

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Budovy a prostředí



Bc. Tereza Houšková

**Experimentální výzkum ochrany dřevěných
prvků pomocí moderních technologií**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Pavla Ryparová

Praha 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Houšková

Jméno: Tereza

Osobní číslo: 395662

Zadávací katedra: Konstrukce pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Experimentální výzkum ochrany dřevěných prvků pomocí moderních technologií

Název diplomové práce anglicky: Experimental research on wood protection by modern technology

Pokyny pro vypracování:

Rešerše problematiky biodegradace stavebních materiálů

Příprava a vyhodnocení laboratorního experimentu

Seznam doporučené literatury:

Wasserbauer, R. Biologické znehodnocení staveb, 2000

Odborné publikace z Web of science

Jméno vedoucího diplomové práce: Mgr. Pavla Ryparová

Datum zadání diplomové práce: 30.9.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

3.10.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze 2017

Tereza Houšková

.....

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí své diplomové práce Mgr. Pavle Ryparové za cenné rady a připomínky a také za odborné konzultace a spolupráci během celého roku, kdy tato práce vznikala. Dále bych ráda poděkovala Ing. Zuzaně Rácové a Ivaně Loušové za trpělivost a ochotu pomoci při laboratorní činnosti. Závěrem bych ráda poděkovala mé rodině a blízkým přátelům za podporu během celého mého studia na vysoké škole.

**Experimentální výzkum ochrany dřevěných
prvků pomocí moderních technologií**

**Experimental research on wood protection by
modern technology**

ANOTACE

Dřevo je obnovitelný přírodní materiál organického původu, jehož využití ve stavebnictví nabývá na popularitě. Dřevěné konstrukce nám mohou sloužit desítky let, ale pouze v případě, že je jim věnována dostatečná péče a ochrana, jinak mohou podléhat masivní biologické degradaci. Tato práce se zabývá studií ochrany dřeva proti zvoleným biodeteriogenům prostřednictvím moderních technologií a metod. Studie byla zaměřena zejména na výzkum zabývající se možnostmi využití nanotechnologií s biocidním účinkem. Místo komerčních chemických přípravků, které jsou v praxi hojně využívány a které mohou být toxické nejen pro člověka, bylo jako biocid použito stříbro, které není závadné pro lidské zdraví a zároveň má prokazatelné antimikrobiální vlastnosti.

Klíčová slova

dřevo, bitychtí škůdci, biodegradace, ochrana dřeva, stříbro, nanočástice, nanovlákná

ANOTACE

Wood is a renewable natural organic material which use in building is gaining in popularity. Wooden constructions can serve us for decades but only in the case that they are given enough care and protection, otherwise they can be subject to massive biological degradation. This thesis studies the protection of wood against selected biodeteriogens through modern technologies and methods. The study was focused mainly on research into the possibilities of using nanotechnologies with biocidal effect. Instead of commercial chemical products, which are widely used in practice and which can be toxic not only for humans, was used as a biocid silver, which is not insanitary to human health and also has a proven antimicrobial properties.

The Keywords

Wood, biotic pests, biodegradation, wood protection, silver, nanoparticles, nanofibers

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH JEDNOTEK	11
1 ÚVOD A MOTIVACE.....	12
2 CÍLE.....	13
LITERÁRNÍ REŠERŠE	
3 DEGRADACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ	14
3.1 Biodeteriogeny	15
3.1.1 Plísně.....	15
3.1.1.1 Rod <i>Alternaria</i>	16
3.1.1.2 Rod <i>Aspergillus</i>	17
3.1.1.3 Rod <i>Cladosporium</i>	17
3.1.1.4 Rod <i>Penicillium</i>	18
3.1.2 Řasy.....	19
3.1.3 Dřevozbarvující houby.....	20
3.1.4 Dřevokazné houby	20
3.1.4.1 Dřevomorka domácí (<i>Serpula lacrymans</i> (Wulfen) J.Schröt)	22
3.1.4.2 Koniofora sklepní (<i>Coniophora puteana</i> (Schumach.)P. Karst).....	23
3.1.4.3 Pórnatka Vaillantova (<i>Antrodia vaillantii</i> (DC.) Ryvarden)	24
3.1.4.4 Trámovky (<i>Gloeophyllum</i>).....	24
3.1.5 Dřevokazný hmyz	26
3.2 Prevence a ochrana dřeva.....	28
3.2.1 Stavebně - konstrukční ochrana dřeva proti vlhkosti	29
3.2.1.1 Ochrana proti povětrnostním vlivům	30
3.2.1.2 Ochrana proti kapilární vodě.....	31
3.2.2 Fyzikální ochrana dřeva	33
3.2.3 Chemická ochrana dřeva proti biotickým škůdcům.....	34
3.2.3.1 Způsoby aplikace chemických prostředků	35
3.2.4 Modifikační ochrana dřeva	37

3.2.4.1 Tepelná modifikace dřeva	37
3.2.4.2 Chemická modifikace dřeva.....	38
3.2.5 Ochrana dřeva nanotechnologiemi.....	39
3.2.5.1 Nanovláknité textilie	39
3.2.5.2 Biocidní účinnost stříbra	40
EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM	
4 POUŽITÉ MATERIÁLY A POSTUPY	42
4.1 Přístroje	42
4.2 Použité chemikálie	42
4.3 Biocidní látky	43
4.4 Modelové organismy.....	43
4.4.1 Plísně.....	43
4.4.1.1 Použité směsi živné půdy	43
4.4.1.2 Inkubační podmínky.....	44
4.4.2 Řasy.....	44
4.4.2.1 Použitá směs živné půdy	44
4.4.2.2 Inkubační podmínky.....	44
4.4.3 Dřevokazné houby	44
4.4.3.1 Použitá směs živné půdy	45
4.4.3.2 Inkubační podmínky.....	45
4.5 Postupy.....	45
4.5.1 Výroba nanovláknitých textilií metodou Nanospider	45
4.5.1.1 Základní zvláknovací roztok z čistého PVA	47
4.5.1.2 Zvláknovací roztok z PVA se stříbrem ve formě nanočástic (NAg).....	47
4.5.1.3 Zvláknovací roztok z PVA s ionty stříbra ve formě AgNO ₃	47
4.5.2 Stabilizace nanotextilií	48
4.5.2.1 Stabilizace teplem	48
4.5.2.2 Stabilizace parami	48
4.5.2.3 Stabilizace máčením.....	48

4.5.3 Vzorky nanotextilií.....	49
4.5.4 Stanovení účinnosti vybraných metod aplikovaných na dřevo	50
4.5.4.1 Ochrana vzorků nanotextiliemi	50
4.5.4.2 Ochrana vzorku hydrofobizační úpravou	50
4.5.4.3 Vzorky bez ochrany	50
4.5.5 Sterilizace	51
4.5.6 Živné půdy	51
4.5.7 Inokulace mikroorganismů.....	51
4.5.7.1 Inokulační roztok	51
4.5.8 Inokulace dřevokazných hub výřezem.....	52
5 VÝSLEDKY A DISKUZE.....	53
5.1 Nanovláknité textilie - ionty a nanočástice stříbra	53
5.2 Účinnost iontů stříbra proti plísním a řasám v závislosti na jejich koncentraci a způsobu stabilizace nanovláken	56
5.2.1 Preventivní ochrana proti plísním	57
5.2.2 Dodatečná ochrana proti plísním a řasám	61
5.3 Aplikace nanotextilií s přídavkem stříbra a hydrofobizační povrchové úpravy na dřevěné vzorky	68
5.3.1 Ochrana proti plísním.....	68
5.3.2 Ochrana proti dřevokazným houbám	73
5.3.2.1 Outkovka pestrá	73
5.3.2.2 Dřevomorka domácí.....	76
6 ZÁVĚR.....	78
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	81

SEZNAM POUŽITÝCH JEDNOTEK

cm	centimetr	$1 \text{ cm} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
mm	milimetr	$1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
nm	nanometr	$1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
ml	mililitr	$1 \text{ ml} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ l}$
μl	mikrolitr	$1 \mu\text{l} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ l}$
g	gram	$1 \text{ g} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
mg	miligram	$1 \text{ mg} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$
kV	kilovolt	$1 \text{ kV} = 1 \cdot 10^3 \text{ V}$
kPa	kilopascal	$1 \text{ kPa} = 1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia	
%	procento	$1 \% = 0,01$

1 ÚVOD A MOTIVACE

Současná doba klade velké nároky na výstavbu nových objektů, je ale potřebné si uvědomit, že stavební materiály jsou limitovány. Z tohoto důvodu je žádoucí využívat v maximální míře prostředky, které jsou obnovitelné. Zároveň je nezbytné je v objektu v dostatečné míře chránit, aby byla vyloučena nebo alespoň zpomalena jejich postupná degradace. Jedním z obnovitelných materiálů je dřevo, ze kterého se konstruuji dřevěné stavby, které se v současné době staly velmi populární. Dřevěné prvky a celé konstrukce nám mohou sloužit desítky až stovky let, dřevo je ovšem materiál organického původu, který je zahrnut do přirozeného koloběhu přírody. Pokud není do konstrukce vhodně zabudován s požadovanou ochranou, může působením vnějších činitelů velmi rychle podléhat degradaci.

Preventivních a ochranných metod existuje celá řada a je bezpodmínečně nutné je znát a využívat. Ovšem v dnešní době, kdy vědecké a technické pokroky jdou téměř každým dnem krok dopředu, je žádoucí, aby také odborníci zabývající se výstavbou dřevěných budov své znalosti neustále zdokonalovali a aby nezaostali u poznatků, které nabyli před mnoha lety. Z tohoto důvodu jsem se také rozhodla pro zaměření této diplomové práce. Má závěrečná práce v bakalářském studijním programu se již částečně věnovala dřevu a problémům s ním spojenými, tehdy jsem své znalosti ohledně ochrany dřevěných konstrukcí okleštila na známé a ověřené metody dostupné v odborné literatuře. Dané téma mě natolik zaujalo, že jsem se rozhodla jej rozšířit a navázat na něj i ve své závěreční práci v rámci magisterského studia. Tato diplomová práce je zaměřena na experimentální výzkum, který inovuje ochranu dřevěných prvků pomocí nanovláknitých textilií s přídavkem biocidu a prostřednictvím hydrofobizační úpravy povrchu. Ochrana stavebních materiálů pomocí nanovláken je poměrně nová a jedná se o moderní metodu, která je stále ve stádiu výzkumu. Jako použitá biocidní látka bylo zvoleno stříbro, které má prokazatelný biocidní účinek a na rozdíl od často používaných komerčních chemických přípravků je šetrné k lidskému zdraví.

2 CÍLE

Tato diplomová práce si klade za hlavní cíl experimentálně stanovit biocidní účinnost nových moderních metod a vymezit jejich potenciální možnost využití v rámci ochrany dřeva jako stavebního materiálu. Pro pochopení celé problematiky a před započítím experimentální studie bylo cílem charakterizovat biodeteriogeny dřevěných konstrukcí a možná preventivní a ochranná opatření proti jejich působení ve stavebních objektech na základě současného stavu poznání.

Experimentální výzkum si klade za cíl charakterizovat moderní ochranu dřevěných prvků prostřednictvím nanovláknitých textilií a hydrofobizační povrchové úpravy. Mezi dílčí cíle této části patří stanovit účinnost stříbra jako alternativy biocidní ochrany v závislosti na jeho typu a způsobu aplikace a připravit nanovláknité textilie s tímto biocidním přídatkem. Dále pak aplikovat tyto moderní způsoby ochrany na stavební materiál a stanovit jejich účinnost proti zvoleným mikroorganismům.

LITERÁRNÍ REŠERŠE

3 DEGRADACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

V průběhu celého životního cyklu stavebního dřeva, to je od rostlého stromu přes jeho zpracování až po zabudování do konstrukce, na něj působí řada abiotických a biotických činitelů, kteří společným vlivem způsobují jeho postupnou degradaci. Tito degradační činitelé jsou ve vzájemné interakci a pro porozumění dřevěné konstrukci je důležité si jejich vzájemné souvislosti uvědomit.

Jako abiotické faktory lze označit všechny povětrnostní vlivy, mezi které patří dešťové a sněhové srážky, sluneční záření, výkyvy teplot, UV záření, působení mechanických a chemických částic a další vlivy prostředí [1; 24]. Tyto povětrnostní vlivy samy o sobě nezpůsobují přímo celkovou destrukci dřevěného prvku či celé konstrukce. Zmíněné abiotické faktory působí ovšem po většinu času jako soubor činitelů, kteří vzájemným spolupůsobením urychlují degradaci dřeva a umožňují atak biotickými činiteli [10].

Mezi abiotické vlivy, které svým působením nejvíce ovlivňují riziko biodegradace, patří zejména zvýšená teplota a vlhkost. Působení vysokých teplot na dřevěný prvek má za následek vznik výsušných trhlin, které se stávají vhodným útočištěm pro biologické škůdce [1]. Podobným způsobem působí na dřevo i vlhkostní změny, prostřednictvím kterých dochází k bobtnání a sesychání dřevěného prvku a opět ke vzniku mikroskopických i makroskopických trhlin usnadňujících přístup pro veškeré biodeteriogeny od plísní až po dřevokazný hmyz [2; 24]. Navíc pro většinu biologických škůdců je základní podmínkou pro život právě zvýšený přísun vlhkosti. Z exteriéru je fasáda dotována vlhkostí ze srážkové vody, kterou mohou organismy čerpat zejména z míst, kde se voda usazuje a odkud hůře odtéká (sokly, římsy). Zdrojem vlhkosti v interiéru může být nedostatečná konstrukční ochrana, nevhodné řešení stavebních detailů, havárie či zatékání. V posledních letech se zdrojem vlhkosti také stává stále modernější výstavba a rozvoj pasivních domů s často nedostatečným větráním či příliš těsnými okny, která neumožňují přirozenou infiltraci vzduchu.

Při shrnutí těchto základních faktorů, které na konstrukci působí, a při zohlednění jejich vzájemné interakce je patrné, že většina principů na ochranu

a prevenci dřeva se odráží od omezení styku konstrukce s abiotickými vlivy prostředí. Pokud je konstrukce v dostatečné míře chráněna před abiotickými činiteli, zejména před zvýšenou vlhkostí a teplotou, je tak i výrazně sníženo riziko, že bude objekt hostitelem biotických škůdců, kteří mohou výrazně snížit životnost dřevěné stavby. V následujících kapitolách bude čtenáři umožněno poznat hlavní biotické škůdce poškozující konstrukce na našem území a zároveň se seznámit se základními i modernějšími způsoby ochrany a prevence dřevěných staveb.

3.1 Biodeteriogeny

Tato kapitola je věnována základní charakteristice biotických škůdců, kteří v menším či větším rozsahu poškozují dřevo a materiály na bázi dřeva, a před kterými je potřebné tyto prvky chránit. Mezi tyto hlavní biodeteriogeny, které působí v našich klimatických podmínkách, patří plísně, řasy, dřevozbarvující a dřevokazné houby a také dřevokazný hmyz. Ne všechny tyto organismy způsobují stejně závažné poškození a degradaci dřeva. Zejména plísně, řasy a dřevozbarvující houby významně nepůsobí na pevnostní parametry dřeva, ale znehodnocují ho zejména z pohledu estetiky. Navíc výskyt těchto mikroorganismů v konstrukci avizuje zvýšenou vlhkost a tím pádem je daleko pravděpodobnější, že může být dřevo napadeno škůdci, kteří již mohou mít významný vliv na mechanické vlastnosti materiálu. Výskyt, zejména plísní, může způsobovat zdravotní problémy uživatelů objektu, proto je důležité, i přestože nezpůsobují výraznou degradaci samotného materiálu, sledovat výskyt i těchto mikroorganismů.

3.1.1 Plísně

Plísně jsou mikroskopické vláknité houby, které vytvářejí na povrchu materiálu jemné povlaky. Tímto vláknitým filmem pokrývají nejen materiály na bázi dřeva, ale pokud jsou splněny základní životní podmínky, tak i jiné materiály méně bohaté na výživu, jako jsou například omítky či tapety [2 - 3]. Plísně nemají významný vliv na mechanické vlastnosti dřeva [2] nebo na jeho statickou funkci [9], přesto působí degradačně a poškozují zejména estetickou hodnotu prvku. Plísně jsou také spojovány se zdravotní závadností objektů, s tzv. syndromem nemocných budov. V dnešní době, kdy jsou brány velké ohledy na kvalitu vnitřního prostředí, může výskyt plísní z hygienického hlediska znamenat významný problém. Plísně

produkují spory, těkavé organické látky či toxiny, které mohou způsobovat řadu onemocnění. Lidé pobývající v prostředí, kde dochází k růstu plísní, mohou trpět různými alergickými reakcemi, respiračními onemocněními, poškozením sliznic, ale i jinými závažnějšími nemocemi [4; 6; 13].

Plísně nám přinášejí řadu nepříjemností, je ale nutné podotknout, že díky jejich neodmyslitelnému začlenění do koloběhu přírody, ve kterém rozkládají organické i anorganické látky, jsou nedílnou součástí našeho života. Je také všeobecně známo, že v mnoha odvětvích (lékařství, potravinářský průmysl) jsou plísně využívány ku prospěchu lidí.

Základním stavebním prvkem těchto mikroorganismů jsou vlákna, která se nazývají hyfy. Větvením hyf vzniká mycelium, které vytváří složitější vláknitý útvar, který může mít různé zabarvení od žluté, zelené až po černou barvu [3 - 4]. Pigmentace je známkou toho, že dochází k dozrávání výtrusů – spor, které se dále šíří do svého okolí a rozšiřují působíště mikroorganismů na další povrchy. Spory jsou rozmnožovací částice plísní, které v optimálním prostředí klíčí, rozrůstají se v hyfy a mycelia a celý proces se opakuje [4].

Vyskytují se na vlhkém povrchu s minimální dotací vlhkosti 20 % a s optimální teplotou kolísající kolem 25 °C [1; 5]. Důležitá je také vysoká relativní vlhkost vzduchu, která by se měla pohybovat od 70 – 90 % [5]. Tyto hodnoty jsou zobecněny a závislost jednotlivých plísní na uvedených podmínkách se druhově liší.

V následujících kapitolách je popsána základní charakteristika plísní, které jsou nejvíce rozšířeny a které byly použity při experimentálním výzkumu.

3.1.1.1 Rod *Alternaria*

Plísně rodu *Alternaria* se vyskytují jak v interiéru, tak i na fasádách objektů, a to zejména v období od jara do podzimu, kdy jsou podmínky pro jejich růst nejvíce optimální. Preferují teplotu kolísající kolem 25 °C, ale jsou schopny růstu i při teplotách blízkých 0 °C [6; 27]. Tento druh plísní vytváří na povrchu film olivově hnědé až černošedé barvy [25; 27]. Nejrozšířenějším zástupcem je plíseň *Alternaria alternata* (Obrázek 1), která produkuje alergen glykoprotein, který nejčastěji způsobuje alergická a astmatická onemocnění dětí [6].

3.1.1.2 Rod *Aspergillus*

Plísně tohoto rodu produkují mimo alergenů také mykotoxiny, těkavé organické látky a proteázy a jsou původcem řady onemocnění [6]. Mezi významné zástupce patří *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* nebo *Aspergillus versicolor*.

Aspergillus flavus je plíseň poměrně náročná na teplotní podmínky a vyskytuje se převážně v oblastech se zvýšenou teplotou kolísající okolo 33 °C, je schopná akceptovat i teploty dosahující 48 °C [6 - 7]. Na povrchu konstrukce vytváří nejčastěji žlutý až žluto - zelený film [8]. Produkuje toxiny, které mohou být velmi škodlivé pro lidské zdraví a mohou způsobovat onemocnění od zánětů a infekcí až po nádorová onemocnění [3; 6].

Optimální teplota pro růst plísně *Aspergillus fumigatus* se pohybuje v rozmezí 40 – 43 °C, přežívá ale i teplotní výkyvy v rozsahu od 12 do 55 °C [6]. Vytváří vláknitý sametový povlak modro - zelené barvy [28]. Tato plíseň má nejhorší účinky na lidské zdraví, její spory jsou velmi drobné a lépe se tak vážou do dýchacího traktu, proto způsobují řadu alergických nemocí [6].

Plíseň *Aspergillus niger* (Obrázek 2) také upřednostňuje vyšší teploty 35 – 37 °C a rovněž je schopna růst při teplotách až kolem 47 °C [6; 29]. Na povrchu substrátu vytváří z počátků bílé, později černé povlaky a na rozdíl od předchozích druhů je z plísní rodu *Aspergillus* nejméně škodlivá pro lidský organismus [2, 6].

Plíseň *Aspergillus versicolor* se liší zejména v tom, že na rozdíl od výše zmíněných druhů je méně náročná na teplotu a k růstu si vystačí s teplotou 27 °C [6]. Rovněž způsobuje řadu onemocnění a na povrchu konstrukce vytváří zelené až modro - zelené porosty [25].

3.1.1.3 Rod *Cladosporium*

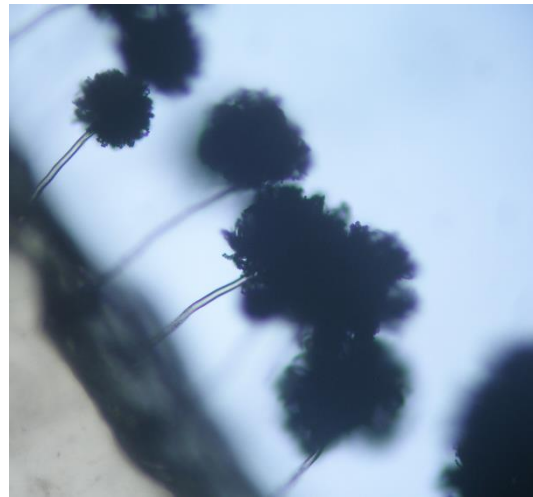
Tyto plísně jsou hojně rozšířeny na fasádách i ve vnitřním prostředí objektu, zejména pro jejich širokou teplotní toleranci, a to především v období od jara do podzimu. Optimální teplota se pohybuje od 18 – 28 °C, jsou ovšem snášenlivé i k teplotám pod bodem mrazu nebo naopak k teplotám až kolem 32 °C [6 - 7]. Shodně, jako plísně rodu *Alternata*, jsou spory plísní rodu *Cladosporium* jedním z nejvýznamnějších plísňových alergenů [6]. Mezi typické zástupce patří například *Cladosporium cladosporioides* (Obrázek 3) nebo *Cladosporium herbarum*.

3.1.1.4 Rod *Penicillium*

Plíseň rodu *Penicillium* má široké druhové zastoupení a na povrchu konstrukce vytváří zelené až modro - zelené či žluto - zelené povlaky [2; 7]. Na rozdíl od předchozích druhů nejsou tyto plísně sezónní a můžeme se s nimi setkat v průběhu celého roku. Jejich růst je nejagresivnější při pokojové teplotě a shodně, jako plísně rodu *Cladosporium*, jsou charakterizovány jako psychrofilní, což značí jejich schopnost růst i při teplotách nižších, konkrétně kolem 3 °C [6 - 7]. Tyto plísně nejsou zdrojem pouze významných alergenů, ale produkují i mykotoxiny či těkavé organické látky [6]. Známé druhy jsou např. *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium brevicompactum* nebo *Penicillium purpurogenum* (Obrázek 4).



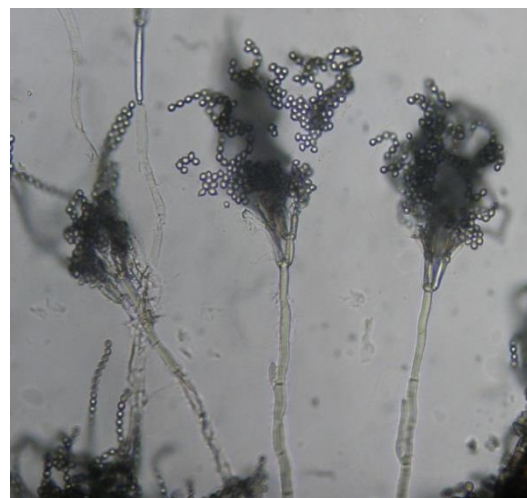
Obrázek 1: Typické morfologické znaky plísně *Alternaria alternata* (1).



Obrázek 2: Typické morfologické znaky plísně *Aspergillus niger* (1).



Obrázek 3: Typické morfologické znaky plísně *Cladosporium cladosporioides* (1).



Obrázek 4: Typické morfologické znaky plísně *Penicillium purpurogenum* (1).

3.1.2 Řasy

Řasy jsou mikroskopické organismy, které vytváří na povrchu konstrukce (zejména v exteriéru) biofilm zelené, namodralé až hnědo - černé barvy v závislosti na vlhkosti substrátu. Ke svému růstu vyžadují hlavně dostatečnou vlhkost, minerální látky a světelné záření [5; 8]. V kritické situaci jsou ovšem schopny vegetovat pouze za přítomnosti vzdušné vlhkosti i za velmi nízkého přísunu světla [5]. Dostatečnou vlhkost nacházejí zejména v trvale vlhkých místech na fasádě, odkud voda hůře odtéká a usazuje se, jako jsou např. sokly a římsy.

Řasy mohou degradovat stavby několika způsoby. V prvním případě dochází k rozrůstání kolonií řas na povrchu konstrukce, kde společně s okolními anorganickými i organickými částicemi vytváří krustu, která může velmi narušit estetickou hodnotu stavby (Obrázek 5). V druhém případě mohou řasy prorůstat pórovitým materiálem či štěrbinami do svrchní části konstrukce, kde mají ještě dostatečný přísun světla a při vlhkostních objemových změnách materiál rozrušovat [6; 8]. Řasy také produkují agresivní metabolity, jako jsou organické kyseliny, které mohou stavební materiál také narušovat [5].



Obrázek 5: Stavba esteticky znehodnocená porostem řas (1).

3.1.3 Dřevozbarvující houby

Dřevozbarvující houby působí (rovněž jako plísně) degradačně zejména na estetické, nikoliv mechanické vlastnosti dřevěného prvku [18]. Hyfy těchto organismů prorůstají skrz buněčné stěny do bělové části dřeva (Obrázek 6), kde vybarvují jeho buňky vlastním různobarevným pigmentem [2; 10 - 11]. Nezpůsobují rozklad dřevní hmoty či jiné poškození dřeva, vyjma poklesu 5 – 10 % rázové houževnatosti prvku v ohybu [1].

Tyto houby napadají dřevní hmotu při minimální vlhkosti substrátu od 25 %, ale za optimálnější je považována vlhkost až kolem 45 % [1; 12]. Za vhodnou teplotu jsou definovány hodnoty kolísající kolem 20 °C [1].

Nejčastěji se vyskytují dřevozbarvující houby, které způsobují zbarvení modré (Obrázek 7). Tyto barevné změny jsou vyvolány například houbami z rodu *Ophiostoma*, a to zejména na smrkovém a borovicovém dřevě [1]. Vedle modrání dřeva existuje i celá řada jiných zbarvení od červené, hnědé až po černou barvu.



Obrázek 6: Promodralé zbarvení bělové části dřeva (2).



Obrázek 7: Modré zbarvení (3).

3.1.4 Dřevokazné houby *

Dřevokazné houby jsou biotičtí škůdci napadající dřevo v každé jeho podobě, tj. od rostlého stromu až po dřevěný prvek zabudovaný ve stavbě a svým počínáním způsobují jeho postupnou hnilobu. Dřevokazné houby mají za následek úplnou destrukci dřevní hmoty a značně snižují pružnost a pevnost dřevěného prvku [12].

* tato kapitola byla v upraveném rozsahu již publikována v bakalářské práci [60]

Dřevokazné houby můžeme rozdělit podle několika hledisek. Například podle způsobu tvorby výtrusů nebo podle jejich schopnosti poškozovat rostoucí nebo zabudované dřevo [25]. Jedno z hlavních rozdělení může být také podle zdrojů výživy, a to na houby celulózožravé a houby ligninožravé [24 - 25], v práci je dále uvažováno pouze toto dělení.

Celulózožravé houby se živí především celulózovou a hemicelulózovou složkou dřeva [24]. Při započetí rozkladu si dřevo ještě z velké části ponechává svou pevnost, postupně se ale prvek stává křehčím a měkčím, až začne docházet vlivem ztráty objemu a hmotnosti ke kostkovitému rozpadu a k drolení dřeva, což je pro tyto houby typickým znakem [25]. Také dochází k postupným barevným změnám od načervenalé až po tmavě hnědé zbarvení, a proto je tento proces rozkladu nazýván hnědá hniloba a v praxi se s ní setkáváme často [3; 24]. Celulózožravé houby škodí zejména na jehličnatých dřevinách [24]. Mezi hlavní představitele této skupiny patří například dřevomorka domácí, koniofora sklepní, pornatka vaillantova, trámovka trámová a trámovka plotní.

Naopak ligninožravé houby rozkládají všechny základní složky dřeva, nejen celulózu a hemicelulózu, ale zejména také lignin [24]. Dřevo napadené ligninožravou houbou začíná měknout a drolit se, ale na rozdíl od celulózožravých hub nedochází k výraznému úbytku objemu a ke změnám tvaru a nevzniká kostkový rozklad [10, 25]. Naopak se ve dřevě mohou vytvářet dírky a dutinky vyplněné nestrávenou celulózou, které mohou být od pohledu viditelné [3; 9]. Při působení těchto hub dřevo zesvětluje, proto tento proces označujeme za hnilobu bílou. Bílá hniloba postihuje většinou tvrdé listnaté dřeviny [24] a mezi hlavní škůdce řadíme například outkovky a pevníky.

Základním požadavkem pro životní cyklus hub je dostatečná vlhkost, která se může druh od druhu částečně lišit. Základním mezníkem pro jejich vývoj je minimální vlhkost dřevního substrátu 18 - 20 %, při nižší vlhkosti dochází k zastavení vývoje většiny známých dřevokazných hub [23]. Napadení suchého dřeva je téměř vyloučeno, ale nedochází ani k napadení plně nasyceného prvku (dřeva umístěného pod vodou), jelikož houby potřebují, aby obsah vzduchu v dřevině činil alespoň 5 - 20 % [1]. Vedle vlhkosti je pro houby pro jejich vývoj důležitá také teplota, která se opět druhově velmi liší, ale za optimální jsou považovány hodnoty kolem 25 - 30 °C [25].

Jednotlivých druhů dřevokazných hub je mnoho, vzhledem k omezené kapacitě této práce jsou dále charakterizovány pouze základní druhy, které škodí zejména v našich klimatických podmínkách a byly použity v experimentální části.

3.1.4.1 Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans* (Wulfen) J.Schröt)

Dřevomorka domácí je jedna z nejčastějších a nejvíce ohrožujících celulózožravých hub, která napadá zejména zabudované dřevo [3; 9]. U nás se s ní můžeme potkat především ve vnitřních prostorách (ve volné přírodě na ni narazíme zřídka), a to zejména ve sklepích, pod střechou a v jiných místnostech se zvýšenou vlhkostí. Nejčastěji napadá již několik let zabudované dřevo jehličnanů, čerstvé dřevo nevyhledává, pokud v něm ale nachází ideální podmínky pro rozvoj, nebrání se ani jemu [1].

Nejvíce nebezpečná je zejména proto, že si neklade velké nároky na vlhkost jako jiné houby a jako jedna z mála je schopna se vyvíjet i těsně pod hranicí vlhkosti 20 % [1; 25]. Zajímavé je také to, že dřevomorka potřebuje vlhkost hlavně na počátku svého růstu, později je schopna si ji svými metabolickými procesy obstarat sama [9]. I když je schopna přežít i za velmi nízké vlhkosti, za optimální podmínky pro její život jsou považovány temnější místnosti s minimální výměnou vzduchu, kde se vlhkost substrátu pohybuje kolem 25 – 30 % a teplota vzduchu kolem 20 °C [25].

Dřevomorka se může po objektu rozšiřovat pomocí výtrusů (spor), které mohou být do okolí zavlčeny poryvem větru nebo podhoubím. Z podhoubí mohou vznikat provazcovité útvary, které nazýváme rhizomorfy [3]. Jelikož jsou tyto provazce schopny prorůstat nejen dřevem, ale také například zdivem [3; 8], betonem a pod omítkami [1], může se díky nim houba rozrůstat do velkých vzdáleností, případně si přivádět potřebnou vlhkost z odlehlejších a vlhčích míst.

Za příznivých podmínek dřevomorka vytváří svým působením plodnice, které mohou mít v průměru až 30 cm nebo mohou splynout v jeden obrovský, až metrový, plošný útvar [3]. Plodnice jsou z počátku bílé až nažloutlé načechrané vatovité povlaky, které ale za vhodných podmínek přerůstají v rozlité okrouhlé, terčovitité útvary, které jsou uprostřed zbarveny od žlutooranžové až po hnědou barvu a po obvodě jsou lemovány bílým, plstnatým okrajem (Obrázek 8) [1; 3].

Dřevomorka domácí způsobuje klasickou hnědou hnilobu a dřevo, které degraduje, se rozpadá do kostek poměrně větších formátů (Obrázek 9) [17] [25].



Obrázek 8: Plodnice dřevomorky domácí (4).



Obrázek 9: Rozpad dřeva na kostky větších formátů způsobený hnědou hnilobou (5).

3.1.4.2 Koniofora sklepní (*Coniophora puteana* (Schumach.)P. Karst)

Koniofora sklepní, se stejně jako dřevomorka, řadí mezi celulózovorní dřevokazné houby a rovněž je značně nebezpečná. Velmi často se stává, že s dřevomorkou společně koexistují [3]. Rozdílem ovšem je, že zatímco dřevomorka je schopna se vyvíjet i v sušším prostředí, koniofora sklepní je houba velmi náročná na vlhkost. Optimální podmínky nachází v substrátu s vlhkostí nad 40 %, proto se s touto houbou nejčastěji setkáváme ve dřevě, které je v přímém kontaktu s jiným vlhkým materiálem. Pokud v průběhu jejího života dojde k poklesu vlhkosti, houba odumírá nebo pozastaví svůj růst [1]. Pro svůj život sice potřebuje vysokou vlhkost, což je její nevýhodou, na druhou stranu je ale schopna snášet teploty, které dosahují až 35 °C (optimální teplota se pohybuje kolem 23 °C) [3; 25].

Plodnice koniofory jsou velmi tenké, dorůstají maximálně tloušťky jednoho milimetru a mají plochý, rozlitý tvar o průměru 10 - 50 cm. Zbarveny jsou od žlutavé přes okrovou a ve stáří až po hnědou barvu s bílými, pavučinatými okraji (Obrázek 10, 11) [3]. Ovšem spíše sporadicky koniofora plodnice vytváří, je proto těžší ji identifikovat [1].

Působení této houby způsobuje hnědou hnilobu na listnatých i jehličnatých dřevinách. Poškozené dřevo mění svou barvu. Z počátku se na něm mohou objevovat žlutohnědé skvrny, které se postupně zbarvují až do černa. Napadená dřevina vykazuje zvýšené kyselé pH, které je optimální pro rozvoj dřevomorky, proto se

často vyskytují obě houby pohromadě [3]. Postupem degradace dřeva dochází k rozpadu prvku na menší kostkové útvary, které se mohou rozmělnit na prach [25].



Obrázek 10: Rozrostlá plodnice koniofory sklepní (6).



Obrázek 11: Dřevěný prvek napadený konioforou sklepní (7).

3.1.4.3 Pórnatka Vaillantova (*Antrodia vaillantii* (DC.) Ryvarden)

Pórnatka se nejčastěji vyskytuje na jehličnatých dřevinách, které jsou umístěny například ve sklepeních, na stropních konstrukcích provlhlých objektů a v našich klimatických podmínkách zejména v dolech, ve kterých způsobuje hnilobu takového rozsahu jako dřevomorka domácí či koniofora sklepní [3] [17]. Ideální podmínky pro vývoj této houby jsou při vlhkosti dřeva kolem 35 – 40 % a teplota pohybující se kolem 27 °C [25; 30].

Plodnice pórnatky jsou tvarově velmi rozmanité, po většinu života zůstávají bílé, až ve stáří se mohou lehce zbarvit do žlutošedé. V mládí jsou plodnice ještě pružné a měkké, postupem času mohou zkožovatět [25]. Pórnatka se rozšiřuje pomocí provazců, které dokážou prorůst zdivem, tím může značně připomínat dřevomorku domácí. Stejně jako její předchůdkyně způsobuje hnědou hnilobu a kostkovitý, až prachovitý rozklad dřeva [3].

3.1.4.4 Trámovky (*Gloeophyllum*)

Jednotlivé druhy trámavek většinou poškozují jehličnaté dřevo (odumřelé i opracované, např. trámy) a to zejména dřevo smrkové, borovicové a jedlové a jen výjimečně se vyskytují na listnatých dřevinách [3]. Trámovky mohou škodit jak na dřevěných prvcích vně konstrukce (např. trámovka plotní), tak i uvnitř stavby

na prvcích se zvýšenou vlhkostí (např. trávovka trávová). Podmínky pro jejich rozvoj mohou být různé, jsou totiž velmi nebezpečné tím, že jsou schopny přežívat extrémní klimatické výkyvy [11]. Na rozdíl od dřevomorky jsou snášenlivé k vysokým teplotám a jsou schopny přežít i několik let ve vyschlém prostředí. Optimální podmínky pro jejich růst jsou při vlhkosti substrátu 40 % a při teplotě 35 °C, přežívají ale i za extrémních teplot, které mohou být v rozmezí cca 5 – 45 °C [3].

Plodnice trávovek jsou většinou bokem přisedlé útvary na povrchu (Obrázek 12). Pokud se na dřevě vytvoří, není již těžké škůdce identifikovat. Jejich zbarvení přechází od nažloutlé, rezavé, až po kaštanově hnědou [2]. Velikost plodnic se pohybuje kolem 8 cm, což se může druhově lišit, stejně jako jejich přesná charakteristika (například trávovka plotní má plodnici s širokými lupeny, zatímco plodnice trávovky trávové je tvořena póry) [3].

Všechny druhy trávovek jsou nejvíce škodlivé a specifické tím, že rozkládají dřevní hmotu uvnitř prvku, což z venku není téměř znatelné (Obrázek 13). Na povrchu si vytváří jakousi neporušenou krustu, která působí dojmem zdravého dřeva. Narušení je z tohoto důvodu odhaleno většinou až v takové fázi, kdy je dřevní prvek zevnitř kostkovitě rozložen hnědou hnilobou a na povrchu se vytváří plodnice, kterými na sebe trávovka upozorní [1]. Jelikož působí zejména uvnitř prvku, je zřejmé, že může docházet k rozvoji hniloby i při povrchovém chemickém ošetření fungicidním přípravkem, který s houbou nemusí ani přijít do styku [3].



Obrázek 12: Plodnice trávovky na dřevěném prvku (8).



Obrázek 13: Kostkovitý rozklad uvnitř neopracovaného dřeva (9).

3.1.4.5 Outkovka pestrá (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd)

Outkovka pestrá je ligninovorní houba napadající bělovou i jádrovou část listnatých a výjimečně i jehličnatých dřevin. Vyskytuje se zejména na čerstvém uskladněném dřevě, v exteriéru na zahradním nábytku, plotech či na dřevě zabudovaném a dostatečně vlhkém. Outkovka je schopná akceptovat i suchá období, ale optimální vlhkost je definována v rozmezí 40 – 50 % a teplota okolo 26 °C [3].

Tato houba způsobuje bílou hnilobu dřeva [3]. Její plodnice vytváří 0,3 - 3 mm tenké, kožovité, polokruhovitě klobouky, které dorůstají do maximálních rozměrů 60 – 120 mm [2; 26] a bokem přiléhají k dřevěnému prvku (Obrázek 14). Vrchní strana je zbarvena od bílé, přes okrovou, až po hnědou barvu. Spodní strana je tvořena rourkami bílé, okrové a později i šedé barvy [2].



Obrázek 14: Plodnice Outkovky pestré (10).

3.1.5 Dřevokazný hmyz *

Dřevokazný hmyz nemá na dřevěné prvky tak destruktivní dopad jako dřevokazné houby, ale i přesto je vedle hub jedním z nejvýznamnějších škůdců, kteří způsobují degradaci dřeva. Hmyz je schopen využívat dřevo hned k několika účelům, a to zejména jako zdroj potravy, prostředí k rozmnožování a jako úkryt. [10; 16]

Dřevokazný hmyz může napadat dřevo živé, také známé jako čerstvé (stále rostoucí strom, případně dřevo, které bylo čerstvě poraženo) nebo dřevo zpracované (zabudované) [25]. Hmyz, který napadá živé dřevo, potřebuje pro svůj vývoj

* tato kapitola byla v upraveném rozsahu již publikována v bakalářské práci [60]

vysokou vlhkost, zatímco hmyz napadající dřevo již zabudované má menší nároky na vlhkost a řadíme jej mezi největší škůdce stavebního dřeva [1].

Na opracovaném dřevě může dřevokazný hmyz vytvářet poškození přímo i nepřímo. Při přímém poškození působí na dřevo jak larvy, tak i dospělí jedinci, obě tato stádia hmyzu svým počínáním vytvářejí pod povrchem dřeva požerkové chodbičky s výletovými a vletovými otvory. Pokud je dřevo již velmi silně napadeno, chodby se spojují a vytváří tzv. kaverny, které mohou být naplněny drtí z požerků, která se sype ven ve formě hromádek jemných odpadních pilin, což může být varovným signálem, že dřevo je napadeno aktivním hmyzem [3; 10]. Když je dřevo velmi poškozeno, časem dochází ke značnému znehodnocení, při němž může dojít až ke ztrátě pevnosti a rozpadu dřevěného prvku. Všeobecně dřevo napadené dřevokazným hmyzem přichází ve značné míře o své důležité vlastnosti. Nejen že ztrácí svou pevnost, ale také se mění jeho pružnost, hmotnost, izolační schopnost a mimo jiné také jeho estetická hodnota [14]. Dřevokazný hmyz ovlivňuje dřevo i nepřímo - dospělý hmyz zavléká do chodbiček některé druhy plísní, a tím napomáhá k jejich částečné distribuci uvnitř dřevěného prvku [3].

Aby dřevo bylo napadeno dřevokazným hmyzem, musí být zajištěny určité podmínky (zejména vhodná vlhkost a teplota), aby byl schopný se dále rozmnožovat a zejména přežít. Naopak od dřevokazných hub má hmyz menší nároky na vlhkost prvku a pro napadení mu postačí vlhkost dřeva okolo 12 % [23]. Pokud vlhkost po delší dobu klesne zhruba pod 8 % nebo se naopak zvýší nad 80 %, dochází ke značnému úbytku, až k úhynu hmyzu. Ideální teplota pro hmyz se pohybuje v rozmezí 20 – 30 °C [10]. Pokud teplota klesne pod 5 °C, může dojít k hibernaci larev, při teplotě nad 50 °C dochází často k usmrcení larev, což je s výhodou používáno při likvidaci hmyzu v konstrukcích [1].

Počet jednotlivých druhů je rozsáhlý. Mezi hlavní zástupce, jež poškozují zejména dřevo zabudované ve stavbě, patří například Tesařík krovový, Červotoč proužkovaný a Hrbohlav parketový. Vzhledem k povaze této práce není jejich podrobná charakteristika dále uváděna.

3.2 Prevence a ochrana dřeva^{*}

Mezi základní všeobecně známé metody ochrany můžeme řadit stavebně - konstrukční a fyzikální opatření a chemické prostředky, k modernějším poté modifikační úpravy dřeva a ochranu formou nanotechnologií [16; 19]. Abychom docílili co nejlepších výsledků, je zapotřebí brát tyto metody jako soubor ochranných opatření, kterými při vhodné kombinaci můžeme dosáhnout dlouhé životnosti dřevěné konstrukce [2; 12].

Před návrhem ochranných opatření je zapotřebí konkrétní dřevěnou konstrukci zařadit dle podmínek, ve kterých se bude daný prvek v konstrukci nacházet (vlhkost, umístění aj.), do jedné z pěti tříd rizika ohrožení (Tabulka 1) a zvolit vhodný typ dřeviny, dle její přirozené odolnosti a trvanlivosti (Tabulka 2) [38].

Přirozená trvanlivost dřeva, nám znázorňuje, jak jsou jednotlivé druhy dřevin schopny zachovat si své původní vlastnosti i tehdy, pokud se vyskytují v podmínkách vhodných pro rozvoj dřevokazných škůdců [12; 38]. Přirozená odolnost dřevin se druh od druhu značně liší a velmi úzce souvisí se složením látek, které jsou obsáhlé zejména v jádrové oblasti dřeviny, jelikož část bělová je všeobecně považována za téměř netrvanlivou [1; 2].

Pokud u daného prvku víme třídu prostředí a přirozenou trvanlivost dřeva, lépe se pak stanoví možnost rizika poškození biotickými škůdci a provede se návrh ochranných metod, aby byla rizika co nejvíce snížena a zároveň, aby se prováděla pouze nezbytná opatření. Pokud se vyhodnotí, že dřevěný prvek bude v konstrukci v bezpečném prostředí a bude zhotoven z velmi trvanlivého dřeva, budou následující ochranné postupy minimální [12; 36].

^{*} tato kapitola (po podkapitole 3.2.4) byla v upraveném rozsahu publikována v bakalářské práci [60]

Tabulka 1: Ohrožení dřeva biotickými škůdci, zatříděno do 5 tříd (dle ČSN EN 335) ¹.

Třída ohrožení dřeva	Použití dřeva	Vlhkost dřeva w	Výskyt biotických škůdců v třídách ohrožení				
			U/L*				
			Dřevokazné houby		Dřevozbarvující houby a plísňe	Dřevokazný hmyz	
stopkovýtřusé	vřeckaté	brouci	termity				
1	bez kontaktu se zemí, pod přístřeškem	≤ 20 %	-	-	-	U	L
2	bez kontaktu se zemí, pod přístřeškem	příležitostně > 20 %	U	-	U	U	L
3	bez kontaktu se zemí, bez přístřešku	častěji > 20 %	U	-	U	U	L
4	kontakt se zemí nebo sladkou vodou	soustavně > 20 %	U	U	U	U	L
5	kontakt se slanou vodou	soustavně > 20 %	U	U	U	U	L

*U = univerzální, L = lokální

Tabulka 2: Přirozená trvanlivost vybraných druhů dřevin (dle ČSN EN 350 – 2) ².

Třída trvanlivosti	Obchodní název	Latinský název	L/J*	Výskyt
1 velmi trvanlivé	teak	Tectona grandis	L	Asie
	jarrah	Eucalyptus marginata	L	Austrálie
1 - 2	akát	Robinia pseudoacacia	L	Evropa
2 trvanlivé	dub	Quercus robur	L	Evropa
	kaštan	Castanea sativa	L	Evropa
	tuje	Thuja plicata	J	S. Amerika
3 středně trvanlivé	douglaska	Pseudotsuga menziesii	J	S. Amerika
	ořech	Juglans regia	L	Evropa
3 - 4	borovice	Pinus sylverstris	J	Evropa
	modřín	Larix decidua	J	Evropa
4 málo trvanlivé	jilm	Ulmus sp.	L	Evropa
	smrk	Picea abies	J	Evropa
	jedle	Abies alba	J	Evropa
5 trvanlivé	buk	Fagus sylvatica	L	Evropa
	habr	Casrpinus betulus	L	Evropa
	javor	Acer pseudoplatanus	L	Evropa
	lípa	Tilia cordata	L	Evropa
	topol	Populus sp.	L	Evropa

* L = listnaté dřevo, J = jehličnaté dřevo

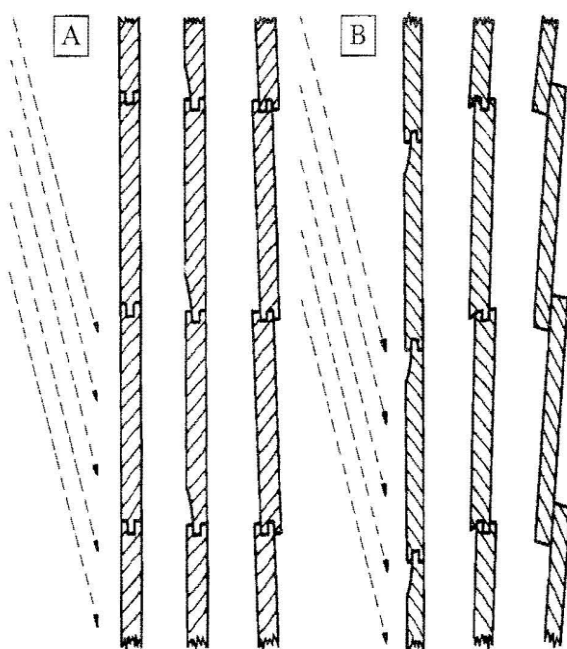
3.2.1 Stavebně - konstrukční ochrana dřeva proti vlhkosti

Stavebně - konstrukční ochrana dřeva je jedna ze základních metod. Jedná se o komplex různých konstrukčních opatření, chránící stavbu před povětrnostními vlivy, které mohou nepříznivě zvyšovat vlhkost dřevěných prvků [15]. Při boji proti biotickým škůdcům je hlavním principem snížit nebo zcela zabránit zvýšené vlhkosti v konstrukci a následně tím předejít výskytu biodeteriogenů [1 - 2]. Z těchto důvodů chráníme dřevěnou konstrukci zejména proti zmíněné povětrnosti a odstříkující vodě, proti kapilární vodě, proti kondenzované vodě a proti vlhkosti,

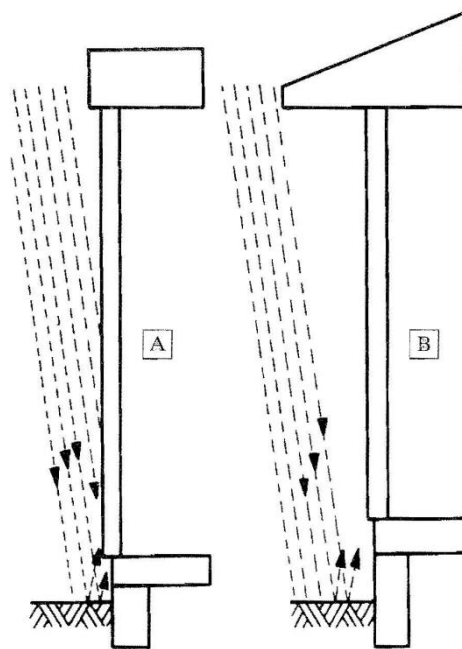
kteřá může do prvku pronikat již při přepravě, montáži či skladování [1; 32]. Stavebně - konstrukčních opatření existuje velké množství, dále jsou charakterizovány pouze některé základní metody.

3.2.1.1 Ochrana proti povětrnostním vlivům

Dřevěné konstrukce, které budou vystaveny přímému působení vnějších vlivů, musí být konstruovány tak, aby byl zajištěn plynulý odvod vody z povrchu a bylo umožněno rychlé vysychání (velké, vodorovné dřevěné plochy bez sklonu jsou nevhodné) [12]. Jedna z neúčinnějších metod ochrany venkovní stěny vystavené povětrnosti je její obložení, přičemž se dává přednost svislému obložení před vodorovným. Svislé obložení umožňuje lepší odtok vody, zatímco u vodorovného obložení musíme dbát na uspořádání tak, aby se povrchová voda nemohla usazovat ve vodorovných spárách (Obrázek 15). Zároveň je zapotřebí takové obložení vhodně odvětrávat a umožnit tak cirkulaci vzduchu potřebnou k vysychání [1]. Další ochranu venkovní stěny nám může zajistit vhodně zvolená délka přesahu střešní konstrukce, která zabraňuje nebo alespoň zmírňuje působení odstříkující vody na dřevěný prvek (Obrázek 16) [10]. Při řešení veškerých konstrukčních spojů není vhodné navrhovat takové, do kterých může srážková voda snadno zatéci a později se hůře vypařovat [12; 32]. U dřevěných dílů, které jsou umístěny v exteriéru a budou vystaveny vodním srážkám, je žádoucí zakrýt jejich čelní plochy, které intenzivně vsakují vodu nebo je alespoň zkosit, aby v nich voda trvale nestála [10; 16]. Také není vhodné používat velkoformátové prvky, ty mají sklon k tvorbě výsušných trhlin, do kterých může nejen snadno zatékat voda, ale vytváří také ideální místo pro kladení vajíček dřevokazného hmyzu [1; 12].



Obrázek 15: Obložení vnějších stěn, A – nevhodné řešení, B – vhodné řešení z hlediska odtoku a zatékání srážkové vody (11).



Obrázek 16: Řešení přesahu střešní konstrukce z hlediska smáčení stěn odstříkující vodou, A – nedostatečný přesah, B – správný přesah (11).

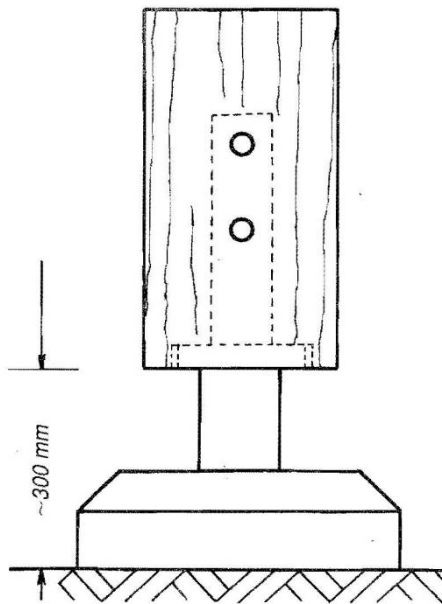
3.2.1.2 Ochrana proti kapilární vodě

Kapilární (vzlínající) voda se do prvku může snadno dostat při přímém styku dřeva s jiným navlhklým materiálem jako zdivo, beton, půda aj. Je tedy důležité podniknout taková konstrukční opatření, kterými dojde k omezení tohoto nežádoucího jevu [1].

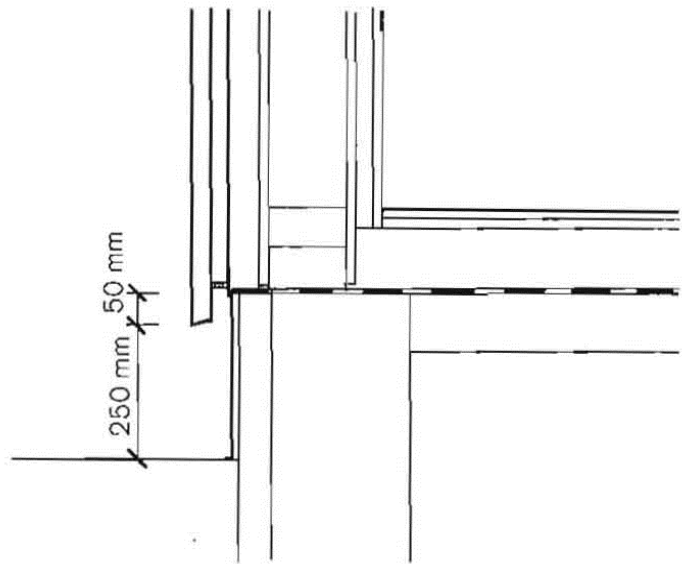
Jedním ze základních pravidel při stavbě dřevostaveb je, že dřevěný prvek musí být umístěn cca 300 mm nad zemí (Obrázek 17) [1 - 2]. Při řešení venkovních stěn je soklová oblast řešena tak, že kontaktní spára mezi dřevěným prvkem a spodní stavbou je oddělena izolačním materiálem a zároveň je konstrukčním řešením (např. přesahem obložení) tato spára chráněna před odstříkující vodou (Obrázek 18) [12].

Jedno z pravidel, které je všeobecně známo, ale i přesto se často nedodrhuje, je řešení v oblasti uložení stropního trámu na zdivo nebo jiný materiál. Dřevěný trám se v takovém případě ukládá na izolační, chemicky ošetřenou destičku, a ne přímo na zděný či betonový prvek [1]. Spodní strana trámu je tedy uložena na izolační mezivrstvě, zatímco ostatní části trámu nejsou zabetonovány nebo těsně zazděny, ale je zde ponechána vzduchová mezera, potřebná pro cirkulaci vzduchu, aby v tomto

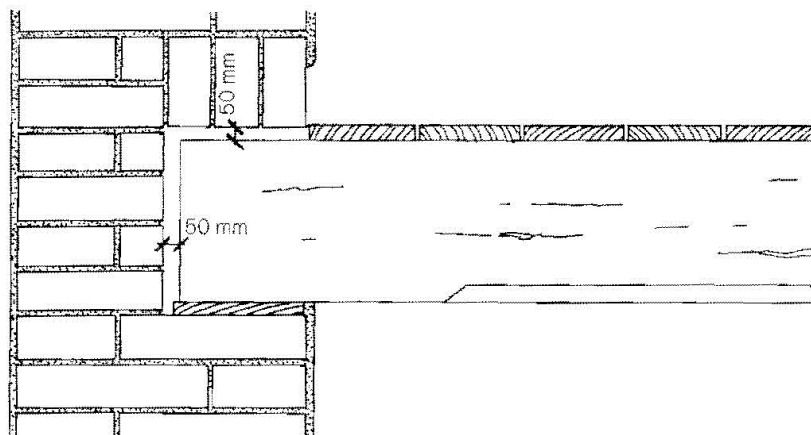
místě nedocházelo k hnilobě (Obrázek 19) [12]. Podobně se postupuje i při ukládání jiného dřevěného prvku. Mezi dřevem a jiným materiálem musí být vždy umístěna vhodná izolační přepážka [10].



Obrázek 17: Schématické znázornění uložení dřevěných prvků nad zemí (11).



Obrázek 18: Řešení v soklové oblasti, oddělení základů od dřevěného prvku izolační mezivrstvou a ochrana spáry přesahem vnějšího obkladu (12).



Obrázek 19: Schématické znázornění záhlaví dřevěného trámu v oblasti uložení na zdivo, trám je zapotřebí uložit na podložku a vzduchovými mezerami umožnit provětrávání (12).

3.2.2 Fyzikální ochrana dřeva

Fyzikální ochrana dřeva představuje souhrn ochranných opatření, kterými ve dřevě a v jeho bezprostřední blízkosti vytváříme takové podmínky, které zamezí tomu, aby bylo dřevo napadeno biotickými škůdci [10]. Fyzikální metody můžeme použít jako preventivní, ale zároveň i jako likvidační opatření ve dřevě, které již je znehodnoceno dřevokaznými škůdci [34]. Základní metody využívají zejména regulaci vlhkosti a teploty ve dřevěném prvku [10].

3.2.2.1 Suchá ochrana dřeva

Princip suché ochrany spočívá v tom, že vlhkost ve dřevě snižujeme pod úroveň hranice, při které nedochází k napadení dřevokaznými škůdci, ani k jejich dalšímu rozvoji. Je to jedna ze základních technologických metod, jak snížit možnost výskytu škůdců ve dřevěné konstrukci a velmi úzce souvisí se stavebně - konstrukčními opatřeními [21]. Limitní hodnoty jsou následující:

- hranice vlhkosti pro napadení dřevokaznými houbami: $w \geq 18 - 20 \%$ [23]
- hranice vlhkosti pro napadení dřevokazným hmyzem: $w \geq 12 \%$ [23]

Z uvedených hodnot je patrné, že pokud snížíme vlhkost dřevního substrátu pod 12 % [23], bude velmi malé riziko, že dojde k napadení dřeva biotickými škůdci. Při trvale nižší vlhkosti může docházet i k vysokému úhynu larev dřevokazného hmyzu a zároveň bude potlačen rozvoj dřevokazných hub, který může být trvalý nebo se s nárůstem vlhkosti může aktivita hub opět obnovit [10].

Sušení dřevěných prvků má smysl nejen z hlediska preventivního, ale můžeme jej využít i jako likvidační opatření [34]. Zároveň se sušením pozitivně mění celkové fyzikální a mechanické vlastnosti dřevěného prvku [2]. Sušení má i své záporné. Při vysoušení za velmi vysokých teplot je možné, že dojde ke vzniku výsušných trhlin, které mohou vytvářet vhodné útočiště pro rozvoj škůdců [11; 34].

Přirozené vysoušení

Vysušování dřeva přirozeným způsobem je z ekonomického hlediska výhodnější. Je to energeticky nenáročný proces, protože k sušení dochází na volných prostranstvích, kde se na uložené řezivo vyskládané do hrání nechá působit přirozené prostředí (tj. vlhkost, teplota, proudění vzduchu), které se vyskytuje ve volné

přírodě [2]. Z tohoto plyne, že vysoušení je závislé na aktuálních klimatických podmínkách, které máme zrovna k dispozici a díky tomu má sušení poměrně pomalý průběh [21; 31].

Umělé vysoušení

Sušení dřeva umělým způsobem není závislé na klimatu, jelikož k němu dochází v komorových sušárnách dřeva a je možné jej regulovat a řídit. Z ekonomického hlediska je takové sušení logicky nákladnější, ale na druhou stranu je dřevěný prvek vysušený za kratší dobu. Nejpoužívanější způsob nepřírozeného vysoušení je v teplovzdušné sušárně, ve které se dřevo vysouší pomocí teplého proudícího vzduchu [2]. Výhodou tohoto procesu je, že pokud se suší dřevěný prvek na teplotu, která přesahuje 60 °C, dochází i k usmrcování dřevokazného hmyzu [21].

3.2.2.2 Mokrá ochrana dřeva

Vlhkost je pro dřevěný prvek všeobecně považována za nepříznivý aspekt, při vhodném využití může být ale i dřevu prospěšná. Podstata této metody spočívá v tom, že se ve dřevě udržuje tak vysoký stupeň nasycení vodou, který zaručuje vytlačení většinového množství kyslíku (zbytkový vzduch činí max. 5 – 20 % celkového objemu dřeva), které biotické organismy potřebují k životu [10; 21]. Během realizace staveb se tento způsob ochrany před napadením škůdci používá často, například při skladování kulatiny či před jejím dalším zpracováním. Mokrá ochrana se provádí různými technologiemi, jako je například ponořování, postřik nebo uložení do země. [21; 34]. Způsob mokré ochrany je s výhodou využíván také při výstavbě konstrukcí při vodních tocích (lávky a mola) [10].

3.2.3 Chemická ochrana dřeva proti biotickým škůdcům

Principem chemické ochrany dřeva je, že se na daný dřevěný prvek nanese vhodnou aplikací toxické přípravy, tzv. biocidy, které zvýší jeho odolnost a trvanlivost vůči biotickým činitelům. Dle typu škůdců, proti kterým chceme dřevo chránit, volíme fungicidy (chemikálie proti dřevokazným houbám), insekticidy (chemikálie proti dřevokaznému hmyzu) aj. [1; 10]. Ochrana dřeva chemikáliemi může mít na biotické činitele preventivní i likvidační účinky, nutno ale zmínit, že k aplikaci chemikálií se uchylujeme pouze tehdy, pokud veškeré konstrukční

a fyzikální principy a metody byly již vyčerpány nebo je nelze použít [2; 33]. Je totiž zřejmé, že pokud chemický přípravek může škodit škůdcům, může mít nepříznivé účinky i na jiné organismy.

3.2.3.1 Způsoby aplikace chemických prostředků

Aplikaci chemického ochranného prostředku na dřevo lze provádět několika různými způsoby, mezi které patří povrchové nátěry a postřiky, máčení, tlakové impregnace apod. [10]. Vhodnou metodu volíme na základě různých aspektů, jako jsou požadovaná hloubka impregnace, druh dřeviny a její schopnost přijímat ochrannou chemikálii, budoucí uložení prvku v konstrukci a mnoho dalších [11; 33].

Povrchová ošetření

Základními metodami, nenáročnými na technologii, jsou různá povrchová ošetření jako nátěry, postřiky aj. [21]. Při jakémkoliv z těchto způsobů aplikace dochází k impregnaci pouze povrchové vrstvy, tloušťky jen řádově v desetinách milimetrů, což je nutné brát v potaz, protože pokud dojde při manipulaci k odření dřeva, obnaží se tak nechráněná vrstva a je nutné nános ochranného prostředku opakovat. Také je vhodné těmito způsoby chránit dřevo, které je dostatečně proschlé s nízkým obsahem vlhkosti a ve kterém jsou již vytvořeny výsušné trhliny. Pokud by došlo ke vzniku trhlín až po nánosu prostředku, opět by vznikla obnažená místa vhodná pro rozvoj dřevokazných škůdců [1; 12].

Nátěry i postřiky se provádí opakovaně v různých intervalech dle potřeby a pokynů výrobce. Nátěrové hmoty nanášíme například štětcem či válcem a to pokud možno ve vodorovné poloze, aby nestékaly [35]. Aplikace postřikem se může provádět ve speciálních tunelech nebo přímo na stavbě zejména tam, kde jsou obtížně přístupná místa, jejich nevýhodou ovšem může být značná ztráta ochranného prostředku při rozstřiku [21].

Máčení

Aplikace ochranného prostředku metodou máčení spočívá v tom, že se dřevěné prvky ponoří do máčecí vany napuštěné impregnačním prostředkem a ponechají se zde po dobu požadované délky (minuty až dny), aby došlo k dostatečnému nasycení [1]. Impregnační máčením se dosáhne o něco většího

proimpregnování než u povrchových metod, dle délky ponoru dřevěného prvku se ochranná látka vsakuje do hloubky až několika milimetrů. Tento způsob aplikace využíváme zejména jako preventivní ochranu nového dřeva [3; 20].

Injektáž (infúze)

Aplikace chemické látky do prvku pomocí injektáže se provádí pomocí otvorů, které jsou do dřeva vyvrtány nebo vpichovány. Tato metoda se používá zejména u zabudovaného dřeva a to zdravého nebo mírně degradovaného biotickými škůdci [24]. Jelikož do dřeva zasahujeme impregnačními otvory, je nutné předem posoudit, zda je tato metoda vhodná a žádným způsobem neovlivní únosnost konstrukce [10].

Injektážní vývrty o průměru 5 – 10 mm se vrtají do 1/3 - 2/3 tl. prvku v řadách za sebou, ve vzdálenostech cca 10 – 20 cm a jsou rozmístěny tak, aby se ochranný prostředek rovnoměrně rozprostřel [10; 35]. Poté se pomocí injekčních stříkaček nebo přístrojů do otvoru vpravuje impregnační látka. Injektáž může být prováděna i za pomoci tlaku, kdy dochází k proimpregnování v širokém průřezu, v takovém případě mohou být vývrty menšího průměru a rozmístěny dále od sebe [10].

Bandážování

Bandážování je speciální metoda, která se využívá zejména na dřevěné prvky, které budou vystaveny velmi nepříznivým podmínkám (např. styk se zemí) a je zapotřebí, aby byly dostatečně chráněny [24]. Princip spočívá v tom, že dřevo je obaleno bandáží (porézní látkou), která je intenzivně nasycena ochranným prostředkem a krycí ochrannou fólií. Tímto způsobem se impregnační látka beztlakově vsakuje do dřevního substrátu a to do takové míry, že bělová část bývá prosycená v celé tloušťce [10].

Impregnace tlakem

Impregnace tlakem využívá pro aplikaci ochranného prostředku rozdílné tlaky a podtlaky dřeva a jeho okolí, díky kterým se ochranné chemikálie ve speciálních tlakových (vakuotlakových) kotlích natlačí do dřevní hmoty [1]. Je to velmi účinná průmyslová metoda, která se využívá zejména na dřevo vystavené

extrémním podmínkám, zejména zvýšené vlhkosti. Díky této technologii je umožněno látce proniknout hlouběji do prvku [10]. Tlaková impregnace je vhodná pro propustné (buk, borovice) i nepropustné dřeviny (jedle, smrk). U dřeva které snadno vsakuje látku, může dojít k nasycení substrátu až do hloubky 20 mm, u těžko impregnovatelných dřevin procesu napomáhají návrty a vpichy (zejména v oblasti na rozhraní země a vzduchu). Poté dochází k nasycení látkou do hloubky cca 3 mm [35].

3.2.4 Modifikační ochrana dřeva

Modifikační ochrana spočívá v tom, že se ve dřevě různými postupy záměrně pozměňuje jeho chemická struktura za účelem zlepšení některých vlastností, jako je biologická odolnost, hydrofobita, odolnost vůči chemikáliím, termická odolnost a mnoho dalších. Všeobecně se dá říci, že upravené dřevo vykazuje větší odolnost vůči biotickým a abiotickým faktorů a jakákoliv forma úpravy dřeva zvyšuje jeho využitelnost i v prostorech, ve kterých nemohlo být předtím použito. Přeměnu struktury dřeva lze dosáhnout různými metodami, mezi které řadíme termickou, biologickou a mechanickou modifikaci nebo modifikaci chemikáliemi [19]. V současné době je nejvíce využívána tepelná modifikace, kterou vzniká termodřevo a modifikace chemikáliemi [16].

3.2.4.1 Tepelná modifikace dřeva

Princip tepelné úpravy dřeva spočívá v tom, že je dřevo vystaveno působení vysoké teploty za účelem změny struktury dřeva. Dřevo bývá modifikováno za teplot, které dosahují hodnot od 180 do 280 °C po dobu několika minut až hodin [19]. Důvod, proč provádíme tento způsob ochrany v boji proti biotickým škůdcům, je, že takto upravené dřevo (tzv. termodřevo) vykazuje zvýšenou odolnost vůči biotickým činitelům, vlhkosti a vyšší rozměrovou stabilitu. Tepelně modifikované dřevo není ale vhodné používat v expozicích, kde by bylo vystaveno velmi náročným podmínkám (například trvalý styk s vodou) [19].

Rozsah modifikace dřeva je závislý na mnoha faktorech a nezáleží pouze na intenzitě tepelného působení, ale významný vliv má i prostředí, ve kterém je úprava prováděna. Zároveň je možné termodřevo vyrábět několika různými

technologickými metodami, mezi které patří například ThermoWood proces, OHT proces aj. [19].

Modifikace dřeva metodou ThermoWood je prováděno ve speciálních sušárnách v několika krocích. Z počátku je dřevo pomocí horkého vzduchu nebo vodní páry vystaveno teplotám v rozmezí 100 – 130 °C, dokud není snížena jeho počáteční vlhkost na minimum. V další fázi úpravy se teplota zvýší na 185 – 230 °C a nechá se zahřívat po dobu 2 – 3 hodin [19]. Po ukončení těchto dvou etap se nechává dřevo postupně ochlazovat a vlhčit, dokud se jeho konečná vlhkost nebude pohybovat v rozmezí od 5 do 7 % [37].

Jednou z dalších možností jak dřevo tepelně modifikovat je tzv. OHT proces. Při této technologii je naopak od výše zmíněné metody využíván k ohřevu velký impregnační kotel, obsahující horký olej o teplotách 200 – 220 °C. Zároveň je množství kyslíku sníženo na minimum, aby byly vyloučeny negativní termooxidační procesy. Tento technologický postup spočívá v tom, že je zapotřebí uprostřed dřevěného prvku docílit teplot 180 – 200 °C po dobu alespoň 2 – 4 hodin [16].

3.2.4.2 Chemická modifikace dřeva

Modifikace dřeva chemickou cestou je založena na tom, že je na dřevo aplikována chemikálie, která ale na rozdíl od klasické chemické ochrany dřeva proti škůdcům neobsahuje žádnou biocidní látku. Princip není tedy založen na samotné chemikálii, která neobsahuje ochranné látky, nýbrž na vztahu, který vzniká mezi chemickou látkou a dřevem. Chemická látka, která je na dřevo nanesena, může i nemusí reagovat s jeho složkami, v obou případech jsou ale vlastnosti modifikovaného dřeva zlepšovány [19].

Chemicky upravené dřevo vykazuje zvýšenou odolnost vůči biotickým škůdcům a oproti rostlému dřevu má větší tvrdost [19]. Mezi průmyslově vyráběné modifikované dřeviny patří zejména acetylovaná a furfurylovaná dřeva, která vykazují odolnost vůči biologickému poškození. Například acetylované dřevo, které vzniká esterifikací, oproti rostlému dřevu daleko méně absorbuje vlhkost a je rozměrově stálé. Díky nárůstu hmotnosti tohoto dřeva během modifikace je zvýšena jeho odolnost vůči bílé a hnědé hnilobě [19].

Tento typ dřevin je možné uvažovat jako alternativu za cizokrajné, tropické dřeviny a zároveň je i možné je využívat místo dřevin, které jsou ošetřeny

chemickými prostředky s biocidním účinkem. Na rozdíl od termodřeva je možné chemicky modifikované dřeviny využít i ve velmi nepříznivých podmínkách [19].

3.2.5 Ochrana dřeva nanotechnologiemi

Nanotechnologie je oblast vědy, která je v posledních letech velmi populární a která se neustále vyvíjí. Její využití je mezioborově velmi rozsáhlé, uplatnění nachází od textilního průmyslu, přes elektroniku, zdravotnictví, až po stavební průmysl [38]. Ve stavebnictví se nanotechnologie uplatňuje zejména formou nanočástic a nanovláken. Nanočástice mohou být přidávány do různých materiálů (nátěry, omítky, beton aj.) a zlepšovat tak jejich původní vlastnosti. Nanovláknena mohou být rovněž přidávána do materiálu (např. výztuž do betonové směsi) nebo mohou být použita ve formě nanovláknitých textilií a sloužit na principu bariéry [39].

Dřevěné konstrukce mohou být chráněny nátěrovými systémy s nanočásticemi, vytvářející na povrchu dřeva film, který chrání konstrukci zejména před povětrnostními vlivy jako vlhkost a UV záření a před působením mikroorganismů [22]. Na dřevě může vznikat například hydrofobní vrstva, díky které voda stéká z povrchu konstrukce, aniž by došlo k jejímu vsáknutí do substrátu a zároveň tato vrstva těsně neuzavře strukturu dřeva a materiál je dále prodyšný pro vstup vodních par. Vlhkost je hlavním parametrem pro rozvoj všech biodeteriogenů na dřevěné konstrukci, tím že je prostřednictvím hydrofobní vrstvy odváděna voda z povrchu dřeva, je možné alespoň částečně předcházet biodegradaci. Pokud má nátěrový systém přímo fungovat proti mikroorganismům, je zapotřebí, aby obsahoval biocidní látku [22].

Ochrana dřevěného prvku proti biodegradaci prostřednictvím nanovláknitých textilií je ve stádiu laboratorního výzkumu a je jí věnována experimentální část této práce. Teorie je taková, že nanovláknité textilie budou aplikovány na dřevěný prvek a budou fungovat jako nosič pro biocidní látku. Zároveň nebudou díky své prodyšnosti uzavírat strukturu dřeva, která zůstane propustná pro vodní páry.

3.2.5.1 Nanovláknité textilie

Nanovláknena jsou velmi jemná vlákna o průměru menším než 500 nm, která díky svým specifickým vlastnostem nachází uplatnění v mnoha odvětvích a další možnost jejich využití se stále rozvíjí. Mezi jejich ojedinělé vlastnosti patří vysoká

porozita, malá velikost pórů, díky kterým jsou vlákna prodyšná, velký měrný povrch, nízká hustota a další [40]. Nanovláknité textilie jsou vyráběny z polymerních roztoků nebo polymerních tavenin metodou elektrostatického zvlákňování [41]. Tato technologie vyrábí netkaná vlákna z volné hladiny polymeru, bez použití trysek, za přítomnosti silného elektrostatického pole [40; 42]. Zvlákňovány mohou být polymery přírodní i syntetické [41]. Díky svým unikátním vlastnostem je často používán polyvinyl alkohol (PVA). PVA je bezbarvý syntetický polymer a jeho přednostmi jsou snadná tvarovatelnost vláken, netoxicita, chemická a tepelná stabilita, biokompatibilita aj. [43]. Nevýhodou tohoto polymeru je jeho rozpustnost ve vodě či jiných rozpouštědlech, lze ji ovšem předejít volbou vhodné stabilizace a vrátit tak PVA jeho původní pozitivní vlastnosti [62].

Nanovláknité textilie vyrobené na základě PVA bez přídavku biocidního činidla vykazují téměř nulové antimikrobiální účinky a slouží pouze jako nosič biocidu. Pokud má takto připravená textilie sloužit jako bariéra proti biodegradaci, je nutné do základního zvlákňovacího roztoku z PVA přidat biocid [44]. Teoreticky je možné do roztoku přidat komerční chemické biocidní prostředky, s ohledem na jejich potenciální toxicitu se ale v posledních letech rozvíjí možnost využití kovových iontů (např. měděné a stříbrné ionty) a jejich antimikrobiálních vlastností [44].

3.2.5.2 Biocidní účinnost stříbra

Stříbro má specifické vlastnosti, díky kterým nachází širokou škálu uplatnění v řadě odvětví od zdravotnictví, potravinářství až po elektroprůmysl [45]. Ve stavebnictví je využíváno pro své významné antimikrobiální vlastnosti a nízkou toxicitu pro lidský organismus [46]. Je prokázána jeho fungicidní a bakteriocidní účinnost [45] proti široké škále organismů, i nadále se ale provádí řada výzkumů zabývajících se účinností stříbra proti dalším mikroorganismům, studuje se jeho mezní biocidní koncentrace či forma použitého stříbra.

Biocidní účinnost stříbra je známa už po staletí, mění se pouze jeho forma využití od stříbra ve formě kovu až po ionty [47]. Stříbro si také zachovává svou biocidní účinnost i ve své nanoformě. V dnešní době se využívají zejména ionty a nanočástice stříbra, přičemž účinnost jednotlivých forem stříbra není docela jasná [48]. I po mnoha experimentech provedených různými výzkumnými skupinami není zcela přesně objasněn biocidní mechanismus působení nanočástic, prozatím se

uvažuje podobná aktivita jako u iontů stříbra. Ionty stříbra se vážou se základními stavebními látkami a narušují DNA a RNA buněk a tím potlačují jak jejich aktivitu, tak rozmnožování a buňka mikroorganismu postupně odumírá [49]. Další z teorií antimikrobiálního působení stříbra uvažuje přímý kontakt buňky a nanočástic, které způsobují poškození buněčné stěny [47]. Jiná teorie opět uvádí, že nanočástice stříbra uvolňují uvnitř mikroorganismů volné radikály, které potlačují buněčný metabolismus [47; 50].

EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

4 POUŽITÉ MATERIÁLY A POSTUPY

4.1 Přístroje

- Zvlákňovací přístroj Nanospider LAB 500 S
- Analytická digitální váha AND GR-120 EC s přesností na 0,1 mg
- Analytická digitální váha AC-12K s přesností na 0,1 g
- Třepačka s horizontálním kruhovým pohybem IKA VIBRAX VXR basic
- Magnetická míchačka HEIDOLPHMR Hei-Mix S
- Magnetická míchačka ROTH R 1000
- Termostat BT 120 MR
- Sušárna HS 201A
- Autokláv Chirana AUT 22/IV
- UV lampa

4.2 Použité chemikálie

- Polyvinylalkohol 16 % (PVA), Sloviol R16, Fichema, CZ
- Glyoxal, Sigma Aldrich, USA
- Kyselina fosforečná 85 % (H_3PO_4), Sigma Aldrich, USA
- Chlorid sodný (NaCl), P-lab, CZ
- Czapkův Agar, Oxoid, UK
- Sladový Agar, Carl Roth, DE
- Agar Agar, Carl Roth, DE
- Dusičnan draselný (KNO_3), P-lab, CZ
- Hydrogenfosforečnan draselný (K_2HPO_4), P-lab, CZ
- Síran hořečnatý (MgSO_4), P-lab, CZ
- Chlorid železitý (FeCl_3), P-lab, CZ
- Dusičnan sodný (NaNO_3), P-lab, CZ
- Dihydrogenfosforečnan draselný (KH_2PO_4), P-lab, CZ
- Chlorid draselný (KCl), P-lab, CZ

- Síran železnatý (FeSO_4), P-lab, CZ
- Aceton ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), P-lab, CZ
- Glutaraldehyd 50 % ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$), Carl Roth, DE
- Hexan (C_6H_{14}), Sigma Aldrich, USA
- Trichloro(octadecyl)silane ($\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{Cl}_3\text{Si}$), Sigma Aldrich, USA

4.3 Biocidní látky

- Dusičnan stříbrný (AgNO_3), Lachema, CZ
- Nanočástice stříbra (NAg), Sigma Aldrich, USA

4.4 Modelové organismy

4.4.1 Plísně

Použité plísně byly získané z České sbírky mikroorganismů a jsou uvedeny pod následujícími přístupovými čísly:

- *Aspergillus niger* (CCM 8155)
- *Penicillium funiculosum* (CCM 8080)
- *Penicillium purpurogenum* (CCM F-257)
- *Penicillium brevicompactum* (CCM 8040)
- *Chaetomium globosum* (CCM 8156)
- *Trichoderma* (CCM F-340)
- *Alternaria alternata* (CCM 8326)
- *Cladosporium cladosporioides* (CCM F-348)

4.4.1.1 Použité směsi živné půdy

- Ochuzená živná půda z Czapkova agaru: 3,4 g Czapkův agar, 4 g Agar, 200 ml H_2O
- Živná půda z Czapkova agaru: 6,6 g Czapkův agar, 4,8 g Agar, 200 ml H_2O
- Živná půda z roztoku minerálních solí: 0,2 g NaNO_3 , 0,07 g KH_2PO_4 , 0,03 g K_2HPO_4 , 0,05 g KCl , 0,05 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,001 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na 100 ml H_2O + 2,5 g agar na 100 ml H_2O

4.4.1.2 Inkubační podmínky

Plísně byly inkubovány v laboratorním termostatu (inkubátoru) při teplotě 23 ± 3 °C. Daný experiment probíhal po dobu několika dnů až týdnů, dle aktuální rychlosti růstu mikroorganismů.

4.4.2 Řasy

Použité řasy byly získány jako stěr z objektu v ČR a následně identifikovány (Ryparová et al. 2013):

- *Aphanothece stagnina*
- *Chroococcus bacillaris*
- *Botrychloris cumuli*
- *Burgohorderia cepacia* (bakterie)
- *Sphingomonas paucimobilis*
- *Sphingomonas multivorum*

4.4.2.1 Použitá směs živné půdy

- Živná půda z Knoppova živného roztoku: 0,1 g KNO₃, 0,01 g K₂HPO₄, 0,01 g MgSO₄ · 7H₂O, 0,01 g FeCl₃ · 6H₂O na 100 ml H₂O + agar 10 g na 100 ml H₂O

4.4.2.2 Inkubační podmínky

Řasy byly inkubovány v blízkosti okna při pokojové teplotě a za přístupu světla v cyklech 16/8 (světlo/tma). Experiment probíhal po dobu 10 – 21 dnů, dle aktuální rychlosti růstu mikroorganismů.

4.4.3 Dřevokazné houby

Použité dřevokazné houby byly získané z České sbírky mikroorganismů a jsou uvedeny pod následujícími přístupovými čísly:

- Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*) (CCM 8128)
- Outkovka pestrá (*Trametes versicolor*) (darováno od - Doc. RNDr. Jiří Gabriel, DrSc, Mikrobiologický ústav AV ČR)

4.4.3.1 Použitá směs živné půdy

- Živná půda se sladovým extraktem: 6,7 g Sladový agar, 2 g Agar, 200 ml H₂O

4.4.3.2 Inkubační podmínky

Dřevokazné houby byly inkubovány v laboratorním termostatu (inkubátoru) při teplotě 23 ± 3 °C. V termostatu byly uloženy do uzavíratelného boxu, jehož součástí byla nádoba s vodou, aby bylo udržováno prostředí o vysoké relativní vlhkosti. Experiment probíhal po dobu minimálně 5 - 6 týdnů.

4.5 Postupy

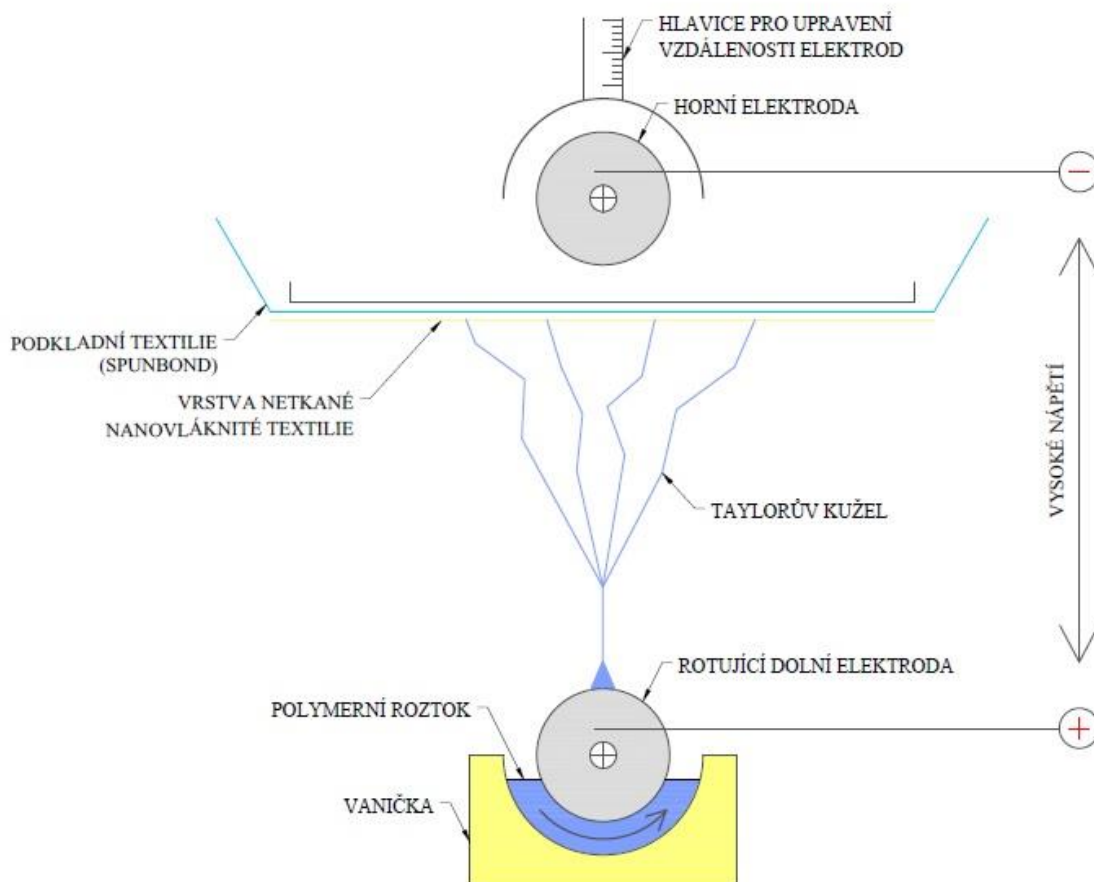
4.5.1 Výroba nanovláknitých textilií metodou Nanospider

Nanovláknité textilie, které byly studovány, byly připraveny pomocí metody elektrostatického zvlákňování na přístroji Nanospider LB 500 od firmy Elmarko (Obrázek 20) ze zvlákňovacího roztoku PVA (dle 4.5.1.1 – 4.5.1.3).



Obrázek 20: Přístroj Nanospider LB 500, biologická laboratoř, FSv ČVUT (1).

Tato moderní technologie spočívá ve výrobě tenké vrstvy nanovláken z volné hladiny polymerního roztoku pouze za přítomnosti silného elektrostatického pole mezi dvěma elektrodami [41; 51; 63]. První elektroda byla uložena ve vaničce se zvláknovacím roztokem, ve kterém docházelo k její rotaci. Při experimentu byla použita válcová a hřebenová elektroda o velikosti 150 a 500 mm. Přes druhou elektrodu byla napnuta podpurná podkladní textilie (spunbond) s antistatickou úpravou, na které docházelo k přichytávání netkané vrstvy nanovláknité textilie [52]. Díky elektrostatickému působení mezi elektrodami docházelo na hladině zvláknovacího roztoku k tvorbě tzv. Taylorových kuželů (Obrázek 21) [53 - 54]. Napětí a vzdálenost mezi elektrodami byly voleny tak, aby bylo vytvořeno maximální množství těchto kuželů v celé ploše rotující elektrody, jelikož jejich množství udává produktivitu a homogenitu vzniklé vláknité vrstvy [53]. Vzdálenost elektrod byla volena dle této podmínky od 130 do 160 mm a napětí mezi elektrodami od 75 do 80 kV.



Obrázek 21: Princip zvláknování technologií Nanospider (1).

4.5.1.1 Základní zvlákňovací roztok z čistého PVA

Do Erlenmayerovy baňky byl připraven základní zvlákňovací polymerní roztok bez biocidního přídatku, jehož složení je vypsáno v Tabulce 3. Požadovaná hmotnost byla navážena pomocí analytické laboratorní váhy s přesností na 0,1 g. Pro dosažení maximální homogenity byl takto připravený roztok umístěn na magnetickou třepačku, ve které byl míchán po dobu 30 minut.

Tabulka 3: Složení základního zvlákňovacího roztoku ³.

Složení zvlákňovacího roztoku	Množství použitých látek [g/500 g roztoku]
Polyvinylalkohol 16 % (PVA), Sloviol R16, Fichema, CZ	375
Destilovaná H ₂ O	117
Glyoxal, Sigma Aldrich, USA	4,4
Kyselina fosforečná 85 % (H ₃ PO ₄), Sigma Aldrich, USA	3

4.5.1.2 Zvlákňovací roztok z PVA se stříbrem ve formě nanočástic (NAg)

Do základního roztoku z PVA, připraveného dle 4.5.1.1, bylo přidáno stříbro jako biocidní doplněk. Stříbro bylo použito ve formě NAg o velikosti 100 nm při celkové koncentraci ve vláknech 0,9 %. Částice stříbra byla pro lepší homogenitu roztoku předem dispergována ve vodní lázni na magnetické třepačce po dobu 1 hodiny. Požadované množství nanočástic stříbra bylo naváženo pomocí analytické laboratorní váhy s přesností na 0,1 mg.

4.5.1.3 Zvlákňovací roztok z PVA s ionty stříbra ve formě AgNO₃

Do základního roztoku z PVA, připraveného dle 4.5.1.1, bylo přidáno stříbro jako biocidní doplněk. Stříbro bylo použito jako ionty ve formě AgNO₃ při celkové koncentraci Ag⁺ ve vláknech 0,3 – 9 % dle druhu experimentu (Tabulka 4). Částice stříbra byla pro lepší homogenitu roztoku předem dispergována ve vodní lázni na magnetické třepačce po dobu 1 hodiny. Požadované množství AgNO₃ bylo naváženo pomocí analytické laboratorní váhy s přesností na 0,1 mg.

Tabulka 4: Množství AgNO_3 v roztoku PVA dle finální koncentrace Ag^+ ve vláknech ³.

Koncentrace Ag^+ ve vláknech [%]	Množství AgNO_3 [g/100 g roztoku]
0,3	0,0787
0,9	0,2361
1,6	0,3935
2,2	0,5509
3,1	0,787
9	2,2702

4.5.2 Stabilizace nanotextilií

Jako hlavní složka zvláknovacího roztoku byl použit polymer PVA, který je rozpustný ve vodě. Proto bylo nutné studované nanotextilie dodatečně stabilizovat a to chemickou nebo fyzikální cestou. Stabilizace byla provedena ve třech modifikacích.

4.5.2.1 Stabilizace teplem

Vzorky byly stabilizovány působením vysoké teploty v laboratorní sušárně. Teplota byla nastavena na 140°C a nechala se působit 10 – 20 minut.

4.5.2.2 Stabilizace parami

Vzorky byly stabilizovány parami ze stabilizačního roztoku, který byl připraven smícháním 40 ml acetonu a 4 ml glutaraldehydu. Pro úpravu celkového pH na hodnotu 1 – 2 byla do roztoku postupně přidávána kyselina fosforečná. Takto připravený roztok byl nalit do skleněného exsikátoru, do které byly poté uloženy vzorky nanotextilií a byly zde ponechány do druhého dne, alespoň po dobu 8 hodin.

4.5.2.3 Stabilizace máčením

Vzorky byly stabilizovány máčením ve stabilizačním roztoku, který byl připraven shodně jako v kapitole 4.5.2.2. Takto připravený roztok byl nalit do plastových pevně uzavíratelných boxů, do kterých byly ponořeny vzorky nanotextilií. Vzorky byly stabilizovány máčením po dobu 15 - 30 minut a následně usušeny při pokojové teplotě, alespoň po dobu 2 hodin.

4.5.3 Vzorky nanotextilií

V experimentech byly použity vzorky nanovláknitých textilií (vyrobených dle 4.5.1) kruhového průřezu o průměru $20 \pm 0,2$ mm. Nanovlákná byla použita bez spundbondu, a proto nemusel být jejich vliv v experimentu dále hodnocen. Textilie byly použity v několika modifikacích podle biocidní ochrany (ionty a nanočástice stříbra), koncentrace stříbra (dle 4.5.1.1 – 4.5.1.3) a podle způsobu stabilizace textilií (dle 4.5.2.1 – 4.5.2.3). V tabulce (Tabulka 5) jsou shrnuty všechny použité parametry textilií. Jejich konkrétní použití je pro lepší orientaci vyčteno jednotlivě u každého experimentu v kapitole 5.

Tabulka 5: Shrnutí všech nanovláknitých textilií dle způsobu stabilizace, koncentrace stříbra a typu biocidního přídatku³.

Biocidní přídatek	Koncentrace [%]	Způsob stabilizace
Nanočástice stříbra	0,9	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	9	Stabilizace teplotou
Bez přídatku	0	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	0,3	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	0,9	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	1,6	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	2,2	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	3,1	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra	0,3	Stabilizace parami
Ionty stříbra	0,9	Stabilizace parami
Ionty stříbra	1,6	Stabilizace parami
Ionty stříbra	2,2	Stabilizace parami
Ionty stříbra	3,1	Stabilizace parami
Ionty stříbra	0,3	Stabilizace máčením
Ionty stříbra	0,9	Stabilizace máčením
Ionty stříbra	1,6	Stabilizace máčením
Ionty stříbra	2,2	Stabilizace máčením
Ionty stříbra	3,1	Stabilizace máčením
Ionty stříbra	0,3	Bez stabilizace
Ionty stříbra	0,9	Bez stabilizace
Ionty stříbra	1,6	Bez stabilizace
Ionty stříbra	2,2	Bez stabilizace
Ionty stříbra	3,1	Bez stabilizace

4.5.4 Stanovení účinnosti vybraných metod aplikovaných na dřevo

V experimentech byly použity jako zkušební stavební materiál vzorky ze smrkového dřeva. Vzorky dřeva byly nařezány na malé kvádry o referenčních rozměrech 20 x 20 x 2 mm. Vzorky byly dále ošetřeny dvěma metodami ochrany dřeva proti biodegradaci.

4.5.4.1 Ochrana vzorků nanotextiliemi

Zkušební vzorky byly obaleny do nanovláknitých textilií (vyrobených dle 4.5.1) o rozměrech cca 100 x 50 mm. Byla aplikována nanovláknina, kde jako biocid byly použity ionty stříbra, přičemž byla zvolena finální koncentrace Ag^+ ve vláknech 3,1 % (dle 4.5.1.3). Dále byla použita nanovláknina z PVA (dle 4.5.1.1). Vzorky byly obaleny do nanotextilií a poté byly stabilizovány teplotou (dle 4.5.2.1) a parami (dle 4.5.2.2) (Tabulka 6). Vzorky byly po dobu 3 dnů uskladněny v exsikační nádobě s relativní vlhkostí 100 %. Před uložením na požadované živné médium byly vzorky sterilizovány pod UV lampou po dobu 15 minut z každé strany.

4.5.4.2 Ochrana vzorku hydrofobizační úpravou

Zkušební vzorky byly ponořeny do hydrofobizačního roztoku. Roztok byl připraven rozmícháním 1 ml trichloro(octadecyl)silanu ve 100 ml hexanu.

Takto připravený roztok byl nalit do plastových uzavíratelných boxů, do kterých byly ponořeny připravené vzorky dřeva a nechaly se zde máčet po dobu 45 minut. Po vyjmutí byly umístěny na 2 hodiny do laboratorní sušárny o teplotě 50 °C (Tabulka 6). Před uložením na požadované živné médium byly vzorky sterilizovány pod UV lampou po dobu 15 minut z každé strany.

4.5.4.3 Vzorky bez ochrany

Při experimentu bylo použito také dřevo bez jakéhokoliv ochranného opatření (Tabulka 6), tzv. pozitivní kontrola. Před uložením na požadované živné médium byly vzorky sterilizovány pod UV lampou po dobu 15 minut z každé strany.

Tabulka 6: Souhrn všech použitých dřevěných vzorků dle způsobu stabilizace, koncentrace stříbra a typu biocidního přídatku ³.

Biocidní ochrana	Koncentrace [%]	Způsob stabilizace
Nanotextilie bez biocidu	-	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra (AgNO ₃)	3,1	Stabilizace teplotou
Ionty stříbra (AgNO ₃)	3,1	Stabilizace parami
Hydrofobizační úprava	-	Bez stabilizace
Bez ochrany	-	Bez stabilizace

4.5.5 Sterilizace

Při přípravě vzorku byly užity dvě metody sterilizace. Připravené roztoky byly před použitím sterilizovány v autoklávu při působení teploty 120 ± 1 °C a tlaku 101,5 kPa po dobu 20 minut. Použité nástroje a hrdla baněk byly sterilizovány plamenem nad plynovým kahanem.

4.5.6 Živné půdy

Do Erlenmayerových baněk byl připraven roztok (viz Kapitola 4.4) živné půdy dle potřeb studovaných mikroorganismů. Připravený roztok i hrdlo baňky byly sterilizovány a bezprostředně poté byl agar nalit do Petriho misek o průměru 10 cm v objemu ± 20 ml/miska. Agar se nechal zcela ztuhnout.

4.5.7 Inokulace mikroorganismů

Na živné médium byla provedena inokulace v objemu 200 μ l (plísň) a 400 μ l (řasy). Poté byly inokulované mikroorganismy rovnoměrně rozetřeny sterilní skleněnou hokejkou.

4.5.7.1 Inokulační roztok

Základem inokulační směsi byl sterilní fyziologický roztok (0,9 % NaCl). Pomocí pipety byl z baňky odebrán roztok o objemu 4 ml, kterým byl zkropen povrch Petriho misky s vybraným mikroorganismem. Prostřednictvím sterilní kličky byl rozrušen povrch plísni a roztok s organismy byl vrácen zpět do baňky. Připravený roztok byl umístěn na třepačku, aby byly mikroorganismy dostatečně dispergovány.

4.5.8 Inokulace dřevokazných hub výřezem

Dřevokazné houby byly rozmnožovány výřezem agarové půdy porostlé požadovaným organismem. Pomocí sterilního skalpelu byl proveden výřez o velikosti přibližně 5 x 5 mm, který byl umístěn na připravenou živnou půdu (dle 4.4.3.1).

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Výzkum byl členěn do tří na sebe navazujících experimentů, jejichž cílem bylo prokázat a ověřit biocidní účinnost nanovláknitých textilií dopovaných stříbrem a účinnost ochrany dřeva formou hydrofobizační úpravy povrchu. V první části bylo zkoumáno, zda má stříbro, ukotvené v nanovlákních, prokazatelný biocidní účinek vůči zvoleným organismům a v jaké formě biocidu – ionty stříbra AgNO_3 nebo nanočástice stříbra NAg - je dosaženo příznivějších výsledků. V druhé části bylo použito stříbro v takové podobě, která byla z prvního experimentu vyhodnocena jako účinnější, tedy ve formě iontů stříbra. Biocid v této formě byl následně rozdělen do několika po sobě jdoucích koncentrací a byla zkoumána účinnost proti plísním a řasám v závislosti na množství použitého biocidního doplňku a způsobu stabilizace nanovláknitých textilií. Ve třetí části bylo použito stříbro ve vhodné formě z prvního experimentu a ve vyhovující koncentraci z druhého experimentu. Takto optimálně upravená nanovláknina byla použita na dřevo (jako experimentální stavební materiál) a v různých modifikacích byla sledována jeho účinnost vůči plísním a dřevokazným houbám. Ve třetí části byla vedle nanotextilií použita také hydrofobizační ochrana dřeva a byla zkoumána její účinnost vůči shodným organismům.

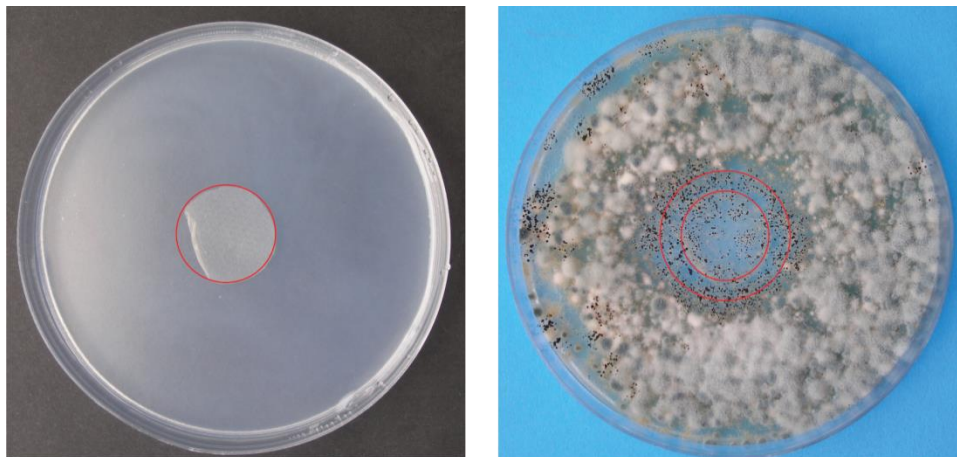
5.1 Nanovláknité textilie - ionty a nanočástice stříbra*

V této části laboratorního výzkumu bylo cílem potvrdit a stanovit účinnost stříbra jako biocidního prostředku vůči plísním a řasám. Záměrem bylo také charakterizovat rozdílnost biocidní účinnosti v závislosti na použité formě stříbra - AgNO_3 a NAg .

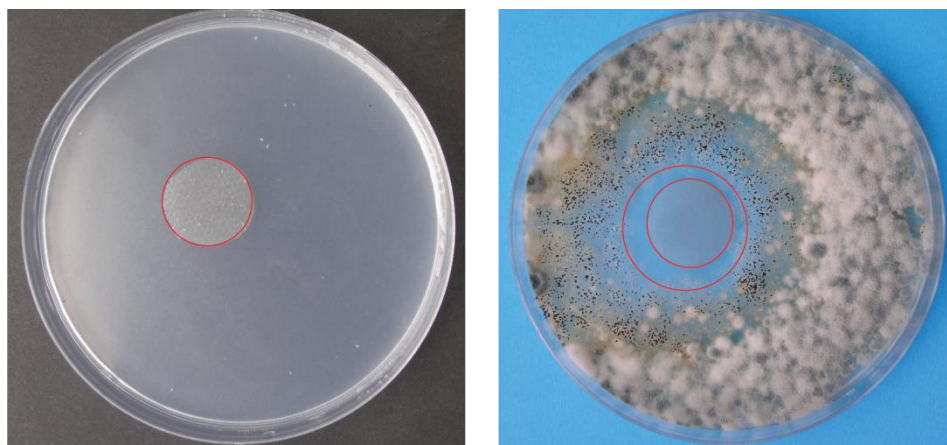
Byly připraveny Petriho misky s živnou půdou, dle potřeb vybraných mikroorganismů. Pro růst plísní bylo zvoleno ochuzené živné médium, které bylo inokulováno směsí plísní následujícího složení: *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Chaetomium globosum* v poměru 1:1:1. Pro růst řas byly připraveny vzorky živné půdy z Knoppova živného roztoku, které byly inokulovány směsí řas uvedených v kap. 4.4.2. Bezprostředně poté byl na oba druhy živné půdy umístěn vzorek nanovláknité textilie s přídatkem stříbra. Na polovinu Petriho misek byly

* výsledky experimentu 5.1 byly publikovány v rámci konference NaNS2016 [61]

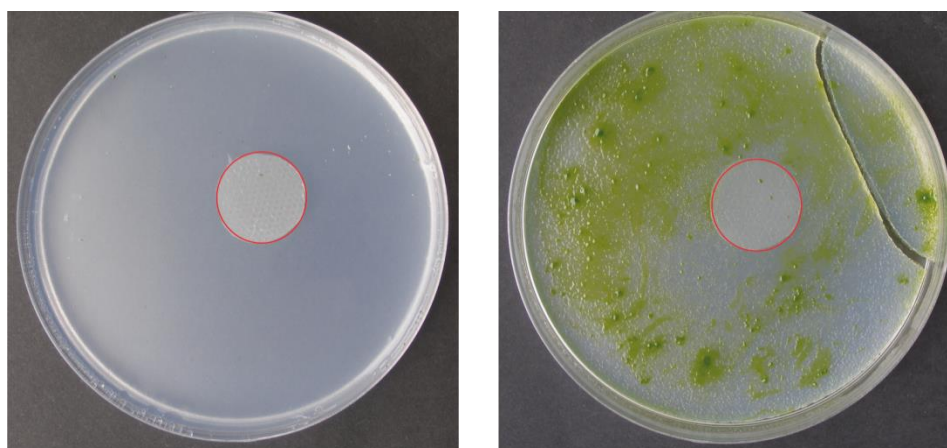
použity vzorky se stříbrem ve formě nanočástic (NAg) a do zbylých misek vzorky se stříbrem ve formě iontů (AgNO_3). Vzorky byly inkubovány po dobu 7 dnů (plísně) a po dobu 21 dnů (řasy). Po 7 a 21 dnech bylo provedeno hodnocení formou měření haló efektu a stanovením biocidní účinnosti měřené jako míra pokrytí textilií organismy (Obrázek 22 - 25).



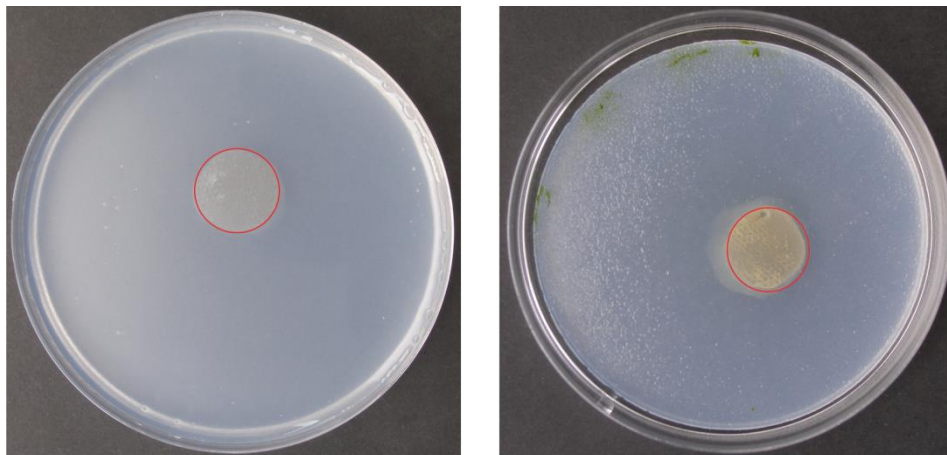
Obrázek 22: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě nanočástic po 1 dni (vlevo) a po 7 dnech (vpravo) (1).



Obrázek 23: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě iontů po 1 dni (vlevo) a po 7 dnech (vpravo) (1).



Obrázek 24: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě nanočástic po 1 dni (vlevo) a po 21 dnech (vpravo) (1).



Obrázek 25: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě iontů po 1 dni (vlevo) a po 21 dnech (vpravo) (1).

V první části studie, ve které bylo stříbro použito ve formě nanočástic, vykazovaly připravené vzorky biocidní účinky proti řasám i všem druhům plísní, vyjma plísně *Aspergillus niger*, která přerůstala z živného média i přes kruhový vzorek nanovláknité textilie. Plíseň rodu *Aspergillus* se projevila jako velmi agresivní s vysokou schopností samostatné obrany vůči biocidnímu působení stříbra. Podobné výsledky byly v upraveném rozsahu rovněž publikovány ve člácích [55 - 56]. Difúzní účinek biocidu byl zřetelný zejména u vzorků s plísněmi, zatímco u vzorků s řasami nebyl difúzní efekt téměř patrný (Tabulka 7).

Ve druhé části studie, ve které bylo stříbro použito ve formě iontů, byly zaznamenány pozitivnější výsledky. Stříbrné ionty působily biocidně [57] na řasy i na všechny druhy plísní včetně plísně *Aspergillus niger*, která se rozvíjela až v určité vzdálenosti od kraje vzorku. Difúzní účinek iontů stříbra byl zřetelný na všech vzorcích, nejvíce ovšem při kontaktu s řasami, ve kterém byl haló efekt patrný takřka přes celou živnou půdu a jejich růst byl téměř potlačen (Tabulka 8).

Rozdíl v dosažených výsledcích byl pravděpodobně dán tím, že nanočástice stříbra dosahují větších rozměrů než ionty stříbra, které jsou menší a tím pádem mají větší schopnost difundovat do okolního prostředí a působit tak biocidně na větší vzdálenosti od vzorku nanotextilie.

Tabulka 7: Hodnocení biocidního účinku nanovláken se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě nanočástic³.

Vzorek	Halo efekt		Míra pokrytí nanotextilií organismy	
	<i>Penicillium fun.</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium fun.</i>	<i>Aspergillus niger</i>
	<i>Chaetomium glob.</i>		<i>Chaetomium glob.</i>	
V1 Plísně	5 ± 3 mm	0 ± 0 mm	0 %	50 %
V2 Plísně	3 ± 1 mm	0 ± 0 mm	0 %	50 %
V3 Plísně	3 ± 1 mm	0 ± 0 mm	0 %	70 %
V7 Řasy	1 ± 1 mm	-	1 ± 1 %	-
V8 Řasy	1 ± 1 mm	-	15 ± 5 %	-
V9 Řasy	3 ± 2 mm	-	0 %	-

Tabulka 8: Hodnocení biocidního účinku nanovláken se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě iontů (AgNO_3)³.

Vzorek	Halo efekt		Míra pokrytí nanotextilií organismy	
	<i>Penicillium fun.</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium fun.</i>	<i>Aspergillus niger</i>
	<i>Chaetomium glob.</i>		<i>Chaetomium glob.</i>	
V4 Plísně	15 ± 5 mm	5 ± 3 mm	0 %	0 %
V5 Plísně	6 ± 4 mm	3 ± 2 mm	0 %	0 %
V6 Plísně	10 ± 5 mm	4 ± 2 mm	0 %	0 %
V10 Řasy	35 ± 5 mm	-	0 %	-
V11 Řasy	20 ± 10 mm	-	0 %	-
V12 Řasy	35 ± 5 mm	-	0 %	-

5.2 Účinnost iontů stříbra proti plísním a řasám v závislosti na jejich koncentraci a způsobu stabilizace nanovláken

Druhá část této experimentální studie byla přímo navázána na část předchozí. Opět byla zkoumána biocidní účinnost nanovláknité textilie dopované stříbrem proti plísním a řasám. Z předchozího experimentu byly převzaty výsledky, které uváděly, že stříbro jako biocid dosahuje pozitivnějších výsledků jako ionty ve formě AgNO_3 . Díky tomuto poznatku bylo dále pracováno se stříbrem pouze v této příznivější podobě.

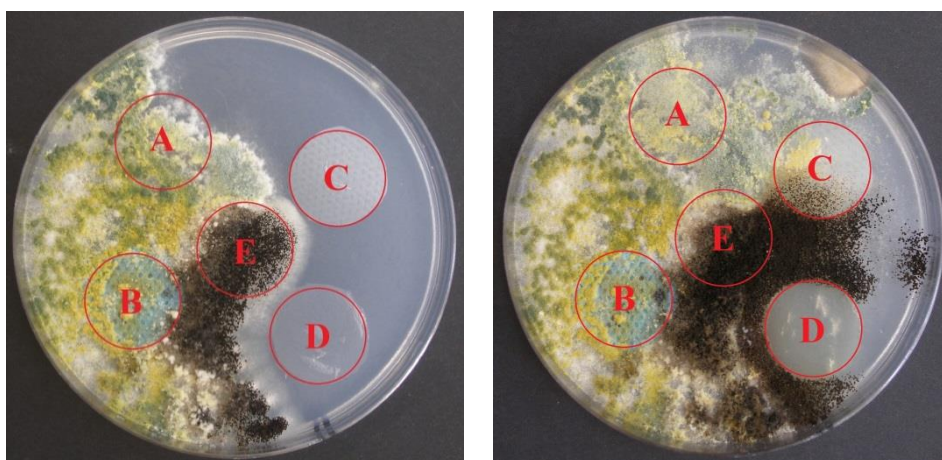
Cílem této navazující studie bylo charakterizovat, jak se mění celková biocidní účinnost nanovláknité textilie v závislosti na koncentraci stříbra ve vláknech a podle způsobu jejich stabilizace. Dále byla řešena otázka, zda je možné využít takto připravené textilie jako preventivní nebo i jako dodatečná ochranná opatření.

5.2.1 Preventivní ochrana proti plísním

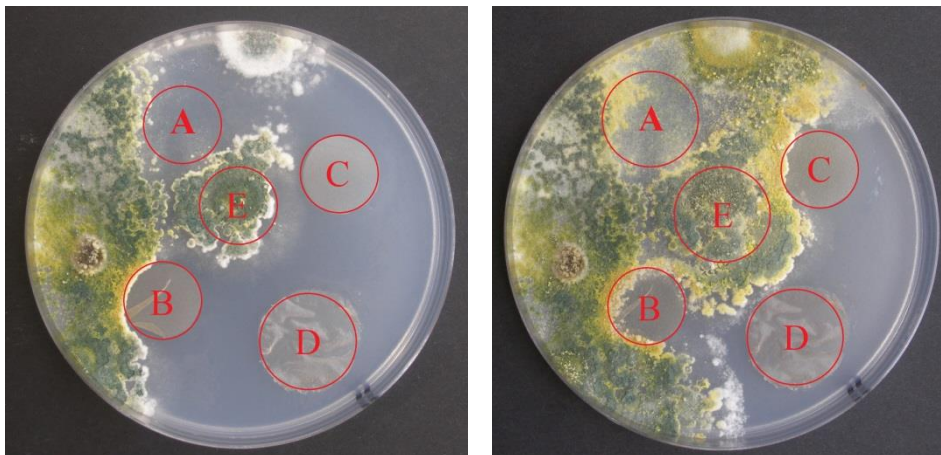
Byly připraveny Petriho misky s živnou půdou z Czapkova agaru, kde každá miska byla poté inokulována směsí plísní následujícího složení: *Aspergillus niger*, *Penicillium purpurogenum*, *Chaetomium globosum*, *Trichoderma* v poměru 1:4:8:8. Bezprostředně poté byly do každé misky umístěny vzorky nanotextilií se stříbrem ve formě iontů v koncentracích 0 % - 3,1 % a s různými způsoby stabilizace (Tabulka 9). Takto připravené vzorky pro zkoumání biocidního účinku iontů stříbra v různých koncentračních zastoupeních a s různými způsoby stabilizace byly inkubovány po dobu 26 dní. Výsledky byly hodnoceny z hlediska: biocidního účinku textilií, zda byla zaznamenána volná difúze do okolí textilie a jaký vliv má na biocidní účinnost způsob stabilizace. Z důvodů použití 5 vzorků na jednu misku a velkého počtu opakování byl pro závěrečné vyhodnocení zvolen jiný systém než v předchozím experimentu. Vyhodnocení bylo provedeno po 12 dnech a následně po 26 dnech, kde bylo zaznamenáno, jak se chová textilie dopovaná stříbrem s odstupem času (Obrázek 26 – 30).

Tabulka 9: Popis a značení použitých vzorků, preventivní ochrana proti plísním ³.

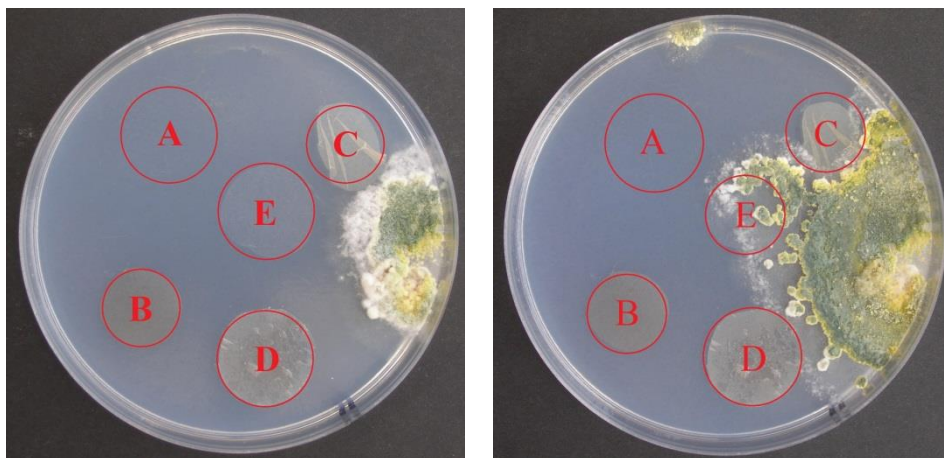
Název vzorku	Popis vzorku
A	Nestabilizovaná nanovláknitá textilie
B	Nanotextilie stabilizována teplotou 140°C po dobu 20 minut
C	Nanotextilie stabilizována parami stabilizačního roztoku (40 ml Aceton, 4 ml Glutaraldehyd, H ₃ PO ₄) po dobu 2 hodin
D	Nanotextilie stabilizována máčením ve stabilizačním roztoku (40 ml Aceton, 4 ml Glutaraldehyd, H ₃ PO ₄) po dobu 15 minut
E	PVA stabilizována teplotou 140°C po dobu 20 minut, bez biocidu



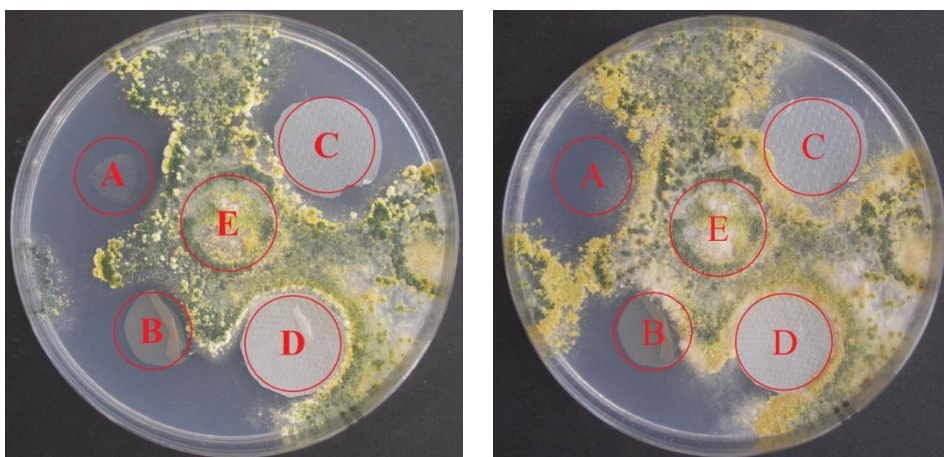
Obrázek 26: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag⁺ 0,3 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dní (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



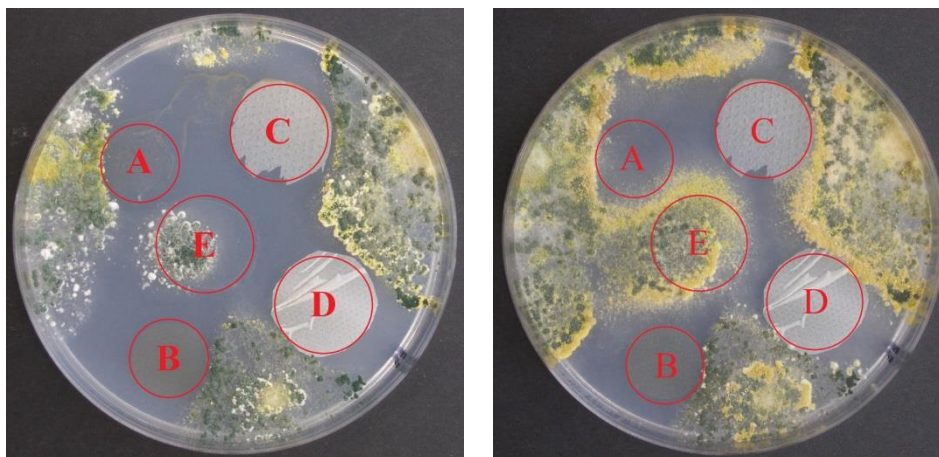
Obrázek 27: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,9 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dní (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



Obrázek 28: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 1,6 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dní (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



Obrázek 29: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 2,2 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dní (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



Obrázek 30: Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 3,1 % v několika modifikacích (Tab.9) po 12 dní (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).

Po 12 dnech vykazovaly téměř všechny vzorky biocidní účinnost nanotextílie s alespoň částečnou difúzí, která rozšířila antimikrobiální zónu i za okraj textilie bez ohledu na koncentraci stříbra ve vláknech či způsobu stabilizace. Ve všech případech působily biocidně vůči plísním nanotextílie stabilizované parami a namáčením ve stabilizačním roztoku. Textilie nestabilizované a stabilizované teplotou vykazovaly vzájemně shodné biocidní vlastnosti. Byla prokázána jejich biocidní účinnost ve všech koncentracích, vyjma nejnižší koncentrace Ag^+ 0,3 %, ve které plísně přerůstaly i přes nanovláknitou textilií a vzorek byl bez difúze. Referenční vzorek nanotextilie z PVA bez biocidního doplňku stabilizovaný teplotou byl u většiny vzorků dle předpokladu porostlý plísněmi [44; 57]. Pouze v případě nejvyššího koncentrace Ag^+ 3,1 % byl částečně chráněn i tento vzorek, což je pravděpodobně dáno značnou difúzí okolních vzorků s vysokým obsahem stříbra (Obrázek 26 – 30) (Tabulka 10).

Po 26 dnech byly zaznamenány nejhorší výsledky v případě koncentrace Ag^+ 0,3 %, ve které výrazné biocidní účinky (a to bez difúze) byly sledovány pouze u textilie stabilizované namáčením. Vzorky o koncentraci Ag^+ 0,9 – 2,2 % vykazovaly vzájemně velmi podobné biocidní výsledky. U těchto tří koncentrací bylo zaznamenáno biocidní krytí nanovláken, často s alespoň nepatrnou difúzí. Tyto výsledky se významně neliší od vyhodnocení po 12 dnech, pouze bylo zřetelné rozšíření oblasti s plísněmi a naopak snížení antimikrobiální zóny způsobené volnou difúzí stříbra. Nanotextílie s nejvyšší koncentrací Ag^+ 3,1 % si i po 26 dnech zachovaly nejvýraznější biocidní účinky včetně difúze biocidu do okolí vzorku (Obrázek 26 - 30) (Tabulka 10).

Při vzájemném porovnání všech vzorků po 12 a poté po 26 dnech lze konstatovat, že biocidní účinnost se s odstupem času mírně snižuje. To může být způsobeno volnou difúzí biocidní látky z nanotextilií do okolí a tím pádem snížením koncentrace Ag^+ ve vláknech. Proto je logické, že vzorky s nejvyšší koncentrací Ag^+ 3,1 % dosahují po 26 dnech téměř vždy nejpříznivějších výsledků, zatímco textilie, které měly původně koncentrací Ag^+ 0,3 %, mohou být už zcela bez biocidního působení.

Tabulka 10: Hodnocení preventivního biocidního účinku nanovláken různé stabilizace dle koncentrace Ag^+ proti plísním, průměrné hodnoty ze 4 opakování (5 – biocidní účinek s difúzí, 4 – biocidní účinek s částečnou difúzí, 3 – biocidní účinek bez difúze, 2 – částečný biocidní účinek, 1 – bez účinku) ³.

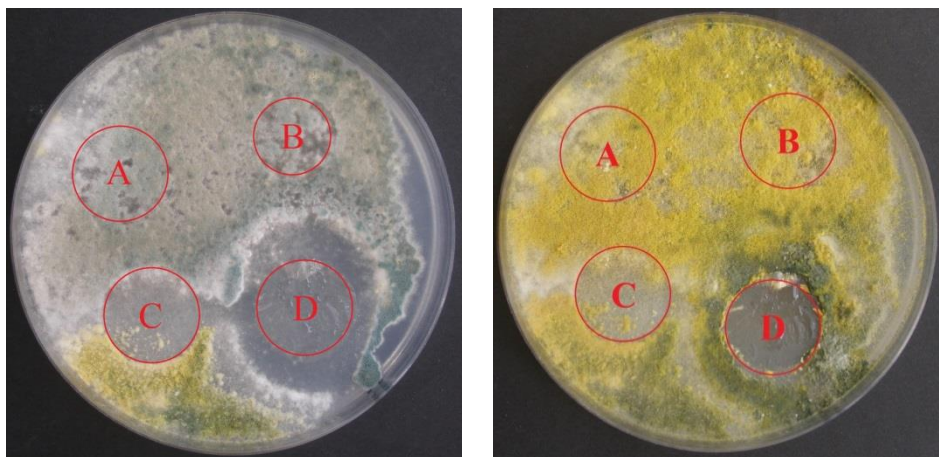
Koncentrace Ag^+	Stabilizace	Průměrná míra biocidního pokrytí vzorku nanovláken	
		Po 12 dnech	Po 26 dnech
0,3 %	A - bez stabilizace	1,5	1
	B - stabilizace teplotou	2	2
	C - stabilizace parami	5	2
	D - stabilizace máčením	5	3,5
	E - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	3	1
0,9 %	A - bez stabilizace	4	3
	B - stabilizace teplotou	4,5	4
	C - stabilizace parami	5	4
	D - stabilizace máčením	5	4,5
	E - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	5	2
1,6 %	A - bez stabilizace	4,5	4
	B - stabilizace teplotou	4	4
	C - stabilizace parami	4	4
	D - stabilizace máčením	3	3,5
	E - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1	1
2,2 %	A - bez stabilizace	4,5	4
	B - stabilizace teplotou	4	4
	C - stabilizace parami	4,5	4
	D - stabilizace máčením	3,5	3,5
	E - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	2	1
3,1 %	A - bez stabilizace	5	4
	B - stabilizace teplotou	5	4
	C - stabilizace parami	5	4
	D - stabilizace máčením	5	4
	E - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	5	2

5.2.2 Dodatečná ochrana proti plísním a řasám

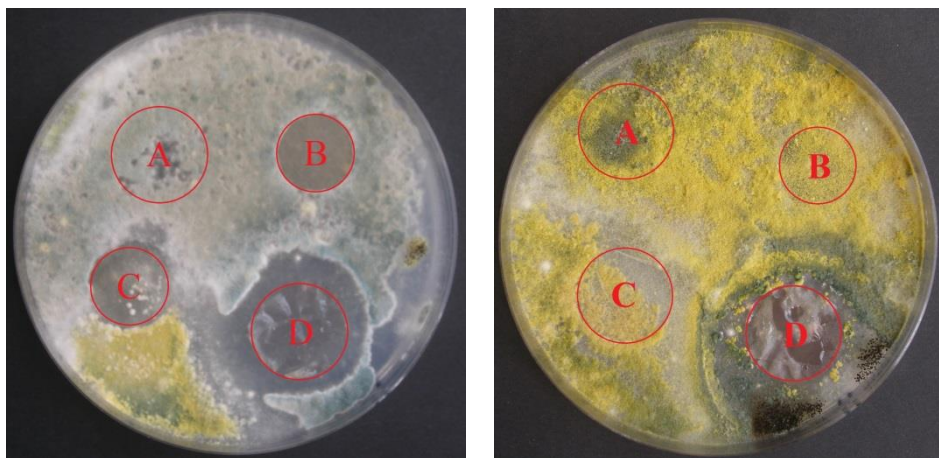
Byly připraveny Petriho misky s živnou půdou z Czapkova agaru, kde každá miska byla poté inokulována směsí plísní následujícího složení: *Aspergillus niger*, *Penicillium purpurogenum*, *Chaetomium globosum*, *Trichoderma* v poměru 1:4:8:8. Vzorky byly poté inkubovány po dobu 3 dnů. Dále byly v této části studie také přichystány vzorky s živným médiem pro růst řas z Knoppova živného roztoku, které byly inokulovány směsí řas uvedených v kap. 4.4.2. Inkubace proběhla po dobu 10 dnů. Po zaznamenání viditelného růstu plísní i řas na všech vzorcích s živnou půdou byly do každé misky umístěny vzorky nanovláknité textilie se stříbrem ve formě iontů v koncentracích 0 % - 3,1 % a s různými způsoby stabilizace (Tabulka 11). Takto připravené vzorky pro zkoumání biocidního účinku iontů stříbra, v různých koncentračních zastoupeních a s různými způsoby stabilizace, byly vráceny zpět na místo své původní inkubace. Výsledky byly hodnoceny shodně - jako v kap. 5.2.1 - z hlediska biocidního účinku textilií, dále zda byla zaznamenána volná difúze do okolí textilie a jaký vliv má na biocidní účinnost způsob stabilizace. Pro plísně bylo vyhodnocení provedeno rovněž po 12 dnech a následně po 26 dnech (Obrázek 31 – 35), pro řasy pouze po 21 dnech, jelikož jejich růst a inkubace je oproti plísním časově náročnější (Obrázek 36 – 40).

Tabulka 11: Popis a značení použitých vzorků, dodatečná ochrana proti plísním a řasám ³.

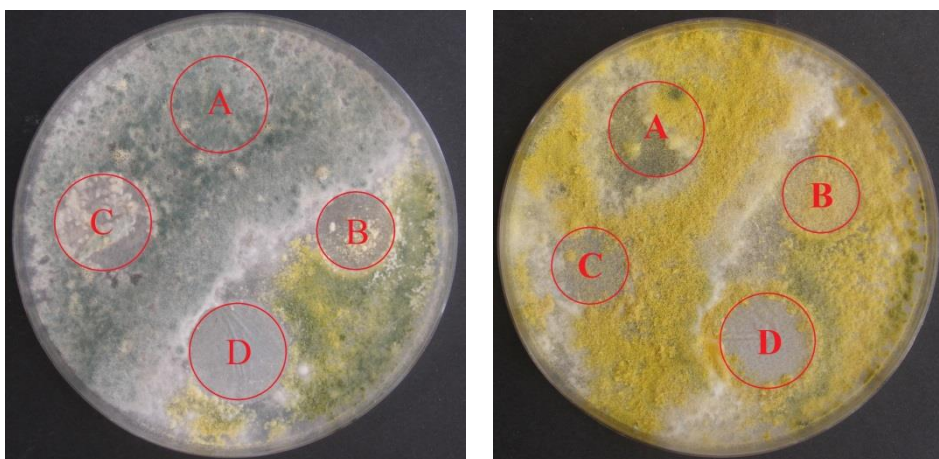
Název vzorku	Popis vzorku
A	PVA stabilizována teplotou 140°C po dobu 20 minut, bez biocidu
B	Nanotextilie stabilizována teplotou 140°C po dobu 20 minut
C	Nanotextilie stabilizována parami stabilizačního roztoku (40 ml Aceton, 4 ml Glutaraldehyd, H ₃ PO ₄) po dobu 2 hodin
D	Nanotextilie stabilizována máčením ve stabilizačním roztoku (40 ml Aceton, 4 ml Glutaraldehyd, H ₃ PO ₄) po dobu 15 minut



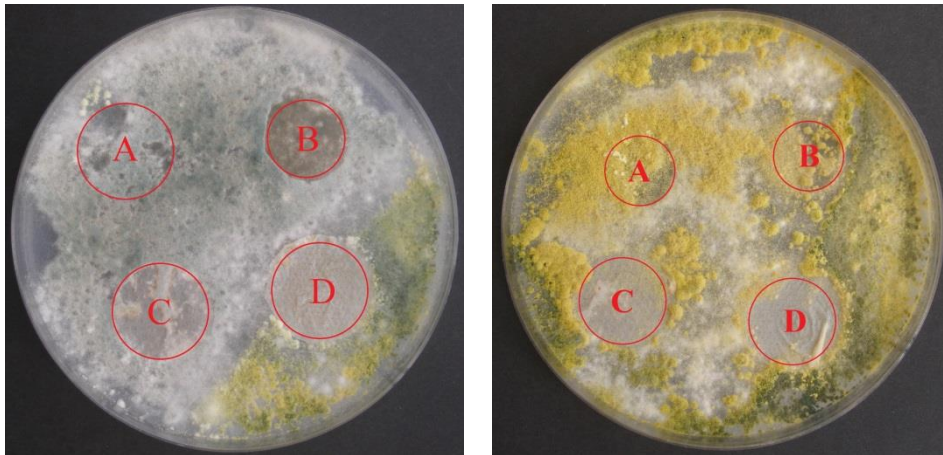
Obrázek 31: Směs plísni na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,3 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



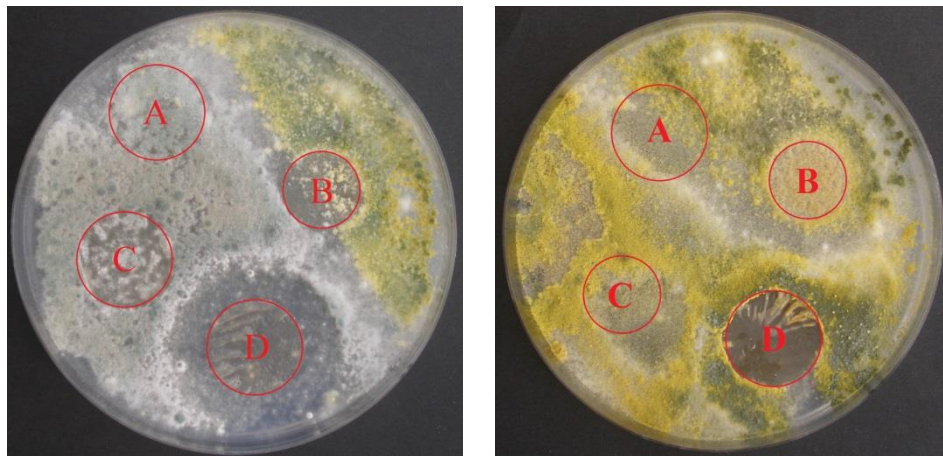
Obrázek 32: Směs plísni na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,9 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



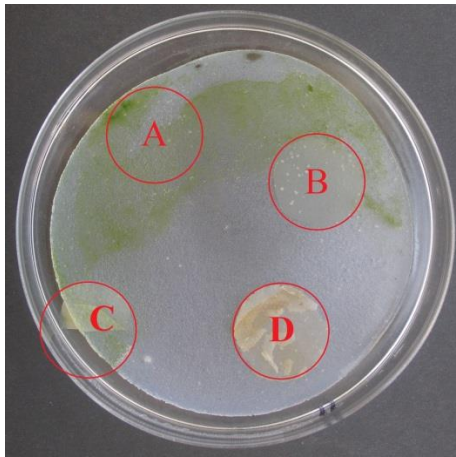
Obrázek 33: Směs plísni na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 1,6 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



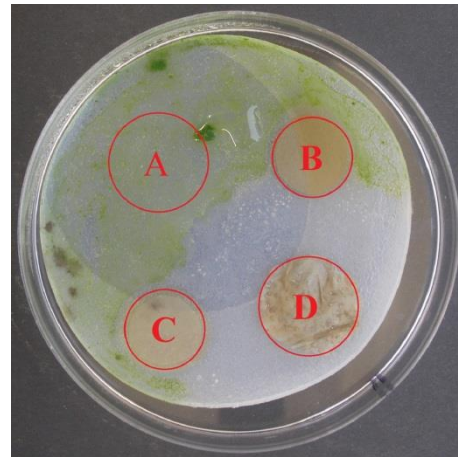
Obrázek 34: Směs plísni na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 2,2 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



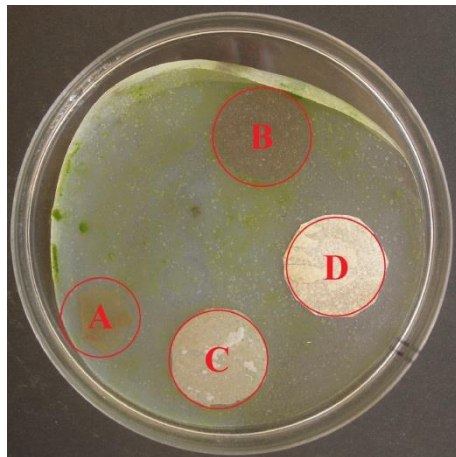
Obrázek 35: Směs plísni na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 3,1 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1).



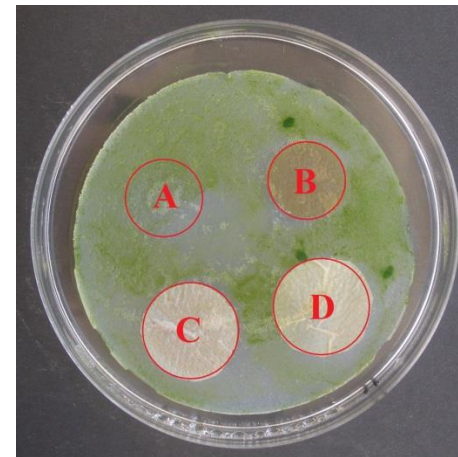
Obrázek 36: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,3 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1).



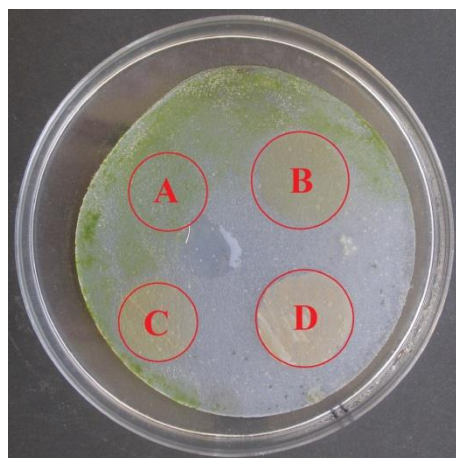
Obrázek 37: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,9 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1).



Obrázek 38: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 1,6 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1).



Obrázek 39: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 2,2 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1).



Obrázek 40: Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 3,1 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1).

Výsledky dosažené po 12 i po 26 dnech u studie dodatečné ochrany proti plísním vykazovaly výrazně horší výsledky než v předchozí části v kap. 5.2.1. Většina vzorků po obou časových intervalech dosahovala velmi podobných výsledků bez rozdílu koncentrace stříbra. Rozdíly byly patrné spíše podle použité metody způsobu stabilizace vláken.

Po 12 dnech byla zaznamenána úplná nebo alespoň částečná biocidní účinnost nanotextilií u většiny vzorků stabilizovaných teplotou a parami stabilizačního roztoku. V těchto případech nebyl patrný žádný difúzní efekt. Vzorky stabilizované namáčením naopak vykazovaly ve většině případů (vyjma koncentrace Ag^+ 1,6 % a 2,2 %) biocidní účinnost nanovláken včetně patrného haló efektu. Referenční vzorek nanotextilie z PVA, bez biocidního doplňku stříbra stabilizovaný teplotou, byl opět u většiny pokusů dle předpokladu porostlý plísněmi [44; 57].

Po 26 dnech docházelo k rozrůstání mikroorganismů. Vzorky, které po 12 dnech vykazovaly biocidní účinnost bez difúze, byly pokryty biofilmem plísní. Zatímco vzorky stabilizované namáčením, u kterých byl patrný difúzní účinek, byly po 26 dnech bez haló efektu a byla zde patrná pouze biocidní účinnost nanovláken (Obrázek 31 - 35) (Tabulka 12).

Při vzájemném porovnání všech vzorků po 12 a poté po 26 dnech lze opět konstatovat, že biocidní účinnost se s odstupem času postupně snižuje, což je pravděpodobně opět dáno difúzí ochranného prostředku z textilie a tím snížením koncentrace Ag^+ ve vláknech.

U výsledků dosažených po 21 dnech na řasách byl biocidní účinek nanotextilií se stříbrem podobný jako v případě s plísněmi. Referenční vzorek z PVA bez biocidu stabilizovaný teplotou byl rovněž ve všech případech dle očekávání pokrytý řasami. U vzorků textilií stabilizovaných teplotou a parami stabilizačního roztoku byla projevována biocidní účinnost formou biocidního krytí nanovláken včetně volné difúze, která ovšem dosahovala pouze do vzdálenosti v řádech několika milimetrů. Naopak u vzorků stabilizovaných namáčením bylo prokázáno biocidní krytí textilií s velmi zřetelnou difúzí za okraje vzorku. Pravděpodobný důvod tohoto jevu byl již popsán v přechozí části (Obrázek 36 - 40) (Tabulka 13).

Tabulka 12: Hodnocení dodatečného biocidního účinku nanovláken různé stabilizace dle koncentrace Ag^+ proti plísním, průměrné hodnoty ze 4 opakování (5 – biocidní účinek s difúzí, 4 – biocidní účinek s částečnou difúzí, 3 – biocidní účinek bez difúze, 2 – částečný biocidní účinek, 1 – bez účinku)³.

Koncentrace Ag^+	Stabilizace	Průměrná míra biocidního pokrytí vzorku nanovláken	
		Po 12 dnech	Po 26 dnech
0,3 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1	1
	B - stabilizace teplotou	1	1
	C - stabilizace parami	2	1,5
	D - stabilizace máčením	5	3
0,9 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1	1
	B - stabilizace teplotou	3	1
	C - stabilizace parami	2	1,5
	D - stabilizace máčením	5	3
1,6 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1	1
	B - stabilizace teplotou	2	1
	C - stabilizace parami	2	1
	D - stabilizace máčením	3	2
2,2 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1	1
	B - stabilizace teplotou	2	1
	C - stabilizace parami	3	2
	D - stabilizace máčením	3	2,5
3,1 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1	1
	B - stabilizace teplotou	2	2
	C - stabilizace parami	3	1
	D - stabilizace máčením	5	3

Tabulka 13: Hodnocení biocidního účinku nanovláken různé stabilizace dle koncentrace Ag^+ proti řasám, průměrné hodnoty ze 3 opakování (5 – biocidní účinek s difúzí, 4 – biocidní účinek s částečnou difúzí, 3 – biocidní účinek bez difúze, 2 – částečný biocidní účinek, 1 – bez účinku) ³.

Koncentrace Ag^+	Stabilizace	Průměrná míra biocidního pokrytí vzorku nanovláken
0,3 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1
	B - stabilizace teplotou	3
	C - stabilizace parami	3
	D - stabilizace máčením	5
0,9 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1
	B - stabilizace teplotou	4
	C - stabilizace parami	4
	D - stabilizace máčením	5
1,6 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1
	B - stabilizace teplotou	3
	C - stabilizace parami	3
	D - stabilizace máčením	4
2,2 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1
	B - stabilizace teplotou	4
	C - stabilizace parami	4
	D - stabilizace máčením	4
3,1 %	A - PVA stabilizace teplotou (bez biocidu)	1
	B - stabilizace teplotou	4
	C - stabilizace parami	4
	D - stabilizace máčením	5

V této i v předchozí kapitole (5.2.1) bylo nejpříznivějších výsledků dosaženo u vzorků, které byly stabilizovány máčením. Tento jev bylo možné připisovat tomu, že v nanotextiliích mohou zůstat rezidua stabilizačního roztoku, ve kterém byly máčeny. Ten následně mohl ve větší míře difundovat do okolí textilie a rozšířit tak antimikrobiální zónu v jejím okolí. Jelikož ale byla zachována vysoká biocidní účinnost i na samotné textili, je možné, že i samotný stabilizační roztok vykazuje částečné biocidní účinky.

Po srovnání výsledků preventivní a dodatečné ochrany nanovláknitou textilií je patrné, že výsledky využití nanotextilií jako preventivní ochrany jsou optimálnější a to jak z pohledu krátkodobého či dlouhodobého působení. Pouze u vzorků stabilizovaných máčením bylo dosaženo sporných výsledků, jejichž pravděpodobný důvod vysoké biocidní účinnosti byl již popsán výše.

5.3 Aplikace nanotextilií s přídavkem stříbra a hydrofobizační povrchové úpravy na dřevěné vzorky

V této třetí, závěrečné části celého experimentálního výzkumu bylo záměrem shrnout poznatky o nanovlákních s přídavkem stříbra získané z předchozích dvou studií a aplikovat je v souvislosti se stavebním materiálem. Jako studovaný stavební materiál bylo zvoleno dřevo, které bylo chráněno proti působení organismů, konkrétně plísním a dřevokazným houbám, optimálně upravenými nanovláknitými textiliemi a dodatečně také hydrofobizační povrchovou úpravou. U této povrchové úpravy bylo cílem prozkoumat růst mikroorganismů v závislosti na omezení dotace vlhkosti do materiálu bez přímého použití biocidu. Pravděpodobná účinnost zvoleného hydrofobizačního roztoku nebyla předmětem této práce a byla převzata z experimentů studovaných v mikrobiologické laboratoři na FSv ČVUT. Jako biocid do nanovláknitých textilií byly použity ionty stříbra ve formě AgNO_3 , jejichž vyšší účinnost oproti nanočásticím stříbra NAg byla prokázána v kapitole 5.1. Finální koncentrace Ag^+ ve vláknech byla zvolena 3,1 %. Studované nanotextilie byly stabilizovány teplem a parami. Veškeré pokusy v tomto třetím experimentu byly smýšleny jako preventivní, nikoliv dodatečná ochrana proti mikroorganismům. Studie optimální koncentrace stříbra, vhodné stabilizace vláken a rozdílné výsledky v oblasti preventivní a dodatečné ochrany nanotextiliemi byly předmětem výzkumu, který byl představen v kapitole 5.2. Nutno podotknout, že ačkoliv bylo nejlepších výsledků dosaženo v případě stabilizace vláken namáčením, byly v této části experimentu použity druhé dvě stabilizační metody (stabilizace teplem a parami). Bylo to zejména dáno tím, že práce s textiliemi stabilizovanými právě máčením byla velmi obtížná a pro vytvoření optimálního stabilizačního roztoku, který by umožňoval snadnější manipulaci s vlákny, by byla zapotřebí další časově náročná experimentální studie.

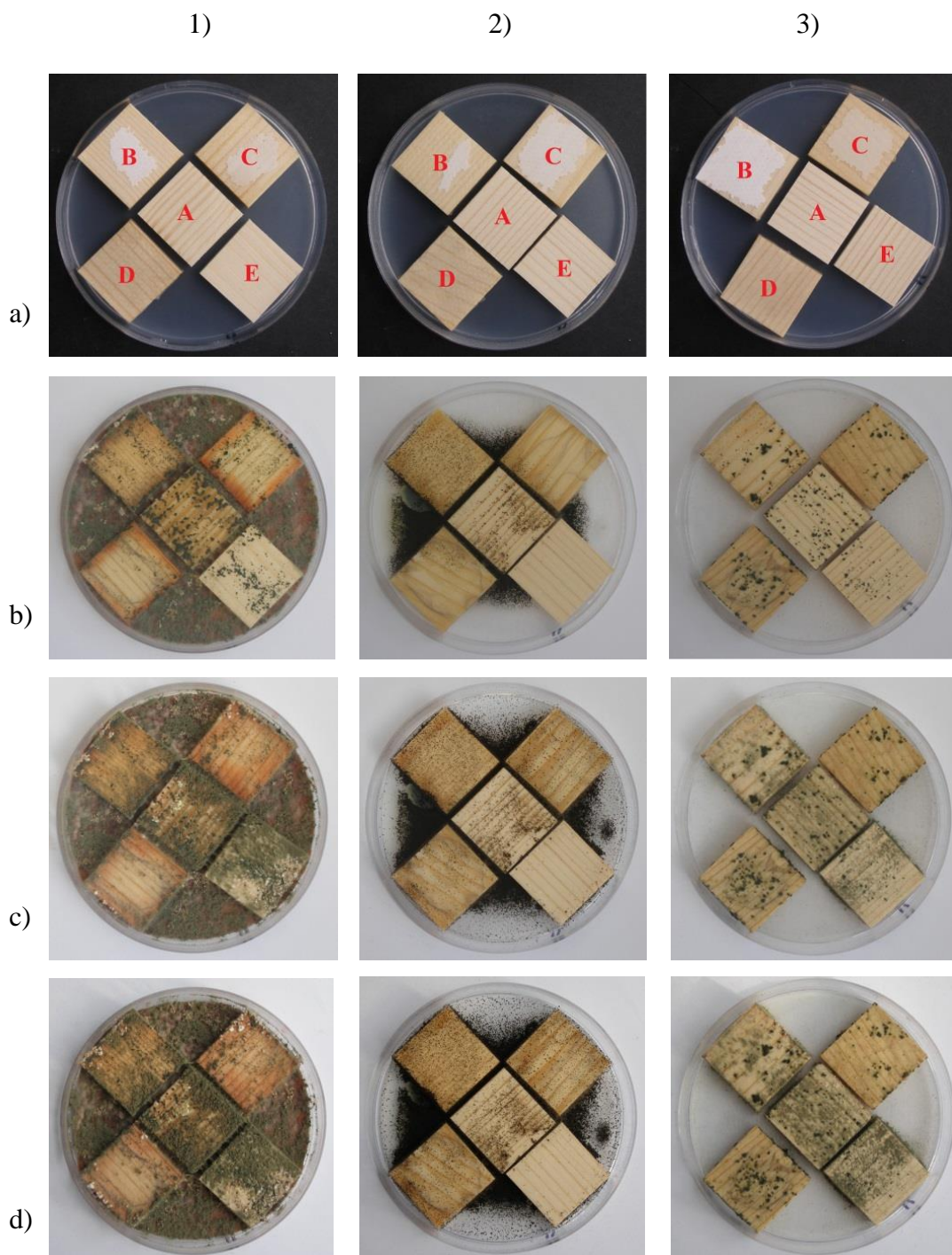
5.3.1 Ochrana proti plísním

Byly připraveny vzorky živné půdy o třech modifikacích. Za první byly přichystány Petriho misky s živnou půdou z Czapkova agaru, které byla inokulovány směsí plísní následujícího složení: *Alternaria alternata*, *Trichoderma*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium brevicompactum* v poměru 1:3:3:3. Za druhé byly

připraveny vzorky živného média o stejném složení bez inokulace směsí plísní. Za třetí byla zvolena živná půda z roztoku minerálních solí, která byla inokulována směsí plísní shodného složení a poměru, jako u první varianty. Na každé živné médium byly bezprostředně po inokulaci umístěny vzorky dřeva v 5 různých modifikacích ochrany (Tabulka 14). Všechny živné půdy byly následně inkubovány po dobu 50 dnů. V průběhu 50 dnů bylo prováděno vyhodnocení formou vizuálního zkoumání biocidního účinku textilií u všech vzorků, které byly zhotoveny v několika opakováních. Po 50 dnech bylo zhotoveno také hodnocení z hlediska zvýšení vlhkosti v dřevěném prvku. Tyto vzorky byly zváženy a vysušeny, aby bylo možné vedle povrchové biocidní účinnosti zvolené ochrany posoudit také její vliv na omezení dotace vlhkosti do studovaného dřeva.

Tabulka 14: Popis a značení použitých vzorků dřeva a jejich modifikace ³.

Název vzorku	Popis vzorku
A	Vzorek dřeva bez úpravy
B	Vzorek dřeva obalený nanotextilií z PVA bez biocidu, stabilizace teplotou 140°C po dobu 20 minut
C	Vzorek dřeva obalený nanotextilií se stříbrem jako biocidním doplňkem, stabilizace teplotou 140°C po dobu 20 minut
D	Vzorek dřeva obalený nanotextilií se stříbrem jako biocidním doplňkem, stabilizace parami ve stabilizačním roztoku po dobu 15 minut
E	Vzorek dřeva s hydrofobizační úpravou povrchu



Obrázek 41: Vzorky dřeva v modifikacích A - E dle Tabulky 14 uložené na živné půdě 1) živná půda z Czapkova agarů + inokulace směsí plísní, 2) živná půda z Czapkova agarů + bez inokulace směsí plísní, 3) živná půda z roztoku minerálních solí + inokulace směsí plísní po a) 0 b) 14, c) 28, d) 50 dnech (1).

Na obrázku 41/1 jsou shrnuty výsledky u vzorků, které byly uloženy na živné půdě z Czapkova agaru s inokulací směsí plísní. V průběhu 50 dnů (Obrázek 41/a – d) byly z hlediska povrchové biocidní ochrany zaznamenány pozitivní výsledky u vzorků, které byly chráněny nanotextiliemi (vzorky C, D), kde byl rozvoj mikroorganismů viditelně nižší než u ostatních vzorků. Způsob jejich stabilizace neměl na výsledky významný vliv. Referenční vzorek dřeva (vzorek A) bez ochranného opatření byl dle očekávání z velké části pokryt plísněmi. Shodné výsledky byly také patrné na vzorcích s nanotextiliemi z PVA bez biocidního přídatku (vzorek B). Mimo očekávání byly výsledky dosažené u vzorků s hydrofobizační ochranou (vzorek E), kde byl zaznamenán rozsáhlý růst plísní. Z pohledu vlhkosti byly shodně jako z pohledu biocidní povrchové ochrany nejhorší výsledky u vzorků A – B. Horších výsledků bylo dosaženo u vzorku B, kde mohla být vyšší zvýšená vlhkost způsobena nasáknutím vody do nanotextilií z PVA. Naopak nejvyšší účinnost proti nárůstu vlhkosti vykazoval i přes významný povrchový pokryv mikroorganismy vzorek E, kde byla dotace vlhkosti zhruba o polovinu až o dvě třetiny nižší než u vzorku A - B (Tabulka 15).

Dále bylo provedeno vyhodnocení u vzorků, které byly uloženy na živné půdě z Czapkova agaru bez inokulace plísněmi (Obrázek 41/2). U vzorků A – D měly z pohledu biocidní povrchové ochrany i z pohledy zvýšené vlhkosti výsledky podobný ochranný charakter jako u první varianty, pouze rozdíly v nárůstu mikroorganismů na jednotlivých vzorcích byly výrazně menší a celkový nárůst vlhkosti v některých případech byl téměř dvojnásobný (Tabulka 15). Vzorek E měl shodně nejnižší nárůst vlhkosti, ale zároveň byla zaznamenána i jeho nejvyšší biocidní účinnost. Z výsledků je patrné také to, že i bez inokulace mikroorganismy došlo k jejich významnému rozvoji. Z toho lze usuzovat, že i samotné dřevěné prvky jsou zdrojem plísní a teoreticky může v konstrukci poté docházet k jejich růstu i bez zjevného důvodu pocházejícího z vnějšího prostředí [47; 58].

Na obrázku 41/3 jsou nakonec shrnuty výsledky u vzorků, které byly uloženy na živnou půdu z roztoku minerálních solí s inokulací směsí plísní. I zde bylo dosaženo podobného vzestupného charakteru ochrany jako v první variantě. Stejně jako ve druhém případě byly rozdíly u vzorků A – D z pohledu povrchového růstu mikroorganismů velmi malé. U vzorku E byla vlhkost opět nejnižší, i přesto že zde byl opět zaznamenán velký rozvoj studovaných organismů. V tomto případě je také

patrné, že i přes omezené nutriční hodnoty použité živné půdy, se plísně rozrůstají a vystačí si s živinami obsaženými ve dřevěných vzorcích [47; 58].

V tabulce 15 jsou shrnuty dotace vlhkosti v jednotlivých vzorcích dle druhu prostředí, která byla v experimentu nastavena. Živná půda z Czapkova agaru s inokulací směsí plísní stanovuje odolnost materiálu dle normy ČSN EN ISO 846. Živná půda shodného složení bez inokulace představuje přirozeně se vyskytující mikroorganismy a jejich degradační vliv, tento typ prostředí nejlépe demonstruje reálnou situaci v konstrukci. Živná půda připravená z roztoku minerálních solí s následnou inokulací charakterizuje, zda má materiál dostatečnou nutriční hodnotu, respektive jestli obsahuje živiny pro růst mikroorganismů.

Nejnižší vlhkost byla dosažena v případě, kdy byla použita hydrofobizační ochrana povrchu vzorku, uloženého na živné půdě z Czapkova agaru s příslušným inokulačním roztokem. Naopak nejvyšší nárůst vlhkosti byl zaznamenán u vzorku chráněného nanotextiliemi z PVA bez biocidního přídavku, uloženého na shodné živné půdě bez inokulace (Tabulka 15). Vyšší nárůst vlhkosti u vzorku chráněného nanotextiliemi z PVA bez biocidu než u vzorků samotného dřeva, jak bylo očekáváno, mohlo být způsobeno nasáknutím samotné textilie.

Tabulka 15: Hodnocení z pohledu zvýšené vlhkosti ve dřevěném vzorku v modifikacích A – E (Tabulka 14), průměrné hodnoty ze 2 - 3 opakování ³.

Vzorek	Zvýšení vlhkosti ve dřevěném vzorku [%]		
	ŽP* z Czapkova agaru, inokulace směsí plísní	ŽP* z Czapkova agaru, bez inokulace	ŽP* z roztoku minerálních solí, inokulace směsí plísní
A	43,20	75,44	73,61
B	76,58	94,66	65,11
C	42,40	66,19	52,78
D	36,68	64,72	61,16
E	27,38	42,61	28,36

*ŽP = živná půda

5.3.2 Ochrana proti dřevokazným houbám

Pro studii biocidní ochrany proti dřevokazným houbám byla připravena živná půda se sladovým extraktem, která byla infikována výřezem dřevokazné houby. Organismus se nechal rozrůst v příznivých podmínkách a bezprostředně poté na něj byly uloženy vzorky dřeva v 5 různých modifikacích ochrany (Tabulka 16).

Živné půdy byly následně inkubovány po dobu 5 - 6 týdnů. Každý týden bylo provedeno vyhodnocení formou vizuálního zkoumání biocidního účinku textilií a po 6 týdnech byla zkoumána opět změna vlhkosti a úbytek hmotnosti dřevěného vzorku vlivem působení dřevokazných hub.

Tabulka 16: Popis a značení použitých vzorků dřeva a jejich modifikace ³.

Název vzorku	Popis vzorku
A	Vzorek dřeva bez úpravy
B	Vzorek dřeva obalený nanotextilií z PVA bez biocidu, stabilizace teplotou 140°C po dobu 20 minut
C	Vzorek dřeva obalený nanotextilií se stříbrem jako biocidním doplňkem, stabilizace teplotou 140°C po dobu 20 minut
D	Vzorek dřeva obalený nanotextilií se stříbrem jako biocidním doplňkem, stabilizace parami ve stabilizačním roztoku po dobu 15 minut
E	Vzorek dřeva s hydrofobizační úpravou povrchu

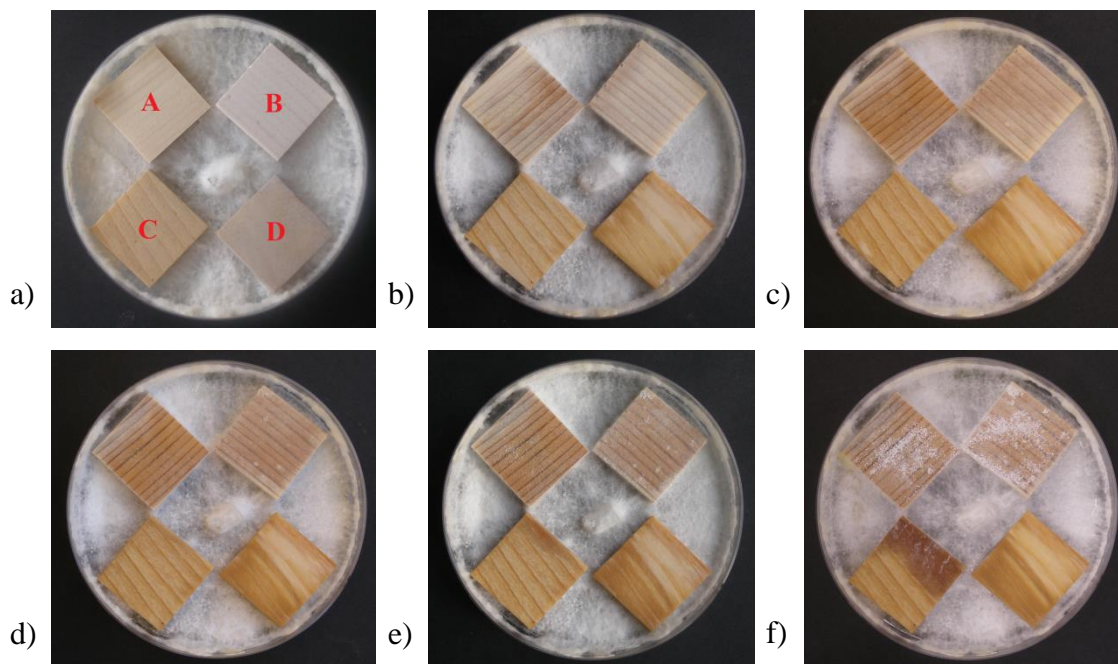
5.3.2.1 Outkovka pestrá

V průběhu 6 týdnů byla prováděna vizuální kontrola a hodnocení růstu mikroorganismů na jednotlivých vzorcích studovaného dřeva v závislosti na typu použité modifikace (Tabulka 16). Na obrázcích 42 – 43 byly zaznamenány výsledky z pohledu povrchové biocidní ochrany. Nejhorších výsledků bylo dle očekávání dosaženo u vzorků A - B. V těchto případech je patrné, že dřevokazná houba postupně prorůstala do substrátu, až postupně přerostla ven ze vzorku a vytvořila na povrchu bílé povlaky. Mimo očekávání byly výsledky u vzorku E, kde rovněž docházelo k růstu dřevokazné houby. Nejlepší výsledky byly po vizuální stránce zaznamenány u vzorku C – D, u kterých nebyl téměř zaznamenán povrchový růst mikroorganismů. Z tohoto pohledu lze usoudit, že ochrana nanotextiliemi bez rozdílu jejich stabilizace se ukázala jako teoreticky účinná proti povrchovému růstu dřevokazné houby outkovky pestré.

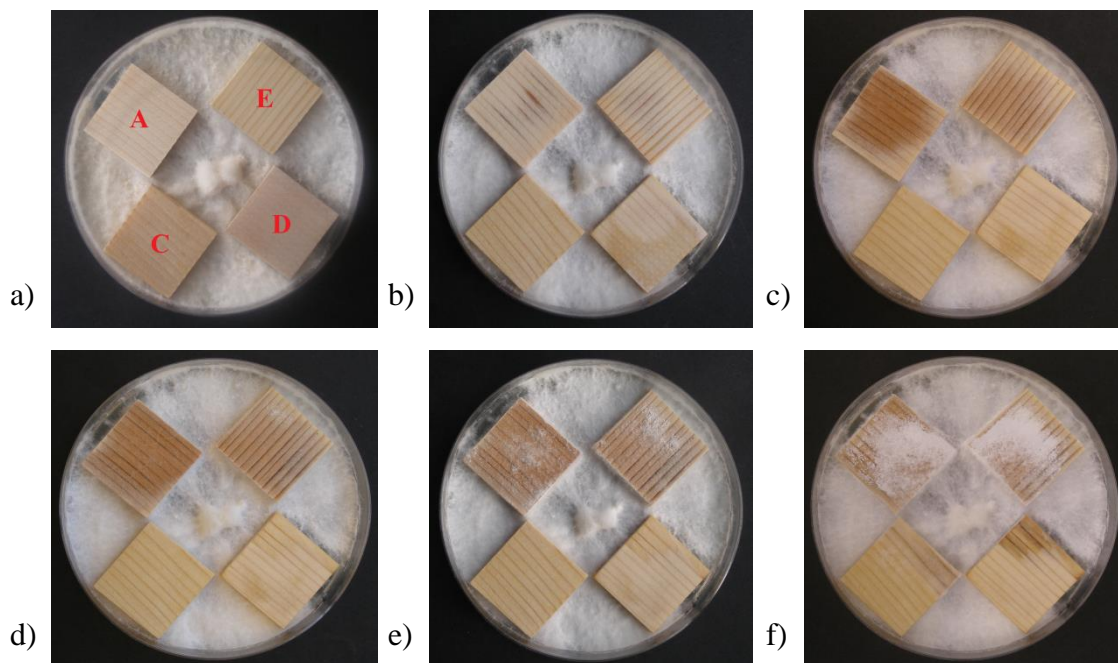
Dále byl studován vliv modifikace vzorku na nárůst vlhkosti a úbytek hmotnosti, způsobený přítomností dřevokazné houby (Tabulka 17). Nejvyšší zvýšení vlhkosti bylo patrné u vzorků, které byly chráněny nanotextiliemi bez biocidu či s biocidním doplňkem. Tato skutečnost mohla být způsobena nasáknutím ochranných textilií. Nejnižší nárůst vlhkosti byl naopak dle očekávání zaznamenán u vzorků s hydrofobizační úpravou povrchu. Z pohledu úbytku hmotnosti dřevěného vzorku byly nejvyšší hodnoty dosaženy u pozitivního vzorku A, dále také u vzorku B, kde nebyla rovněž použita biocidní ochrana. Ochrana nanotextiliemi s přidavkem stříbra jako biocidu se ukázala jako teoreticky účinná a docházelo pouze k malému úbytku hmotnosti. Zcela mimo očekávání byly výsledky u vzorku E, kde došlo ke značné ztrátě hmotnosti. V tomto případě by bylo možné konstatovat, že hydrofobizační ochrana se projevila jako neúčinná proti outkovce pestré nebo došlo k chybě v metodice. Z důvodů pouze dvojího opakování u vzorků se zmíněnou povrchovou ochranu by bylo žádoucí experiment opakovat.

Tabulka 17: Hodnocení z pohledu zvýšené vlhkosti a úbytku hmotnosti vlivem působení dřevokazné houby (Outkovky pestré) ve vzorcích v modifikacích A – E (Tabulka 16), průměrné hodnoty ze 2 - 4 opakování³.

Vzorek	Zvýšení vlhkosti ve dřevěném vzorku [%]	Úbytek hmotnosti vlivem působení dřevokazných hub [%]
A	95,76	21,21
B	159,79	15,58
C	128,96	4,31
D	107,25	2,00
E	70,92	11,72



Obrázek 42: Vzorky dřeva v modifikacích A, B, C, D dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (*Trichothyrus terrestris*) po a) 0, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35, f) 42 dnech (1).



Obrázek 43: Vzorky dřeva v modifikacích A, C, D, E dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (*Trichothyrus terrestris*) po a) 0, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35, f) 42 dnech (1).

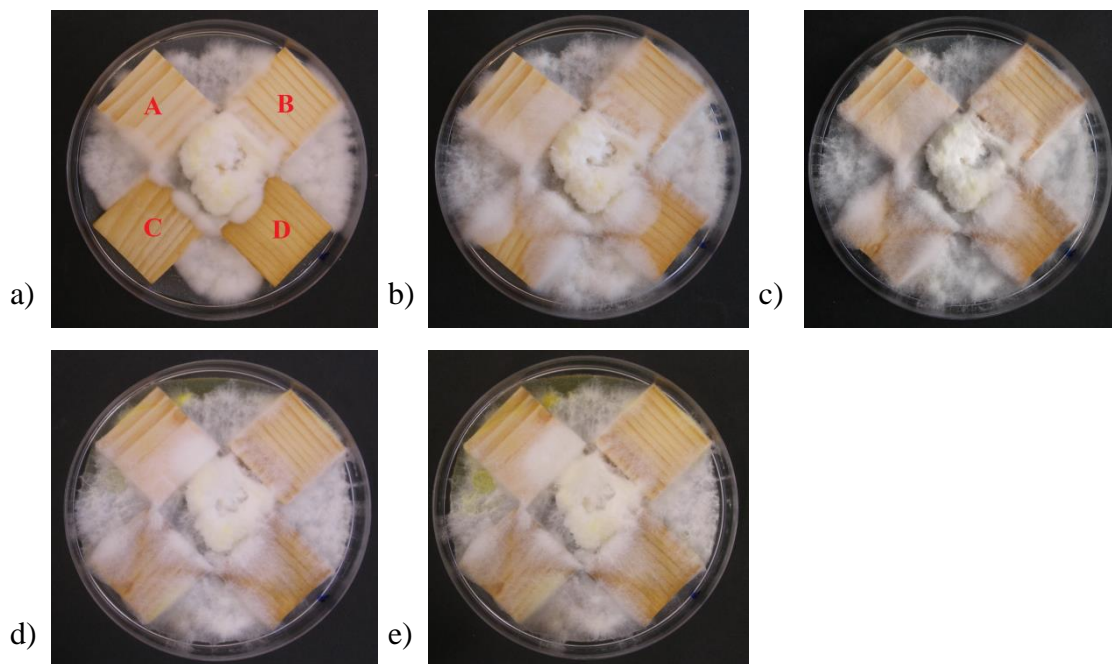
5.3.2.2 Dřevomorka domácí

Vyhodnocení působení dřevomorky domácí na dřevěné vzorky s různými modifikacemi povrchové úpravy (Tabulka 16) probíhalo shodně jako v předchozí podkapitole 5.3.2.1. Na obrázcích 44 – 45 byly shrnuty výsledky, které charakterizují účinnost použité povrchové úpravy na růst mikroorganismů. Jak je patrné, z tohoto pohledu nelze určit nejhorší a nejlepší výsledky, jelikož dřevomorka domácí pokryla z velké části povrch všech vzorků. Z uvedeného lze říci, že použitá biocidní ochrana není účinná proti povrchovému růstu dřevomorky domácí.

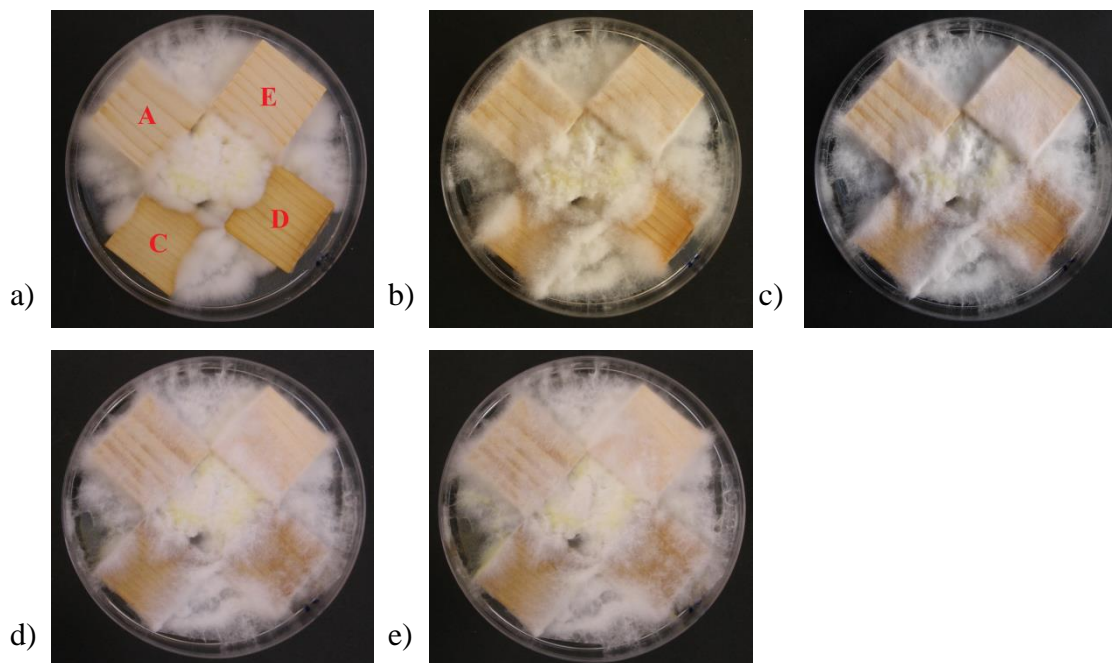
Dále byl opět studován vliv použité povrchové modifikace vzorku na zvýšení vlhkosti a úbytek hmotnosti způsobený přítomností dřevokazné houby (Tabulka 18). Nejvyšší nárůst vlhkosti byl shodně, jako u studie působení Outkovky pestré, zaznamenan u vzorků, které byly chráněné nanotextiliemi. Pravděpodobný důvod vyšší vlhkosti u takto chráněných vzorků, oproti pozitivnímu vzorku dřeva bez ochrany, byl již popsán v podkapitole 5.3.2.1. Nejnižší nárůst vlhkosti byl zaznamenan opět u vzorků E. Z pohledu úbytku hmotnosti dřevěného vzorku byly mimo očekávání nejvyšší hodnoty dosaženy u vzorku E, ve kterém byla použita hydrofobizační úprava povrchu. Oproti předchozí studii outkovky pestré byla ztráta hmotnosti až dvojnásobná a dokonce i značně převyšovala úbytek hmotnosti u pozitivního vzorku dřeva A, jehož úbytek odpovídal délce experimentu [59]. I zde lze opět říci, že experiment s použitím hydrofobizační povrchové ochrany by bylo žádoucí z důvodů pouze dvojího opakování a spornosti výsledků opakovat. Naopak nejnižší hmotností úbytek byl rovněž zaznamenan u vzorků C – D, v tomto případě lze konstatovat, že nanotextilie s přísadkou stříbra se ukázala jako teoreticky účinná proti významnému úbytku hmotnosti způsobeného působením dřevokazné houby dřevomorky domácí.

Tabulka 18: Hodnocení z pohledu zvýšené vlhkosti a úbytku hmotnosti vlivem působení dřevokazné houby (Dřevomorky domácí) ve vzorcích v modifikacích A – E (Tabulka 16), průměrné hodnoty ze 2 - 4 opakování³.

Vzorek	Zvýšení vlhkosti ve dřevěném vzorku [%]	Úbytek hmotnosti vlivem působení dřevokazných hub [%]
A	68,24	15,86
B	112,08	5,56
C	135,58	2,50
D	171,05	4,62
E	26,41	25,83



Obrázek 44: Vzorky dřeva v modifikacích A, B, C, D dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (*Dřevomorky domácí*) po a) 7, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35 dnech (1).



Obrázek 45: Vzorky dřeva v modifikacích A, C, D, E dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (*Dřevomorky domácí*) po a) 7, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35 dnech (1).

6 ZÁVĚR

Dřevo je obnovitelný přírodní materiál, který může být ve stavebnictví s výhodou využíván, pokud je v konstrukci v dostatečné míře chráněn před působením biotických a abiotických činitelů. Existuje řada tradičních metod na ochranu dřevěných konstrukcí, které jsou v jisté míře spolehlivé, ale v dnešní době, kdy máme k dispozici zcela jiné technologie a možnosti, se nabízí prozkoumat nové a jiné způsoby ochrany. Cílem této práce bylo experimentálním výzkumem charakterizovat nové metody na ochranu dřeva a stanovit jejich biocidní účinnost proti zvoleným organismům. Jako jedna z moderních technik byla použita zejména ochrana prostřednictvím nanovláknitých textilií, do kterých bylo přidáno stříbro, namísto komerčně vyráběných biocidních prostředků. Nanotextilie byly zkoumány samostatně, s různými modifikacemi, dokud nebyla připravena vlákna s nejpříznivějšími vlastnostmi, která byla poté aplikována na zkušební materiál. Dále byla použita hydrofobizační povrchová úprava, kde byl zkoumán zejména vliv zamezení vlhkosti na růst biodeteriogenů, bez aplikace samotného biocidního prostředku.

V úvodu experimentu byly připraveny nanovláknité textilie na základě zvláknění syntetického polymeru PVA, do kterého bylo přidáno stříbro. Stříbro bylo studováno ve dvou modifikacích a to ve formě iontů (AgNO_3) a ve formě nanočástic (NAg). Nanotextilie v obou případech vykazovaly biocidní vlastnosti. Z výsledků bylo patrné, že nanotextilie s přídavkem Ag^+ má silnější biocidní účinek jak proti řasám, tak i proti plísním, s tím že byl i patrný velký haló efekt. Druhý typ vláken s přídavkem NAg vykazoval minimální haló efekt a selektivní účinnost proti plísním.

Dále byly připraveny nanovláknité textilie na základě shodného roztoku s přídavkem stříbra ve formě iontů, jehož vyšší biocidní aktivita a schopnost difundovat do okolí, oproti nanočásticím, byla prokázána. Stříbro bylo použito v několika koncentračních a stabilizačních modifikacích. Dále byl studován rozdíl v účinnosti nanotextilií jako preventivní nebo jako dodatečné ochrany vůči mikroorganismům. Alespoň částečně biocidní vlastnosti byly prokázány u všech vzorků bez ohledu na koncentraci použitého biocidu. V případě využití účinnosti nanovláken jako preventivní ochrany bylo dosaženo všeobecně pozitivnějších

výsledků. U většiny vzorků byl zaznamenán biocidní účinek, ve kterém organismy nepřerůstaly přes textilie a zároveň byla patrná i difúze do okolí vzorku. Vzorky studie dodatečné ochrany vykazovaly pouze částečnou biocidní účinnost a to bez difúze (vyjma vzorků stabilizovaných máčením).

Při vzájemném porovnávání jednotlivých způsobů stabilizace byly nejlepší výsledky sledovány v případě stabilizace máčením. Výsledky dosažené u vzorků stabilizovaných teplotou a parami byly rovněž hodnoceny kladně. V další části výzkumu bylo uvažováno, že jsou tyto dvě metody dostatečně uspokojivé a byly použity namísto textilií stabilizovaných máčením, které měly o něco pozitivější výsledky, ale manipulace s nimi byla velmi obtížná. Z pohledu koncentrace použitého biocidu bylo možné konstatovat, že nejpříznivějších výsledků bylo dosaženo při koncentraci Ag^+ 3,1 %, ačkoliv i u ostatních koncentrací byly dosaženy obstojné výsledky.

Závěrem byly připraveny vhodné biocidní nanotextilie, upravené dle předchozích nejlépe hodnocených výsledků, které byly aplikovány na dřevěné vzorky. Na základě převzatých laboratorních poznatků byl připraven také hydrofobizační roztok, který byl rovněž aplikován na vzorky. Dále bylo použito dřevo bez ochrany, jako pozitivní vzorek a dřevo chráněné nanotextiliemi bez biocidního přídatku. V této studii byly zkoumány reakce všech modifikací dřevěných vzorků na působení zvolených mikroorganismů (plísně, dřevokazné houby). Konkrétně byla sledována povrchová biocidní účinnost zvolených ochranných opatření, nárůst vlhkosti v substrátu dřeva a úbytek hmotnosti vzorku, způsobený vlivem přítomnosti dřevokazných hub.

Nanotextilie s přídatkem stříbra, bez rozdílu jejich stabilizace se ukázaly jako účinné proti povrchovému růstu směsi plísní a outkovky pestré. V některých případech k jejich rozvoji téměř nedocházelo a v jiných byl alespoň částečně utlumen. Proti povrchovému růstu dřevomorky domácí se projeví jako neúčinné. Zatímco plísně znehodnocují dřevo zejména na povrchu, dřevokazné houby prorůstají i do substrátu. Účinnost ochranných metod proti této skutečnosti byla zkoumána prostřednictvím úbytku hmotnosti vzorku. Vzorky s biocidními nanotextiliemi vykazovaly oproti ostatním modifikacím pouze minimální úbytek dřevní hmoty.

U hydrofobizační povrchové ochrany byly zaznamenány sporné výsledky jak z pohledu povrchové biocidní ochrany, tak z pohledu hmotnostního úbytku, který byl velmi značný, a pro upřesnění výsledků by bylo nutné experiment opakovat.

Naopak dle očekávání byla proti nárůstu vlhkosti hydrofobizační úprava povrchu, oproti ostatním modifikacím, vyhodnocena jako nejúčinnější.

Dosažené výsledky účinnosti nanovláknitých textilií s přídavkem stříbra, jako biocidu, byly hodnoceny kladně a využití této metodiky v oblasti ochrany dřevěných konstrukcí by bylo teoreticky možné. Studie nanovláknitých textilií je ovšem stále v počátcích a ve stádiu laboratorního výzkumu a pro jejich skutečné začlenění mezi ochranné metody je nezbytné experimentální studie dále rozvíjet a opakovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Seznam literatury:

- [1] ŽÁK, Jaroslav a Ladislav REINPRECHT. Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty. 1. vyd. Praha: ABF, 1998, 95 s. ISBN 80-86165-00-0.
- [2] PTÁČEK, Petr. Ochrana dřeva. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 95 s. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2326-6.
- [3] BAIER, Jiří a Zdeněk TÝN, Jiří. Ochrana dřeva. 2. aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2001, 93 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-0050-6.
- [4] PAŘÍKOVÁ, Jelena a Irena KUČEROVÁ. Jak likvidovat plísně. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-247-9029-7.
- [5] WASSERBAUER, Richard. Biologické znehodnocení staveb. 1. vyd. Praha: ARCH, 2000, 257 s. ISBN 80-86165-30-2.
- [6] KLÁNOVÁ, Kateřina. Plísně v domě a bytě: odstraňování a prevence. Praha: Grada, 2013. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4790-3.
- [7] JIRÁNEK, Martin, Richard WASSERBAUER a Václav KUPILÍK. Zdravotní nezávadnost staveb. Praha: ŠEL, 1999. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902697-3-7.
- [8] BÜCHLI, Roland a Paul RASCHLE. Řasy a houby na fasádách: příčina vzniku a ochrana před nimi. Ostrava: Mise, 2011. Knihovnička M. ISBN 978-80-254-8786-0.
- [9] KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005, 171 s. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.
- [10] HOLAN, Jiří. Dřevo v domácnosti: ochrana, údržba, renovace. 1. vyd. Brno: ERA, 2006, 108 s. Stavíme. ISBN 80-7366-049-0
- [11] BUKOVSKÝ, Ladislav. Dřevěné stavby v utváření krajiny. Brno: EXPO DATA, 2008, 122, 5 s. Stavební kniha (EXPO DATA). ISBN 978-80-7293-209-2.

- [12] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009, 197 s. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.
- [13] Vnitřní prostředí budov: (stavební kniha). Brno: EXPO DATA, 2001. ISBN 80-7293-023-0.
- [14] URBAN, Jaroslav. Ochrana dřeva I: hlavní hmyzí dřevokazní škůdci. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1997, 131 s. ISBN 80-7157-254-3.
- [15] SYSALA, Otmar. Ochrana stavebního dřeva. Střechy, fasády, izolace. 17. Ročník, 1. Číslo, 2010, str. 21. ISSN neuvedeno.
- [16] VODIČKOVÁ, Erika a Jaroslava POKORNÁ. Vše o dřevě v interiéru a exteriéru. Bratislava: Jaga, 2008, 160 s. ISBN neuvedeno.
- [17] DESCH, H.E. Timber: structure, properties, conversion and use. 7th ed. Basingstoke: Macmillan, 1996. ISBN 0-333-60905-0.
- [18] KETTUNEN, P. Wood structure and properties. Enfield, N.H.: Trans Tech Publications Ltd., c2006, xviii, 401 p. ISBN 0-87849-487-1.
- [19] REINPRECHT, Ladislav. Ochrana dřeva: vysokoškolská učebnice. 1. vyd. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2008, ix, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [20] RŮŽIČKA, Martin. Moderní dřevostavba. Praha: Grada, 2014, 160 s. ISBN 978-80-247-3298-5.
- [21] SVATOŇ, Josef. Ochrana dřeva. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 203 s. ISBN 80-7157-435-X.
- [22] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 3. aktual. vyd. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.

Seznam elektronických zdrojů:

- [23] Věra a kol. Odolnost a trvanlivost dřevěných konstrukcí [online]. [cit. 21.11 2016].
Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/9638-odolnost-a-trvanlivost-drevenych-konstrukci>
- [24] Atmosférická a biologická koroze dřeva [online]. [cit. 12.11 2016].
Dostupné z: <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/files/atmosfericka-a-biologicka-koroze-dreva.pdf>
- [25] Biotičtí škůdci dřeva [online]. [cit. 12.11 2016].
Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/3.pdf
- [26] Outkovka pestrá [online]. [cit. 8.11 2016].
Dostupné z: <http://www.nahuby.sk/atlas-hub/Trametes-versicolor/trudnikovec-pestry/outkovka-pestra/ID764>
- [27] Alternaria alternata [online]. [cit. 12.11 2016].
Dostupné z: <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/alt.htm>
- [28] Aspergillus fumigatus [online]. [cit. 12.12 2016].
Dostupné z: <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/asp-fu.htm>
- [29] Aspergillus niger [online]. [cit. 12.12 2016].
Dostupné z: <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/asp-ni.htm>
- [30] Pornatka Vaillantova [online]. [cit. 12.11 2015].
Dostupné z: <http://www.skudci.com/pornatka-vaillantova>
- [31] ZEJDA, Jiří. Sušení dřeva [online]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2013. [cit. 12.5 2015]. Dostupné z:
http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/soubory_hud/javorice_suseni_v1.pdf
- [32] HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. Konstrukční ochrana dřeva zabudovaného ve stavbách [online]. Mendelova univerzita v Brně, 2012. [cit. 12.5 2015].
Dostupné z: <http://www.msdk.cz/files/clanek-konstrukcni-ochrana-dreva.pdf>
- [33] Zásady chemické ochrany dřeva [online]. [cit. 12.5 2015].
Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/6.pdf
- [34] Principy fyzikální ochrany dřeva [online]. [cit. 12.5 2015]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/5.pdf

- [35] Technologické postupy ochrany dřeva [online]. [cit. 12.5 2015] Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/7.pdf
- [36] Přirozená odolnost a trvanlivost dřeva [online]. [cit. 12.5 2015]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/11.pdf
- [37] Tepelně upravené dřevo ThermoWood [online]. [cit. 19.11 2016]. Dostupné z:
<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood>
- [38] Nanotechnologie [online]. [cit. 19.11 2016].
Dostupné z: <http://nanotechnologie.vsb.cz/>
- [39] Nanotechnologie ve stavebnictví [online]. [cit. 19.11 2016]. Dostupné z:
<http://stavba.tzb-info.cz/7101-nanotechnologie-ve-stavebnictvi>
- [40] Charakteristika nanovláken [online]. [cit. 19.11 2016].
Dostupné z: <http://www.elmarco.cz/technologie/nanovlakna/>
- [41] KLICMANOVÁ, Iveta a Zuzana, RÁCOVÁ. Elektrostatické zvlákňování a pasportizace nanotextilí na bázi PVA. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012 NaNS 2012, str. 13. [online]. [cit. 10.12 2016].
Dostupné z: http://vmproceedings.com/conferences/_images-files/2015-nans/NANS2012.pdf#page=13
- [42] EL-NEWEHY, Mohamed H., et al. Nanospider technology for the production of nylon-6 nanofibers for biomedical applications. Journal of Nanomaterials, 2011, pp. 9. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z:
downloads.hindawi.com/journals/jnm/2011/626589.pdf
- [43] PARK, Jae Hyeung, et al. Electrospinning fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/montmorillonite/silver hybrid nanofibers for antibacterial applications. Colloid and Polymer Science, 2010, 115-121. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/profile/Jaehyeung_Park/publication/220021363_Electrospinning_fabrication_and_characterization_of_polyvinyl_alcoholmontmorillonitesilver_hybrid_nanofibers_for_antibacterial_applications/links/0deec5372577f32520000000.pdf
- [44] RYPAROVÁ, Pavla, Richard WASSERBAUER a Pavel Tesárek. Antibakteriální vlastnosti nanotextilí připravených z polyvinyl alkoholu s přísávkem stříbrných a měděných iontů. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012, NaNS 2012, str. 6 – 12. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z:
http://vmproceedings.com/conferences/_images-files/2015-nans/NANS2012.pdf

- [45] TRAN, Quang Huy, et al. Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 2013, 4.3: 033001. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/4/3/033001/pdf>
- [46] EDWARDS-JONES, V. The benefits of silver in hygiene, personal care and healthcare. *Letters in applied microbiology*, 2009, pp. 147-152. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-765X.2009.02648.x/full>
- [47] RYPAROVÁ, Pavla a Zuzana RÁCOVÁ. The Occurrence of Mold in Construction Materials before Inbuilt into New Building and Protection against this Type of Biodegradation. In: *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications, 2016, pp. 44 - 50. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: <http://www.scientific.net/KEM.714.44>
- [48] MORONES, Jose Ruben, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 2005, pp. 2346. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Alejandra_Camacho2/publication/46149380_The_Bactericidal_Effect_of_Silver_Nanoparticles/links/0a85e53098300516c5000000.pdf
- [49] RAI, Mahendra; YADAV, Alka; GADE, Aniket. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 2009, pp. 76-83. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32326744/Silver_nanoparticles_as_a_new_generation_of_antimicrobials.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1481988219&Signature=jAKdyfWOOPji2slzQKoCkC1OwCU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DResearch_review_paper_Silver_nanoparticles.pdf
- [50] AMBROŽOVÁ ŘÍHOVÁ, Jana, Pavlína ČIHÁKOVÁ a Vladimíra ŠKOPOVÁ. Studium biocidních účinků nanočástic stříbra. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae (Bratislava) ACTA*. Vol. 23 (2015). [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: <http://tvp.vscht.cz/files/uzel/0010739/C8rMyC9LVEgsLsjPiXdMLklUcM0rC81zzs9NzYs3MjA0jTcEAA.pdf>
- [51] HAVRLIK, Michal a Pavla RYPAROVÁ. Protection of Wooden Materials Against Biological attack by Using Nanotechnology. *Acta Polytechnica*, 2015, pp. 101-108. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/download/2982/2809>

- [52] KLICMANOVÁ, Iveta a Michal HAVRLÍK. Vliv technologie výroby na kvalitu nanotextilií. *Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015*, str.33. [online]. [cit. 10.12 2016]. Dostupné z: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=5980#page
- [53] PETŘÍK, Stanislav a Milan MALÝ. Production Nozzle-Less Electrospinning Nanofiber Technology, In: *Proc. of 2009 Fall MRS Symposium, Boston, MA, Nov 30 – Dec 4 (2009)*. [online]. [cit. 11.11 2016]. Dostupné z: <http://www.elmarco.cz/upload/soubory/dokumenty/66-1-1-mrs-fall-boston-09.pdf>
- [54] HRŮZA, Jakub. Nanovláknenné filtry a jejich použití v sanačních technologiích, 2009.[online]. [cit. 11.11 2016]. Dostupné z: <http://artec.tul.cz/?content=upload/ARTEC-kapitola6-sidlof-hruza.pdf&lang=cs>
- [55] RYPAROVÁ, Pavla, Jan TREJBAL a Zuzana RÁCOVÁ. Biocidní účinnost nanočástic stříbra na vybrané plísňe nacházející se v ovzduší okolo UCEEBu. *Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015*, str. 68. [online]. [cit. 27.12 2016]. Dostupné z: http://vmproceedings.com/conferences/_images-files/2016-nans/NaNS2015.pdf#page=77
- [56] KIM, Sang Woo, et al. Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) against various plant pathogenic fungi. *Mycobiology*, 2012, str. 53. [online]. [cit. 27.12 2016]. Dostupné z: <https://synapse.koreamed.org/Synapse/Data/PDFData/0184MB/mb-40-53.pdf>
- [57] RÁCOVÁ Zuzana, Richard WASSERBAUER a Pavla RYPAROVÁ. Výskyt, prevence mikroskopických vláknitých hub ve stavebních konstrukcích a jejich sanace pomocí nanovláken. *Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2012 NaNS2012*, str. 18. [online]. [cit. 27.12 2016]. Dostupné z: http://vmproceedings.com/conferences/_images-files/2015-nans/NANS2012.pdf#page=18
- [58] RÁCOVÁ, Zuzana, Petra ČERNOHORSKÁ a Pavla RYPAROVÁ. Mikroskopické vláknité houby vnášené na stavbu se stavebním materiálem. *Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015, NaNS2015*, str. 62. [online]. [cit. 27.12 2016]. Dostupné z: http://vmproceedings.com/conferences/_images-files/2016nans/NaNS2015.pdf#page=71
- [59] HASTRUP, Anne Christine Steenkjær, et al. Tolerance of *Serpula lacrymans* to copper-based wood preservatives. *International biodeterioration & biodegradation*, 2005, str.173. [online]. [cit. 27.12 2016]. Dostupné z:

http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44387852/fpl_2005_hastrup002.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1482836869&Signature=sVav3H7XQt06NYysknb6GetNsGI%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTolerance_of_Serpula_lacrymans_to_copper.pdf

Seznam ostatních zdrojů:

[60] HOUŠKOVÁ, Tereza. Poškození dřevěných konstrukcí způsobené vlivem biotických škůdců. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Anna Kuklíková, Ph.D.

[61] HOUŠKOVÁ, Tereza a Pavla RYPAROVÁ. Účinnost nanovláknitých textilií proti plísni vyrobených na základě PVA dopovaných částicemi stříbra. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016, NaNS2016, str. 23.

[62] RYPAROVÁ, Pavla. Závislost koncentrace měděných iontů na složení základního zvláknovacího roztoku a způsobu stabilizace. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016, NaNS 2016, str. 107.

[63] TESÁREK, P., et al. Macro Mechanical Testing of Nanofibers: Tensile Strength. In: Proceedings of the 50th Annual Conference on Experimental Stress Analysis. 2012. pp. 465-468.

Seznam obrázků:

- Obrázek 1:** Typické morfologické znaky plísně *Alternaria alternata* (1)..... 18
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 22.11 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 2:** Typické morfologické znaky plísně *Aspergillus niger* (1)..... 18
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 22.11 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 3:** Typické morfologické znaky plísně *Cladosporium cladosporioides* (1)..... 18
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 22.11 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 4:** Typické morfologické znaky plísně *Penicillium purpurogenum* (1)..... 18
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 22.11 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 5:** Stavba esteticky znehodnocená porostem řas (1). 19
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 26.12 2016, Praha, Kunratice
- Obrázek 6:** Promodralé zbarvení bělové části dřeva (2)..... 20
Zdroj: (2) http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/obr/zbarveni_beli_02.jpg
[cit. 5.11 2016]
- Obrázek 7:** Modré zbarvení (3). 20
Zdroj: (3) http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/obr/zbarveni_beli_06.jpg
[cit. 5.11 2016]
- Obrázek 8:** Plodnice dřevomorky domácí (4)..... 23
Zdroj: (4) <http://www.biolib.cz/IMG/GAL/BIG/18136.jpg> [cit. 26.4 2015]
- Obrázek 9:** Rozpad dřeva na kostky větších formátů způsobený hnědou hnilobou (5)..... 23
Zdroj: (5) <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/lib/showpic.php?id=845&ww=fotogalerie&w=obrazek>[cit. 12.11 2016]
- Obrázek 10:** Rozrostlá plodnice koniofory sklepní (6)..... 24
Zdroj: (6) http://www.pest-control.cz/galerie/img_big/288.jpg [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 11:** Dřevěný prvek napadený konioforou sklepní (7). 24
Zdroj: (7) http://imageproxy.jxs.cz/~nd06/jxs/cz~/196/445/5dd8a87e0c_100435446_o2.jpg [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 12:** Plodnice trávovky na dřevěném prvku (8)..... 25
Zdroj: (8) http://www.pest-control.cz/galerie/img_big/290.jpg [cit. 12.11 2016]

- Obrázek 13:** Kostkovitý rozklad uvnitř neopracovaného dřeva (9)..... 25
Zdroj: (9) http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/obr/hniloba_13.jpg
[cit. 12.11 2016]
- Obrázek 14:** Plodnice Outkovky pestré (10). 26
Zdroj: (10) http://aa.ecn.cz/img_upload/e6ffb6c50bc1424ab10ecf09e063cd63/otlovka_pestra.jpg [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 15:** Obložení vnějších stěn, A – nevhodné řešení, B – vhodné řešení z hlediska odtoku a zatékání srážkové vody (11)..... 31
Zdroj: (11) ŽÁK, Jaroslav a Ladislav REINPRECHT. Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty. 1. vyd. Praha: ABF, 1998, 95 s.[ISBN 80-86165-00-0, str. 29, obr. 3.3 [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 16:** Řešení přesahu střešní konstrukce z hlediska smáčení stěn odstříkující vodou, A – nedostatečný přesah, B – správný přesah (11)..... 31
Zdroj: (11) ŽÁK, Jaroslav a Ladislav REINPRECHT. Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty. 1. vyd. Praha: ABF, 1998, 95 s. ISBN 80-86165-00-0, str. 29, obr. 3.2 [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 17:** Schématické znázornění uložení dřevěných prvků nad zemí (11)..... 32
Zdroj: (11) ŽÁK, Jaroslav a Ladislav REINPRECHT. Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty. 1. vyd. Praha: ABF, 1998, 95 s. ISBN 80-86165-00-0, str. 31, obr. 3.7. [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 18:** Řešení v soklové oblasti, oddělení základů od dřevěného prvku izolační mezivrstvou a ochrana spáry přesahem vnějšího obkladu (12)..... 32
Zdroj: (12) ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009, 197 s. Home. ISBN 978-80-8076-080-9, str. 141, obr. 5.17 [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 19:** Schématické znázornění záhlaví dřevěného trámu v oblasti uložení na zdivo, trám je zapotřebí uložit na podložku a vzduchovými mezerami umožnit provětrávání (12). 32
Zdroj: (12) ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009, 197 s. Home. ISBN 978-80-8076-080-9, str. 144, obr. 5.24 [cit. 12.11 2016]
- Obrázek 20:** Přístroj Nanospider LB 500, biologická laboratoř, FSv ČVUT (1). 45
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 12.8 2016, Praha, FSv ČVUT

- Obrázek 21:** Princip zvlákňování technologií Nanospider (1)..... 46
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno vytvořen v programu AutoCad2012
- Obrázek 22:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě nanočástic po 1 dni (vlevo) a po 7 dnech (vpravo) (1). 54
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 25.4 2016/2.5 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 23:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě iontů po 1 dni (vlevo) a po 7 dnech (vpravo) (1). 54
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 25.4 2016/2.5 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 24:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě nanočástic po 1 dni (vlevo) a po 21 dnech (vpravo) (1). 54
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 25.4 2016/16.5 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 25:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě iontů po 1 dni (vlevo) a po 21 dnech (vpravo) (1). 55
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 25.4 2016/16.5 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 26:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,3 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1). 57
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 26.9 2016/11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 27:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,9 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1). 58
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 26.9 2016/11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 28:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 1,6 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1). 58
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 26.9 2016/11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 29:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 2,2 % v několika modifikacích (Tab. 9) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1). 58
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 26.9 2016/11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 30:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 3,1 % v několika modifikacích (Tab.9) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1). 59
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 26.9 2016/11.10 2016, Praha, FSv ČVUT

- Obrázek 31:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,3 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1)..... 62
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 1.10 2016/16.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 32:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,9 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1)..... 62
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 1.10 2016/16.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 33:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 1,6 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1)..... 62
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 1.10 2016/16.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 34:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 2,2 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1)..... 63
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 1.10 2016/16.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 35:** Směs plísní na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 3,1 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 12 dni (vlevo) a po 26 dnech (vpravo) (1)..... 63
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 1.10 2016/16.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 36:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,3 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1)..... 64
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 37:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 0,9 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1)..... 64
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 38:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 1,6 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1)..... 64
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 39:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 2,2 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1)..... 64
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 11.10 2016, Praha, FSv ČVUT
- Obrázek 40:** Směs řas na živné půdě s nanovláknitou textilií s koncentrací Ag^+ 3,1 % v několika modifikacích (Tab. 11) po 21 dnech (1)..... 64
Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 11.10 2016, Praha, FSv ČVUT

Obrázek 41: Vzorky dřeva v modifikacích A - E dle Tabulky 14 uložené na živné půdě 1) živná půda z Czapkova agaru + inokulace směsí plísní, 2) živná půda z Czapkova agaru + bez inokulace směsí plísní, 3) živná půda z roztoku minerálních solí + inokulace směsí plísní po a) 0 b) 14, c) 28, d) 50 dnech (1)..... 70

Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 3.11 2016 – 17.11 2016, Praha, FSv ČVUT

Obrázek 42: Vzorky dřeva v modifikacích A, B, C, D dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (Outkovky pestré) po a) 0, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35, f) 42 dnech (1)..... 75

Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 3.11 2016 – 20.12 2016, Praha, FSv ČVUT

Obrázek 43: Vzorky dřeva v modifikacích A, C, D, E dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (Outkovky pestré) po a) 0, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35, f) 42 dnech (1)..... 75

Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 3.11 2016 – 20.12 2016, Praha, FSv ČVUT

Obrázek 44: Vzorky dřeva v modifikacích A, B, C, D dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (Dřevomorky domácí) po a) 7, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35 dnech (1). 77

Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 15.11 2016 – 20.12 2016, Praha, FSv ČVUT

Obrázek 45: Vzorky dřeva v modifikacích A, C, D, E dle Tabulky 16 uložené na živné půdě inokulované výřezem dřevokazné houby (Dřevomorky domácí) po a) 7, b) 14, c) 21, d) 28, e) 35 dnech (1). 77

Zdroj: (1) archiv autora, pořízeno dne 15.11 2016 – 20.12 2016, Praha, FSv ČVUT

Seznam tabulek:

- Tabulka 1:** Ohrožení dřeva biotickými škůdci, zatříděno do 5 tříd (dle ČSN EN 335) ¹..... 29
Zdroj: ¹ ČSN EN 335. Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva. ICS 71.100.50. Praha: ÚNMZ, září 2013. Upraveno v programu Excel. [cit. 12.11 2016]
- Tabulka 2:** Přirozená trvanlivost vybraných druhů dřevin (dle ČSN EN 350 – 2) ². 29
Zdroj: ² ČSN EN 350 – 2. Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě. ICS 79.040. Praha: Český normalizační institut, červenec 1996. Upraveno v programu Microsoft Excel 2010. [cit. 12.11 2016]
- Tabulka 3:** Složení základního zvláknovacího roztoku ³ 47
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 4:** Množství AgNO₃ v roztoku PVA dle finální koncentrace Ag⁺ ve vláknech ³. ... 48
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 5:** Shrnutí všech nanovláknitých textilií dle způsobu stabilizace, koncentrace stříbra a typu biocidního přídatku ³. 49
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 6:** Souhrn všech použitých dřevěných vzorků dle způsobu stabilizace, koncentrace stříbra a typu biocidního přídatku ³. 51
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 7:** Hodnocení biocidního účinku nanovláken se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě nanočástic ³. 56
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 8:** Hodnocení biocidního účinku nanovláken se stříbrem jako biocidním doplňkem ve formě iontů (AgNO₃) ³. 56
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 9:** Popis a značení použitých vzorků, preventivní ochrana proti plísním ³. 57
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010

- Tabulka 10:** Hodnocení preventivního biocidního účinku nanovláken různé stabilizace dle koncentrace Ag^+ proti plísním, průměrné hodnoty ze 4 opakování (5 – biocidní účinek s difúzí, 4 – biocidní účinek s částečnou difúzí, 3 – biocidní účinek bez difúze, 2 – částečný biocidní účinek, 1 – bez účinku) ³ 60
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 11:** Popis a značení použit. vzorků, dodatečná ochrana proti plísním a řasám ³ 61
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 12:** Hodnocení dodatečného biocidního účinku nanovláken různé stabilizace dle koncentrace Ag^+ proti plísním, průměrné hodnoty ze 4 opakování (5 – biocidní účinek s difúzí, 4 – biocidní účinek s částečnou difúzí, 3 – biocidní účinek bez difúze, 2 – částečný biocidní účinek, 1 – bez účinku) ³ 66
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 13:** Hodnocení biocidního účinku nanovláken různé stabilizace dle koncentrace Ag^+ proti řasám, průměrné hodnoty ze 3 opakování (5 – biocidní účinek s difúzí, 4 – biocidní účinek s částečnou difúzí, 3 – biocidní účinek bez difúze, 2 – částečný biocidní účinek, 1 – bez účinku) ³ 67
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 14:** Popis a značení použitých vzorků dřeva a jejich modifikace ³ 69
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 15:** Hodnocení z pohledu zvýšené vlhkosti ve dřevěném vzorku v modifikacích A – E (Tabulka 14), průměrné hodnoty ze 2 - 3 opakování ³ 72
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 16:** Popis a značení použitých vzorků dřeva a jejich modifikace ³ 73
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 17:** Hodnocení z pohledu zvýšené vlhkosti a úbytku hmotnosti vlivem působení dřevokazné houby (Outkovky pestré) ve vzorcích v modifikacích A – E (Tabulka 16), průměrné hodnoty ze 2 - 4 opakování ³ 74
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010
- Tabulka 18:** Hodnocení z pohledu zvýšené vlhkosti a úbytku hmotnosti vlivem působení dřevokazné houby (Dřevomorky domácí) ve vzorcích v modifikacích A – E (Tabulka 16), průměrné hodnoty ze 2 - 4 opakování ³ 76
Zdroj: ³ vlastní tabulka, upravené v programu Microsoft Excel 2010