home/General/2010/6/Harmonisation-needed-for-biocidal-products-AAF011482W/>. [vid.: 10-zář-2018].



- [80] „Základní právní předpisy - biocidy, SZÚ". [Online]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zakladni-pravni-predpisy>. [vid.: 12-zář-2018].
- [81] „Úřední věstník, Právo EU - EUR-Lex". [Online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=cs>. [vid.: 12-pro-2018].
- [82] „SBÍRKA PŘEDPISŮ ČESKÉ REPUBLIKY". [Online]. Dostupné z: <https://www.sbirka.com/>. [vid.: 19-led-2017].
- [83] „Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv - Ministerstvo vnitra České republiky". [Online]. Dostupné z: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>. [Vid.: 02-úno-2020].
- [84] „Portál veřejné správy". [Online]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/portal/podnikani/>. [vid.: 19-led-2017].
- [85] „Nanomateriály podle nařízení o biocidních přípravcích - ECHA". [Online]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/regulations/nanomaterials-under-bpr>. [vid.: 16-dub-2017].
- [86] P. Brandeburová, A. Grenčíková, a T. Mackuľak, „Nano-particles and their ecotoxic effects on the environment", *Chem. List.*, 2019.
- [87] S. Ramakrishna, K. Fujihara, W.-E. Teo, T.-C. Lim, a Z. Ma, *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. 2010.
- [88] P. X. Ma a R. Zhang, „Synthetic nano-scale fibrous extracellular matrix", *J. Biomed. Mater. Res.*, 1999.
- [89] P. Tichá *et al.*, „Determination of surface properties of protective layers based on polymeric nanofibers", in *NANOCON 2016 - Conference Proceedings, 8th International Conference on Nanomaterials - Research and Application*, 2016.
- [90] A. L. Andradý, *Science and Technology of Polymer Nanofibers*. 2007.
- [91] A. Formhals, „Process and apparatus for preparing artificial threads U.S. Patent 1975504 ", 1934.
- [92] S. A. Park, K. Park, H. Yoon, J. G. Son, T. Min, a G. H. Kim, „Apparatus for preparing electrospun nanofibers: Designing an electrospinning process for nanofiber fabrication", *Polymer International*. 2007.
- [93] E. Kuzelova Kostakova, J. Chvojka, S. Nevyhosteny, B. Valapkova, M. Stuchlik, a J. Gregr, „Composite electrospun fibrous structures by different fiber generators", in *NANOCON 2017 - Conference Proceedings, 9th International Conference on Nanomaterials - Research and Application*, 2018.
- [94] G. Taylor, „Electrically Driven Jets", *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, roč. 313, č.



- 1515, s. 453–475, pro. 1969.
- [95] G. C. Rutledge a S. B. Warner, „Electrostatic Spinning and Properties of Ultrafine Fibers.", *Natl. Text. Cent. Annu. Rep.*, 2004.
- [96] P. K. Baumgarten, „Electrostatic spinning of acrylic microfibers", *J. Colloid Interface Sci.*, 1971.
- [97] L. Larrondo a R. S. J. Manley, „ELECTROSTATIC FIBER SPINNING FROM POLYMER MELTS - 1. EXPERIMENTAL OBSERVATIONS ON FIBER FORMATION AND PROPERTIES.", *J. Polym. Sci. Part A-2, Polym. Phys.*, 1981.
- [98] O. Jirsák a T. A. Dao, „Production, Properties and End-Uses of Nanofibres", in *Nanotechnology in Construction 3*, 2009.
- [99] J. Hruža, „Nanovláknenné filtry a jejich použití v sanačních technologiích", 2016.
- [100] Yflow, „Yflow® Coaxial Electrospinning & Electro spraying Technology", 2002. [Online]. Dostupné z: <http://www.yflow.com/technology/>. [vid.: 12-kvě-2018].
- [101] M. Ye, P. Mohanty, a G. Ghosh, „Morphology and properties of poly vinyl alcohol (PVA) scaffolds: Impact of process variables", *Mater. Sci. Eng. C*, 2014.
- [102] S. G. Cao, Z. F. Liu, B. H. Hu, a H. Q. Liu, „Stabilization of electrospun poly(Vinyl Alcohol) nanofibrous mats in aqueous solutions", *Chinese J. Polym. Sci. (English Ed.)*, 2010.
- [103] A. Çay, M. Miraftab, a E. Perrin Akçakoca Kumbasar, „Characterization and swelling performance of physically stabilized electrospun poly(vinyl alcohol)/chitosan nanofibres", *Eur. Polym. J.*, roč. 61, s. 253–262, 2014.
- [104] M. Havrlik a P. Ryparová, „Protection of wooden materials against biological attack by using nanotechnology", *Acta Polytech.*, roč. 55, č. 2, s. 101–108, 2015.
- [105] J. Chen a C. sun Poon, „Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications", *Build. Environ.*, 2009.
- [106] A. Fujishima a X. Zhang, „Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches", *Comptes Rendus Chimie*. 2006.
- [107] J. M. Herrmann, „Heterogeneous photocatalysis: Fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants", *Catal. Today*, 1999.
- [108] S. Malato, P. Fernández-Ibáñez, M. I. Maldonado, J. Blanco, a W. Gernjak, „Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends", *Catalysis Today*. 2009.
- [109] A. Fujishima, K. Hashimoto, a T. Watanabe, *TiO₂ photocatalysis : fundamentals and applications*. BKC, 1999.



- [110] M. Trojan, P. Kalenda, a Z. Šolc, *Technologie anorganických pigmentů : Určeno pro posl. VŠCHT v Pardubicích*. Vysoká škola chemicko-technologická, 1992.
- [111] Z. Šolc, *Speciální anorganické pigmenty I: podklady pro přednášky, semináře a laboratorní cvičení z předmětů: „Teoretické základy výroby pigmentů a práškových materiálů“ a „Technologie výroby pigmentů a práškových materiálů“*, 1. vyd. VŠCHT, 1987.
- [112] V. KLABAN, *Ekologie mikroorganismů*, 1. vyd. Praha: Galén, 2011.
- [113] Česká farmaceutická společnost ČLS JEP. Sekce lékárenství., Solen (vydavatelství), a Česká farmaceutická společnost ČLS JEP. Sjezd., *Praktické lékárenství - ... kongres praktického lékárenství : Regionální centrum Olomouc ...* Solen, 2007.
- [114] K. Mencl, „Medvik: Je možné ovlivnit dermatomykózy ekologicky?“, 2002. [Online]. Dostupné z: <https://www.medvik.cz/bmc/link.do?id=bmc02011143>. [vid.: 27-pro-2018].
- [115] N. Benhamou, G. le Floch, J. Vallance, J. Gerbore, D. Grizard, a P. Rey, „Pythium oligandrum: An example of opportunistic success“, *Microbiology (United Kingdom)*. 2012.
- [116] Adam. M. a Dick. M., *Food microbiology : an introduction*. Scientific International Pvt. Ltd, 2014.
- [117] J. Deacon a J. Deacon, „Fungal Structure and Ultrastructure“, in *Fungal Biology*, 2013.
- [118] G. B. Fincher, W. H. Sawyer, a B. A. Stone, „Chemical and physical properties of an arabinogalactan peptide from wheat endosperm“, *Biochem. J.*, 1974.
- [119] M. W. Dick, „The Peronosporomycetes“, in *Systematics and Evolution*, Springer Berlin Heidelberg, 2001, s. 39–72.
- [120] J. Gerbore *et al.*, „Biological control of plant pathogens: Advantages and limitations seen through the case study of Pythium oligandrum“, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, roč. 21, č. 7, s. 4847–4860, 2014.
- [121] A. K. Al-Rawahi a J. G. Hancock, „Rhizosphere competence of Pythium oligandrum“, *Phytopathology*, 1997.
- [122] D. Veselý, „Studies of the mycoparasitism in rhizosphere of emerging sugar-beet.“, *Zentralbl. Bakteriol. Naturwiss.*, 1978.
- [123] D. Veselý, „Relation of Pythium oligandrum Drechsler to bacteria, Actinomyces, and several fungi inhabiting the rhizosphere of the emerging sugar-beet.“, *Zentralbl. Bakteriol. Naturwiss.*, 1978.



- [124] „BARD, s.r.o. - Bio Agens Research and Development | VÝROBKY". [Online]. Dostupné z: <https://www.pythium.eu/pages.php?language=cs&mid=6c203224-d272-47aa-8863-8c9ad38cf58b>. [vid.: 04-dub-2018].
- [125] M. Načeradská, K. Mencl, a E. Zálabská, „Léčba dermatofytózy pomocí pythium oliganrum-kazuistika therapy of dermatophytosis by means of Pythium oligandrum - a case report", 2011.
- [126] J. W. Deacon, „Studies on Pythium oligandrum, an aggressive parasite of other fungi", *Trans. Br. Mycol. Soc.*, roč. 66, č. 3, s. 383–391, čer. 1976.
- [127] „Active Substance | Biopreparaty". [Online]. Dostupné z: <https://biopreparaty.eu/active-substance>. [vid.: 04-dub-2018].
- [128] A. M. Lodhi, S. Shahzad, a A. Ghaffar, „A new report of Pythium oligandrum from Pakistan", *Pakistan J. Bot.*, 2005.
- [129] J. Deacon a J. Deacon, „Differentiation and Development", in *Fungal Biology*, 2013.
- [130] M. Sedlářová a M. Vašutová, „Oomycota - houby vaječné, výukové materiály; Katedra botaniky PŘF UP v Olomouci", *Atlas houbových organismů*, 2007. [Online]. Dostupné z: <http://old.botany.upol.cz/atlas/system/oomycota.php>. [vid.: 04-dub-2018].
- [131] K. Pagoch, J. N. Srivastava, a A. K. Singh, „Damping-off disease of seedlings in solanaceous vegetables: Current status and disease management", in *Recent Advances in the Diagnosis and Management of Plant Diseases*, 2015.
- [132] „Polyversum 5g | Bakterie a enzymy - polyversum, biogarden, chytrá houba | Bakterie a enzymy". [Online]. Dostupné z: <https://www.bakterie-enzymy.cz/polyversum-5g>. [vid.: 08-dub-2018].
- [133] s. r. o. Bio Agens Research and Development - BARD, „Pythium oligandrum | Vet-pythium.eu - veterinární přípravky Ecosin a Dermasin oil". [Online]. Dostupné z: <https://www.vet-pythium.eu/cs/pythium-oligandrum/>. [vid.: 08-dub-2018].
- [134] R. a. Samson, J. Houbraeken, U. Thrane, J. C. Frisvad, a B. Andersen, „Food and Indoor Fungi", *CBS Lab. Man. Ser.*, s. 375–377, 2010.
- [135] P. Ryparová, „Stanovení antimikrobiálního charakteru materiálů s ohledem na nové trendy ve stavebnictví: isertační práce", 2017.
- [136] D. Haas *et al.*, „Comparison of background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria", *Atmos. Environ.*, roč. 98, s. 640–647, zář. 2014.
- [137] „ČSN 73 0540-2 (730540) - Technické normy ČSN". [Online]. Dostupné



- z: http://www.technicke-normy-csn.cz/730540-csn-73-0540-2_4_15848.html. [vid.: 12-říj-2018].
- [138] ISO 846, „Plastics — Evaluation of the action of microorganisms Plastics", *Int. Stand.*, 1998.
- [139] J. Mleziva a J. Šňupárek, *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití (Polymers - Production, Structure, Properties and Applications)*. Praha: Sabotáles, 2000.
- [140] V. Ducháček, *Polymers: production, properties, processing, use.*, 2nd vyd. Prague: ICT Prague Press, 2006.
- [141] A. Pedicini a R. J. Farris, „Mechanical behavior of electrospun polyurethane", *Polymer (Guildf)*., roč. 44, č. 22, s. 6857–6862, říj. 2003.
- [142] X. Wang, X. Chen, K. Yoon, D. Fang, B. S. Hsiao, a B. Chu, „High flux filtration medium based on nanofibrous substrate with hydrophilic nanocomposite coating", *Environ. Sci. Technol.*, 2005.
- [143] B. Ding, J. Kim, Y. Miyazaki, a S. Shiratori, „Electrospun nanofibrous membranes coated quartz crystal microbalance as gas sensor for NH₃ detection", *Sensors Actuators, B Chem.*, 2004.
- [144] W. J. Li, C. T. Laurencin, E. J. Caterson, R. S. Tuan, a F. K. Ko, „Electrospun nanofibrous structure: A novel scaffold for tissue engineering", *J. Biomed. Mater. Res.*, 2002.
- [145] J. Ayutsede, M. Gandhi, S. Sukigara, M. Micklus, H. E. Chen, a F. Ko, „Regeneration of Bombyx mori silk by electrospinning. Part 3: Characterization of electrospun nonwoven mat", *Polymer (Guildf)*., 2005.
- [146] Z. Ráčová, R. Wasserbauer, a P. Ryparová, *Microscopic filamentous fungi in buildings, preventing their occurrence and their remediation using nanofibers*, roč. 649. 2013.
- [147] P. Ryparová a Z. Ráčová, „The occurrence of mold in construction materials before inbuilt into new building and protection against this type of biodegradation", in *Key Engineering Materials*, 2016.
- [148] P. Ryparová, R. Wasserbauer, a Z. Ráčová, „The Cause of Occurrence of Microorganisms in Civil Engineering and the Dangers Associated with their Growth", in *Procedia Engineering*, 2016, roč. 151.
- [149] A. Mills *et al.*, „A simple, inexpensive method for the rapid testing of the photocatalytic activity of self-cleaning surfaces", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 2013.
- [150] A. Mills *et al.*, „Photocatalytic activity indicator inks for probing a wide range of

- surfaces", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 2014.
- [151] P. Šulcová, *Vlastnosti anorganických pigmentů a metody jejich hodnocení*, 2. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, katedra anorganické technologie, 2008.
- [152] I. 27447:2009(E), „Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test method for antibacterial activity of semiconducting photocatalytic materials", *Int. Stand.*, 2009.
- [153] Z. Ráčová, M. Baudys, J. Krýsa, P. Tichá, a P. Demo, „Inactivation of aspergillus Niger on paints containing ZnO", in *NANOCON 2018 - Conference Proceedings, 10th Anniversary International Conference on Nanomaterials - Research and Application*, 2019.
- [154] L. Hochmannova a J. Vytrasova, „Photocatalytic and antimicrobial effects of interior paints", *Progress in Organic Coatings*. 2010.
- [155] D. Sardella, R. Gatt, a V. P. Valdramidis, „Physiological effects and mode of action of ZnO nanoparticles against postharvest fungal contaminants", *Food Res. Int.*, roč. 101, s. 274–279, lis. 2017.
- [156] spol. s r. o. BIOPREPARÁTY, „BIOPEL® - biopreparáty proti plísním". [Online]. Dostupné z: <https://www.biorepel.cz/cs/>. [vid.: 25-úno-2018].
- [157] R. Rezende, P. Bártolo, A. Mendes, a R. Filho, „Experimental Characterisation of the Alginate Gelation Process for Rapid Prototyping", *eight Int. Conf. Chem. Process Eng.*, 2007.



Seznam obrázků

Obr. 1 Problematická místa s výskytem plísní v bytovém domě.....	14
Obr. 2 Biodegradace gotické omítky kostela sv. Jakuba v Prachaticích v místě konzoly, která při dešti vytváří podmínky pro rozstříkávání vody a tím optimální podmínky pro růst mechů, řas a lišejníků. Okolní plochy vykazují známky značného stupně odvápnění (Jiří Hošek).....	18
Obr. 3 Severozápadní fasáda bytového domu v Litvínově s výskytem biofilmu tvořeným plísněmi, řasami a bakteriemi	25
Obr. 4 Příklad aeroskopu (Merck millipore).....	26
Obr. 5 Oblasti budovy s největší aktivitou biodegradačních činitelů [16](Wasserbauer, 2000)	29
Obr. 6 Schéma biodeterioračního působení nižších organismů na stavební kámen konstrukční prvky staveb. Na ose x je hloubka, do které pronikají mikroorganismy a ve které působí korozivně, osa y znázorňuje čas a průběh sukcese mikroorganismů a osidlování povrchu kamene různými rostlinnými formami. Šipky naznačují průběh vztlínání vody do zdíva a tvorbu deskové koroze. Spodní část zaznamenává chemické a biologické procesy v základové spáře stavebních objektů [16]	31
Obr. 7 Pohled na zdegradovaný povrch ploché střechy s asfaltovými pásy, bytový dům v Litvínově	32
Obr. 8 Schéma výroby nanovláknité textilie metodou NANOSPIDER [99].....	46
Obr. 9 Princip fotokatalýzy	48
Obr. 10 Příklad změny kontaktního úhlu na tenké transparentní vrstvě TiO ₂ před a po ozáření (Michal Baudys).....	49
Obr. 11 Příklad komerčního fotokatalyticky aktivního nátěru TORA-STO	49
Obr. 12 Vývojový cyklus <i>P. oligandrum</i> [131].....	52
Obr. 13 Pohled na zygomycetu <i>Pythium oligandrum</i> [133]	53
Obr. 14 Pohled na misky po kultivaci plísní ze vzduchu získaných spadovou metodou	55
Obr. 15 Mikroskopický snímek plísní izolovaných z ovzduší; vlevo <i>Cladosporium</i> sp., vpravo <i>Fusarium</i> sp.	55
Obr. 16 Sestava experimentu	57
Obr. 17 Procentuální pokrytí vzorku myceliem u materiálů bez ošetření	59
Obr. 18 Poměrné zastoupení kmenů plísní na jednotlivých vzorcích	60
Obr. 19 Sádroláknitá deska v 5. (vlevo) a v 16. dni (vpravo) od počátku experimentu	61
Obr. 20 Studované deskové materiály; řazení zleva doprava odpovídá číslování uvedenému v tabulce 7	62
Obr. 21 Pohled na skříňové exsikátory.....	63
Obr. 22 Vzorky po 30 dnech v RH 97 %; zleva OSB deska 16 mm, dřevovláknitá deska 22 mm, dřevovláknitá deska DHF 15 mm.....	65

Obr. 23 Graf procentuálního pokrytí vzorků v 97 % relativní vlhkosti vzduchu myceliem plísní	65
Obr. 24 Pohled na fasády bytových domů s naznačenými místy odběru vzorků	67
Obr. 25 Vzorky obrusů a výřezů z omítkových souvrství z lokality Chomutov - Jirkov	67
Obr. 26 IR spektra standardů pojiv v omítkách – srovnávací křivky	69
Obr. 27 Vzorek č. 6 z Čelákovic; vlevo po kultivaci, vpravo mikroskopický snímek výřezu omítky s biofilmem	69
Obr. 28 Pohled na vzorky tepelných izolací; zleva konopný beton, len, ovčí vlna, dřevovláknno	75
Obr. 29 Nanospider TM LB 500.....	77
Obr. 30 Zvlákňování pomocí zařízení Nanospider TM LB 500; vlevo proces zvlákňování, vpravo nanovláknitá textilie na nosném PP spunbondu	78
Obr. 31 Schéma přípravy zkušebních vzorků pro zkoušku pevnosti v tahu [87]	79
Obr. 32 Závislost tuhosti na plošné hmotnosti studovaných PVA nanovláknitých textilií.....	80
Obr. 33 Závislost pevnosti v tahu na plošné hmotnosti studovaných PVA nanovláknitých textilií	81
Obr. 34 Plíseň <i>Aspergillus terreus</i> s aplikovanými nanotextiliemi po dvou (vlevo) a čtyřech (vpravo) dnech po aplikaci; PVA, I až VI nanotextilie s ionty mědi.....	83
Obr. 35 Plísně <i>Aspergillus niger</i> (vlevo), <i>Aspergillus niger</i> a <i>Penicillium</i> (uprostřed), <i>Aspergillus niger</i> a <i>Alternaria alternata</i> (vpravo) s aplikovanými nanotextiliemi po čtyřech dnech po aplikaci; PVA, I až VI nanotextilie s ionty stříbra.....	84
Obr. 36 Fotografie misky s dřevěnými vzorky obalenými nanovláknitými textiliemi 7. den od počátku experimentu.....	87
Obr. 37 Fotografie misky s dřevěnými vzorky obalenými nanovláknitými textiliemi 11. den od počátku experimentu.....	87
Obr. 38 Schéma redukce barviva resazurinu na resofurin.....	89
Obr. 39 Soustava pro měření fotokatalytické aktivity nátěrů.....	90
Obr. 40 Záznam obrazu povrchu vzorků po barevné přeměně resazurinového vzorku na fotokatalyticky aktivním povrchu (aktivní vzorky – růžová barva, referenční vzorky – modrá barva, nedochází k barevné přeměně).....	91
Obr. 41 Závislost normalizovaného červeného kanálu na čase expozice s vyznačeným výpočtem 90 %-ní barevné přeměny.....	91
Obr. 42 Měření změny barevnosti - kolorimetr CR-400 Konica Minolta	92
Obr. 43 Barevný prostor L*a*b*	92
Obr. 44 Průběh červeného kanálu v závislosti na době expozice UV zářením	94
Obr. 45 Průběh fotokatalytického experimentu v čase – nátěr s obsahem TiO ₂	95
Obr. 46 Samočisticí schopnost testovaných nátěrů v čase.....	97
Obr. 47 Porovnání nátěru s obsahem TiO ₂ (vlevo) s referenčním nátěrem (vpravo) po osmiměsíční expozici	97
Obr. 48 Schéma postupu antibakteriální studie	98
Obr. 49 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem TiO ₂ za expozice UV záření.....	100



Obr. 50 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem TiO_2 za tmy	100
Obr. 51 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem ZnO za expozice UV záření	100
Obr. 52 Antibakteriální testy na nátěrech s obsahem ZnO za tmy	101
Obr. 53 Fotografie vzorků nátěrů bez inokulace; zleva referenční nátěr, nátěr s TiO_2 a nátěr s ZnO	102
Obr. 54 Fotografie vzorků nátěrů s inokulací po 14-denní kultivaci; zleva referenční nátěr, nátěr s TiO_2 a nátěr s ZnO	102
Obr. 55 Velkokapacitní třepací inkubátor pro kultivaci <i>Pythium oligandrum</i>	104
Obr. 56 Struktura alginátu; vlevo kyselina β -D-mannuronová, vpravo kyselina α -L-glukuronová [157]	107
Obr. 57 <i>P. oligandrum</i> na misce S PDA (vlevo), ve formě gelových kuliček (uprostřed) a ve formě pelet v médiu připraveném z kukuřičného škrobu (vpravo)	107
Obr. 58 Výsledek biocidní studie vzorků P (dole) a O (nahore); vlevo misky s <i>Penicillium</i> sp. a vpravo s <i>Aspergillus brasiliensis</i>	109
Obr. 59 Fotografie vzorku z dřevovlákná sanovaného aplikací <i>P. oligandrum</i> a detailní pohled	111
Obr. 60 Fotografie vzorku z konstrukčního sádrokartonu sanovaného aplikací <i>P. oligandrum</i>	111
Obr. 61 Fotografie stěny s nárůstem plísní před aplikací (vlevo) a po aplikaci <i>P. oligandrum</i> (vpravo)	112
Obr. 62 Fotografie monitorované stěny 30 měsíců po aplikaci <i>P. oligandrum</i>	112

Seznam tabulek

Tab. 1 Tabulka porovnání jednotlivých metod výroby nanovláknitých textilií [93].....	44
Tab. 2 Testované deskové materiály pro experiment Vystavení deskových materiálů působení půdních organismů	56
Tab. 3 Testované deskové materiály pro experiment zjištění přítomných plísní	58
Tab. 4 Procentuální část plochy vzorku porostlá plísněmi a pH vzorků.....	59
Tab. 5 Druhová skladba plísní na jednotlivých materiálech	60
Tab. 6 Studované nově pořízené deskové materiály	62
Tab. 7 Plocha vzorku porostlá plísněmi vyjádřená v procentech celkové zkoumané plochy vzorku.....	64
Tab. 8 Dominantní druhy plísní materiálů identifikovaných ze vzorků po 150 dnech v 97 % relativní vlhkosti vzduchu	65
Tab. 9 Výsledky laboratorní analýzy vzorků obrusů omítek; fasády očištěné před instalací izolantu jsou označeny *	70
Tab. 9 – pokračování Výsledky laboratorní analýzy vzorků obrusů omítek.....	71
Tab. 9 – pokračování Výsledky laboratorní analýzy vzorků obrusů omítek.....	72
Tab. 10 Výsledky laboratorní analýzy vzorků výřezů omítek.....	72
Tab. 11 Příklad tepelně izolačních materiálů	74
Tab. 12 Hodnocení růstu plísní	75
Tab. 13 Výsledky monitoringu růstu plísní na tepelných izolacích v čase	76
Tab. 14 Označení vzorků v závislosti na zvolené metodě stabilizace nanovláken.....	85
Tab. 15 Stupnice hodnocení růstu plísní na vzorcích dřeva obalených nanovláknitými textiliemi	85
Tab. 16 Hodnocení růstu plísní na povrchu vzorků v čase	86
Tab. 17 Barevná změna resazurinového inkoustu na vzorku nátěru s obsahem ZnO.....	93
Tab. 18 Barevné změny resazurinového inkoustu na nátěru s obsahem ZnO.....	94
Tab. 19 Barevné změny resazurinového inkoustu na nátěru s obsahem TiO ₂	95
Tab. 20 Výsledek kvalitativního testu – nátěr s obsahem TiO ₂	95
Tab. 20 – pokračování Výsledek kvalitativního testu – nátěr s obsahem TiO ₂	96
Tab. 21 Výsledky hodnocení růstu <i>A. niger</i> na nátěrech s TiO ₂ a ZnO v čase	102
Tab. 22 Výsledky hodnocení růstu plísní v čase.....	105
Tab. 23 Výsledky hodnocení růstu <i>P. oligandrum</i> v čase.....	105
Tab. 24 Výsledky hodnocení nárůstu modelových organismů	108



Publikace autora

- (1) BURGETOVÁ, E.; RÁCOVÁ, Z.; VONKA, M.; KOŘÍNEK, R. Věžové vodojemy – historie a stavebně technické průzkumy. TZB info. 2019, ISSN 1801-4399.
- (2) RÁCOVÁ, Z. a Š. ŠILAROVÁ. Biologická degradace tepelných izolací. In: STERNOVÁ, Z., ed. Zborník odborných referátov z 20. medzinárodnej konferencie Tepelná ochrana budov 2019. 20. medzinárodná konferencia Tepelná ochrana budov 2019, Vysoké Tatry - Štrbské Pleso, 2019-05-22/2019-05-24. Bratislava: BB Print, s.r.o., 2019. s. 58-61. ISBN 978-80-973356-0-1.
- (3) RÁCOVÁ, Z. a P. RYPAROVÁ, eds. CONTEMPORARY MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN CIVIL ENGINEERING 2018. Praha, 2018-06-13. Praha: Czech Technical University in Prague, 2019. Acta Polytechnica CTU Proceedings. sv. 21. ISSN 2336-5382. ISBN 978-80-01-06547-1. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/issue/view/668>
- (4) RÁCOVÁ, Z. et al. Inactivation of *Aspergillus Niger* on Paints Containing ZnO. In: NANOCON 2018 Conference Proceedings. NANOCON 2018 - 10th Anniversary International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Hotel Voronez I, Brno, 2018-10-17/2018-10-19. Ostrava: Tanger Ltd., 2018. s. 142-145. ISBN 978-80-87294-89-5.
- (5) ŽÁKOVÁ, H. et al. Effect of Bacteria *Bacillus pseudofirmus* and Fungus *Trichoderma reesei* on Self-healing Ability of Concrete. In: RÁCOVÁ, Z. a P. RYPAROVÁ, eds. CONTEMPORARY MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN CIVIL ENGINEERING 2018. Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018, Praha, 2018-06-13. Praha: Czech Technical University in Prague, 2019. s. 42-45. Acta Polytechnica CTU Proceedings. sv. 21. ISSN 2336-5382. ISBN 978-80-01-06547-1. DOI 10.14311/APP.2019.21.0042.
- (6) RÁCOVÁ, Z. a M. MAREK. *Pythium oligandrum* a jeho růst na stavebních materiálech. In: RÁCOVÁ, Z. a M. SOKOLOVÁ, eds. Sborník konference Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018. Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018, Praha, 2018-06-13. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, 2018. s. 15-16. ISBN 978-80-01-06485-6.
- (7) ŽÁKOVÁ, H. et al. Vliv bakterie *Bacillus pseudofirmus* a plísně *Trichoderma reesei* na samohojitelnost betonu. In: RÁCOVÁ, Z. a M. SOKOLOVÁ, eds. Sborník konference Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018. Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018, Praha, 2018-06-13. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, 2018. s. 5-6. ISBN 978-80-01-06485-6.
- (8) RÁCOVÁ, Z., P. DEMO a F. PUDIL. Wooden Houses Insulation and Its Protection against Mold by Nanoparticles. In: NANOCON 2017 Conference Proceedings. 9 th International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Brno, 2017-10-18/2017-10-20. Ostrava: Tanger Ltd., 2018. s. 236-240. ISBN 978- 80-87294-81-9.
- (9) TICHÁ, P. et al. Hydrophobic and Biocidal Properties of Electrospun SiO₂ Nanofibers. In: NANOCON 2017 Conference Proceedings. 9 th International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Brno, 2017-10-18/2017-10-20. Ostrava: Tanger Ltd., 2018. s. 206-211. ISBN 978-80-87294-81-9.
- (10) RÁCOVÁ, Z. a M. SOKOLOVÁ, eds. Sborník konference Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018 Praha, 2018-06-13. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb, 2018. ISBN 978- 80-01-06485-6.



- (11) RYPAROVÁ, P., Z. RÁCOVÁ a L. BALÍK. Metodika stanovení nutnosti oprav vnějších fasád systémů ETICS vlivem výskytu mikroorganismů. In: Sanace a rekonstrukce staveb 2017. Sanace a rekonstrukce 2017, Praha, 2017-11-23/2017-11-24. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky WTA CZ, 2017. s. 21-27. ISBN 978-80-01-06347-7.
- (12) PROŠEK, Z. et al. Microanalysis of Interfacial Transition Zone between Surface Modified Polymeric Fibers and Cement Matrix. In: Nanotech / Biotech / Surtech Middle East 2017. Nanotech Middle East 2017 Conference, Dubai, 2017-12-04/2017-12-06. Dubai: Science, Engineering, Technology Conferences Organisers, 2017.
- (13) TICHÁ, P. et al. Hydrophobic and Biocidal Properties of Electrospun SiO₂ Nanofibers. In: NANOCON 2017 ABSTRACTS. 9th International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Hotel Voronez, Brno, Czech Republic, EU, 2017-10-18/2017-10-20. Ostrava: TANGER, 2017. ISBN 978-80-87294-78-9.
- (14) RÁCOVÁ, Z., P. DEMO a F. PUDIL. Wooden Houses Insulation and Its Protection against Mold by Nanoparticles. In: NANOCON 2017 ABSTRACTS. 9th International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Hotel Voronez, Brno, Czech Republic, EU, 2017-10-18/2017-10-20. Ostrava: TANGER, 2017. ISBN 978-80-87294-78-9.
- (15) RÁCOVÁ, Z. a Š. ŠILAROVÁ. Mikroorganismy v omítkových souvrstvích kontaktních zateplovacích systémů. In: STERNOVÁ, Z., ed. Zborník odborných referátov z 19. medzinárodnej konferencie Tepelná ochrana budov 2017 Quo vadis tepelná ochrana budov. Tepelná ochrana budov 2017, Vysoké Tatry - Štrbské Pleso, 2017-05-25/2017-05-26. Bratislava: BB Print, s.r.o., 2017. s. 84-87. ISBN 978-80-89627-07-3.
- (16) RÁCOVÁ, Z., P. TICHÁ a P. RYPAROVÁ. The Biocidal Protection of Timber by Polyvinyl Alcohol Nanofiber Textiles Doped by Silver Ions. In: NANOCON 2016 Conference Proceedings. 8th International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Brno, 2016-10-19/2016-10-21. Ostrava: TANGER, 2017. s. 246-250. ISBN 978-80-87294-71-0.
- (17) RÁCOVÁ, Z., P. TICHÁ a P. RYPAROVÁ. The Biocidal Protection of Timber by Polyvinyl Alcohol Nanofiber Textiles Doped by Silver Ions. In: NANOCON 2016 LIST OF ABSTRACTS. 8th International Conference on Nanomaterials - Research & Application, Brno, 2016-10-19/2016-10-21. Ostrava: TANGER, 2016. ISBN 978-80-87294-68-0.
- (18) HOUŠKOVÁ, T., Z. RÁCOVÁ a P. RYPAROVÁ. The Efficiency of PVA Based Nanofiber Textile PVA Doped Silver Particles against Mold. In: RYPAROVÁ, P. a P. TESÁREK, eds. Contemporary Materials and Technologies in Civil Engineering. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016, Praha, 2016-06-15. Curich: Trans Tech Publications, 2017. s. 10-14. 731. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-1138-7. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.731.10
- (19) RÁCOVÁ, Z. a P. RYPAROVÁ. The Dependence of Mold on the Relative Humidity in Different Types of Materials. In: RYPAROVÁ, P. a P. TESÁREK, eds. Contemporary Materials and Technologies in Civil Engineering. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016, Praha, 2016-06-15. Curich: Trans Tech Publications, 2017. s. 98-102. 731. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-1138-7. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.731.98
- (20) RÁCOVÁ, Z. a P. RYPAROVÁ. Závislost výskytu plísní na relativní vlhkosti na různých typech materiálů. In: TESÁREK, P., M. SOMR a V. NEŽERKA, eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016, Praha, 2016-06-15. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. s. 122-127. ISBN 978-80-01-05977-7. Dostupné z: http://vmproceedings.com/conferences/_images-files/2016-nans/NaNS2016.pdf.
- (21) RYPAROVÁ, P. a Z. RÁCOVÁ. Characterisation of Microorganism from Individual Layers of the Building Envelope (ETICS) and Methods of Their Sampling. In: Proceedings of the 17th Conference on the



- Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2015). 17th Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings - CRRB 2015, Praha, 2015-11-12/2015-11-13. Zurich: Trans Tech Publications, 2015. s. 196-200. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03835-719-3. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.714.196
- (22) RYPAROVÁ, P. a Z. RÁCOVÁ. The Occurrence of Mold in Construction Materials before Inbuilt into New Building and Protection against This Type of Biodegradation. In: Proceedings of the 17th Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2015). 17th Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings - CRRB 2015, Praha, 2015-11-12/2015-11-13. Zurich: Trans Tech Publications, 2015. s. 44-50. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03835-719-3. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.714.44
- (23) RYPAROVÁ, P., R. WASSERBAUER a Z. RÁCOVÁ. The Cause of Occurrence of Microorganisms in Civil Engineering and the Dangers Associated with their Growth. In: DRDLOVÁ, M.D., D.K. KUBÁTOVÁ a M.B. BOHÁČ, eds. Ecology and new building materials and products 2016. Černá Hora, 2016-05-31/2016-06-02. Oxford: Elsevier Ltd, 2016. s. 300-305. Procedia Engineering. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.402
- (24) RYPAROVÁ, P. et al. External Thermal Insulation Composite System and Problem with Biodegradation. In: HÁJEK, P. et al., eds. Central Europe towards Sustainable Building 2016 - Innovations for Sustainable Future. Central Europe towards Sustainable Building 2016 Innovations for Sustainable Future, Prague, 2016-06-22/2016-06-24. Praha: GRADA PUBLISHING, 2016. s. 93-94. 1st edition, Prague, June 2016, Complete edition - printed version + Flash disk with full paper version. ISBN 978-80-271-0248-8.
- (25) RÁCOVÁ, Z. et al. Sorption Properties and Susceptibility to Mould Growth of Wood-Based Materials Used in Modern Crawl Spaces. In: HÁJEK, P. et al., eds. Central Europe towards Sustainable Building 2016 - Innovations for Sustainable Future. Central Europe towards Sustainable Building 2016 Innovations for Sustainable Future, Prague, 2016-06-22/2016-06-24. Praha: GRADA PUBLISHING, 2016. s. 1264-1271. 1st edition, Prague, June 2016, Complete edition - printed version + Flash disk with full paper version. ISBN 978-80-271-0248-8.
- (26) RÁCOVÁ, Z. a P. RYPAROVÁ. Silver Inhibition Effect of Nanoparticles on Specific Mold Group Growth. In: NANOCON 2015: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOMATERIALS - RESEARCH & APPLICATION - Conference Proceedings. NANOCON 2015: 7th International Conference on Nanomaterials - Research and Application, Brno, 2015-10-14/2015-10-16. Ostrava: Tanger, 2015. s. 337-341. ISBN 978-80-87294-63-5.
- (27) RYPAROVÁ, P. a Z. RÁCOVÁ. Biocidal Efficiency on Consortium Algae and Bacteria of Nanofiber Textiles Doped by Biocide Substance. In: NANOCON 2015: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOMATERIALS - RESEARCH & APPLICATION - Conference Proceedings. NANOCON 2015: 7th International Conference on Nanomaterials - Research and Application, Brno, 2015-10-14/2015-10-16. Ostrava: Tanger, 2015. s. 276-281. ISBN 978-80-87294-63-5.
- (28) RÁCOVÁ, Z. a P. RYPAROVÁ. Silver Inhibition Effect of Nanoparticles on Specific Mold Group Growth. In: NANOCON 2015, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE. Nanocon 2015 7th International Conference, Brno, 2015-10-14/2015-10-16. Ostrava: Tanger, 2015. s. 337. 1st Edition, 2015. ISBN 978-80-87294-59-8.
- (29) RYPAROVÁ, P. a Z. RÁCOVÁ. Biocidal Efficiency on Consortium Algae and Bacteria of Nanofiber Textiles Doped by Biocide Substance. In: NANOCON 2015, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE. Nanocon 2015 7th International Conference, Brno, 2015-10-14/2015-10-16. Ostrava: Tanger, 2015. 1st Edition, 2015. ISBN 978-80-87294-59-8.
- (30) WASSERBAUER, R., Z. RÁCOVÁ a I. LOUŠOVÁ. Vliv společenstva řas a bakterií na tvorbu korozivně aktivních sloučenin, které degradují silikátové stavební materiály. Chemické listy. 2015, 109 718-721. ISSN 0009-2770.



- (31) RYPAROVÁ, P., J. TREJBAL a Z. RÁCOVÁ. Biocidní účinnost nanočástic stříbra na vybrané plísně nacházející se v ovzduší okolo UCEEBu. In: Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015. Praha, 2015-06-11. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 2015. s. 68-72. ISBN 978-80-01-05767-4.
- (32) RÁCOVÁ, Z., P. ČERNOHORSKÁ a P. RYPAROVÁ. Mikroskopické vláknité houby vnášené na stavbu se stavebním materiálem. In: Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015. Praha, 2015-06-11. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 2015. s. 62-67. ISBN 978-80-01-05767-4.
- (33) ČERNOHORSKÁ, P., Z. RÁCOVÁ a P. RYPAROVÁ. Preventivní ochrana před dřevokaznými houbami pomocí nanotechnologií. In: Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015. Praha, 2015-06-11. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 2015. s. 5-10. ISBN 978-80-01-05767-4.
- (34) RYPAROVÁ, P. et al. Evaluation Biocidal Effect of Nanofiber Textiles Prepared Based on PVA and Biocidal Compounds Against Mold and Wood Decaying Fungi. In: NANOCON 2014, 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE. Nanocon 2014 6th International Conference, Brno, 2014-11-05/2014-11-07. Ostrava: Technická universita Ostrava - Vysoká škola báňská, 2015. s. 496-500. ISBN 978-80-87294-53-6.
- (35) PROŠEK, Z. et al. Influence of incorporated nanodiamond particles on mechanical properties of composite material based on multi-layer pva nanofiber textiles. In: NANOCON 2014, 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE. Nanocon 2014 6th International Conference, Brno, 2014-11-05/2014-11-07. Ostrava: Technická universita Ostrava - Vysoká škola báňská, 2015. s. 452-456. ISBN 978-80-87294-53-6.
- (36) WASSERBAUER, R., Z. RÁCOVÁ a I. LOUŠOVÁ. The Occurrence of Cyanobacteria and Green Algae on Facades of Historical Sacral Buildings. In: DRDLOVÁ, M., M. NEJEDLÝ a L. SMETANOVÁ, eds. Ecology and New Building Materials and Products 2014. Černá Hora, 2014-06-03/2014-06-05. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., 2014. s. 243-246. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03835-188-7. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1000.243.
- (37) RÁCOVÁ, Z. et al. Performance of Stabilized and Non-Stabilized PVA Nanofiber Textiles Subjected to Tension. In: Applied Mechanics and Materials. 51st Conference on Experimental Stress Analysis, Litoměřice, 2013-06-11/2013-06-13. Uetikon-Zurich: Trans Tech Publications, 2014. s. 119-122. ISSN 1660-9336. ISBN 978-3-03785-977-3. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.732.119.
- (38) PROŠEK, Z. et al. Influence of incorporated nanodiamond particles on mechanical properties of composite material based on multi-layer pva nanofiber textiles. In: NANOCON 2014 Conference Proceedings. 6. ročník mezinárodní konference Nanocon, Brno, 2014-11-05/2014-11-07. Ostrava: Technická universita Ostrava - Vysoká škola báňská, 2014. ISBN 978-80-87294-55-0.
- (39) WASSERBAUER, R., Z. RÁCOVÁ a E. BURGETOVÁ. The Effect of the Flood in 2002 on Microflora of the Sandstone Blocks of Charles Bridge in Prague. In: Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2014). Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings, Brno, 2014-11-05/2014-11-06. Uetikon-Zurich: Trans Tech Publications Inc., 2015. s. 55-58. ISBN 978-3-03835-506-9. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1122.55.
- (40) RÁCOVÁ, Z. et al. Mechanical Properties of Stabilized and Non-Stabilized Poly(vinyl-alcohol) Nanofiber Textiles. In: Experimental Stress Analysis 2014. 52nd conference on experimental stress analysis, Mariánské Lázně, 2014-06-02/2014-06-05. Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., 2014. ISBN 978-80-261-0376-9.
- (41) INDROVÁ, K. et al. Nanočástice diamantu: Vliv inkorporovaných částic na makromechanické vlastnosti nanotextilií na bázi polyvinylalkoholu. In: NEŽERKA, V. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2014. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví, Praha, 2014-06-12. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. s. 67-72. ISBN 978-80-01-05512-0.



- (42) ČABLOVÁ, J., Z. RÁCOVÁ a R. WASSERBAUER. Zkoumání a prevence biodegradačních vlivů v „crawl space“ dřevostaveb. In: NEŽERKA, V. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2014. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví, Praha, 2014-06-12. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. s. 30-34. ISBN 978-80-01-05512-0.
- (43) BURKOVIČ, M., Z. RÁCOVÁ a R. WASSERBAUER. Využití bakterií na remediaci trhlin v betonu. In: NEŽERKA, V. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2014. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví, Praha, 2014-06-12. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. s. 25-29. ISBN 978-80-01-05512-0.
- (44) RÁCOVÁ, Z. et al. Porovnání účinku jednotlivých složek biocidního přípravku aplikovaných ve formě nanovláknitých textilií. In: NEŽERKA, V. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2014. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví, Praha, 2014-06-12. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. s. 121-127. ISBN 978-80-01-05512-0.
- (45) HROCHOVÁ, P., Z. RÁCOVÁ a P. RYPAROVÁ. Treatment of Timber by Nanofiber Fabric with Biocide Compound. In: DRDLOVÁ, M., M. NEJEDLÝ a L. SMETANOVÁ, eds. Ecology and New Building Materials and Products 2014. Černá Hora, 2014-06-03/2014-06-05. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., 2014. s. 154-157. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03835-188-7. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1000.154.
- (46) HROCHOVÁ, P., P. RYPAROVÁ a Z. RÁCOVÁ. Preventivní ochrana před dřevokaznými houbami pomocí nanotechnologií. In: NEŽERKA, V. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2014. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví, Praha, 2014-06-12. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. s. 61-66. ISBN 978-80-01-05512-0.
- (47) NEŽERKA, V. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2014. Praha, 2014-06-12. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05512-0.
- (48) BÍLÝ, P. et al. Effect of Titanium-Dioxide-Enriched Nanotextiles on Cementitious Composite Exposed to Severe Environmental Conditions. In: DRDLOVÁ, M., M. NEJEDLÝ a L. SMETANOVÁ, eds. Ecology and New Building Materials and Products 2014. Černá Hora, 2014-06-03/2014-06-05. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., 2014. s. 215-218. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03835-188-7. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1000.215.
- (49) LIDMILA, M. et al. Utilization of Recycled Fine-ground Concrete from Railway Sleepers for Production of Cement-based Binder. In: Applied Mechanics and Materials. 51st Conference on Experimental Stress Analysis, Litoměřice, 2013-06-11/2013-06-13. Uetikon-Zurich: Trans Tech Publications, 2014. s. 323-326. ISSN 1660-9336. ISBN 978-3-03785-977-3. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.486.323.
- (50) RÁCOVÁ, Z. et al. Influence of Copper Ions on Mechanical Properties of PVA-Based Nanofiber Textiles. In: Applied Mechanics and Materials. 51st Conference on Experimental Stress Analysis, Litoměřice, 2013-06-11/2013-06-13. Uetikon-Zurich: Trans Tech Publications, 2014. s. 201-204. ISSN 1660-9336. ISBN 978-3-03785-977-3. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.486.201.
- (51) TOPIČ, J., Z. RÁCOVÁ a P. TESÁREK. KOMPOZITNÍ MATERIÁL NA BÁZI CEMENTU A PVA. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 108-113. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (52) INDROVÁ, K. et al. Využití poznatků z biomedicínského inženýrství při aplikaci nanotechnologií v pozemním stavitelství: úvod do problematiky. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví



- 2013, Praha, 2013-06- 12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 48-53. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (53) RYPAROVÁ, P. et al. Algicidal Properties Nanofibrous Fabrics Doped by Metals. In: Nanocon 2013 5th International Conference. Brno, 2013-10-16/2013-10-18. Ostrava: TANGER, 2014. ISBN 978-80-87294-47-5. Dostupné z: <http://www.nanocon.eu/files/proceedings/14/reports/2092.pdf>.
- (54) RÁCOVÁ, Z. et al. Verification of the Use of PVA Based Nanofiber Textiles as Rehabilitation for the Structures Attack by Wood Decaying Fungi. In: Nanocon 2013 5th International Conference. Brno, 2013-10-16/2013-10- 18. Ostrava: TANGER, 2014. ISBN 978-80-87294-47-5. Dostupné z: <http://www.nanocon.eu/files/proceedings/14/reports/2091.pdf>.
- (55) RÁCOVÁ, Z. et al. Influence of Dispersed Particles on Utility Properties of Polyvinyl Alcohol-Based Nanotextiles: Macromechanical Properties. In: Nanocon 2013 5th International Conference. Brno, 2013-10- 16/2013-10-18. Ostrava: TANGER, 2014. s. 433-437. ISBN 978-80-87294-47-5. Dostupné z: <http://www.nanocon.eu/files/proceedings/14/reports/2090.pdf>.
- (56) PROŠEK, Z. et al. INPUT PARAMETERS FOR MICROMECHANICAL MODELING OF WOOD TISSUES. In: PADEVĚT, P. et al., eds. Proceedings of the 4th Conference Nano & Macro Mechanics. 4th Conference Nano & Macro Mechanics 2013, Prague, 2013-09-19. Praha: Czech Technical University in Prague, 2013. s. 159- 162. ISBN 978-80-01-05332-4.
- (57) TESÁREK, P. et al. Mechanical Properties of Single and Double-Layered PVA Nanofibers. In: PEŠEK, L. a P. ZUBKO, eds. 9th International Conference on Local Mechanical Properties. Levoča, 2012-11-07/2012-11- 09. Zürich: Transtech Publications, 2014. s. 261-264. Key Engineering Materials. ISSN 1013-9826. ISBN 978- 3-03785-876-9. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.586.261.
- (58) LIDMILA, M. et al. Utilization of Recycled Binder for Improvement of Subsoil under Railway Sleepers. In: SKOČILASOVÁ, Blanka a Alena PETRENKO, eds. Proceedings of the 51st Conference on Experimental Stress Analysis. 51st Conference on Experimental Stress Analysis, Litoměřice, 2013-06-11/2013-06-13. Ústí nad Labem: FVTM,UJEP, 2013. ISBN 978-80-7414-579-7.
- (59) RÁCOVÁ, Z. et al. Tensile Strength and Stiffness of PVA-based Nanofiber Textiles with Incorporated Copper Ions. In: SKOČILASOVÁ, Blanka a Alena PETRENKO, eds. Proceedings of the 51st Conference on Experimental Stress Analysis. 51st Conference on Experimental Stress Analysis, Litoměřice, 2013-06-11/2013-06-13. Ústí nad Labem: FVTM,UJEP, 2013. ISBN 978-80-7414-579-7.
- (60) RYPAROVÁ, P. et al. Preparation of Antimicrobial Treatment Interiors Using Nano Textiles. In: HÁJEK, P. et al., eds. Central Europe towards Sustainable Building 2013. Praha, 2013-06-26/2013-06-28. Praha: Grada, 2013. s. 453-456. ISBN 978-80-247-5018-7.
- (61) HLAVÁČ, R. et al. The Use of Boards from Recycled Laminated Cartons in The Building Envelope. In: HÁJEK, P. et al., eds. CESB 13 - Central Europe towards Sustainable Building 2013. Central Europe towards Sustainable Building 2013, Praha, 2013-06-26/2013-06-28. Praha: GRADA PUBLISHING, 2013. s. 349-352. ISBN 978-80-247-5018-7.
- (62) NEŽERKA, V. et al. Rozptýlené částice v polyvinyl-alkoholových nanotextiliích: porovnání makro mechanických vlastností. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 60-66. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (63) RYPAROVÁ, P., R. WASSERBAUER a Z. RÁCOVÁ. Algicidní vlastnosti nanovláknitých textilií dopovaných kovy. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví.



Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 88-93. ISBN 978-80-01-05334-8.

- (64) PROŠEK, Z. a Z. RÁCOVÁ. Stanovení nano a mikrostrukturálních a mikromechanických parametrů stavebního dřeva. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 77-82. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (65) HROCHOVÁ, P. et al. Ochrana dřeva pomocí přírodních materiálů. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 42-47. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (66) ČERNOHORSKÝ, M. et al. Degradace dřeva na rozhraní se silikátovými materiály. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013. s. 16-23. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (67) RÁCOVÁ, Z. et al. The Use of Nanomaterials As Protection of External Surfaces of Porous Building Materials. In: HÁJEK, P. et al., eds. CESB 13 - Central Europe towards Sustainable Building 2013. Central Europe towards Sustainable Building 2013, Praha, 2013-06-26/2013-06-28. Praha: GRADA PUBLISHING, 2013. s. 441-444. ISBN 978-80-247-5018-7.
- (68) RÁCOVÁ, Z., R. WASSERBAUER a P. RYPAROVÁ. The Growth Curves of Escherichia Coli Influenced by Addition of Nanodiamonds. In: RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2013, Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. s. 83-87. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (69) RÁCOVÁ, Z., R. WASSERBAUER a P. RYPAROVÁ. Microscopic filamentous fungi in buildings, preventing their occurrence and their remediation using nanofibers. Advanced Materials Research. 2013, 649(649), 89-92. ISSN 1662-8985. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMR.649.89>.
- (70) RYPAROVÁ, P. et al., eds. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví. Praha, 2013-06-12. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05334-8.
- (71) NEŽERKA, V. et al. Závislost mechanických vlastností na plošné hmotnosti nanotextilie. In: RÁCOVÁ, Z. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012, Praha, 2012-10-11. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. s. 41-45. 1. ISBN 978-80-01-05132-0.
- (72) RÁCOVÁ, Z., R. WASSERBAUER a P. RYPAROVÁ. Výskyt, prevence mikroskopických vláknitých hub ve stavebních konstrukcích a jejich sanace pomocí nanovláken. In: RÁCOVÁ, Z. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012, Praha, 2012-10-11. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. s. 18-23. 1. ISBN 978-80-01-05132-0.
- (73) KLICMANOVÁ, I. a Z. RÁCOVÁ. ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ A PASPORTIZACE NANOTEXTILÍ NA BÁZI PVA. In: RÁCOVÁ, Z. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012, Praha, 2012-10-11. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. s. 13-17. 1. ISBN 978-80-01-05132-0.
- (74) RÁCOVÁ, Z. et al., eds. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012. Praha, 2012-10-11. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. 1. ISBN 978-80-01-05132-0.



- (75) TESÁREK, P. et al. Mechanical properties of single and double-layered PVA nanofibers. In: Book of Abstracts - LMP 2012. 9th Conference on Local Mechanical Properties, Levoča, 2012-11-07/2012-11-09. Košice: Technical University of Košice, 2012. s. 73. ISBN 978-80-553-1163-0.
- (76) KLICMANOVÁ, I. et al. Macromechanical properties of nanofiber based on poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA) and poly(vinyl-alcohol) (PVA). In: NANOCON 2012, 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE. 4th International Conference on NANOCON, Brno, 2012-10-23. Ostrava: TANGER, 2012. ISBN 978-80-87294-35-2. Dostupné z: <http://www.nanocon.cz/en/past-events-history-proceedings-gallery/>.
- (77) RYPAROVÁ, P. et al. The antibacterial activity of nanofiber based on poly-vinyl-alcohol doped by metal. In: NANOCON 2012, 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE. 4th International Conference on NANOCON, Brno, 2012-10-23. Ostrava: TANGER, 2012. ISBN 978-80-87294-35-2. Dostupné z: <http://www.nanocon.cz/en/pastevents-history-proceedings-gallery/>.
- (78) RÁCOVÁ, Z. et al. Modification of cement paste surface using nanofibers based on poly(vinyl-alcohol) (PVA). In: NANOCON 2012, 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE. 4th International Conference on NANOCON, Brno, 2012-10-23. Ostrava: TANGER, 2012. ISBN 978-80-87294-35-2.
- (79) RÁCOVÁ, Z., R. WASSERBAUER a P. RYPAROVÁ. Microscopic filamentous fungi in buildings, preventing their occurrence and their remediation using nanofibers. In: KALOUSEK, M., M. NĚMEČEK a L. CHUCHMA, eds. EnviBUILD 2012/SBTP 2012. Building Performance Simulation Conference 2012, Brno, 2012-11-08/2012-11-09. Durnten-Zurich: Trans Tech Publications, 2013. s. 89-92. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03785-596-6. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.649.89



Účast na grantových projektech

- | | | |
|---|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Název projektu | DG18P02OVV010
Věžové vodojemy - identifikace, dokumentace, prezentace, nové využití
Water towers – identification, documentation, presentation, new utilization |
| | Role v projektu | řešitel |
| | Doba trvání | 2018 - 2022 |
| | Poskytovatel | Ministerstvo kultury ČR, program NAKI II |
| 2 | Název projektu | SGS19/144/OHK1/3T/11
Vliv nehomogenit izolačních a silikátových materiálů na difuzi radonu
The effect of inhomogeneities of waterproofing and silicate materials on radon diffusion |
| | Role v projektu | řešitel |
| | Doba trvání | 2019 - 2021 |
| | Poskytovatel | ČVUT |
| 3 | Název projektu | SGS17/118/OHK1/2T/11
Fyzikální souvislosti výskytu škodlivin ve stavebních objektech s důrazem na radon, plísně a dřevokazné houby
Physical Connection of Pollutants Occurrence in Buildings with a Focus on Radon, Mold and Wood-Decaying Fungi |
| | Role v projektu | hlavní řešitel |
| | Doba trvání | 2017 - 2018 |
| | Poskytovatel | ČVUT |
| 4 | Název projektu | SGS18/166/OHK1/3T/11
Životnost omítkovin na minerální a přírodní bázi v porovnání s pastovitými omítkami
Durability of mineral and organic plasters in comparison to paste plasters |
| | Role v projektu | řešitel |
| | Doba trvání | 2018 |
| | Poskytovatel | ČVUT |



- 5 Název projektu **SGS14/175/OHK1/3T/11**
Tepelně technická analýza prostoru pod zvýšenou podlahou (crawl space) včetně studie biologické degradace konstrukčních prvků
 Analysis of heat and moisture transport in crawl spaces including a study of biological degradation of structural elements
- Role v projektu hlavní řešitel
 Doba trvání 2014 - 2016
 Poskytovatel ČVUT
- 6 Název projektu **SGS12/110/OHK1/2T/11**
Využití nanotechnologií ve stavebnictví
 The use of nanotechnology in construction
- Role v projektu řešitel
 Doba trvání 2012 - 2013
 Poskytovatel ČVUT
- 7 Název projektu **RPMT 2017**
Inovace výukových metod a zatraktivnění předmětů požární bezpečnosti a zdravotní nezávadnosti staveb a praktické workshopy pro studenty na téma "Enviromentálně efektivní materiály"
- Role v projektu hlavní řešitel
 Doba trvání 2017
 Poskytovatel Fakulta stavební, ČVUT, Rozvojové projekty mladých týmů (RPMT)
- 8 Název projektu **SVK 03/14/F1, SVK 02/15/F1, SVK 04/16/F1**
Nanotechnologie a nanomateriály ve stavebnictví 2014, 2015, 2016
- Role v projektu řešitel
 Doba trvání 2014, 2015, 2016
 Poskytovatel ČVUT
- 9 Název projektu **SVK 04/18/F1**
Moderní materiály a technologie ve stavebnictví
- Role v projektu řešitel
 Doba trvání 2018
 Poskytovatel ČVUT

