FORUM / 2021 / ROČ. XI / Č. 1

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2021 / Vol. XI / No. 1
Peer-reviewed open access journal

Chief editor: Ing. Alena Selucká
Editors: Mgr. Pavla Stöhrová, Mgr. Jana Fricová

Editorial Board:
Ing. Ivo Štěpánek (Head of Editorial Board)
doc. Dr. Ing. Michal Ďurovič
akad. mal. Igor Fogaš
Ing. Pavel Jirásek
Ing. Jan Josef
doc. akad. soch. Petr Kuthan
prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.
Ing. Radka Šefců
Mgr. Pavla Stöhrová (Secretary)

Open acces since 2019 available for free
on https://mck.technicalmuseum.cz/casopis-fkr/
The journal is indexed and abstracted in EBSCO.

Published by:
Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno, Czech Republic

Contact for communication:
fricova@tmbrno.cz / stohrova@tmbrno.cz / selucka@tmbrno.cz

© Technické muzeum v Brně, 2021
ISSN (Online) 2571-4384
ISSN (Print) 1805-0050

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

AKTUÁLNÍ ZKUŠENOSTI S VYUŽITÍM NETOXICKÝCH METOD V RÁMCI INTEGROVANÉ OCHRANY PŘED ŠKŮDCI

Markéta Šimčíková[1] • Antonín Šimčík[2] • Jan Baar[3]

1 Národní muzeum v přírodě
2 SOBIC – Smart & Open Base for Innovations in European Cities and Regions, z. ú.[1]
3 Lesnická a dřevařská fakulta Mendlovy univerzita v Brně

Mgr. Markéta Šimčíková vystudovala Slezskou univerzitu v Opavě, obor historie-muzeologie, od roku 2002 pracuje jako vedoucí Oddělení péče o sbírky. Specializuje se na využití netoxických technologií devitalizace škodlivého hmyzu. (marketa.simcikova@nmvp.cz)

V Národním muzeu v přírodě, p. o., (dále jen NMvP) je na Oddělení péče o sbírky dlouhodobě věnována pozornost problematice udržitelné ochrany sbírkových předmětů, včetně využití netoxických metod devitalizace škodlivého hmyzu. Příspěvek přináší aktuální rekapitulaci zkušeností s využitím metod dezinsekce na principu bezkyslíkové atmosféry a zvýšené teploty s regulovanou vlhkostí vzduchu. Upozorňuje na problémy s využitím předmětných metod a přináší závěry z provozního testování vlivu ošetření teplem na materiály realizované v NMvP.
Klíčová slova: netoxické technologie, udržitelnost, desinsekce, vysoká účinnost, integrovaná ochrana sbírek, bezkyslíkový box, přesná termokomora, testování materiálů, vliv na materiály, ekologie

CURRENT EXPERIENCE WITH THE USE OF NON-TOXIC METHODS IN INTEGRATED PEST MANAGEMENT At the National Open-Air Museum, the department for collections care has long paid attention to the issues of sustainable protection of collection items, including the use of non-toxic methods of devitalization of harmful insects. The paper presents an up-to-date recapitulation of experience with the use of disinfestation methods based on the principle of oxygen-free atmosphere and elevated temperature with controlled air humidity. It draws attention to the problems with the use of these methods and presents conclusions from the operational testing of the effect of heat treatment on materials implemented at the National Open-Air Museum.
Keywords: non-toxic methods of devitalization, sustainability, desinfestation, high effectivity, Integrated Pest Management, oxygen-free box, accurate thermochamber, testing of matherials, influence on matherials, ecology

POPIS STAVU

Účinná eliminace biologického napadení sbírkových předmětů představuje tradiční a zásadní téma v rámci udržitelné ochrany sbírek i v NMvP. Vedle nejúčinnější metody, tedy správného mikroklimatického režimu v depozitářích, musí být pozornost věnována i samotné likvidaci škůdců v předmětech, jelikož toto je tradičně nejvýznamnější způsob kontaminace depozitářů bionapadením. Aktuální trendy v této oblasti naznačují, že prostor pro využívání toxických látek se postupně zmenšuje.[2] Se znalostí vývoje v oblasti aplikace různých typů toxických látek pro likvidaci škodlivého hmyzu v muzejních sbírkách v minulosti je nesporné, že se řada toxických biocidů dříve či později projevila jako nebezpečná pro zdraví člověka, případně materiál sbírkových předmětů. Dnes je samozřejmě problematika kvalitního životního prostředí vysoce aktuální a avizované změny legislativy by měly v průběhu jednoho desetiletí vést k radikálnímu omezení využitelných toxických látek při sanaci bionapadení i při ochraně kulturního dědictví. I pokud však odhlédneme od společensko-politických tendencí směřujících stále více k využívání netoxických a k životnímu prostředí ohleduplných postupů, přibývají i v ČR další zkušenosti s využíváním různých metod ochrany před škůdci s využitím netoxických metod.[3]
Oblast využití netoxických metod sanace biologického napadení je dlouhodobě předmětem výzkumu také v NMvP, a to jednak díky neuspokojivé účinnosti aplikace tradičních postupů využívajících toxické látky, jednak díky vysokému stupni kontaminace sbírkových předmětů nejrůznějšími chemickými látkami.[4] Vzhledem k charakteru sbírky je zásadní především ochrana artefaktů, a to před poškozováním hmyzem. Vývoj a testování netoxických technologií v NMvP lze datovat do roku 2004, kdy byl vytvořen první rámec pro ověřování předmětných postupů.[5]
Již v této fázi byly definovány základní parametry, které musí netoxické technologie splňovat:

- bezpečnost zásahu pro sbírkové předměty,
- vysoká účinnost,
- nulová toxicita technologie,
- opakovatelnost (bez zátěže pro sbírkový předmět),
- kontrolovatelnost,
- možnost komparace zkušeností s jinými pracovišti,
- hospodárnost.

Ověřování praktické využitelnosti netoxických metod se následně vydalo dvěma směry. Jednak k využití bezkyslíkové atmosféry, jednak k aplikaci ošetření zvýšenou teplotou při regulované vlhkosti vzduchu.[6] Testovali jsme i využití teplot pod bodem mrazu pro dezinsekci sbírky textilu, nicméně toto ošetření muselo probíhat externě, jelikož NMvP nedisponuje potřebným zařízením.

BEZKYSLÍKOVÁ ATMOSFÉRA

Pro výzkum a rozpracování postupů prvního směru bylo významným impulzem zapojení do výzkumného projektu řešeného společně s Národní knihovnou ČR a Slezskou univerzitou v Opavě, podpořeného Ministerstvem kultury.[7] Výzkum jednoznačně potvrdil využitelnost bezkyslíkové atmosféry pro efektivní devitalizaci hmyzu a usnadnil další vývoj praktických postupů sanace.[8] Metoda je v praxi snadno použitelná, neohrožuje sbírkové předměty a pro restaurátory je uživatelsky nenáročná. K zajímavým poznatkům, které jsme získali při využívání této technologie v NMvP se bezesporu řadí i efekt (při jiných metodách likvidace dřevokazného hmyzu nezaznamenaný), kterým je hromadný výlet škůdců. K tomuto jevu však pochopitelně dochází pouze v přirozeném výletovém období na přelomu jara a léta. Výsledkem ošetření sbírkových předmětů tak může být nález i několika desítek dospělců. Metoda byla vyvíjena jako součást technologického systému pro netoxickou likvidaci hmyzu s cílem využívat ji zejména pro vysoce citlivé historické materiály.[9] Přestože se jedná o zcela netoxickou a zároveň jednu z nejúčinnějších metod regulace biologického napadení sbírkových předmětů, je její využití v ČR aktuálně omezeno.[10] I z tohoto důvodu jsme soustředili naše úsilí na hlubší poznání a optimalizaci metody ošetření zvýšenou teplotou při kontrolované vlhkosti vzduchu.

Obr. 1 *Dřevokazný hmyz nalezený po expozici sbírkových předmětů v bezkyslíkovém boxu (VI. 2011) / Wood-destroying insects found after exposure of collection items in the oxygen-free box (VI. 2011)*

OŠETŘENÍ ZVÝŠENOU TEPLOTOU PŘI REGULOVANÉ VLHKOSTI VZDUCHU

Pro další sbírkové předměty bylo primárně zamýšleno ošetření teplem při kontrolované vlhkosti vzduchu. Tato metoda byla proto v prvé fázi vyvíjena a testována pro sanaci nepolychromovaného dřeva a příbuzných materiálů, a to s uspokojivými výsledky. Nicméně výše zmíněné komplikace omezující využití bezkyslíkové atmosféry a dílčí zkušenosti nabývané s instalovaným zařízením ukázaly, že konvenční konstrukce této technologie má své limity, které jsme chtěli překročit, abychom mohli testovat i ošetření dalších materiálů.

Je příznačné, že právě problémy, na které jsme narazili, nebyly prezentovány v disponibilních publikacích referujících o zkušenostech s využíváním technologie v praxi a bez jejich experimentální identifikace v rámci testování by nebylo možné správně definovat zadání pro vývoj modernější technologie. Zajímavým zjištěním byla například určitá disproporce mezi naměřenými a zadanými hodnotami, které jsou zřetelné i na publikovaných výstupech z jiných obdobných zařízení zejména pak u chladící fáze.[11] Naší snahou bylo tyto jevy omezit a získat tak přesnější průběh ošetření.

Princip metody netoxické likvidace hmyzu zahříváním s regulovanou vlhkostí vzduchu je obecně znám, proto jen ve stručnosti připomeneme, že spočívá v dočasném zahřívání předmětů uložených v zařízení nad teplotu, kdy dojde ke koagulaci proteinů v těle hmyzu, a to ve všech stádiích od vajíček po dospělce.[12] Tímto způsobem je usmrcen veškerý škodlivý hmyz, včetně jedinců ukrytých uvnitř ošetřovaných předmětů. Nověji je však zmiňován i zásadní vliv zvýšené teploty na kondici epikutikuly hmyzu, která chrání organismus hmyzu před vysycháním a má tedy zásadní význam pro udržení vitálních funkcí hmyzu.[13] K jejímu narušení postačují dokonce významně nižší teploty, kdy letální účinek na některé druhy hmyzu je spojován již s teplotou 42 °C.[14]

Aby při zahřívání nedošlo ke ztrátě vody z ošetřovaných předmětů, a tím případným deformacím, je v komoře regulována nejen teplota, ale i vlhkost vzduchu. Tím je u předmětů dosaženo minimalizace zátěže napětím vznikajícím změnami vlhkosti v průběhu celého ošetření. Po dosažení dané úrovně teploty v celém průřezu prvku je tato udržena po dobu nezbytně nutnou pro potřebný letální účinek na hmyz, obvykle 60 minut a pak řízeně klesá. Podobně je monitorována a také regulována vlhkost vzduchu tak, aby nedošlo k nežádoucímu poškození předmětů změnou vlhkosti materiálu při zahřívání.

Nicméně tento proces vyžaduje sofistikovanější řízení. Proto jsme se zaměřili především na přesné řízení procesu monitoringu a regulace teploty i vlhkosti vzduchu při ošetření. Vývoj technologie jsme samozřejmě nemohli realizovat vlastními silami, nicméně naše role spočívala v definování požadavků na vlastnosti ošetření a průběžné součinnosti. Aktuálně má tedy restaurátor v našem muzeu díky přesné termokomoře[15] možnost zvolit velmi precizně parametry ošetření, včetně relativní vlhkosti vzduchu na široké škále hodnot tak, aby mohla být počáteční hodnota co nejblíže hodnotě v depozitáři. Právě tento parametr je velmi důležitý pro šetrnou sanaci bez zbytečné zátěže pro artefakty či naturfakty. Obvykle je volena hodnota dle podmínek v místě původního uložení. Flexibilně tak lze zohlednit podmínky v zimním i letním období.

Přesná termokomora se tak stala standardním vybavením našeho provozně nízkonákladového depozitáře jako prvek integrované ochrany před škůdci. Vzhledem k velmi nízkým nákladům za ošetření,[16] snadné realizaci dezinsekce i šetrnosti vůči nejčastěji ošetřovaným materiálům, je vhodné proces dezinsekce teplem zařadit před uložením těchto předmětů ukládaných do depozitáře. Vhodným režimem nakládání se sbírkovými předměty tak lze dosáhnout eliminace škodlivého hmyzu v depozitáři, a to bez využití toxických látek. Interval teplot, které lze využít, je aktuálně nastaven mezi 49–55 °C. Standardně je využíváno zahřívání na 52 °C, přičemž nejvyšší dosažitelná hodnota 55 °C je určena speciálně pro devitalizaci tesaříka krovového. S ohledem na předběžnou opatrnost bychom však rádi zkoumali zejména efektivitu ošetření nižšími teplotami.[17] Aktuálně tedy může restaurátor zvolit i jinou teplotu na doporučeném intervalu až do hodnoty 55 °C. Zařízení má samozřejmě pojistný systém, který neumožní zvýšit teplotu nad tuto hranici.

Při ochraně předmětů kulturní hodnoty je k obsluze doporučováno určit restaurátora se specializací na ošetřovaný materiál. Ten je schopen nejlépe odborně vyhodnotit vstupní parametry a optimalizovat proces ošetření pro konkrétní podmínky.

Je třeba zmínit, že jako nevýhoda netoxických metod bývá uváděna skutečnost, že v artefaktech po ošetření nezůstávají toxické látky, které účinkují jako prevence dalšího napadení. Tato praxe se však ve sbírkových institucích jeví jako v podstatě nepotřebná, jelikož při funkčním systému preventivní konzervace zejména při zajištění vhodných parametrů uložení předmětů v depozitáři a při prezentaci opakované napadení nebývá pozorováno. Jak již bylo zmíněno, ochranu lze samozřejmě zvýšit i preventivním netoxickým ošetřením předmětů před jejich návratem do depozitáře. Absence toxických látek ve sbírkových předmětech, tak nepředstavuje jejich ohrožení – spíše výhodu, a to i vzhledem k charakteru některých biocidů. Systém integrované ochrany tak skýtá zajímavé možnosti před aplikací toxických látek. V případě artefaktů, u kterých nelze po dezinsekci zajistit standardní podmínky, zejména u objektů instalovaných *in situ*, je konzervativní přístup stále běžnou možností.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

I přes řadu pozitivních ohlasů ze zahraničí i s vlastní zkušeností s využitím ošetření teplem s regulovanou vlhkostí vzduchu, zůstáváme při aplikaci obezřetní. Metoda je sice využívána již od devadesátých let 20. století, ale stále nelze konstatovat, že je metodou rozšířenou podobně jako aplikace kapalných biocidů. Určitě zde proto existuje prostor pro podrobný výzkum, který by měl především identifikovat ty materiály, pro které je metoda zcela bezpečná, materiály, pro které se dá využít s výhradou, a ty, které by takto ošetřovány být vůbec neměly. Je tedy pochopitelné, že se problematikou testování vlivu sanace biologického napadení účinky zvýšené teploty na materiály již zabývala řada autorů. Motivací je nejen sílící trend postupného přechodu k netoxickým metodám dezinsekce související jednak s odpovědnějším přístupem k životnímu prostředí, jednak s řadou negativních účinků chemikálií na stav historických materiálů, ale rovněž se potvrzuje i velmi vysoká účinnost netoxických metod, která v reálné praxi ochrany kulturního dědictví patří k vůbec nejlepším. Většina autorů neshledala při využívání ošetření zvýšenou teplotou významnější negativní vlivy na materiál,[18] přičemž testovány byly jak historické materiály, tak nově připravené vzorky.[19] Byl proveden i výzkum vlivu tepelné sanace na DNA u sbírkových přírodnin, který potvrdil potenciální vhodnost této metody pro ošetření tohoto druhu muzeálií.[20] Nicméně všechny publikace se shodují na potřebě dalšího výzkumu a případně optimalizaci způsobů aplikace předmětné metody. Zmíněný trend odráží i aktuální evropská technická norma, která doporučuje preferovat využívání netoxických metod před aplikací biocidů.[21] Publikované výstupy se pro nás proto staly jednak vodítkem při definování metodiky pro správné využívání tepelné sanace v praxi, jednak inspirací pro navrhování vhodných testů, kterými bychom si ověřovali reálný průběh ošetřování přímo v muzeu. K tomuto zdrženlivému přístupu nás vedl nejen respekt před málo známou metodou, ale i proklamace dodavatelů, které jsme si chtěli samostatně ověřit.

Aktuální série testování byla zahájena po zprovoznění nové přesné termokomory, která umožňuje řízení celého procesu a nastavení parametrů restaurátorem, a to v automatickém či semiautomatickém módu.[22] Záměrem našeho testování bylo ověřit, zda ošetření v tomto zařízení nezpůsobuje změny na ošetřovaném materiálu, a to vedle materiálů málo citlivých rovněž u materiálů náchylnějších na vyšší teplotu (vosky, klihy, šelak ale i useň či kožešina).[23]

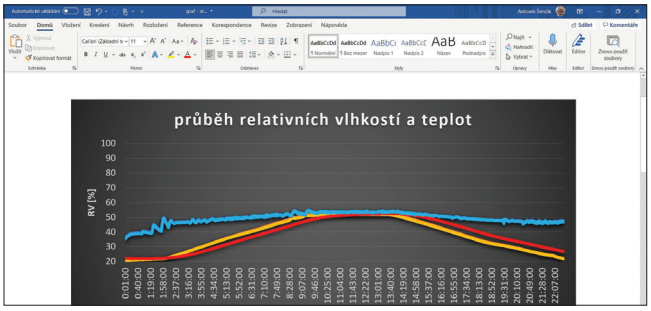
V této fázi máme realizovánu první sadu testů, které jsou však z hlediska rizika pro sbírkové předměty patrně nejpodstatnější. Zaměřili jsme se na změny rozměrů, hmotnosti a případně vlhkosti dřevěných vzorků, jelikož změny tvaru a objemu mohou potenciálně způsobit poškození muzeálií. K tomu, aby k těmto objemovým změnám nedocházelo, slouží právě systém pro udržení vhodné úrovně vlhkosti vzduchu. Díky tomu je pak rovnovážná vlhkost dřeva vzorků po dobu ošetření téměř nezměněna.[24]

Provedena byla série základních testů k pozorování vlivů ošetření na sadě dřevěných vzorků a dále série testů na historických materiálech a konečně testy sledující změny na sadě pryskyřic, vosků a lepidel používaných při výrobě či konzervaci a restaurování muzeálií. Při návrhu zkoušek jsme vycházeli z dostupného vybavení pracoviště a jsme si vědomi limitů, které zvolené postupy mají, nicméně získané zkušenosti by měly umožnit zlepšení designu dalších sad testů, které plánujeme realizovat v rámci další fáze výzkumu.

TEST NA SADĚ DŘEVĚNÝCH VZORKŮ

Test byl navržen dle podobného ověřování realizovaného rovněž v termokomoře s regulovanou vlhkostí vzduchu.[25] Byly vyrobeny vzorky o definovaných rozměrech z borovice, smrku, dubu a lípy. Jednalo se o podélné a příčné destičky (cca 100 × 300 × 12 mm) a hranolky (cca 40 × 40 × 70 mm), vždy v pěti kusech (viz Obr. 2). Vzorky byly nejprve kondicionovány v uzavřeném boxu po dobu čtyř týdnů pro ustálení vlhkosti.[26] Následně proběhlo jejich měření s využitím posuvného měřítka[27] a laboratorní váhy.[28] Vlhkost dřeva byla měřena pouze u hranolků, a to materiálovým vlhkoměrem Greisinger GMH 3830 s hrotovou elektrodou. Testování proběhlo ve třech sériích. Vzorky byly umístěny do termokomory, rozloženy na pomocnou konstrukci a ošetřeny za následujících podmínek: teplota 52 °C, relativní vlhkost vzduchu 46 %, etalon[29] 25 mm smrk. Fáze dezinsekce trvala 120 minut. Celková doba procesu činila cca 23 hodin.

Po skončení ošetření a zchladnutí vzorků na výchozí teplotu byly vzorky umístěny zpět do boxu z PE a ihned změřeny. Délka dezinsekční fáze byla oproti doporučené hodnotě záměrně zdvojnásobena, aby se případné účinky projevily zřetelněji.



Obr. 2 *Záznam hodnot RV vzduchu a teploty při ošetření. V první fázi, cca 2 hodiny probíhá kondicionování / RH and temperature values recorded during the treatment. In the first phase, conditioning is running for about 2 hours*

Tab. 1 *Podélné dřevěné destičky / Longitudinal wooden planks*

	délka před [mm]	délka po [mm]	šířka před [mm]	šířka po [mm]	tloušťka před [mm]	tloušťka po [mm]	váha před [g]	váha po [g]
Borovice								
průměr	300,82	300,84	100,18	100,18	11,93	11,93	208,35	208,18
změna [%][+/-]		0,01		0		0		0,08
Smrk								
průměr	300,99	300,99	100,05	100,05	12,14	12,15	196,62	196,48
změna [%][+/-]		0		0		0,08		0,07
Dub								
průměr	300,78	300,79	100,22	100,22	11,99	11,99	254,60	254,25
změna [%][+/-]		0		0		0		0,14
Lípa								
průměr	300,69	300,69	99,69	99,70	11,95	11,95	183,45	183,25
změna [%][+/-]		0		0,01		0		0,11

Tab. 2 *Příčné dřevěné destičky / Transverse wooden planks*

	délka před [mm]	délka po [mm]	šířka před [mm]	šířka po [mm]	tloušťka před [mm]	tloušťka po [mm]	váha před [g]	váha po [g]
Borovice								
průměr	100,00	100,00	298,93	298,95	12,22	12,22	240,53	240,27
změna [%]		0		0,01		0		0,11
Smrk								
průměr	101,15	101,15	294,78	294,76	11,80	11,80	171,45	171,17
změna [%][+/-]		0		0,01		0		0,16
Dub								
průměr	100,07	100,07	298,98	298,98	12,04	12,05	250,73	250,38
změna [%][+/-]		0		0		0,08		0,14
Lípa								
průměr	99,99	99,99	297,28	297,28	11,92	11,92	174,73	174,49
změna [%][+/-]		0		0		0		0,14

Tab. 3 *Dřevěné hranoly / Wooden prisms*

	délka před [mm]	délka po [mm]	šířka před [mm]	šířka po [mm]	tloušťka před [mm]	tloušťka po [mm]	váha před [g]	váha po [g]	úhlopříčka před tangen-ciálně [mm]	úhlopříčka po tangenci-álně [mm]	úhlopříčka před radiálně [mm]	úhlopříčka po radiálně [mm]	vlhkost dřeva před [%]	vlhkost dřeva po [%]
Borovice														
průměr	69,95	69,95	39,66	39,66	39,41	39,42	66,74	66,66	55,95	55,94	55,92	55,89	10	10
změna [%][+/-]		0		0		0,03		0,12		0,02		0,05		
Smrk														
průměr	70,43	70,44	39,49	39,50	39,61	39,62	62,68	62,61	55,94	55,95	55,80	55,80	10,4	10,5
změna [%][+/-]		0,01		0,03		0,03		0,11		0,02		0		
Dub														
průměr	69,98	70,02	39,84	39,84	39,85	39,83	76,58	76,84	56,08	56,07	56,56	56,55	9,8	9,9
změna [%][+/-]		0,06		0		0,05		0,36		0,02		0,02		
Lípa														
průměr	70,01	70,02	39,61	39,62	39,64	39,64	53,96	53,87	55,79	55,79	55,97	55,98	6,7	6,7
změna [%][+/-]		0,01		0,03		0		0,17		0		0,02		

Naměřené hodnoty prokazují, že se rozměry ani hmotnost vzorků zásadněji nezměnila ani při 120minutové sanační fázi. Nicméně je třeba upozornit na limity této metody, které spočívají především v potenciální chybovosti ručního měření dřevěných povrchů. Uvažujeme proto o aplikaci přesnějších měřicích metod v další fázi výzkumu.

TEST VLIVU NA HISTORICKÉ MATERIÁLY

Ověření vlivu ošetření teplem na reálné předměty je samozřejmě v centru pozornosti. Bohužel standardizace podmínek podobného testování je ještě náročnější, než tomu bylo u předchozí sady zkušebních vzorků. Omezili jsme se proto zejména na mikroskopický průzkum s fotodokumentací referenčních bodů před a po ošetření.[30] Doplňkovou metodou bylo sledování hmotnosti před a po ošetření. Pro testování byly zvoleny běžné předměty, které jsou součástí sbírek muzeí a dle našeho soudu u nich může docházet k nežádoucím změnám.[31] Pro ošetření byla termokomora nastavena na teplotu 52 °C, relativní vlhkost vzduchu 40 %, etalon 10 mm smrk[32] a fáze sanace trvala 60 minut.

Obr. 3 *Vzorky dřeva po ošetření v termokomoře (zleva borovice, smrk, dub, lípa) / Wood samples after treatment in the thermal chamber (from left pine, spruce, oak, linden)*

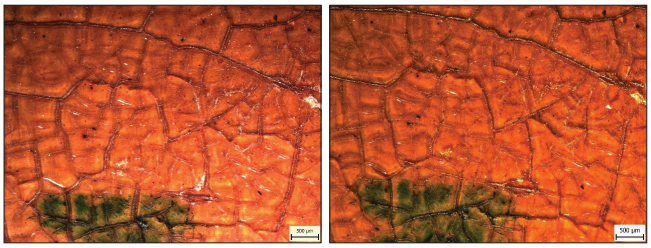
Obr. 4 *Testované vzorky / Tested samples*

materiál	identifikace	hmotnost před [g]	hmotnost po [g]	stav před (kontrolní body)	stav po
dřevo	zemědělské dřevěné nářadí – hrábě	6,67	6,67	povrch narušen hmyzem (výletové otvory) a hnilobou; zřetelná vlákna dřeva a nečistoty	změny nezjištěny
dřevo, nitrocelulózový lak	nábytek s lakovou povrchovou úpravou – skříň gramofonu	17,27	17,29	nitrocelulózový lak jemně krakelovaný, čirý; úhlopříčně výraznější trhlina	změny nezjištěny
dřevo, polychromie	polychromovaný nábytek – fládrovaná skříňka	71,10	71,11	spodní vrstva nátěru zvlněná (kopíruje směr) krakel, lak čirý, krakelovaný, nečistoty; (značka popisovačem)	změny nezjištěny
Dřevěná dýha, nitrocelulózový lak	lakovaná dýha dýha (tloušťka cca 3 mm) ze skříně gramofonu	3,72	3,72	nitrocelulózový lak jemně krakelovaný; podélné praskliny vyplněny lakem; jedna otevřena; rozhraní mezi částí vystavenou světlu a zastíněnou; barevná skvrna; nečistoty	změny nezjištěny
useň, kožešina, rohovina	dermoplastický preparát savce *Mustela nivalis*	214,10	214, 21	zřetelné napojení čelisti na kožešinu se srstí; detail špičáku a dalších zubů; tmel	změny nezjištěny
useň lakovaná	rukavice	13,18	13,21	detail šití mezi prsty rukavice; částečně zřetelná struktura usně překryta lakem; drobný defekt v laku i usni – trhlina	změny nezjištěny
useň mořená	rukavice	13,19	13,19	detail šití mezi prsty rukavice; dobře zřetelná struktura usně; drobné defekty v usni – jemné trhliny	změny nezjištěny
zlacený klihokřídový tmel	fragment rámu	69,94	69,98	povrch pokryt nátěrem na bázi práškového bronzu; kov částečně setřen; zkrakelován s výraznějšími defekty; na povrchu patrny skvrny a nečistoty	změny nezjištěny
zlacená dřevořezba (plátkové zlato na křídovém podkladu)	fragment rámu	98,83	98,79	povrch pokryt plátkovým zlatem; zlato částečně setřeno; zkrakelováno; znečištěno prachem	změny nezjištěny

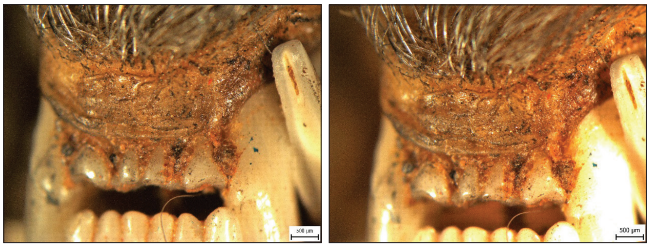
Vzorky byly po ošetření zváženy a opět zkoumány mikroskopem. Výsledky jsou sumarizovány v Tab. 2, přičemž u žádného ze vzorků nebyly zjištěny viditelné změny sledovaných ploch. V případě hmotnosti jsme rovněž zaznamenali pouze minimální změny. Pro další výzkum bychom rádi využili přesnější diagnostické metody pro analýzu změn povrchu, podobně jako v případě první sady testů.

TEST VLIVU NA PRYSKYŘICE, VOSKY A LEPIDLA POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ ČI KONZERVACI A RESTAUROVÁNÍ MUZEÁLIÍ

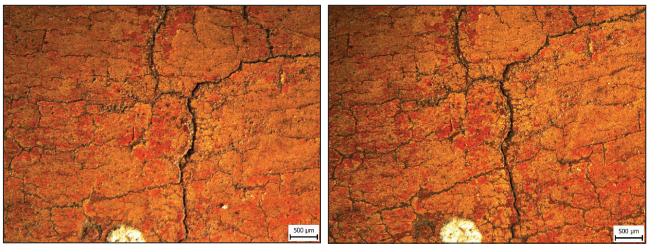
V návaznosti na obavy prezentované v souvislosti s citlivostí některých materiálů užívaných při výrobě nebo ošetřování sbírkových předmětů jsme připravili i základní test pro vybrané vzorky pryskyřic, vosků a přírodních lepidel na proteinové bázi. Testování proběhlo s využitím stejného přístrojového vybavení a za stejných podmínek jako v předešlém případě. Termobox byl nastaven shodně, vzorky látek byly pozorovány před i po ošetření pod mikroskopem a fotografovány. Změny hmotnosti byly indikovány na větším množství testovaného materiálu, opět před a po ošetření.



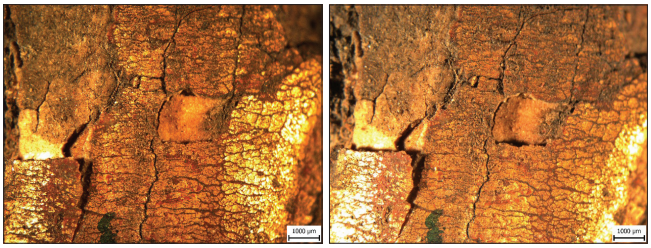
Obr. 5 *Barevná vrstva ve stylu imitace dřeva (fládr). Před a po ošetření. Bez viditelných změn / Colored layer in the style of wood immitation (wood structure). Before and after treatment. No visible changes*



Obr. 6 *Dermoplastika (Mustela nivalis). Před a po ošetření. Bez viditelných změn / Dermoplasty (Mustela nivalis). Before and after treatment. No visible changes*



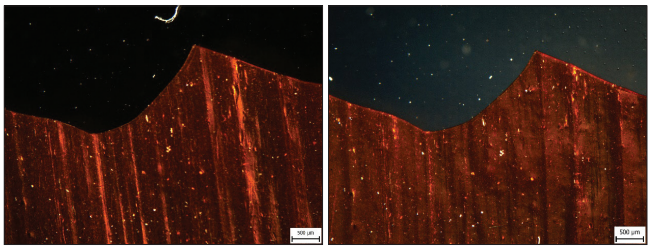
Obr. 7 *Zlacení plátkovým zlatem na křídovém podkladě. Před a po ošetření. Bez viditelných změn / Gilding with gold leaf on a chalk base. Before and after treatment. No visible changes*



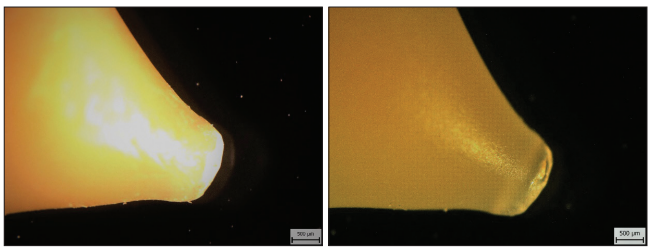
Obr. 8 *Extrémně poškozený povrch – zlacení plátkovým zlatem na křídovém podkladě. Před a po ošetření. Bez viditelných změn / Extremely damaged surface – gilding with gold leaf on a chalk base. Before and after treatment. No visible changes*

materiál	označení	stav před	hmotnost před [g]	stav po	hmotnost po [g]
pryskyřice	šelak	ostré hrany okrajů; povrch hladký slinutý; lokálně lasturovité prohlubně	9,4	změny nezjištěny	9,4
	damara	ostré hrany okrajů; povrch hladký s rýhami; lokálně lasturovité prohlubně	11,33	změny nezjištěny	11,33
	Paraloid B72	ostré hrany okrajů; povrch hladký slinutý; lokálně promáčknutá místa	16,6	změny nezjištěny	16,61
vosky	včelí vosk bělený	povrch hladký s drobnou strukturou	11,19	změny nezjištěny	11,19
	Cosmoloid h80	povrch strukturovaný, zřetelný tvar okraje	8,92	změny nezjištěny	8,92
	karnaubský vosk	ostré hrany okrajů; povrch hladký slinutý	8,3	změny nezjištěny	8,3
přírodní lepidla	klíh kostní	povrch hladký s drobnými nerovnostmi; odštěpky	10,18	změny nezjištěny	10,14
	klíh kožní	povrch hladký s drobnými nerovnostmi	10,45	změny nezjištěny	10,40
	želatina	povrch hladký s lasturovitými lomovými plochami	8,91	změny nezjištěny	8,91

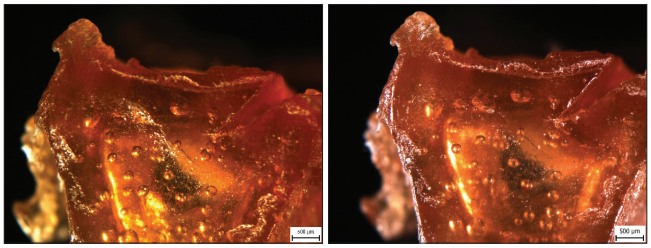
Výsledky opět neprokázaly, že by tepelné ošetření způsobovalo viditelné změny na testovaných materiálech.



Obr. 9 *Šupina šelaku. Před a po ošetření. Bez viditelných změn / Shellac flake. Before and after treatment. No visible changes*



Obr. 10 *Včelí vosk (bělený). Před a po ošetření. Bez viditelných změn Beeswax (bleached). Before and after treatment. No visible changes*



Obr. 11 *Kožní klíh. Před a po ošetření. Bez viditelných změn / Hide glue. Before and after treatment. No visible changes*

VÝSLEDKY A DISKUZE

Jak již bylo uvedeno, realizované testy jsou navrženy pro kontrolu základních parametrů ošetřovaných materiálů v praxi. Jsou snadno realizovatelné s běžným vybavením restaurátorského pracoviště. Výsledky testování vzorků vybraných dřev jsou uspokojivé, jelikož se neprokázalo, že by při ošetření v termokomoře došlo k významným změnám rozměrů či hmotnosti. Vedle rozměrových změn však představuje další oblast zájmu samotný vliv teploty na materiály, který byl více sledován u druhé a třetí sady testů. Nicméně ani zde se nepodařilo zjistit znatelné změny vzhledu vzorků simulujících sbírkové předměty, a to včetně silně poškozených a křehkých vzorků. Sada materiálů používaných při výrobě či ošetřování muzeálií rovněž prošla testováním bez zřetelných změn. Výsledky je však třeba vnímat opatrně, v kontextu limitů daných dostupnými technologiemi na našem pracovišti. Proto je pro další výzkum, který získal podporu v rámci interního výzkumného úkolu NMvP, zamýšleno využít komplexnější sadu analýz, jež by měla přinést přesnější údaje. Inspirativní jsou zejména publikované metody, které poslouží i jako báze pro komparaci. Testování by tak mělo být rozšířeno o využití skenovací elektronové mikroskopie či FTIR spektrometrie při současné úpravě designu vzorků různých materiálů.[33] Rádi bychom se rovněž pokusili i o navržení přesnějšího, ale dostupného měření pro běžnou praxi s využitím laseru.

ZÁVĚR

Zkušenosti s využitím netoxických metod likvidace hmyzu jsou velmi nadějné. Testované systémy se jeví jako vhodné vybavení pro udržitelné depozitáře využívající systém komplexní ochrany před škůdci. Aplikace těchto metod sanace nepředstavuje riziko pro personál ani návštěvníky a studie jejich vlivu na materiály naznačují, že obvykle nepředstavují větší riziko než tradiční metody založené na aplikaci toxických biocidů. Při srovnávacím výzkumu by tak neměly být toxické metody automaticky považovány za bezpečné pro materiál sbírkových předmětů, ale měly by být průběžně evaluovány. Neoddiskutovatelnou výhodou netoxických metod, zejména při použití zvýšené teploty, je stoprocentní účinnost na všechna stádia hmyzu. Při dodržení správného postupu rovněž nedochází díky řízené atmosféře ke změně vlhkosti materiálů. V intencích dnešního stavu poznání lze konstatovat, že pro ošetření dřeva bez povrchových úprav nepředstavuje metoda tepelné dezinsekce závažnější riziko. Vhodnost ošetření dalších typů předmětů by však měl individuálně posoudit restaurátor. Lze tedy jen doporučit, aby zařízení obsluhoval kvalifikovaný restaurátor, který dokáže nejlépe zvolit optimální režim ošetření. Samozřejmě zařízení musí být konstruováno tak, aby umožnovalo nastavení parametrů ošetření restaurátorem dle aktuální potřeby.

Domníváme se, že je vhodné, aby se oblasti netoxických metod likvidace hmyzu věnovala větší pozornost, přičemž aktuálně je zejména třeba obnovit možnost využívat dusíkové generátory pro bezkyslíkové aparatury v ČR, jelikož tato metoda umožňuje bezpečné ošetření i velmi citlivých materiálů. Dále je nezbytné zkoumat vhodnost metody pracující se zvýšenou teplotou pro jednotlivé materiály, jejich kombinace i různé stupně poškození. Velký potenciál má i spolupráce s entomology, při hledání nových postupů zejména s využitím nižších teplot. Rádi bychom ve spolupráci s dalšími odborníky realizovali rozsáhlejší výzkum, který by měl být dokončen v průběhu roku 2023 a při testování kondice materiálů by měly být využity přesnější analytické metody, jak již bylo zmíněno výše. Následně bychom rádi připravili postupy pro zlepšení každodenní praxe.
Zde publikované výsledky naší práce vnímáme jako další krok na cestě k nalezení bezpečných řešení pro postupný přechod od toxických k netoxickým a především účinným metodám sanace škůdců v muzeích a památkách, k naší udržitelnější a ekologičtější budoucnosti.

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl na základě institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace poskytované Ministerstvem kultury a v rámci řešení interního výzkumného úkolu GreenMuseum. Úkol je řešen v rámci IP DKRVO „Ověřit bezpečné využití netoxické likvidace škůdců pro ošetření dřeva a lepených spojů“.

POZNÁMKY

[1] Mgr. Markéta Šimčíková, NMvP, výzkum je řešen v rámci úkolu z IP DKRVO „Ověření bezpečného využití netoxické likvidace škůdců pro ošetření dřeva a lepených spojů“. Mgr. Antonín Šimčík, SOBIC, z. ú. (IČO 06781128), výzkum je řešen v rámci interního výzkumného úkolu Smart museum. Ing. Jan Baar, Ph.D., Mendlova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav nauky o dřevě a dřevařských technologií.

[2] Viz ČSN EN 16790 Ochrana kulturního dědictví – Komplexní ochrana před škůdci. Doporučovány jsou 4 metody – mražení, zahřívání, bezkyslíková atmosféra a v případě nezbytnosti i využití biocidů.

[3] Viz například https://starfos.tacr.cz/cs/project/QJ1310057 [27. 2. 2021]

[4] K historii využívání široké škály toxických látek s problematickým efektem viz například ŠIMČÍKOVÁ – ŠIMČÍK – HAVLÍN 2006.

[5] Blíže viz ŠIMČÍKOVÁ – ŠIMČÍK – HAVLÍN 2006.

[6] Optimálním řešením je využívat obě technologie, přičemž bezkyslíková atmosféra je ideální na ošetření velmi citlivých materiálů a doplňuje tak běžné ošetření v přesné termokomoře.

[7] Ověření možností hubení hmyzu poškozujícího knihovní a muzejní sbírky s využitím víceúčelové vakuové komory a bezkyslíkového boxu,“ DC08P02OUK009.

[8] Certifikovaná metodika: Na sestrojení a provoz zařízení pro ošetřování drobných muzejních předmětů napadených škodlivými členovci za pomoci řízené atmosféry (dusík) Osvědčení č. 1/2011 SOLK vydané Ministerstvem kultury dne 2. 6. 2011.

[9] Zařízení pro bezkyslíkovou atmosféru Anoxia© 3.0 GreenRESTORE©

[10] Aktuálně je však využití této aparatury limitováno v souvislosti s novelou Zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů navazující na Nařízení evropského parlamentu a rady (EU) č. 528/2012 ze dne 22. května 2012 o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání. V intencích tohoto předpisu je možné využívat dusík jen v omezeném množství v nádobách uzpůsobených k okamžitému použití, pro využití *in situ* vyráběného dusíku je třeba zažádat o národní výjimku. Tuto již má vyřízenu řada zemí včetně Německa, Nizozemska či Portugalska, viz např. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020D1265&from=EN [27. 2. 2021]. Lze tedy doufat, že odpovědné instituce na národní, respektive evropské úrovni tuto komplikaci brzy vyřeší. Za připomenutí stojí i skutečnost, že tato norma se vztahuje pouze na situaci, kdy je inertní dusík využíván jako biocid. Jinými slovy, patrně nebrání využití ochranné atmosféry inertního plynu například pro zpomalení stárnutí sbírkových předmětů.

[11] Např. relativní vlhkost vzduchu má přípustný interval ±4 %. K tomu viz např. BEINER – OGILVIE 2005, s. 9 ad.

[12] K tomu viz např. UNGER a kol. 2002 s. 330 ad; z hlediska integrované ochrany před škůdci viz např. PINNINGER a kol. 2016, s. 105 ad.

[13] KIGAWA a kol. (2011), s. 208 ad.

[14] HAMMOND (2015), s. 7 ad, uvádí tyto výsledky pro škálu skladištních škůdců. Prokáže-li se účinnost této nižší teploty při dezinsekci, lze předpokládat i implementaci do oblasti péče o kulturní dědictví.

[15] ATCD© 3.0 GreenRESTORE©

[16] Zařízení využívané v NMvP v Rožnově p. R. má využitelný objem cca 40 m^3, přičemž vložení a vyložení předmětů si vyžádá cca hodinu práce jednoho zaměstnance. Ve srovnání s konvenčním postupem aplikace kapalného biocidu injektáží je tedy potřeba rámcově 40× méně pracovního času (počítáme s injektáží, která je pro dezinsekci základní metodou). Komplexní výpočet uhlíkové stopy zatím nemáme dokončen, nicméně jen při základním srovnání potřeby lidské práce, materiálu a energií je konvenční přístup ekonomicky náročnější.

[17] K tomu viz například HAMMOND (2015), s. 7 ad. Možnostem efektivního využití termokomory pro rozsahy teplot na intervalu 40–50 °C se dále věnujeme v rámci interního výzkumného úkolu.

[18] Patrně nejkritičtější je práce BALL a kol. (2011), která se zaměřuje na zkušenosti s aparaturou firmy Thermo Lignum. Je však zarážející, že autorky pracují s teplotou 60 °C, která je výrazně vyšší, než je teplota doporučovaná výrobcem zařízení i literaturou zabývající se ošetřením předmětů. Jiní autoři podobné problémy při využití zmíněného zařízení neidentifikovali. K tomu viz například TSCHERNE, F. (2009, 2016). Nicméně série testů navržená autorkami je inspirativní a bylo by žádoucí tento experiment provést i v relevantním rozsahu teplot.

[19] ERTELT, P. (1993); BEINER – OGILVIE (2005); STRANG, T. J. K. (2012); TSCHERNE, F. (2009, 2016) a další.

[20] ACKERY a kol. (2004)

[21] Viz ČSN EN 16790 Ochrana kulturního dědictví – Komplexní ochrana před škůdci, zejm. s. 26–27.

[22] ATCD© 3.0 GreenRESTORE©

[23] V zahraničí jsou využívána obvykle zařízení s pasivním systémem chlazení, která mají omezené možnosti zejména při chladící fázi, případně jsou využívány různé zjednodušené systémy, kde je ztrátě vlhkosti z materiálů bráněno uzavřením v parotěsných obalech. K tomu viz například STRANG, T. J. K. (2012) ad.

[24] K tomu viz například STRANG, T.J.K. (2001), STRANG, T.J.K, GRATTAN, D. (2009), TSCHERNE, F. (2016) ad.

[25] ERTELT, P. (1993); Poděkování za pomoc při přípravě designu testů náleží rovněž Ing. Janu Baarovi, Ph.D. z Ústavu nauky o dřevě a dřevařských technologií LDF Mendelovy univerzity v Brně.

[26] Vzorky byly kondicionovány při teplotě cca 22 °C, RV vzduchu v boxu z PE byla 46 %. Pro stabilizaci podmínek byla využita kazeta s ProSorbem.

[27] Posuvné měřítko Kmitex Profesional 0–300 mm (±0,03 mm); metodika měření dle http://www.spolky-csvts.cz/cms/sites/default/files/mpm_1110117_metodika_provozniho_mereni_posuvnymi_meridly_0.pdf [27. 2. 2021]

[28] Laboratorní váha Ohaus Adveturer Pro AV2102C (±0,01 g).

[29] Referenční dřevěné pouzdro, ve kterém je umístěno tepelné čidlo. Sílu stěny udává údaj v mm. Standardně je zvolen etalon s tloušťkou stěny odpovídající nejsilnější části ošetřovaného předmětu. V tomto případě bylo zvoleno pouzdro s tloušťkou stěny o 20 % větší, aby byl případný negativní efekt zřetelnější.

[30] Vzhledem k potřebné hloubce ostrosti jsme využili stereomikroskop Olympus SZX 12, objektiv 1,6 + zoom; fotografie byly pořízeny snímacím zařízením Lumenera® digital camera; k osvětlení byl použit zdroj studeného světla s flexibilními světlovody Olympus KL 1500 LCD (2750 K; A). Hmotnost byla zjišťována laboratorní váhou Ohaus Adveturer Pro AV2102C (±0,01 g).

[31] Zařazení usní a dermoplastiky do testování neodráží běžnou praxi v NMvP, ale spíše publikované studie, které byly pro design testu inspirací.

[32] Největší tloušťka dřeva u ošetřovaných předmětů byla cca 18 mm, tudíž byl zvolen etalon 10 mm, jehož prohřátí garantovalo i prohřátí jádra ošetřovaných předmětů.

[33] K exaktnější metodologii tomu viz například TSCHERNE, F. (2016); BALL a kol. (2011); KIGAWA a kol. (2011); BEINER – OGILVIE (2005); ACKERY a kol. (2004) a další.

LITERATURA

- ACKERY, P.R. – TESTA, J.M. – READY, P.D. – DOYLE, A.M. – PINNIGER, D.B. Effects of High Temperature Pest Eradication on DNA in Entomological Collections. *Studies in Conservation*, 2004, 49.1, s. 35–40.
- BALL M. D. – BISULCA, Ch. – ODEGAARD, N. *Heat & Humidity Chambers for Pest Eradication: Materials Testing*. The American Institute for Conservation's 39th Annual Meeting 2011.
- BEINER, G. G. – OGILVIE, T. M. A. Thermal methods of pest eradication: their effect on museum objects. The Conservator 2005/6, 29, s. 5–18.
- Certifikovaná metodika: Na sestrojení a provoz zařízení pro ošetřování drobných muzejních předmětů napadených škodlivými členovci za pomoci řízené atmosféry (dusík) Osvědčení č. 1/2011 SOLK vydané Ministerstvem kultury dne 2. 6. 2011; *„Ověření možností hubení hmyzu poškozujícího knihovní a muzejní sbírky s využitím víceúčelové vakuové komory a bezkyslíkového boxu"* identifikační číslo DC08P02OUK009; https://text.nkp.cz/soubory/ostatni/cm-zarizeni-hubeni-hmyzu.pdf [27. 2. 2021]
- ČSN EN 16790 *Ochrana kulturního dědictví – Komplexní ochrana před škůdci* (Conservation of cultural heritage (IPM) for protection of cultural heritage), leden 2017.
- ERTELT, P. *Studies on controlled thermal treatment in pest-infested wood.* Diplomarbeit, Institut für Holzforschung Fachhochschule Rosenheim, 1993.
- HAMMOND, D. *Heat Treatment for Insect Control*. Cambridge (Elsevier) 2015, s. 7 ad.
- Dostupné z: https://museumpests.net/ [27. 2. 2021]
- Dostupné z: http://www.spolky-csvts.cz/cms/sites/default/files/mpm_1110117_metodika_provozniho_mereni_posuvnymi_meridly_0.pdf [27. 2. 2021]
- KIGAWA, R. – STRANG T. – HAYAKAWA, N. – YOSHIDA, N. – KIMURA, H. – YOUNG, G. Investigation of effects of fumigants on proteinaceous components of museum objects (muscle, animal glue and silk) in comparison with other non-chemical pest eradicating measures. *Studies in Conservation*, 2011, 56, s. 191–215.
- PINNINGER, D. – LANDSBERGER, B. – MEYER, A. – QUERNER, P. Handbuch Integriertes Schädlingsmanagement: in Museen, Archiven und historischen Gebäuden, Rathgen-Forschungslabor, Berlin 2016.
- STRANG, T. J. K. *Studies in Pest Control for Cultural Property.* Doctoral thesis, Gothenburg, Sweden: University of Gothenburg. Faculty of Science 2012.
- STRANG, T.J.K – GRATTAN, D. *Temperature and humidity considerations for the preservation of organic collections – the isoperm revisited*. e-Preservation Science, 2009, 6, s. 122–128.
- STRANG, T.J.K. *Sensitivity of seeds in herbarium collections to storage conditions, and implications for thermal insect pest control methods*. Chapter 4, pp. 81–102 in Managing the Modern Herbarium, An Interdisciplinary Approach. Ed. D.A. Metsger and S.C. Byers. Elton-Wolf, 1999, Vancouver. 384 pp. ISBN 0-9635476-2-3
- STRANG, T.J.K. Principles of heat disinfestation. In: H. Kingsley, D. Pinniger, A. Xavier-Rowe, P. Winsor. James & James. *Integrated Pest Management for Collections*. Proceedings of 2001 A pest odyssey, 2001 London, s. 114–129.
- STRANG, T. – KIGAWA, R. Technical Bulletin 29: Combatting Pests of Cultural Property. Ottawa: Canadian Conservation Institute, Canadian Heritage, 2009.
- ŠIMČÍKOVÁ, M. – ŠIMČÍK, A. – HAVLÍN, V. Zkušenosti s využitím netradičních metod likvidace škodlivého hmyzu v podmínkách Valašského muzea v přírodě v Rožnově p. Radhoštěm. In: *Sborník z konference konzervátorů a restaurátorů* 5.–7. 9. 2006 Cheb, Brno, 2006, XI., s. 105–109.
- TSCHERNE, F. *Anwendbarkeit einer feuchtegeregelten Warmluftbehandlung: Thermo Lignum® –Verfahren zur Schädlingsbekämpfung an historischen Kunstobjekten aus Holz mit Farb- oder Goldfassung*, Restauro. Munich, 2009.
- TSCHERNE, F. W. N. – SCHACHENHOFER, B. – ROUX, K. – TAVLARIDIS, G. The Thermo Lignum ecological insect pest eradication process: the effects on gilded and painted wooden objects, *International journal of conservation science*, 2016.
- UNGER, A. – SCHNIEWIND, A. P. – UNGER, W. *Conservation of Wood Artifacts*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2001, s. 330 ad.