

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**STAVEBNÍ
FAKULTA**



**DISERTAČNÍ
PRÁCE**

2020

**DRAHOMÍRA
CÍGLER ŽOFKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Korozivně aktivní vztah dřevomorky ke zdivu

Corrosively active relationship of dry rot fungus to masonry

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Drahomíra Cígler Žofková

Doktorský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Školitel: Prof. Ing. Richard Wasserbauer, Dr.Sc.

Prof. Ing. Martin Jiránek, CSc.

Ing. Jiří Frankl, Ph.D.

Praha, 2020



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Drahomíra Cígler Žofková

Název disertační práce: Korozivně aktivní vztah dřevomorky ke zdivu

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracovala samostatně pod vedením školitelů Prof. Ing. Richarda Wasserbauera, Dr.Sc., Prof. Ing. Martina Jiráňka, CSc. a Ing. Jiřího Frankla, Ph.D.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením projektu:

ČVUT SGS10/233/OHK1/3T/11

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Velké poděkování patří mému manželovi Davidovi, který mě od nástupu na doktorské studium až po sepsání této práce bezvýhradně podporoval a věřil mi! Stejně tak velké díky patří mým rodičům Drahomíře a Stanislavu Žofkovým, kteří mě podpořili a nesčetněkrát pohlídali dcerky, abych mohla plnit své studijní povinnosti. Bez nich by to nešlo! Dále bych ráda poděkovala svým dcerkám Sofince a Apolence, které mi držely palce vždy, když bylo potřeba! Mám Vás moc ráda a z celého srdce děkuji! Moc to pro mne znamená!

Poděkování patří všem mým školitelům. Prof. Ing. Richardu Wasserbauerovi, Dr.Sc. za přijetí do svého týmu, Prof. Ing. Martinu Jiránkovi, CSc., který mne v průběhu studia vzal „pod svá křídla“ a podpořil mě v pokračování studia a největší dík patří Ing. Jiřímu Franklovi, Ph.D. (ÚTAM AV v. v. i.), s kterým mě spojila náhoda a který mi nezištně poskytnul zázemí své laboratoře s veškerým vybavením včetně jeho znalostí, dovedností a hlavně svého času. Bez něj by tato práce nevznikla. Jirko, děkuji Ti!

Nemalé poděkování patří také Mgr. Ditě Frankeové (ÚTAM AV v. v. i.), která mi věnovala svůj čas, zkušenosti a zajistila pro mne XRF měření, termické analýzy a FTIR. Díky této dámě vznikly ucelené kapitoly disertační práce se zásadními experimentálními výstupy. Velké poděkování též náleží Mgr. Daně Janotové (ÚTAM AV v. v. i.) za konzultace při výrobě maltových vzorků.

Dále bych ráda poděkovala paní Ivaně Loušové z laboratoře K124 za vstřícný přístup a podporu a také mému zaměstnavateli ATELIERU SOUKUP OPL ŠVEHLA s. r. o., který mi vyšel vstříc v průběhu celého studia a vypomohl mi svým technickým zázemím.

Všem, kteří svými znalostmi, časem a podporou přispěli k tomu, abych dopsala tuto disertační práci, ze srdce děkuji!

Vaše Drahomíra

Věnování

Mým rodičům. Mému manželovi. Mým dcerkám.

Abstrakt

Práce se zabývá interakcí metabolických produktů dřevokazné houby druhu dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans* (Wulfen) P. Karst.) s běžně užívanou vápennou maltou.

Úvodní část je věnována souhrnnému zpracování problematiky biologické degradace dřeva se zaměřením na dřevomorku domácí. V této části jsou detailně popsány morfologie, způsob rozmnožování, možnosti šíření, životní podmínky a principy rozkladu dřeva (dřevěných konstrukčních prvků) vlivem činnosti této dřevokazné houby. Úvodní část obsahuje také blok zabývající se sanačními opatřeními vycházející ze stavební praxe v České republice s uvedením souvisejících právních předpisů.

Teoretická část disertační práce se zabývá rozborem stávajícího stavu řešené problematiky. Jsou zde rovněž uvedeny a popsány analýzy a postupy používané pro detekci kyseliny šťavelové a oxalátu vápenatého v oblasti zkoumání dřevokazných hub (pro hnědé a bílé hniloby).

Experimentální výzkum se skládá ze dvou fází. První fáze je zaměřena na analýzu a vyhodnocení vzorků odebraných z reálných staveb. Druhá fáze experimentu je pak zaměřená na zpřesnění vstupních podmínek, určení počátečních vlastností zkoumaných vzorků a hodnocení vzorků s využitím nových měřících metod.

V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky a uvedeny další možné směry výzkumu působení dřevomorky domácí na dřevěné konstrukční prvky a stavební materiály nedřevěného charakteru.

Klíčová slova: dřevokazné houby; dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Karst); šťavelan vápenatý; vápenná omítka; CaCO_3 ; X-ray fluorescenční spektroskopie (XRF); termická analýza; infračervená spektroskopie (FTIR); optická mikroskopie; elektronová mikroskopie SEM.

Abstract

The work addresses the interaction of metabolic products of a wood-destroying fungus of the dry rot species (*Serpula lacrymans* (Wulfen) P. Karst.) with a commonly used lime mortar.

The introduction of the work is dedicated to a comprehensive elaboration of the issues of biocorrosion with a focus on dry rot. In this part, the morphology of this wood-destroying fungus, the manner of its reproduction, spread, living conditions and the decomposition process of wooden structural elements are elaborated in detail. This part is followed by a passage dealing with remediation measures based on the construction practice in the Czech Republic, mentioning the legal regulations.

The second part of the dissertation is focused on the current state of the researched issues and it lists and describes the analyses and procedures used to determine oxalic acid and calcium oxalate in the area of the study of wood-destroying fungi (for brown and white rot).

Experimental research is divided into two phases. The first part is focused on the evaluation of samples taken from existing buildings. Based on the outputs of this part, the second phase of the experiment was focused on the refinement of the input conditions, determination of the initial properties of the examined samples and evaluation of the samples using new measuring methods.

In the conclusion of the dissertation, the achieved results are summarized and other possible ways to investigate the effects of *Serpula lacrymans* on building materials of non-wood nature are mentioned.

Keywords: wood-destroying fungi; *Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Karst); calcium oxalate; lime mortar; CaCO₃; X-ray fluorescence spectroscopy (XRF); thermal analysis; Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR); optical microscopy; electron microscopy (SEM).

Obsah

Použité symboly a značky	12
1 Zaměření disertační práce	13
2 Cíle disertační práce	14
3 Úvod do problematiky dřevokazných hub	15
3.1 Dřevomorka domácí (Serpula lacrymans (Wulfen) J. Karst).....	17
3.1.1 Morfologie dřevomorky domácí.....	18
3.1.1.1 Výtrusy/spóry (basidiospóry).....	18
3.1.1.2 Hyfy, mycelium.....	19
3.1.1.3 Plodnice (fruktifikační část houby).....	20
3.1.2 Rozmnožování a šíření dřevomorky domácí.....	21
3.1.3 Životní podmínky.....	22
3.1.4 Živiny	26
3.1.5 Postup rozkladu dřeva dřevomorkou domácí.....	28
3.1.6 Závěr	31
3.2 Stavební praxe	31
3.2.1 Postup při sanaci.....	36
3.3 Legislativa / Právní předpisy.....	40
3.4 Pojištění staveb	41
4 Stávající stav řešené problematiky	42
4.1 Kyselina šťavelová – šťavelan (oxalát) vápenatý	42
4.2 Souhrn analýz využívaných pro určení kyseliny šťavelové a oxalátu vápenatého u dřevokazných hub	46
5 Experimentální výzkum	56
5.1 1. fáze experimentálního výzkumu.....	56
5.1.1 Objekt č. 56, areál ŠKODA HOLDING a. s., Plzeň.....	57

5.1.1.1	Stručný popis objektu, venkovní úpravy (2009).....	57
5.1.1.2	Stavebně technický popis konstrukcí.....	58
5.1.1.3	Využití objektu.....	58
5.1.1.4	Významné poruchy konstrukcí.....	58
5.1.1.5	Fotodokumentace sond odebraných vzorků.....	59
5.1.1.6	Výsledky měření.....	60
5.1.1.7	Závěry měření.....	62
5.1.2	Objekt tzv. Starého opatství (<i>prelatura</i>), areál kláštera, Plasy.....	64
5.1.2.1	Stručný popis objektu, venkovní úpravy (2009).....	64
5.1.2.2	Stavebně technický popis konstrukcí.....	65
5.1.2.3	Využití objektu.....	65
5.1.2.4	Významné poruchy konstrukcí.....	65
5.1.2.5	Fotodokumentace sond odebraných vzorků.....	65
5.1.2.6	Výsledky měření.....	68
5.1.2.7	Závěry měření.....	72
5.1.3	Diskuze výsledků – 1. fáze experimentálního výzkumu.....	75
5.2	2. fáze experimentálního výzkumu.....	76
5.2.1	Specifikace použitých materiálů pro výrobu laboratorních maltových vzorků, provedené zkoušky čerstvé a zatvrdlé malty, postupy.....	76
5.2.1.1	Výsledné průměrné hodnoty zkoušek čerstvé malty – SADA 1.....	78
5.2.1.2	Výsledné průměrné hodnoty zkoušek čerstvé malty – SADA 2.....	79
5.2.2	Materiálové charakteristiky – referenční vzorky.....	79
5.2.2.1	Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu – referenční vzorky.....	79
5.2.2.2	Stanovení karbonátce a pH – referenční vzorky.....	80
5.2.3	Materiálové charakteristiky – infikované vzorky.....	80
5.2.3.1	Kultura dřevomorky domácí.....	81

5.2.3.2	Postup vzorkování zkušebních těles dřevomorkou domácí.....	81
5.2.3.3	Průběh růstu mycelia na maltových vzorcích.....	82
5.2.3.4	Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu – infikované vzorky	82
5.2.3.5	Stanovení pH – infikované vzorky	82
5.2.3.6	Zhodnocení výsledků	83
5.2.4	X-ray fluorescenční spektroskopie (XRF).....	84
5.2.4.1	Příprava měření XRF.....	84
5.2.4.2	Výsledky XRF.....	85
5.2.4.3	Závěr XRF	86
5.2.5	Termická analýza	86
5.2.5.1	Srovnávací měření TA.....	87
5.2.5.2	Termická analýza – SADA 1	90
5.2.5.3	Termická analýza – SADA 2	95
5.2.5.4	Termická analýza – SADA 3.....	99
5.2.6	Infračervená spektroskopie (FTIR).....	108
5.2.7	Optická mikroskopie.....	112
5.2.8	Elektronová mikroskopie (SEM ²³).....	115
5.2.9	Diskuze výsledků – 2. fáze experimentálního výzkumu.....	121
5.3	Přínos řešeného tématu	123
5.4	Náměty na další výzkum	125
6	Bibliografie.....	127
6.1	Publikace autora	139
7	Přílohy	141
7.1	Výkresová dokumentace objekt č. 56, areál ŠKODA HOLDING a. s., Plzeň - půdorysné rozmístění sond (2.S, 1.S, 1.NP).....	142
7.2	Příloha A Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [76]	145
7.3	Příloha B Klasifikace salinity zdiva dle ČSN P 73 0610 [76]	146

7.4	Výstupní grafy spektrálních analýz měřených vzorků objekt tzv. Starého opatství (prelatura), areál kláštera, Plasy.....	147
7.5	Biodeteriogeny stavebních materiálů	154
7.6	Poznatky o výskytu solí a jejich účincích na stavební konstrukce	156
7.7	Vápenné malty / omítky	158
7.7.1	Pojivo	158
7.7.2	Výroba vzdušného vápna - vápenný cyklus.....	159
7.8	Technický list vápenné kaše AQUA LIME PUTTY (výrobce AQUA obnova staveb s.r.o.).....	162
7.9	Protokol o přehledu ročních zkoušek drobného těžného kameniva frakce 0/4 z lokality Straškov	163
7.10	Postup zkoušky konzistence čerstvé malty	167
7.11	Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě	167
7.12	Výpočet objemové hmotnosti čerstvé malty	168
7.13	Zkouška pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu	169
7.14	Technický list Malt Extract Agar Base (w/Mycological Peptone) (výrobce Himedia)	171
7.15	Bezpečnostní list CaCO ₃	173
8	Seznam obrázků.....	178
9	Seznam tabulek.....	179
10	Seznam použitých rovnic.....	180
11	Seznam grafů	181

Použité symboly a značky

a_w	vodní aktivita	
w_s	vlhkost vzorku	[% hmotnosti]
$m_{o,s}$	hmotnost vzorku před vysušením	[g]
$m_{dry,s}$	hmotnost vzorku po vysušení	[g]
ρ_m	objemová hmotnost čerstvé malty	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$
m	hmotnost navážky	[g]
m_m	hmotnost čerstvé malty ve formě	[g]
m_{m+f}	hmotnost formy naplněné čerstvou maltou	[g]
m_f	hmotnost formy	[g]
V_V	objem čerstvé malty ve formě	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$
R_{tf}	pevnost v ohybu	[MPa]
F, F_{max}	zatížení při porušení	[N]
l	vzdálenost mezi podpěrnými válečky	[mm]
b	šířka průřezu zkušebního tělesa v blízkosti lomové plochy	[mm]
h	výška zkušebního tělesa	[mm]
m_0	hmotnost zkušebních těles před experimentem	[g]
m_E	hmotnost zkušebních těles po ukončení ataku mikroorganismy	[g]
d_m	průměrná hodnota změny hmotnosti	[g]
\bar{x}	aritmetický průměr z měřených hodnot	
x	měřené hodnoty	
n	počet měření	
s	směrodatná odchylka	
v	variační součinitel	
T	teplota	[°C]

1 Zaměření disertační práce

V rámci své praxe projektanta se setkávám s rekonstrukcemi historicky cenných objektů, které jsou často ve špatném technickém stavu. Jako projektant pak řeším návrh sanačních opatření, které budou šetrné k těmto památkově chráněným objektům z pohledu záchrany architektonického dědictví, budou v souladu s požadavky pracovníků Národního památkového ústavu a zároveň budou splňovat požadavky na ekonomické technické řešení, které zajistí stavebníkovi požadovanou kvalitu a užitnou hodnotu stavby.

Mezi projektanty jsou zavedena obecně známá pravidla, podle kterých se postupuje při rekonstrukcích objektů, které jsou napadeny působením biologických dřevokazných škůdců (např. dřevokazných hub, sinic, plísní, řas či dřevokazného hmyzu). Vzhledem k mému dlouhodobému zájmu o danou problematiku jsem si téma své disertační práce zvolila právě v tomto oboru.

Problematika biokoroze staveb dřevěných stavebních konstrukcí nabízí velmi široký záběr, svoji práci jsem proto zaměřila pouze na působení jedné dřevokazné houby, a to dřevomorky domácí. Pokud započne její působení, jedná se o houbu, která má nejrychlejší a nejničivější účinky na dřevo zabudované ve stavebních objektech a působí i na nedřevěné materiály v jeho okolí. Jak samotný název disertační práce napovídá, v rámci experimentální činnosti jsem se zaměřila na vliv působení dřevomorky domácí na stavební materiál nedřevěného charakteru. Pro experimenty spojené s účinky dřevomorky domácí jsem zvolila omítky a malty (popř. jiné chemicky čisté materiály), se kterými jsou napadené dřevěné prvky často ve styku, a které jsou typické pro české stavby.

Jedním z impulsů pro výběr řešeného tématu byla také studie [1] vědecké skupiny G. A. Low, M. E. Young, P. Martin a J. W. Palfreyman na téma Zhodnocení vztahu mezi dřevomorkou domácí (*Serpula lacrymans*) a vybranými formami zdiva („*Assessing the relationship between the dry rot fungus *Serpula lacrymans* and selected forms of masonry*“), která se zaměřuje na stavební materiály (pískovce) specifické pro skotské stavby. Na

základě výsledků této zprávy jsem svoji práci zaměřila na posouzení vzniku štavelanu vápenatého vlivem působení dřevomorky domácí v kontaktu s materiálem obsahujícím vápník, nejčastěji uhličitan vápenatý.

2 Cíle disertační práce

Disertační práce si klade za cíl přispět k odborné diskuzi o vazbě dřevomorky domácí a dvojmocného kationtu vápníku Ca^{2+} , který dřevomorka domácí pravděpodobně čerpá z nedřevěných stavebních konstrukcí v blízkosti napadených dřevěných prvků. Tento kationt patrně dřevomorka domácí využívá k neutralizaci kyseliny štavelové, kterou houba produkuje při svých metabolických procesech. Produktem tohoto procesu je štavelan vápenatý, který je ukládán ve formě krystalů na hyfách dřevomorky domácí.

Díličními cíli této práce jsou následující body:

- Souhrnně a srozumitelně zpracovat odborné poznatky o dřevomorce domácí¹ (morfologie houby, způsob šíření, životní podmínky atd.), které by bylo možné využít jako studijní materiál v některém z předmětů K124, včetně sepsání aktuálního stavu řešené problematiky.
- Aktualizovat stavební praxi jak po stránce teoretické, tak praktické (aplikace sanačních postupů při napadení konstrukcí dřevokaznými houbami).
- Zaměřit se na hodnocení maltových vzorků odebraných z reálných staveb: ověřit možnosti hodnocení zkušebnímu materiálu, vyloučit (popřípadě zhodnotit) podmínky pro použití těchto vzorků pro další analýzy.
- Dle zjištění vycházejících z předchozího bodu pokračovat v nastaveném modelu laboratorních analýz, popřípadě upravit vstupní zkušební materiál.

¹ Důvodem ke zpracování této části je snaha o pochopení mechanismu fungování tohoto velmi inteligentního organismu a získání alespoň částečného přehledu, který je důležitý pro další kroky experimentálního výzkumu. Řešené téma významně zasahuje do oboru biologie, biochemie a chemie.

- Výroba zkušebních maltových tělísek v laboratorních podmínkách
- provedení předepsaných zkoušek dle platných ČSN.
- Materiálové zkoušky maltových vzorků dle platných ČSN.
- Výběr, provedení, vyhodnocení a ověření provedené analýzy pro stanovení změny obsahu Ca^{2+} popř. šťavelanu vápenatého CaC_2O_4 .
- Zpracování získaných dat s hodnocením dílčích a celkových výsledků.
- Vyhodnocení získaných dat se stanovením zjištěných závěrů a návrhem pokračování dalšího výzkumu.

3 Úvod do problematiky dřevokazných hub

Vnitřní dřevokazné houby způsobují v objektech významné škody, které vedou k mnohamilionovým investicím při jejich nápravě. Z ekonomického hlediska se považují za nejdůležitější dřevo rozkládající houby, protože napadají dřevo, které prošlo procesem průmyslového zpracování. Tedy skácení stromu – skladování – pilařské zpracování na truhlářské a stavební řezivo a následné osazení dřevěných prvků do stavebních objektů. V Evropě je na stavební prvky používané především jehličnaté dřevo, které nejvýznamněji poškozují houby hnědé hniloby. Mezi nejčastěji vyskytující se basidiomycety v budovách v Evropě patří *Serpula*² *lacrymans* a *Coniophora*³ spp. (dříve *C. puteana* (Schumach.:Fr.) P. Karst), jak uvádí ve své práci J. Gabriel & K. Švec [2]. Výsledky jejich studie jsou shrnuty v tabulce 1 této zprávy. Třetí místo v četnosti výskytu dřevokazných hub v Evropě obsadila skupina *Poria* (pravděpodobně hlavně *Antrodia*⁴ *vaillantii*) [3].

² Česky Dřevomorka domáci.

³ Česky Popraška sklepní - saprofyt na dřevu ve vlhkých obydlích a sklepích; dřevo postupně hnědne a rozpadá se kostkovitě na drobnou, tmavohnědou hmotu [33].

⁴ Česky Poražka Vaillantova - saprofyt na dřevu v lesích i v obydlích; dřevo hnědne a postupně tmavne, rozpadá se kostkovitě [33].

Tabulka 1: Četnost výskytu vnitřních basidiomycetů v Evropě podle [2]

Druh	¹ Pol	² SRN	³ NDR	³ NDR	⁴ Bel	⁵ Nor	⁶ Lit	⁵ Dán	⁵ Fin	⁷ Est	⁸ Ru m
<i>Serpula lacrymans</i>	54	27	2	22	60	16	47	20	45	79	32
<i>Coniophora puteana</i>	22	17	18	17	10	16	6	34	12	7	60
<i>Antrodia vaillantii</i>	2	10	-	-	1	18*	13*	0,1*	12*	-	212
<i>Antrodia sinuosa</i>	9	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Gloeophyllum sp.</i>	2	6	1	-	1	3	3	5	2	-	11
<i>Donkioporia expansa</i>	-	10	-	-	10	10	-	-	-	-	21
<i>Poria placenta</i>	-	-	6	13	-	-	-	-	-	-	-
Celkový počet výskytů	3050	748	1005	498	749	3434	338	8293	1237	633	n/a
Celkový počet druhů	29	31	11	11	26	35	60	n/a	n/a	n/a	75
Data od roku	1950	2000	1966	1980	1985	2001	1996	1946	1978	2002	1979
Data do roku	1960	2006	1980	1984	1991	2003	2007	1983	1988	2008	2009
Metoda identifikace	m	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	m	n/a	n/a	m	m
Poznámky:											
* Údaje pro <i>Antrodia sp.</i>											
** m – morfologie											
Zdroje: ¹ Pol – Polsko, Wazny a Czajnik (1963); ² SRN – Spolková republika Německo (bývalé „Západní Německo“), Schmidt (2007); ³ NDR – Německá demokratická republika (bývalé „Východní Německo“, Schultze-Dewitz (1985); ⁴ Bel – Belgie, Guillitte (1992); ⁵ Nor, ⁵ Dán, ⁵ Fin – Norsko, Dánsko, Finsko Alfredsen a kol. (2005); ⁶ Lit – Litva, Irbe a Andersone (2008); ⁷ Est – Estonsko, Pilt a kol. (2009); ⁸ Rum – Rumunsko, Bucşa a Bucşa (2009)											

Identifikaci hub lze provádět na základě odebrané plodnice nebo povrchového či substrátového mycelia. Makromorfologie zohledňuje zejména tvar a barvu plodnice. Mikroskopicky se posuzují spóry houby - tvar a povrchová struktura výtrusu, dále také tloušťka buněčné stěny hyfy, typ větvení atd. Pro posouzení je dále vhodné zaznamenat vlastnosti poškozeného prvku, na kterém byla dřevokazná houba nalezena. Jedná se o zbarvení prvku a způsob rozpadu substrátu, který dřevokazná houba kolonizuje. Konkrétně *Serpula lacrymans* z počátku způsobuje světle hnědé zbarvení dřeva, které následně tmavne a kostkovitě se rozpadá v tmavohnědou hmotu. Identifikační klíče zmíněné v této práci jsou souhrnné studie K. M. Noblesové [4] a T. Huckfedta & O. Schmidta [5].

Klasické metody určování druhů dřevokazných hub, ve kterých hraje roli subjektivní úsudek člověka, byly od osmdesátých let doplněny

molekulárními metodami identifikace, které vycházejí z objektivní informace (molekul) odvozené od cílového organismu [6]. Současné molekulární metody jsou stále více používány k identifikaci organismů a pro taxonomický výzkum. Tyto metody zahrnují PCR SSPP metodu ke zjištění sekvence oligonukleotidů v DNA houby, dále např. rDNA ITS⁵ analýzu sekvenční oblasti, o které se zmiňuje O. Schmidt jako v současné době o nejlepší molekulární metodě [3].

3.1 Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Karst)

Jedná se o nejrozšířenější dřevokaznou houbu, která se nejčastěji vyskytuje na zpracovaném a vestavěném dřevě v budovách v Evropě. Patří mezi houby hnědé hniloby (*brown rot*), saprofity, které svou činností způsobují v mnoha zemích na celém světě značné finanční ztráty v řádech milionů dolarů ročně [7]. *Serpula lacrymans* se považuje za nejničivější a nejméně kontrolovatelnou vnitřní dřevokaznou houbu zejména díky své schopnosti přepravovat myceliálními šňůrami potřebnou vodu a živiny z místa zdroje do místa působení i na dlouhé vzdálenosti (řádově v metrech).

Původ a místo, odkud se *Serpula lacrymans* rozšířila do světa, nebylo po dlouhou dobu známo. Až poté, co White et al [8] [9] získali kultury *Serpuly lacrymans* z pohoří Himálaje, potvrdili hypotézu, že původní divoká forma této houby pochází právě odtud. Pro tyto závěry použili analýzu ITS rDNA sekvencí.

Mimo stavební objekty se v Evropě tato houba vyskytuje jen velmi vzácně. V České republice zaznamenal její nález, na Šumavě a v jižních Čechách, RNDr. František Kotlaba, CSc., jak uvedl ve svých pracích [10] a [11]. Její výskyt ve volné přírodě je výjimečný oproti velmi hojnému a často nekontrolovatelnému růstu v zastavěném prostředí, kde nemá při vhodných podmínkách po zahájení svého působení účinných konkurentů [12]. Významným problémem je neznalost determinantů její destruktivnosti. Jaké konkrétní vlastnosti způsobují, že je tato houba ničivější než její blízcí

⁵ Biochemická metoda zjišťující pořadí nukleových bází (A, C, G, T) v sekvencích DNA, ty jsou součástí dědičné informace v jádru (zdroj: www.wikipedia.cz).

příbuzní a další dřevokazné houby nacházející se v lesích, není známo. Mezi vlastnosti přispívající této houbě k prvenství mezi kolonizátory zastavěného prostředí, je i její schopnost přežít a prosperovat v prostředí nesouvislé dodávky vlhkosti a živin. Tato adaptace dřevomorky domácí byla pravděpodobně zdokonalena během její evoluce z míst jejího původu, tj. z oblastí boreálních lesů [13], do stavebních objektů.

Dřevomorku domácí řadíme systematicky mezi houby stopkovýtrusné (odd. Basidiomycota), třídy Agaricomycetes, řádu Boletales.

3.1.1 Morfologie dřevomorky domácí

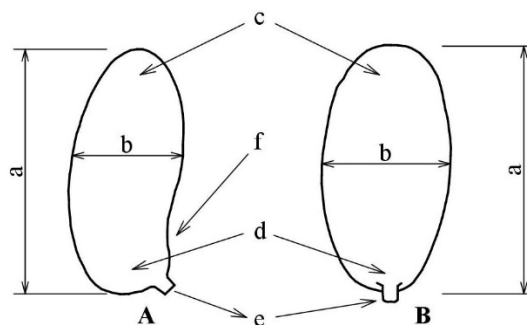
V této kapitole bude popsána vnější stavba dřevomorky domácí.

3.1.1.1 Výtrusy/spóry (basidiospóry)

Níže uvedené znaky výtrusů jsou velmi významné pro určování hub.

Pohlavně vzniklé výtrusy – tzv. bazidiospóry – dřevomorky domácí jsou velikosti 9-13 x 5-8 μm , elipsoidní (často lehce ve tvaru fazole), s malým, špičatým rozšířením na konci (viz obr. 1) a částečně s až pěti nitrobuňčnými olejovými kapičkami [6]. Výtrusy jsou hladké, tlustostěnné, žlutohnědé až zlatavé a obsahují granulózu [14].

- A: boční pohled
- B: čelní pohled
- a: délka
- b: šířka (v čelním a bočním pohledu je tato hodnota u některých hub rozdílná)
- c: vrchol výtrusu
- d: spodek výtrusu (báze)
- e: hilární appendix (často nesprávně zvaný apikulus)



Obr. 1 podle [15]: Základní parametry výtrusu

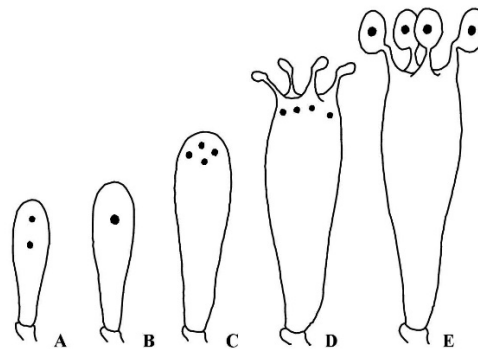
Výtrusy vznikají na bazidiích, které pokrývají plodnici dřevomorky domácí. Nejprve vzniknou 4 haploidní jádra, která putují skrz postupně se vytvářející výrůstky - tzv. sterigmata/stopečky (*odtud český výraz stopkovýtrusné houby*), na vrcholu nebo po stranách bazidie (viz obr. 2). Na

konci sterigmat se vytváří zvětšující se „balónky“, kde výtrusy postupně dozrávají [15].

Do okolí plodnice se výtrusy šíří rozprašováním (v počtu bilionů). Falck [16] uvedl na 10⁻² m plodnice až 3x10⁹ spór za hodinu. Na povrchu plodnice a v jejím okolí pak může vzniknout souvislá vrstva spór připomínající kakaový prášek. Vzdušnými proudy jsou pak velmi lehké spóry přenášeny i na velké vzdálenosti. Výtrusný prach má rezavohnědé zbarvení. Pro dobrou klíčivost spór dřevomorky je potřebné kyselé prostředí, které vytváří na atakovaném dřevě např. *Coniophora puteana*, známá jako popraška nebo též jako koniofora sklepní, častá předchůdkyně dřevomorky domácí. Výtrusy dřevomorky si udrží klíčivost i několik let [17].

Hagerty a spol. [18] popsali pro bazidiospóry smrtící teplotu 60 °C pokud působí 32 hodin nebo 100 °C po 1 hodině působení. Spóry jsou často tepelně odolnější než odpovídající mycelium [6].

- A: mladá bazidie jako dvoujaderná buňka na vrcholu hyfy
- B: splynutí dvou jader (karyogamie)
- C: čtyři jádra vzniklá redukčním dělením - meiozou
- D: tvorba stopeček (sterigmat) a zárodků výtrusů (bazidiospór)
- E: téměř zralé výtrusy na stopečkách



Obr. 2 podle [15]: Vývoj bazidie

3.1.1.2 Hyfy, mycelium

Hyfy (neboli houbová vlákna) jsou základním stavebním kamenem houby a její plodnice, jsou uspořádány do houbového pletiva, tzv. nepravého pletiva - plektenchymu. Tato síť, která vzájemně propojuje buňky, umožňuje transport živin a metabolitů na velké vzdálenosti. Hyfy se skládají z protáhlých buněk, které jsou oddělené přehrádkami. Buňky v plodnicích jsou dikaryotické, což znamená, že obsahují dvě jádra [15].

Hyfy generativního mycelia dřevomorky domácí jsou tloušťky 1-3 μm a obsahují přezky (tato skutečnost může napomáhat při identifikaci). Tyto hyfy tvoří měkkí část plodnice a v roušku z nich vyrůstají bazidie. Součástí vláken jsou dále skeletové hyfy, které jsou dlouhé, téměř nevětvené, tlustostěnné, špičaté, s částečně ohebným vrcholem, jsou zeleně zbarvené, bez přivrátok a v průměru mají 2,5-6,5 μm [14]. Dále je možné v myceliu nalézt jádrové hyfy o velikosti 40-60 μm s prstencovými hřbety, které slouží pro transport vody [14].

Na počátku se v podmínkách dostatečné vlhkosti a stálého vzduchu vyvíjí bílé, vatovité, tlusté vzdušné mycelium, které se rychle rozptýlí ve formě typických pramenů. Vlivem okolních podmínek jako je světlo, zvýšená teplota popř. akumulace toxických látek, může dojít ke zbarvení mycelia do žluté až vínově červené (i fialové) barvy [6]. Starší mycelium, šedé až stříbřité barvy, je lehce odstranitelné ze substrátu. Může dosáhnout tloušťky tužky a délky až 2-4 m. Pokud je mycelium vyschlé lze jej zlomit se slyšitelným prasknutím. Přírůstek vláken vzdušného mycelia, platí pro dikaryotické i pro monokaryotické (tj. neschopné tvorby plodnice) mycelium, dosahuje 5mm za den při teplotě 20 °C [19].

Teplota pro růst mycelia se pohybuje v celkovém rozmezí od 0 °C až do 26-27 °C. Optimálně v rozsahu 17 až 23 °C. Tomu odpovídá preference sklepních a podzemních prostor pro rozvoj dřevomorky domácí. Růst stagnuje při teplotách 27-28 °C. Pro mycelium zaznamenal O. Schmidt [6] teplotu 55 °C jako smrtelnou po dobu působení 3 hodin. Jako smrtící je pro hyfy v tomtéž textu uvedeno zahřívání při teplotě 80 °C (pasterizace).

3.1.1.3 Plodnice (fruktifikační část houby)

Plodnice nabízí nejširší množství znaků pro určování druhu hub, a proto bývají přednostně odebírány a následně posuzovány.

Plodnice dřevomorky domácí je převážně resupinátní, tj. rozlitá, okem zřetelná, hnědá, tloušťky až 12 mm, průměru 5-50 cm. Více plodnic může tvořit i souvislé, nepravidelné až několik metrů dlouhé povlaky. Pro zajímavost Olaf Schmidt ve své knize [6] uvádí velikost plodnice až 2 m. U

vertikálních ploch vytváří dřevomorka plodnice s náznaky římsovitých klobouků a konzol [15].

Růst je zahájen bílou, někdy nafialovělou, vatovitou plstí, která poté tvoří vypouklý ostře vymezený okraj plodnice. Střední (plodná) část je měkce houbovitá zbarvená od výtrusů od hořčicově žlutého až do tmavě rezavohnědého odstínu. Plodnice bývá celou plochou přitisknutá k podkladu, výjimečně jsou okraje plodnice zvednuté. Čerstvá plodnice má příjemnou vůni houby. Po vytvoření výtrusů se pak plodnice rozkládá a zapáchá po čpavku. Stará, suchá plodnice mění svojí barvu na černohnědou.

Pro tvorbu plodnic může být optimální teplota nižší než pro růst mycelia. Rozvíjí se po celý rok s nárůstem v pozdním létě až do zimy [19]. Optimální teplota pro růst plodnic je 20 °C. Při teplotách 26-27 °C její růst zpomaluje a v rozmezí 27-28 °C zcela stagnuje. Teplotní rozsahy uváděné v literatuře se mohou lišit z důvodu původu dřevomorky domácí (kmen) a dále zda se jedná o mycelium monokaryotické nebo dikaryotické [6].

Inicializace a vývoj plodnic ovlivňují vnější faktory prostředí. Patří mezi ně zejména vlhkost, pH substrátu a teplota, dále světlo, výživa, složení vzduchu, interakce s dalšími organismy atd. [6].

3.1.2 Rozmnožování a šíření dřevomorky domácí

Dřevomorka domácí se šíří vzdušnými spórami, kterými překonává dlouhé vzdálenosti a kolonizaci nových substrátů zahajuje myceliálním růstem. Rozptýlení spór nasvědčuje vazebné rovnováze mezi populacemi [20], které jsou v současné době analyzovány metodami populační genetiky.

Spóry jsou produkovány ve značném množství do okolí plodnice popřípadě se větrnými proudy šíří dále do okolí. Výtrusy jsou odolné suchu a životaschopnost si udrží i několik let (podle [6] až na 20 let). Příhoda [21] uvádí, že rok staré výtrusy uchované v suchu jsou schopny vyklíčit všechny, po třech letech jich klíčí 35 % a po šesti letech 8 %. Pokud se spóry uchytí na substrátu a naskytnou se jim vhodné teplotní a vlhkostní podmínky, vyklíčí do hyf a vytvářejí nové mycelium a následně i plodnice.

Dřevomorka domácí vytváří silné myceliální provazce (rhizomorfy), kterými se šíří budovou k novým zdrojům dřevěného substrátu. Překážkou v jejím postupu k nové potravinové základně nejsou cihelné zdi, omítky, betonové konstrukce ani jiné materiály nedřevěného charakteru, které poroste vrstvou mycelia nebo je schopna projít skrze tyto konstrukce (pórovitost, praskliny, technické kanály apod.). Díky této své schopnosti je pro napadené objekty extrémně zhoubná. O. Schmidt ve své práci [6] poznamenává, podle [22] a [23], že počáteční kolonizace, jako je například růst skrze zdivo, nastává nejmladší hyfou vegetativního, vzdušného mycelia nikoli rhizomorfami.

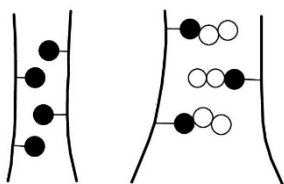
Jestliže je mycelium dostatečně silné a rozvinuté, začne dřevomorka domácí produkovat plodnice za účelem reprodukce. Plodnice vytváří na vnitřních i obvodových stěnách, na dřevěných prvcích, zděných, betonových konstrukcích, ale i na materiálech jako jsou plasty, textilie apod. Důležitým faktorem fruktifikace dřevomorky domácí, z pohledu šíření sporů, je světlo [14]. Klimatické podmínky zahrnují specifické nutriční vlastnosti, teploty od 3-26 °C, optimální počáteční teplotu 25 °C, vhodnou aeraci, obsah vlhkosti 5-55 % [7].

3.1.3 Životní podmínky

Vlivy abiotických faktorů růstového prostředí dřevomorky jsou podrobně popsány v pracích např. D. H. Jennings & A. F. Bravery [19] a O. Schmidt [6]. Souhrnně lze uvést následující požadavky dřevomorky domácí na prostředí v objektech: optimální teplota v rozsahu 21-25 °C, hodnota pH v rozmezí kyselé až neutrální (0 až 7, optimálně v rozsahu 4-5), omezený pohyb vzduchu, vodní potenciál nejméně -6 MPa, obsah vlhkosti ve dřevu okolo 20 % a také je dle [7] zapotřebí zdroj dvojmocného iontu jako je vápník.

Nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje vznik a působení hnilob dřevokazných hub je výše uvedená vlhkost. Dřevomorka domácí potřebuje ke svému vývoji relativně nízkou vlhkost, oproti jiným dřevokazným houbám. Pro většinu hub je nutná minimální vlhkost dřeva v rozmezí 30-40 %. Pro klíčení dřevomorky domácí je dostačující vlhkost pouze 20 %, někdy je též

uváděno pouhých 18 %. Je to jedním z důvodů, proč patří mezi nejvýznamnější škůdce dřeva i v poměrně suchých stavebních objektech. Vyvinutá dřevomorka domácí se uchová při životě (přežívá v latentním stádiu) po dlouhý čas i v suchém prostředí [17].



**Obr. 3 podle [24]:
Schéma vody
uložené v buněčné
stěně**

Legenda:

Černé kolečko -
molekula vody
vázaná s řetězcem
celulózy vodíkovým
můstkem
Bílé kolečko -
další molekula
vázané vody

Vlhkost dřeva dělíme na vázanou (hygroskopickou), volnou (kapilární) a chemicky vázanou. Poslední jmenovaná je součástí chemických sloučenin obsažených ve dřevu, nikterak neovlivňuje jeho fyzikální a mechanické vlastnosti a zjišťuje se chemickými analýzami dřeva. Hygroskopická vlhkost je vázaná uvnitř buněčné stěny dřeva v důsledku vodíkové vazby hydroxylových skupin OH amorfní části celulózy a hemicelulózy [25].

Voda volná vyplňuje v kapalném skupenství lumény buněk a mezibuněčné prostory v dřevěné tkáni. Pro dřevokazné houby je kritický bod nasycení vláken buněčných stěn v rozmezí vlhkosti 23-36 % [26], s uváděnou střední hodnotou vlhkosti 30 % [3]. Klasický názor spočívá v předpokladu, že pod bodem nasycení⁶ vláken neexistuje žádná nebo jen minimální houbová aktivita. Pro houby je dostupná pouze ta část vody, která není vázána rozpuštěnými látkami, jako jsou soli a cukry.

Souhrnně lze uvést, že pro růst a rozpad dřeva dřevomorkou domácí je minimální hodnota vodní aktivity⁷ $a_w = 0,97$. Vodní potenciál⁸ pro růst mycelia stopkovýtusných hub je přibližně -4 MPa. Clarke a kol. [27] uvedli, že dřevomorka domácí neporoste na agaru pod hodnotou vodního potenciálu -6 MPa.

⁶ Bod nasycení vláken odpovídá hodnotám $a_w = 0,9993$; -0,01MPa a poloměr pórů 1,5 μm [3].

⁷ Vyjadřuje obsah volné vody, kterou mohou využívat mikroorganismy, rozsah $a_w = [0,1]$ [117].

⁸ Vyjadřuje o kolik je aktivita vody v buňce nižší než aktivita čisté vody. Hodnota vodního potenciálu v buňce je záporná, protože aktivita čisté vody je nulová [101].

Dirol a Vergnaud ve své práci [28] uvádějí 45 % vlhkost dřeva uloženého v budovách v průběhu zimy z důvodu kondenzace vody. Tyto podmínky jsou pro rozklad dřeva dřevokaznými houbami více než vhodné. V jiné vědecké práci [29] byly vzorky dřeva uloženy nad nasyceným roztokem K_2SO_4 a hodnoty odpovídaly 97 % relativní vlhkosti vzduchu a 26,5 % vlhkosti dřeva. Po třech měsících inkubace dřevomorkou domácí vykazovaly dřevěné vzorky 4,5 % ztrátu hmotnosti. Shodné vzorky vystavené 23-24 % vlhkosti byly pouze porostlé dřevomorkou domácí bez hmotnostního úbytku [3], který čerpal z [29]. Toto odpovídá zprávě J. W. Palfreymana [12], který uvádí, že nedošlo ke ztrátě hmotnosti dřevěného vzorku, pokud úroveň relativní vlhkosti vzduchu klesla pod 86 %. Životaschopnost houby je ohrožena až pod úrovní relativní vlhkosti vzduchu 76 %. Pod touto hodnotou dochází ke znatelnému vysušení a vyblednutí dřevomorky domácí.

Tabulka 2 uvádí rozsahy obsahů vlhkosti s ohledem na kolonizaci a rozpad dřeva u nejčastěji se vyskytujících dřevokazných hub u nás. Uvedená fakta poukazují na důležitost vlivu vlhkosti z pohledu ochrany dřeva zabudovaného ve stavebních objektech.

Tabulka 2: Základní parametry vybraných dřevokazných hub z hlediska obsahu vlhkosti (w_s, %) s ohledem na kolonizaci a rozpad dřeva [3]				
Druh	Minimum pro kolonizaci	Minimum pro rozklad	Optimum pro rozklad	Maximum pro rozklad
<i>Serpula lacrymans</i>	21	26	45 - 140	240
<i>Coniophora puteana</i>	18	22	36 - 210	262
<i>Antrodia vaillantii</i>	22	29	52 - 150	209

Faktor, který dále významně ovlivňuje růst houby a následný rozpad dřevěných prvků, je proudění vzduchu. Jedná se o stimul, který přispívá k zastavení šíření infekce v objektu.

Optimální požadavky na teplotu prostředí jsou pro dřevomorku domácí uváděny v rozmezí 18-22 °C. Tato houba je schopná růst i okolo -2 °C a přežívá dokonce i nižší teploty [14]. Opět se jedná o nejnižší hodnoty v porovnání s ostatními dřevopoškozujícími houbami. Růst dřevomorky

domácí je zastaven při 28 °C a dle Bech-Andersena [14] odumírá během svého aktivního růstu po 15 minutách při teplotě 35 °C. Schmidt [3] podle [30] uvádí letální hodnoty teploty nad 50 °C, viz tabulka 3. V tomto souhrnu jsou uvedeny pouze vybrané dřevokazné houby a vliv teploty na jejich myceliální růst. Odolnost hub na teploty ovlivňuje mimo jiné i druh izolátu dřevokazné houby (*Serpula lacrymans* má proti své divoké formě *Serpula himantioides* nižší letální hodnoty) a typ mycelia, které je posuzováno (mono- nebo dikaryotické).

Tabulka 3: Vliv teploty na růst mycelia a přežití vybraných dřevokazných hub, podle [30]					
Druh	Optimální teplota pro růst na agaru	Maximální teplota pro růst na agaru	Letální teplota na agaru po 2 týdnech	Letální teplota na agaru po hodinách	Letální teplota ve dřevě po 4 hodinách
<i>Serpula lacrymans</i>	20	26 – 27	30	55 (3 h)	50 – 70
<i>Serpula himantioides</i>	25 - 27,5	32,5	>35		65
<i>Coniophora puteana</i>	22,5 - 25	27,5 až ≥37,5	32,5 až ≥37,5	60 (3 h)	70 – 75
<i>Antrodia vaillantii</i>	27,5 - 31	37 - 40	37 - 40	65 (24 h)	>80

Také pH materiálu ovlivňuje vstupní podmínky pro růst dřevokazných hub. Pro dřevomorku domácích je optimální rozmezí pH mezi 4-5. Na zdravém dřevě klíčí výtrusy dřevomorky špatně. Pravděpodobně není zdravé dřevo dost kyselé. Proto se dřevomorka objevuje a začíná svůj růst převážně v částečně rozloženém dřevě (dřevě, které dříve kolonizovaly jiné dřevokazné houby). Častou předchůdkyní dřevomorky je koniofora sklepní (*Coniophora puteana* (Fr.) Karst.), která svým působením dřevo vlhčí, snadno přijímá vlhkost ze vzduchu, lépe se prohřívá a má vždy kyselou reakci (snižuje pH substrátu). Takové dřevo obsahuje živiny, které jsou dřevomorce lépe přístupné, než je tomu u dřeva zcela zdravého. Mycelium dřevomorky domácích však může alkalické materiály (do pH 10) přerůst a vylučováním kapaliny na špičkách hyf (pH 3-4) pak významně snižovat zásaditost substrátu [6].

3.1.4 Živiny

Hlavním zdrojem živin je dřevo. Snadno atakovatelné je zejména masivní dřevo smrkové, borovicové a bukové, v menší míře pak dřevo dubové [14]. Dále může být vystavena účinkům této houby i řada uměle vytvořených aglomerovaných materiálů na bázi dřeva (dřevotřískové desky (např. DTD, OSB desky), vláknité desky (např. MDF, HDF desky), sádkartonové desky, lepenky atd.). Dřevomorka domácí dokáže také velmi efektivně kolonizovat i nedřevěné stavební materiály (cihla, beton, omítka, kámen, izolační materiál), ze kterých extrahuje kovové ionty.

Mezi vlastnosti organismu, které dřevomorku domácí řadí na přední příčky seznamu nejčastěji vyskytujících se dřevokazných hub ve stavbách, patří vysoce účinný transportní systém, který přepravuje vodu, dusík, železo, vápník atd. prostřednictvím rhizomorf a účinného solubilizačního systému, který umožňuje extrakci kovových iontů z omítky a kamene [12].

Jak dřevomorka domácí ve svém okolí postupně kolonizuje zdroje dřeva, tak vznikají transportní cesty – myceliální šňůry, které je spojují do zásobovací sítě [31]. Skrze tyto provazce jsou aminokyseliny, sacharidy, minerální živiny a voda citlivě vedeny podle prostorového rozložení zdrojů a nutričních požadavků v celé kolonii. Typicky do okrajových částí mycelia, kde probíhá metabolismus [32]. „*Matematické modely myceliálních sítí ukázaly, že tyto sítě maximalizují propojitelnost a robustnost, což naznačuje, že houby byly zdokonaleny přirozeným výběrem jak pro využití nutričně heterogenních substrátů, tak pro odolnost proti napadení půdními živočichy, kteří se živí myceliem plísní [31]*“. Tato vědecká skupina dále teoreticky prokázala, že v uměle vytvořeném prostředí, bez vnějších ataků živočichů, mohla dřevomorka domácí přednostně investovat do konektivity a kapacity svého šíření množství silnějších hyf než příbuzné houby v přirozeném prostředí.

Minerální výživu dřevomorky domácí ovlivňuje také samotný substrát. Masivní dřevo je na popeloviny poměrně chudé a obsahuje přibližně jen 1 % popela. Požadavky hub na minerály jsou velmi malé a nebyl zjištěn vliv na jejich růst a činnost [33].

Naopak dusík je pro dřevomorku domácí velmi důležitý prvek. Podílí se na stavbě chitinové⁹ buněčné blány a je základem bílkovinné složky protoplastu¹⁰ houby. Hyfy ve svěžím stavu obsahují obvykle 3-5 % chitinu, tedy převážnou část sušiny houby. Nutno zmínit, že mycelium dřevomorky domácí obsahuje velké množství vody. Poměr je 90 % vody a 10 % sušiny. Ve dřevě je velmi malý obsah dusíku. A to v rozmezí 0,1-0,3 % [33]. Dřevomorka domácí musí pro svůj metabolismus během kolonizace dřevěného substrátu získat veškerý v něm obsažený dusík. Důležitým faktorem při růstu houby je jeho účinné využití a opakovaná „recyklace“. Dřevomorka domácí je fyziologicky uzpůsobena tak, aby si v době omezeného přístupu zachovala dusík, včetně využití autolýzy¹¹ mycelia, a v době navýšení příjmu, aby jej akumulovala [13]. Dřevomorka domácí aktivně vyhledává jiné mikroorganismy a nematody¹², pomocí nichž přidává do systému další dusík [34]. Nedostatek dusíku se u dřevomorky projevuje vývojem dlouhých provazců směrem od původního substrátu [35]. Naopak v průběhu experimentu s uměle navýšeným příjmem dusíku dochází ke zpomalení růstu dlouhých myceliálních provazců a v místě dotace dusíku vzniká biomasa dřevomorky domácí. Lokální růst je hustý.

Zdrojem uhlíku je pro dřevokazné houby soubor látek, které tvoří buněčné blány dřeva (celulózy aj.). Tyto látky jsou působením enzymatického aparátu dřevokazných hub rozkládány až na jednoduché cukry.

Dřevomorka domácí udržuje v celém svém organismu shodný poměr hodnot uhlíku:dusíku. Homeostázy C:N dosahuje skrze myceliální síť pomocí translokace prvků na dlouhé vzdálenosti v reakci na změny stavu v daném místě [35].

⁹ Chitin je dusík, který obsahuje polysacharid a lze ho považovat za obdobu celulózy. Jedna hydroxylová skupina celulózy je v něm nahrazena skupinou acetylamínovou - NH · CO · CH₃. Je velmi odolný vůči silným chemickým činidlům.

¹⁰ Je část buňky, kterou obaluje cytoplazmatická membrána [104], tj. semipermeabilní obal ohraničující vnitřek buňky od vnějšího prostředí a kontrolující pohyb látek do buňky a ven z buňky [103].

¹¹ Poškození a rozložení buněk a tkání jejich vlastními enzymy [105].

¹² Jsou kmenem mnohobuněčných protostomních organismů (hlístice), tvoří jednu z nejpočetnějších a nejrozšířenějších skupin živočichů [106].

Potřebnou energii získává tato houba také z respiračních procesů [33], jejichž odpadním produktem je oxid uhličitý CO₂ a voda. Dýchání musí probíhat pouze v prostředí, které obsahuje dostatek kyslíku. Pokud jsou buňky dřeva plně saturované vodou, pak se nedostatek kyslíku stává limitujícím faktorem a nemůže pak docházet k účinnému rozkladu substrátu [36]. Již v publikaci [33] je uvedeno, že dřevomorka domácí dokáže růst v prostředí s nižší koncentrací kyslíku, než jaká je v normálním vzduchu. Ale také zde autor zmiňuje, že po dvou dnech v kultuře při úplném nedostatku kyslíku dřevomorka domácí odumírá.

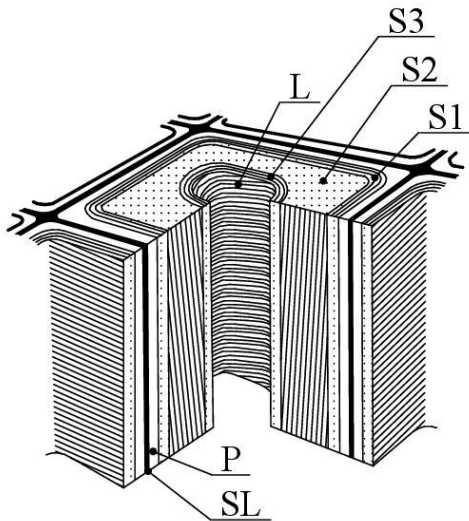
3.1.5 Postup rozkladu dřeva dřevomorkou domácí

Dřevomorka domácí spadá do skupiny celulózovorných hub a způsobuje tzv. hnědou hnilobu (brown rot). To znamená, že svým působením rozkládá celulózu a hemicelulózy buněčné stěny dřeva. Svou enzymatickou činností velmi omezeně rozkládá i lignin, který však zůstává téměř nezměněn [37]. Modifikovaný zbývající lignin dává rozpadajícímu se dřevu jeho charakteristickou hnědou barvu a konzistenci. Oblast zabývající se schopností rozkladu ligninu houbami hnědé hniloby je prozatím velmi málo probádaná [34].

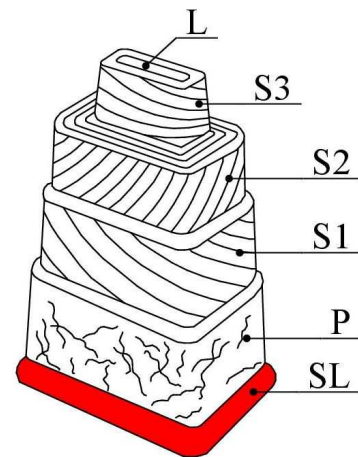
Přehledně lze chemické složení hmoty dřeva (tj. zdřevnatělých buněčných stěn) sepsat podle [33] a [38] takto: 1. celulóza (polysacharid, sumární vzorec C_n(H₂O)_{n-1}, hlavní materiál buněčné stěny, cca 43-52 % hmotnosti dřeva [24], základní role při vázání vlhkosti dřevem); 2. hemicelulóza (polysacharid, váže se na celulózu a s ní vytváří prostorovou síťovinu, cca 20-35 % obsahu dřeva [24], při dřevnatění chemicky váže lignin); 3. lignin (pojivo mezi jednotlivými buňkami, hydrofobní, způsobuje dřevnatění, 20-30 % z hmotnosti dřeva [24]); 4. pektiny (polysacharidy, převážně se vyskytují ve formě pektátu vápenatého, 1-4 % z hmotnosti dřeva [34]); 5. ostatní látky vždy v malém množství (jako pryskyřice, třísloviny, tuky, bílkoviny, minerální látky a další) tvoří cca 2-10 % z hmotnosti dřeva [24].

Vlastní buněčná stěna se skládá z tenké primární stěny, ke které je po počátečním vytvoření buňky přidána mnohem silnější sekundární stěna. Ta

se sestává ze tří vrstev (ozn. S1, S2, S3, vnější, střední a vnitřní). Stěny přilehlých buněk jsou spolu propojeny střední lamelou, kterou tvoří lignin (cca 70 %), vápník a pektiny [34], viz obr. 4 a 5.



Obr. 4 podle [39]: Struktura lignifikované buňky



Obr. 5 podle [34]: Model buněčné stěny (pět vrstev)

Legenda:

SL - střední lamela (tzv. „lepící vrstva“), P - primární stěna, L - lumen, S1+S2+S3 - vnější-střední-vnitřní vrstva sekundární stěny

Postup koroze dřeva způsobený dřevomorkou je z povrchu dovnitř konstrukčního prvku [40]. Dřevo z počátku měkne, je vlhké, barví se do okrova, je velmi křehké a má hladký lom. V tomto okamžiku se dřevo stává zdrojem nákazy. Ve vlhkém prostředí se toto dřevo po několika dnech pokryje bílými hyfami. Následuje fáze, kdy dřevo rychle tmavne do hněda a v poslední fázi začíná významně praskat podélnými i příčnými trhlinami v kostkovitá políčka [21]. Tato charakteristická struktura dekompozice s následným rozdrolením na prášek je způsobena preferenčním rozkladem sacharidů dřevomorkou domácí [34]. V prasklinách je viditelné mycelium houby.

Dřevomorka domácí kolonizuje dřevo pomocí paprsků mikrohyf, kterými se rozšiřuje podélně v dřevní tkáni skrze jamky. Roste uvnitř buněčného lumenu v kontaktu s vnitřní vrstvou S3 sekundární stěny. Tato terciální vrstva a střední lamely dřevní buňky, které jsou bohaté na obsah

ligninu, rozpadu odolávají [34]. Avšak pomocí nízkomolekulárních činidel a/nebo celulólytických enzymů prostupují do střední vrstvy S2 sekundární stěny [6]. Hnědá hniloba je charakteristická rychlou degradací této vrstvy, kde zcela rozloží sacharidy.

Volně zabudované dřevěné prvky, které mají možnost vysychat (např. působením prouděním vzduchu v objektu) zůstávají většinou na povrchu „vizuálně“ zdravé a podléhají rozkladu později, než prvky zabudované ve stavbách bez možnosti přirozeného vysychání. Oproti tomu konstrukční prvky v kontaktu se zeminou, zdivem apod. jsou většinou i značně rozložené a popraskané. Tento jev lze sledovat zejména u podlah, kde svrchní část prken je často bez znatelných projevů dřevokazné houby. Lze však pozorovat částečnou vypouklost prken, rozšíření spár mezi nimi, hluboko ponořené hřebíky a houpání prken při chůzi. Tyto projevy naznačují poškození prken ze spodní části, viz obr. 6. Rozklad dřeva touto houbou probíhá velmi rychle. Dřevomorka se rychle rozrůstá pomocí svých rhizomorf skrz zdivo, řídký beton, pod omítkami, podél vodovodního potrubí a rychle se šíří po dřevěných konstrukcích domu, které ničí. Pro šíření podhoubí je rozhodujícím zdrojem vlhkost. Mohou to být například poškozené odpady, stavební poruchy, zatékání, nevětrané místnosti apod. Vodu, potřebnou ke svému životu, si dokáže přivést pomocí rhizomorf ze vzdálenosti až několik metrů.



Obr. 6: Dřevomorka domácí pod prkny podlahy v 1. NP, objekt kláštera v Plasích (vlastní fotoarchiv)

3.1.6 Závěr

Dřevomorka domácí je brána jako významný dekompozitor, který svým působením nepříznivě ovlivňuje stavební konstrukce objektů, ve kterých se nalézá. Jedná se o velmi citlivý a vnímavý organismus z pohledu environmentální senzitivity. Tuto citlivost je možné chápat z pohledu jejího omezeného zeměpisného výskytu ve volné přírodě [7]. Naopak v obydlích, kam byla uměle rozšířena z místa svého původu, pak nemá přirozeného konkurenta a její činnost je v podstatě nekontrolovatelná a neomezená.

3.2 Stavební praxe

Dřevomorka domácí se považuje za nejméně kontrolovatelnou houbu v Evropě mj. díky své schopnosti přepravovat živiny, které potřebuje pro svoji existenci, na dlouhé vzdálenosti. Pro svůj růst je schopna například čerpat vodu kapilárním mechanismem z vlhkých substrátů a dopravit ji do místa své potřeby. Tato houba se u nás ve volné přírodě téměř nevyskytuje, respektive její přítomnost je ojedinělá, a proto se nejedná o nebezpečného kolonizátora lesního dřeva. Naproti tomu ve stavebních objektech v podstatě nemá po rozvoji růstu účinné konkurenty a její působení je často zcela devastující.

Jak ve svém textu zmiňují S. C. Watkinson & D. C. Eastwood [13] mají mykologové v této dřevokazné houbě velmi tvárný experimentální předmět, který jim při svém růstu v budově umožňuje sledovat realistické časové a prostorové měřítko často bez přítomnosti dalších dřevokazných hub (prostor přirovnávají k Petriho misce). Autoři dále poukazují na význam spolupráce mykologů se stavebními inženýry a projektanty. Ti se podle tvůrců studie častěji setkávají s ataky dřevomorky domácí v objektech a mají tak velké zkušenosti s jejími růstovými charakteristikami v reálném prostředí [13]. V rámci projektové činnosti zpracovávají odborné posudky, na jejichž základě jsou navržena sanační opatření a konkrétní přípravy k likvidaci ohnisek dle druhu dřevokazných škůdců. Tyto zprávy mohou být významným podkladem pro mykologický výzkum při využití nástrojů moderní biologie [13, 19].

Pro ideální růst houby je potřeba poměrně stabilní klima. Zejména vysoká vlhkost, bez které by organismus nepřežil, a ustálená relativně nízká teplota. Mezi podmínky přispívající k růstu a šíření dřevomorky domácí patří přítomnost dřevěného substrátu a zdroje dvojmocných iontů. Dalšími stimulačními účinky může být nízký pohyb vzduchu a stín [12, 7]. Vliv složení vnitřního a venkovního vzduchu na růst dřevomorky domácí byl doposud poměrně málo studován. Avšak již byly zjištěny dráhy detekce oxidu uhličitého, a jak je uvedeno v textech [13, 41], mohlo by to souviset se spuštěním invaze mycelia dřevomorky domácí.

Výše uvedené podmínky se často vyskytují v neudržovaných objektech, objektech rozsáhlých výměr, kde jsou z důvodů výrazné finanční i časové náročnosti zanedbané. Vhodné podmínky pro růst dřevokazných hub vznikají i ve špatně navržených nebo provedených stavebních dílech. Riziko vzniku a šíření napadení se vztahuje jak na stavby historické, rekonstruované objekty, tak i (a to v nemalé míře) na novostavby. Příčinami může být kromě zatékání vody (např. porušení obvodového pláště stavby, poškození vnitřních rozvodů, okapních svodů, střešního pláště apod.), také vztlínání vlhkosti, kondenzace vody (např. podél vodovodních potrubí a nelze v tomto případě opomenout ani kondenzaci vlhkosti v konstrukcích [40]), ale i špatné použití moderních stavebních materiálů jako jsou hydroizolační materiály, parotěsné izolace, plastová okna atd.

Slabými místy střechy mohou být kromě netěsností střešního pláště v ploše také klempířské prvky – lemování vikýřů, schodišťových věží, požárních stěn, úžlabí, zaatikové žlaby atd. Po proniknutí střešním pláštěm stéká voda dále do dřevěných prvků krovových konstrukcí, do zdiva a stropních konstrukcí níže v objektu. Zdrojem (depozitem) vlhkosti může být i skladovaný materiál na podlaze v půdních i sklepních prostorách (suť, papír, dřevěné palety, regály, skladované dřevo atd.), viz obr. 7.

Celkový návrh projekčních prací je zapotřebí provést citlivě s ohledem na stav konstrukcí, umístění a způsob využití objektu. Pokud je zdroj vody zcela odstraněn, přestane probíhat aktivní činnost dřevomorky domácí a

destrukce dřeva se zastaví [19]. Pro její eliminaci musí být následně provedeny další sanační kroky.



Obr. 7: Porost mycelia dřevomorky domácí na dřevěném obkladu sklepního prostoru a betonovém stropu, objekt č. 56, Plzeň (foto Archiv ATELIER SOUKUP OPL ŠVEHLA s. r. o., Plzeň)

Přesné určení dřevokazných hub by mělo být provedeno odborným pracovníkem na základě osobní prohlídky stavby nebo zaslaných odebraných vzorků poškozených dřevěných konstrukcí, plodnic nebo mycelií dřevokazné houby. Růst dřevomorky domácí v budově je často snadno identifikovatelný nebo lze dobře predikovat podle charakteristických znaků uvedených v kapitole 3.1.5. Dřevomorka domácí během napadení dřeva extrahuje pro sebe využitelné sacharidy bez ztráty energie pro rozklad pro ni nepoužitelného ligninu [13]. Během tohoto procesu je tedy odstraňována celulóza a hemicelulóza a lignin zůstává téměř netknutý. Toto vede ke smršťování a ztmavnutí dřeva, postupnému rozpadu prvků a v závěrečné fázi až k rozpadu dřeva na hnědý prášek – zbytkový lignin. Tento zjednodušeně popsaný postup se projevuje při napadení dřevomorkou domácí typickým kostkovitým rozpadem dřeva na relativně velké hranolky, později na menší kostky, plošky a prach.

Postup dřevomorky domácí je velmi rychlý a destruktivní. Dřevo ztrácí svoji pevnost a přilehlé cihelné zdivo, betonové nebo sádkartonové stěny apod. jsou porušeny pronikáním mycelia skrze tyto konstrukce. Bech-

Andersen [14] u cihelného zdiva uvádí kompletní penetraci mycelia skrze spáry při rozpadu malty z důvodu ztráty vápníku z tohoto materiálu. Autor zde dále popisuje šíření dřevomorky podél stěn cimbuří, kde dochází k uvolňování a pádu cihel, a souběžně dochází k rozšíření mycelia dřevomorky domácí na podlahové trámy a stropní průvlaky. Během několika měsíců až let, v závislosti na velikosti objektu, může dojít k rozšíření dřevomorky domácí od střechy až po sklep nebo naopak. Autor ve svém textu přirovnává působení dřevomorky domácí k ledovci – „jen malá část může být viditelná“ [14].

Vzhledem k ničivosti, rychlosti růstu a intenzitě, se kterou dřevomorka domácí dokáže atakovat stavební objekty (často i skrytě pod konstrukcemi) je důležité zaměřit se na to, jakým způsobem ovlivňují její růst materiály použité při stavbě. Z dřívějších i současných průzkumů vyplývá, že vybrané stavební materiály, např. jednovrstvá omítka nebo sádra, hojně používané mimo jiné v historicky významných objektech, jsou cenným zdrojem minerálů i dalších stopových prvků podporujících aktivní růst dřevomorky domácí. Závislost houby na zdivu lze chápat ze dvou úhlů pohledu. Některé práce se přiklání k teorii, že zdivo funguje spíše jen jako zásobárna vody (vlhkosti) a jiné práce poukazují na vliv chemických aspektů stavebního prostředí. Z chemického pohledu lze stavební materiály chápat především jako zásobárnu vápníku a železa, které by mohly ovlivnit růst dřevomorky domácí jako zdroj živin nebo jiným způsobem interakcí s houbovým metabolismem. Nesmíme opomenout, že zde existuje i možnost vlivu vnitřního a venkovního vzduchu [13].

Působení dřevomorky domácí může probíhat skrytě, tedy dlouhou dobu bez zjevných projevů jejího působení a k významnému poškození nosných prvků (např. k propadům stropní nebo střešní konstrukce, odpadnutí říms, nadpraží apod.) může dojít náhle a nečekaně. Tento způsob poškození se stal v objektu prelatury kláštera v Chotěšově a je zaznamenán na obr. 8.



Obr. 8: Dřevomorka domácí v krovu prelatury způsobila poškození nosných prvků krovu, stropu a zborcení okenního nadpraží, klášter Chotěšov (foto Archiv ATELIER SOUKUP OPL ŠVEHLA s. r. o., Plzeň)

Diskuze o tom, proč je dřevomorka tak agresivní uvnitř budov, často končí úvahou, že se podmínky v budovách mohou blížit klimatu boreálních lesů, tedy prostředí, ve kterém se dřevomorka domácí přirozeně vyskytuje a odkud se rozšířila [8, 9]. Je tedy především nutné zamezit vzniku takového prostředí ve stavbách, a pokud již tyto podmínky vznikly, pak je nutné odstranit jejich příčinu a rychle přistoupit k sanačním opatřením. Zejména odstranit zdroj vlhkosti, popř. zamezit zatékání vody do konstrukcí a zajistit dostatečnou ventilaci objektu.

Tyto dva základní předpoklady pro zahájení likvidace dřevomorky domácí jsou uvedeny v textu [12], kde je popsán vliv proudění vzduchu na růst dřevomorky domácí na základě provedených experimentů. V laboratoři byly navrženy speciální systémy, ve kterých probíhala kontrola rozkladu dřevěných bloků činností dřevomorky domácí. Bloky byly vystaveny různé intenzitě proudění vzduchu. Při rychlosti vzduchu 2,5 l/min bylo úbytku dřevěných bloků zabráněno. Avšak při rychlostech nižších než 1,5 l/min byla dřevomorka domácí opět stimulována k rozkladné činnosti. Snížením rychlosti proudění vzduchu pravděpodobně unikla stresu s hledáním vhodnějšího růstového prostředí [12] a mohla opět zahájit svojí činnost.

Laboratorní pokusy zaměřené na vliv proudění vzduchu na vývoj, růst a rozkladnou činnost dřevomorky domácí převedla skupina Palfreyman a kol. [42] do reálných podmínek částí budov. Opět se zde výrazně projevil vliv vlhkosti a průtoku vzduchu. Svou roli v tomto případě sehrála i tloušťka kamenných zdí, kdy se působení dřevomorky domácí odehrávalo dlouhou

dobu skrytě bez zjevného povrchového růstu. V jednom z modelů, kde byla část prostoru vymezena tak, aby zde nedocházelo k žádnému proudění vzduchu, došlo k rychlejšímu růstu dřevomorky domácí. Ve zcela uzavřené části modelové konstrukce se navíc vytvořila i plodnice dřevokazné houby, která však po vyvinutí druhé plodnice (mimo sledovanou část modelu) uschla. Dřevomorka domácí pravděpodobně dokázala rozpoznat příznivější prostředí pro šíření svých spór mimo toto kontrolované modelové území [12, 42]. Tento výzkum opět poukazuje na vliv specifického souboru podmínek, které musí v objektu nastat, aby dřevomorka domácí zahájila a držela svoji aktivní činnost.

3.2.1 Postup při sanaci

V prvním kroku je zapotřebí zcela odstranit, popřípadě minimalizovat zdroj vlhkosti! Vhodné je dále přistoupit k větrání objektu a vlhkých konstrukcí. V případě omezených finančních možností lze mycelium dřevomorky domácí po otevření konstrukcí ošetřit fungicidním přípravkem, který na omezenou dobu utlumí růst dřevokazné houby. Tyto uvedené kroky jsou minimum, které můžeme udělat pro dočasné omezení šíření dřevomorky domácí v objektu. Výše zmíněný postup je dobré v co nejkratším možném termínu doplnit dalšími úpravami, které pomohou minimalizovat výskyt a šíření dřevomorky domácí.

Veškeré atakované dřevo musí být zcela odstraněno včetně „bezpečné“ zóny, tj. včetně „pohledově – vizuálně“ zdravého dřeva navazujícího na poškozenou část dřevěného prvku v rozsahu stanoveném dle skutečného stavu řešené konstrukce. Obvykle lze tuto zónu uvažovat v rozsahu od 0,6 do 1 m od kraje posledního viditelného poškození (mycelia dřevokazné houby, rozpadlého dřeva apod.). V případě provedení mikroskopických laboratorních rozborů odbornými pracovníky, kteří potvrdí, že je dřevo bez přítomnosti mycelia dřevokazné houby, lze bezpečnostní zónu dřevěných konstrukcí minimalizovat. Před výměnou nebo doplněním protéz dřevěných prvků je zapotřebí ošetřit i přilehlé zdivo, odstranit

napadené stropní bednění a násypy. V některých případech je nutné provést i sejmutí omítkových nebo štukových prvků atd.

Při sanaci zdiva musí být odstraněna omítka oklepáním a ze spár vyškrábána malta do hloubky min. 30 mm z důvodu prorůstání mycelia zdivem. Následně je zdivo mechanicky očištěno a ošetřeno vhodným fungicidním přípravkem (aplikace nejlépe pod tlakem). V místech, kde došlo k prorůstání mycelia skrze zdivo, je nutná aplikace fungicidu hloubkovou injektáží, která se provádí šachovnicovitě uspořádanými injektážními vrty cca do 2/3 až 3/4 hloubky zdiva. Přesné stanovení počtu vrtů na 1 m² zdiva, hloubka vrtu, jejich uspořádání, návrh fungicidního přípravku, ředění roztoku apod. je součástí konkrétní projektové dokumentace a musí být aktualizováno ke stavu konstrukcí v době zahájení sanačních prací. V extrémních případech, kdy mycelium proroste zdivo na celou svojí tloušťku, je nutné injektážní vrty provádět z obou stran zdiva. Při injektáži je důležité dodržet předepsané množství roztoku na 1 m³ zdiva. Jeho spotřeba se navyšuje o další prováděná doplňková ošetření. Mezi ty patří před spárováním a prováděním nových omítek celkové ošetření zdiva fungicidem. Do spárovací malty a omítky je též vhodné, dle konkrétní situace na řešené stavbě, vmíchat do maltových směsí koncentrát fungicidu v množství stanoveném projektantem. Pokud je zdivo ve velmi špatném technickém stavu, např. dochází k drobení cihel vzlínající vlhkostí apod., a je zde viditelné poškození konstrukcí dřevokaznými houbami, pak je vhodné uvažovat o celkovém přezdívání poškozených úseků novými cihlami a maltou s přísadkou fungicidu.

Zachované dřevěné prvky jsou na místě zbaveny nečistot, nátěrů, popř. nepevných poškozených částí a budou též povrchově prosyceny fungicidem. Poté může být provedeno doplnění poškozených částí předem impregnovanými protézami a mohou navazovat další stavební, popř. restaurátorské práce.

Nutno poznamenat, že maltový prach z konstrukcí napadených dřevokaznými houbami, je zdravotně závadný, a proto je potřeba pracovníky,

kteří pracují v těchto podmínkách, chránit maskou přes obličej ideálně s přívodem čerstvého vzduchu [14].

Stavební konstrukce lze též sanovat za použití ošetření horkým vzduchem nebo mikrovlnného záření. Pro obě tyto metody platí opět zásada, že musí být před provedením odstraněn zdroj vlhkosti a musí být odříznuty poškozené části dřevěných prvků minimálně 1m za hranicí znatelného působení dřevokazné houby.

Horkovzdušná sanace je dle DIN 68 800, část 4 [43] uznávanou metodou pro likvidaci dřevokazného hmyzu. Teplota pro usmrcení dřevokazného hmyzu ve všech vývojových stádiích je 55 °C po dobu 60 minut v celém průřezu neboť se larvy během života mohou nacházet i ve středové části dřevěného prvku. Teoreticky lze uvažovat nad použitím této metody i pro sanaci prvků napadených dřevokaznými houbami. Jak je zmíněno v kap. 3.1.3, letální teplota mycelia dřevomorky domácí je 55 °C po dobu působení 3 hodiny, avšak pro spóry je v textu uvedena teplota 60 °C po dobu 32 hodin nebo 100 °C při působení 1 hodiny. Dřevomorka domácí je schopna při pomalém sušení dřeva vytvořit z monokaryontního mycelia arthrospóry [3], které jsou tolerantní k vyšším teplotám. Snadno se tak může stát, že sanaci horkým vzduchem mycelium nebo spóry dřevomorky domácí přežijí, zejména pokud se nachází uprostřed sanovaných trámů velkých profilů, u kterých je obtížné zaručit dostatečné prohřátí během sanace horkým vzduchem po stanovenou dobu [3, 43]. Při nastolení vhodných vlhkostních podmínek pak může hrozit opětovné vypuknutí houbové infekce. Dále je nutné ekonomicky zhodnotit riziko možného poškození konstrukčního materiálu v objektu a také ekologické zatížení z pohledu spotřeby tepelné energie během ošetření horkým vzduchem [3].

Mikrovlnné ošetření je alternativou k předešlé sanační metodě, během níž dochází, jako u výše zmíněné, k vysoušení sanovaných prostor.

Likvidace dřevomorky domácí je zajištěna ošetřením mikrovlnami 2450 MHz až do dosažení teploty 50 °C [14]. Avšak mikrovlnné záření nelze z důvodu možného vzniku požáru dřevěných konstrukcí aplikovat, pokud se v ozařovaných prvcích nacházejí kovové předměty. V jejich místě dochází ke

značnému nárůstu teploty a může dojít k samovznícení¹³. Tato metoda je dále ovlivněná reálnou výkonností mikrovlnných zářičů, omezením prostorového rozsahu plochy záření daného tvarem směrové antény, nehomogenitou i vlhkostí ošetřovaného materiálu a podobně. V tomto případě platí čím vyšší vlhkost, tím nižší hloubka vniku záření do ošetřovaného prvku [43] a tedy nižší účinnost sanace.

Dřevo a zdivo by mělo být i po použití těchto metod ošetřeno fungicidními prostředky s dlouhodobou preventivní účinností proti růstu biologických dřevokazných činitelů, jak je uvedeno výše v textu. Závěrem je nutno poznamenat, že dosud neexistuje účinná stoprocentní ochrana dřeva proti dřevokazným houbám.

U historických artefaktů, dřevěných konstrukčních prvků významných staveb (památková ochrana) a podobně, u kterých je požadováno zachování původních prvků a je možné tyto prvky sejmut a transportovat (neplní nosnou funkci) lze proti působení dřevokazného hmyzu, hub a plísní využít ionizující záření vysílané radioaktivním izotopem kobaltu ⁶⁰Co, které poskytuje konzervační ozařovací pracoviště Středočeského muzea v Roztokách u Prahy. Tato metoda působí v celém objemu ošetřovaného prvku, nevyužívá žádné chemické prostředky a ozářené předměty nijak neovlivňuje (využívá pouze gama záření, podobně jako RTG nebo UV záření) [44]. Omezením této metody je velikost ozařovací komory (4,5x4,5x2,7 m), do které je nutné prvky dopravit. Před opětovným osazením prvků na stavbu, opět doporučuji zvážit preventivní ošetření vhodným fungicidem.

Pokud nejsme schopni vyhnout se podmínkám vhodným pro existenci dřevomorky domácí v objektu, kde je již tato houba aktivní, např. přítomnost vlhkého/mokrého zdiva, je třeba provést další opatření. V takových situacích lze zaměřit pozornost na použití přírodních biotických konkurentů dřevomorky domácí (např. plísně z rodu trichoderma). Tímto způsobem kontroly se zabývá např. práce [12] J. W. Palfreymana. V běžné praxi se však s touto aplikací zatím nesetkáváme.

¹³ Rozsah teplot pro samovznícení dřeva, tj. hodnota, na kterou se musí zahřát dřevo na jediném místě, aby se hoření samovolně šířilo i v okamžiku odstranění vnějšího tepelného zdroje, je v rozmezí 330 až 470°C [116].

Výběr sanační metody, postup prací, návrhy nově použitých materiálů a fungicidních prostředků musí zohledňovat konkrétní situaci na řešeném objektu a musí být též v souladu s případnou historickou hodnotou stavby a s plánovaným budoucím využitím objektu. Vždy se jedná o individuální řešení.

Sanační práce by měly být prováděny odbornou firmou se zkušenostmi v oboru při dodržení bezpečnosti a hygieny práce a dodržení zásad s nakládáním s chemickými látkami. Používání ochranných pomůcek při provádění je samozřejmostí. Česká legislativa nevyžaduje pro provádění těchto prací autorizaci, proto je důležité výběr prováděcí firmy neponechat náhodě, ale věnovat se volbě dodavatele zodpovědně například na základě referencí, popřípadě osobního doporučení.

Na základě moderních zobrazovacích metod, které jsou schopny zachytit pohyb aminokyselin v myceliálních sítích, byly vyvinuty účinné chemické látky pro sanaci a ošetření ohnisek dřevomorky domácí a pro konzervaci dřeva proti působení této houby [13].

3.3 Legislativa / Právní předpisy

V německých pramenech se uvádí, že vzhledem k výrazným destruktivním schopnostem dřevomorky domácí při jejím působení ve stavebních objektech, je zapotřebí přítomnost této houby jasně identifikovat a odlišit od ostatních dřevokazných hub. Tento předpis je vydán s ohledem na dalekosáhlejší ochranná opatření, která musí být provedena v případě potvrzení její přítomnosti [6]. Výskyt dřevomorky domácí podléhá v některých německých státech registraci a tato informace zůstává v evidenci. V České republice výše uvedená povinnost není. Níže jsou uvedeny vybrané české technické normy ČSN, které stanovují požadavky na ochranu dřevěných konstrukcí:

ČSN 73 1702

Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5	Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
ČSN 73 2810	Dřevěné stavební konstrukce. Provádění.
ČSN 49 06xx	Ochrana a konzervace dřeva, polotovarů, dílců a přířezů.
ČSN 49 0600-1	Ochrana dřeva - základní ustanovení - Část 1: Chemická ochrana
ČSN 49 0600-4	Ochrana dřeva. Základní ustanovení. Ochrana nátěrovými látkami.
ČSN EN 350	Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Zkoušení a klasifikace odolnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva proti biologickým činitelům.
ČSN EN 351-1	Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky - Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku.
ČSN EN 460	Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Přirozená trvanlivost rostlého dřeva. Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení.
ČSN 73 1702	Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

3.4 Pojištění staveb

Bech-Andersen ve své publikaci [14] zmiňuje možnost pojištění stavby v Dánsku proti poškození dřevokaznými houbami. Základním požadavkem je důkladné provedení oprav včetně vypracování zprávy, ve které bude popsán rozsah a pracovní postup prací. V závěru zprávy je pak součástí písemné schválení provedených prací. Vlastník při podávání žádosti o pojištění, při prodeji nemovitosti nebo při převzetí úvěru, zdokumentuje rozsah a povahu stávajícího poškození a dále dokládá, že byla povolena oprava.

V České republice v současné době žádná z oslovených pojišťoven nenabízí možnost pojištění tohoto rizika. Tato informace je platná ke dni 25. 3. 2019.

V občanském zákoníku č. 89/2012 Sb. v platném znění je uveden pojem skrytá vada, do kterého spadá i působení dřevokazných hub. Dle §2129 odst. 1 je lhůta pro oznámení této vady 5 let. „Pokud byla vada kupujícím ohlášena po této lhůtě, soud kupujícímu právo z vadného držení

nepřizná, namítne-li prodávající, že vada nebyla včas oznámena. Proávající však nemá právo na námitku, pokud je vada důsledkem skutečnosti, o které prodávající v době odevzdání věci věděl nebo musel vědět“ [45].

4 Stávající stav řešené problematiky

V dřívějších i současných odborných publikacích jsou velmi časté citace prací Bech-Andersena [46] [47] [14], na které se výzkumné týmy dále odvolávají. Snahou těchto skupin je potvrdit, doplnit nebo vyvrátit jeho teorii o využití stavebních materiálů dřevomorkou domácí jako zdroje kovových iontů, zvláště pak jako zásobárny vápníku Ca^{2+} a železa Fe^{2+} , které houba využívá ve svůj prospěch.

Následují studie, které zpracovávají a ověřují metodiky pro určování koncentrace kyseliny šťavelové a krystalů šťavelanů ve zkoumaných dřevěných vzorcích. Dále také vychází zprávy, které podávají informace o vzniku šťavelanů a přesunu kovových iontů ze stavebních materiálů, které nemají dřevěný charakter.

Fungování kyseliny šťavelové u hub je probíráno z různých úhlů pohledu, a přesto toto téma zůstává nadále rozsáhle diskutováno [48] a [49]. Jedná se především o otázky regulace pH substrátu a jeho vlivu na rozklad dřeva [50], translokace a detoxikace kovů včetně vápníku, železa, mědi atd., vznik a rozpouštění krystalů šťavelanů [51] apod. Vyjmenované procesy, kterými si organismus modifikuje mikroprostředí a vytváří si tak pro sebe vhodné podmínky [48], mohou mít vliv na biodegradaci přírodních hornin, minerálů a umělých materiálů (např. beton).

4.1 Kyselina šťavelová – šťavelan (oxalát) vápenatý

Kyselina šťavelová je nejjednodušší dikarboxylová organická kyselina o sumárním vzorci $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ (funkční vzorec kyseliny je $(\text{COOH})_2$). Jedná se o poměrně silnou bezbarvou kyselinu, která je pevná, ve vodě rozpustná krystalická látka. Tato kyselina je přirozenou složkou v rostlinách, ovoci a zelenině (např. ve šťovíku, difenbachii, rebarboře, jahodách atd.). Jejich požitím se dostává do těla zvířat a lidí. V analytické chemii se pro své

vlastnosti jako je chemická stálost, nereaktivnost, schopnost neabsorbovat vzdušnou vlhkost, nerozkládat se účinkem světla, používá při titraci [52]. Kyselina šťavelová má leptavé účinky a je jedovatá. Toxicita souvisí s rychlou chelací iontů vápníku, železa, draslíku a hořčíku. Avšak významnější toxické účinky jsou spojeny s tvorbou šťavelanu vápenatého [53]. Klíčový význam chemických vlastností kyseliny šťavelové je schopnost oxalátového aniontu $C_2O_4^{2-}$ (funkční vzorec $(COO)_2^{2-}$) komplexovat kovy. To vede k tvorbě solí kyseliny šťavelové, tj. oxalátů s kovy a/nebo k vylučování nerozpustných kovových oxalátů v závislosti na kovových a chemických podmínkách. Předmětem zájmu bádání jsou zejména kovy Mg, Ca, Cu, Zn, Mn, Ag, Sr, Ba, Cr, Co, Ni, Ga, Cd, Sn, Hg, Pb, aktinidy a lanthanidy [48]. Výroba oxalátu může vést k mobilizaci kovu z pevných substrátů, např. hornin a minerálů, acidolýzou a tvorbou komplexu nebo imobilizací kovu tvorbou nerozpustných oxalátových minerálů [48]. Tvorba oxalátu kovu může poskytnout ochranu před potenciálně toxickými účinky takových kovů.

Oxalát vápenatý je nejčastěji nalezený šťavelan a je všudypřítomně spojován s houbami. Může být spojen s hyfami, myceliem, rhizomorfami, plodnicemi v přirozeném prostředí a stejně tak i v zastavěném prostředí. V živých organismech a životním prostředí jsou hlavními formami monohydrát (whewellit) a dihydrát (weddelit). Rozpustnost šťavelanu vápenatého se zvyšuje při hodnotách $pH < 5$. Jeho produkce, která může být ovlivněna mnoha faktory, jako je např. zdroj uhlíku a dusíku, pH prostředí apod. [54], se podílí na biologickém zhoršení vlastností skalních a minerálních podkladů, lignocelulózových materiálů a zprostředkovaně i změně a ztrátě prvků (případně stop) kulturního dědictví [48]. Oxalát může být potencionálně toxický a proto musí být z buněk vyloučen nebo oddělen. Detoxikace oxalátu může být provedena pomocí degradace, což je společná vlastnost dřevokazných hub [55]. Detekce oxalátu může být brána v průběhu průzkumů staveb jako ukazatel aktivity živých organismů.

Oxalát se obvykle vyskytuje při rozpadu a znehodnocení kamenných staveb, minerálních struktur a stavebních konstrukcí. Je obsažen v betonu, maltě, cementu, kovech a lignocelulózových materiálech jako je dřevo a

papír. V průběhu biodeteriorace jsou houby důležitými činiteli znehodnocení výše uvedených přírodních a syntetických látek [48].

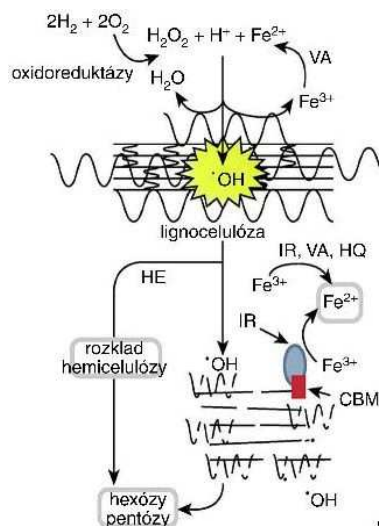
Důležitost produkce kyseliny šťavelové zmiňuje ve své práci z roku 1987 [14] Bech-Andersen. Prezentuje zde výsledky dánského výzkumu, při kterém bylo sledováno 60 útoků dřevomorky domácí poblíž stavebního materiálu obsahující vápník. Zdá se, že kyselina šťavelová hraje rozhodující, i když pravděpodobně nepřímou roli při zahájení procesu rozkladu materiálů dřevokaznými houbami. Stručně lze proces popsat jako neutralizaci kyseliny šťavelové pomocí vápníku, odebraného z okolního stavebního materiálu, na vodu nerozpustné krystaly šťavelanu vápenatého, které jsou mikroskopicky viditelné. Produkce a akumulace mimobuněčné kyseliny šťavelové houbami hnědé hniloby způsobuje rychlý pokles pH [49]. Bech-Andersen uvažuje, že pokud by došlo k vyčerpání zdrojů vápníku, pak by dřevokazná houba mohla až zničit sama sebe díky vlastní produkci silné kyseliny šťavelové.

Houby hnědé hniloby používají pro rozklad dřeva hydrolytické¹⁴ enzymy, kterými účinně štěpí celulózu a hemicelulózu [56]. Hyfy dřevomorky domácí při svém pronikání do tracheid (tj. do cév dřeva nesoucích vodu) rozpouští pomocí kyseliny šťavelové hemicelulózu jako první zdroj živin. Tím se zvyšuje přístupnost celulózových vláken dřeva k celulázám [57] a pomocí těchto enzymů dochází ke štěpení celulózy na ve vodě rozpustné cukry (glukózu), které dřevomorka domácí přijímá. Lignin zůstává v průběhu tohoto procesu téměř nezměněn. Dále se rozkladného procesu účastní i neenzymové pochody - Fentonovské systémy [56]. V textu Clausena a kol. [58] s odkazem na práci [59] je uvedeno, že „oxidace kyseliny šťavelové na CO_2 může snížit formu železa přirozeně přítomného ve dřevě Fe^{+3} na Fe^{+2} a vytvořit hydroxylový radikál ($\cdot OH$)¹⁵“.

¹⁴ Neboli hydroláza je enzym, který katalyzuje rozkladnou reakci, kde je činitelem voda [107].

¹⁵ Jedná se o extrémně reaktivní molekulu, která po svém vzniku reaguje s nejbližší možnou strukturou. Ve svém okolí poškozuje biomolekuly (buněčné membrány atd.) [108].

V práci [58] je podle [60] uvedeno, že „rozsah vzniku hydroxylových radikálů ($\cdot\text{OH}$) v kulturách čtyř hnědých hnilob byla přímo úměrná rychlosti degradace dřeva a nepřímo úměrná množství kyseliny šťavelové v kulturách“.



Obr. 9 [56] podle [13]: Schéma rozkladu dřevní hmoty

To naznačuje, že v kultuře hydroxylový radikál ($\cdot\text{OH}$) snadno rozkládá kyselinu šťavelovou. Při nepřímém rozkladu (superoxidový anion redukuje Fe^{+3} na Fe^{+2}) může kyselina šťavelová produkovat Fe^{+2} a H_2O_2 za vzniku ($\cdot\text{OH}$) [58]. J. Gabriel [56] podle [13] popsal představu o mechanismu rozkladu dřeva dřevomorkou domácí následovně: „Po kolonizaci dřeva dochází k produkci kyseliny variegové (VA), hydrochinonů (HQ) a oxidoreduktáz, generujících hydroxylové radikály ($\cdot\text{OH}$) napadající hemicelulózové struktury. Ty jsou rozkládány hydrolytickými enzymy (HE), a také neenzymovými Fentonovskými systémy. Komplex $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ oxidoreduktázy (IR) a celulózu vázajícího proteinu (CBM) směřuje produkci reaktivních radikálů ke konci celulóзовých řetězců“. Schematicky znázorněno na obr. 9.

V práci [51], zabývající se produkcí krystalů šťavelanu vápenatého u bílých hnilob, autoři zmiňují, že po skončení růstu mycelia in vitro, byly některé posuzované houby schopny rozpouštět dřívě vyprodukované krystaly. Mizení krystalů šťavelanu vápenatého korelovalo se změnou morfologie mycelia (s jeho stárnutím).

Na degradaci šťavelanu se podílí řada enzymů. V houbách se nejčastěji vyskytují dekarboxylázy¹⁶, které rozkládají oxalát na CO_2 a mravenčan využívající proces [48]:



¹⁶ Skupina enzymů, které katalyzují dekarboxylaci, tj. odštěpení CO_2 [109] a [110].

¹⁷ kyselina šťavelová $\rightarrow \text{CO}_2$ + kyselina mravenčí.

Mravenčan může být dále rozložen dehydrogenázou mravenčanu, při které též vzniká CO₂ a enzymatický komplex NADH¹⁸. A dále může být šťavelan rozkládán enzymem oxidázou, která štěpí kyselinu šťavelovou na CO₂ a peroxid vodíku:



4.2 Souhrn analýz využívaných pro určení kyseliny šťavelové a oxalátu vápenatého u dřevokazných hub

Pro analýzu koncentrace rozpustné kyseliny šťavelové je nejrozšířenější metodou **vysokoúčinná kapalinová chromatografie HPLC**¹⁹. Avšak metoda strádá interferujícími (tj. vzájemně se prolínajícími) peaky a nízkou citlivostí. Vzhledem k podmínkám požadovaným pro analýzu nebo obtížnému postupu nebyl ještě z poškozeného dřeva stanoven celkový (kyselinou extrahovatelný) obsah šťavelanu [58]. Schilling & Jellison [61] modifikovali metodiku pro HPLC analýzu použitelnou pro filtrát houbových kultur tak, aby dokázali rozlišit šťavelan obsažený ve složkách prostředí [58]. Extrakce je prováděna ve dvou krocích, aby došlo k uvolnění membránově vázaného šťavelanu a dále k uvolnění krystalizovaného šťavelanu včetně krystalů šťavelanu vápenatého [62].

Na tento předpis navazuje studie [58] kolektivu autorů, ve které porovnávají výsledky HPLC analýzy s kolorimetrickým stanovením šťavelanu ve dřevě borovice žluté (*Pinus ponderosa*), které bylo podrobena působení dřevokazné houby hnědé hniloby. Dřevěné vzorky byly posuzovány ve formě celistvých bloků 1x1x1 cm a pro porovnání výsledků byly vzorky pro druhou sadu měření rozemlety na homogenní směs pilin. Pro výše uvedené analýzy byly dřevěné vzorky obou zkoušených sad extrahovány ve třech odlišných roztocích (fosfátový pufr²⁰, NaOH a H₂SO₄). Výsledky analýz ukázaly, že

¹⁸ Koenzym, tj. nízkomolekulární látky podílející se na enzymové reakci tím, že přenášejí chemické skupiny, elektrony nebo atomy vodíku [110]; který je prvním článkem v tzv. dýchacím řetězci buněčného dýchání [111].

¹⁹ Angl. High-performance liquid chromatography.

²⁰ Roztok, který se používá ke stabilizaci pH v neutrální až lehce zásadité oblasti (cca pH 6-8,5) [112].

částečně rozložené bloky dřeva lze extrahovat stejně účinně jako dřevo rozemleté na piliny. Dle závěrů uvedených v této studii, zůstávají obě metody platné pro zjišťování rozpustné kyseliny šťavelové z poškozeného dřeva. Zejména pak, jestliže se provádí poměrné stanovení mezi ošetřeními nebo houbovými izoláty. Konkrétní výsledky pro extrakty v neutrální oblasti pH, tedy ve fosfátovém pufru, byly 2x až 3x vyšší než hodnoty extraktů v kyselině sírové, platí pro obě analýzy. Přičemž extrakty kyseliny sírové byly dříve brány jako celkové množství kyseliny šťavelové. Výsledky pro extrakce hydroxidu sodného NaOH byly nekonzistentní. Závěrem je, že pro napadené dřevo extrahované v kyselině nepodala ani jedna z výše uvedených metod - HPLC a kolorimetrická zkouška – přesvědčivý důkaz o stanovení celkového množství kyseliny šťavelové [58].

Jak již bylo zmíněno výše, dřevo obsahuje pouze stopové množství minerálních látek. Z tohoto důvodu bylo v průběhu dalších experimentů využito přírodních zdrojů těchto prvků. V řadě posouzení se jedná o přídavek čisté chemické látky jako např. CaCO_3 nebo CaCl_2 , do živné půdy. V případě posouzení rozpouštění šťavelanu vápenatého houbami byla do kultivačního média jako jediný zdroj vápníku přimíchána právě tato organická sloučenina (CaC_2O_4) [51]. Jako další podpůrné prostředky pro zvýšení dostupnosti kovových prvků byly použity omítky, různé druhy pískovců, sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (neboli sádrokarton), skelná vlna atd. V neposlední řadě je nutné zmínit i to, že samotná živná půda (agarová nebo půdní²¹) použitá pro růst dřevokazných hub, může být zásobárnou obsahující variabilní množství vápníku, jak uvádí Guggiari a kol. ve své práci [51].

Dalším způsobem, uváděným v odborných zahraničních člancích, jak vyhodnocovat metabolické procesy dřevomorky domácí v trouchnivějším dřevu, je sledovat změny koncentrací vybraných iontů pomocí **emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem ICP-OES** ²². Jedná se především o analýzy akumulace a translokace kovových iontů během degradace dřeva vybranými druhy hub. Nejvýznamnějšími prvky jsou železo

²¹ Angl. Soil-Block Test [62].

²² Angl. Inductively coupled plasma optical emission spectrometry.

a vápník, dále měď, mangan apod., jejichž koncentrace je vhodné posuzovat v souvislosti s úbytkem hmotnosti inokulovaného dřeva a akumulací kyseliny šťavelové. Tedy v kombinaci s metodou HPLC.

Kovové ionty jsou rovněž významně zapojeny do růstu a metabolismu hub. Během rozpadu dřeva dochází k jejich aktivnímu transportu a hromadění pomocí rhizomorf dřevokazných hub z okolních, často i velmi vzdálených materiálů.

Železo je druhý nejrozšířenější kov na Zemi, který se nejčastěji vyskytuje v železitém (III) oxidačním stavu [63]. Přestože je často potřebný ve velkém množství, v biologii bývá označován jako stopový prvek. Hladiny železa uvnitř buněk musí být regulované [64]. Ve dřevě je tento prvek těsně spojen s buněčnou stěnou a jeho obsah je velmi nízký, což má vliv na jeho výraznou nedostupnost pro asimilaci houbami [65]. Neenzymatickými procesy Fentonovy reakce dochází ke změně oxidačního stavu železa z Fe^{3+} na Fe^{2+} a toto usnadňuje strukturální změny ve dřevě, zejména navýšení porozity buněčných stěn a následnému zjednodušení enzymatického rozpadu dřeva houbami [63]. Kyselina šťavelová je považována za transportéra tohoto kovu, protože svým působením, kterým snižuje pH prostředí v počáteční fázi rozpadu dřeva, usnadňuje jeho rozpouštění, komplexaci (vázání do sloučenin) a dodatečné rozdělení železa z okolního prostředí [63]. Zajištění železa je důležité nejen pro růst dřevokazných hub, ale i pro mnoho dalších fyziologických aktivit [1] (např. přenos elektronů v dýchacím řetězci, syntézy a štěpení DNA, redoxní reakce s anorganickými látkami atd.).

Vápník je velmi diskutovaný prvek z pohledu působení dřevokazných hub na materiály stavebních konstrukcí. Závěry experimentů uvedených v odborné literatuře za posledních několik let jsou protichůdné. Jedna strana se přiklání k verzi, že si dřevokazné houby pomocí vápníku regulují pH prostředí vysrážením kyseliny šťavelové do ve vodě téměř nerozpustného šťavelanu vápenatého [66], [67], [68]. V počáteční fázi rozkladu je vlivem produkce této kyseliny pH prostředí v okolí hyf v rozsahu 2-3 [49]. Na straně druhé převládá názor, že přítomnost přidaného vápníku v růstovém médiu

nepodporuje rozklad dřeva hnědými hnilobami, ale naopak jejich účinek snižuje [62], [69], [70].

Studie [62] uvádí výsledky za použití výše uvedených metod, které byly aplikovány na tři druhy houbových izolátů. Jedním z nich je i dřevomorka domácí, u které se po deseti týdnech od napadení dřevěných vzorků projevilo významné navýšení celkové koncentrace železa a snížení množství iontů mědi. Měď je pro hnědé hniloby ve vysokých koncentracích považována za toxickou [71], a proto je široce používána pro ochranu dřeva proti dřevokazným houbám. Avšak u některých druhů hub, včetně dřevomorky domácí, byla prokázána jejich tolerance vůči mědi [71]. Tato schopnost je přisuzována kyselině šťavelové, díky které houba vysráží měď jako šťavelan měďnatý a tím se sníží toxicita a biologická dostupnost. Jmenovaná studie zohledňuje absorpci vybraných iontů kovů v porovnání se ztrátou hmotnosti dřevěných prvků a akumulací kyseliny šťavelové (viz tabulka 4).

Hmotnostní ztráty dřevěných bloků způsobené dřevomorkou domácí byly po deseti týdnech ve výši cca 50 %, což odpovídá dříve publikovaným výsledkům této vědecké skupiny [72] a [73]. Významně zvýšené hodnoty, odpovídající výsledkům srovnatelných studií [69], byly zaznamenány u těchto vzorků také pro koncentraci celkové a rozpustné kyseliny šťavelové. V případě, kdy bylo růstové médium doplněno přídavkem sádrokartonu, byla koncentrace kyseliny šťavelové v dřevěných blocích snížena. Zdá se, že materiály s vysokým obsahem vápníku fungují jako kanály kyseliny šťavelové translokující kyselinu z dřevěného prostředí do sádrokartonu, kde případně tvoří krystaly šťavelanu vápenatého [62].

V průběhu rozkladu dřeva izolátem dřevomorky domácí došlo ke značné akumulaci železa. Příjem tohoto prvku dalšími dvěma druhy hub, které byly v tomto experimentu použity, byl pouze okolo 1/10 příjmu zaznamenaného ve dřevě poškozeném působením dřevomorkou domácí. Podobné hodnoty již byly uvedeny v dřívější studii této skupiny [73], avšak tak odlišná akumulace železa dřevomorkou domácí a taxonomicky příbuzných druhů dřevokazných hub uváděna nebyla. Hodnoty souvisí

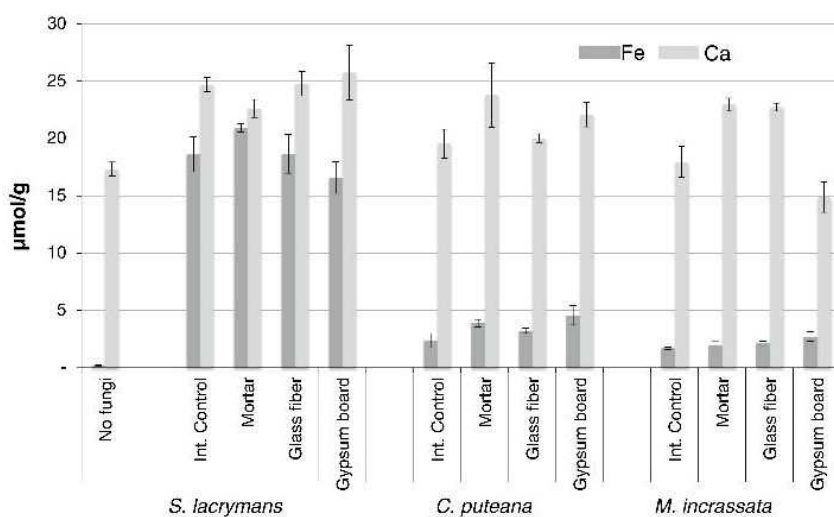
s chelatací železa, která probíhá v rámci neenzymatických procesů houby v průběhu degradace dřeva. Tomuto odpovídá i vyšší akumulace kyseliny šťavelové pozorované ve dřevě naočkovaném dřevomorkou domácí a taktéž vyšší hladiny rozpustného a celkového šťavelanu stanoveného na shodně upraveném dřevě. Pokud je role šťavelanu během rozpadu hnědou hnilobou izolovat a dodávat Fe³⁺ pro Fentonovu chemii [63], pak dostupnost a krystalizace šťavelanu s vápníkem omezí dostupnost železa [62]. Významným přispěvatelem kovových iontů se v průběhu testování ukázala být zemina, která byla použita jako růstové médium. U kontrolních vzorků, kde byl jako živná půda použit agar, byly houby závislé na kovovém doplňku.

Tabulka 4: Hmotností ztráty dřevěných bloků [%] a množství rozpustné a vyluhovatelné kyseliny šťavelové [mM] po 10 týdnech inkubace, zdroj [62]

Druh	Zdroj kovů	Hmotnostní ztráty [%]	Kyselina šťavelová [mM]		pH
			Rozpustná	Extrahovatelná	
<i>Serpula lacrymans</i>	-	50,50 (3,12)	2,78 (0,67)	6,32 (1,53)	3,07 (0,05)
	Malta	53,30 (1,12)	4,68 (0,79)	6,57 (1,32)	2,93 (0,03)
	Skelná vata	45,46 (1,59)	3,12 (0,55)	6,54 (1,30)	3,10 (0,05)
	SDK	45,53 (2,14)	1,30 (0,40)	1,72 (0,35)	2,96 (0,04)
<i>Coniophora puteana</i>	-	6,47 (2,15)	0,33 (0,10)	0,66 (0,14)	2,96 (0,01)
	Malta	22,40 (2,15)	0,15 (0,04)	0,36 (0,04)	3,00 (0,03)
	Skelná vata	19,81 (1,68)	0,13 (0,04)	0,64 (0,17)	2,97 (0,02)
	SDK	30,31 (4,37)	0,48 (0,16)	0,72 (0,23)	3,03 (0,02)
<i>Meruliporia incrassata</i>	-	55,44 (0,49)	0,15 (0,03)	0,57 (0,06)	3,07 (0,01)
	Malta	59,02 (2,69)	0,10 (0,06)	0,34 (0,06)	3,05 (0,03)
	Skelná vata	54,83 (0,70)	0,06 (0,03)	0,13 (0,04)	3,01 (0,02)
	SDK	53,14 (0,49)	0,01 (0,00)	0,02 (0,01)	4,19 (0,11)
<i>Kontrola</i>	-	0,29 (0,06)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	4,50 (0,09)

Poznámky: Rozpustné a extrahovatelné množství kyseliny šťavelové bylo upraveno s ohledem ke ztrátě hustoty. „-“ označuje vzorky bez přidání stavebního materiálu. Standardní chyba je uvedena v závorce a představuje průměr z opakování vzorků (n=5).

Závěrečná data zaměřená na akumulaci vápníku platná pro dřevo naočkované dřevomorkou domácí ukázala zvýšenou koncentraci tohoto prvku pro všechny skupiny ošetření včetně vnitřní kontroly, kde bylo zdrojem kovových prvků pouze kultivační médium bez přidaného zdroje. Výsledky korespondují s dřívějšími studiemi [70] a [3]. Avšak tato studie neprokázala vztah mezi shromažďováním vápníku dřevomorkou domácí a odlišným množstvím vápníku obsaženého v doplňkových materiálech, které byly přidávány do růstového média. Výsledky citované studie [62], které přehledně zobrazují akumulaci iontů železa a vápníku ve dřevě poškozeném působením vybranými houbami hnědé hniloby, jsou shrnuty níže na obr. 10.

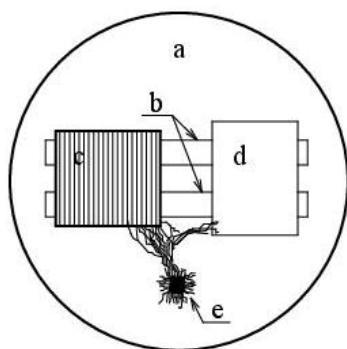


Obr. 10 podle [62]: Akumulace iontů železa a vápníku (mol g-1 počáteční hmotnosti dřeva) ve dřevu naočkovaném houbami

Přestože dřevomorka domácí produkovala v této studii větší množství kyseliny šťavelové než ostatní dva druhy dřevokazných hub, nebyla analýzami prokázána zvýšená koncentrace vápníku, což odporuje tvrzení Bech-Andersena [66], který publikoval, že dřevomorka domácí je specifická z pohledu potřeby vápníku, kterou využívá při neutralizaci kyseliny šťavelové, kterou sama vyprodukovala.

Rozdílné výsledky akumulace kovových iontů u vybraných druhů dřevokazných hub pravděpodobně souvisí s odlišnými enzymatickými a neenzymatickými vlastnostmi použitých hub během růstu a rozkladu každého ze sledovaných kmenů [62].

Analýzu ICP-OES využil pro svou práci i tým Schilling&Jellison [74], kteří výsledky této metody doplnili o výstupy analýzy HPLC a dále o snímky elektronového mikroskopu SEM²³. Oproti současnější výše uváděné studii [62] zaznamenal tento kolektiv při své práci výrazné navýšení množství kovových iontů vápníku v degradovaném dřevu, které bylo umístěno v ošetřeních s přidáním sádkartonových desek (schéma rozvržení viz obr. 11) ve srovnání s výsledky ostatních ošetření (tj. bez přidaného vápníku a 2 mM CaCl₂ obsaženého v agaru). Dřevokazné houby v tomto případě extrahovaly a translokovaly vápník ze sádky do dřeva.



Obr. 11 podle [74]: Schéma uložení materiálů v Petriho misce

(a) 20 ml agar typ A; (b) podpůrné březové prvky; (c) smrkové jádrové dřevě s orientací vláken ve směru kolmo na podpůrné prvky; (d) 99 % čistý sádkový vzorek, bez kontaktu se dřevem; (e) plísňové inokulum

Výsledky ukazují, že množství vápníku ve dřevě degradovaném houbami v prostředí s přidanou SDK deskou je ve většině případů shodné nebo větší s množstvím tohoto kovového iontu v nedegradovaném dřevě negativní kontroly. Pro vzorky s přidáním CaCl₂ v agaru a pro vzorky bez aditiva vápníku byla přítomnost tohoto prvku v degradovaném dřevě nižší než ve dřevě zdravém, tj. ve dřevě bez působení dřevokazných hub. Tyto výstupy naznačují transport vápníku hyfami dřevokazné houby pryč ze dřeva [74]. Koncentrace vápníku se ve dřevě snižuje a pravděpodobně dochází k jejímu nárůstu na hyfách houby.

V případech, kdy byla koncentrace vápníku ve dřevě vysoká, byl v dřevěné matici více přítomen kyselinou extrahovatelný štavelan. Což naznačuje, že importovaný Ca byl do určité míry vázán v krystalech [74]. Importovaný vápník nijak neovlivnil míru rozkladu dřeva v průběhu působení

²³ Angl. Scanning electron microscope.

dřevokazných hub. Studie neprokázala žádné stimulační ani inhibiční účinky jednotlivých ošetření na ztrátu hmotnosti dřevěných prvků. Během působení dřevokazných hub došlo podle očekávání k poklesu pH a jeho hodnoty nebyly ovlivněny přítomností vápníku.

Autoři studie [74] okrajově zmiňují vysoké hodnoty kovového prvku Fe, které byly naměřeny v degradovaném dřevě vystaveného účinkům dřevokazné houby *Serpula*²⁴ *himantioides* oproti množství Fe naměřeného ve zdravém dřevěném prvku. Výsledky byly uvedeny pro ošetření s přidáním sádrové desky, pro níž samotnou byla stanovena velmi nízká koncentrace iontu železa. Toto pozorování je důležité zejména z pohledu budoucího určení vzájemného vztahu iontů Ca a Fe při rozvoji růstu u druhu *Serpula lacrymans*.

Řešené problematice se také věnují autoři článku [1], kteří se zaměřili na zhodnocení rozsahu, jakým dřevomorka domácí upravuje na mikroskopické úrovni strukturu vybraného zdiva a v důsledku toho ovlivňuje vzhled a složení zkoumaných materiálů. Pro svoji práci využili kombinaci metod skenování elektronovým mikroskopem (SEM) a **X-ray**²⁵ **mikroanalýzu**.

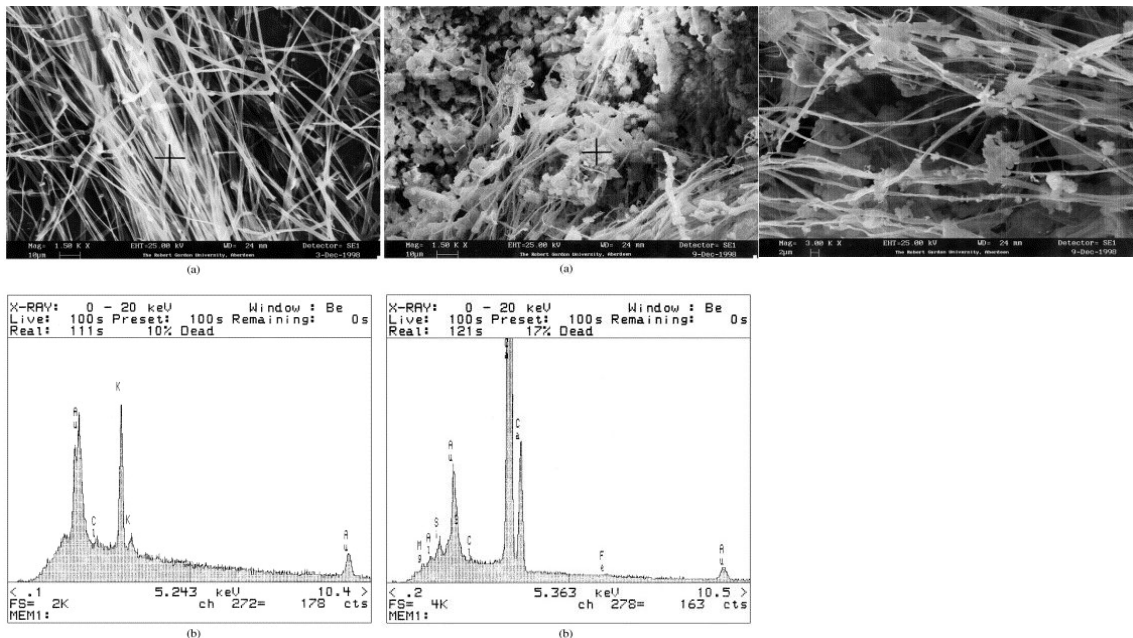
Výsledky tohoto experimentu poukazují na rozdíly v zabarvení mycelií, která rostla na různých druzích pískovců a omítce. Změnu barvy autoři přisuzují prvkům odstraněným z testovaných materiálů a vyblednutí mycelií spojují s přítomností vápníku, křemíku a železa v myceliu dřevokazné houby [1]. Rezávý vzhled některých okrajových částí mycelia včetně související vlhkosti byl ukazatelem přítomnosti oxidu železa, který byl ve větší míře přítomen především u vzorku omítky. Tyto výsledky jsou v souladu s prací Bech-Andersena [46]. **EDX**²⁶ **spektroskopie** dále v této studii prokázala transport železa z kamene a omítky skrze mycelium dřevomorky domácí.

²⁴ Česky Dřevomorka lesní – vyskytuje se v přírodě na padlých kmenech jehličnanů, vzácně na listnatých stromech; plodnice má tenčí, spíše papírovité [15]. Pro studii [74] byl zvolen druh *Serpula lacrymans*, avšak molekulární charakterizace použitého izolátu ATCC 36335 provedené v době studie ukázala, že se místo toho může jednat o *Serpula himantioides*.

²⁵ Rentgenová krystalografie; angl. X-ray structure analysis nebo X-ray crystallography.

²⁶ Energeticky disperzní rentgenová spektroskopie; angl. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy – analytická metoda používaná na analýzu chemického (prvkového) složení vzorků [113].

Množství tohoto prvku bylo na okrajových částí mycelia výrazně vyšší než na myceliu kolonizující přímo zkoumaný stavební materiál. Rentgenová krystalografie potvrdila přítomnost krystalů šťavelanu vápenatého (ve formě monohydrátu whewellitu a dihydrátu weddelitu) na hyfách dřevomorky domácí, která rostla v komorách s přidaným vzorkem pískovce anebo omítky (viz obr. 13 a 14). Kontrolní měření (s vloženým plastovým vzorkem, u kterého se předpokládá, že nemůže být organismy vytěžen) ukázalo nepřítomnost vápníku a železa na myceliu houby, v souladu s [46], a také zde nebyla pozorována žádná tvorba krystalů (obr. 12). Vzhled mycelia dřevomorky domácí a množství krystalů na jejích hyfách se na dvou místech odběru měřených vzorků zdálo být shodné [1].



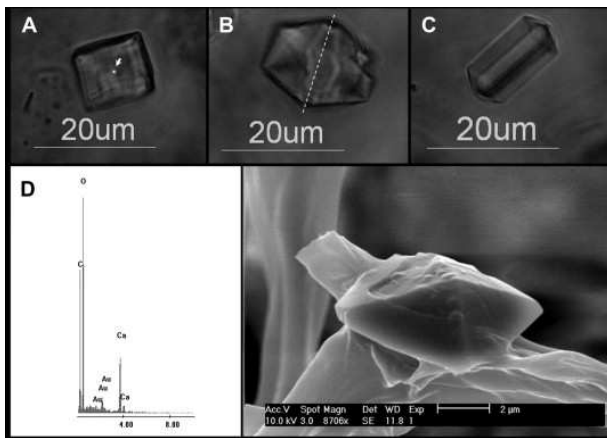
**Obr. 12 podle [1]:
Mycelium dřevomorky
domácí rostoucí na
plastu**
(a) SEM
(b) cílená EDX analýza
na shluk hyf

**Obr. 13 podle [1]:
Mycelium dřevomorky
domácí na omítkě**
(a) SEM
(b) cílená EDX analýza
na shluk hyf

**Obr. 14 podle [1]:
Mycelium dřevomorky
domácí na omítkě**
Snímek SEM
v detailnějším měřítku.

Jak již bylo zmíněno výše, hlavní pozorované formy šťavelanu vápenatého na houbových myceliích byly monohydrát whewellit $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a dihydrát weddelit $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (viz obr. 15 a 16), jehož výskyt převládá. Pro identifikaci krystalů na hyfách dřevomorky domácí byla ve studii [1] použita

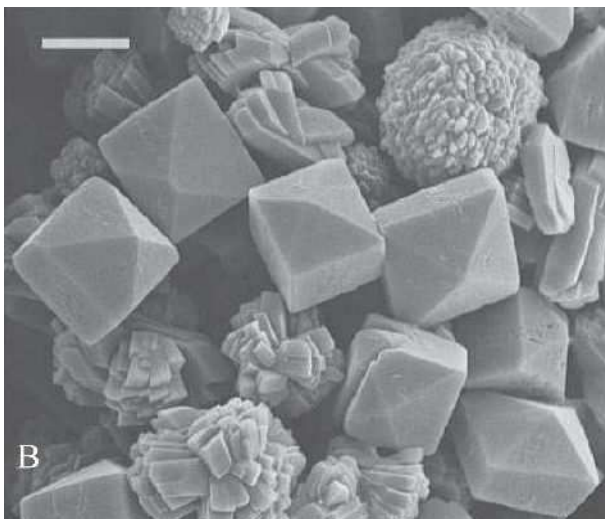
krystalografická databáze. Relativní poměr těchto dvou forem šťavelanu vápenatého nebyl autory stanoven.



Obr. 15 podle [51]: Weddellit – morfologická (A-C) a chemická (D) charakteristika

Tři osy jsou navzájem kolmé.

(A) pohled shora z vrcholu osy „c“ (bod a šipka); (B-C) pohled na oxalát vápenatý s tečkovaně vyznačenou osou „c“ (změna délky); (D) weddellit na hyfě dřevokazné houby outkovky rumělkové s výstupem EDX analýzy – potvrzena přítomnost vápníku, uhlíku, kyslíku a zlata (postřík).



Obr. 16 podle [75]: SEM krystalů šťavelanu vápenatého

Růstové médium pro dřevokaznou houbu *Serpula himantioides* s přísadkou 0,5% sádrovce. Měřítka 10 μm.

Vizuální degradace zkušebních vzorků pískovců a omítky nebyla v této studii přesvědčivá. Dřevomorka domácí porostla zkušební vzorky v přímém kontaktu bujným a masitým myceliem, avšak spojit její činnost s důlkovou korozí nebo leptáním povrchu stavebních materiálů nebylo možné. Autoři tuto skutečnost přisuzují krátké době vystavení materiálů působení dřevomorky domácí (8 a 24 týdnů) v laboratorních podmínkách oproti možné až několikaleté degradaci materiálů dřevokaznými houbami v reálných objektech. Nutno poznamenat, že houby způsobují poškození hornin a minerálů penetrací hyf skrze napadený stavební materiál, tzv. biologické zvětrávání, při kterém jsou důležitými biologickými činidly organické

kyseliny [48]. Spolu s biofyzikálními účinky, které jsou způsobeny penetrací hyf do substrátu, může kyselina šťavelová a následně i šťavelan hrát důležitou roli při biologickém zvětvávání minerálů, kamene a stavebních materiálů objektů včetně památek kulturního dědictví, soch, fresek, maleb a podobně [48].

Dřevomorka domácí ve studii [1] pronikla do matrice pískovců, ale vzhledem k hustotě mycelia bylo těžké sledovat a detailněji charakterizovat penetraci hyf. Na základě uvedených skutečností je možné předpokládat, že po proniknutí hyf do zkušebního tělesa dochází k degradaci pískovců zevnitř. Implicitní degradaci pískovců autoři dokazují přítomností prvků křemíku, vápníku a stopového množství železa na hyfách dřevomorky domácí.

5 Experimentální výzkum

Vlastní výzkum byl rozdělen do dvou částí. V první fázi (kap. 5.1) probíhala měření na zkušebních vzorcích odebraných z reálných staveb a byla zaměřena zejména na klasifikaci salinity zdiva dle ČSN P 73 0610 [76] v platném znění a jejího vlivu na vlastnosti odebraných vzorků. V druhé fázi výzkumu (kap. 5.2) jsem využila jiné analytické metody (chemické a instrumentální), pomocí kterých jsem se zaměřila na stanovení přítomnosti šťavelanu vápenatého ve zkoumaných vzorcích a dosažené výstupy jsem vyhodnotila.

5.1 1. fáze experimentálního výzkumu

V první fázi experimentu jsem se zaměřila na odebrání maltových, omítkových, cihelných nebo betonových vzorků z reálných staveb. Na počátku jsem vytipovala vhodné objekty, ve kterých bude na dřevěných prvcích prokazatelné působení dřevokazných škůdců a kde budou tyto konstrukce ve styku se zděnými konstrukcemi. Pro odběr vzorků byla preferována místa, kde byl styk zdiva s dřevěným prvkem. V těchto místech byly odebrány vzorky obou stavebních materiálů.

V rámci výzkumu mi byl umožněn vstup s provedením vzorkování v objektu č. 56 v areálu ŠKODA HOLDING a. s. v Plzni a dále jsem získala souhlas

ke vstupu a opatrnému odběru zkušebních vzorků v budově bývalé prelatury cisterciáckého kláštera v Plasích.

Ve vybraných objektech jsem poté odebrala několik vzorků, které jsem podrobila laboratorním rozborům. Umístění sond pro odběry vzorků jsem zvolila tak, aby tyto prvky byly v blízkosti dřevěných prvků, které jsou napadeny dřevokaznými houbami, nebo jsem odebrala vzorky cihelného zdiva z míst, kde byla patrná přítomnost biotických škůdců (spóry, plodnice) i bez přítomnosti dřeva. Vzorky byly okamžitě po odebrání uloženy do uzavíratelných mikroténových sáčků, řádně označeny, popsány a byly co nejdříve převezeny do laboratoře. Zde byly do doby provedení laboratorních měření uchovávány v původním stavu v mrazícím boxu při teplotě -11 až -13 °C. Odebrané množství jednotlivých vzorků bylo dostatečné pro provedení laboratorních zkoušek, velikost vzorků se vždy lišila podle místa a konkrétních možností odběru.

5.1.1 Objekt č. 56, areál ŠKODA HOLDING a. s., Plzeň

Prvním zvoleným objektem se stala budova kantýny v areálu bývalých Škodových závodů v Plzni. Jedná se o objekt postavený v roce 1918, který je zapsán mezi nemovité kulturní památky.

5.1.1.1 Stručný popis objektu, venkovní úpravy (2009)

Samostatně stojící, částečně podsklepená budova, usazená v terénu, který se mírně svažuje severozápadním směrem. Severní část objektu má dvě plnohodnotná podlaží s možností přirozeného osvětlení. Vzhledem k ubíhajícímu terénu je jižní část suterénu zcela zapuštěna pod terén. Na jihozápadním nároží dobíhá k objektu asfaltová komunikace, bez provedeného okapového chodníku a bez výrazného vyspádování komunikace směrem od objektu. Zbývající venkovní části kolem haly jsou řešeny jako zatravněné plochy, také bez odvodu dešťových vod. V blízkosti této stavby se nenachází žádný vodní zdroj.

5.1.1.2 Stavebně technický popis konstrukcí

Hlavní osa objektu je orientována ve směru sever – jih a z konstrukčního hlediska jej můžeme rozdělit na dvě části, na halovou partii a na část přístavků a podsklepení. Z materiálového hlediska se jedná o kombinovaný konstrukční systém. Nosnou kostru haly tvoří deset dřevěných rámců Hetzer, které jsou částečně uloženy na zdivu spodních staveb. Obvodový plášť tvoří hrázděná konstrukce se sendvičovou vyzdívkou z omítaných cihel tloušťky 65 mm (cihly jsou kladeny na „štorc“), tehdejších korkových tepelně izolačních desek a silné vrstvy cementové malty. Přístavky a podzemní prostory jsou řešeny jako kombinace zděných stěn a železobetonových sloupů. Podzemní prostory jsou z převážné části zastropeny pomocí železobetonových trámových stropů. Nášlapnou vrstvu podlahových konstrukcí tvoří, ve většině místností přístavků a v prostoru centrální haly, původní keramická dlažba.

5.1.1.3 Využití objektu

Budova původně sloužila několik let jako závodní kuchyně a dělnická kantýna – jih. V roce 1925 byl provoz omezen a jídelna sloužila jen částečně. V průběhu užívání bylo provedeno několik posouzení změny využití objektu a jedním z nich bylo v roce 1927 přestavění kantýny na autoopravnu. Podzemní prostory byly určeny především ke skladování, dále jako přípravný a výdejna jídel a v neposlední řadě zde byly umístěny i místnosti pro osobní hygienu a sociální zázemí pracovníků. V zadní části suterénu byla umístěna technická místnost. V době odběru vzorků nebyl objekt dlouhodobě využíván a neprováděly se zde žádné udržovací práce.

5.1.1.4 Významné poruchy konstrukcí

Tato historicky cenná budova byla významně poškozena zatékáním dešťové vody do střešních konstrukcí a do neudržovaných hrázděných fasád a vzlínáním zemní vlhkosti vlivem absence hydroizolace spodní stavby. Tyto příčiny bezesporu vedly k porušení některých částí dřevěných i zděných konstrukcí. Dřevěné prvky byly znatelně poškozené působením

dřevokazných hub a cihelné zdivo a omítky byly od působení zvýšené vlhkosti značně rozrušené. V některých místech docházelo k jejich rozpadu.

5.1.1.5 Fotodokumentace sond odebraných vzorků

V prostorech plzeňské haly bylo odebráno šest vzorků cihelného zdiva nebo malt, které byly posléze podrobeny laboratornímu měření. Protože se jedná o halový prostor s přidruženými přístavky, byly vzorky odebrány v různých částech budovy tak, abych postihla všechna významná místa s různým stupněm poškození. Umístění odebraných sond je čitelné z výkresové přílohy č. 7.1 této práce a dále jsou místa odběrů zachycena na následujících fotografiích (tabulka 5).

Tabulka 5: Fotodokumentace objekt č. 56 + popis stavu		
Ozn.	Fotografie	Popis
1		Vzorek cihelného zdiva a omítky byl odebrán v interiéru stavby v místě přechodu paty Hetzerova rámu (rám č. 8) na obvodové zdivo západní fasády. Dřevěný prvek je značně porušen vlivem vztlínající vlhkosti ze zdiva. V interiéru je rám nad podlahou měkký na vryp a je zde vidět poškození dřevomorkou domácí.
2		Druhým místem pro odběr vzorku jsem zvolila místo ukotvení dřevěného rámu k betonové podlaze. Jedná se o sondu umístěnou v interiéru objektu, bez zvýšené vlhkosti.
3		Následující sonda se nachází v místnosti na jihovýchodním nároží. Cihelné zdivo je značně porušené vlivem vztlínající vlhkosti, která je zapříčiněna absencí hydroizolace. Vzorek byl odebrán v úrovni podlahy.

4		<p>Pro odebrání následujícího vzorku cihelného zdiva a omítky byl zvolen schodišťový prostor v úrovni podzemního podlaží. Výška odběru je 1,4 m nad podlahou suterénu.</p> <p>Zdivo je viditelně poškozené vlhkostí, která vzlíná ze základů a mimo jiné voda na stěnách suterénu kondenzuje vlivem rozdílných teplot. V omítkách jsou viditelné spóry dřevokazných hub.</p>
5		<p>V prostoru druhého suterénu je zvýšená zemní vlhkost. Podlaha je hliněná bez veškerých izolačních úprav. Na omítkách jsou viditelné mapy od působení plísní a hub. Ponechané dřevěné prvky v kombinaci s vlhkostí způsobily velký rozvoj plísní a hub.</p>
6 K		<p>Poslední sonda byla provedena v severní části objektu, v nadzemním podlaží. Místo odběru bylo suché, omítky byly bez viditelného poškození (s poměrně značnou pevností). Vzorek omítky byl vyjmut přibližně 2 m nad podlahou přízemí.</p> <p>Jedná se o kontrolní vzorek.</p>

5.1.1.6 Výsledky měření

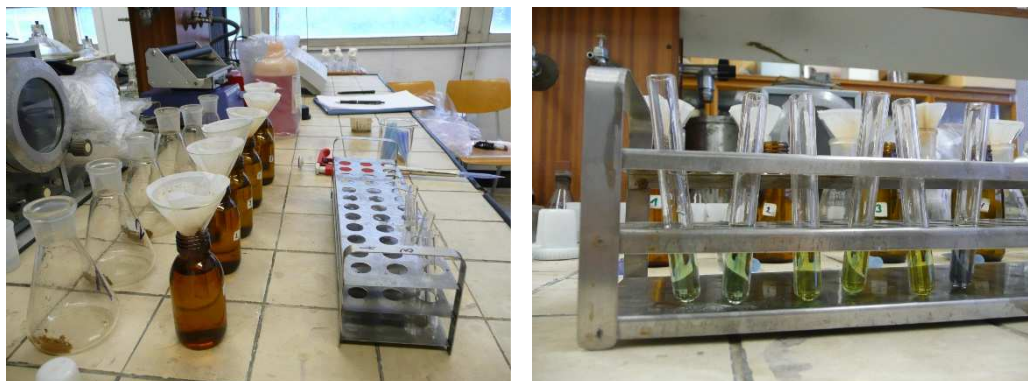
Měření proběhla v certifikované chemické a mikrobiologické laboratoři katedry Konstrukcí pozemních staveb akreditované ČIA pod č. 1048.

Pro provedení měření, jejichž výsledky jsou uvedeny níže, byly z jednotlivých vzorků odebrány pouze části o hmotnosti cca 2,00 g. Tyto navážky se posléze nechaly 24 hodin vyluhovat ve 100 ml destilované vody. Vodní výluhy byly poté podrobeny měření určující druh a stupeň zasolení malt. Stupeň zasolení maltových vzorků byl klasifikován podle ČSN 73 0610 [76] v platném znění, příloha B (viz příloha č.7.2, 7.3).

Hodnoty pH odebraných vzorků byly v rámci osvojování základních dovedností laboratorní práce stanoveny univerzálním indikátorem podle

Mercka. Měření pH 1 ml vodního výluhu vzorků bylo určeno za pomoci 3 kapek pH indikátoru s rozsahem 4-10.

Výsledky měření jsou shrnuty v následujících tabulkách 6 až 10.



Obr. 17: Fotografie z průběhu laboratorního měření v certifikované laboratoři ČVUT FSV K124 (ČIA č. 1048).

Tabulka 6: Základní parametry zkušebních vzorků – hmotnost navážky (m) a pH		
Číslo vzorku	m [g]	pH
1	2,3	7,5
2	2,1	7,5
3	2,1	7
4	2,3	7,5
5	2	7
6 K	2,1	8,5

Poznámky: m[g] hmotnost navážky

Tabulka 7: Stanovení obsahu chloridů ve vzorcích [mg/l; mg/g]				
Číslo vzorku	Cl ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ 1:10 [mg/l]	Cl ⁻ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	2,4	-	0,10	Nízký
2	10	-	0,48	Nízký
3	4,1	-	0,20	Nízký
4	44,9	-	0,52	Nízký
5	2	-	0,10	Nízký
6 K	2	-	0,10	Nízký

Tabulka 8: Stanovení obsahu dusičnanů ve vzorcích [mg/l; mg/g]

Číslo vzorku	NO ₃ [mg/l]	NO ₃ 1:10 [mg/l]	NO ₃ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	7,4	-	0,322	Nízký
2	9,3	-	0,443	Nízký
3	24,6	-	1,171	Zvýšený
4	11,7	-	0,509	Nízký
5	9,2	-	0,460	Nízký
6 K	9	-	0,429	Nízký

Tabulka 9: Stanovení obsahu amoniaku ve vzorcích [mg/l; mg/g]

Číslo vzorku	NH ₃ [mg/l]	NH ₃ 1:10 [mg/l]	NH ₃ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	0	-	0	-
2	0	-	0	-
3	0	-	0	-
4	0	-	0	-
5	0	-	0	-
6 K	0	-	0	-

Poznámky: Obsah amoniaku NH₃ byl nižší než minimální měřitelná hodnota 0,05mg/l.

Tabulka 10: Stanovení obsahu síranů ve vzorcích [mg/l; mg/g]

Číslo vzorku	SO ₄ [mg/l]	SO ₄ 1:10 [mg/l]	SO ₄ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	29	-	1,26	Nízký
2	72	-	3,43	Nízký
3	82	-	3,90	Nízký
4	>300	135	58,70	Velmi vysoký
5	>300	135	67,50	Velmi vysoký
6 K	190	-	9,05	Zvýšený

5.1.1.7 Závěry měření

Hodnoty pH vzorků odebraných omítek byly v místech poškození zdiva vlhkostí a v místech prokázané přítomnosti dřevokazných hub v rozmezí 7-7,5. Byly tedy nižší než pH kontrolního vzorku č. 6K, který byl odebrán v severní části objektu. U této sondy nebyla prokázaná zvýšená vlhkost ani přítomnost biotických škůdců a hodnota pH byla rovna 8,5.

Klasifikace salinity zdiva byla provedena dle ČSN P 73 0610 [76] v platném znění, příloha B (viz příloha č. 7.3 této zprávy). Ze vzorků odebraného zdiva byla po vyhodnocení zjištěna nízká přítomnost chloridů a dusičnanů, viz tabulka 7 a 8. Pouze v jednom případě, vzorek č. 3 – vlhkostí poškozená omítka v 1. NP, bylo množství dusičnanů na takové úrovni, že byl v tomto případě zvýšený stupeň zasolení.

V textu [77] je uvedeno, že zdrojem dusičnanů bývají nejčastěji organické zbytky (bakterie, houby, vyšší rostliny v objektech stájí, v místech odpadů, WC atd.), dále mohou být zdrojem i průmyslová hnojiva, specifické kontaminace solemi (např. dusičnan draselný z černého střelného prachu) a dusičnany lze prokázat i z posypových solí (zj. používala-li se močovina).

V odebraných maltových vzorcích nebyla prokázána přítomnost amoniaku (tabulka 9). Ten často vzniká mikrobiálním rozkladem organických zbytků, exkrementů, moči živočichů atd. a bývá vázán ve formě amonných solí [78]. Oproti tomu výsledky rozborů pro stanovení obsahu síranů ukázaly pro jednotlivá měření rozdílné stupně zasolení. U vzorků odebraných v úrovni 1. NP bylo hodnocení v rozsahu nízkého stupně zasolení. U sond provedených v podzemních podlažích byl stupeň zasolení dle obsahu síranů velmi vysoký a kontrolní vzorek ukázal zvýšený stupeň zasolení. Výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce 10.

Dle závěrů stupně zasolení zdiva by se dalo předpokládat, že zdrojem síranů byla v těchto případech spodní voda, která byla v podzemních částech přítomná ve významném množství vlivem absence nebo dožití izolace spodní stavby. Zdrojem, který způsobil zvýšený stupeň obsahu síranů u kontrolního vzorku, by mohl být mimo jiné i použitý cement v omítce.

Vzhledem k výsledkům uvedeným výše v textu a k detailnějšímu prozkoumání provozů, které byly v tomto objektu umístěny v době jeho užívání (jídelsna s kuchyní a sklady potravin, poté umístění automobilové dílny a v neposlední řadě i dlouhodobé chátrání objektu vlivem neprovádění údržby a využívání objektu jako ubytovna a toaleta bezdomovců), jsem od provádění dalších měření upustila a vyhledala jsem jinou stavbu pro odběr nových vzorků. Moje rozhodnutí potvrdilo i zjištění, že v rámci revitalizace

areálu bývalých Škodových závodů, která probíhala od roku 1996, byly v blízkosti objektu č. 56 prováděny rozsáhlé normé stěny a monitorovací vrty, které mají zabránit šíření škodlivých látek z podloží areálu, který byl dříve využíván pro strojírenský průmysl a tak i tato skutečnost mohla ovlivnit výsledky provedených rozborů salinity odebraných vzorků.

5.1.2 Objekt tzv. Starého opatství (*prelatura*), areál kláštera, Plasy

Druhou stavbou, do které mi byl umožněn vstup s možností odebrání maltových a dřevěných vzorků, byl objekt tzv. Starého opatství. Jedná se o objekt bývalé prelatury cisterciáckého kláštera v Plasích, který byl postaven v době baroka. V roce 1995 byl areál kláštera prohlášen Národní kulturní památkou.



5.1.2.1 Stručný popis objektu, venkovní úpravy (2009)

Jedná se o vícepodlažní objekt v jádru patrně středověký, který je součástí areálu kláštera Plasy, a který navazuje na objekt konventu kláštera. Stavba prošla v 19. století rozsáhlou přestavbou a v 60. letech 20. století byla upravena na internát. Budova byla v době odběru ve správě Národního technického muzea, jehož pracovníci mi umožnili přístup do objektu starého opatství.



Obr. 18: Dvorní fasáda - objekt tzv. Starého opatství, areál kláštera, Plasy

Terén byl ze strany hlavního vstupu mírně svažován směrem od objektu, byly zde provedeny okapové chodníky, na které navazovala asfaltová komunikace s místy pro parkování. Podél dvorní fasády byl v šířce přibližně 1,5-2 m proveden otevřený anglický dvorek s kamennou zdí. Výška opěrné stěny je cca 1,5 m nad podlahou 1. nadzemního podlaží. Terén je

zatravněn, bez provedení okapových chodníků a jiného řešení odvodu dešťových vod. Objekt je situován v blízkosti řeky Střely.

5.1.2.2 Stavebně technický popis konstrukcí

Obvodové stěny Starého opatství jsou po celé výšce objektu vyzděny na maltu z plných cihel. Povrchovou úpravu zdiva tvoří omítky tloušťky 15-30 mm. Stropní konstrukce jsou původní dřevěné trámové, na kterých je provedena skladba podlahy. Nášlapné vrstvy podlah byly v průběhu užívání objektu vyměněny. V prvním nadzemním podlaží je použita novodobá keramická dlažba o rozměru 100/100 mm.

5.1.2.3 Využití objektu

Budova nebyla v době odběru vzorků využívána. Probíhaly zde dílčí stavební úpravy k zamezení příčin, které způsobily porušení nosných konstrukcí objektu. Na objektu dále probíhaly běžné udržovací práce.





5.1.2.4 Významné poruchy konstrukcí

V době odebírání vzorků z objektu Starého opatství byly dřevěné prvky krovové konstrukce porušeny zatékáním dešťové vody střešním pláštěm. Voda způsobila napadení krovu dřevokaznými houbami, částečné porušení dřevěných prvků stropu nad 3. a 2. nadzemním podlažím a v neposlední řadě porušení omítek v okolí těchto prvků. V přízemí byla omítky a zdivo mokré a rozrušené působením vlhkosti vztlínající ze spodní stavby.

5.1.2.5 Fotodokumentace sond odebraných vzorků

Po zkušenosti z předchozí stavby bylo mou snahou nalézt vícepodlažní lokalitu, kde by bylo možné odebrat vzorky omítek a dřevěných prvků, které by byly umístěny do sloupce po celé výšce objektu. V opatství jsem proto zvolila místo v těsné blízkosti schodišťového prostoru, který byl v každém podlaží dobře přístupný a u kterého bylo znatelné poškození zdiva a dřevěných prvků.

Tabulka 11: Fotodokumentace Staré opatství, Plasy + popis stavu

Ozn.	Fotografie	Popis
1		Fotografie zachycuje přechod stropní konstrukce a obvodové stěny ve třetím nadzemním podlaží, kde byl odebrán vzorek cihelného zdiva s omítkou v návaznosti na dřevěný prvek. Strop byl podepřen dřevěnou podpůrnou konstrukcí, protože zatékající dešťová voda spolu s biologickou degradací způsobila jeho výrazné statické porušení.
2		Následující vzorek cihelného zdiva byl odebrán ve shodném půdorysném umístění jako předchozí, avšak v úrovni podlahy 3.NP. Obvodové zdivo bylo v této úrovni bez výrazného poškození.
3K		Kontrolní sonda byla ve 3.NP provedena ve vedlejší místnosti schodišťového prostoru v úrovni podlahové konstrukce, kde nedocházelo k zatékání vody do konstrukce a zdivo bylo bez viditelného poškození. Odběr omítkového a dřevěného vzorku.
4		Tato sonda byla provedena v úrovni stropní konstrukce 3.NP a obsahuje dřevěný a omítkový vzorek z místa, který přímo sousedí s barokní freskou hlavního schodiště prelatury.
5		Místo odběru shodné se vzorkem č. 4, avšak v úrovni podlahové konstrukce. Jedná se pouze o vzorek omítky.

<p>6 7 8</p>		<p>Tato místa odběru byla zvolena ve druhém nadzemním podlaží v místě schodiště. Půdorysné umístění sond bylo shodné s odběrnými místy č. 1 a 2. Zdivo bylo bez viditelného poškození.</p> <p>Vzorek č. 6 ve výšce +0,50 m nad podlahou.</p> <p>Vzorek č. 7 v úrovni podlahové konstrukce.</p> <p>Vzorek č. 8 ve výšce +1,50 m nad podlahou.</p> <p>Nášlapná vrstva podlahy tvořila novodobá keramická dlažba.</p>
<p>9 10K</p>		<p>Vzorky omítek byly odebrány v místnosti sousedící se schodišťovým prostorem ve 2.NP.</p> <p>Vzorek č. 9 v úrovni podlahové konstrukce, kde nášlapnou vrstvu tvořilo souvrství 2x povlaková krytina + lino. Zdivo bylo mírně vlhké a byla zde cítit vůně hub.</p> <p>Kontrolní vzorek č. 10K odebrán ve výšce +1,50 m nad podlahou. Omítka byla bez zjevného poškození.</p>
<p>11</p>		<p>Omítka s částí cihly byla vyjmuta ve výšce +1,80 m nad podlahovou konstrukcí prvního podlaží při dodržení hlavního půdorysného umístění.</p> <p>V 1.NP bylo obvodové zdivo vlhké. Omítka i cihly byly drobné, značně rozrušené.</p> <p>Zelené zbarvení významných částí zdiva naznačuje přítomnost sinic a řas (chlorela).</p>
<p>12</p>		<p>Omítka byla odebrána v místě přechodu podlahové konstrukce a obvodové stěny 1.NP ($\pm 0,000$). Půdorysně shodné umístění se vzorkem č. 11.</p> <p>V 1.NP bylo obvodové zdivo vlhké. Omítka i cihly byly drobné, značně rozrušené.</p> <p>Zelené zbarvení významných částí zdiva naznačuje přítomnost sinic a řas (chlorela).</p>

13 K	Kontrolní vzorek v úrovni +0,30 m v 1.NP byl odebrán ze sousední místnosti schodišťového prostoru, kde nebylo patrné porušení zdiva a omítek.
------	---

5.1.2.6 Výsledky měření

Následující výsledky byly změřeny pod vedením odborných pracovníků v certifikované chemické a mikrobiologické laboratoři katedry Konstrukcí pozemních staveb akreditované ČIA pod č. 1048.

Sondy byly na stavbě odebrány dne 4. 5. 2010 za dozoru pracovníka NPÚ. Dřevěné a omítkové vzorky byly jednotlivě uloženy do uzavíratelných mikrotenových sáčků a poté uloženy do mrazicího boxu za dodržení interních předpisů Laboratoře K124 až do dne provedení měření vlhkosti a stanovení salinity zkušebních vzorků.

Pro stanovení vlhkosti jednotlivých vzorků jsem zvolila gravimetrickou metodu, která odpovídá platným normám (ČSN EN 1097-5 [79], ČSN EN 772-10 [80]). Tato laboratorní metoda patří k nejspolehlivějším postupům, při kterém se vlhkost zjišťuje vážením vlhkého zkušebního vzorku a vzorku vysušeného do ustálené hmotnosti. Odebrané vzorky byly vysušeny v horkovzdušné sušárně při teplotě 105 ± 5 °C do ustáleného hmotnostního stavu dle ČSN EN 772-10 [80] v platném znění. Vztah mezi hmotnostmi pro výpočet vlhkosti je vyjádřen níže viz (5.1-1).

$$w_s = \frac{(m_{o,s} - m_{dry,s})}{m_{dry,s}} \cdot 100 \quad (5.1-1)$$

Kde je w_s vlhkost vzorku [% hmotnosti];
 $m_{o,s}$ hmotnost vzorku před vysušením [g];
 $m_{dry,s}$ hmotnost vzorku po vysušení [g].

Stupeň vlhkosti zkušebních vzorků byl klasifikován dle ČSN P 73 0610 [76], příloha A v platném znění (viz kap. 7.2). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 12.

Hodnoty pH jednotlivých vzorků dřeva a omítek byly stanoveny pHmetrem Hamma Hi 9017 dle pokynů výrobce a dále bylo pro kontrolu a

v rámci osvojování základních dovedností laboratorní práce provedeno orientační stanovení pH univerzálním indikátorem podle Mercka. Výsledky byly vzájemně porovnány a shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 12: Základní parametry zkušebních vzorků (vlhkost, pH)							
Číslo vzorku	$m_{o,s}$ [g]	$m_{dry,s}$ [g]	w_s [%]	Stupeň vlhkosti	m [g]	pH omítka	pH dřevo
1	252,6	247,8	2	Velmi nízká	2,2	7	7
2	37,7	35,7	5,5	Zvýšená	2,2	7	4
3K	44,2	43,7	1	Velmi nízká	2	10	4
4	-	-	-	-	-	7,5	4
5	-	-	-	-	-	7,5	5
6	36,8	36,1	2	Velmi nízká	2,1	7,5	-
8	42,5	42	1	Velmi nízká	2,3	10	-
9	52,9	49,4	7	Zvýšená	2	8	-
10K	383,7	380,6	1	Velmi nízká	2,2	8	-
11	140,8	129,8	8,5	Vysoká	2,2	7	-
12	108,6	99,4	9,5	Vysoká	2,1	7	4,5
13K	76,1	75,3	1	Velmi nízká	2	7,5	-

Poznámky: $m_{o,s}$ [g] - hmotnost vzorku před vysušením, $m_{dry,s}$ [g] - hmotnost vzorku po vysušení, w_s [% hmotnosti] - vlhkost vzorku, m [g] - hmotnost navážky

Následně bylo provedeno kvantitativní stanovení obsahu vybraných aniontů a kationtů ve stavebním materiálu fotometrickou metodou na přístroji Spectroquant Pharo 300, MERCK za asistence proškoleného pracovníka laboratoře. Postup měření byl proveden shodně jako s předchozími vzorky z objektu č. 56. Pro rozборы byly odebrány navážky o hmotnosti cca 2,00 g, které byly umístěny do Erlenmeyerovy baňky a zality 100 ml destilované vody. Směs byla povařena a po dobu 10minut byla vystavena účinkům ultrazvuku. Poté se směs nechala louhovat po dobu 24 hodin. Následující den byla směs přefiltrována přes filtrační papír do připravené nádoby. Vodní výluhy byly dále podrobeny měřením určujícím míru salinity zdiva a stupeň zasolení maltových vzorků byl klasifikován podle ČSN 73 0610 [76], příloha B v platném znění (příloha 7.3). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 13 až 16.



Obr. 19: Fotografie z průběhu laboratorního měření v certifikované laboratoři ČVUT FSv K124 (ČIA č. 1048).

Tabulka 13: Stanovení obsahu chloridů ve vzorcích [mg/l; mg/g]

Číslo vzorku	Cl ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ 1:10 [mg/l]	Cl ⁻ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	2,5	-	0,11	Nízký
2	2,5	-	0,11	Nízký
3K	2,5	-	0,13	Nízký
6	2,5	-	0,12	Nízký
8	2,5	-	0,11	Nízký
9	3,6	-	0,18	Nízký
10K	2,5	-	0,11	Nízký
11	>25	6	2,73	Vysoký
12	2,5	-	0,12	Nízký
13K	2,5	-	0,13	Nízký

Tabulka 14: Stanovení obsahu dusičnanů ve vzorcích [mg/l; mg/g]

Číslo vzorku	NO ₃ [mg/l]	NO ₃ 1:10 [mg/l]	NO ₃ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	11,1	-	0,505	Nízký
2	9,3	-	0,423	Nízký
3K	11	-	0,550	Nízký
6	14,1	-	0,671	Nízký
8	11,7	-	0,509	Nízký
9	14,5	-	0,725	Nízký
10K	12,8	-	0,582	Nízký
11		36,5	16,591	Velmi vysoký
12	15,3	-	0,729	Nízký
13K	12	-	0,600	Nízký

Tabulka 15: Stanovení obsahu amoniaku ve vzorcích [mg/l; mg/g]				
Číslo vzorku	NH ₃ [mg/l]	NH ₃ 1:10 [mg/l]	NH ₃ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	0,05	-	0,002	-
2	0,22	-	0,010	-
3K	0,26	-	0,013	-
6	0,43	-	0,020	-
8	0,37	-	0,016	-
9	0,27	-	0,014	-
10K	0,43	-	0,020	-
11	0,19	-	0,009	-
12	0,24	-	0,011	-
13K	0,42	-	0,021	-

Poznámky: Obsah amoniaku NH₃ byl nižší než minimální hodnota 0,05mg/l.

Tabulka 16: Stanovení obsahu síranů ve vzorcích [mg/l; mg/g]				
Číslo vzorku	SO ₄ [mg/l]	SO ₄ 1:10 [mg/l]	SO ₄ výp. [mg/g]	Hodnocení
1	>300	200	90,91	Velmi vysoký
2	140	-	6,36	Zvýšený
3K	87	-	4,35	Nízký
6	>300	131	62,38	Velmi vysoký
8	88	-	3,83	Nízký
9	54	-	2,70	Nízký
10K	133	-	6,05	Zvýšený
11	>300	120	54,55	Velmi vysoký
12	>300	171	81,43	Velmi vysoký
13K	46	-	2,30	Nízký

Přítomnost hyf dřevokazných hub ve vybraných vzorcích byla, po dobarvení roztokem AgNO₃, mikroskopicky stanovena na epifluorescenčním mikroskopu Versamet Union 9666, (Japonsko). Identifikace hub uvedená v následujícím souhrnu byla provedena klíči podle M. K. Noblesové [4] s přihlédnutím k údajům A. Černého [81] a A. Příhody [21].

Tabulka 17: Identifikace dřevokazných hub a dřevokazného hmyzu na dřevěných vzorcích (Staré opatství, Plasy)

Číslo vzorku	Identifikace
1	dřevomorka domácí (1), trámovka plotní (3), outkovka zprohýbaná (3), tesařík krovový (2)
2	dřevomorka domácí (3), trámovka plotní (3), outkovka zprohýbaná (3), houževnatec šupinatý (1?)
3K	trámovka plotní (3), houževnatec šupinatý (1?)
4	koniofora sklepní (3?), outkovka zprohýbaná (3), červotoč proužkovaný (2), tesařík krovový
5	dřevomorka domácí (3), trámovka plotní (3), ceratostomella, červotoč proužkovaný (1), tesařík krovový
8	-
12	dřevomorka domácí (3!), trámovka plotní (2)

Poznámky: Stupeň napadení (1) ojedinělý, (2) slabý, (3) masivní.

Elementární složení vybraných vzorků omítek bylo stanoveno na rentgenovém spektrometru XGT – 1000 T Horiba (Japonsko) a výsledky měření vybraných chemických prvků jsou uvedeny v tabulce 18 pod textem. Grafický výstup analýzy a celkové elementární složení zkušebních vzorků je součástí přílohy č. 7.4 této zprávy.

Tabulka 18: Obsah vápníku, železa, draslíku a síry ve vzorcích omítek [%]

Číslo vzorku	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	S [%]
1	78,4	1,7	1,4	17,9
2	59,9	12,8	-	-
8	88,1	2,1	-	9,6
12	65,1	30,2	3,7	-

Poznámky:
Výstupní grafy spektrálních analýz měřených vzorků jsou uvedeny v příloze č. 7.4.

5.1.2.7 Závěry měření

Hodnoty pH omítkových vzorků se pohybují v souladu se zavlhčením a s přítomností dřevokazných hub v rozmezí 7 až 10. Nejvyšší hodnoty (pH = 10) byly stanoveny u vzorků s velmi nízkým stupněm vlhkosti a v případě vzorku č. 8 i bez prokázané přítomnosti dřevokazných škůdců. U druhého vzorku s vysokým pH bylo potvrzeno působení dřevokazné houby trámovky a také bylo určeno ojedinělé množství houževnatce. Nižší hodnoty pH omítek

v rozsahu 7 až 8 byly převážně u vzorků se zvýšeným až vysokým stupněm vlhkosti. Ve třech případech byl stupeň vlhkosti velmi nízký a pH bylo rovno hodnotám 7,5 a 8. V jednom případě bylo pH = 7 i při velmi nízkém stupni vlhkosti. Jednalo se o sondu, která byla odebrána ve 3 nadzemním podlaží v místě propadlé stropní konstrukce, které způsobilo masivní zatékání dešťové vody střešní konstrukcí. V témže místě měl také odebraný dřevěný vzorek, oproti předpokladu, vysokou hodnotu pH = 7. Pouze tento dřevěný vzorek vybočoval z hranic pH 4 až 5. Tyto hodnoty pH byly naměřeny u zbývajících dřevěných prvků. Výsledky jsou souhrnně zaznamenány v tabulce 12.

Klasifikace salinity zdiva byla provedena dle ČSN P 73 0610 [76] v platném znění, příloha B (viz příloha 7.3). Ze vzorků odebraných omítek byla po vyhodnocení fotometrickou metodou zjištěna nízká přítomnost chloridů a dusičnanů. Kromě vzorku č. 11, který byl odebrán v 1. nadzemním podlaží schodišťového prostoru v úrovni 1,8 m nad podlahovou konstrukcí. Tento vzorek obsahoval vysoký obsah chloridů a velmi vysoký obsah dusičnanů. Též množství síranů bylo v této sondě na velmi vysoké úrovni. Avšak sírany byly ve zvýšeném až velmi vysokém stupni zasolení obsaženy ve všech sondách odebraných ve schodišťovém prostoru vyjma omítkového vzorku č. 8 (2. NP v úrovni 1,5 m nad podlahou). V tomto případě byl stupeň zasolení omítky nízký. Zbývajcí sondy, umístěné mimo schodišťový prostor, měly obsah síranu nízký vyjma vzorku č. 10K, u kterého je hodnota obsahu soli na rozhraní nízkého a zvýšeného stupně zasolení. Zvýšený obsah síranů, který je zaznamenán zejména ve vzorcích omítek odebraných ve schodišťovém prostoru, může souviset se složením použitých omítek – s vyšším obsahem sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Po přezkoumání situace na místě odběru jsem zhodnotila jako možnou příčinu vybočujících výsledků u vzorku č. 11 vliv okolního terénu. V tomto místě je viditelné významné vzlínání vlhkosti do obvodového zdiva, které je v kontaktu s opěrnou zdí anglického dvorku. Podle pořízené fotografie z exteriéru (viz obr. 18) je zdivo poškozeno vzlínající vlhkostí a je zde viditelná přítomnost sinic a řas (chlorela), které byly též zaznamenány při

odběru zkušebních vzorků uvnitř objektu v 1. NP ve výšce 0,00-1,8 m. Jiné výrazné odchylky nebyly v průběhu laboratorní činnosti zaznamenány.

Na vzorcích dřeva a částečně i na vzorcích omítek odebraných z konstrukce stropu a podlah opatství kláštera v Plasích bylo nalezeno bohaté společenstvo dřevokazných hub a částečně i dřevokazného hmyzu. Převládala dřevomorka domácí, doprovázená ve většině případů trámovkou²⁷ plotní nebo outkovkou²⁸ zprohýbanou. Při mikroskopických rozborech nebylo možné vyloučit ani přítomnost mycelia houževnatce²⁹ šupinatého. Ze společenstva dřevokazného hmyzu byly místy nalezeny výletové otvory tesaříka³⁰ krovového a červotoče³¹ proužkovaného [82]. Výsledky mykologického průzkumu jsou přehledně vypsány v tabulce 17.

Napadení dřevěných vzorků dřevokaznými houbami odpovídá také pH vzorků, které se pohybuje v rozmezí 4 až 5. Pouze u vzorku č. 1 hodnota pH vybočila a dosáhla úrovně 7.

Uvedeným skutečností odpovídá do jisté míry i obsah vápníku, železa, draslíku a síry v omítce opatství, viz tabulka 18. Koncentrace vápníku byla v souladu s [1] nejvyšší u vzorku omítky v úrovni 2.NP, 1,50 m nad podlahovou konstrukcí (vzorek č. 8). Zde nebyly zaznamenány žádné poruchy ani výskyt dřevokazných hub. Naopak nejnižší koncentraci vápníku (pojivo) a vysoká koncentrace železa byla nalezena okolo propadlé podlahy (vzorek č. 2). To může souviset s transportními procesy prvků myceliem dřevokazných hub a zvyšováním Ca^{2+} a Fe^{2+} v jejich hyfách. Přítomnost iontu síry (viz tabulka 18) může souviset s přítomností síranů (viz tabulka 16) ve stěně objektu (např. výskyt sádrovce v kamenivu). Rovněž transport iontů železa ve formě šťavelanů může být podobné provenience. Nelze ovšem opominout ani existenci malířských hlinek, jejichž stopy byly na vzorcích omítek nalezeny a také složení odebraných omítek. Není proto vyloučeno, že uvedené anomálie jsou způsobeny právě jejich přítomností.

²⁷ *Gloeophyllum sepiarium*

²⁸ *Antrodia sinnuosa*

²⁹ *Lentinus lepideus*

³⁰ *Hylotrupes bajulus*

³¹ *Dendrobium striatum*

Z porovnání pH porůstaných omítek v těsné blízkosti napadeného dřeva vyplývá, že pH omítek je u destruovaného dřeva výrazně nižší a pohybuje se v okolí 7, zatímco pH nenapadených omítek odebraných poblíž napadených vzorků je 9 až 10. To odpovídá i výsledkům uvedeným v publikaci [81] podle které bylo pH negativní kontroly podstatně vyšší než pH napadeného dřeva [82].

Současně byla ve vzorcích dřeva i omítek prokázána stopová přítomnost kyseliny šťavelové, která byla stanovena pouze orientačně a kvalitativně pomocí infračerveného spektrometru PE Paragan 1000 Pc-GE-ATR [82].

5.1.3 Diskuze výsledků – 1. fáze experimentálního výzkumu

Výsledky uvedené v předchozích kapitolách (5.1.1 a 5.1.2) nasměrovaly mou práci dalším konkrétnějším směrem. Z měření, která jsem provedla na maltových a dřevěných vzorcích odebraných z reálných staveb, vzešla řada nejasně zodpovězených otázek. Zejména vliv chemického složení zkoušených omítek, jejich stáří, vliv vlhkosti, doby karbonatace omítek, provozního využití objektů a podobně. Dalšími faktory je pak vliv biologických škůdců, které také mění vlastnosti osídlovaného materiálu. Na zkoumaných dřevěných vzorcích byla mikroskopickými rozbory potvrzena vždy skupina dřevokazných škůdců (viz tabulka 17). Vyvstává tak otázka, jak se tyto biodeteriogeny vzájemně ovlivňují a jak tato společenstva posléze ovlivňují vlastnosti samotné omítky.

U objektu č. 56 již výsledky určování salinity omítkových vzorků ukázaly, že se pravděpodobně na vlastnostech použitých materiálů významně podepsalo využití objektu v průběhu jeho životnosti (závodní kuchyně, sklady potravin, autodílna). Na výsledcích se také patrně podepsal vliv původního využití areálu Škodových závodů, ve kterém byly situovány stavby a příslušenství pro strojírenský průmysl (oleje, nafta apod.). To vedlo ke kontaminaci podloží, která se patrně projevila vysokým obsahem síranů ve zkoumaných vzorcích omítek odebraných v objektu č. 56, do kterých byly pravděpodobně transportovány vzlínající vlhkostí podzemní vody.

Popis dalších biodeteriogenů stavebních materiálů a poznatky o výskytu solí a jejich účincích na stavební konstrukce jsou podrobněji popsány v přílohách č. 7.5 a 7.6.

Abych konkretizovala vstupní podmínky zkoumaných vzorků, rozhodla jsem se další experimenty realizovat na laboratorně vyrobených maltových vzorcích se známým materiálovým složením v kombinaci s využitím nových měřících metod.

5.2 2. fáze experimentálního výzkumu

V této části výzkumu jsem se zaměřila na získávání výsledků měření, kterým byly podrobeny převážně zkušební vzorky vyrobené v laboratorních podmínkách. Materiálové charakteristiky zkušebních vzorků budou popsány v dalších kapitolách (č. 5.2.2 a 5.2.3), avšak nutno poznamenat, že se v této části výzkumu mé předpoklady o průběhu jednotlivých experimentů a jejich výsledků měnily a průběžně upravovaly dle skutečně naměřených hodnot.

Finálně použité materiály, způsob kultivace dřevokazné houby, odběr měřených vzorků, zvolená měřící technika atd. budou popsány níže vždy v úvodu kapitoly pro jednotlivé měřené sady.

5.2.1 Specifikace použitých materiálů pro výrobu laboratorních maltových vzorků, provedené zkoušky čerstvé a zatvrdlé malty, postupy

Pro výrobu zkušebních tělísek v laboratoři jsem zvolila vápennou maltu (základní poznatky viz kap. č. 7.7). Významným důvodem pro výběr tohoto materiálu bylo, že se do 20. let minulého století jednalo o nejrozšířenější materiál pro zdění a vnitřní a vnější omítky staveb.

Jako pojivo byla použita vápenná kaše ze vzdušného vápna AQUA LIME PUTTY (výrobce AQUA obnova staveb s.r.o.) o objemové hmotnosti 1,45 kg/m³ a pH 13. Technický list materiálu viz příloha č. 7.8 této zprávy. Pro výrobu vzorků bylo dále použito kamenivo z lokality Straškov frakce 0-4 mm. Kamenivo bylo suché a bylo skladováno při pokojové teplotě v pytlích umístěných v technických laboratořích. Součástí příloh této práce je protokol

o přehledu ročních zkoušek uvedeného kameniva (kap. č. 7.9). Jako záměsová voda byla použita voda pitná, vlažná, z vodovodního řadu. Maltové vzorky byly vyrobeny bez přidání příměsí a přísad.

Vápenná malta pro zkušební vzorky o rozměru 20x20x100 mm byla vyrobena v objemovém poměru složek vápenná kaše:kamenivo 1:3 [83]. Přesné poměry jsou uvedeny dále v textu. Příprava malty a následná výroba zkušebních vzorků byla prováděna uvnitř objektu v technické laboratoři při teplotě 20 °C.

Příprava malty pro výrobu zkušebních vzorků proběhla ve dvou termínech (ozn. SADA 1, SADA 2, tj. celkem 2x30 ks). Výše specifikované materiály určené pro přípravu malty byly míchány v laboratorní automatické míchačce dle pokynů výrobce. Před samotnou výrobou laboratorních maltových vzorků (trámečků 20x20x100 mm) byla provedena zkouška konzistence čerstvé malty (s použitím střešovacího stolku) dle předpisu uvedeného v ČSN EN 1015-3 [84] v platném znění a stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě dle ČSN EN 1015-7 [85] v platném znění (tlaková metoda). Postupy výše uvedených zkoušek čerstvé malty jsou uvedeny v přílohách č. 7.10 a 7.11.

Poté následovala samotná výroba zkušebních tělísek o velikosti 20x20x100 mm do připravených forem, přičemž každá z pěti forem umožňuje výrobu 6 ks zkušebních trámečků. Při výrobě byly zaznamenávány hmotnosti forem a hmotnosti forem naplněné čerstvou maltou. Objem malty byl stanoven výpočtem dle přesně daných rozměrů zkušebních vzorků a hmotnost čerstvé malty byla určena jednoduchým výpočtem. Z těchto hodnot byla dále vypočtena objemová hmotnost čerstvé malty v souladu s ČSN EN 1015-6 [86] v platném znění. Naměřené hmotnosti a dílčí vypočtené výsledné hodnoty zkušebních sad jsou uvedeny v příloze č. 7.12 v závěru této zprávy.

Dále byla zkušební tělíska ve formách uložena po dobu 6 dnů ve vlhku (v polyethylenovém pytli), poté byla tělíska odformována a následující den byla přenesena k vyžrání do klimatizované místnosti při teplotě 20 ± 3 °C a relativní vlhkosti vzduchu 60 ± 5 % na dobu 30 dní.

Z obou zkušebních sad (SADA 1 a 2) bylo odebráno pět zkušebních těles, které byly vedeny jako tzv. referenční vzorky (dále značeny jako R1 - R10). Tyto vzorky byly určeny pro kontrolu základních materiálových charakteristik bez vlivu biotických škůdců. Vyvrálé referenční maltové vzorky byly zváženy a byla na nich provedena zkouška pevnosti v tahu za ohybu dle ČSN EN 1015-11 [87] v platném znění. Výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce 19, viz kapitola č. 5.2.2.1. Postup zkoušky a použité vzorce jsou uvedeny v příloze č. 7.13 v závěru textu.



Obr. 20: Postup výroby maltových zkušebních tělísek

5.2.1.1 Výsledné průměrné hodnoty zkoušek čerstvé malty – SADA 1³²

Celkové množství použitého materiálu pro přípravu malty:

Kamenivo:	2793,77 g
Vápenná kaše:	836,64 g
Voda:	189,27 g

³² Ozn. SADA 1, popř. SADA 2, vyjadřuje celkem 5 samostatných forem pro výrobu maltových trámečků, přičemž z jedné formy lze vyrobit 6 vzorků. Celkový počet vzorků v jedné sadě je 30.

Konzistence čerstvé malty (dle ČSN EN 1015-3):	14 cm
Obsah vzduchu v čerstvé maltě (dle ČSN EN 1015-7):	4,9 %
Objemová hmotnost čerstvé malty (dle ČSN EN 1015-6):	2080 kg/m ³

5.2.1.2 Výsledné průměrné hodnoty zkoušek čerstvé malty – SADA 2

Celkové množství použitého materiálu pro přípravu malty:

Kamenivo:	2794,01 g
Vápenná kaše:	837,05 g
Voda:	212,66 g

Konzistence čerstvé malty (dle ČSN EN 1015-3):	13,5 cm
Obsah vzduchu v čerstvé maltě (dle ČSN EN 1015-7):	4,3 %
Objemová hmotnost čerstvé malty (dle ČSN EN 1015-6):	2070 kg/m ³

5.2.2 Materiálové charakteristiky – referenční vzorky

V dalších podkapitolách budou uvedeny hodnoty pevnosti a pH referenčních vzorků pro SADU 1 a 2.

5.2.2.1 Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu – referenční vzorky

Z obou zkušebních sad bylo před uložením tělísek do kultivačních boxů k porostu mycelia dřevomorky domácí odebráno 5 trámečků, které nebyly infikovány dřevokaznými houbami, jednalo se o tzv. referenční vzorky (dále ozn. jako R1 až R5 pro SADU 1 a R6 až R10 pro SADU 2) určené pro kontrolu základních materiálových charakteristik bez vlivu biotických škůdců. Výsledky pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu referenčních vzorků jsou uvedeny v následující tabulce č. 19.

Tabulka 19: Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu – referenční vzorky							
Číslo sady	Ozn. vzorku	m_0 [g]	m_E [g]	$(m_E - m_0)$ [g]	d_m [g]	F_{max} [N]	R_{tr} [MPa]
SADA 1	R1	72,267	72,184	-0,083	-0,1	46,45	0,71
	R2	71,956	71,653	-0,303			
	R3	71,884	71,902	0,018			
	R4	72,961	72,773	-0,188			
	R5	72,246	72,301	0,055			
SADA 2	R6	72,692	72,765	0,073	-0,021	45,26	0,69
	R7	72,357	72,339	-0,018			
	R8	73,524	73,149	-0,375			
	R9	72,109	72,347	0,238			
	R10	<i>poškozen při manipulaci</i>					
Poznámky: Hmotnosti uvedené v tabulce byly měřeny po kondicionování zkušebních těles do ustálené hodnoty při stabilní teplotě $T = 23\text{ °C}$ a vlhkosti $u = 65\%$.							

5.2.2.2 Stanovení karbonatace a pH – referenční vzorky



Obr. 21:
Karbonatace
maltového
vzorku R1

S využitím fenolftaleinového indikátoru byl prokázán postup karbonatace na vyzrálých maltových vzorcích. Indikátor byl nanesen na lomové plochy vzorků vápenných malt o rozměru 20x20 mm. Nezměněná barevnost lomové plochy ukázala, že karbonatace vápenných vzorků byla v době probíhajících měření pokročilá. Postup karbonatace vápenného pojiva je doprovázen i poklesem alkality pojiva (tj. poklesem pH) [88].

V průběhu laboratorních měření bylo stanoveno pH referenčních vzorků univerzálním indikátorem podle Mercka. Hodnoty pH byly stanoveny v rozmezí 9-10. Jako kontrolní měření byla odečtena hodnota pH destilované vody na úrovni cca 7,0.

5.2.3 Materiálové charakteristiky – infikované vzorky

V následujících podkapitolách je popsána kultura použité dřevokazné houby a postup vzorkování zkušebních tělísek. Dále jsou uvedeny hodnoty pevnosti a pH měřených vzorků pro SADU 1 a 2.

5.2.3.1 Kultura dřevomorky domácí

Pro vystavení zkušebních maltových těles působení dřevokazné houby byly připraveny kultivační nádoby o půdorysu 210x140 mm a výšce 60 mm. Na dno sterilních boxů byla připravena 10 mm vysoká vrstva gelové živné půdy Malt Extract Agar Base (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia, technický list viz příloha č. 7.14, a na ni byla inokulovaná čistá kultura dřevomorky domácí. Boxy byly uloženy do klimatické komory se stabilními podmínkami o teplotě $23,5 \pm 2,5$ °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %. Zde byly ponechány po dobu 14 dnů. Během této doby porost mycelia dřevomorky domácí pokryl souvislou vrstvou celé dno nádoby.



Obr. 22: Maltové trámečky po vystavení působení dřevomorky domácí

5.2.3.2 Postup vzorkování zkušebních těles dřevomorkou domácí

Po vyžrání byla maltová zkušební tělíska zvážena a vložena do kultivačních boxů s porostem dřevomorky domácí. Tělíska byla položena spodní stranou (spodní strana při výrobě ve formě) přímo na mycelium dřevokazné houby. Do kultivačních boxů byla uložena v setech po pěti kusech tak, aby se vzájemně nedotýkala a byla mezi nimi mezera minimálně 15 mm.

Boxy se zkušebními tělísky byly opět vloženy do klimatické komory se stabilními podmínkami o teplotě $23,5 \pm 2,5$ °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %. Zde byly ponechány po dobu 14, 28, 42 a 56 dnů.

Po uplynutí stanovené doby byla zkušební tělesa z kultivačních boxů vyjmuta, lehce mechanicky očištěna od porostu mycelia a v klimatickém

boxu kondicionována při teplotě 20 ± 3 °C a relativní vlhkostí vzduchu 65 ± 5 % po dobu 10 dní.

Zkušební tělesa byla poté opět zvážena a byla na nich provedena mechanická zkouška pevnosti v tahu za ohybu (viz kap. 5.2.3.4).

5.2.3.3 Průběh růstu mycelia na maltových vzorcích

Po vložení maltových tělísek do kultivačních boxů nastal v první fázi (cca 7-21 dní) spíše útlum růstu dřevomorky domácí. Mycelium dřevomorky domácí vložené vzorky příliš neporůstalo, růst byl spíše sporadický.

V druhé, aktivnější fázi (cca 14-49 dní) se postup dřevomorky domácí zvýšil. Mycelium porostlo vzorky po celém povrchu tělísek.

Ve třetí fázi experimentu (42-56 dní) došlo ve většině kultivačních boxů ke stagnaci nebo i útlumu růstu houby. V několika kultivačních boxech došlo v této fázi experimentu i k růstu dalších cizorodých mikroorganismů (především plísní).

5.2.3.4 Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu – infikované vzorky

Výsledky měření provedených na vzorcích, vystavených působení dřevomorky domácí jsou shrnuty v tabulce 20 uvedené dále v textu. Výpočty byly provedeny dle ČSN EN 1015-11 [87] v platném znění.

5.2.3.5 Stanovení pH – infikované vzorky

V rámci prováděných měření byla pomocí univerzálního indikátoru podle Mercka stanovena úroveň pH vzorků vystavených působení dřevomorky domácí v rozsahu hodnot 9-10. Jako kontrolní měření byla i v tomto případě odečtena hodnota pH destilované vody ve výši cca 7,0.

Tabulka 20: Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu - infikované vzorky vystavené působení dřevomorky domácí							
Doba expozice	Ozn. vzorku	m_0 [g]	m_E [g]	$(m_E - m_0)$ [g]	d_m [g]	F_{max} [N]	R_{tr} [MPa]
14 dní	SA1	72,532	72,798	0,266	0,211	79,074	1,22
	SA2	71,247	71,465	0,218			
	SA3	71,842	72,156	0,314			
	SA4	72,838	72,821	-0,017			
	SA5	72,419	72,694	0,275			
28 dní	SB1	72,997	73,661	0,664	0,096	56,232	0,88
	SB2	72,674	72,058	-0,616			
	SB3	72,995	73,245	0,25			
	SB4	70,905	71,211	0,306			
	SB5	71,579	71,456	-0,123			
42 dní	SC1	72,495	72,567	0,072	0,099	79,978	1,22
	SC2	71,962	72,15	0,188			
	SC3	71,841	72,356	0,515			
	SC4	70,944	71,056	0,112			
	SC5	71,374	70,983	-0,391			
56 dní	SD1	72,453	71,968	-0,485	0,27	72,7	1,09
	SD2	72,319	72,642	0,323			
	SD3	72,857	72,525	-0,332			
	SD4	70,767	70,823	0,056			
	SD5	71,257	71,831	0,574			

Poznámky: Hmotnosti uvedené v tabulce byly měřeny po kondicionování zkušebních těles do ustálené váhy při stabilní teplotě $T = 23\text{ °C}$ a vlhkosti $w = 65\%$.

5.2.3.6 Zhodnocení výsledků

Hodnoty pH, pevnost v tahu za ohybu – referenční vzorky a infikované vzorky vystavené působení dřevomorky domácí

Hodnoty pH zkoušených vzorků byly v obou případech shodné. Naměřeny byly v rozsahu 9-10 u referenčních vzorků i u trámečků vystavených působení biodeteriogenu.

Přímá souvislost vlivu dřevomorky domácí na pevnost zkoušených maltových tělísek v tahu za ohybu nebyla během měření provedených v rámci mého experimentu prokázána. Z výsledků experimentu uvedených v tabulkách č. 19 a 20 je patrný nárůst hodnoty pevnosti v tahu za ohybu u vzorků vystavených působení mikroorganismu oproti sadě referenčních vzorků. Vzhledem k hodnotám se pravděpodobně jedná o odchylku, která

může být při měření ovlivněna polohou zrn kameniva, jejich shlukem apod. Nárůst pevnosti není relevantní, a proto nebude dále tato veličina při dalších měřeních sledována.

5.2.4 X-ray fluorescenční spektroskopie (XRF³³)

První metodu, kterou jsem využila pro stanovení procentuálního zastoupení oxidů ve zkoušených maltových vzorcích, byla X-ray fluorescenční spektroskopie (dále jen XRF).

Při volbě této metody jsem vycházela z předpokladu, že dřevomorka domácí spotřebovává vápník a mechanickým očištěním mycelia dřevokazné houby ze vzorku odstráním i spotřebovaný vápník, který houba využila při svém metabolismu a to se ve výsledném srovnání (R1 × SD1) projeví rozdílným obsahem oxidu Ca.

Tato zkouška byla provedena odborným pracovníkem na oddělení materiálového výzkumu ÚTAM³⁴ AV ČR, v. v. i.

5.2.4.1 Příprava měření XRF

Pro měření prvkového složení uvedenou metodou byly vybrány dva reprezentativní maltové vzorky, které byly vyrobeny v laboratoři. První vzorek byl trámeček referenční vápenné malty označený jako R1. Jedná se o trámeček, který nebyl vystaven působení dřevokazné houby. Pro srovnání výsledných hodnot měření byl jako druhý zkušební vzorek vybrán maltový trámeček SD1, který byl vystaven působení dřevomorky domácí v laboratorních podmínkách po dobu 56 dní. V tomto případě se jedná o vzorek porostlý myceliem dřevomorky domácí dle kap. 5.2.3.2 a 5.2.3.3. Vzorek SD1 opticky vykazoval nejvýraznější postup dřevokazné houby na jeho povrchu.

³³ Angl. X-ray fluorescence.

³⁴ Ústav teoretické a aplikované mechaniky Akademie věd České republiky, v. v. i.

U referenčního vzorku R1 byl z celého trámečku uražen kus, který měl hmotnost přibližně 5 g. Tato část vzorku se podrtila v třecí misce a dále byla rozemleta nejemno v hmoždířovém mlýně. Z výsledného prášku byly odebrány 2 g, ke kterým byly přidány 4 g H_3BO_3 . Z tohoto množství byla vyrobena tableta pro měření.

Postup přípravy tablety z maltového vzorku SD1 byl obdobný. Pouze s tím rozdílem, že byl povrch trámečku mechanicky (kartáčkem) očištěn od zbytků mycelia dřevomorky domácí.

Po rozemletí maltových trámečků měřených vzorků (ozn. SD1 a R1) v hmoždířovém mlýně RM 200 (Retsch) z nich byly ve směsi s H_3BO_3 (kyselina boritá) vylišovány tablety. Jejich prvkové složení bylo stanoveno na analytickém přístroji EDXRF X-Supreme 8000 (Oxford Instruments), který provedl odborně vyškolený pracovník laboratoře.

5.2.4.2 Výsledky XRF

Výsledky měření stanovení elementárního složení pomocí rentgenofluorescenčního spektrometru jsou přehledně uvedeny v tabulce 21 pod textem.

Tabulka 21: Výsledky XRF v [hm. %]		
[hm.%]	R1	SD1
<i>MgO</i>	0,6	0,6
<i>Al₂O₃</i>	6,7	4,6
<i>SiO₂</i>	46,0	46,7
<i>SO₃</i>	0,6	0,8
<i>K₂O</i>	2,8	3,1
<i>CaO</i>	38,5	38,8
<i>Fe₂O₃</i>	3,9	4,5
<i>Ostatní</i>	0,9	0,9
Σ	100	100

Poznámky: R1 - referenční vzorek, SD1 - maltový vzorek infikovaný dřevomorkou domácí.

5.2.4.3 Závěr XRF

Mezi výsledky referenčního vzorku R1 a vzorku malty SD1 není patrný žádný výrazný rozdíl. Uvedené změny se jeví pouze jako přirozená odchylka, které se během měření malých vzorků nelze zcela vyhnout. Rozdíl cca 2 hm.% u Al_2O_3 je pravděpodobně způsoben složením kameniva použitých částí maltových trámeček pro toto měření. U takto malých vzorků nemusí být změřené složení zcela reprezentativní a z tohoto důvodu jsem tuto metodu opustila.

5.2.5 Termická analýza

Po prozatímním zhodnocení dosažených výstupů z vlastní experimentální činnosti a na základě informací získaných z odborné zahraniční literatury, jsem po konzultaci s pracovníky AV ČR, v. v. i. přistoupila k nové experimentální metodě popisující změny fyzikálně chemických vlastností sledovaného materiálu v závislosti na čase a teplotě – termické analýze.

Mezi nejpoužívanější metody termické analýzy patří termogravimetrická metoda (TG), při které se sleduje změna hmotnosti vzorku jako funkce klesající nebo stoupající teploty. Princip této metody spočívá v plynulém nebo v pravidelně opakovaném měření hmotnosti vzorku, který je ohříván [89]. Výsledkem je termogravimetrická křivka, která znázorňuje závislost hmotnosti na teplotě nebo na čase a lze z ní odečíst teploty hmotnostních změn. Odvozenou metodou je derivační termogravimetrie (DTG), kde výsledná křivka uvádí rychlost hmotnostní změny na teplotě. Ta se používá, pokud změny hmotnosti neposkytují zřetelnou změnu. Je vhodná k odlišení těsně po sobě jdoucích efektů [90].

Termická analýza zkušebních vzorků byla provedena na přístroji SDT Q600 firmy TA INSTRUMENTS v rozmezí teplot 25-1000 °C pod odborným vedením pracovnice oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Mgr. Dity Frankeové. Použitý přístroj umožňuje simultánní záznam signálu TG (červená – úbytek hmotnosti) a DTG (modrá – derivace úbytku hmotnosti).

Na analýzy bylo do keramických kelímků navažováno 10-30 mg prosátého maltového vzorku, rozetřeného přes standardizované síto o velikosti 0,063 mm, za účelem oddělení kameniva od pojiva a zpřesnění výsledků. Případně bylo množství vzorku upraveno dle aktuálních možností (zejména v případech tepelného rozkladu biologických vzorků). Pyrolýza probíhala v dusíkové atmosféře rychlostí ohřevu 20 °C za minutu.

5.2.5.1 Srovnávací měření TA

Srovnávací měření bylo na přístroji SDT Q600 provedeno pomocí rozkladu šťavelanu vápenatého, jehož výstup je uveden na grafu 1 níže pod textem.

Šťavelan vápenatý je výsledkem reakce kyseliny šťavelové ($C_2H_2O_4$) s materiálem obsahující vápník.

Funkční vzorec $Ca(COO)_2$

Sumární vzorec CaC_2O_4

V přírodě se vyskytuje v podobě tří minerálů:

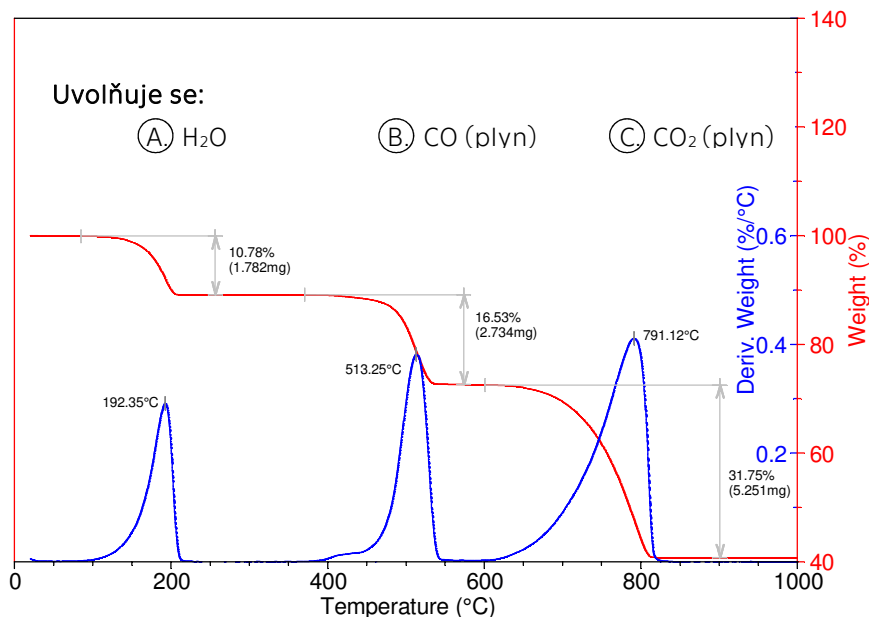
Whewellit (monohydrát) $CaC_2O_4 \cdot H_2O$

Weddellit (dihydrát) $CaC_2O_4 \cdot 2 H_2O$

Caoxit (trihydrát) $CaC_2O_4 \cdot 3 H_2O$

První z nich je v přírodě nejrozšířenější, vyskytuje se v řadě organismů zejména rostlin, ale i např. doprovází uhelné sloje.

Sample: Calcium Oxalate in Nitrogen



Graf 1: DTG křivka šťavelanu vápenatého CaC₂O₄ (Calcium oxalate)

TG i DTG křivka zaznamenaná na grafu 1 uvádí termický rozklad minerálu whewellit ve třech dílčích krocích (A, B, C), které jsou od sebe vzájemně odděleny platy. Ta odpovídají termicky stabilním fázím. Tepelný rozklad začíná při teplotě 100 °C. Od tohoto bodu začíná dehydratace CaC₂O₄ · H₂O, uvolňuje se krystalově vázaná voda. Tato fáze je ukončena při 205 °C. V následujícím úseku až do teploty 380 °C je vzniklý bezvodý CaC₂O₄ teplotně stabilní. Mezi teplotami 380-545 °C pak dochází k uvolňování CO za vzniku CaCO₃. Do teploty 605 °C je pak vzniklý uhličitán vápenatý teplotně stabilní. Za tímto bodem pak probíhá jeho termický rozklad na oxid vápenatý a uvolňuje se oxid uhličitý. Tento rozklad je ukončen při teplotě 825 °C.

Jednotlivé kroky rozkladu jsou níže stechiometricky popsány rovnicemi s uvedením teoretických i experimentálně stanovených hmotnostních úbytků (experimentální data viz graf 1).

		teoretický [%]	experiment. [%]	
A:	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$	$\Delta m_A = 12,3$	10,8	(5.2-1a)
B:	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}$	$\Delta m_B = 21,9$	16,5	(5.2-2a)
C:	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	$\Delta m_C = 44,0$	31,8	(5.2-3a)

Vzhledem k tomu, že experimentálně naměřené hmotnostní úbytky zachovávají shodný trend s teoretickými, ale nedosahují jejich hodnot, lze usuzovat, že analyzovaný šťavelan vápenatý není čistým monohydrátem, ale spíše směsí monohydrátu a bezvodého šťavelanu vápenatého, nebo/a schéma rozkladu šťavelanu (A, B, C) nevystihuje zcela průběh rozkladného děje a je pouze teoretické.

Šťavelan vápenatý vedle nejčastější formy monohydrátu existuje v méně běžné formě s dvěma molekulami vody jako tzv. dihydrát šťavelanu vápenatého nebo velmi vzácně s třemi molekulami vody, tzv. trihydrát šťavelanu vápenatého. Při termické analýze dochází k následujícím analogickým procesům jako v předchozím případě:

		teoretický [%]	
A:	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$\Delta m_A = 22,0$	(5.2-4b)
B:	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}$	$\Delta m_B = 21,9$	(5.2-5b)
C:	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	$\Delta m_C = 44,0$	(5.2-6b)

Nebo pro případ trihydrátu:

		teoretický [%]	
A:	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$	$\Delta m_A = 29,7$	(5.2-7c)
B:	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}$	$\Delta m_B = 21,9$	(5.2-8c)
C:	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	$\Delta m_C = 44,0$	(5.2-9c)

Z porovnání Δm_A a Δm_B v jednotlivých případech pak lze usuzovat na analyzovanou formu šťavelanu vápenatého. U monohydrátu je Δm_A přibližně poloviční než Δm_B , kdežto u dihydrátu šťavelanu vápenatého je úbytek Δm_A přibližně roven Δm_B . Pro trihydrát nabývá Δm_A hodnoty přibližně o polovinu větší než Δm_B . Směs šťavelanů pak nabývá hodnot v tomto intervalu.

5.2.5.2 Termická analýza – SADA 1

První sada měření obsahovala tři odlišné maltové vzorky, jejichž charakteristiky jsou popsány níže v textu. Srovnávací měření přístroje pro DTA/TG analýzu je popsáno v kapitole 5.2.5.1 a je shodné pro všechna provedená měření termické analýzy.

Obecně platné podmínky:

Přístrojové vybavení: SDT Q600 firmy TA INSTRUMENTS, oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Příklad umožňuje simultánní záznam signálu TG (červená – úbytek hmotnosti) a DTG (modrá – derivace úbytku hmotnosti).

Podmínky měření: rozsah teplot 25-1000 °C; rozklad v dusíkové atmosféře, rychlost ohřevu 20 °C / 1 min.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: viz kapitola č. 5.2.3.

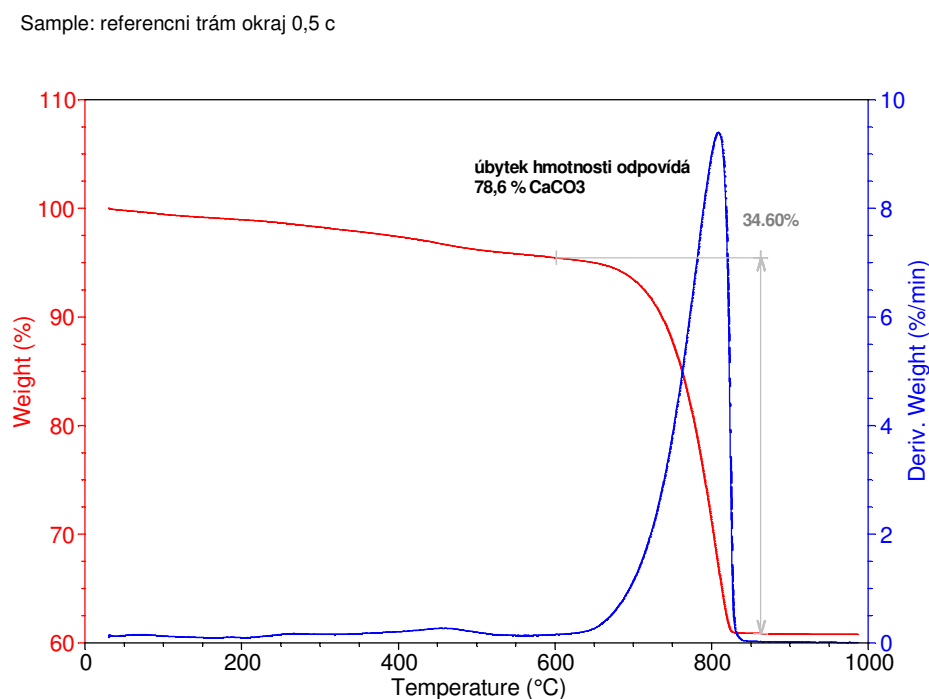
Vzorek ozn.: SADA 1 – R1

Měřený materiál: referenční vzorek vápenné omítky vyrobený v laboratoři oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Podmínky výroby a materiálové charakteristiky jsou detailně popsány v kapitolách 5.2.1 a 5.2.2 této práce.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: bez přítomnosti dřevokazných škůdců.

Postup měření: do keramických kelímků bylo naváženo 23 mg rozetřeného omítkového vzorku.

Výstup měření:



Graf 2: DTG křivka vzorek ozn. SADA 1 – R1

Závěr měření: termický rozklad maltového vzorku začíná při teplotě 30 °C. Od této doby probíhá pozvolná dehydratace vzorku. V rozsahu teplot 604-860 °C je zaznamenán termický rozklad uhličitanu vápenatého, jehož hmotnostní úbytek odpovídá 34,6 %. Výstup měření je adekvátní termickému rozkladu vápenné omítky.

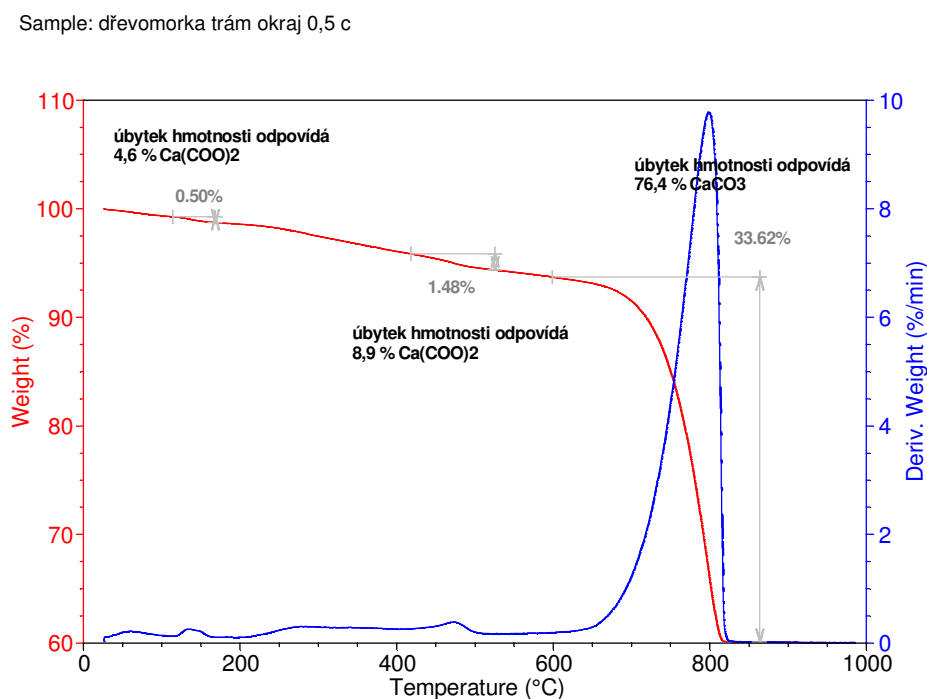
Vzorek ozn.: SADA 1 – SD1

Měřený materiál: povrchová část trámečku vyrobeného z vápenné omítky v laboratoři oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Podmínky výroby a materiálové charakteristiky jsou detailně popsány v kapitolách 5.2.1 a 5.2.3 této práce.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: povrch měřeného vzorku byl porostlý myceliem dřevomorky domácí v laboratorních podmínkách, viz kap. 5.2.3.2. Doba růstu mycelia byla 56 dní.

Postup měření: do keramických kelímků bylo naváženo 21 mg rozetřeného omítkového vzorku odebraného z povrchu zkoumaného trámečku. Ten byl před odběrem vzorku mechanicky očištěn kartáčkem od mycelia dřevomorky domácí.

Výstup měření:



Graf 3: DTG křivka vzorek ozn. SADA 1 – SD1

Závěr měření: U maltového vzorku SD1, který byl v laboratorních podmínkách vystaven působení dřevomorky domácí, začíná záznam termického rozkladu při teplotě 25 °C. Mezi teplotami 120 °C až 170 °C probíhá první stupeň rozkladu krystalu whewellit, při kterém dochází k vypařování vody a odpovídá změně hmotnosti $\Delta m_A = 0,5 \%$. Dále pak do teploty 420 °C probíhá pozvolná pyrolýza vzorku a v rozmezí do 530 °C je opět zaznamenán termický rozklad CaC_2O_4 s hmotnostní změnou $\Delta m_B = 1,5 \%$. Následuje interval mírného rozkladu, který u hodnot 600 °C až do

870 °C opět vykazuje rozklad uhličitanu vápenatého se změnou hmotnosti $\Delta m_c = 33,6 \%$. Pyrolýza je ukončena při teplotě 945 °C. Dle rovnic 5.2-1, 5.2-2 a 5.2-3 Δm_A a Δm_B odpovídá 4,6 % a 8,9 % úbytku hmotnosti šťavelanu vápenatého měřeného prosátého vzorku (bez kameniva).

Vzorek ozn.: SADA 1 – malta Hrádek nad Ohří

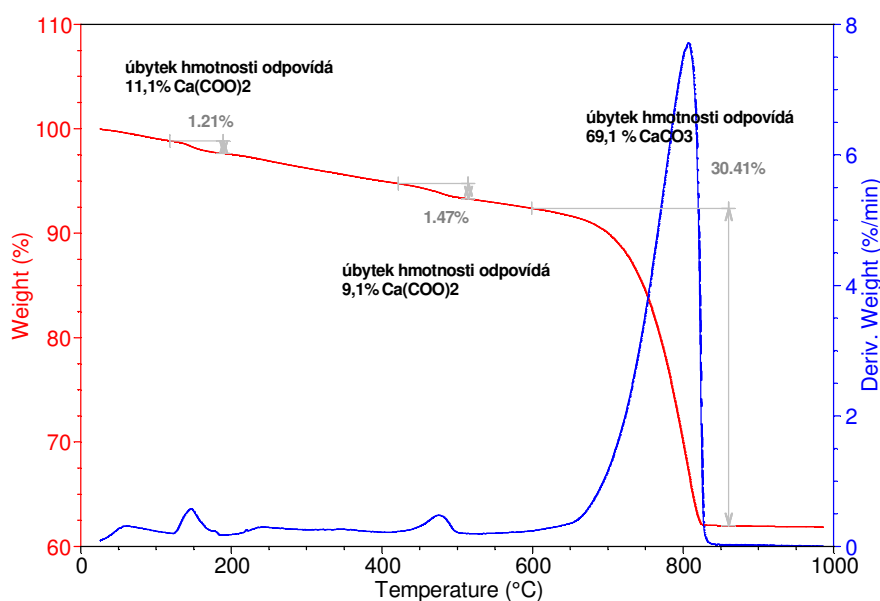
Měřený materiál: povrchová část omítky odebraná na stavbě, materiálové charakteristiky omítky nejsou známy.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: povrch měřeného vzorku byl porostlý myceliem dřevomorky domácí, doba růstu dřevokazné houby není známa. V době odběru již nebyla dřevokazná houba aktivní.

Postup měření: do keramických kelímků bylo naváženo 27 mg rozetřeného omítkového vzorku odebraného z povrchové části, která byla před odběrem mechanicky očištěna kartáčkem od porostu mycelia dřevokazné houby.

Výstup měření:

Sample: Hrádek nad Ohří malta + miceliu

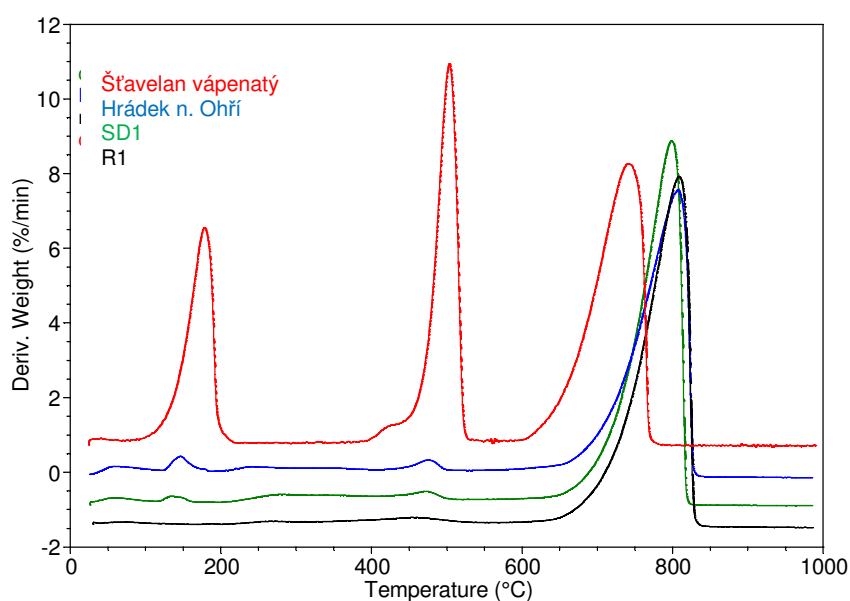


Graf 4: DTG křivka vzorek ozn. SADA 1 – malta Hrádek nad Ohří

Závěr měření: Počátek rozkladu maltového vzorku odebraného in situ je zaznamenán při teplotě 25 °C. Poté dochází k termickému rozkladu biologického materiálu, který v intervalu teplot 118 °C až 195 °C a 430 °C až 510 °C vykazuje peaky znázorňující rozklad šťavelanu vápenatého (uvolnění vody a v druhém kroku CO). Změny hmotnosti odpovídají $\Delta m_A = 1,2 \%$, $\Delta m_B = 1,5 \%$ CaC_2O_4 . V rozsahu teplot 600 °C až 865 °C je zaznamenán peak rozkladu uhličitanu vápenatého se změnou hmotnosti $\Delta m_C = 30,4 \%$. Termický rozklad je ukončen při teplotě 965 °C.

Na záznamu termické analýzy (graf 4) odpovídají výsledky přibližnému obsahu 10 % CaC_2O_4 ve měřeném vzorku (tj. v proseté frakci). Podíl CaCO_3 vzniklého transformací CaC_2O_4 u Δm_C nelze vyčíslit, protože Δm_C z části přísluší i rozkladu CaCO_3 obsaženého v omítce.

Shrnutí výsledků SADA 1: Pro přehlednost naměřených výsledků byly výstupní grafy termické analýzy měřených vzorků SADA 1 sloučeny do jednoho snímku (viz graf 5) a pro srovnání výsledků byl přidán průběh rozkladu šťavelanu vápenatého.



Graf 5: DTG křivky SADA 1 – porovnání

Nejvýraznější peaky odpovídající prvnímu a druhému stupni rozkladu šťavelanu vápenatého (uvolňuje se voda a CO) byly zaznamenány u vzorků malt vystavených působení dřevomorky domácí. Zejména pak u vzorku malty odebrané na stavbě, kde bylo působení dřevokazné houby dlouhodobé. Třetí peaky, které jsou shodné pro všechny zkoušené maltové vzorky, odpovídají rozkladu CaCO_3 a pro zkoušené vzorky jsou zaznamenány ve shodném teplotním rozmezí. U úbytků hmotností CaCO_3 uvedených na jednotlivých grafech ($\Delta m_c = 34,6\%$; $33,6\%$ a $30,4\%$) odpovídajících třetímu stupni termických rozkladů není možné přesně stanovit poměr, který je do prostoru uvolňován rozkladem malty a jak velká část vzniká rozkladem šťavelanu vápenatého.

Teplotní rozsah rozkladu uhličitanu vápenatého je na experimentálních měřeních termické analýzy mírně posunutý oproti teplotnímu rozsahu při rozkladu CaC_2O_4 . Rozdílné teploty pravděpodobně souvisí s krystalovou modifikací CaCO_3 (např. kalcit, vaterit, aragonit) [91].

Závěry vyplývající z výstupů termické analýzy SADA 1: Prvotní experiment při využití termické analýzy byl zaměřen na vzorky malt s různými formami poškození povrchu měřených tělísek dřevomorkou domácí. Grafy naznačují mírné změny v rozkladu malt sledované při termickém měření. Výstupy poukazují na změny ve složení maltových vzorků bez a při působení dřevomorky domácí. Avšak z měření není zcela zřejmé, jakou měrou je zastoupen šťavelan vápenatý.

5.2.5.3 Termická analýza – SADA 2

Po zhodnocení výsledků předchozích měření provedených na maltových vzorcích (SADA 1, kap. č. 5.2.5.2) jsem se zaměřila na sledování změn přímo v myceliu dřevomorky domácí. Z měření jsem zcela vyloučila vzorky malt a do kelímků přístroje pro termickou analýzu bylo vloženo čisté vysušené mycelium dřevokazné houby. Poté byl sledován průběh rozkladu.

Provedena byla dvě měření mycelia, která měla odlišné růstové podmínky z pohledu zdroje vápníku.

Srovnávací měření přístroje pro DTA/TG analýzu je popsána v kapitole 5.2.5.1 a je shodná pro všechna provedená měření termické analýzy.

Obecně platné podmínky:

Přístrojové vybavení: SDT Q600 firmy TA INSTRUMENTS, oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Příklad umožňuje simultánní záznam signálu TG (červená – úbytek hmotnosti) a DTG (modrá – derivace úbytku hmotnosti).

Podmínky měření: rozsah teplot 25-1000 °C; rozklad v dusíkové atmosféře, rychlost ohřevu 20 °C / 1 min.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: Na dno sterilizovaných Petriho misek byla připravena vrstva živné půdy tl. 3 mm (v čisté nebo upravené formě), na kterou byla po vychladnutí inokulovaná čistá kultura dřevomorky domácí. Misky byly uloženy do klimatické komory se stabilními podmínkami o teplotě $23,5 \pm 2,5$ °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %. Zde byly ponechány po dobu 14 dnů. Během této doby porost mycelia dřevomorky domácí pokryl souvislou vrstvou celé dno Petriho misek.

Vzorek ozn.: SADA 2 – MYC 1 (agar Ø)

Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách na oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

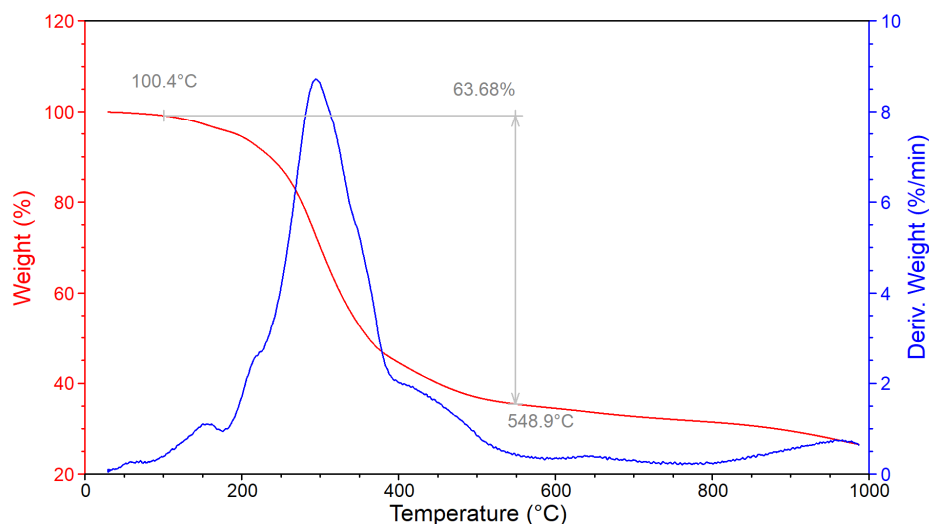
Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové médium byl použit *čistý Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia, technický list viz příloha č. 7.14.

Postup měření: do keramických kelímků bylo vloženo 5 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při

teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z živné půdy v Petriho miskách.

Výstup měření:

Sample: dřevomorka mycelium miska 2 bez



Graf 6: DTG křivka vzorek ozn. SADA 2 – MYC 1 (agar Ø)

Závěr měření: záznam průběhu termické analýzy čistého mycelia byl započat okolo teploty 30 °C. K uvolňování vody z organické hmoty docházelo mezi teplotami 100,4-548,7 °C a dále byl na grafu zaznamenán termický rozklad organické hmoty - mycelia dřevokazné houby, jehož hmotnostní úbytek odpovídá 63,7 %. Žádné další výrazné peaky nejsou v grafu vykresleny. Rozklad byl ukončen při teplotě 980 °C.

Vzorek ozn.: SADA 2 – MYC 2 (agar CaCO₃)

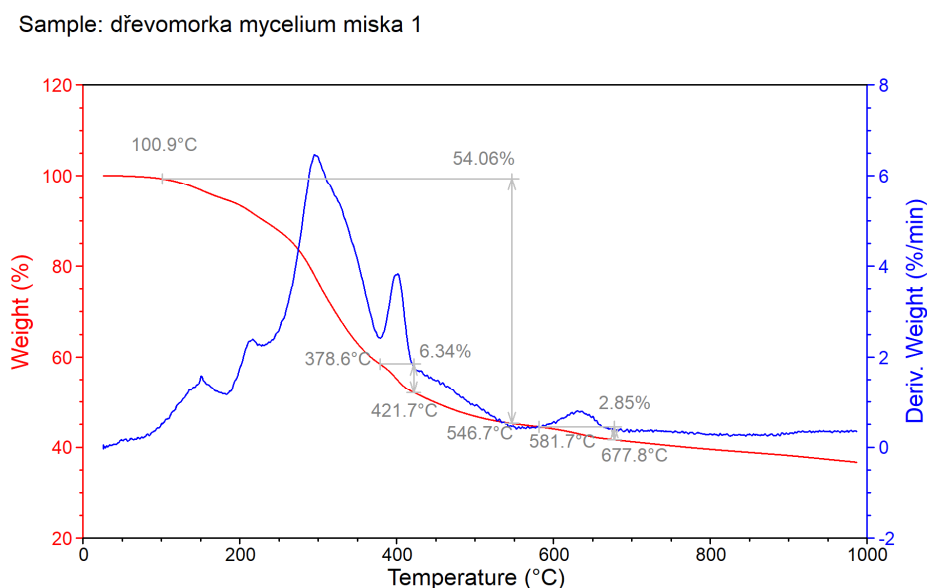
Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách na oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové medium byl použit *Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy

Himedia s *přídavkem čisté formy uhličitanu vápenatého (CaCO₃)*. Technické listy viz příloha č. 7.14 a 7.15.

Postup měření: do keramických kelímků byly vloženy 4 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z živné půdy v Petriho miskách.

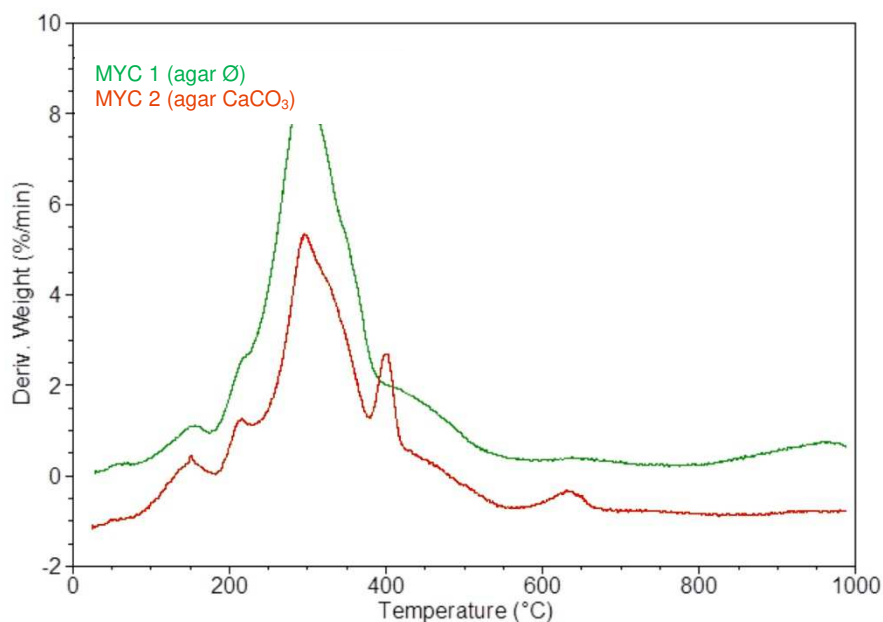
Výstup měření:



Graf 7: DTG křivka vzorek ozn. SADA 2 – MYC 2 (agar CaCO₃)

Závěr měření: Vysušování vzorku bylo započato při teplotě 28 °C (odstraňování vlhkosti). Průběh počáteční termické analýzy byl shodný s předchozím vzorkem této sady. Na počátku došlo k vypařování vody z organického materiálu, který byl v rozsahu teplot 100,9-546,7 °C pyrolyzován a vykazoval 54,1 % hmotnostní úbytek. V intervalu 378,6-421,7 °C je na grafu zaznamenán termický rozklad pravděpodobně Ca(OH)₂ s hmotnostní změnou 6,3 % (viz rovnice 7.7-4) a další výraznější rozklad začíná při teplotě 581,7 °C. Od této teploty se jedná o termický rozklad CaCO₃, který je ukončen při teplotě 677,8 °C s odečtením hmotnostního úbytku 2,9 %.

Shrnutí výsledků SADA 2: Pro přehlednost naměřených výsledků byly výstupní grafy termické analýzy měřených vzorků SADA 2 sloučeny do jednoho snímku (viz graf 8).



Graf 8: DTG křivky SADA 2 – porovnání

Závěry vyplývající z výstupů termické analýzy SADA 2: Na výstupech je zřetelný rozdíl v průběhu pyrolýzy vzorků. U vzorku s přidaným zdrojem vápníku v růstovém médiu se objevují dvě výrazné, nové oblasti tepelného rozkladu. Jedná se o rozklad (pravděpodobně) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a CaCO_3 .

Na základě získaných výsledků z měření vzorků SADA 2 bude připravena třetí sada, kde budou sledovány změny ve výstupech termické analýzy s ohledem na změny koncentrací vápenného aditiva v živné půdě.

5.2.5.4 Termická analýza – SADA 3

Na základě výsledků měření SADA 2 jsem přistoupila k provedení následujících měření. SADA 3 obsahuje pět vzorků, které byly podrobeny termické analýze a jako u předchozích měření byla do kelímků pro tepelný

rozklad vložena pouze mycelia dřevomorky domácí, která rostla na živných půdách s odlišnými zdroji vápníku, případně byly použity rozdílné koncentrace přídatných látek. Čtyři z odebraných měřených mycelií rostla v laboratorních podmínkách s kontrolovaným množstvím aditiva vápníku.

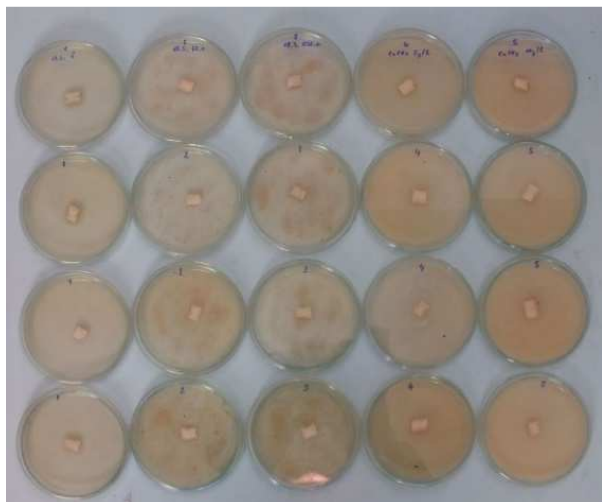
Srovnávací měření přístroje pro DTA/TG analýzu je popsána v kapitole 5.2.5.1 a je shodná pro všechna provedená měření termické analýzy.

Obecně platné podmínky:

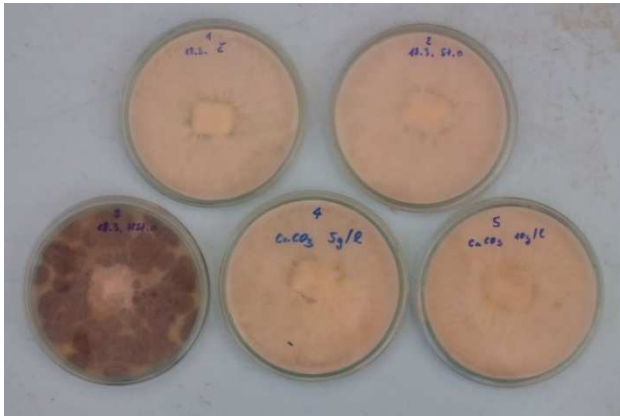
Přístrojové vybavení: SDT Q600 firmy TA INSTRUMENTS, oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Přístroj umožňuje simultánní záznam signálu TG (červená – úbytek hmotnosti) a DTG (modrá – derivace úbytku hmotnosti).

Podmínky měření: rozsah teplot 25-1000 °C; rozklad v dusíkové atmosféře, rychlost ohřevu 20 °C / 1 min.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: Na dno sterilizované Petriho misky byla připravena vrstva živné půdy tl. 3 mm (v čisté nebo upravené formě), na kterou byla po vychladnutí inokulovaná čistá kultura dřevomorky domácí. Misky byly uloženy do klimatické komory se stabilními podmínkami o teplotě $23,5 \pm 2,5$ °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %. Zde byly ponechány po dobu 14 dnů. Během této doby porost mycelia dřevomorky domácí pokrýl souvislou vrstvou celé dno Petriho misek.



Obr. 23: Příprava živných půd s různými aditivy (SADA 3)



Obr. 24: Porost dřevomorky domácí v Petriho miskách (SADA 3)

Vzorek ozn.: SADA 3 – MYC 3 (agar Ø)

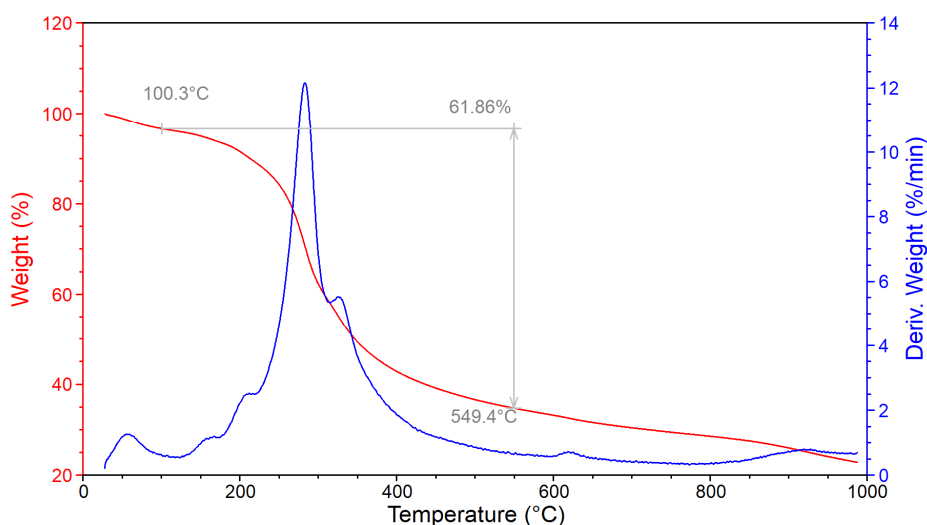
Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové médium byl použit *čistý Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia, technický list viz příloha č. 7.14.

Postup měření: do keramických kelímků bylo vloženo 5 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z živné půdy v Petriho miskách.

Výstup měření:

Sample: dřevomorka z agaru



Graf 9: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 3 (agar Ø)

Závěr měření: Výše uvedený graf termického rozkladu mycelia dřevomorky domácí může být uvažován jako pomyslná „základní rovina“ pro následné výstupy termické analýzy vzorků mycelií dřevomorky domácí laboratorně vypěstovaných na agaru v Petriho miskách. Měření bylo zahájeno při teplotě 30 °C. Počáteční změny hmotnosti byly vyvolány dehydratací biologického vzorku. V intervalu teplot 100,3 °C až 549,4 °C došlo k pyrolýze organického materiálu s úbytkem hmotnosti 61,9 %. Jiné výrazné oblasti nebyly zaznamenány.

Vzorek ozn.: SADA 3 – MYC 4 (agar 5 g/l CaCO₃)

Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

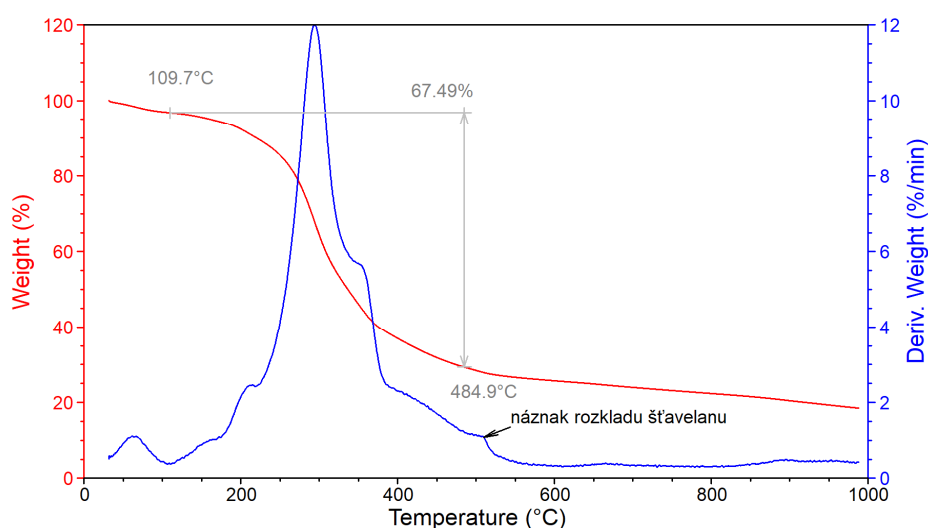
Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové medium byl použit agar *Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od

firmy Himedia *s přídavkem čisté formy uhličitanu vápenatého v koncentraci 5 g/l (CaCO₃)*. Technické listy viz příloha č. 7.14 a 7.15.

Postup měření: do keramických kelímků bylo vloženo 6 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z živné půdy v Petriho miskách.

Výstup měření:

Sample: dřevomorka agar a CaCO₃ 5g/l



Graf 10: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 4 (agar 5 g/l CaCO₃)

Závěr měření: I tento termický rozklad začíná při teplotě 30 °C a shodně s předchozím grafem dochází na začátku procesu k dehydrataci vzorku a rozkladu biologické složky vzorku s hmotnostním úbytkem 67,5 %, který je zaznamenán v rozsahu teplot 109,7 až 484,9 °C. Okolo teploty 500 °C je viditelný náznak rozkladu šťavelanu vápenatého CaC₂O₄.

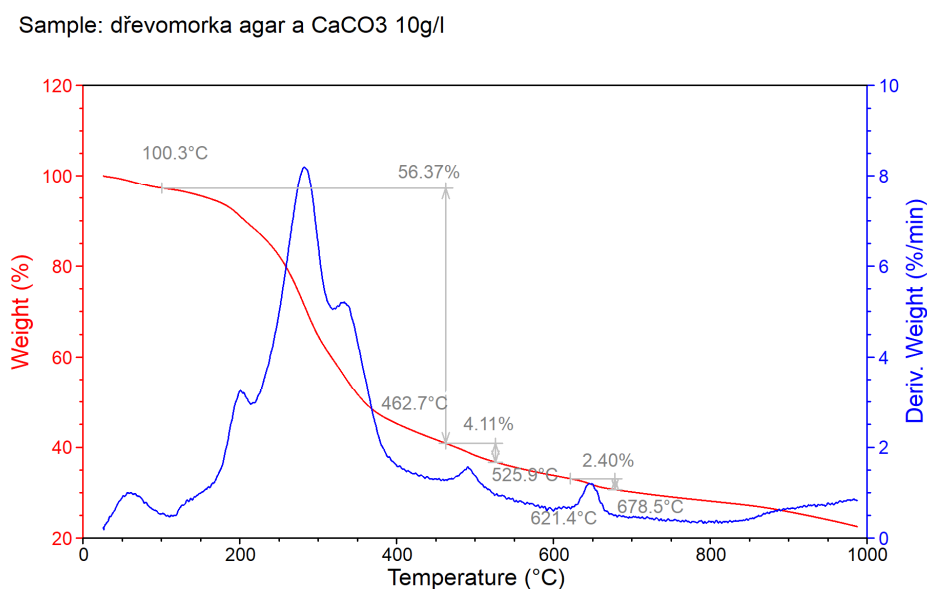
Vzorek ozn.: SADA 3 – MYC 5 (agar 10 g/l CaCO₃)

Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové medium byl použit agar *Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia *s přidavkem čisté formy uhličitanu vápenatého v koncentraci 10 g/l (CaCO₃)*. Technické listy viz příloha č. 7.14 a 7.15.

Postup měření: do keramických kelímků byly vloženy 4 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z živné půdy v Petriho miskách.

Výstup měření:



Graf 11: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 5 (agar 10 g/l CaCO₃)

Závěr měření: Hmotnostní úbytek biologické složky vzorku na počátku termického rozkladu mezi teplotami 100,3-462,7 °C je 56,4 %. Následující úsek do teploty 525,9 °C vykazující změnu hmotnosti 4,1 % zobrazuje peak znázorňující druhý krok rozkladu štavelanu vápenatého (uvolnění CO). S menším teplotním odstupem, v intervalu teplot 621,4-678,5 °C, probíhá třetí stupeň rozkladu CaC₂O₄ se ztrátou hmotnosti 2,4 %.

U výše zmíněného druhého stupně rozkladu CaC₂O₄ s hmotnostním úbytkem 4,1 % dochází k překrytí poměrné části Δm_B rozkladem mycelia

dřevomorky domácí. Stejně tak i první pás pyrolýzy šťavelanu vápenatého (ozn. Δm_A) je zcela překrytý rozkladem mycelia dřevomorky domácí a není ho možné z grafu odečíst.

Vzorek ozn.: SADA 3 – MYC 6 (agar lab. omítka)

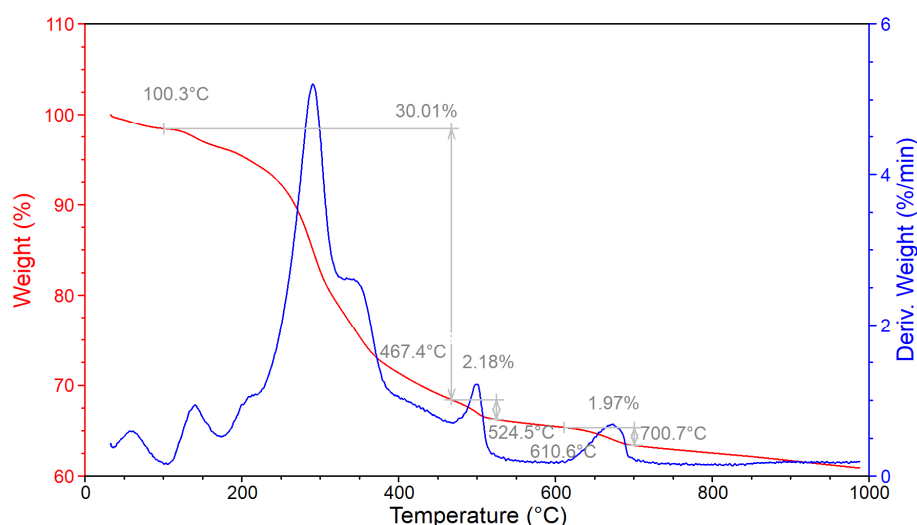
Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové medium byl použit agar *Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia *s přidavkem rozdrčené sterilizované laboratorní vápenné omítky*. Technický list agaru viz příloha č. 7.14.

Postup měření: do keramických kelímků bylo vloženo 8 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z živné půdy v Petriho miskách.

Výstup měření:

Sample: dřevomorka agar a stará omítka



Graf 12: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 6 (agar lab. omítka)

Závěr měření: Záznam termického rozkladu začal při teplotě 30 °C. První krok pyrolýzy štavelanu vápenatého Δm_A bude, jako u předchozích měření, překrytý rozkladem mycelia dřevomorky domácí. Rozklad biologického materiálu mycelia s hmotnostním úbytkem 30 % je zachycen v rozsahu teplot 100,3-467,4 °C. Od této teploty začíná druhý stupeň rozkladu CaC_2O_4 , při kterém se uvolňuje CO, s hmotnostním úbytkem $\Delta m_B = 2,2 \%$. Tento rozklad probíhá do teploty 524,5 °C. Následuje oblast termické stability do teploty 610,6 °C. Od této hodnoty pak dochází k termickému rozkladu CaCO_3 až do teploty 700,7 °C. Hmotnostní úbytek tohoto rozkladu je $\Delta m_C = 2 \%$.

Vzorek ozn.: SADA 3 – MYC 7 (ext.)

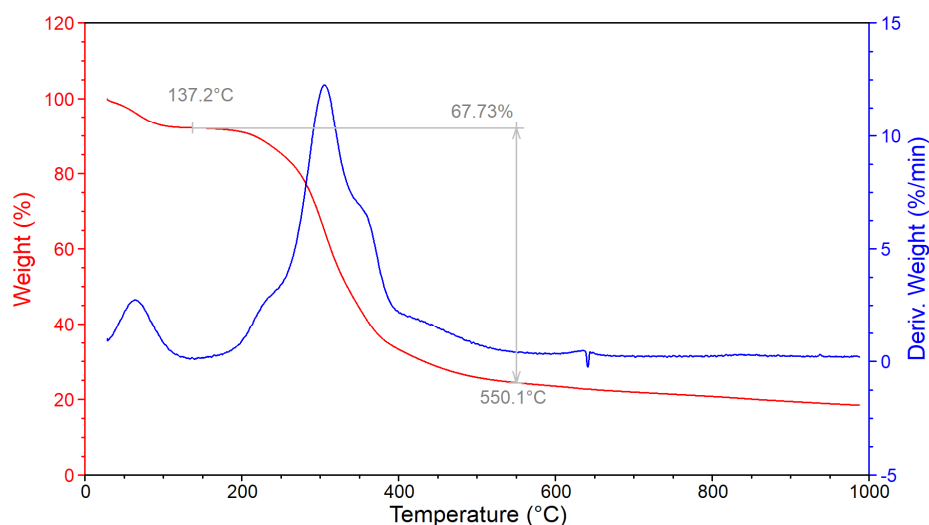
Měřený materiál: mycelium dřevomorky domácí z dřevěného prvku odebraného na stavbě, určení dřevokazné houby bylo provedeno v laboratoři na oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: dřevěný krovový prvek. Bližší materiálové charakteristiky, doba růstu dřevomorky domácí, vlhkostní podmínky apod. nejsou známy.

Postup měření: do keramických kelímků byly vloženy 4 mg v laboratorní sušičce předem vysušeného mycelia dřevomorky domácí (při teplotě 100 °C), které bylo skalpelem opatrně sejmuto z dřevěného prvku odebraného na stavbě.

Výstup měření:

Sample: mycelium suche ze dreva



Graf 13: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 7 (ext.)

Závěr měření: Záznam termické analýzy začíná při teplotě 35 °C a zaznamenává dva kroky. V prvním z nich dochází k počáteční dehydrataci měřeného materiálu a v kroku druhém k rozkladu biologického materiálu s hmotnostní ztrátou 67,7 % do teploty 550,1 °C.

Anomálie v průběhu měření zaznamenaná při teplotě 640 °C byla způsobena nevhodným pohybem osob v blízkosti přístroje termické analýzy.

Závěry vyplývající z výstupů termické analýzy SADA 3: Třetí sada vzorků pro termickou analýzu byla složena z pěti odběrů mycelií dřevomorky domácí rostoucích na odlišných substrátech. Výstupy obsahují „základní“ graf s analýzou mycelia dřevomorky domácí, které rostlo na čisté živné půdě bez aditiv. Na dalších grafech jsou zaznamenány rozdílné průběhy DTG křivek vzorků mycelií, která rostla na živných půdách s přidavkem vápníku provedené rozdílnou formou či odlišnou koncentrací aditiva v agaru. Nejvýraznější peaky termického rozkladu štavelanu vápenatého jsou u vzorků s přidavkem CaCO_3 v koncentraci 10 g/l a u vzorku s přidáním

sterilizované vápenné laboratorní omítky do živné půdy. Rovněž zajímavé ke vzájemnému porovnání výsledků jsou grafy 10 a 11 vzorků mycelií s přidáním CaCO_3 v kultivačním médiu v koncentraci 5 g/l a 10 g/l. Na průběhu termických rozkladů těchto vzorků je viditelný nárůst hmotnostních úbytků šťavelanu vápenatého a uhličitanu vápenatého. K jeho uvolňování dochází ve třetím kroku rozkladu CaC_2O_4 . Avšak ani z těchto výstupů nejsem schopna stanovit, jaký poměr CaCO_3 je způsoben termickým rozkladem šťavelanu vápenatého a jaká část tohoto prvku je v myceliu ve formě čistého CaCO_3 (jako aditivum). Mycelium odebrané na stavbě z povrchu dřevěného prvku mělo obdobný výstup jako mycelium rostlé na čistém agaru – je zde zaznamenána pouze dehydratace prvku a rozklad biologického materiálu.

5.2.6 Infračervená spektroskopie (FTIR³⁵)

Díky spolupráci s pracovníky ÚTAM AV ČR, v. v. i. mi bylo umožněno využít pro maltové vzorky jako porovnávací měření metodu FTIR, která je založena na absorpci infračerveného záření při průchodu měřeným vzorkem [92].

Pro zkušební vzorky byl použit materiál z první sady termické analýzy (ozn. SADA 1 – R1, SD1 a malta Hrádek nad Ohří), který byl připraven v dostatečném množství pro obě zmíněné analýzy. Infračervená spektroskopie byla provedena odborným pracovníkem v laboratoři materiálových analýz Centra excellence Telč, ÚTAM AV ČR, v. v. i. bez předchozí konzultace prováděného experimentu a tedy bez povědomí o předpokládaných výsledcích měření.

Vzorky byly analyzovány na vedlejším modulu iZ10 infračerveného mikroskopu iN10 (Thermo Scientific). Byly měřeny pomocí transmisní techniky v KBr tabletě v rozsahu 4000 až 400 cm^{-1} se spektrálním rozlišením 4 cm^{-1} .

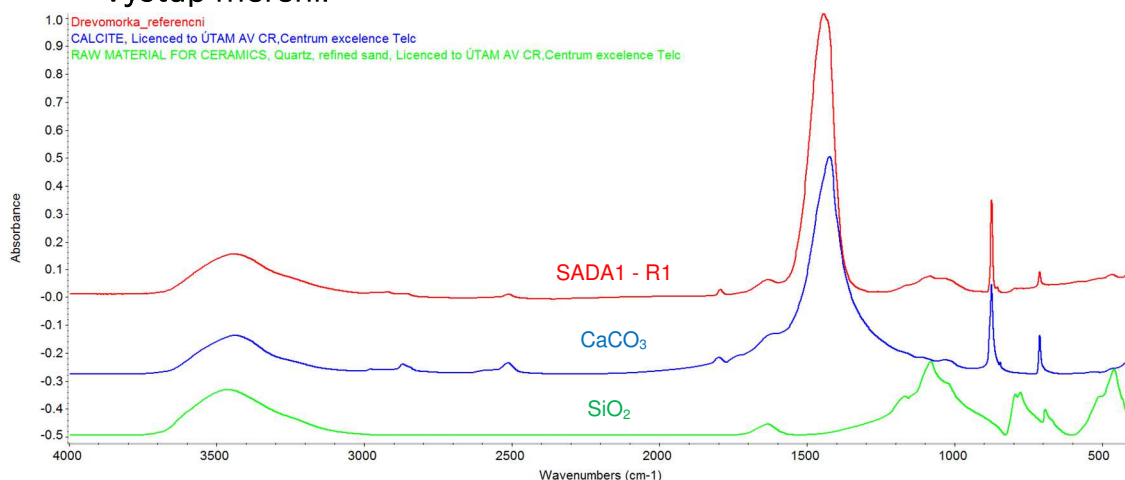
³⁵ Fourier transform infrared (spectroscopy).

Vzorek ozn.: SADA 1 – R1

Měřený materiál: referenční vzorek *vápenné omítky* vyrobený v laboratoři oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Podmínky výroby a materiálové charakteristiky jsou detailně popsány v kapitolách 5.2.1 a 5.2.2 této práce.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: bez přítomnosti dřevokazných škůdců.

Výstup měření:



Graf 14: Spektrum vzorku ozn. SADA 1 – R1 v porovnání se spektry z knihovny

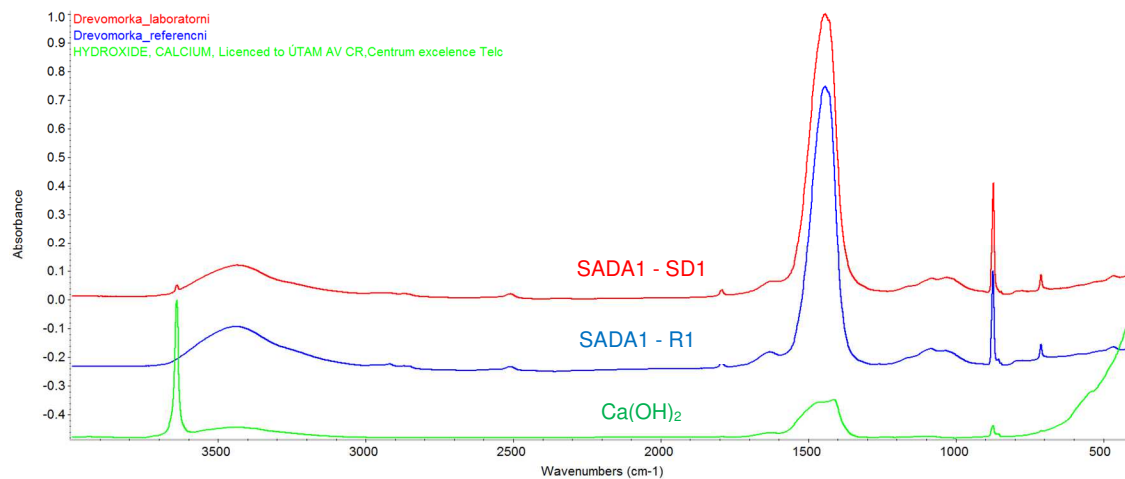
Závěr měření: Dominantním znakem spektra vzorku R1 je pás rozprostírající se od 1350 až do 1550 cm^{-1} a dále pásy vibrací 875 cm^{-1} a 1800 cm^{-1} . Průběh měření byl srovnán se spektrem CaCO_3 uváděným v literatuře, jehož průběh je shodný s měřeným vzorkem.

Vzorek ozn.: SADA 1 – SD1

Měřený materiál: povrchová část trámečku vyrobeného z *vápenné omítky* v laboratoři oddělení materiálového výzkumu ÚTAM AV ČR, v. v. i. Podmínky výroby a materiálové charakteristiky jsou detailně popsány v kapitolách 5.2.1 a 5.2.3 této práce.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: povrch měřeného vzorku byl porostlý myceliem dřevomorky domácí v laboratorních podmínkách, viz kap. 5.2.3.2. Doba růstu mycelia byla 56 dní.

Výstup měření:



Graf 15: Spektrum vzorku ozn. SADA 1 – SD1 v porovnání se spektry z knihovny

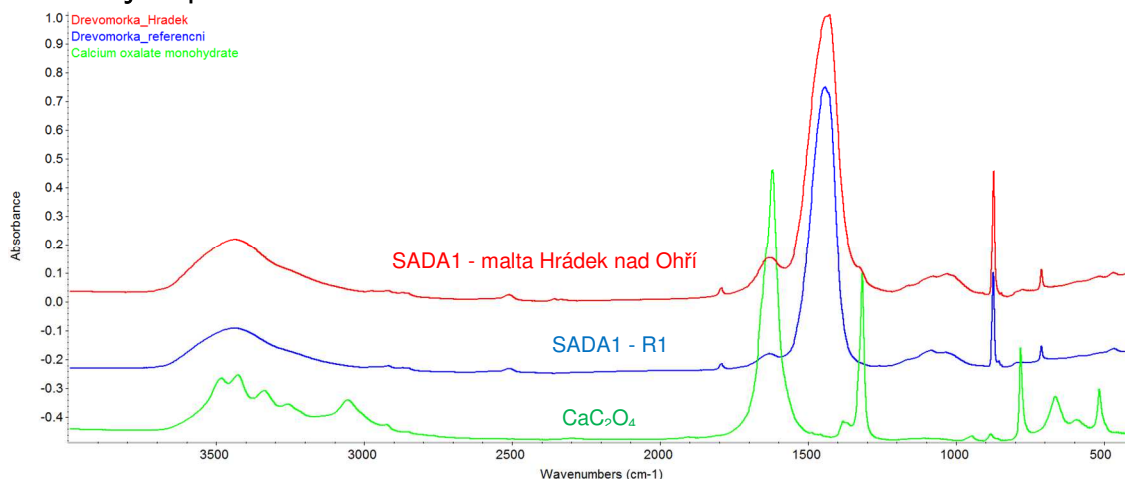
Závěr měření: I tento průběh spektra vzorku SD1 vykazuje stejné znaky jako u předchozího měření. Dominantní pásy jsou shodné se spektrem vzorku R1. Pouze v oblasti 3643 cm^{-1} se objevuje pás, který koresponduje s přítomností $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Vzorek ozn.: SADA 1 – malta Hrádek nad Ohří

Měřený materiál: povrchová část omítky odebraná na stavbě, materiálové charakteristiky omítky nejsou známy.

Podmínky pěstování biodeteriogenů: povrch měřeného vzorku byl porostlý myceliem dřevomorky domácí, doba růstu dřevokazné houby není známa. V době odběru nebyla dřevokazná houba aktivní.

Výstup měření:



Graf 16: Spektrum vzorku ozn. SADA 1 – malta Hrádek nad Ohří v porovnání se spektry z knihovny

Závěr měření: I v tomto případě je průběh spektra shodný s výstupem pro referenční maltový vzorek R1 této sady. Avšak oproti předchozím měřením byly u tohoto vzorku zaznamenány pásy odpovídající přítomnosti šťavelanu vápenatého ($\sim 1630\text{ cm}^{-1}$, 1320 cm^{-1} a slabý pás $\sim 780\text{ cm}^{-1}$).

Závěry vyplývající z výstupů infračervené spektroskopie (FTIR): Ve všech měřených vzorcích byl zjištěn obsah CaCO_3 a SiO_2 . Vzorek laboratorní malty vystavený působení dřevomorky domácí (SD1) obsahoval navíc Ca(OH)_2 (pás 3643 cm^{-1}). Ve vzorku malty z Hrádku nad Ohří byl naměřen výraznější pás $\sim 1630\text{ cm}^{-1}$, pás 1320 cm^{-1} a slabý pás $\sim 780\text{ cm}^{-1}$, které odpovídají přítomnosti šťavelanu vápenatého ve vzorku. Naměřená spektra a jejich porovnání s naměřenými látkami jsou uvedena na obrázcích jednotlivých grafů 14, 15 a 16.

Závěry provedených měření FTIR korespondují s výsledky termické analýzy pro měřenou sadu 1. Nejvýraznější pásy šťavelanu vápenatého vykazoval maltový vzorek odebraný na stavbě Hrádek na Ohří, kde působení dřevomorky domácí bylo dlouhodobé.

5.2.7 Optická mikroskopie

Dalším krokem k ucelení získaných informací experimentální činnosti bylo využití dostupných mikroskopických metod ke sledování změn na hyfách dřevomorky domácí rostoucích na odlišných kultivačních médiích. Příprava vzorků a optická mikroskopie byla provedena ve spolupráci s Ing. Jiřím Franklem, Ph.D., oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Jako vzorek bylo použito mycelium dřevomorky domácí, jejíž čistá kultura byla inokulovaná na živnou půdu tl. 3 mm v Petriho miskách (průměr 90 mm). Kultivační misky byly uloženy do klimatické komory se stabilními podmínkami o teplotě $23,5 \pm 2,5$ °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %. Zde byly ponechány po dobu 14 dnů (během této doby porost mycelia zcela pokryl dno Petriho misek souvislou vrstvou). Růstové médium Malt Extract Agar Base (w/Mycological Peptone), jehož technický list je přiložen v příloze č. 7.14, bylo v první fázi experimentu použito v čisté formě. V druhém fázi (další sada kultivačních misek) byl agar doplněn přídavkem rozdrčené sterilizované laboratorní vápenné omítky jako u vzorku ozn. SADA 3 – MYC 6 (agar lab. omítka) použitého pro termickou analýzu.

Pro tuto analýzu byl využit badatelský optický mikroskop značky Olympus BX53M. K zobrazení byla využita spektra o vlnové délce 420-760 nm, s rozlišením mikroskopu 25 až 1000x.

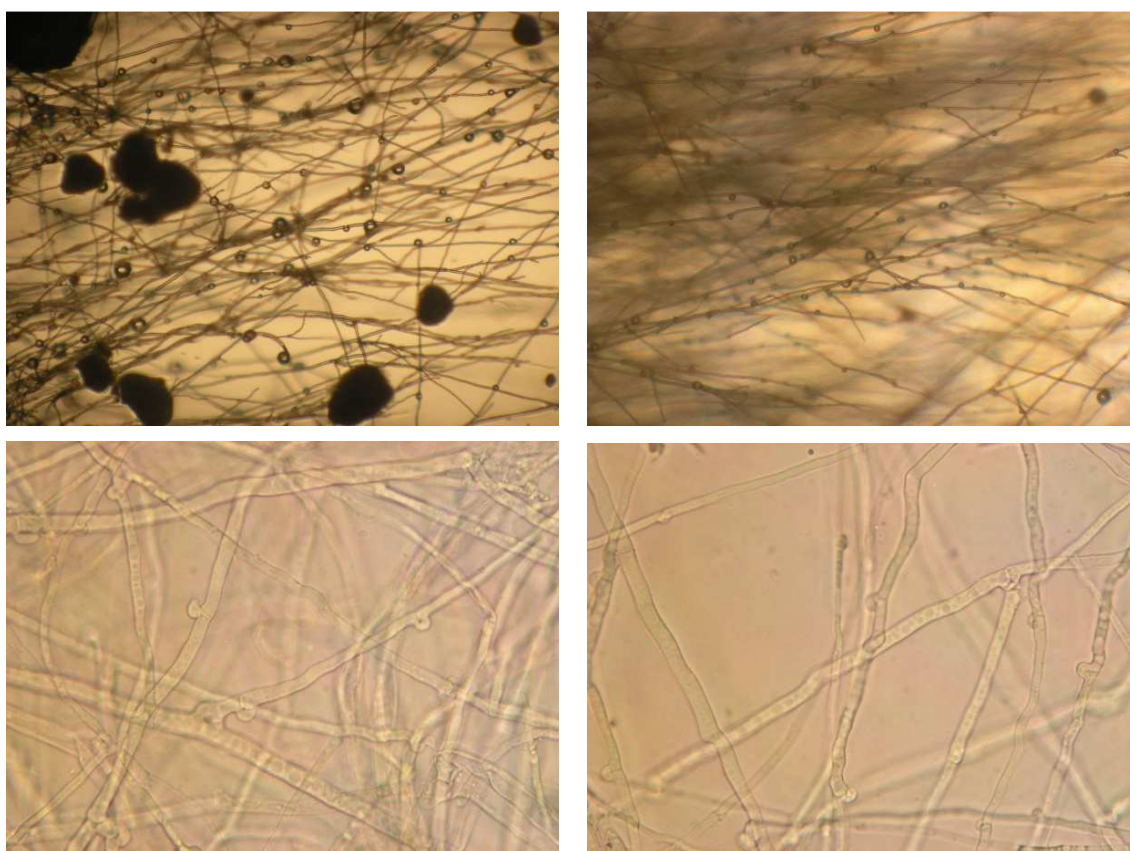
Postup mikroskopie byl pro všechny vzorky shodný. Pozorovaný vzorek mycelia dřevomorky domácí byl přenesen jehlou z kultivační misky do kapky destilované vody umístěné na podložním skle. Protože se ve všech případech jednalo o shluk hyf, které rostly přes sebe, byly použité vzorky před překrytím krycím sklem velmi šetrně deagregovány tak, aby byl pozorovaný obraz v okulárech mikroskopu čitelný. Pro přenesení pozorovaných objektů na monitor počítače a pro provedení snímků z mikroskopu byla použita kamera Olympus DP27, software Olympus Stream Essentials.

Vzorek ozn.: MIKROSKOP 1 (agar Ø)

Pozorovaný materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové médium byl použit *čistý Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia, technický list viz příloha č. 7.14.

Výstup mikroskopie:



Obr. 25: Fotografie mycelia dřevomorky domácí rostlé na čistém agaru

Závěr měření: Povrch hyf je hladký. Na snímcích se zvětšením 50x jsou na hyfách viditelné bublinky, které zde vznikly metabolickými procesy dřevomorky domácí v průběhu mikroskopického sledování. Černé útvary jsou nečistoty, které vznikly během přípravy vzorku pro mikroskopické měření. Fotografie s větším přiblížením (200x) vzorku zachycují hyfy s

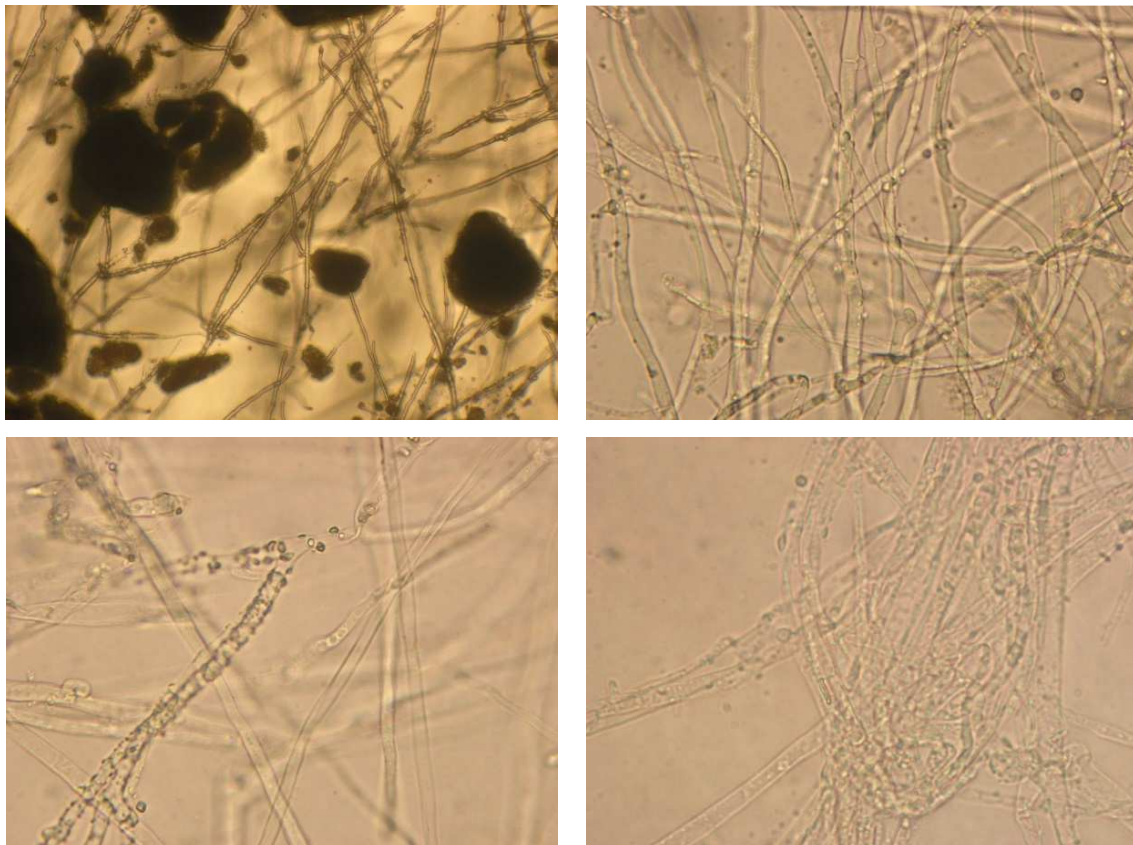
přehrádkami, nad kterými jsou přítomny přezky (určené pro buněčné dělení). Uvnitř hyf je viditelná homogenní výplň – protoplazma.

Vzorek ozn.: MIKROSKOP 2 (agar lab. omítka)

Pozorovaný materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové medium byl použit agar *Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia *s přídavkem rozdrčené sterilizované laboratorní vápenné omítky*. Technický list agaru viz příloha č. 7.14.

Výstup mikroskopie:



Obr. 26: Fotografie mycelia dřevomorky domácí rostlé na agaru s lab. omítkou

Závěr měření: Povrch hyf je hladký, avšak nestejně pokrytý drobnými částicemi. Jako u předchozího vzorku je na povrchu hyf místy viditelná přítomnost bublinek (avšak v menší míře než na obr. 25), které vznikly metabolickými procesy dřevokazné houby v průběhu měření. Černé útvary jsou pravděpodobně nečistoty, které vznikly během přípravy vzorku pro mikroskopii. U hyf jsou viditelné přehrádky, nad nimiž vznikají přezky pro dělení hyf.

Závěry vyplývající z výstupů optické mikroskopie: Na výstupech z optické mikroskopie, která byla provedena na vzorcích mycelií pocházejících z kultivačních médií o různém složení, jsou viditelné rozdíly především na povrchu hyf. Vzhled vlastních hyf je pro obě sady v podstatě shodný. Hyfy jsou hladké, dělené přehrádkami s viditelnou tvorbou přezek v těchto místech. Avšak u mycelia, které rostlo v Petriho misce na agaru s přídavkem sterilní laboratorní omítky, se na povrchu hyf objevují různé útvary a krystalky. K této skutečnosti přispěl pravděpodobně přídavek omítky do růstového média. Předpokládám, že si dřevomorka domácí z aditiva odebírala vápník (případně i další prvky), který využila při své metabolické činnosti. Důsledkem těchto procesů je i vznik krystalických útvarů na povrchu hyf (pravděpodobně včetně krystalků šťavelanu vápenatého CaC_2O_4).

5.2.8 Elektronová mikroskopie (SEM²³)

Na základě studií zahraničních vědeckých skupin jsem po dohodě s pracovníky ÚTAM AV ČR, v. v. i. podrobila vzorky mycelií z předchozí kapitoly dalšímu zkoumání. Tentokrát v oblasti elektronové mikroskopie. Snahou bylo získat přesnější výstupy, které by potvrdily přítomnost šťavelanu vápenatého na povrchu hyf dřevomorky domácí rostoucí na živné půdě s přídavkem vápníku.

Pro pozorování vzorků byl použit skenovací elektronový mikroskop SEM značky MIRA II LMU Tescan Corporation. Za podmínek měření – urychlovací napětí 15 kV, pracovní vzdálenost 15 mm. Sledovány byly vzorky

mycelií dřevomorky domácí, které rostly v Petriho miskách na živné půdě Malt Extract Agar Base (w/Mycological Peptone, technický list viz příloha č. 7.14) tl. 3 mm při ustálených teplotních a vlhkostních podmínkách ideálních pro růst této dřevokazné houby (teplota $23,5 \pm 2,5$ °C a relativní vlhkost vzduchu 65 ± 5 %). Po naočkování čisté kultury dřevomorky domácí na živnou půdu byly Petriho misky uloženy v laboratoři do klimatické komory, kde po 14 dnech mycelium houby pokrylo souvisle celou plochu agaru. Pro analýzy byla živná půda u poloviny vzorků ponechána v čisté formě a pro druhou sadu bylo růstové médium doplněno přídatkem rozdrčené sterilizované laboratorní vápenné omítky. Odpovídá vzorku s označením SADA 3 – MYC 6 (agar lab. omítka) použitého pro termickou analýzu (kap. č. 5.2.5.4) a optickou mikroskopií (kap. č. 5.2.7).

Vzorky mycelií byly opatrně sejmuty jehlou z kultivační misky a byly přeneseny na lepící terčík na hliníkových podložkách pro elektronovou mikroskopií. Pro analýzy SEM byly dále pozorované vzorky připraveny podle předpisů výrobce elektronového mikroskopu. Před analýzou byla mycelia vysušena ke kritickému bodu, aby se předešlo deformacím a smršťování biologických vzorků v průběhu skenování, a poté byla napařena vrstva zlata.

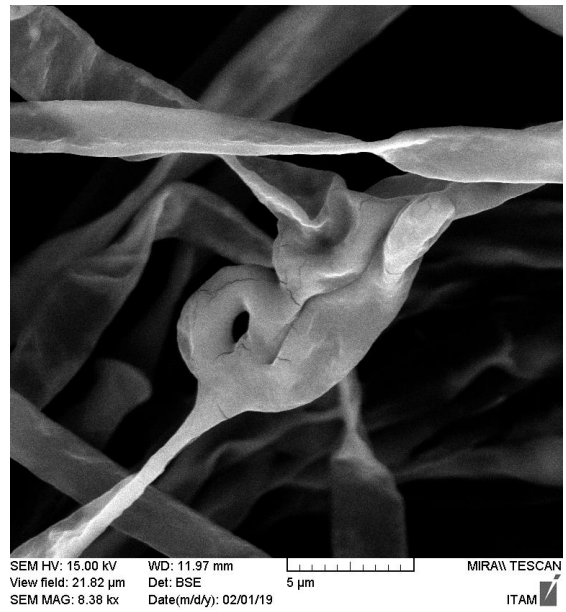
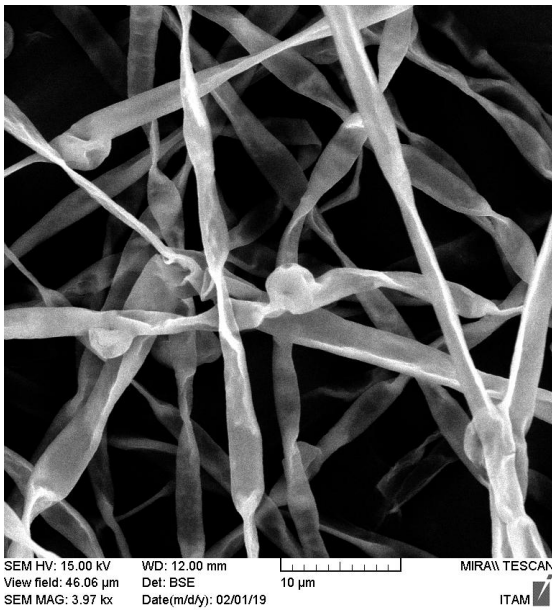
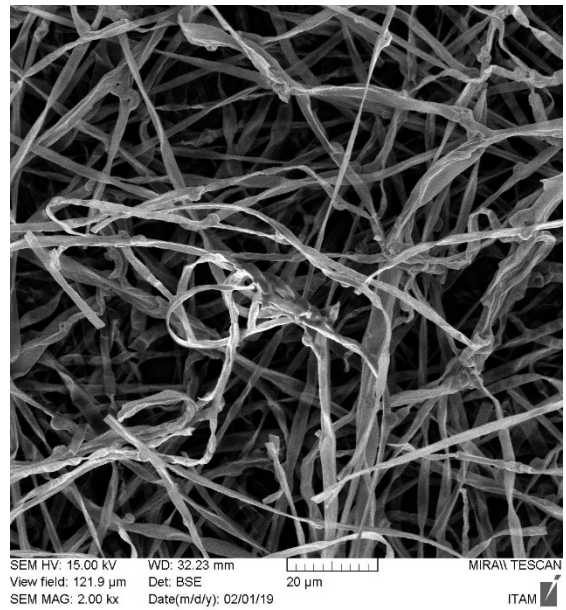
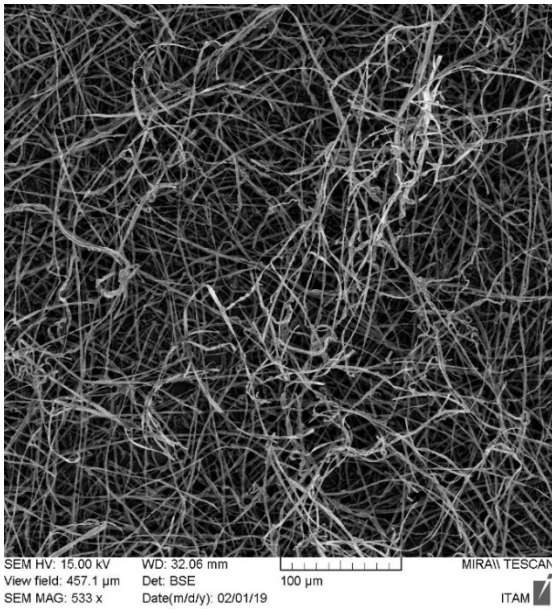
Údaje k výstupům pořízeným elektronovým mikroskopem (pracovní vzdálenost, přiblížení, detektor atd.) jsou uvedeny na jednotlivých snímcích níže. Spektra rentgenového záření (X-ray spektra) nebyla pořízena.

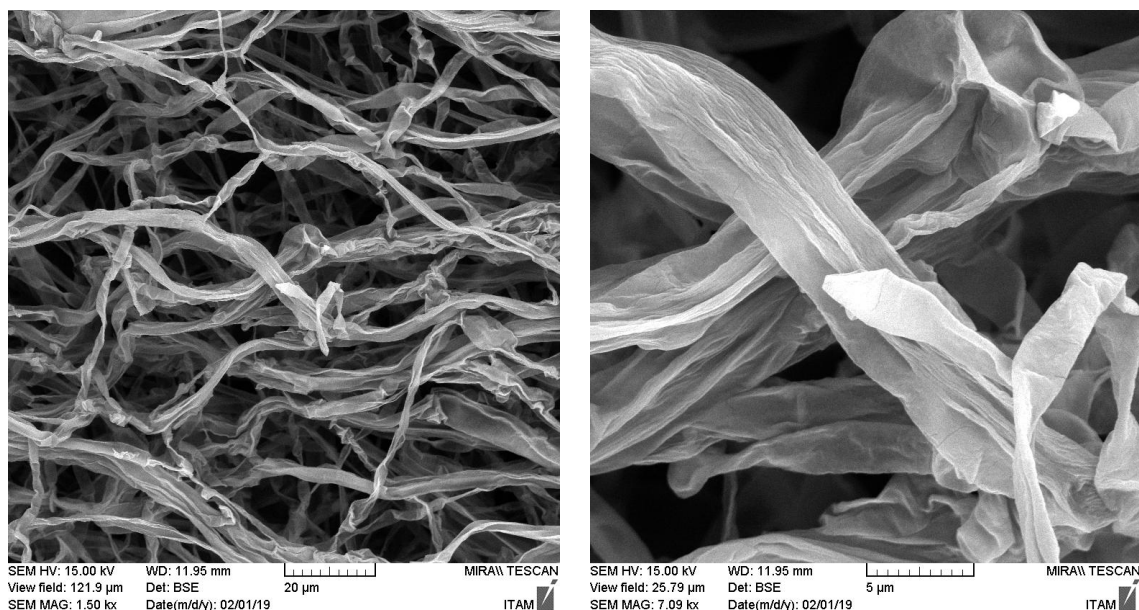
Vzorek ozn.: MIKROSKOP SEM 1 (agar Ø)

Pozorovaný materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové médium byl použit *čistý Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia, technický list viz příloha č. 7.14.

Výstup mikroskopie SEM:





Obr. 27: Snímky SEM – mycelium dřevomorky domácí rostlé na čistém agaru.

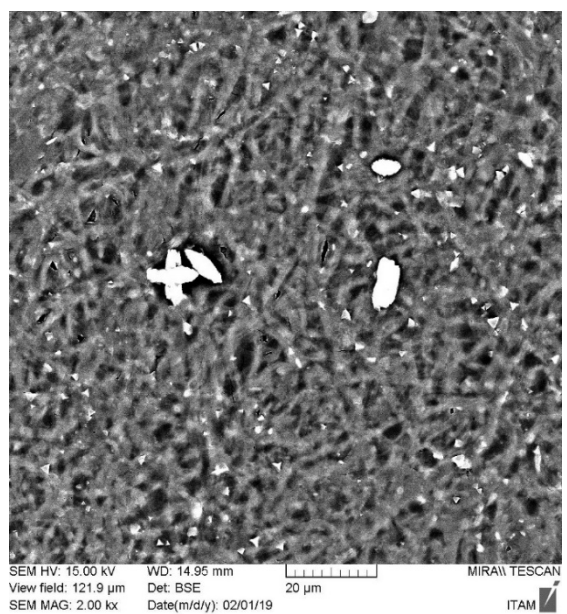
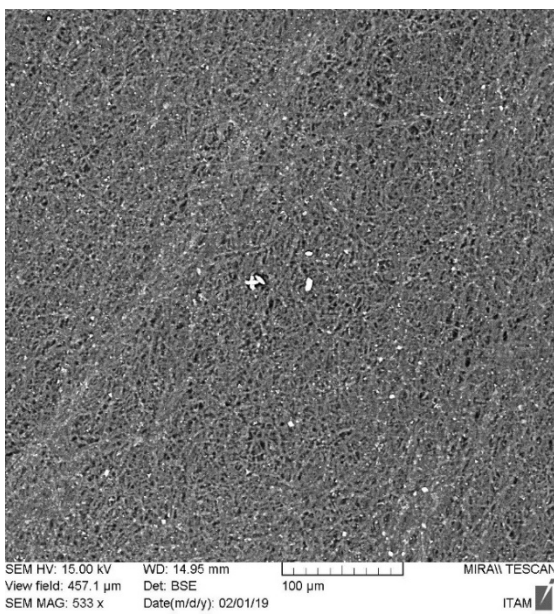
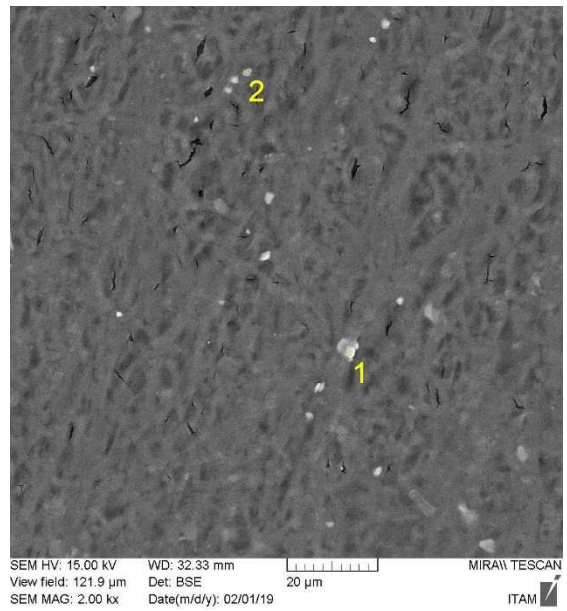
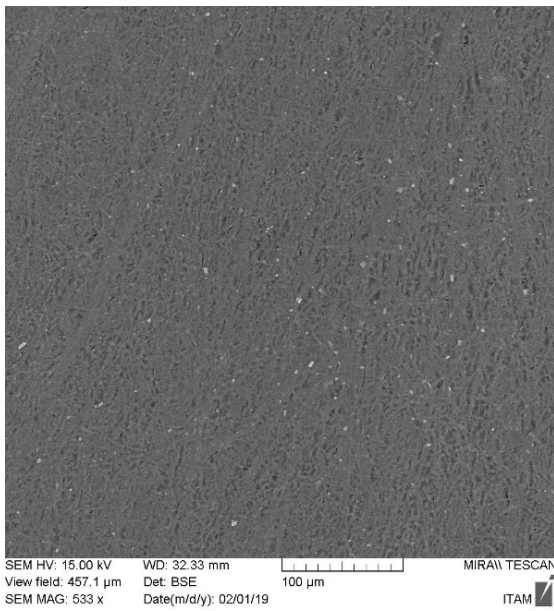
Závěr měření: Snímky zachycují hyfy s hladkým povrchem, na kterých jsou viditelné přezky. Na hyfách nejsou přítomny krystaly.

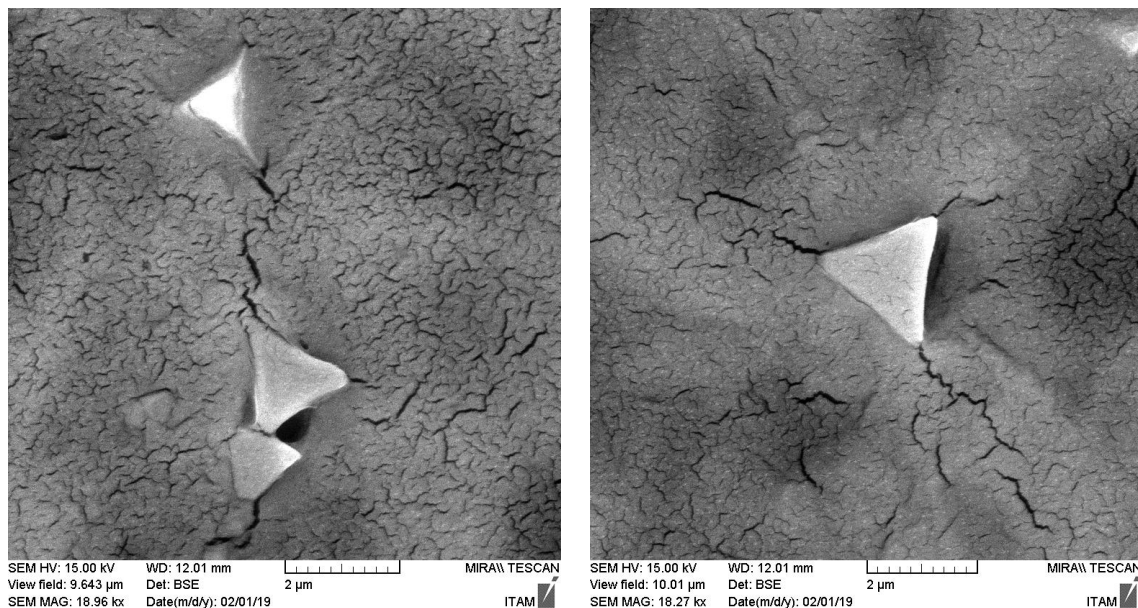
Vzorek ozn.: MIKROSKOP SEM 2 (agar lab. omítka)

Pozorovaný materiál: mycelium dřevomorky domácí vypěstované v Petriho misce v laboratorních podmínkách, oddělení diagnostiky a konzervace památek ÚTAM AV ČR, v. v. i.

Růstové médium a podmínky pěstování biodeteriogenů: jako růstové medium byl použit agar *Malt Extract Agar Base* (w/Mycological Peptone) od firmy Himedia *s přidavkem rozdrcené sterilizované laboratorní vápenné omítky*. Technický list agaru viz příloha č. 7.14.

Výstup mikroskopie SEM:





Obr. 28: Snímky SEM – mycelium dřevomorky domácí rostlé na agaru s lab. omítkou.

Závěr měření: Na povrchu hyf byly zaznamenány vystupující části krystalků. Ze snímků není zřejmé, jedná-li se o dílčí části tetragonální dipyramidy - morfologicky odpovídající krystalům dihydrátu šťavelanu vápenatého, nebo se jedná o jiné částičky či krystaly.

Závěry vyplývající z výstupů elektronové mikroskopie: Touto zobrazovací metodou jsem chtěla doplnit předchozí výstupy provedené na optickém mikroskopu. Na hyfách rostoucích na čisté živné půdě nebyly ani během této analýzy pozorovány žádné nově vzniklé útvary. Hyfy byly hladké a jejich okolí čisté.

Oproti tomu pozorování provedená na hyfách, které rostly na živné půdě s přidáním vápenné malty, nepřinesla jasně definované výsledky. Na povrchu hyf jsou viditelné drobné částice, které dle pořízených detailních snímků, prostupují skrze povrch hyf. Otázkou je, zda se jedná o vrcholové části tetragonální pyramidy krystalu šťavelanu vápenatého nebo jde o zcela jiný krystal. Popřípadě zda je možné, že zachycený útvar je pouze dílčím krokem v průběhu vzniku krystalu šťavelanu vápenatého během

metabolické činnosti dřevomorky domácí a proces nebyl z důvodu krátké expozice dokončen.

5.2.9 Diskuze výsledků – 2. fáze experimentálního výzkumu

V této části experimentálního výzkumu byly v průběhu práce upravovány vstupní podmínky sledovaných vzorků, které byly podrobeny různým analýzám. Tímto zpřesněním počátečních podmínek jsem se snažila omezit vliv různorodosti chemického hlediska použitého anorganického materiálu (omítky). Prvním krokem konkretizace vstupních podmínek byla laboratorní příprava vzorků vápenných malt s přesně stanoveným poměrem vstupních surovin pro jejich výrobu. Znalost složení a původu takto připravených laboratorních vzorků jsem na počátku této kapitoly experimentální činnosti považovala za dostatečné zpřesnění, které povede k jasnějším výstupům mé práce. Výsledky získané z laboratorních vzorků jsem v průběhu experimentu porovnávala s výsledky vzorků odebraných na stavbě, u kterých nebylo známo přesné složení, stáří, vlhkost, vliv okolí atd., ale působení biodeteriogenu v reálných podmínkách stavby bylo dlouhodobé.

V úvodu experimentální činnosti byla pozornost zaměřena na práci s maltovými vzorky. Ty byly v rámci předem stanoveného systému podrobeny působení dřevomorky domácí. Z porostlých vzorků byl mechanicky očištěn nárůst povrchového mycelia. Okrajové části zkušebních vzorků, které byly nejvíce v kontaktu s dřevokaznou houbou, byly odebrány pro provedení plánovaných analýz. Jako kontrolní vzorek byl použit maltový vzorek referenční, uložený ve shodných podmínkách jako ostatní vzorky, avšak bez působení dřevomorky domácí. Maltové vzorky byly rozdrceny na jemný prášek, se kterým se dále v jednotlivých analýzách pracovalo dle předepsaných postupů.

V rámci experimentu byly provedeny tři různé analýzy. První z nich byla X-ray fluorescenční spektroskopie (XRF) (viz kap. č. 5.2.4), u které se bohužel ukázala nevhodnost jejího využití pro řešený úkol. Druhou byla

termická analýza (viz kap. č. 5.2.5). Tato metoda vykazovala u maltových vzorků mírné proměny během rozkladů sledovaných při termickém měření. Nejvýraznější peaky odpovídající štavelanu vápenatému byly zaznamenány u vzorku malty odebraného na stavbě Hrádek nad Ohří. Abych nezávisle potvrdila tuto skutečnost, bylo mi umožněno po domluvě s pracovníky ÚTAM AV ČR, v. v. i., provést srovnávací měření infračervenou spektroskopií (FTIR) (viz kap. č. 5.2.6). Tato metoda potvrdila u vzorků vystavených působení dřevomorce domácí přítomnost štavelanu vápenatého, zastoupeného v největší míře taktéž u vzorku malty odebrané na zmíněné stavbě.

Výsledky výše uvedených analýz (viz kap. č. 5.2.5) posunuly moji činnost konkrétnějším směrem. V dalším stupni jsem se zaměřila na sledování změn přímo na myceliu dřevomorky domácí. Přídavné zdroje vápníku, ve formě rozdrčené omítky a ve formě čistého uhličitanu vápenatého, byly přimíchány do živné půdy určené pro růst dřevomorky domácí v Petriho miskách. Vysušená mycelia pak byla podrobena termické analýze, z jejichž výsledků lze vyčíst nejvýraznější peaky termického rozkladu štavelanu vápenatého u vzorků s přídavkem CaCO_3 v koncentraci 10 g/l a u vzorku s přidáním sterilizované vápenné laboratorní omítky do živné půdy. Pro porovnání je na průběhu DTG křivky odpovídající myceliu rostlého na čisté agarové půdě bez aditiv Ca^{2+} viditelný rozklad organického materiálu s úbytkem hmotnosti 59,4 %. Obdobný výstup je zaznamenán pro vzorek mycelia, který rostl na dřevěném prvku. Ani v tomto případě nebyl průběh DTG křivky poznamenán přítomností štavelanu vápenatého.

Pro potvrzení výše uvedených výsledků, tedy pro ověření vzniku krystalů štavelanu vápenatého na hyfách dřevomorky domácí v případech, kdy růstové médium bylo doplněno vápníkem, jsem mycelium dřevomorky domácí podrobila mikroskopickému ohledání (viz kap. č. 5.2.7). Opět bylo použito mycelium dřevokazné houby rostlé na čistém agaru a mycelium, které rostlo na živné půdě s přídavkem sterilizované laboratorní omítky. Výstupem optické mikroskopie jsou snímky, na kterých jsou viditelné změny na povrchu hyf. Na myceliu, jehož růst byl podpořen přídavkem vápenné

omítky v kultivačním médiu, se objevily drobné útvary a krystalky. Dostupná optická metoda (dosažitelné rozlišení) však neumožnila jejich přesnou diagnostiku a určení. S přihlédnutím k výsledkům předchozích analýz a také k výsledkům uvedených ve studiích zahraničních vědeckých skupin, je však pravděpodobné, že se jedná i o krystaly šťavelanu vápenatého.

Použití přesnější zobrazovací metody za využití elektronového mikroskopu (viz kap. č. 5.2.8) nepřineslo očekávané výsledky. Pro analýzu byly použity vzorky shodné jako pro optickou mikroskopii. V případě mycelia rostoucího na čistém agaru jsou výstupy dle předpokladu. Hyfy jsou hladké, čisté, beze změn a bez krystalů. V druhém případě, kdy mycelium dřevomorky domácí rostlo na dotované živné půdě rozdrčenou vápennou omítkou, jsou výsledky nejasné (vzorky byly více ovlivněny horším stavem mycelia v době přípravy i samotnou náročnější přípravou vzorků). Na povrchu hyf jsou viditelné neprůkazné částičky/krystaly, které pravděpodobně dřevomorka domácí produkuje vlivem přidaného vápníku v agaru. Avšak není možné zcela jistě určit, že se jedná o krystaly šťavelanu vápenatého. X-ray analýza krystalů nebyla provedena, jejich složení není známo. Otázkou také zůstává, zda 14 denní inkubace mycelia byla pro vznik krystalů šťavelanu vápenatého během metabolických procesů dřevomorky domácí dostatečná a zda se v případě optické mikroskopie jedná o krystaly šťavelanu vápenatého nebo nikoliv. Obě metody by pro přesnější diagnostiku vyžadovaly provedení mnohonásobně většího počtu kultur a připravených vzorků s výběrem nejkvalitnějších z nich. Časová náročnost těchto experimentů však přesahovala možnosti této práce. Také by bylo vhodné zaměřit se pro další analýzy na vznik krystalů oxalátu pod myceliem dřevokazné houby na kontaktu s vápenným aditivem (dle výstupů z [75]).

5.3 Přínos řešeného tématu

Vlastní přínos disertační práce k problematice vztahu dřevomorky domácí k vybraným formám stavebních materiálů shledávám zejména v provedeném metodickém postupu a popisu činnosti, který vede

k postupnému zužování záběru, který daná oblast poskytuje. Provedené rešerše, laboratorní zkoušky a experimenty přispívají k poznání probíhajících procesů degradace dřeva a stavebních materiálů dřevomorkou domácí a hledání nových možností jejich studia.

Odběry a příprava zkoumaných vzorků, zpracování a vyhodnocení dosažených výsledků bylo provedeno s osobní účastí. Práce byla vedena tak, aby poukázala na použitelnost nebo nevhodnost zkoušených materiálů, postupů a analýz a dalo se z ní vycházet při další výzkumné práci.

Disertační práce v rámci první fáze experimentální činnosti poukazuje na širokou škálu externích vlivů, které s sebou nese použití vzorků odebraných z konkrétních staveb pro danou problematiku. Výsledky materiálových „rozborů“ jsou poměrně nekonkretizované a proto vyvolávají řadu nezodpovězených otázek, které řešené téma dále rozšiřují.

Přechod k laboratorním vzorkům je snahou minimalizovat působení vnějších vlivů na zkoumaný materiál a zaměřit se více na otázku změn probíhající přímo v analyzovaném materiálu a v samotném myceliu dřevomorky domácí. Nejvýraznější díl druhé experimentální části je zaměřen na využití termické analýzy. Tato metoda je zkoumaná a využívána v oblasti hodnocení stavebních materiálů (např. karbonatace betonu [93], keramických a sklářských surovin [94], nízkopálené keramiky [95]) a mimo jiné byla také využita při hodnocení patin vzniklých na povrchu dolomitických hornin na stavbu románského kostela ve Španělsku [96]. Tyto podklady přispěly k mému zájmu o vyhodnocení vlivu působení dřevomorky domácí na stavební materiály touto metodou, popřípadě i ke sledování změn, ke kterým dochází v samotném myceliu dřevokazné houby. Jednotlivými provedenými analýzami (viz kap. 5.2.5), jsem zpřesňovala počáteční podmínky a vyhodnotila závěry měření, které mohou být podkladem pro další činnost v oblasti řešené problematiky. Výsledky termické analýzy, které vykazují rozdíl mezi laboratorně čistým myceliem a myceliem, které roste na živné půdě s homogenními vápennými úpravami, jsou podpořeny dalšími kontrolními měřeními (viz kap. 5.2.6, 5.2.7 a 5.2.8).

Tento směr analyzování je z pohledu posuzování dřevokazných hub neprobádaný a tak tato práce může být jedním z podkladů pro hodnocení řešené tematiky.

5.4 Náměty na další výzkum

Vzhledem k častému výskytu a značným škodám, působeným dřevokaznou houbou dřevomorka domácí je žádoucí ve výzkumu zaměřeném na procesy její degradační činnosti nadále pokračovat a posouvat jej novými směry. Díky získaným znalostem by v budoucnu mohlo být možné stanovit nové postupy a způsoby kontroly jejího působení a pokročit ve výzkumu dalších faktorů ovlivňující její růst a činnost ve stavbách (např. vlivu dvojmocných kationtů pro zlepšení schopnosti rozkladu dřeva).

Následující experimentální činnost by bylo vhodné provádět v trendu od jednoduchého systému ke složitějšímu. Konkrétněji bych postupovala s agarovými živnými půdami bez obsahu kationtu vápníku v konfrontaci s živnou půdou, do které budou přidávány aditiva různých chemicky čistých látek (CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ apod.). Následovat by měly experimenty s laboratorně připravenou maltou (se známým složením) a postupně upravovaným poměrem přidaných zdrojů Ca^{2+} . Možná by byla i záměna živné půdy z čistého agaru na zeminu. Jak bylo v některých studiích zmíněno, samotná zemina, se kterou se dřevomorka domácí dostane do kontaktu (například ve sklepním prostředí, v násypech historických stropů, starém hliněném (vepříkovém) zdivu apod.), je významným zdrojem kovových iontů. Dále by bylo možné do monitorovaného mikroprostředí přidávat rovněž dřevěné prvky, u kterých by bylo vhodné sledovat účinky kontrolovaného množství vápníku nebo materiálu obsahující vápník, na jeho degradaci.

V další fázi výzkumu je možné do experimentů zahrnout vliv prostředí a dalších proměnných životních podmínek (zejména vlhkosti a teploty). Případně sledovat vliv periodických změn těchto podmínek na chování a působení této houby. Vše provádět opět v kombinaci s přidavkem vápenných aditiv přímo do růstového média nebo položením stavebního

materiálu bohatého na vápník na živnou půdu a s přidáním dřevěného prvku do sledovaného prostředí. Neméně zajímavý vliv může zapříčinit světlo, proudění vzduchu nebo zasolení stavebních konstrukcí objektů.

Pro další postup, zvládnutí a posunutí hranic této problematiky je zapotřebí zvážit možnosti laboratorního zázemí a přístrojového vybavení jednotlivých pracovišť. Vzhledem k provázanosti tématu s řadou vědních oborů (stavebnictví, materiálové inženýrství, biologie, chemie atd.) bude do budoucna v rámci řešení jednotlivých otázek nejlepší varianta vytvoření multioborových pracovních týmů.

Právě další vývoj bádání v této oblasti a navyšování stupně poznání procesů při napadení různých stavebních materiálů dřevokaznými houbami dává do budoucna možnost nalézat postupy a prostředky k zamezení jejich šíření. Včasné zabránění degradaci stavebních materiálů tak v důsledku spolu přináší i zásadní ekonomické úspory a zefektivnění stavebních činností.

6 Bibliografie

- [1] G. A. Low, M. E. Young, P. Martin a J. W. Palfreyman, „Assessing the relationship between the dry rot fungus *Serpula lacrymans* and selected forms of masonry," *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, pp. 141-150, 2000.
- [2] J. Gabriel a K. Švec, „Occurrence of indoor wood decay basidiomycetes in Europe," *Fungal Biology Reviews* 31, pp. 212-217, 2017.
- [3] O. Schmidt, „Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, causal fungi, physiology, identifikation and characterization, prevention and control," *Mycol Progress (2007)* 6, pp. 261-279, 2007.
- [4] K. M. Nobles, „Identification of cultures of wood - inhabiting hymenomycetes," *Canadian Journal of Botany* 43, pp. 1097-1138, 1965.
- [5] T. Huckfeldt a O. Schmidt, „Identification key for European strand-forming house-rot fungi," *Mycologist* 20, pp. 42-56, 2006.
- [6] O. Schmidt, *Wood and Tree Fungi - Biology, Damage, Protection, and Use*, Germany - Berlin: Springer, 2006.
- [7] J. W. Palfreyman, N. A. White, T. E. J. Buultjens a H. Glancy, „The Impact of Current Research on the Treatment of Infestations by the Dry Rot Fungus *Serpula lacrymans*," *International Biodeterioration & Biodegradation*, pp. 369-395, 1995.
- [8] N. A. White, G. A. Low, J. Singh, H. Staines a J. W. Palfreyman, „Isolation and environmental study of 'wild' *Serpula lacrymans* and *Serpula himantioides* from the Himalayan Forests," *Mycol. Res.* 101, pp. 580-584, 1997.
- [9] N. A. White, P. K. Dehal, J. M. Duncan, N. A. Williams, J. S. Gartland, J. W. Palfreyman a D. E. L. Cooke, „Molecular analysis of intraspecific

variation between building and 'wild' isolates of *Serpula lacrymans* and their relatedness to *S. himantioides*," *Mycol. Res.* 105, pp. 447-452, 2001.

- [10] F. Kotlaba, „Nálezy dřevomorky domácí - *Serpula lacrymans* v přírodě," *Czech Mycol.* 46, pp. 143-147, 1992.
- [11] F. Kotlaba, „K mykoflóře lesa "V Starém" severozápadně od Nedvědic v jižních Čechách," *Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích - Přírodní vědy* 52, pp. 119-132, 2012.
- [12] J. W. Palfreyman, „The Domestic Dry Rot Fungus, *Serpula lacrymans*, its natural origins and biological control," University of Abertay Dundee, Dundee.
- [13] S. C. Watkinson a D. C. Eastwood, „*Serpula lacrymans*, Wood and Buildings," v *Advances in Applied Microbiology*, vol. 78, Burlington, Academic Press, 2012, pp. 121-149. ISBN: 978-0-12-394805-2.
- [14] J. Bech-Andersen, *The Dry Rot Fungus and other fungi in houses*, 5th edition editor, DK-2840 Gl. Holte, Denmark: HUSSVAMP LABORATORIET ApS, 1995, pp. 139 ISBN 87-89560-25-6 IRG/WP 95-10124.
- [15] J. Holec, A. Bielich a M. Beran, *Přehled hub střední Evropy*, 10575 editor, Praha: Nakladatelství Academia, 2012, pp. 624, ISBN 978-80-200-2077-2.
- [16] R. Falck, „Die Meruliusfäule des Bauholzes," *Hausschwammforsch* 6:405 S, 1912.
- [17] K. Balabán a F. Kotlaba, *Atlas dřevokazných hub*, Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1970.
- [18] B. Hegarty , G. Buchwald , S. Cymorek a H. Willeitner, „Der Echte Hausschwamm - immer noch ein Problem?," *Mater Org* 21:87–99, 1986.

- [19] D. H. Jennings a A. F. Bravery, *Serpula Lacrymans: Fundamental Biology and Control Strategies*, Chichester: Wiley, 1991, pp. 9-38.
- [20] H. Kauserud, O. Schmidt, M. Elfstrand a N. Högberg, „Extremely low AFLP variation in the European dry rot fungus (*Serpula lacrymans*): Implications for self/nonself-recognition," *Mycol. Res.* 108, pp. 1264-1270, 2004.
- [21] A. Příhoda, „Houby a bakterie poškozující dřevo," Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 1953.
- [22] C. R. Coggins, „Decay of timber in buildings. Dry rot, wet rot and other fungi," *Rentokil*, 1980.
- [23] C. R. Coggins, „Growth characteristics in a building," v *Serpula lacrymans*, Chichester, Wiley, 1991, pp. 81-93.
- [24] E. Šimůnková a I. Kučerová, *Dřevo*, Praha: STOP Společnost pro technologie ochrany pmátek, 2000, pp. 138, ISBN 80-902668-4-3.
- [25] Mendel University in Brno,
„https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz__cast.pl?cast=9177;lang=cz," [Online].
- [26] PED Masarykova univerzita,
„http://www.ped.muni.cz/wtech/03__studium/mtdr/nauka__o__dreve.doc," [Online].
- [27] R. W. Clarke, D. H. Jennings a R. W. Coggins, „Growth of *Serpula lacrymans* in relation to water potential of substrate," *Trans Br Mycol Soc* 75, pp. 271-280, 1980.
- [28] D. Dirrol a J.-M. Vergnaud, „Water transfer in wood in relation to fungal attack in buildings-effect of condensation and diffusion," *International Research Group on Wood Preservation Document* , sv. IRG/WP/1543, pp. 1-17, 1992.

- [29] J. G. Savory, „Dry rot - a re-appraisal," *Record of the 1964 Annual Convention of the British Wood Preserving Association*, pp. 69-76, 1964.
- [30] O. Schmidt a T. Huckfeldt, „Gebäudepilze," v *Holzschutz im Hochbau*, Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2005, pp. 44-72.
- [31] D. P. Bebbber, J. Hynes, P. R. Darrah, L. Boddy a M. D. Fricker, „Biological solutions to transport network design," *Proc. Biol. Sci.* 274, pp. 2307-2315, 2007.
- [32] B. D. Lindahl a S. Olsson, „Fungal translocation - Creating and responding to environmental heterogeneity," *Mycologist*, č. 18, pp. 79-88, 2004.
- [33] V. Rypáček, *Biologie dřevokazných hub*, Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1957.
- [34] F. W. M. R. Schwarze, „Wood decay under the microscope," *Fungal Biology Reviews*, č. 21, pp. 133-170, 2007.
- [35] M. Tlalka, D. Bebbber, P. R. Darrah a S. C. Watkinson, „Mycelial networks: Nutrient uptake, translocation and role in ecosystems," v *British Mycological Society Symposia Series*, 2008.
- [36] Y. S. Kim a A. P. Singh, „Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments," v *IAWA Journal* 21, 2000.
- [37] F. Green a T. L. Highley, „Mechanism of Brown rot decay: Paradigm or paradox," v *International Biodeterioration & Biodegradation* 39, 1997.
- [38] J. Krňanský, *Dřevo z pohledu materiálového inženýrství (letem světem)*, Praha: sylaby Dřevěné konstrukce, FSv ČVUT, 2010.
- [39] K. Balabán, *Nauka o dřevě. 1. část, Anatomie dřeva*, Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1955.

- [40] R. Wasserbauer, *Biologické znehodnocení staveb*, Praha: ABF a.s., nakladatelství ARCH, 2000, pp. 280, ISBN 80-86165-30-2.
- [41] Y.-S. Bahn a F. A. Mühlischlegel, „CO₂ sensing in fungi and beyond,” *Curr. Opin. Microbiol.* 9, pp. 572-578, 2006.
- [42] J. W. Palfreyman, D. Smith a G. A. Low, „The use of representative modelling to test the efficacy of environmental control treatments for the dry rot fungus *Serpula lacrymans*: simulating the infection and treatment of flooring timber,” *International Biodeterioration & Biodegradation* 47, pp. 27-36, 2001.
- [43] A. Nasswetrová, P. Šmíra a S. Křivánková, „Účinnost tepelných metod sanace dřevěných prvků konstrukcí při biotickém napadení - horkovzdušná sterilizace a mikrovlnná technologie,” 2016. [Online]. Available: <https://www.imaterialy.cz/rubriky/poruchy>.
- [44] Středočeské muzeum v Rožtokách u Prahy, [Online]. Available: <https://www.muzeum-roztoky.cz/odborna-cinnost/262-konzervacni-ozarovaci-pracoviste>.
- [45] *Občanský zákoník 89/2012 Sb.*, 2019.
- [46] J. Bech-Andersen, „The influence of the dry rot fungus (*Serpula lacrymans*) in vivo on insulation materials,” *Material und Organismen* 22, pp. 191-202, 1987.
- [47] J. Bech-Andersen, „*Serpula lacrymans* the dry rot fungus: review on previous papers,” *International Research Group on Wood Preservation Document IRG/WP/1393*, 1989.
- [48] G. M. Gadd, J. Bahri-Esfahani, Q. Li, Y. J. Rhee, Z. Wei, M. Fomina a X. Liang, „Oxalate production by fungi: significance in geomycology, biodeterioration and bioremediation,” *The British Mycological Society, Volume 28, Issues 2-3*, pp. 36-55, 2014.

- [49] F. Green, M. J. Larsen, J. E. Winandy a T. L. Highley, „Role of oxalic acid in incipient brown-rot decay," *Material und Organismen* 26, pp. 191-213, 1991.
- [50] J. S. Schilling a J. Jellison, „Oxalate regulation by two brown rot fungi decaying oxalate-amended and non-amended wood," *Holzforschung* 59, pp. 681-688, 2005.
- [51] M. Guggiari, R. Bloque, M. Arango, E. Verrecchia, D. Job a P. Junier, „Experimental calcium-oxalate crystal production and dissolution by selected wood-rot fungi," *International Biodeterioration & Biodegradation* 65, pp. 803-809, 2011.
- [52] „https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina__%C5%A1%C5%A5avelov%C3%A1," [Online].
- [53] A. J. García-Fernández, S. Espín, P. Gómez-Ramírez a E. Martínez-López, „Oxalates," v *Encyclopedia of Toxicology*, 2014, pp. 730-734.
- [54] Y. Akamatsu, M. Takahashi a M. Shimada, „Production of oxalic acid by wood-rotting basidiomycetes grown on low and high nitrogen culture media," *Mater. Org.* 28, pp. 251-264, 1994.
- [55] T. Watanabe, N. Shitan, S. Suzuki, T. Umezawa, M. Shimada, K. Yazaki a T. Hatorri, „Oxalate efflux transporter from the brown rot fungus *Fomitopsis palustris*," *Applied and Environmental Microbiology* 76, pp. 7683-7690, 2010.
- [56] J. Gabriel, „Dřevokazné houby v interiérech," *Živa*, č. 2/2013, pp. 54-57, 2013.
- [57] M. Shimada, Y. Akamatsu, A. Ohta a M. Takahashi, „Biochemical relationships between biodegradation of cellulose and formation of oxalic acid in brown-rot wood decay," *IRG on WP 1472*, 1991.

- [58] C. A. Clausen, W. Kenealy a P. K. Lebow, „Oxalate analysis methodology for decayed wood," *International Biodeterioration & Biodegradation* 62, pp. 372-375, 2008.
- [59] C. J. Schmidt, B. K. Whittenden a D. D. Nicholas, „A proposed role for oxalic acid in non-enzymatic wood decay by brown-rot fungi," *Proceedings of the American Wood Preservers' Association* 77, pp. 157-164, 1981.
- [60] S. Kaneko, K. Yoshitake, S. Itakura, H. Tanaka a A. Enoki, „Relationship between production of hydroxyl radicals and degradation of wood, crystalline cellulose, and a lignin-related compound or accumulation of oxalic acid in cultures of brown-rot fungi," *Journal of Wood Science* 51, pp. 262-269, 2005.
- [61] J. S. Schilling a J. Jellison, „High-performance liquid chromatographic analysis of soluble and total oxalate in Ca- and Mg-amended liquid cultures of three wood decay fungi," *Holzforschung* 58, pp. 682-687, 2004.
- [62] A. C. S. Hastrup, B. Jensen a J. Jellison, „Fungal accumulation of metals from building materials during brown rot wood decay," *Arch Microbiol* 196, pp. 595-574, 2014.
- [63] B. Goodell, J. Jellison, J. Liu, G. Daniel, A. Paszczynski, F. Fekete, S. Krishnamurthy, L. Jun a G. Xu, „Low molecular weight chelators and phenolic compounds isolated from wood decay fungi and their role in the fungal biodegradation of wood," *Biotechnol* 53, pp. 133-162, 1997.
- [64] J. Jellison, J. Connolly, B. Goodell, B. Doyle, B. Illman, F. Fekete a A. Ostrofsky, „The role of cations in the biodegradation of wood by the brown-rot fungi," *International Biodeterioration & Biodegradation* 39, pp. 165-179, 1997.

- [65] J. Jellison, K. Smith a W. Shortle, „Cation analysis of wood degraded by white- and brown-rot fungi," 1992.
- [66] J. Bech-Andersen, „Production, function and neutralization of oxalic acid produced by the dry rot fungus and other brown rot fungi," v *International Research Group on Wood Preservation* , 1987.
- [67] J. H. Connolly, H. Arnott a J. Jellison, „Patterns of calcium oxalate crystal production by three species of wood decay fungi," *Scanning Microsc* 10, pp. 385-400, 1996.
- [68] J. W. Palfreyman, E. M. Phillips a H. J. Staines, „The effect of calcium ion concentration on the growth and decay capacity of *Serpula lacrymans* (Schumacher ex Fr.) Gray and *Coniophora puteana* (Schumacher ex Fr.) Karst.," *Holzforschung* 50, pp. 3-8, 1996.
- [69] A. C. S. Hastrup, B. Jensen, C. Clausen a F. Green, „The effect of CaCl₂ on grown rate, wood decay and oxaic acid accumulation in *Serpula Lacrymans* and related brown-rot fungi," *Holzforschung* 60, pp. 339-345, 2006.
- [70] J. S. Schilling, „Effects of calcium-based materials and iron impurities on wood degradation by the brown rot fungus *Serpula lacrymans*," *Holzforschung* 64, pp. 93-99, 2010.
- [71] A. C. S. Hastrup, F. Grenn III, C. A. Clausen a B. Jensen, „Tolerance of *Serpula lacrymans* to copper-based wood preservatives," *International Biodeterioration & Biodegradation* 56, pp. 173-77, 2005.
- [72] A. C. S. Hastrup, F. Green III, P. K. Lebow a B. Jensen , „Enzymatic oxalic acid regulation correlated with wood degradation on four brown rot fungi," *International Biodeterioration & Biodegradation* 75, pp. 109-114, 2012.

- [73] A. C. S. Hastrup, T. Ø. Jensen a B. Jensen, „Detection of iron-chelating and iron-reducing compounds in four brown rot fungi,“ *Holzforschung* 67, pp. 99-106, 2013.
- [74] J. S. Schilling a J. Jellison, „Extraction and translocation of calcium from gypsum during wood biodegradation by oxalate,“ *International Biodeterioration & Biodegradation* 60, pp. 8-15, 2007.
- [75] M. M. Gharieb, J. A. Sayer a G. M. Gadd, „Solubilization of natural gypsum (CaSO₄ · 2H₂O) and the formation of calcium oxalate by *Aspergillus niger* and *Serpula himantoides*,“ *Mycological Research* 102, pp. 825-830, 1998.
- [76] ČSN P 73 0610 *Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení*, Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [77] P. Kotlík, V. Heidingsfeld, J. Bláha a I. Vaněček, *Stavební materiály historických objektů*, ISBN 978-80-7080-347-9 editor, VŠCHT v Praze, 1999.
- [78] „https://cs.wikipedia.org/wiki/Amoniak#V%C3%BDskyt_v_p%C5%99%C3%ADrod%C4%9B,“ [Online].
- [79] ČSN EN 1097-5 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně*, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [80] ČSN EN 772-10 *Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 10: Stanovení vlhkosti vápenopískových zdicích prvků a pórobetonových tvárnic*, Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [81] A. Černý, *Parazitické dřevokazné houby*, SZN Praha, ISBN 80-209-0090-X, 1989.
- [82] D. Cígler Žofková a R. Wasserbauer, „Vliv dřevokazných hub na degradaci vápenných omítek historických objektů,“ v *Sanace a rekonstrukce staveb 2012*, Brno, 2012.

- [83] O. Severin, Stavba domu v praxi / Díl II, STAVITEL editor, Sv. %1 z %2ISBN 80-247-0263-0, Praha: GRADA PUBLISHING, spol. s r. o., 2002.
- [84] ČSN EN 1015-3 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku), Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [85] ČSN EN 1015-7 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě, Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [86] ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty, Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [87] ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku, Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [88] D. Michoniová, Příprava vápenných malt v péči o stavební památky, 2. vydání, Sv. %1 z %2ISBN 978-80-87438-57-2, Praha: Informační centrum ČKAIT s. r. o., 2014, p. 76.
- [89] A. Blažek, Termická analýza, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974.
- [90] A. Kloužková, P. Zemenová, J. Kloužek a W. Pabst, „Termická analýza,“ VŠCHT v Praze, Praha, 2012.
- [91] „https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhli%C4%8Ditan__v%C3%A1penat%C3%BD,“ [Online].
- [92] „<http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>“.
- [93] P. Mec, T. Murínová a K. Kubečka, „Možnosti využití termické analýzy v oblasti stavebních materiálů,“ *Stavební obzor*, č. 02/2013, pp. 39-43, 2013.

- [94] *Termická analýza keramických a sklářských surovin*, Praha: VŠCHT v Praze.
- [95] *Termická analýza a mikrostruktura nízkopálené keramiky*, Praha: VŠCHT v Praze.
- [96] J. L. Perez-Rodriguez, A. Duran, M. A. Centeno, J. M. Marinez-Blanes a M. D. Robador, „Thermal analysis of monument patina containing hydrated calcium oxalate,“ *Thermochimica Acta* 512, pp. 5-12, 2011.
- [97] V. Heidingsfeld, „Fyzikální a chemická koroze stavebních materiálů,“ v *Povodně 2002 - Zpravodaj STOP - Mimořádné vydání*, Praha, 1999.
- [98] J. Láník a M. Cikrt, Dvě tisíciletí vápenictví a cementárenství v Českých zemích, Praha: Svaz výrobců cementu a vápna Čech, Moravy a Slezska, 2001, p. 204.
- [99] P. Rovnaníková, Omítky - Chemické a technologické vlastnosti, Sv. %1 z %2ISBN 80-86657-00-0, Praha: STOP - Společnost pro technologie ochrany památek, 2002, p. 94.
- [100] P. Rovnaníková, „Materiály historických omítek,“ v *Obnova památek 2004*, Praha, 2004.
- [101] Univerzita Palackého v Olomouci, „<http://www.botanika.upol.cz/atlasy/anatomie/anatomieCR09.pdf>,“ [Online].
- [102] A. F. Bravery, R. W. Berry, J. K. Carey a D. E. Cooper, *Recognising wood rot and insect damage in buildings*, Watford: Building Research Establishment, 2003.
- [103] „https://cs.wikipedia.org/wiki/Cytoplazmatick%C3%A1__membr%C3%A1na,“ [Online].
- [104] „<https://cs.wikipedia.org/wiki/Protoplast>,“ [Online].
- [105] „<http://lekarske.slovniky.cz/pojem/autolyza>,“ Maxdorf s. r. o.. [Online].

- [106] „<https://cs.wikipedia.org/wiki/HI%C3%ADstice>,” [Online].
- [107] „<https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrol%C3%A1za>,” [Online].
- [108] „https://www.wikiskripta.eu/w/Z%C3%A1kladn%C3%AD_reaktivn%C3%AD_formy_kysl%C3%ADku_a_dus%C3%ADku,” [Online].
- [109] „<http://lekarske.slovniky.cz/pojem/dekarboxylazy>,” [Online].
- [110] M. Kodíček, O. Valentová a R. Hynek, Biochemie chemický pohled na biologický svět, Praha: VŠCHT v Praze, 2018, pp. 408, ISBN 978-80-7592-013-3 (2. přepracované vydání).
- [111] „https://cs.wikipedia.org/wiki/NADH_dehydrogen%C3%A1za,” [Online].
- [112] „https://cs.wikipedia.org/wiki/Fosf%C3%A1tov%C3%BD_pufr,” [Online].
- [113] „<http://enpedie.cz/wiki/EDS>,” [Online].
- [114] L. Jennings, „*Serpula lacrymans*, Fundamental Biology and Control Strategies,” *Wiley, Chichester*, 1991.
- [115] J. W. Palfreyman, E. M. Phillips a H. J. Staines, „The effect of calcium ion concentration on the growth and decay capacity of *Serpula lacrymans* (Schumacher ex Fr.) Gray and *Coniophora puteana* (Schumacher ex Fr.) Karst.,” *Holzforschung* 50, pp. 3-8, 1996.
- [116] N. N. i. systém, „<http://www.n-i-s.cz/cz/pozarni-odolnost-dreva/page/493/>,” [Online].
- [117] „https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_aktivita,” [Online].

6.1 Publikace autora

CÍGLER ŽOFKOVÁ, D. RESTORATION OF THE FIRST BUILDING BUILT USING HETZER CONSTRUCTION IN CZECHOSLOVAKIA (1918) BUILDING NO. 56. In: SOJKOVÁ, K., et al., eds. Central Europe towards Sustainable Building 2016 - Innovations for Sustainable Future. Central Europe towards Sustainable Building 2016 Innovations for Sustainable Future. Prague, 22.06.2016 - 24.06.2016. Praha: GRADA PUBLISHING. 2016, s. 86-93. 1st edition, Prague, June 2016, Complete edition - printed version + Flash disk with full paper version. ISBN 978-80-271-0248-8.

CÍGLER ŽOFKOVÁ, D. Stavebně technický průzkum stavby s nosnou konstrukcí z lepených dřevěných obloukových rámců systému Hetzer (1918). In: Sanace a rekonstrukce staveb WTA 2015. Sanace a rekonstrukce staveb WTA 2015. Praha, 12.11.2015 - 13.11.2015. Praha: WTA CZ. 2015, s. 116-121. ISBN 978-80-02-02631-0.

CÍGLER ŽOFKOVÁ, D. a WASSERBAUER, R. Vliv dřevokazných hub na degradaci vápenných omítek historických objektů. In: Sanace a rekonstrukce staveb 2012. Sanace a rekonstrukce staveb 2012. Brno, 06.11.2012 - 07.11.2012. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky WTA CZ. 2012, s. 70-74. ISBN 978-80-02-02414-9.

NEUBERGOVÁ, S. a CÍGLER ŽOFKOVÁ, D. Korozivní vlivy biologických a chemických degradačních procesů na porézní stavební materiály historických a památkově chráněných staveb. In: SOJKOVÁ, K., TYWONIAK, J., a HÁJEK, P., eds. 35. vědecká mezinárodní konference ústavů a kateder pozemních staveb České a Slovenské republiky. 35. vědecká mezinárodní konference ústavů a kateder pozemních staveb České a Slovenské republiky. Telč, 07.09.2011 - 09.09.2011. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. 2011, s. 105-111. ISBN 978-80-01-04959-4.

V procesu schvalování:

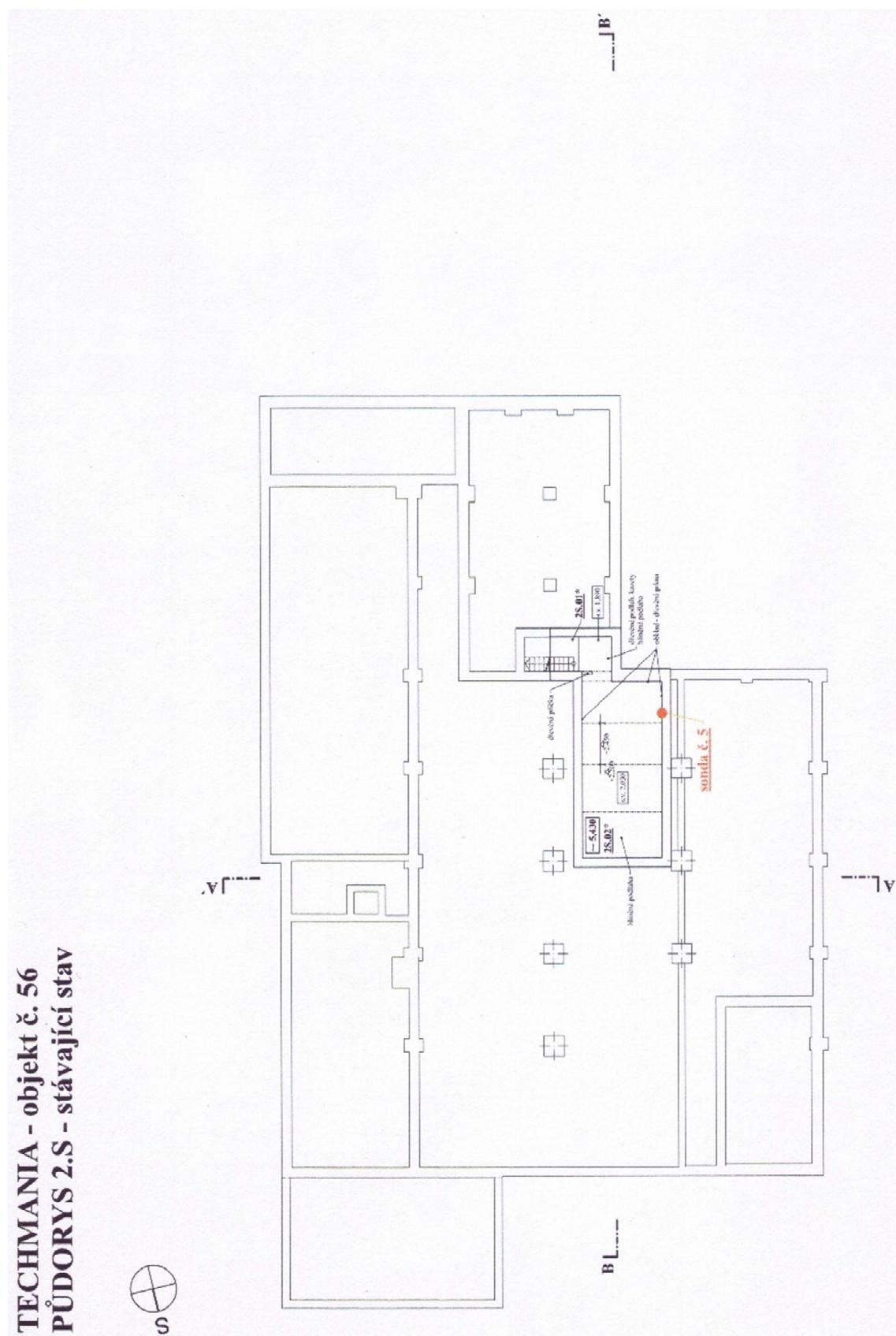
ŠAFÁŘ V., POTŮČKOVÁ M., KARAS J., TLUSTÝ J., ŠTEFANOVÁ E., JANČOVIČ M. a CÍGLER ŽOFKOVÁ D. USE OF UAV IN CADASTRAL MAPPING OF THE CZECH REPUBLIC. In: GIS Ostrava 2020 – UAV in Smart City and Smart Region. 2020.

CÍGLER ŽOFKOVÁ D., FRANKL J. a FRANKEOVÁ D. Use of Thermal Analysis for the Detection of Calcium Oxalate in Selected Forms of Plastering Exposed to Effects of *Serpula lacrymans*.

7 Přílohy

7.1	Výkresová dokumentace objekt č. 56, areál ŠKODA HOLDING a. s., Plzeň - půdorysné rozmístění sond (2.S, 1.S, 1.NP)	142
7.2	Příloha A Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610	145
7.3	Příloha B Klasifikace salinity zdiva dle ČSN P 73 0610.....	146
7.4	Výstupní grafy spektrálních analýz měřených vzorků objekt tzv. Starého opatství (prelatura), areál kláštera, Plasy	147
7.5	Biodeteriogeny stavebních materiálů	154
7.6	Poznatky o výskytu solí a jejich účincích na stavební konstrukce	156
7.7	Vápenné malty / omítky	158
7.7.1	Pojivo	158
7.7.2	Výroba vzdušného vápna - vápenný cyklus	159
7.8	Technický list vápenné kaše AQUA LIME PUTTY (výrobce AQUA obnova staveb s.r.o.)	162
7.9	Protokol o přehledu ročních zkoušek drobného těžného kameniva frakce 0/4 z lokality Straškov	163
7.10	Postup zkoušky konzistence čerstvé malty	167
7.11	Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě	167
7.12	Výpočet objemové hmotnosti čerstvé malty	168
7.13	Zkouška pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu	169
7.14	Technický list Malt Extract Agar Base (w/Mycological Peptone) (výrobce Himedia)	171
7.15	Bezpečnostní list CaCO ₃	173

7.1 Výkresová dokumentace objekt č. 56, areál ŠKODA HOLDING a. s., Plzeň - půdorysné rozmístění sond (2.S, 1.S, 1.NP)



7.2 Příloha A Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [76] v platném znění

Příloha A (informativní)

Klasifikace vlhkosti zdiva

A.1 Vlhkost zděných konstrukcí, vyvolaná účinky zemní vlhkosti a pod terén prosakující a po povrchu terénu a chodníků stékající a od něho odstříkující srážkové vody a vody kondenzující z vlhkého vzduchu na povrchu a ve struktuře zdiva, se ve vztahu k uvažovanému způsobu sanace zdiva nad i pod terémem klasifikuje podle tabulky A.1.

Tabulka A.1 – Vlhkost zdiva

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva w v % hmotnosti
velmi nízká	$w < 3$
nízká	$3 \leq w < 5$
zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
velmi vysoká	$w > 10$

POZNÁMKY

- 1 Uváděná klasifikace se vztahuje na konstrukce staveb s místnostmi a prostory určenými pro pobyt osob; předpokládá se, že stěny jsou vyzděné z plných pálených cihel na vápennou, vápenocementovou nebo cementovou maltu, z cihel vápenopískových a z kamenů těch druhů homin, které se běžně používaly jako zdicí materiály (pískovce, opuky a další druhy přírodního kamene s nasákavostí vyšší než 10 % hmotnostních);
- 2 Hmotnostní obsahy vlhkosti se vztahují hlavně na směsné vzorky zdicí malty a zdicích prvků, které byly ze zdiva vyjmuty z hloubky 100 mm až 150 mm od líce zdi s otlučenou omítkou; v hloubkách zdiva více než 100 mm pod povrchem je již zpravidla potlačen vliv obklopujícího prostředí na povrchové vrstvy konstrukce (procesy kondenzace a vysušování vody, účinky větrem hnaných dešťů).

7.3 Příloha B Klasifikace salinity zdiva dle ČSN P 73 0610 [76] v platném znění

Příloha B (informativní)

Klasifikace salinity zdiva

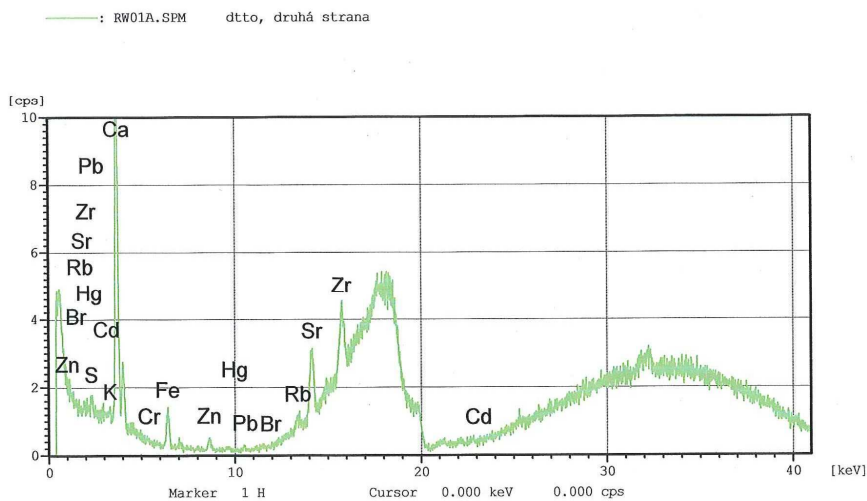
B.1 Míra salinity zdiva se hodnotí podle obsahu síranů, chloridů a dusičnanů ve zdivu; udává se v % hmotnostních každé soli nebo v mg soli na gram vzorku stavebního materiálu nebo v mg soli na 10 g (100 g) vzorku; salinita co do možnosti poškození zdiva, hlavně zdicí malty, korozními procesy (fyzikální a chemické rozrušování roztoky a krystaly uváděných druhů solí) se klasifikuje podle tabulky B.1.

Tabulka B.1 – Salinita zdiva

Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v mg / g vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Sírany	
	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost
nízký	< 0,75	< 0,075	< 1,0	< 0,1	< 5,0	< 0,5
zvýšený	0,75 až 2,0	0,075 až 0,20	1,0 až 2,5	0,1 až 0,25	5,0 až 20	0,5 až 2,0
vysoký	2,0 až 5,0	0,20 až 0,50	2,5 až 5,0	0,25 až 0,50	20 až 50	2,0 až 5,0
velmi vysoký	> 5,0	> 0,50	> 5,0	> 0,50	> 50	> 5,0

POZNÁMKA Stupeň zasolení zdiva se posuzuje pro každý druh uváděné soli samostatně. Tabulka platí pro obsahy solí ve vzorcích zdicí malty, přičemž vzorky jsou odebrány z hloubky do 20 mm pod povrchem zdiva s otlučenou omítkou; chemická reakce zdiva (alkalita, kyselost) se hodnotí faktorem pH vodního výluhu odebraných vzorků, přednostně opět vzorků zdicí malty; stupeň zasolení vyjadřuje míru agresivity hlavně pro maltoviny.

7.4 Výstupní grafy spektrálních analýz měřených vzorků objekt tzv. Starého opatství (prelatura), areál kláštera, Plasy



May-18-10 10:34

RW01A.SPM (May-18-10 10:30)
dtto, druhá strana

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 μ A
Processing Time : P2
X-ray Filter : 5 element Cell : Nonexistence

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/mA]
16 S Sulfur	K	17.96	5.82	7.40
19 K Potassium	K	1.39	1.37	2.69
20 Ca Calcium	K	78.41	5.68	188.75
24 Cr Chromium	K	0.03	0.37	0.12
26 Fe Iron	K	1.67	0.21	17.95
30 Zn Zinc	K	0.11	0.03	4.67
35 Br Bromine	K	0.00	0.01	0.00
37 Rb Rubidium	K	0.04	0.01	8.16
38 Sr Strontium	K	0.19	0.02	47.21
40 Zr Zirconium	K	0.15	0.03	38.59
48 Cd Cadmium	K	0.00	0.01	0.00
80 Hg Mercury	L	0.01	0.03	0.35
82 Pb Lead	L	0.04	0.03	1.74

Quant. result of harmful eleme

[Cond.]
RW01A.SPM (May-18-10 10:30)
dtto, druhá strana

Calib. Curve File : XGTKALIB.CLW (Jun-02-06 15:25)

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 µA
Path : Air Processing Time : P2
X-ray Filter : 5 element Corr. : Plastics

[Density of harmful element]

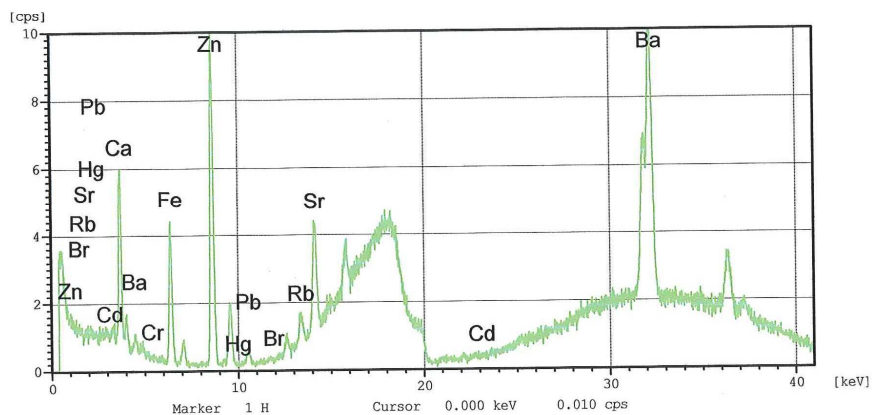
No.	Target	Results	Unit	3sigma	Intensity[cps/mA]	method
1	Pb	8.0480	ppm	5.4594	-	Calib.
3	Cd	0.0890	ppm	12.5583	-	Calib.
4	Cr	0.8003	ppm	44.4020	-	Calib.
5	Hg	1.6760	ppm	4.7382	-	Calib.
6	Br	0.0000	ppm	2.1381	-	Calib.

[Other elements:FPM]

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/mA]
16 S Sulfur	K	17.97	5.82	7.40
19 K Potassium	K	1.39	1.37	2.69
20 Ca Calcium	K	78.47	5.68	188.75
26 Fe Iron	K	1.67	0.21	17.95
30 Zn Zinc	K	0.11	0.03	4.67
37 Rb Rubidium	K	0.04	0.01	8.16
38 Sr Strontium	K	0.19	0.02	47.21
40 Zr Zirconium	K	0.15	0.03	38.59

— : RW02A.SPM omítka líc (červená?)



May-18-10 11:02

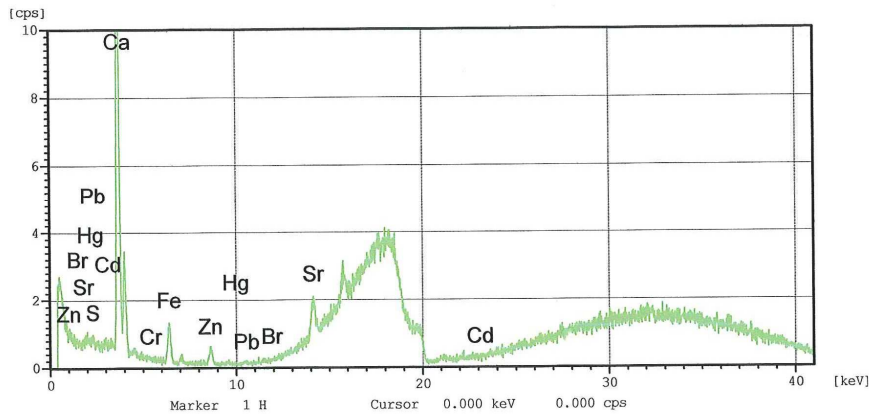
RW02A.SPM (May-18-10 10:57)
omítka líc (červená?)

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 μ A
Processing Time : P2
X-ray Filter : 5 element Cell : Nonexistence

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/mA]
20 Ca Calcium	K	59.93	1.13	87.77
24 Cr Chromium	K	0.02	0.59	0.05
26 Fe Iron	K	12.85	0.56	71.52
30 Zn Zinc	K	10.59	0.35	190.61
35 Br Bromine	K	0.00	0.03	0.00
37 Rb Rubidium	K	0.25	0.04	18.37
38 Sr Strontium	K	0.93	0.06	75.02
48 Cd Cadmium	K	0.01	0.04	0.49
56 Ba Barium	K	14.83	0.48	395.73
80 Hg Mercury	L	0.00	0.12	0.01
82 Pb Lead	L	0.59	0.11	8.79

— : RW08.SPM povrch omítky



May-18-10 10:47

RW08.SPM (May-18-10 10:44)
povrch omítky

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 µA
Processing Time : P2
X-ray Filter : 5 element Cell : Nonexistence

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/µA]
16 S Sulfur	K	9.55	4.59	4.05
20 Ca Calcium	K	88.05	4.48	264.33
24 Cr Chromium	K	0.01	0.32	0.05
26 Fe Iron	K	2.04	0.20	20.16
30 Zn Zinc	K	0.23	0.03	9.22
35 Br Bromine	K	0.00	0.01	0.01
38 Sr Strontium	K	0.11	0.02	25.33
48 Cd Cadmium	K	0.00	0.01	0.00
80 Hg Mercury	L	0.00	0.03	0.11
82 Pb Lead	L	0.01	0.03	0.59

Quant. result of harmful eleme

[Cond.]
RW08.SPM (May-18-10 10:44)
povrch omitky

Calib. Curve File : XGTKALIB.CLW (Jun-02-06 15:25)

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 µA
Path : Air Processing Time : P2
X-ray Filter : 5 element Corr. : Plastics

[Density of harmful element]

No.	Target	Results	Unit	3sigma	Intensity[cps/mA]	method
1	Pb	2.9483	ppm	4.8043	-	Calib.
3	Cd	0.0062	ppm	10.4441	-	Calib.
4	Cr	0.0000	ppm	36.3980	-	Calib.
5	Hg	0.8585	ppm	4.1538	-	Calib.
6	Br	0.0172	ppm	2.0392	-	Calib.

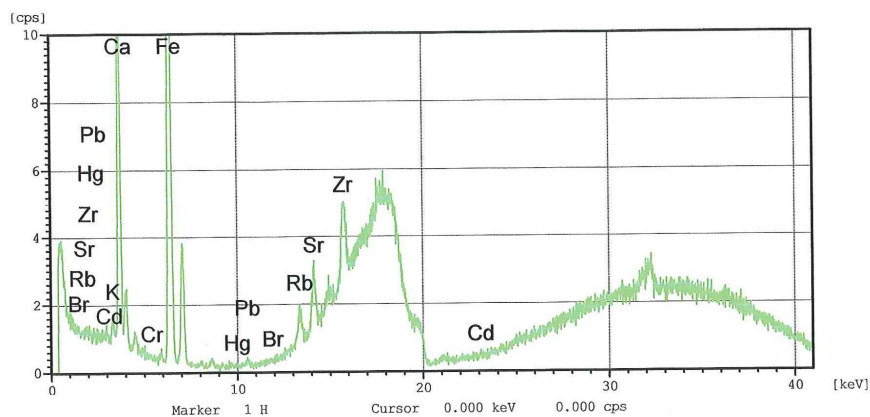
[Other elements:FPM]

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/mA]
16 S Sulfur	K	9.55	4.59	4.05
20 Ca Calcium	K	88.08	4.48	264.33
26 Fe Iron	K	2.04	0.20	20.16
30 Zn Zinc	K	0.23	0.03	9.22
38 Sr Strontium	K	0.11	0.02	25.33

ZW 012 omítka rby vzorek 12

VZOREK 12



May-18-10 10:53

(May-18-10 10:50)

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
 X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 µA
 Processing Time : P2
 X-ray Filter : 5 element Cell : Nonexistence

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/mA]	
19 K	Potassium	K	3.74	1.03	9.54
20 Ca	Calcium	K	65.11	0.97	193.12
24 Cr	Chromium	K	0.03	0.30	0.20
26 Fe	Iron	K	30.32	0.68	354.66
35 Br	Bromine	K	0.00	0.02	0.00
37 Rb	Rubidium	K	0.12	0.02	18.19
38 Sr	Strontium	K	0.22	0.03	36.03
40 Zr	Zirconium	K	0.31	0.04	53.04
48 Cd	Cadmium	K	0.01	0.02	1.23
80 Hg	Mercury	L	0.01	0.06	0.35
82 Pb	Lead	L	0.12	0.05	3.73

Quant. result of harmful eleme

[Cond.]
RW012.SPM (May-18-10 10:50)
omitka rub, vzorek 12

Calib. Curve File : XGTKALIB.CLW (Jun-02-06 15:25)

XGT Dia. : 1.2 mm Live time : 100 s
X-ray tube vol. : 50 kV Current : 1000 µA
Path : Air Processing Time : P2
X-ray Filter : 5 element Corr. : Plastics

[Density of harmful element]

No.	Target	Results	Unit	3sigma	Intensity[cps/mA]	method
2	Pb	5.6827	ppm	11.0855	-	Calib.
3	Cd	10.9122	ppm	12.9359	-	Calib.
4	Cr	0.6419	ppm	44.9394	-	Calib.
5	Hg	2.0876	ppm	5.3625	-	Calib.
6	Br	0.0085	ppm	2.4712	-	Calib.

[Other elements:FPM]

Quant. Corr. : Standard-less

Elem.	Line	Mass[%]	3sigma[%]	Intensity[cps/mA]
19 K Potassium	K	3.74	1.03	9.54
20 Ca Calcium	K	65.23	0.97	193.12
26 Fe Iron	K	30.38	0.69	354.66
37 Rb Rubidium	K	0.12	0.02	18.19
38 Sr Strontium	K	0.22	0.03	36.03
40 Zr Zirconium	K	0.31	0.04	53.04

7.5 Biodeteriogeny stavebních materiálů

Zdroj: publikace [40]. Použity výňatky z kap. 3.3 Biodeteriogeny stavebního díla, s laskavým svolením autora monografie.

Biodeteriogeny se aktivně uplatňují v procesu biokoroze. Pod pojmem biodeteriogen se skrývají organismy, které způsobují nežádoucí změny technických materiálů. Mezi hlavní škůdce fasád historických objektů patří sírné bakterie. Ty se vyskytují v půdě, ve vodě a všude tam, kde je dostatečná vlhkost a přítomnost zdrojů síry. Optimální pH je 7 (hraniční 6-9), teplota 25-30 °C. Činností těchto bakterií se hromadí síra a sírany. Vznikající kyselina sírová významně snižuje pH stavebních materiálů.

Další skupinu bakterií, které způsobují vyluhování vápenné složky stavebního kamene a tím ztrátu vnitřní soudržnosti, jsou bakterie nitrifikační. Vyskytují se v půdě, ve vodě, ale i na povrchu vápenců vysoko nad zónou rostlinstva. Optimální pH je 8-9, teplota 25-30 °C. Činností těchto mikroorganismů vzniká metabolit - kyselina dusitá a dusičná. Ty reagují s vápennými složkami stavebních materiálů na $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$.

Denitrifikační bakterie jsou většinou aerobi, ale pro růst bez přítomnosti kyslíku využívají nitrát jako elektronový akceptor. Denitrifikace je výrazně ovlivněna teplotou.

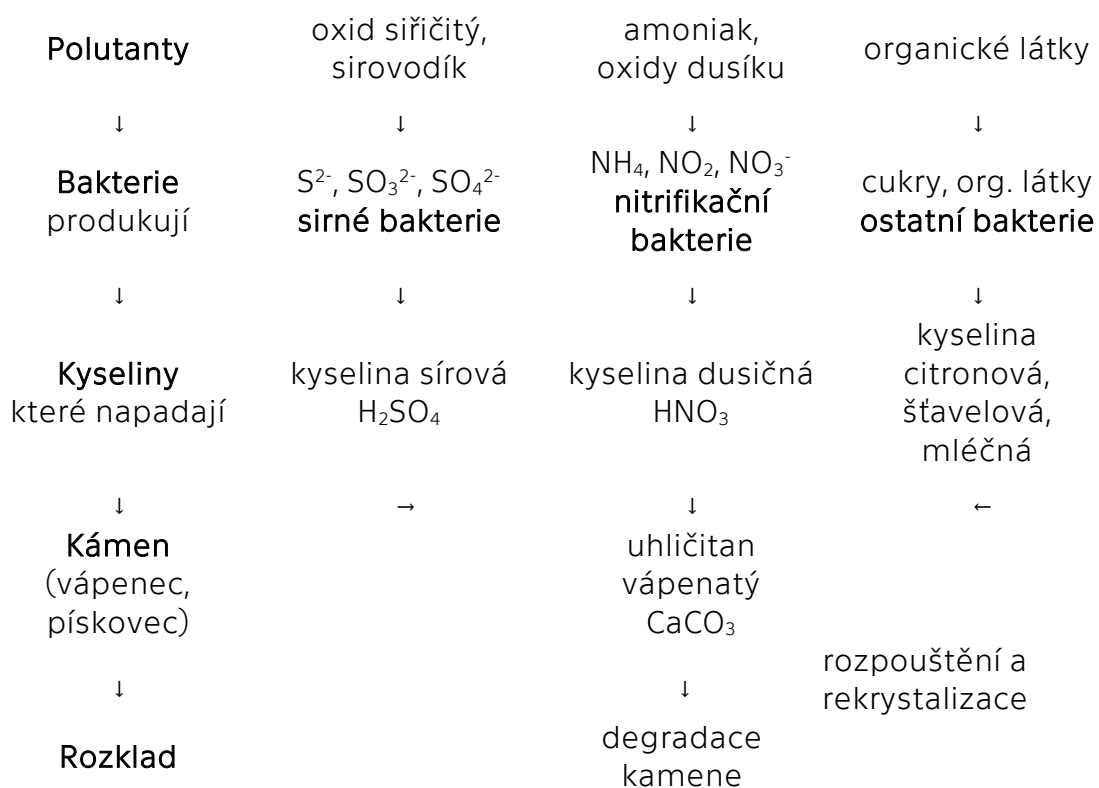
Jako průvodce výše zmíněných mikroorganismů jsou na fasádách historických budov bakterie desulfurikační, jejichž přítomnost byla prokázána při korozi základů. Pravděpodobná role z hlediska biokoroze spočívala v přísunu sírných sloučenin pro další oxidaci sírnými bakteriemi. Tyto bakterie bude možné využít při transformaci síranů obsažených v povrchových krustách stavebního kamene zpět na sulfan.

Pro další druh bakterií stačí hmotnostní vlhkost zdiva od 5 %, v tomto případě se jedná o silikátové mikroorganismy. Optimální pH je 7 (byl nalezen mikrob i v čerstvě provedených betonových konstrukcích při pH 12), optimální teplota 15-30 °C. Zajímavostí je, že tyto bakterie nejsou inhibovány vyššími koncentracemi solí na zdivu, ale dokážou v těchto podmínkách přežít [40].

Sírnými a nitrifikačními bakteriemi jsou produkovány minerální kyseliny, které rozpouštějí křemičitany, případně hlinitany vápenaté za tvorby většinou vodorozpustných solí. To vede k uvolnění struktury stavebního kamene.

Ostatní mikrobi tvoří jako produkty látkové výměny zejména organické kyseliny, které napadají stavební kámen za vzniku solí, nebo může nastat, že minimálně dva atomy stejné organické sloučeniny vytvoří stabilní vazbu s jedním iontem kovu, což vede ke změně rozpustnosti jednotlivých minerálů (tzv. tvorba chelátů) nebo dochází k výměně iontů. Při posledním jmenovaném procesu jsou kationty stavebního kamene (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) nahrazeny protony organických kyselin.

Jestliže se ve stavebních materiálech vyskytuje zdroj uhlíku vhodný pro procesy látkové přeměny (kterou mikrobiální buňka získává základní stavební složky a energii), potom u takového materiálu budou za příznivých vlhkostních a teplotních podmínek probíhat metabolické procesy charakteristické pro rozklad organických látek (tlení, hnití, kvašení apod.) [40].



Obr. 29 podle [40]: Schéma tvorby organických a anorganických kyselin bakteriemi a jejich vliv na degradaci

7.6 Poznatky o výskytu solí a jejich účincích na stavební konstrukce

Voda se podílí přímo nebo nepřímo na korozi, degradaci či úplné destrukci většiny materiálů památkových objektů. Tato porušení mohou být zapříčiněna chemickou reakcí vody s některou ze složek stavebního materiálu. Jako jeden z typických příkladů můžeme uvést reakci vody s nedohašenými částicemi vápna v omítkách nebo v cihlách (v cihlách bývají částice vápna označovány jako tzv. cicváry). Voda může dále působit jako reakční médium, ve kterém probíhají chemické reakce mnohonásobně rychleji než za sucha. Často bývá jednou z reagujících složek v případě reakce kyselinotvorných oxidů (CO_2 , SO_2 , SO_3 , NO_x). Tyto oxidy v suché omítce, ve vápenci apod. téměř nereagují. Po jejich rozpuštění v dešťové nebo kondenzující vodě vznikají kyseliny, které rychle reagují se stavebními materiály za vzniku příslušných škodlivých solí.

Voda umožňuje krystalizaci a rekrystalizaci solí pod povrchem nebo na povrchu stavebního prvku a transportuje je v rámci stavební konstrukce. Tím se stává jednou z hlavních příčin poškození omítek, cihel, kamene, nástěnných maleb apod. V tabulce 22 této přílohy je uvedena rozpustnost některých solí, které se mohou ve stavebních materiálech vyskytovat. Pro srovnání jsou zde uvedeny i rozpustnosti uhličitanu vápenatého, který je běžným pojivem omítek, a hydroxidu vápenatého (vápna). Z hodnot uvedených v tabulce je zřejmé, že některé soli mají značnou rozpustnost. V tabulce jsou dále uvedeny hodnoty relativních vlhkostí vzduchu nad nasycenými roztoky jednotlivých solí. Ty charakterizují, za jakých podmínek mohou tyto soli z nenasyceného roztoku krystalizovat. Lze říci, že soli, nad jejichž nasycenými roztoky se udržuje relativní vlhkost vyšší než cca 75 %, krystalizují často. Soli, nad jejichž nasycenými roztoky se udržuje relativní vlhkost cca 50-75 %, krystalizují zřídka a soli s relativní vlhkostí nižší než 50 % krystalizují jen zcela výjimečně. Soli první a druhé skupiny mohou za určitých podmínek, jako je nízká vlhkost vzduchu, ale zejména zvýšená teplota, ztrácet krystalovou vodu a za vhodných podmínek ji opět přibírat – to znamená rekrystalizovat. Tento proces se může při kolísání podmínek neustále opakovat. Rekrystalizace některých solí probíhá již za teplot kolem

30 °C až 35 °C. Což jsou teploty, které jsou v České republice běžné. Informativní hodnoty tlaků, které rostoucí krystalky jednotlivých solí vyvozují na stěny pórů stavebních materiálů, jsou uvedeny v tabulce 23 v závěru této přílohy. Hodnoty tlaků převyšují pevnost většiny stavebních materiálů. Podobně je tomu i při rekrystalizaci solí, kdy hydratační tlaky rovněž převyšují pevnost stavebních materiálů. K porušení stavebního materiálu dochází samozřejmě pouze tehdy, jestliže soli krystalizují pod povrchem. Pokud dochází ke krystalizaci na povrchu stavebního materiálu, dochází obvykle pouze k povrchovým škodám. To znamená ke vzniku výkvětů, což platí zejména pro soli, které snadno dehydratují (jako např. síran sodný). U špatně rozpustných solí (např. sádrovec) hrozí při krystalizaci na povrchu nebezpečí vzniku nerozpustné krusty, která se později může odtrhnout i s částí podkladu [97].

Některé soli mohou být důsledkem činnosti živých organismů (např. ptačí trus jako zásobárna různých druhů anorganických i organických sloučenin). Vegetující organismy na povrchu nebo uvnitř stavebního materiálu produkují soli, které mohou substrát poškozovat. Bakterie jsou příčinou síranů i dusičnanů, lišejníky vylučují tzv. lišejníkové kyseliny, jimiž napadají podklad, na němž rostou a také kořeny vyšších rostlin jsou v tomto směru aktivní. Na povrchu řady stavebních objektů bylo stanoveno nezanedbatelné množství solí kyseliny šťavelové, jejíž původ je nade vše pochybnost spojen s činností živých organismů [77].

Tabulka 22: Rozpustnost vybraných solí a relativní vlhkost vzduchu nad jejich nasycenými roztoky [97]			
Vzorec	Název	Rozpustnost [g/l]	RV vzduchu [%] nad nasyc. roztokem
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	síran vápenatý	2,6	100
K_2SO_4	síran draselný	111	98
KNO_3	dusičnan draselný	316	95
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	uhličitan sodný	910	92
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	síran hořečnatý	1170	90
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	síran sodný	580	87
KCl	chlorid draselný	340	76
$NaCl$	chlorid sodný	360	76
$NaNO_3$	dusičnan sodný	880	75
NH_4NO_3	dusičnan amonný	1920	62

$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	dusičnan hořečnatý	2850	54
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	dusičnan vápenatý	4300	53
$K_2CO_3 \cdot 2H_2O$	uhličitan draselný	1410	43
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	chlorid hořečnatý	3050	33
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	chlorid vápenatý	5360	30
$Ca(OH)_2$	hydroxid vápenatý	1,60	-
$Ca(HCO_3)_2$	hydrogenuhličitan vápenatý	2,40	-
$CaCO_3$	uhličitan vápenatý	0,014	-

Tabulka 23: Informativní hodnoty tlaků, které rostoucí krystalky jednotlivých solí vyvozují na stěny pórů stavebních materiálů [97].

Vzorec	Název	Krystalizační tlak [MPa]
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	síran vápenatý	28,2
$MgSO_4 \cdot 2H_2O$	síran hořečnatý	10,5
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	síran hořečnatý	11,8
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	síran sodný	7,2
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	uhličitan sodný	7,8
$NaCl$	chlorid sodný	55,4
H_2O	voda	210

7.7 Vápenné malty / omítky

Vápno jako pojivo omítek bylo použito již u staveb asi 7500 let př. n. l. Lidé žijící na území dnešního Jordánska používali k nátěrům stěn a podlah svých obydlí vápno ve směsi s nepáleným drceným vápencem. Na území Čech a Moravy jsou první doklady o použití vápna z doby kamenné [98]. Použití malt s vápnem jako pojivem je dokumentováno u církevních staveb již od 9. století. Také u světských staveb byl tento druh malty využíván pro spojování stavebních zdících prvků. První zmínka o vápence na našem území je v historických pramenech z roku 999. Ta patřila klášteru v Břevnově [99].

Čistě vápenné omítky nebo vápenné omítky modifikované anorganickými přísadami nebo jinými organickými přísadami patří mezi nejrozšířenější povrchovou úpravu do 20. let minulého století [100].

7.7.1 Pojivo

Obecně je pojivo materiál, který spojuje písek a šterk do podoby malty. Pro výrobu vápenné malty bylo jako pojivo použito vápno, přesněji

vápenné pojivo. Toto pojivo lze rozdělit na vzdušné (schopné tvrdnout pouze na vzduchu) a hydraulické (tvrdne i pod vodou).

Termín vápno též ve stavební praxi představuje různá výrobní stádia vápenného pojiva. A to:

Nehašené (pálené) vápno, chem. oxid vápenatý tj. CaO – jedná se o produkt (ve formě drtě nebo moučky), který vzniká bezprostředně po vypálení vápence.

Hašené vápno, chem. hydroxid vápenatý tj. Ca(OH)₂ – vzniká po vyhašení nehašeného vápna. Podle konzistence dělíme hašené vápno na suchý vápenný hydrát (má podobu suchého bílého prášku), na vápennou kaši (jedná se o směs hašeného vápna s vodou v podobě různě husté plastické bílé pasty), dále na vápenné mléko a vápennou vodu (děleno podle množství přidané vody).

7.7.2 Výroba vzdušného vápna - vápenný cyklus

Surovinou pro výrobu vzdušného vápna je vápenc. U nás se využívá skupina přírodních čistých až vysoce čistých vápenců, které obsahují 95 až téměř 100 % uhličitanu vápenatého, tj. CaCO₃. U něj vápenný cyklus začíná, ale i končí. Uhličitan vápenatý totiž vzniká ve vápenné maltě po zpevnění vápenného pojiva. Vápence mohou být znečištěny jílovými minerály (využití pro výrobu v různé míře hydraulického vápna) a také dolomitem (chem. CaCO₃·MgCO₃, pro vypálení dolomitického vápna).

Vápence se vypalují v šachtových nebo rotačních pecích při teplotě v rozmezí 1050 °C až 1250 °C. Jedná se o tzv. tvrdé pálení vápna, kdy se uhličitan vápenatý, event. dolomit mění na oxid vápenatý, resp. hořečnatý a plynný oxid uhličitý, označovaný jako zplodina.



Dříve byla teplota při zahřívání vápenců jen kolem 900 °C. Jednalo se o tzv. měkké pálení, při kterém vznikalo kvalitní, rychle reagující nehašené vzdušné nehydraulické vápno (tj. CaO). Teplota při kalcinaci ovlivňuje

mikrostrukturu vápna, která má vliv na aktivitu, rychlost hašení, vydatnost a plasticitu vápna.

Proces výroby vápna pokračuje hydratací neboli hašením vápna. Kvalita vápna je dána především rychlostí hydratační reakce a množstvím vybaveného tepla. Měkce pálená vápna (do 1050 °C) mají nízkou objemovou hmotnost, která souvisí s jejich vysokou porozitou a velikostí měrného povrchu. Reakce s vodou probíhá současně, na rozdíl od tvrdě páleného vápna, na velké ploše povrchu zrn i uvnitř v pórech, hydratace proběhne rychle a dokonale za krátkou dobu [99]. Hašení vápna je reakce oxidu vápenatého s vodou, při níž vzniká hydroxid vápenatý a uvolňuje se teplo.



Technologie hašení ovlivňuje vlastnosti hašeného vápna. Na kvalitě se též významně projevuje doba odležení vápenné kaše, při níž dochází k dodatečnému vyhašení a rozdužení nezhydratovaných zrn oxidu vápenatého. Delší doba odležení odpovídá objemově stálému vápnu.

Dalším krokem cyklu je samotná příprava a použití malty. Ve správném poměru a při dodržení postupu výroby dojde k řádnému promísení pojiva, kameniva a vody (lze vynechat). Tyto kroky mají přímý vliv na výslednou zpracovatelnost a trvanlivost vápenných malt.

Vápenný cyklus uzavírá karbonatace vzdušného vápna. Při tomto zpevňovacím procesu se vápenné pojivo z chemického hlediska mění zpět do podoby vápence (nerozpustného uhličitanu vápenatého, tj. CaCO_3). Průběh je pomalý a je závislý na koncentraci oxidu uhličitého v okolním vzduchu. Malta tuhne, jestliže může vysychat a ubývá tak vodou nasycených pórů. Do částečně uvolněných pórů pak vstupuje vzduch, dochází k chemickým reakcím, kdy se vápno pomalu mění na uhličitan vápenatý a malta tvrdne.

Tento proces lze popsat následovně:



Karbonatace probíhá směrem od povrchu do hloubky nanesené vrstvy. Což znamená, že pevnost vápenného materiálu je dlouhou dobu v hloubce vrstvy nižší (z toho důvodu, že oxid uhličitý prostupuje k hydroxidu

vápenatému porézním systémem omítky) než na povrchu (zde již došlo k přeměně $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na vápenec). Zpevnění vápenného materiálu je možné po vyschnutí malty urychlit jejím opakovaným vlhčením.

S postupující karbonatací roste pevnost malty a její odolnost povětrnosti a zároveň klesá její pH.

7.8 Technický list vápenné kaše AQUA LIME PUTTY (výrobce AQUA obnova staveb s.r.o.)

TECHNICKÝ LIST - POKYNY PRO APLIKACI



VÁPENNÁ KAŠE
ČESKÝ VÝROBEK

Doporučené použití

Jako klasické pojivo do opravných malt, ke kletování, k restaurování nástěnných maleb, sgrafita, atd. při obnově památek i jiných stavebních děl.

Charakteristické vlastnosti

Vápenná kaše ze vzdušného vápna. Je připravena z nejlepších tuzemských surovin s použitím metody dokonalé mechanické aktivace vápenné suspenze (tato metoda se úspěšně používá v tuzemské stavební a památkové praxi již déle než 30 let). Takto připravená suspenze se před distribucí nechává ještě odležet po dobu tří let.

Technická data

Objemová hmotnost 1,45
pH 13

Způsob aplikace

Míchá se s kvalitním říčním pískem v poměru 1 díl kaše : 1-2 dílům písku (oběmově).

Čištění náradí

Vodou ihned po skončení práce.

Pokyny pro zacházení, skladování a bezpečnost práce

Skladovatelnost v původních neporušených obalech je 6 měsíců, výrobek nesmí zmrznout.

Nebezpečné složky: hydroxid vápenatý CAS 1305-62-0

Výstražný symbol: Xi Dráždivý;

Standardní věty označující specifickou rizikovost (R-věty)

R 38 Dráždí kůži

R 41 Nebezpečí vážného poškození očí



Standardní pokyny pro bezpečné nakládání (S-věty)

S 2 Uchovávejte mimo dosah dětí

S 26 Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc

S 36/37/39 Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít

Podle zákona č. 477/2001 Sb. je zpětný odběr obalů smluvně zajištěn prostřednictvím autorizované firmy EKO-KOM, zákaznické číslo EK-F00030519. Prázdné obaly odkládejte ve sběrnách nebo na určených místech.

Informace vycházejí ze současného stavu znalostí výrobce, platné zákony a ustanovení musí odběratel dodržovat na vlastní odpovědnost.

Výrobek není k dispozici v běžné maloobchodní síti, je určen k dalšímu zpracování zejména odbornými firmami a restaurátory.

Prodej : AQUA obnova staveb s.r.o. Kmochova 15, Praha 5

Výrobce: AQUA obnova staveb s.r.o., Grafická 12, 150 00 Praha 5, tel. 257 312 636

www.aquabarta.cz

mail: aquabarta@aquabarta.cz

V Praze dne 09.02.2009

Dr.ing. Jiří Rathouský, DrSc.
Ing. arch. Jan Bárta

7.9 Protokol o přehledu ročních zkoušek drobného těženého kameniva frakce 0/4 z lokality Straškov

ZKUŠEBNA KAMENE A KAMENIVA, s.r.o. STONE AND AGGREGATES TEST CENTRE, LTD.

Zkušební laboratoř č. 1046 akreditovaná ČIA
Testing laboratory No. 1046 accredited by Czech Accreditation Institute
Husova 675, 508 01 Hořice, Czech Republic telefon/fax 493 623 478 e-mail: azl@zkk.cz



Číslo zakázky : 1044/11
a protokolu : 3
Počet výtisků : 3
Výtisk číslo : 2

PROTOKOL O ZKOUŠKÁCH KAMENIVA POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT)

Objednavatel : EUROVIA Kamenolomy, a.s.
nám. Soukenné 115/6
460 07 Liberec

Objednávka číslo : Z-IO 356/11

Provozovna : STRAŠKOV

Hornina : Štěrkopísek


Druh kameniva : Přírodní těžené

Vykonavatel : Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o.
Husova 675
508 01 Hořice

Řešitelské pracoviště : Zkušební laboratoř č. 1046 akreditovaná ČIA
Hořice

Datum provedení zkoušek : 30.5.2011 - 8.7.2011

Protokol vystaven dne : 11.7.2011

Za správnost protokolu odpovídá : Jaroslava Soukupová 
zástupce vedoucího zkušební laboratoře

Protokol obsahuje
Počet stran (včetně titulní) : 4
Počet příloh : 3
Protokol byl vystaven ve třech vyhotoveních.
Výtisk číslo 1 - 2 obdržel objednavatel, výtisk číslo 3 je uložen v archivu ZL č. 1046.



1. PŘEDMĚT ZKOUŠEK (VZORKY KAMENIVA)

Vzorky byly odebrány a zaevidovány takto :

Zakázka číslo	1044/11
Místo odběru	Skládka
Datum odběru	24.5.2011
Vzorek odebral	J. Kavan, I. Veltruská

Vzorek kameniva			Číslo přílohy protokolu	
Frakce v mm	Číslo vzorku	Hmotnost v kg	Přehled výsledků zkoušek	Zrnitostní rozbor vč. křivek
0/4	3005/11	20	2/1	3/1
4/22	3006/11	50	2/2	3/2
4/32	3007/11	60	2/3	3/3
8/16	3008/11	40	2/4	3/4
8/32	3009/11	60	2/5	3/5
16/22	3010/11	50	2/6	3/6

2. ROZSAH A SPECIFIKACE ZKOUŠEK

Na základě objednávky Z-IO 356/11 byly provedeny zkoušky výrobku v rozsahu požadavků:

ČSN EN 12620+A1	Kamenivo do betonu
ČSN EN 13043	Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch
ČSN EN 13139	Kamenivo pro malty
ČSN EN 13242+A1	Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace

U všech zkoušek byla splněna podmínka o počtu souběžných stanovení a dodrženy požadavky na zkušební prostředí. Použité přístroje a zařízení jsou metrologicky navázány ve shodě s metrologickým řádem ZL a odpovídají požadavkům ČSN EN 932-5.

Odhad nejistoty měření byl určen s pravděpodobností pokrytí 95% v souladu s EA 4/02.

3. POUŽITÉ POSTUPY A ZKUŠEBNÍ METODY

Odběr vzorků kameniva

podle ČSN EN 932-1.

Zmenšování laboratorních vzorků

podle ČSN EN 932-2.

Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor

podle ČSN EN 933-1, Změna A1.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 2,5 %.

Stanovení tvaru zrn - Tvarový index

podle ČSN EN 933-4.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 2,7 %.

Stanovení odolnosti proti drcení metodou Los Angeles ¹⁾

podle ČSN EN 1097-2, kap. 5.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 3,0 %.



Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva

podle ČSN EN 1097-3.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je pro stanovení sypané hmotnosti 3,7 %, pro stanovení setřesené hmotnosti 3,4 % a pro stanovení mezerovitosti 4,2 %.

Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti

podle ČSN EN 1097-6, kap. 7, 8, 9, příl. A, B, C, Změna A1, Oprava 1.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je pro stanovení objemové hmotnosti pyknometricky 3,0 % a pro stanovení nasákavosti 2,9 %.

Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování¹⁾

podle ČSN EN 1367-1.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 2,5 %.

Posouzení jemných částic - Zkouška ekvivalentu písku

podle ČSN EN 933-8.

Posouzení jemných částic - Zkouška methylenovou modří

podle ČSN EN 933-9.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 5,8 %.

Stanovení lehkých znečišťujících částic

podle ČSN EN 1744-1, kap. 14.2.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 4,9 %.

Stanovení obsahu humusovitých částic

podle ČSN EN 1744-1, kap. 15.1.

Stanovení rozlišných částic kameniva

podle ČSN 72 1180.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 3,0 %.

Stanovení ve vodě rozpustných chloridových solí potenciometricky

podle ČSN EN 1744-1, kap. 8.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 4,6 %.

Stanovení ve vodě rozpustných síranů

podle ČSN EN 1744-1, kap. 10.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 5,4 %.

Stanovení obsahu celkové síry

podle ČSN EN 1744-1, kap. 11.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 4,3 %.

Stanovení síranů rozpustných v kyselině

podle ČSN EN 1744-1, kap. 12.

Hodnota relativní rozšířené nejistoty měření zkušební metody je 2,2 %.

Vysvětlivky:

¹⁾ Zkouška byla provedena na frakci 10/14.

4. VÝSLEDKY ZKOUŠEK KAMENIVA

Přehled výsledků zkoušek frakce kameniva je uveden v Příloze číslo : 2
Zrnitostní rozbor frakce kameniva včetně křivky je uveden v Příloze číslo : 3



5. ZÁVĚR

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených vzorků.

Bez písemného souhlasu ZL č. 1046 nesmí být tento protokol reprodukován jinak než celý.

Stížnost nebo námitku k protokolu lze vznést písemně k vedoucímu ZL do 15. dní od doručení.

6. PŘÍLOHY PROTOKOLU O ZKOUŠKÁCH

- 1 Protokol o odběru - převzetí vzorků, Zakázkový list
- 2 Přehled výsledků zkoušek
- 3 Zrnitostní rozbor kameniva včetně křivky zrnitosti

- konec protokolu -



7.10 Postup zkoušky konzistence čerstvé malty

Dle ČSN EN 1015-3 v platném znění [84].

Výsledkem zkoušky je hodnota rozlití malty, která se získá změřením průměru rozlitého vzorku čerstvé malty. Použité zkušební zařízení – střešací stolek – odpovídá požadavkům normy.

Před zkouškou byla deska stolku a vnitřní povrch kovového kužele očištěn vlhkým hadříkem a otřen do sucha. Kovový kužel byl umístěn do středu střešacího stolku a v průběhu plnění byl přitlačován rukou k desce stolku. Plnění kužele proběhlo ve dvou vrstvách. Každá vrstva byla zhutněna pomocí dusadla deseti lehkými údery. Přebytečná malta byla setřena špachtlí a deska stolu byla před provedením zkoušky čistá a suchá. Poté se kužel lehce zvedl kolmo vzhůru a malta se na desce rozlila 15 nárazy s konstantní frekvencí jeden zdvih za sekundu. Průměr koláče malty byl měřen ve třech směrech pomocí měřidla. Výsledné hodnoty jsou uvedeny výše v textu, viz kapitola 5.2.1.



Obr. 30: Fotografie z postupu zkoušky konzistence čerstvé malty

7.11 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě

Dle ČSN EN 1015-7 v platném znění [85].

Procentuální zastoupení vzduchu v připravené maltě bylo určeno tlakovou metodou pomocí přístroje Air Entrainment Meter typ TESTING s ruční pumpičkou. Kovová nádoba o objemu 1 litr je spojena s kovovým víkem s příslušenstvím. K víku je připojena vzduchová (tlaková) komora a tlakoměr pro měření vyvinutého tlaku vzduchu.

Nádoba přístroje byla zaplněna maltou ve čtyřech přibližně shodných vrstvách, které byly zhutněny 10 krátkými údery dusadla. Přebytná malta byla odebrána a povrch malty byl zarovnan s horním okrajem nádoby. Vnější část nádoby byla před připevněním víka sponami čistá a osušená. Neznámý objem vzduchu obsažený ve vzorku maltové směsi byl určen poměřováním známého obsahu vzduchu a známého tlaku v uzavřené nádobě měřícího přístroje. Hodnoty obsahu vzduchu byly odečteny z kalibrovaného tlakoměru na víku přístroje a jsou uvedeny v kapitole 5.2.1.



Obr. 31: Přístroj Air Entrainment Meter typ TESTING s ruční pumpičkou

7.12 Výpočet objemové hmotnosti čerstvé malty

Dle ČSN EN 1015-6 v platném znění [86].

Použité rovnice:
$$\rho_m = \frac{m_m}{V_V} \quad (7.12-3)$$

$$m_m = m_{m+f} - m_f \quad (7.12-2)$$

$$V_V = 6 \cdot (0,02 \cdot 0,02 \cdot 0,1) = 2,4 \cdot 10^{-4} \quad (7.12-1)$$

Kde je:

ρ_m	objemová hmotnost čerstvé malty	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$;
m_m	hmotnost čerstvé malty ve formě	[g];
m_{m+f}	hmotnost formy naplněné čerstvou maltou	[g];
m_f	hmotnost formy	[g];
V_V	objem čerstvé malty ve formě	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$.

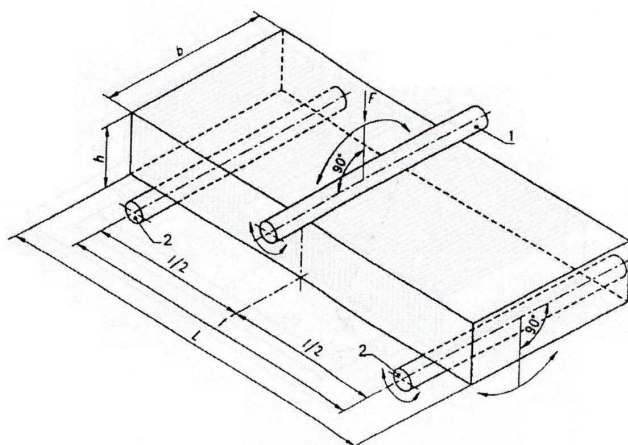
Tabulka 24: Výpočet objemové hmotnosti ρ_m - SADA 1				
Ozn. forem	m_f [g]	$m_{(f+m)}$ [g]	m_m [g]	ρ_f [kg/m ³]
1	829,32	1321,48	492,16	2050,66
2	833,06	1335,27	502,01	1091,71
3	830,81	1332,12	501,31	2088,79
4	723,67	1218,42	494,75	2061,46
5	828,53	1334,29	505,76	2107,33

Tabulka 25: Výpočet objemové hmotnosti ρ_m - SADA 2				
Ozn. forem	m_f [g]	$m_{(f+m)}$ [g]	m_m [g]	ρ_f [kg/m ³]
1	827,86	1327,42	499,56	2081,5
2	833,73	1331,55	497,82	2074,25
3	830,08	1330,26	500,18	2084,08
4	723,81	1215,08	491,27	2046,96
5	830,28	1321,81	491,53	2048,04

7.13 Zkouška pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu

Dle ČSN EN 1015-11 v platném znění [87].

Principem zkoušky je postupné tříbodové zatěžování zkušebních trámečků ze zatvrdlé malty až do jejich porušení [87].



Legenda:

- 1 - podpěrný válec
- 2 - válec přenášející zatížení

Obr. 32: Schéma stanovení pevnosti za ohybu při soustředěném zatížení [87]

Použité rovnice:

$$R_{tf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (7.13-1)$$

Kde je:

R_{tf}	pevnost v ohybu	[MPa];
F, F_{max}	zatížení při porušení	[N];
l	vzdálenost mezi podpěrnými válečky	[mm];
b	šířka průřezu zkušebního tělesa v blízkosti lomové plochy	[mm];
h	výška zkušebního tělesa	[mm].

Pevnost v ohybu byla vypočtena jako vážený průměr všech vzorků dle níže uvedených vzorců.

$$\bar{x} = \frac{1}{x} \sum_i x_i \quad (7.13-4)$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7.13-2)$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (7.13-3)$$

Kde je:

\bar{x}	aritmetický průměr z měřených hodnot;
x	měřené hodnoty;
n	počet měření;
s	směrodatná odchylka;
v	variační součinitel.

7.14 Technický list Malt Extract Agar Base (w/Mycological Peptone) (výrobce Himedia)



Technical Data

Malt Extract Agar Base (w/ Mycological Peptone)

M137

Intended Use:

Recommended for the detection, isolation and enumeration of yeasts and moulds from clinical and non clinical samples.

Composition**

Ingredients	Gms / Litre
Malt extract	30.000
Mycological peptone	5.000
Agar	15.000
Final pH (at 25°C)	5.4±0.2

**Formula adjusted, standardized to suit performance parameters

Directions

Suspend 50.0 grams in 1000 ml purified/distilled water and soak for 15 minutes. Sterilize by autoclaving at 115°C(10 lbs pressure) for 10 minutes. Mix well before dispensing. Avoid overheating. If desired, to adjust acidic pH use 10% Lactic Acid (FD095).

Principle And Interpretation

The laboratory diagnosis of fungal infection relies largely on direct as opposed to indirect methods. The use of malt and malt extracts for the propagation of yeasts and moulds is quite common. Reddish (5) described a culture medium prepared from malt extract that was a satisfactory substitute for wort. Malt Extract Medium is similar to the formula of Galloway and Burgess (1) used for the detection, isolation and enumeration of yeasts and moulds.

Malt extract provides an acidic environment and nutrients favorable for growth and metabolism of yeasts and moulds. Mycological peptone rapidly gives a luxuriant growth with typical morphology and pigmentation. For mycological count, it is advisable to adjust the reaction of medium more acidic with addition of 10% lactic acid. Antibiotics may be added as sterile solutions to the molten medium immediately before pouring into sterile Petri plates (2) in order to suppress bacterial growth.

Type of specimen

Clinical samples : skin scrapings.

Specimen Collection and Handling

For clinical samples follow appropriate techniques for handling specimens as per established guidelines (3,4). After use, contaminated materials must be sterilized by autoclaving before discarding.

Warning and Precautions

In Vitro diagnostic use only. Read the label before opening the container. Wear protective gloves/protective clothing/ eye protection/face protection. Follow good microbiological lab practices while handling specimens and culture. Standard precautions as per established guidelines should be followed while handling clinical specimens. Safety guidelines may be referred in individual safety data sheets.

Limitations

1. It is a general purpose medium which supports growth of bacterial and fungal cultures.
2. Further biochemical tests must be carried out for further identification

Performance and Evaluation

Performance of the medium is expected when used as per the direction on the label within the expiry period when stored at recommended temperature.

Quality Control

Appearance

Cream to beige homogeneous free flowing powder

Please refer disclaimer Overleaf.

Gelling

Firm, comparable with 1.5% Agar gel

Colour and Clarity of prepared medium

Amber coloured clear to slightly opalescent gel forms in Petri plates

Reaction

Reaction of 5.0% w/v aqueous solution at 25°C. pH : 5.4±0.2

pH

5.20-5.60

Cultural Response

Cultural characteristics observed after an incubation at 25-30°C for 48-72 hours.

Organism	Growth	Inoculum (CFU)	Recovery
<i>Aspergillus brasiliensis</i> ATCC 16404 (00053*)	luxuriant	50-100	
<i>Candida albicans</i> ATCC 10231 (00054*)	luxuriant	50-100	≥70%
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC 9763 (00058*)	luxuriant	50-100	≥70%

Key : *Corresponding WDCM numbers.

Storage and Shelf Life

Store between 10- 30°C in a tightly closed container and the prepared medium at 20-30°C. Use before expiry date on the label. On opening, product should be properly stored dry, after tightly capping the bottle in order to prevent lump formation due to the hygroscopic nature of the product. Improper storage of the product may lead to lump formation. Store in dry ventilated area protected from extremes of temperature and sources of ignition Seal the container tightly after use. Use before expiry date on the label. Product performance is best if used within stated expiry period.

Disposal




User must ensure safe disposal by autoclaving and/or incineration of used or unusable preparations of this product. Follow established laboratory procedures in disposing of infectious materials and material that comes into contact with clinical sample must be decontaminated and disposed of in accordance with current laboratory techniques (3,4).

Reference

1. FDA Bacteriological Analytical Manual, 2005, 18th Ed., AOAC, Washington, DC.
2. Galloway L. D. and Burgess R., 1952, Applied Mycology and Bacteriology, 3rd Ed., Leonard Hill, London, pg. 54 and 57.
3. Isenberg, H.D. Clinical Microbiology Procedures Handbook. 2nd Edition.
4. Jorgensen, J.H., Pfaller, M.A., Carroll, K.C., Funke, G., Landry, M.L., Richter, S.S and Warnock, D.W. (2015) Manual of Clinical Microbiology, 11th Edition. Vol. 1.
5. Reddish A., 1919, Abstr. Bacteriol., 3:6.

Revision : 03/ 2019

7.15 Bezpečnostní list CaCO₃

	BEZPEČNOSTNÍ LIST podle nařízení (ES) č. 1907/2006 a č.1272/2008	Datum vydání: 6.5.2010 Strana: 1 / 5
Název výrobku: UHLIČITAN VÁPENATÝ		
1. Identifikace látky nebo přípravku a výrobce nebo dovozce:		
1.1 Chemický název látky/obchodní název přípravku: Uhličitan vápenatý Další názvy látky: Calcium carbonate		
1.2 Použití látky: Anorganická chemikálie		
1.3 Identifikace firmy: MACH CHEMIKÁLIE spol. s r.o. 711 00 Ostrava-Hrušov, Plechanovova 163/19 IČO: 25818104 e-mail: mach-chem@volny.cz		
1.4 Telefon: 596 244 841 Fax: 596 244 841 Nouzové tel. číslo, adresa: 224919293, Toxikologické informační středisko, 224914575, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2 224915402		
2. Identifikace nebezpečnosti:		
Klasifikace látky nebo směsi Podle nařízení (ES) č.1272/2008 Dráždivost pro kůži (Kategorie 2) Vážné poškození očí (Kategorie 1) Toxicita pro specifické cílové orgány - jednorázová expozice (Kategorie 3) Podle evropské směrnice 67/548/EHS ve smyslu pozdějšího znění a doplňků. Dráždí dýchací orgány a kůži. Nebezpečí vážného poškození očí.		
obsah štítku		
 		
Piktogram Varování		
Signálním slovem Rizikové věty		
H315 Dráždí kůži. H318 Způsobuje vážné poškození očí. H335 Může způsobit podráždění dýchacích cest.		
Bezpečnostní oznámení		
P261 Zamezte vdechování prachu/dýmu/plynu/mlhy/par/aerosolů. P280 Používejte ochranné rukavice/ochranné brýle/obličejový štít. P305 + P351 + P338 PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyměňte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.		
Symboly nebezpečnosti		
Xi Dráždivý		
R-věty		
R37/38 Dráždí dýchací orgány a kůži. R41 Nebezpečí vážného poškození očí.		
S-věty		
S26 Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc. S39 Používejte osobní ochranné prostředky pro oči a obličej.		
jiná rizika - žádný		

Název výrobku:	UHLIČITAN VÁPENATÝ
3. Údaje o složení látky nebo přípravku:	<p>Uhličitan vápenatý, vzorec CaCO_3, mol. hmotnost 100,09 g/mol, koncentrace min. 99 %</p> <p>Reg.č. CAS: 471-34-1 Č.E.S: 207-439-9 Č. indexu: -</p> <p>Klasifikace: Skin Irrit. 2; Eye Dam. 1; STOT SE 3; H315, H318, H335 Xi, R37/38 - R41</p> <p>Plný text H-údajů uvedených v tomto oddíle viz oddíl 16.</p>
4. Pokyny pro první pomoc:	<p>Všeobecné pokyny Konzultujte s lékařem. Ošetřujícímu lékaři předložte tento bezpečnostní list.</p> <p>Při vdechnutí Při nadýchání dopravte postiženého na čerstvý vzduch. Pokud postižený nedýchá, poskytněte umělé dýchání Konzultujte s lékařem.</p> <p>Při styku s kůží Potřísněný oděv a obuv ihned odložte. Omývejte mýdlem a velkým množstvím vody. Konzultujte s lékařem.</p> <p>Při styku s očima Nejméně 15 minut pečlivě vyplachujte velkým množstvím vody a konzultujte s lékařem.</p> <p>Při požití NEVYVOLÁVEJTE zvracení. Osobám v bezvědomí nikdy nepodávejte nic ústy. Vypláchněte ústa vodou. Konzultujte s lékařem.</p>
5. Opatření pro hasební zásah:	<p>Vhodná hasiva Opatření při požáru mají odpovídat okolním podmínkám.</p> <p>Zvláštní ochranné prostředky pro hasiče Při požáru použijte v případě nutnosti izolační dýchací přístroj .</p> <p>Další informace Výrobek jako takový nehoří.</p>
6. Opatření v případě náhodného úniku:	<p>Opatření na ochranu osob Použijte vhodné ochranné prostředky. Je nutno vyloučit vznik prachu. Nevdechujte prach. Zajistěte přiměřené větrání. Personál odveďte do bezpečí.</p> <p>Opatření na ochranu životního prostředí Nenechejte vniknout do kanalizace.</p> <p>Metody a materiály pro kontrolu a vyčištění Opatrně seberte a bez prášení uložte mezi domovní odpad. Uložte do vhodné uzavřené nádoby.</p>
7. Pokyny pro zacházení a skladování:	<p>Opatření pro bezpečné zacházení</p>

Název výrobku:	UHLIČITAN VÁPENATÝ
<p>Zabraňte vzniku prachu a aerosolu. Při vzniku prachu nutno zajistit přiměřené větrání. Podmínky pro bezpečné skladování Skladujte na chladném místě. Nádoby skladujte dobře uzavřené na suchém, dobře větraném místě.</p>	
8.	<p>Kontrola expozice a ochrana osob:</p> <p>Neobsahuje žádné látky s mezními hodnotami expozice na pracovišti.</p> <p>Osobní ochranné prostředky Ochrana dýchacích cest Pokud z odhadu rizika plyne, že jsou vhodné respirátory čistící vzduch, použijte prachovou masku typu N95 (US) nebo respirátor typu P1 (EN 143). Používejte respirátory a součásti testované a schválené dle příslušných státních norem, jako je NIOSH (US) nebo CEN (EU).</p> <p>Ochrana rukou Zvolené ochranné rukavice mají vyhovovat specifikacím směrnice EU 89/686/EHS a z ní odvozené normě EN 374. Používejte ochranné rukavice</p> <p>Ochrana očí Ochranné brýle s bočními kryty vyhovující normě EN166</p> <p>Ochrana kůže a těla Zvolte osobní ochranné prostředky podle množství a koncentrace nebezpečné látky na pracovišti.</p> <p>Hygienická opatření Dodržujte bezpečnostní předpisy pro manipulaci s chemikáliemi. Před pracovní přestávkou a po skončení práce si umyjte ruce.</p>
9.	<p>Fyzikální a chemické vlastnosti:</p> <p>Vzhled Forma prášek Barva bílý</p> <p>Bezpečnostní údaje pH 8,0 Bod tání 800 °C Bod varu data neudána Bod vzplanutí data neudána Teplota vznícení data neudána Dolní mez výbušnosti data neudána Horní mez výbušnosti data neudána Rozpustnost ve vodě nerozpustná látka</p>
10.	<p>Stabilita a reaktivita:</p> <p>Chemická stabilita hygroskopická látka Stabilní za doporučených skladovacích podmínek.</p> <p>Podmínky, kterých je třeba se vyvarovat Vystavení vlivu vlhkosti.</p> <p>Materiály, kterých je třeba se vyvarovat Silné oxidační prostředky, Kyseliny, Hořčík, Hliník</p> <p>Nebezpečné produkty rozkladu Nebezpečné rozkladné produkty vzniknuvší při požáru. - Oxidy uhlíku, Oxid vápenatý</p>
11.	<p>Toxikologické informace:</p>

Název výrobku:	UHLIČITAN VÁPENATÝ
	<p>Akutní toxicita LD50 Orálně - krysa - 6.450 mg/kg</p> <p>Žíravost/dráždivost pro kůži Kůže - králík - Kožní dráždivost - 24 h - Draizeho zkouška Poznámky: Mírné dráždění pokožky</p> <p>Vážné poškození očí / podráždění očí Oči - králík - Silné dráždění očí - 24 h - Draizeho zkouška</p> <p>Respirační nebo kožní senzibilizace data neudána</p> <p>Mutagenita v zárodečných buňkách data neudána</p> <p>Karcinogenita IARC: Žádná ze složek obsažených v tomto produktu nebyla IARC identifikována při hladinách větších nebo rovných 0,1% jako pravděpodobný, možný nebo potvrzený karcinogen.</p> <p>Toxicita pro reprodukci data neudána</p> <p>Toxicita pro specifické cílové orgány - jednorázová expozice Vdechnutí - Může způsobit podráždění dýchacích cest.</p> <p>Toxicita pro specifické cílové orgány - opakovaná expozice data neudána</p> <p>Nebezpečnost při vdechnutí data neudána</p> <p>Možné ovlivnění zdraví Vdechnutí Může mít škodlivé účinky při vdechování. Způsobuje podráždění dýchacích cest. Požítí Může být škodlivý při požití. Kůže Může být zdraví škodlivý při absorpci přes kůži. Vyvolává podráždění kůže. Oči Způsobuje vážné podráždění očí.</p> <p>Priznaky a symptomy expozice Dle našich nejlepších znalostí nebyly chemické, fyzikální a toxikologické vlastnosti úplně prozkoumány.</p> <p>Další informace RTECS: FF9335000</p>
12. Ekologické informace:	<p>Toxicita data neudána</p> <p>Perzistence a rozložitelnost data neudána</p> <p>Bioakumulační potenciál data neudána</p> <p>Mobilita v půdě data neudána</p> <p>Posouzení perzistentních bioakumulativních a toxických (PBT) a vysoce perzistentních a vysoce bioakumulativních (vPvB) látek data neudána</p> <p>Jiné nepříznivé účinky data neudána</p>
13. Informace o zneškodňování:	<p>Výrobek Dodržujte všechny státní a místní předpisy o životním prostředí. Tento materiál nechte zneškodnit profesionální licencovanou firmou.</p> <p>Znečištěné obaly Zlikvidujte jako nespolečovaný výrobek.</p>

Název výrobku:	UHLIČITAN VÁPENATÝ
14. Informace pro přepravu:	ADR/RID Není nebezpečným zbožím IMDG Not dangerous goods IATA Not dangerous goods
15. Informace o právních předpisech:	Tento bezpečnostní list splňuje požadavky Nařízení (ES) č. 1907/2006.
16. Další informace:	Obsahy textů H-kódů a R-vět jsou v sekci 3 Eye Dam. Vážné poškození očí H315 Dráždí kůži. H318 Způsobuje vážné poškození očí. H335 Může způsobit podráždění dýchacích cest. Skin Irrit. Dráždivost pro kůži STOT SE Toxicita pro specifické cílové orgány - jednorázová expozice Xi Dráždivý R37/38 Dráždí dýchací orgány a kůži. R41 Nebezpečí vážného poškození očí.
Uvedené informace a údaje vycházejí z dnešního stavu znalostí a nelze na ně pohlížet jako na záruky vlastností výrobku. Platné zákony a ustanovení musí odběratel dodržovat na vlastní zodpovědnost.	

8 Seznam obrázků

Obr. 1 podle [15]: Základní parametry výtrusu.....	18
Obr. 2 podle [15]: Vývoj bazidie	19
Obr. 3 podle [24]: Schéma vody uložené v buněčné stěně	23
Obr. 4 podle [39]: Struktura lignifikované buňky	29
Obr. 5 podle [34]: Model.....	29
Obr. 6: Dřevomorka domácí pod prkny podlahy v 1. NP, objekt kláštera v Plasích (vlastní fotoarchiv).....	30
Obr. 7: Porost mycelia dřevomorky domácí na dřevěném obkladu sklepního prostoru a betonovém stropu, objekt č. 56, Plzeň (foto Archiv ATELIER SOUKUP OPL ŠVEHLA s. r. o., Plzeň).....	33
Obr. 8: Dřevomorka domácí v krovu prelatury způsobila poškození nosných prvků krovu, stropu a zborcení okenního nadpraží, klášter Chotěšov (foto Archiv ATELIER SOUKUP OPL ŠVEHLA s. r. o., Plzeň)	35
Obr. 9 [56] podle [13]: Schéma rozkladu dřevní hmoty.....	45
Obr. 10 podle [62]: Akumulace iontů železa a vápníku (μ mol g ⁻¹ počáteční hmotnosti dřeva) ve dřevu naočkovaném houbami	51
Obr. 11 podle [74]: Schéma uložení materiálů v Petriho misce.....	52
Obr. 12 podle [1]: Mycelium dřevomorky domácí rostoucí na plastu.....	54
Obr. 13 podle [1]: Mycelium dřevomorky domácí na omítce.....	54
Obr. 14 podle [1]: Mycelium dřevomorky domácí na omítce.....	54
Obr. 15 podle [51]: Weddellit – morfologická (A-C) a chemická (D) charakteristika.....	55
Obr. 16 podle [75]: SEM krystalů štavelanu vápenatého	55
Obr. 17: Fotografie z průběhu laboratorního měření na K124	61
Obr. 18: Dvorní fasáda - objekt tzv. Starého opatství, areál kláštera, Plasy ..	64
Obr. 19: Fotografie z průběhu laboratorního měření na K124	70
Obr. 20: Postup výroby maltových zkušebních tělísek	78
Obr. 21: Karbonatace maltového vzorku R1.....	80
Obr. 22: Maltové trámečky po vystavení působení dřevomorky domácí	81
Obr. 23: Příprava živných půd s různými aditivami (SADA 3)	101
Obr. 24: Porost dřevomorky domácí v Petriho miskách (SADA 3)	101

Obr. 25: Fotografie mycelia dřevomorky domácí rostlé na čistém agaru..	113
Obr. 26: Fotografie mycelia dřevomorky domácí rostlé na agaru s lab. omítkou.....	114
Obr. 27: Snímky SEM – mycelium dřevomorky domácí rostlé na čistém agaru	118
Obr. 28: Snímky SEM – mycelium dřevomorky domácí rostlé na agaru s lab. omítkou.....	120
Obr. 29 podle [40]: Schéma tvorby organických a anorganických kyselin bakteriemi a jejich vliv na degradaci.....	155
Obr. 30: Fotografie z postupu zkoušky konzistence čerstvé malty	167
Obr. 31: Přístroj Air Entrainment Meter typ TESTING s ruční pumpičkou.....	168
Obr. 32: Schéma stanovení pevnosti za ohybu při soustředěném zatížení [87]	169

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Četnost výskytu vnitřních basidiomycetů v Evropě podle [2].....	16
Tabulka 2: Základní parametry vybraných dřevokazných hub z hlediska obsahu vlhkosti (w_s , %) s ohledem na kolonizaci a rozpad dřeva [3].....	24
Tabulka 3: Vliv teploty na růst mycelia a přežití vybraných dřevokazných hub, podle [30]	25
Tabulka 4: Hmotností ztráty dřevěných bloků [%] a množství rozpustné a vyluhovatelné kyseliny šťavelové [mM] po 10 týdnech inkubace, zdroj [62]	50
Tabulka 5: Fotodokumentace objekt č. 56 + popis stavu.....	59
Tabulka 6: Základní parametry zkušebních vzorků - hmotnost navážky (m) a pH	61
Tabulka 7: Stanovení obsahu chloridů ve vzorcích [mg/l; mg/g].....	61
Tabulka 8: Stanovení obsahu dusičnanů ve vzorcích [mg/l; mg/g].....	62
Tabulka 9: Stanovení obsahu amoniaku ve vzorcích [mg/l; mg/g].....	62
Tabulka 10: Stanovení obsahu síranů ve vzorcích [mg/l; mg/g].....	62
Tabulka 11: Fotodokumentace Staré opatství, Plasy + popis stavu	66
Tabulka 12: Základní parametry zkušebních vzorků (vlhkost, pH)	69
Tabulka 13: Stanovení obsahu chloridů ve vzorcích [mg/l; mg/g].....	70

Tabulka 14: Stanovení obsahu dusičnanů ve vzorcích [mg/l; mg/g]	70
Tabulka 15: Stanovení obsahu amoniaku ve vzorcích [mg/l; mg/g]	71
Tabulka 16: Stanovení obsahu síranů ve vzorcích [mg/l; mg/g].....	71
Tabulka 17: Identifikace dřevokazných hub a dřevokazného hmyzu na dřevěných vzorcích (Staré opatství, Plasy).....	72
Tabulka 18: Obsah vápníku, železa, draslíku a síry ve vzorcích omítek [%]... 72	
Tabulka 19: Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu – referenční vzorky .. 80	
Tabulka 20: Pevnost zatvrdlých malt v tahu za ohybu - infikované vzorky vystavené působení dřevomorky domácí	83
Tabulka 21: Výsledky XRF v [hm. %].....	85
Tabulka 22: Rozpustnost vybraných solí a relativní vlhkost vzduchu nad jejich nasycenými roztoky [97].....	157
Tabulka 23: Informativní hodnoty tlaků, které rostoucí krystalky jednotlivých solí vyvozují na stěny pórů stavebních materiálů [97].....	158
Tabulka 24: Výpočet objemové hmotnosti gm - SADA 1	169
Tabulka 25: Výpočet objemové hmotnosti gm - SADA 2.....	169

10 Seznam použitých rovnic

(4.1-1).....	45
(4.1-2).....	46
(5.1-1).....	68
(5.2-1a)	89
(5.2-2a)	89
(5.2-3a)	89
(5.2-4b).....	89
(5.2-5b).....	89
(5.2-6b).....	89
(5.2-7c).....	89
(5.2-8c).....	89
(5.2-9c).....	89
(7.7-1).....	159
(7.7-2).....	159

(7.7-3).....	160
(7.7-4).....	160
(7.12-1).....	168
(7.12-2).....	168
(7.12-3).....	168
(7.13-1).....	170
(7.13-2).....	170
(7.13-3).....	170
(7.13-4).....	170

11 Seznam grafů

Graf 1: DTG křivka šťavelanu vápenatého CaC_2O_4 (<i>Calcium oxalate</i>)	88
Graf 2: DTG křivka vzorek ozn. SADA 1 – R1	91
Graf 3: DTG křivka vzorek ozn. SADA 1 – SD1	92
Graf 4: DTG křivka vzorek ozn. SADA 1 – malta Hrádek nad Ohří.....	93
Graf 5: DTG křivky SADA 1 – porovnání.....	94
Graf 6: DTG křivka vzorek ozn. SADA 2 – MYC 1 (agar \emptyset).....	97
Graf 7: DTG křivka vzorek ozn. SADA 2 – MYC 2 (agar CaCO_3).....	98
Graf 8: DTG křivky SADA 2 – porovnání.....	99
Graf 9: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 3 (agar \emptyset).....	102
Graf 10: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 4 (agar 5 g/l CaCO_3)	103
Graf 11: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 5 (agar 10 g/l CaCO_3).....	104
Graf 12: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 6 (agar lab. omítka)	105
Graf 13: DTG křivka vzorek ozn. SADA 3 – MYC 7 (ext.)	107
Graf 14: Spektrum vzorku ozn. SADA 1 – R1 v porovnání se spektry z knihovny	109
Graf 15: Spektrum vzorku ozn. SADA 1 – SD1 v porovnání se spektry z knihovny	110
Graf 16: Spektrum vzorku ozn. SADA 1 – malta Hrádek nad Ohří v porovnání se spektry z knihovny	111