

PŘÍLOHA 1

Identifikační kód projektu: **DC08P02OUK009**

Název projektu:

**Ověření možností hubení hmyzu
poškozujícího knihovní a muzejní sbírky
s využitím víceúčelové vakuové komory a bezkyslíkového boxu**

Metodika

*na sestavení a provoz zařízení pro ošetřování drobných muzejních předmětů
napadených škodlivými členovci za pomoci řízené atmosféry (dusík)*

předaná na Mze k certifikaci

Řešitel: Ing. Jiří Neuvirt CSc.

Spoluřešitelé: Ing. Radek Aulický
Mgr. Markéta Šimčíková
Mgr. Antonín Šimčík

**Certifikovaná metodika:
Na sestavení a provoz zařízení pro ošetřování drobných
muzejních předmětů napadených škodlivými členovci
za pomoci řízené atmosféry
(*dusík*)**

Radek Aulický
Jiří Neuvirt
Antonín Šimčík
Markéta Šimčíková
Jiří Polišenský

Národní knihovna ČR
Slezská univerzita v Opavě
Valašské muzeum v přírodě v Rožnově p. Radhoštěm
2010

Metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR a je výstupem řešení projektu *„Ověření možnosti hubení hmyzu poškozujícího knihovní a muzejní sbírky s využitím víceúčelové vakuové komory a bezkyslíkového boxu“* identifikační číslo DC08P02OUK009.

Metodika je určena zejména pro pracovníky v muzeích a dalších institucích zabývajících se ochrannou předmětů s významem pro dokumentaci kultury, historie či přírody. Metodika byla schválena odborem vědy a výzkumu Ministerstva kultury. Ministerstvo doporučuje tuto metodiku pro využití při ochranně kulturního a přírodního dědictví ČR. O uplatnění metodiky byla 27. 12. 2010 uzavřena smlouva podle ustanovení § 269 zákona 513/1991 Sb., obchodního zákoníku.

Odborný oponent:

Ing. Václav Stejskal, Ph.D.

Oponent ze státní správy:

Ing. Petr Cuhra

© Národní knihovna České republiky
Slezská univerzita v Opavě
Valašské muzeum v přírodě v Rožnově p. Radhoštěm

2010
ISBN

OBSAH

PŘÍLOHA 1	1
I. ÚVOD A CÍL METODIKY	6
1. ÚVOD	6
2. CÍL	8
II. VLASTNÍ POPIS METODIKY	9
1. POPIS A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ NA MODIFIKOVANÉ ATMOSFÉRY	9
1. 1. PRINCIP	9
1. 2. POSTUP OŠETŘENÍ.....	10
1. 3. POTŘEBNÝ MATERIÁL, PŘÍSTROJE A DETAILS POSTUPU	11
OBRÁZEK 7. OXIMETR S KYSLÍKOVÝM ČIDLEM A PRŮTOČNÝM ADAPTÉREM.....	17
2. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST ŘÍZENÝCH ATMOSFÉR NA ŠKŮDCE -	19
EXPERIMENTÁLNÍ DATA	19
2.1. VLIV TEPLoty NA ÚČINNOST DUSÍKATÉ ATMOSFÉRY	19
2.2. VLIV VÝVOJOVÉHO STÁDIA ŠKŮDCE.....	22
2.3. VLIV DRUHU ŠKŮDCE	26
III. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“	29
IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY	29
V. EKONOMICKÉ ASPEKTY	30
VI. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	31
VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	31

ANOTACE

Certifikovaná metodika: Na sestavení a provoz zařízení pro ošetřování drobných muzejních předmětů napadených škodlivými členovci za pomoci řízené atmosféry (*dusík*)

Předložená metodika je vytvořena pro potřeby bezpečné likvidace živočišných škůdců ohrožujících drobné předměty významné pro dokumentaci kultury, historie či přírody za pomoci inertního plynu dusíku (N₂). Obsahem této metodiky je soubor informací pro sestavení a obsluhu jednoduchých zařízení, která umožňují bezpečnou a účinnou aplikaci modifikované atmosféry (N₂). A dále obsahuje originální informace o biologické účinnosti dusíku (N₂), resp. bezkyslíkové atmosféry na vybrané druhy škůdců napadající skladované a muzejní materiály.

Certified standard procedure: the guidelines on assembling and service of an equipment for the treatment of small museum artefacts using controlled atmosphere (nitrogen)

The presented standard procedure has been developed for the purpose of the safe treatment of historical value artefacts using inert gas (nitrogen) in order to eradicate insect pests. The standard procedure includes the guidelines on assembling and service of a simple equipment for the efficient treatment of artefacts. It also provide original information on biological effect of nitrogen on the selected insect species infesting stored and museum materials.

I. ÚVOD A CÍL METODIKY

1. ÚVOD

Význam roztočů a hmyzu jako škůdců v muzejních a knihovních sbírkách je vysoký. Široké spektrum materiálů, jimiž jsou tvořeny sbírkové předměty, totiž umožňuje velmi snadné napadání těchto sbírek celou řadou druhů škůdců. K poškozování napadených materiálů dochází různými způsoby, které jsou dány biologickými vlastnostmi jednotlivých druhů nebo celých skupin škůdců. Míra poškození napadených sbírkových předmětů může být variabilní a pohybuje se od minimálního poškození až po celkovou destrukci předmětu. Vše záleží na několika faktorech, kterými jsou zejména:

- (i) druh škůdce,
- (ii) hustota populace škůdce a
- (iii) doba, po kterou může škůdce předmět poškozovat.

Všeobecně můžeme říci, že i malé množství škůdců může předmět nenávratně poškodit, pokud bude mít dostatečný čas.

V současné době existuje celá řada syntetických přípravků (insekticidy a akaricidy), které se využívá v boji proti škodlivému hmyzu a roztočům. Většina těchto přípravků po aplikaci proti škůdcům vytváří reziduální zbytky na ošetřovaných materiálech. Tento efekt může být u některých ošetřených předmětů výhodný, protože prodlužuje ochranu předmětu proti opětovnému napadení. Existuje ale celá řada předmětů, kde tento efekt je nežádoucí, nehledě na skutečnost, že pracovníci pečující o sbírky jsou pak trvale v kontaktu s těmito rezidui, což ze zdravotního hlediska není žádoucí. Zásadní nevýhodou použití těchto přípravků, zejména kapalných, je rovněž skutečnost, že jejich průnik do materiálů je nezřídka nedostačující. Omezující je například u dřeva, kde dochází pouze k velmi malé hloubce proniknutí do materiálu. Problematickým se tradičně jeví i závadnost řady biocidů pro životní prostředí.

Jako ekologicky šetrná a zdravotně příznivá alternativa způsobu hubení škodlivých členovců aplikací toxických látek v muzejních artefaktech a knihovních sbírkách se v poslední době začíná uplatňovat aplikace bezkyslíkových atmosfér. Tento způsob v konkrétních podmínkách technického uspořádání snižuje v uzavřeném prostoru, kde jsou umístěny ošetřované artefakty, koncentraci kyslíku na určitou minimální hodnotu po dobu

nezbytnou na dosažení 100% mortality hubeného druhu hmyzu. Tato doba je závislá na druhu a jeho vývojovém stádiu. Nejodolnější jsou vajíčka a kukly. Dále obecně platí, že čím je nižší relativní vlhkost a vyšší teplota, tím je doba potřebná k devitalizaci nižší. Použitá minimální hodnota relativní vlhkosti a maximální teplota je dána materiálem ošetřovaného artefaktu.

2. CÍL

Cílem této metodiky je proto podat souhrnné informace, které umožní uživateli sestavit jednoduché zařízení s minimálními náklady na ošetřování drobných předmětů pomocí inertního plynu dusíku (N_2), který nezanechává rezidua v ošetřovaných předmětech. Dalším cílem této metodiky bylo podat rámcové informace o druhovém spektru škůdců a variabilitě času při hubení škůdců a jejich vývojových stádií za pomoci řízené atmosféry obsahující dusík (N_2).

V současné době neexistuje pro každodenní použití v muzeích, knihovnách, archivech či restaurátorských atelierech žádná **účinná, netoxická, k materiálu šetrná** a současně **ekologicky nezávadná** metoda, která by byla zároveň **finančně přijatelná**. Naše úsilí proto směřovalo vedle ověření účinnosti zejména k navržení systému jednoduchého a prakticky využitelného systému aplikovatelného v běžné praxi. Výsledkem je metodika, která respektuje etické standardy z oblasti ochrany kulturního dědictví, zejména pak požadavek na minimalizaci změn originální matérie ošetřovaných předmětů, při vysoké letální účinnosti na škodlivý hmyz.

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY

1. POPIS A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ NA MODIFIKOVANÉ ATMOSFÉRY

1. 1. Princip

Zařízení je koncipováno jako průtočná linka, do které vstupuje na jedné straně z tlakového zásobníku dusík o čistotě minimálně 99,99%. Dusík ze zásobníku je absolutně suchý a je nezbytné jej zvlhčovat. To se děje spolehlivým a jednoduchým způsobem s využitím velké sorpční kapacity pro vodu speciálně upraveného silikagelu (např. Prosorb). Způsob zvlhčování řízené atmosféry je důležitým přínosem této metodiky. Po zvlhčení na požadovanou hodnotu plyn postupuje do další části linky, kde jsou umístěny ošetřované předměty. Na výstupu z tohoto prostoru kontrolujeme koncentraci kyslíku, která po celou dobu ošetření nesmí být vyšší než 0,1%. Na konci linky plyn prochází kapalinovým uzávěrem (manostat). Skladba zařízení je schematicky zobrazena na obr. 1. Do linky jsou jednotlivé prvky zařízení propojeny hadicemi z PVC s vnitřním průměrem 6mm. **Silikonovou hadici nelze použít, protože propouští kyslík!**

Zařízení obsahuje:

1. zdroj dusíku (1) – obvykle tlaková lahev nebo minitank na kapalný dusík s redukčním ventilem a regulací průtoku (2)
2. promývačka s vodou (3) opatřená uzavíratelným obchvatem (4) – k periodickému doplňování vody do Prosorbu
3. promývačka s Prosorbem (5) – k nastavení potřebné relativní vlhkosti proudu dusíku
4. čidlo relativní vlhkosti (6) – nejlépe data logger uzavřený v malém průhledném boxu před vstupem do prostoru s ošetřovanými artefakty
5. hermeticky uzavíratelné boxy (7) na ošetřované artefakty opatřené průchodkami pro vstup a výstup proudu dusíku. Alternativně lze místo boxů využít obal ze speciální bariérové fólie
6. čidlo koncentrace kyslíku (8) ve výstupním proudu atmosféry z boxů
7. promývačka (9) fungující jako vodní uzávěr na výstupu, kterým též nastavujeme hodnotu přetlaku dusíku v boxech vůči vnější atmosféře.

Podrobné informace o jednotlivých složkách linky a případných dodavatelích jsou uvedeny v odstavci 2. 3.

1. 2. Postup ošetření

- Do linky dle obr. 1 dáme promývačku s Prosorbem (5) s rovnovážnou vlhkostí nad jeho povrchem stejnou (blízkou) rovnovážné vlhkosti, ve které byl ošetřovaný materiál do té doby uložen (viz. odst. 2. 3. e). Není proto vhodné ošetřovat společně artefakty, které pochází z prostředí s velmi rozdílnou relativní vlhkostí.
- Do boxů případně obalů z bariérové fólie (7), kterých může být více spojených za sebou, vložíme ošetřované předměty a dobře uzavřeme. K uzavření obalů z bariérové fólie lze použít např. svařování vhodnými svářecími kleštěmi s nastavitelnou teplotou, či speciální plastové klipy.
- Zapneme měření vlhkosti (6) vstupujícího plynu.
- Zkalibrujeme oxymetr (8) v běžné atmosféře a zapneme měření koncentrace kyslíku (8) ve vystupujícím plynu.
- Přesvědčíme se o těsném uzavření všech boxů resp. obalů a dostatečném množství vody v promývačkách (3) a (9).
- Regulačním ventilem na výstupu redukčního ventilu (2) zásobníku dusíku (1) nastavíme požadovaný průtok dusíku.
- Po dosažení koncentrace kyslíku ve vystupujícím plynu 0,1% a nižší začneme měřit čas ošetření. Potřebná doba ošetření je dána druhem hmyzu. U masivních dřevěných artefaktů s uzavřeným povrchem prodloužíme dobu ošetření minimálně o jeden den.
- Po uplynutí doby ošetření uzavřeme přívod dusíku, vyjmeme ošetřované předměty a boxy zase uzavřeme, nebo promývačku s Prosorbem oddělíme od okolní atmosféry, aby se neměnila jeho rovnovážná vlhkost.
- Ošetřené předměty by měly být uloženy do odpovídajícího prostředí s nízkým rizikem biologického napadení (nižší RV vzduchu – max. 50%, čisté, s mechanickými zábranami proti hmyzu)

1. 3. *Potřebný materiál, přístroje a detaily postupu*

Čísla u položek odpovídají označení na obr. 1.

- a) Zdroj dusíku (1) – pro ošetření drobných předmětů je nejvhodnější tlaková lahev pronajatá od poskytovatele stlačeného dusíku, kterou dodavatel po vyprázdnění vymění za plnou. Pro větší odběry a pravidelný provoz je ekonomičtějším řešením využití minitanku s náplní kapalného dusíku (např. Euro-Cyl, dodavatel: Chart Ferox, a.s., Ústecká 1335/30, 405 02 Děčín V-Rozbělesy 412 507 111).
- b) Redukční ventil (2) - lze zakoupit od dodavatele dusíku. Důležité je, aby výstupní tlak byl regulovatelný v rozmezí 0 až 3 bary a výstup ventilu byl opatřen *regulací průtoku*.
- c) Promývačka (3) – běžné laboratorní zařízení, plníme destilovanou vodou – výška sloupce nad ústím ponořené trubky kolem 5cm. Slouží k nasycení dusíku vodními parami k dodání vody do Prosorbu při jeho regeneraci - viz ad e).
- d) Kohout obchvatu (4) - lze koupit např. u firmy p-lab. Vhodný rozměr pro boxy do 10 litrů je kohout pro hadice o vnitřním průměru 6mm.
- e) Promývačka (5) naplněná kuličkami Prosorbu k nastavení potřebné vlhkosti řízené atmosféry. Prosorb – je obchodní označení speciálně upraveného silikagelu, u kterého je závislost rovnovážné relativní vlhkosti nad jeho povrchem na obsahu v něm absorbované vody velmi plochá. To platí vždy v určité oblasti relativních vlhkostí, pro kterou je příslušný typ *Prosorbu* určen. Jinými slovy v této oblasti je *Prosorb* schopen uvolnit nebo absorbovat velké množství vody, aniž se výrazně změní hodnota rovnovážné relativní vlhkosti. Tato skutečnost se využívá na udržování potřebné relativní vlhkosti v uzavřených prostorech nebo v proudu plynu, který přes vrstvu Prosorbu prochází.

Na obr. 2 je znázorněna změna rovnovážné relativní vlhkosti v prostoru nad Prosorbem při změně procentického obsahu absorbované vody. Na jeho základě můžeme např. stanovit potřebné množství Prosorbu, aby při daném průtoku dusíku nepoklesla relativní vlhkost proudu plynu o více než 2% za 10 dní:

Pokud dusík proudí rychlostí 100ml/min (2 až 3 bublinky v promývačce za vteřinu), je jeho objem za 10dní: $100 \times 60 \times 24 \times 10 = 1\,440\,000$ ml tj. 1,44 m³.

Aby v tomto objemu dusíku bylo dosaženo relativní vlhkosti 50% při 25°C, musíme

do něj dodat $1,44 \times 11,5 = 16,56\text{g}$ vody. (Hodnota 11,5 je obsah vody v gramech v 1 m³ plynu při 50% nasycení vodou). Z Prosorbu klimatizovaného (zregenerovaného – viz dále) na rovnovážnou vlhkost 51% můžeme odebrat 1,6% vody, než jeho rovnovážná vlhkost klesne o 2% na 49%. To znamená, že 1kg Prosorbu nám za těchto podmínek poskytne 16g vody, což je prakticky množství, které potřebujeme na 10 dní provozu hubící linky. Uvedený výpočet slouží k představě kolik Prosorbu potřebujeme a v jakých intervalech ho bude nutné regenerovat (nahradit odevzdanou vodou).

Obvyklý průtok dusíku je poloviční (50 ml/min a méně) a pokud bude regenerační interval 5 dní, pak vystačíme s množstvím Prosorbu 250g, které se vejde do 500ml promývačky. (Při požadované relativní vlhkosti nižší bude, za jinak stejných podmínek, regenerační interval (*RI*) úměrně delší a naopak podle vztahu:

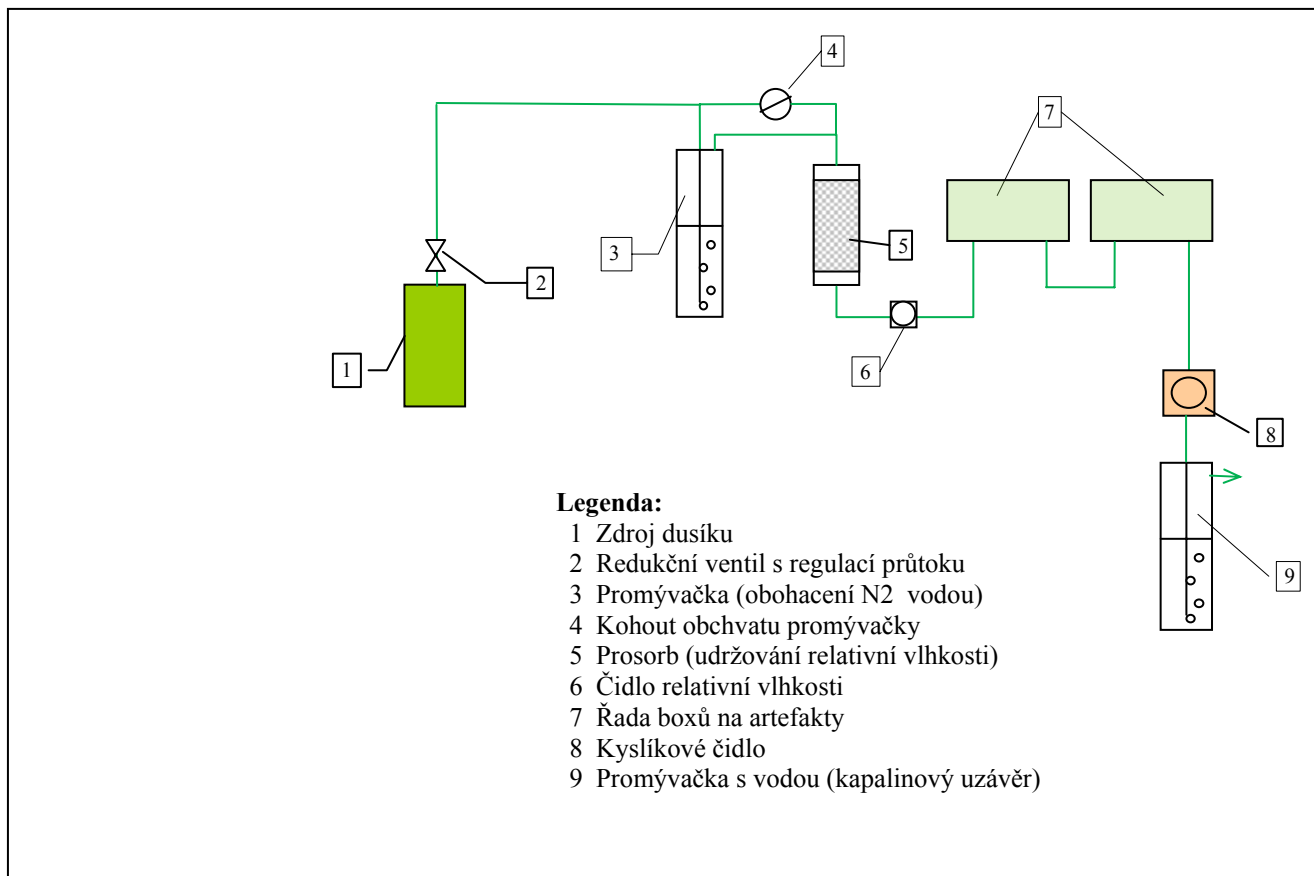
$RI = 5 * 50/H$ dní, kde *H* je požadovaná relativní vlhkost).

Regenerace probíhá tak, že uzavřeme kohout obchvatu (4) a dusík necháme probublávat vodou, kde se nasytí a přebytečnou vlhkost následně odevzdává do Prosorbu. Jeho rovnovážná vlhkost na výstupu postupně roste z 49% na 51%, kdy kohout obchvatu (4) otevřeme a proces se opakuje. Pokud na začátku je rovnovážná vlhkost Prosorbu významně odlišná od požadované hodnoty při ošetření, Prosorb zklimatizujeme v klimatizační komoře při požadované vlhkosti. Nemáme-li k dispozici klimatizační komoru, postupujeme následovně: Je-li rovnovážná vlhkost nižší než požadovaná, vhnáme do Prosorbu (v promývačce) vzduch nasycený (v promývačce s vodou) vodními parami, dokud vlhkostní čidlo na výstupu neukazuje požadovanou hodnotu relativní vlhkosti. Při měření musí být průtok vzduchu do 100ml/min, aby se stačila ustavit rovnováha vlhkosti mezi vzduchem a povrchem Prosorbu. Přibližné nastavení průtoku viz výše. Ke vhnání vzduchu lze použít vzduchovací motorek pro akvária. Když naopak rovnovážná vlhkost Prosorbu je vyšší, dáme Prosorb na misku, zvážíme a dáme do sušárny a zahříváme na cca 60°C. Orientačně lze počítat, že o kolik procent chceme snížit rovnovážnou relativní vlhkost, o tolik procent musí sušením klesnout hmotnost Prosorbu.

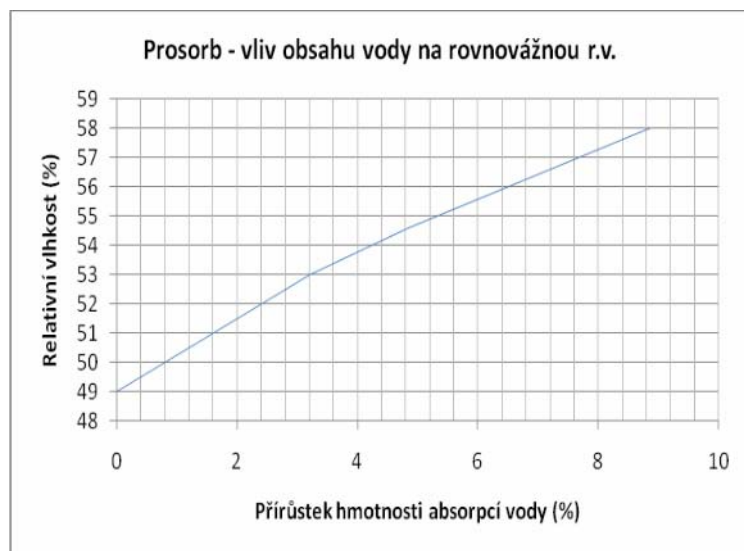
Poznámka: Při uzavírání promývačky s Prosorbem navlékneme na ústí trubičky sahající ke dnu jemnou síťovinu, abychom při zasouvání zabránili vniknutí Prosorbu do trubičky a nedošlo ke ztížení průtoku plynu. Zasouvání trubičky si výrazně usnadníme, když promývačkou jemně poklepáváme o stůl.

Prosorb lze zakoupit u různých dodavatelů např. deffner&johann s.r.o. nebo Flair a.s. Pokud se neuvede požadovaná vlhkost, je kondicionován na rovnovážnou vlhkost 50%.

- f) Čidlo vlhkosti (6) je umístěno v malém průtočném boxu o objemu 0,35 dm³ s průhledným víkem (obr. 3). Dodavatel boxu a schéma průchodky viz níže ad g). Jako čidlo vlhkosti je nejvhodnější autonomní datový logger zaznamenávající ve zvoleném časovém intervalu teplotu a relativní vlhkost a zároveň ukazuje okamžité hodnoty na displeji. Přístroj na obr. 3 je od firmy COMET a má vnější rozměry 9,2 x 6,5 x 4,5 cm.
- g) Hermeticky uzavíratelné boxy (7) (s označením logem LOCK & LOCK) k umístění ošetřovaných artefaktů lze v různých objemech od 0,35 až do cca 10 litrů lze zakoupit v marketech v oddělení domácích potřeb. Na obr. 4 je box o velikosti 28 x 20 x 11 cm o objemu 2,6 litru, který je opatřen průchodkami na přívod a odvod řízené atmosféry. Výkres průchodek a detail jejich montáže je na obr. 5. Obdobně lze využít taktéž obaly z bariérové fólie. Tu je možno svářet speciálními kleštěmi (obr. 9), případně uzavřít plastovým klipem (vše k dostání na www.cwaller.de). Ekonomicky i funkčně nejvýhodnější jsou bariérové folie používané v potravinářském průmyslu, které se skládají ze tří vrstev: svařovatelná vrstva (PE,PP), hliníková folie (zamezuje průniku kyslíku a vodních par) a vrstva zajišťující mechanickou ochranu (PET). Dodavatelem folií u nás je např. firma Branopac cz s.r.o. Při svařování musí být k sobě přiloženy svařovatelné vrstvy a dodržena teplota, tlak a doba stlačení v čelistech. Tyto hodnoty udává výrobce folie a často je součástí potisku vnější strany folie (obr. 10). Svařovatelná vrstva je na vnitřní straně folie
- h) Ve výstupním proudu atmosféry z boxů je umístěno čidlo koncentrace kyslíku (8) zašroubované do průtočného adapteru, jehož náčrt je na obr. 6 Čidlo je součástí Oxymetru (Digital Oxymeter GMH 3691) od firmy Greisinger GmbH, která je u nás zastupována výrobním družstvem BARTEX. Celá sestava oxymetr, čidlo a průtočný adapter je na obr. 7.
- i) Pohled na sestavenou linku s použitím průtočného vaku svařeného z bariérové folie je na obr. 9.



Obrázek 1. Schéma hubící linky.



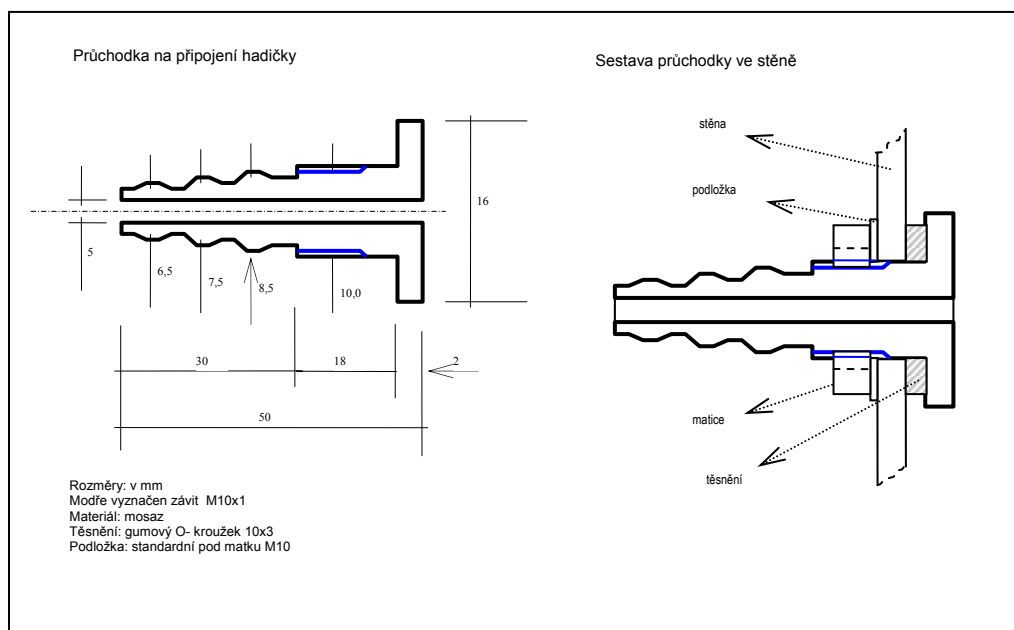
Obrázek 2. Kapacita Prosorbu.



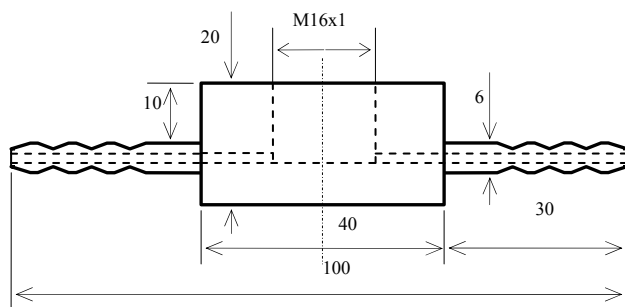
Obrázek 3. Umístění vlhkostního čidla v průtočném boxu.



Obrázek 4. Box s víkem o objemu 2,6 litru (otevřený a uzavřený) opatřený průchodkami.



Obrázek 5. Průchodky do boxů.



Obrázek 6. Schéma a rozměry průtočného adaptéru na kyslíkové čidlo.

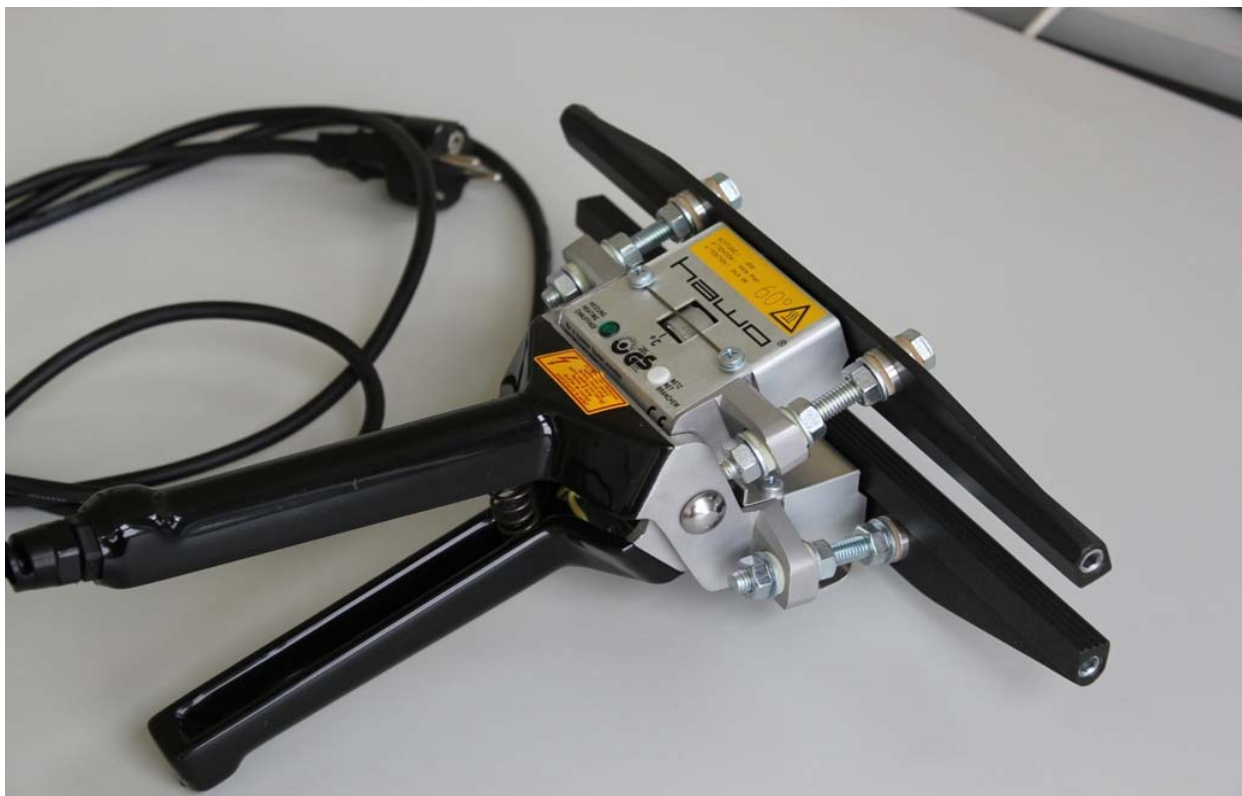


Obrázek 7. Oximetr s kyslíkovým čidlem a průtočným adaptérem.

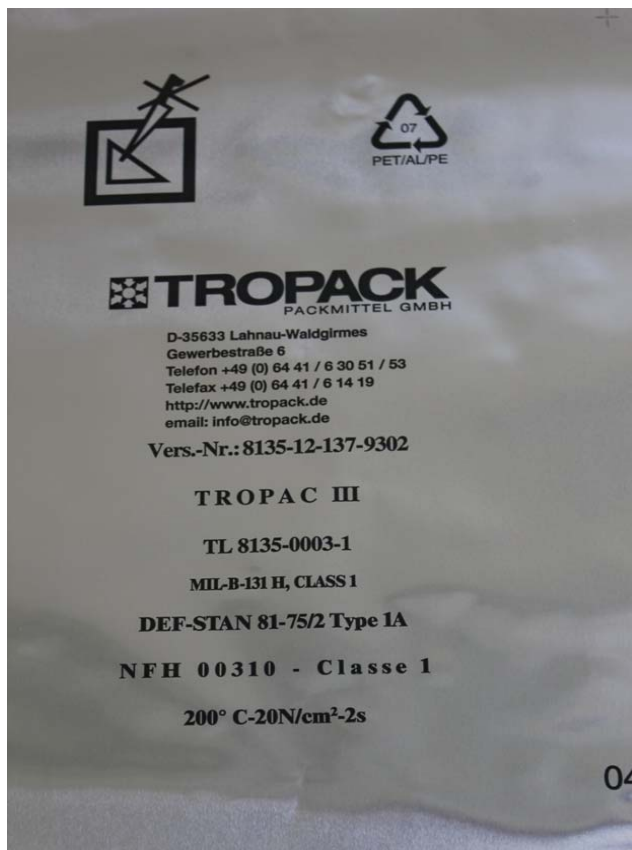


Obrázek 8. Linka s průtočným vakem svařeným z bariérové folie.

#



Obrázek 9: Svařovací kleště na bariérovou folii



Obrázek 10: Příklad bariérové folie.

Potisk na vnější straně folie obsahuje informace o složení (PET, Al, PE), obchodní název, výrobce, normy, kterým vyhovuje a dále svařovací teplotu, tlak a dobu stlačení ve svařovacích čelistech.

2. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST ŘÍZENÝCH ATMOSFÉR NA ŠKŮDCE - #

EXPERIMENTÁLNÍ DATA

Existuje celá řada faktorů, které ovlivňují účinnost aplikovaných řízených atmosfér při ošetřování různých předmětů. Tyto faktory můžeme rozdělit do dvou základních skupin: (1) faktory abiotické – sem, řadíme zejména teplotu, vlhkost atd. a (2) faktory biotické – sem, řadíme zejména druh škůdce a vývojové stádia. Některé z těchto faktorů více a jiné méně ovlivňují celkovou účinnost a tím i výsledek těchto aplikovaných postupů. Pro uživatele, který se rozhodne použít při ošetření postupů řízených atmosfér, je nejdůležitější znalost faktorů, které může významně sám ovlivňovat. Do této skupiny faktorů řadíme zejména, teplotu, vlhkost a správnou determinaci škůdce.

Experimentální data

2.1. Vliv teploty na účinnost dusíkaté atmosféry.

Metodika

Vliv teploty na účinnost dusíkové atmosféry byl sledován u dospělců potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) při optimální relativní vlhkosti vzduchu pro jeho přežívání. Experimenty probíhaly ve třech různých teplotách 20°C, 25°C a 30°C s relativní vzdušnou vlhkostí 75% a v atmosféře 100 % dusíku (N₂).

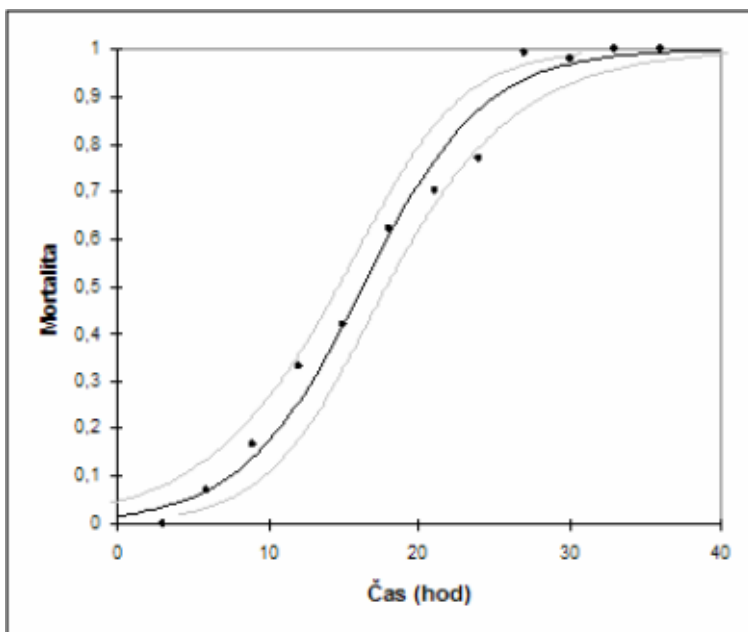
Jeden den před zahájením experimentu byli dospělci vybráni ze substrátu a vloženy po 20 ks do skleněných Petriho misek. Na dno Petriho misek byl vložen filtrační papír a 2 ks ovesných vloček jako standardní dieta. Takto připravené misky s pokusnými brouky byly vloženy do experimentálních boxů. Následně byla z tlakové nádoby do experimentálních boxů, které byly paralelně zapojeny, napuštěna umělá atmosféra dusíku (100% N₂). Po dosažení hodnoty 0% kyslíku v poslední experimentální nádobě byl průtok umělé atmosféry snížen tak, aby byl stále v nádobách přetlak, který zabraňoval vniku kyslíku do nádob. Délka expozičního času byla stanovena v rozmezí 3 – 36 hodin. Po uplynutí expoziční doby byly misky s brouky umístěny do termostatu s teplotou 27 °C a relativní vlhkostí 75 %. Kontrola mortality probíhala po 72 hodinách od ukončení expozice. Data byla dále statisticky zpracována a vyhodnocena pomocí statistických programů Statistica 7 cz a XL Stat DOSE.

Výsledky

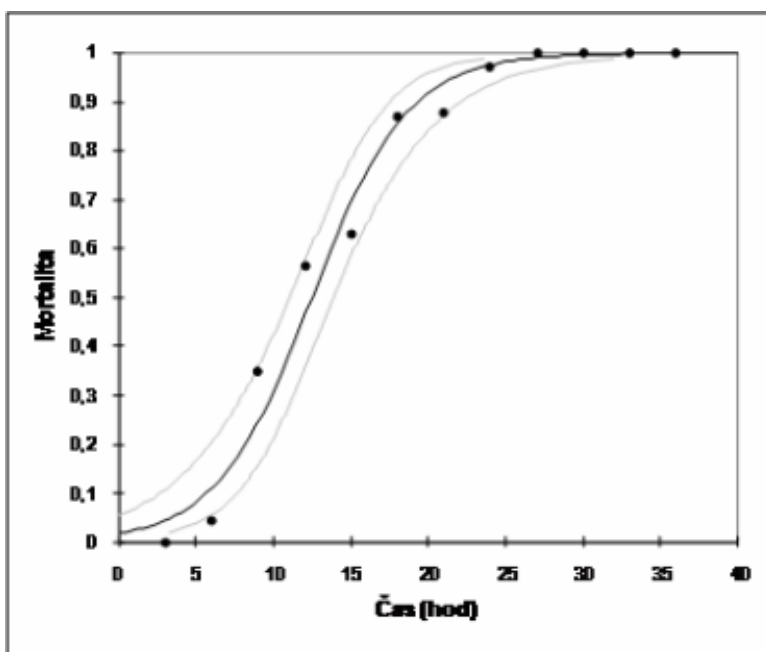
Získaná data ukazují, jak teplota může ovlivňovat rychlost účinnosti řízené atmosféry na dospělá stádia brouků. Při statistickém vyhodnocení pomocí neparametrického testu Kruskal-Wallis byl nalezen statisticky významný rozdíl mezi mortalitou u teplot 20°C a 30°C (N = 24, H = 4,65, p = 0,0310), zatímco mezi teplotami 20°C a 25°C (N = 24, H = 0,53, p = 0,4670) a teplotami 25°C a 30°C (N = 24, H = 2,01, p = 0,1559) nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly. Přestože statisticky významné rozdíly v mortalitě dospělých brouků potměníka hnědého byly nalezeny pouze mezi nejnižší a nejvyšší sledovanou teplotou, tak zajímavou hodnotou, která blíže diferencuje rozdíly mezi teplotami je letální čas, za který uhynie 50% nebo 99% sledované populace (Tab. 3.1). Dalším důležitým ukazatelem je průběh mortality, který může být rozprostřen do kratšího nebo delšího časového úseku (Graf 3.1, 3.2, 3.3).

Tabulka 3.1. Přehled letálních časů ve třech sledovaných teplotách v dusíkové atmosféře na dospělce potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*).

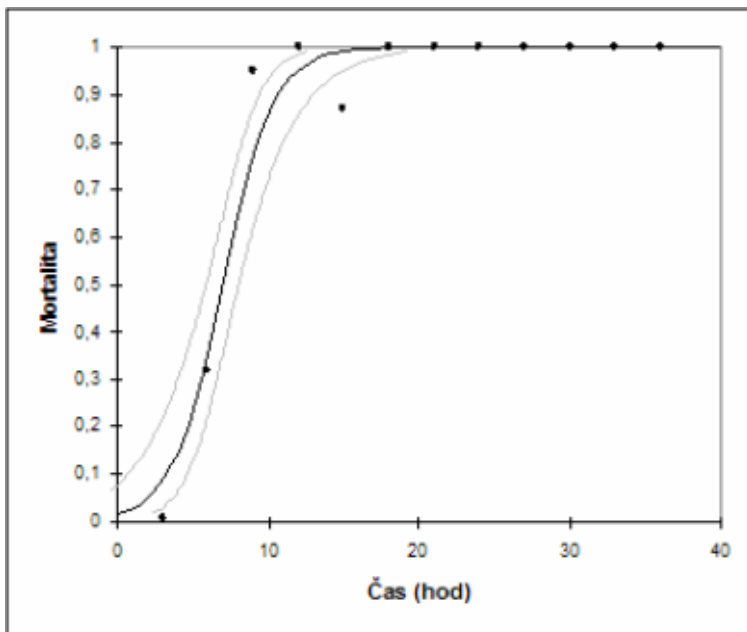
Tep.	Parametry modelu		Letální čas (hod)		Vhodnost modelu		
	Intercept±SE	Slope±SE	LT ₅₀ (95% CL)	LT ₉₉ (95% CL)	χ ²	df	P
20°C	-4.06±0.54	0.25±0.03	16.27 (14.66-17.84)	34.68 (30.93-40.61)	158.97	1	<0.0001
25°C	-4.04±0.61	0.32±0.04	12.48 (11.04-13.86)	26.70 (23.56-31.94)	166.92	1	<0.0001
30°C	-4.15±0.86	0.59±0.11	6.99 (5.87-8.04)	14.74 (12.56-19.22)	136.50	1	<0.0001



Graf 3.1. Průběh mortality dospělců potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře při 20°C.



Graf 3.2. Průběh mortality dospělců potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře při 25°C.



Graf 3.3. Průběh mortality dospělců potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře při 30°C.

Diskuse

Výsledky našich experimentů ukázaly, jak teplota může mít značný vliv na rychlost dosažení požadované mortality dospělého potměníka hnědého. Výsledky dalších studií ukazují, že teplota ovlivní i rychlost mortality nejen u dospělců různých druhů, ale i u jejich vývojových stádií (Donahaye a kol.). Jak se ukazuje, tak se vzrůstající teplotou se zkracuje doba potřebná na ošetření, to může mít výrazný vliv na celkovou ekonomickou bilanci celého zásahu. Ale je nutné si uvědomit, že vždy nelze používat při ošetřování vyšší teploty, protože s rostoucí teplotou, roste i riziko poškození u některých typů předmětů.

2.2. Vliv vývojového stádia škůdce

Metodika

Pro sledování vlivu vývojových stádií na účinnost dusíkové atmosféry byl použit druh potměník hnědý (*Tribolium castaneum*). K experimentům byla použita 4 vývojová stádia potměníka hnědého (vajíčko, larva, kukla, dospělec). Jeden den před zahájením experimentu byla vývojová stádia vybrána ze substrátu a vložena po 20 ks do skleněných Petriho misek u

vajíček po 40 ks. Na dno Petriho misek byl vložen filtrační papír a 2 ks ovesných vloček jako standardní dieta. Takto připravené misky s pokusnými stádii byly vloženy do experimentálních boxů. Následně byla z tlakové nádoby do experimentálních boxů, které byly paralelně zapojeny, napuštěna umělá atmosféra dusíku (100% N₂). Po dosažení hodnoty 0% kyslíku v poslední experimentální nádobě byl průtok umělé atmosféry snížen tak, aby byl stále v nádobách přetlak, který zabraňoval vniku kyslíku do nádob. Délky expozičních časů byly stanoveny u jednotlivých vývojových stádií následovně: (1) dospělci byli exponováni 1-24 hodin, (2) larvy byly exponovány v rozmezí časů 1-36 hodin, (3) kukly by exponovány v rozmezí časů 1-80 hodin a (4) vajíčka byla exponována v rozmezí časů 1-80 hodin. Všechny experimenty probíhaly za definovaných a kontrolovaných fyzikálních podmínek (teplota 24°C ± 1°C a relativní vlhkost v experimentálních boxech 45% ± 5%). Odebrané misky s vývojovými stádii byly uloženy do termostatu s teplotou 27 °C a relativní vlhkostí 75 %. Kontrola mortality dospělců probíhala po 72 hodinách od ukončení expozice. U larev probíhala kontrola po 15 dnech od ukončení expozice. U kukel bylo kontrolováno po 7 dnech od ukončení expozice stav kukla-dospělec a u vajíček po 7 dnech stav vajíčko – larva. Data byla dále statisticky zpracována a vyhodnocena pomocí statistických programů Statistica 7 cz a XL Stat DOSE.

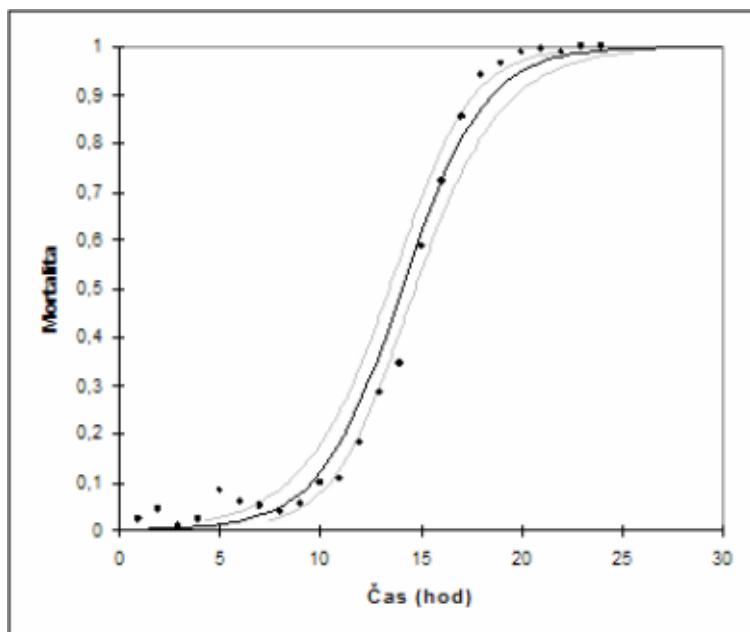
Výsledky

Získané výsledky ukazují, že jednotlivá vývojová stádia jednoho druhu jsou odlišně citlivá na ošetření dusíkovou atmosférou. Při statistickém vyhodnocení dat byly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi vývojovými stádii dospělec x kukla (N = 54; H = 18,103; p = 0,0001), dospělec x vajíčko (N = 54; H = 10,286; p = 0,0013), larva x kukla (N = 54; H = 23,561; p = 0,0001), larva x vajíčko (N = 54; H = 9,522; p = 0,0020) a kukla x vajíčko (N = 54; H = 7,056; p = 0,0079). Pouze mezi vývojovými stádii dospělec x larva nebyl nalezen u naměřených dat statisticky významný rozdíl (N = 54; H = 0,517; p = 0,4722).

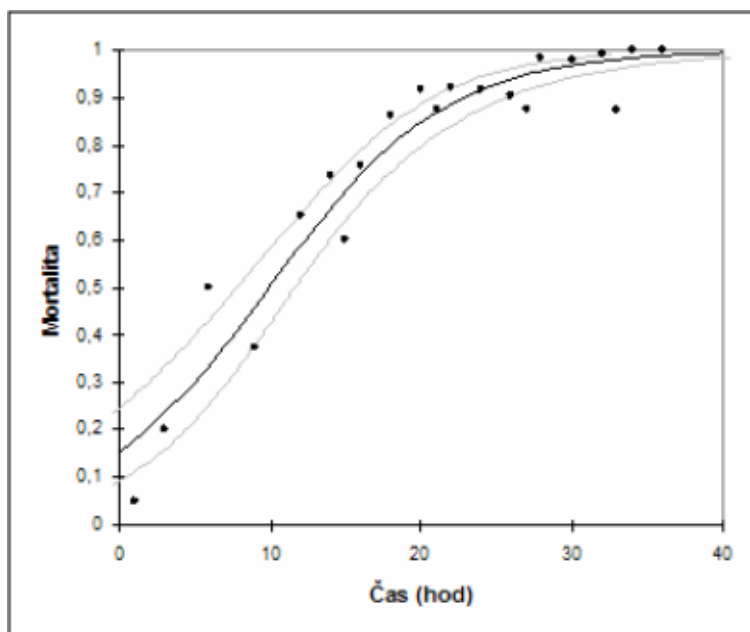
Přestože nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi mortalitou vývojových stádií dospělec x larva, tak letální časy ukazují, že dosažení požadované vyšší účinnosti bude u larev dosaženo později než u dospělců (tab. 3.2). Grafy 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ukazují rostoucí účinnosti dusíkové atmosféry na jednotlivá stádia potměníka hnědého s rostoucím expozičním časem.

Tabulka 3.2. Přehled letálních časů vývojových stádií potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře.

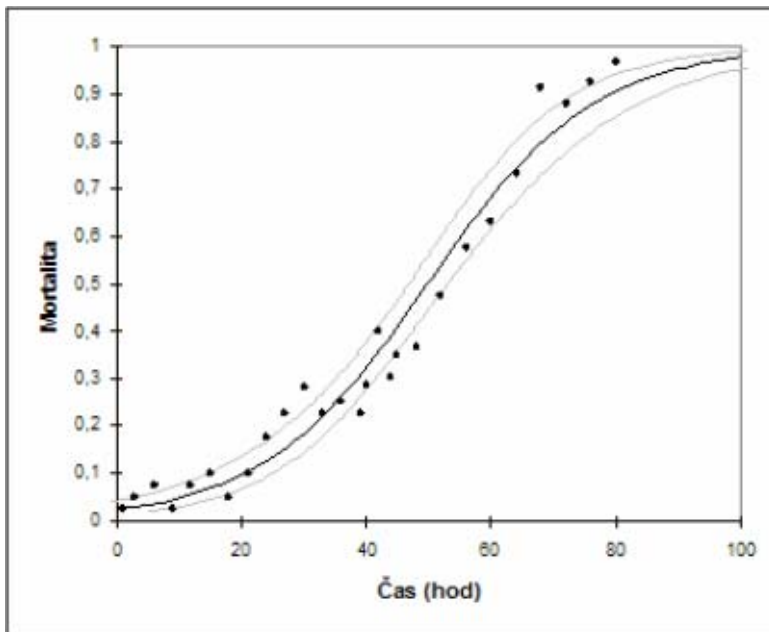
	Parametry modelu		Letální čas (hod)		Vhodnost modelu		
	Intercept±SE	Slope±SE	LT ₅₀ (95% CL)	LT ₉₉ (95% CL)	χ ²	df	P
Vajíčka	-3.20±0.22	0.11±0.01	28.58 (26.97-30.15)	69.65 (65.31-75.06)	652.78	1	<0.0001
Larvy	-1.69±0.29	0.17±0.02	9.95 (7.84-11.66)	36.93 (32.77-43.11)	146.33	1	<0.0001
Kukly	-3.71±0.31	0.08±0.01	49.74 (46.77-53.03)	111.29 (101.14-125.48)	216.11	1	<0.0001
Dospělci	-6.90±0.64	0.49±0.04	14.07 (13.43-14.71)	23.44 (21.91-25.59)	393.20	1	<0.0001



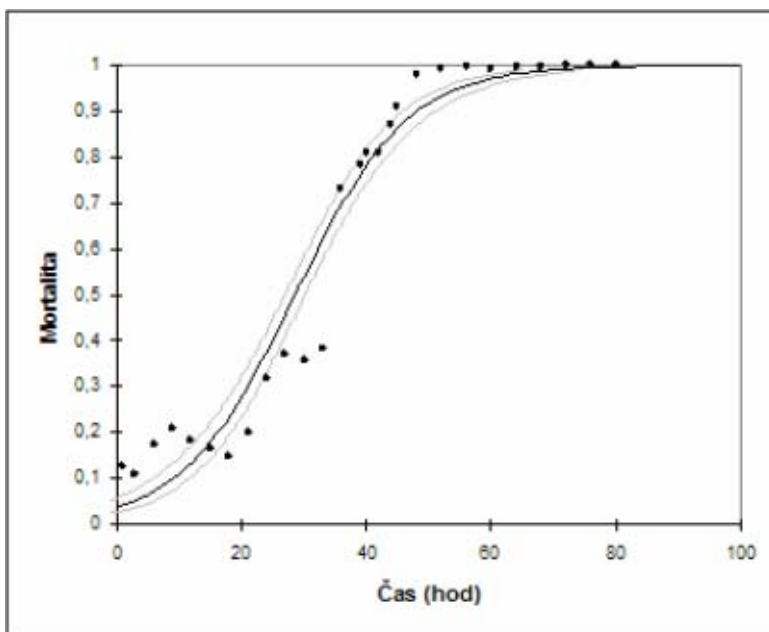
Graf 3.4. Průběh mortality dospělců potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře.



Graf 3.5. Průběh mortality larev potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře.



Graf 3.6. Průběh mortality kukel potemníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře.



Graf 3.7. Průběh mortality vajíček potemníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře.

Diskuse

Dosažení stejné výše účinnosti dusíkové atmosféry je odlišný v závislosti na vývojovém stádiu škůdce. Všeobecně lze konstatovat, že vývojová stádia kukly a vajíčka více odolávají a

pro dosažení dostatečné účinnosti je nutné prodloužit expoziční časy. Zatímco v případě dospělců a larev lze tyto časy zkrátit. Tento fakt má velmi důležitý význam a vliv na správné nastavení délky expozice při ošetřování předmětů pomocí dusíkové atmosféry. V případě aplikace řízených atmosfér je nutné předem určit škůdce a jeho vývojová stádia, která se mají hubit, tak aby bylo možné správně nastavit délku expozice. Pokud nevíme, musíme počítat s nejméně příznivým případem.

2.3. Vliv druhu škůdce

Metodika

Vliv biologického druhu na účinnost dusíkové atmosféry byl sledován u dospělců potemníka hnědého (*Tribolium castaneum*) a červotoče tabákového (*Lasioderma serricorne*). Jeden den před zahájením experimentu byli dospělci vybráni ze substrátu a vloženi po 20 ks do skleněných Petriho misek. Na dno Petriho misek byl vložen filtrační papír a 2 ks ovesných vloček jako standardní dieta. Takto připravené misky s pokusnými brouky byly vloženy do experimentálních boxů. Následně byla z tlakové nádoby do experimentálních boxů, které byly paralelně zapojeny, napuštěna umělá atmosféra dusíku (100% N₂). Po dosažení hodnoty 0% kyslíku v poslední experimentální nádobě byl průtok umělé atmosféry snížen tak, aby byl stále v nádobách přetlak, který zabraňoval vniku kyslíku do nádob. Délky expozičních časů byly stanoveny u potemníka hnědého 1- 24 hodin a u červotoče tabákového 1-96 hodin. Všechny experimenty probíhaly za definovaných a kontrolovaných fyzikálních podmínek (teplota 24°C ± 1°C a relativní vlhkost v experimentálních boxech 45% ± 5%). Odebrané misky s vývojovými stádii byly uloženy do termostatu s teplotou 27 °C a relativní vlhkostí 75 %. Kontrola mortality probíhala po 72 hodinách od ukončení expozice. Data byla dále statisticky zpracována a vyhodnocena pomocí statistických programů Statistica 7 cz a XL Stat DOSE.

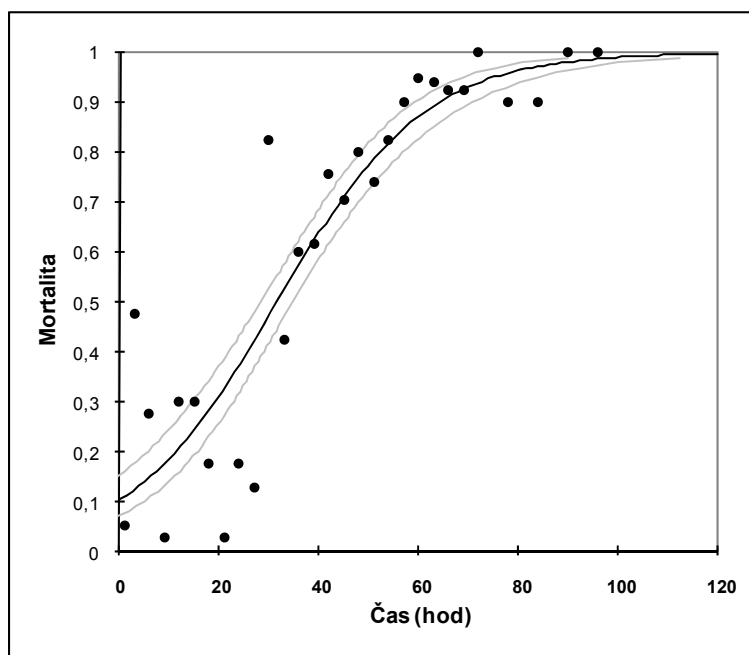
Výsledky

Získané výsledky ukazují, že druhy jsou odlišně citlivé na ošetření dusíkovou atmosférou. Při statistickém vyhodnocení dat byly nalezeny statisticky významné rozdíly

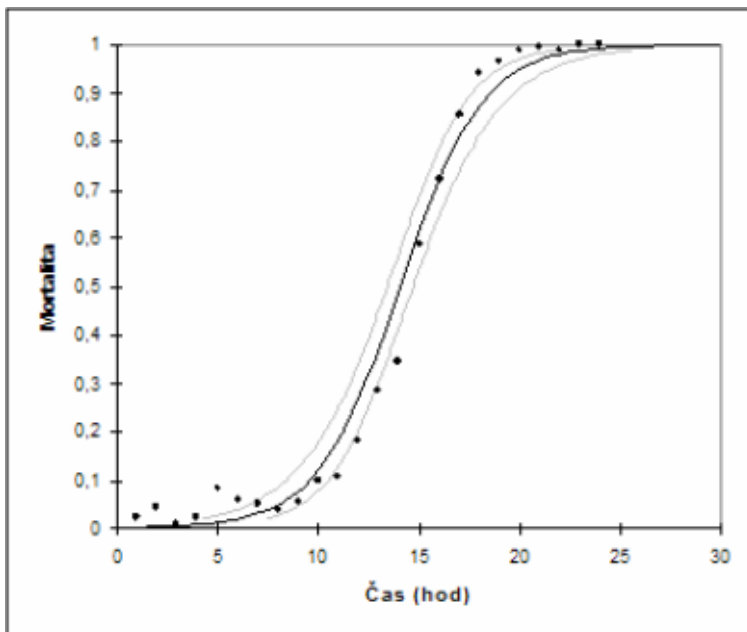
mezi mortalitou dospělců potemníka hnědého a červotoče tabákového. ($N = 58$; $H = 13,954$; $p = 0,0002$). Tabulka 3.3 ukazuje základní letální časy populace potemníka hnědého a červotoče tabákového použitých v experimentech. Tyto výsledky ukazují značné rozdíly, kdy letální čas 99% všech jedinců byl u červotoče tabákového více jak čtyřikrát delší než u potemníka hnědého. Grafy 3.8 a 3.9 ukazují průběh mortality použitých populací brouků v jednotlivých expozičních časech.

Tabulka 3.3. Přehled letálních časů dospělců potemníka hnědého (*Tribolium castaneum*) a červotoče tabákového (*Lasioderma serricorne*) v dusíkové atmosféře.

	Parametry modelu		Letální čas (hod)		Vhodnost modelu		
	Intercept \pm SE	Slope \pm SE	LT ₅₀ (95% CL)	LT ₉₉ (95% CL)	χ^2	df	P
červotoč tabákový	-2.15 \pm 0.22	0.07 \pm 0.01	31.62 (28.34-34.73)	99.18 (89.71-112.14)	250.68	1	<0.0001
potemník hnědý	-6.90 \pm 0.64	0.49 \pm 0.04	14.07 (13.43-14.71)	23.44 (21.91-25.59)	393.20	1	<0.0001



Graf 3.8. Průběh mortality dospělců červotoče tabákového (*Lasioderma serricorne*) v dusíkové atmosféře.



Graf 3.9. Průběh mortality dospělců potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) v dusíkové atmosféře.

Diskuse

Správná determinace škůdce před aplikací řízených atmosfér při ošetřování předmětů hraje značnou roli. Jak ukazují experimentální data, tak se stejná vývojová stádia dvou různých druhů brouků mohou odlišovat v citlivosti na ošetřování dusíkovou atmosférou. Tento rozdíl může být dokonce větší, než rozdíly mezi jednotlivými vývojovými stádii jednoho druhu. Z těchto důvodů je nutné správně určit škůdce, tak aby bylo možné nastavit správnou délku ošetřování.

III. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“

V současné době neexistuje v České republice metodika, která by podávala informace pro praxi o aplikaci řízených atmosfér pro ošetřování předmětů historického významu.

Obsahem této metodiky je soubor informací pro sestavení a obsluhu jednoduchých zařízení, která umožňují bezpečnou a účinnou aplikaci modifikované atmosféry (N₂). A dále obsahuje rámcové informace o biologické účinnosti dusíku (N₂), resp. bezkyslíkové atmosféry na vybrané druhy škůdců.

IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

- ❖ **Etika** – metoda minimalizuje přirozená i sekundární rizika pro předměty.
- ❖ **Účinnost** – je účinná vůči všem stádiím zkoumaného hmyzu a lze ji použít i opakovaně.
- ❖ **Inovace** – s příchodem změny v evropské direktivě v oblasti pesticidů a biocidů dochází ke značnému omezování celé řady účinných látek přípravků se širokým spektrem účinnosti na škůdce, a proto bude nutné hledat nové postupy a metody ochrany, zejména v okrajových oborech – tato metodika popisuje jeden z možných postupů.
- ❖ **Ekologie** – metodika prezentuje netoxickou alternativu k pesticidům a biocidům, která umožňuje bezpečné represivní ošetřování drobných sbírkových předmětů.
- ❖ **Hygiena** – ošetřené předměty nepředstavují riziko pro pracovníky ani další osoby.
- ❖ **Udržitelnost** – metoda je při pravidelném využívání ekonomicky výhodná.
- ❖ **Technologie** – návod k sestavení zařízení pro aplikaci řízené atmosféry, které vychází z modifikace právně chráněného zařízení, jehož původci jsou autoři metodiky. Zařízení umožňuje jednoduchý způsob udržování požadované relativní vlhkosti řízené atmosféry.
- ❖ **Komplexnost** – soubor technologických informací potřebný pro efektivní aplikaci zařízení, který se opírá o původní výsledky testování biologické účinnosti řízené atmosféry na škůdce.

V. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ošetřování drobných předmětů s historickým významem je vždy problematické. Důvodem je, jen těžce odhadnutelná reakce látek, které historické předměty obsahují s látkami, které obsahují přípravky použité při ošetřování. Pro snížení možných rizik poškození je vhodné aplikovat metody, které vycházejí z použití látek, které jsou běžně přítomné v atmosféře a kterým jsou historické předměty kontinuálně vystaveny. Uchování nepoškozených předmětů historického a kulturního dědictví pro budoucí generace má nevyčíslitelnou hodnotu.

Nejdůležitějším očekávaným přínosem je zvýšení bezpečnosti ošetřovaných předmětů historického významu a ochrana před jejich poškozením.

Zavedením této metody ošetřování sníží celkové náklady vynaložené na ochranu předmětů v jednom muzeu o 30 tis. Kč za smluvní období.

Další ekonomickým aspektem je, zvýšení úspěšnosti firem provádějící dezinfekci ve výběrových řízeních, které zařadí tuto metodiku a postupy do svých nabízených služeb.

VI. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

DONAHAYE, E. J., NAVARRO, S., RINDNER, M., AZRIELI A. 1996. The Combined Influence of Temperature and Modified Atmospheres on *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), *J. stored Prod. Res.*, 32 (3): 225-232.

HANLON, G., DANIEL, V. 1998. Modified atmosphere treatments of insect infestations. In *The Structural Conservation of Panel Paintings, Proceedings of a Symposium at the Paul Getty Museum*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, pp. 69-78.

VINOD, D., GORDON, H., SHIN, M. 1993. Eradication of Insect Pests in Museums Using Nitrogen, *Western Association for Art Conservation Newsletter*, 15 (3): 15-19.

JAY, E. G. AND CUFF, W. 1981. Weight loss and mortality of three life stages of *Tribolium castaneum* (Herbst) when exposed to four modified atmospheres, *J. Stored Prod. Res.* 17:117- 124.

VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

NEUVIRT, J., AULICKÝ, R., FIBICHOVÁ, I., FRANCL, J., SOVA, M., POLIŠENSKÝ, J., ŠIMČÍKOVÁ, M., ŠIMČÍK, A. 2008. Ověření možností hubení hmyzu poškozujícího knihovní a muzejní sbírky s využitím víceúčelové vakuové komory a bezkyslíkového boxu. In: *Ochrana a využívanie kultúrneho dedičstva 2008 : zborník príspevkov z odbornej konferencie, Martin 28.-29. októbra 2008.* - Martin, Slovenská národná knižnica 2008, s. 46-52.

Autor: Radek Aulický, Jiří Neuvirt, Antonín Šimčík, Markéta Šimčíková, Jiří Polišenský

Název: Certifikovaná metodika: Na sestrojení a provoz zařízení pro ošetřování drobných muzejních předmětů napadených škodlivými členovci za pomoci řízené atmosféry (*dusík*)

Vydal:

Redakce:

Metodika je veřejně přístupná na adrese

Náklad:

Vyšlo v roce 2010

Vydáno bez jazykové úpravy

Kontakt na autory: aulicky@vurv.cz; neu.chemtech@seznam.cz;

Autoři fotografií: Jiří Neuvirt, Antonín Šimčík