FORUM / 2022 / ROČ. XII / Č. 1

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2022 / Vol. XII / 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, 2022
ISSN (Online) 2571-4384
ISSN (Print) 1805-0050

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

VLIV DEZINFEKČNÍCH PROSTŘEDKŮ NA KINOFILMOVOU PODLOŽKU Z TRIACETÁTU CELULÓZY

Vítězslav Knotek • Martin Lacka • Michal Ďurovič

Ústav chemické technologie restaurování památek,
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Ing. Vítězslav Knotek, Ph.D. pracuje na Ústavu chemické technologie restaurování památek VŠCHT Praha jako odborný asistent. Jeho výzkumné aktivity jsou zaměřeny na péči o objekty ze syntetických polymerů. (Vitezslav.Knotek@vscht.cz)

Kinofilmy představují komplexní materiál složený z několika vrstev. Nejcennější obrazovou informaci nese emulzní vrstva na bázi želatiny. Nejobjemnější vrstvou kinofilmu je podložka, která zajišťuje celistvost filmu a možnost snadné manipulace. V současnosti se kinofilmy vyrábí s podložkou z acetátu celulózy nebo polyethylentereftalátu. Jak emulzní vrstva, tak podložka může podléhat mikrobiologickému napadení a existuje tak nebezpečí ztráty obrazové informace a historického materiálu. Vhodná dezinfekce řeší negativní působení mikroorganismů na film, ale zároveň nesmí mít negativní vliv na žádnou část kinofilmu. Testován byl vliv běžných dezinfekčních prostředků na kinofilmovou podložku z triacetátu celulózy. Aplikován byl ethylenoxid ve formě plynu, páry butanolu, roztok Septonexu a alkoholový dezinfekční prostředek Bacillol AF. Po dezinfekci a umělém stárnutí byly zkoumány fyzikální a chemické změny, například změna barevnosti, tažnosti, stupně substituce a další. Z hlediska sledovaných změn kinofilmové podložky se jako nejvhodnější a nejšetrnější dezinfekcí jeví páry butanolu. Naopak ethylenoxid zřejmě ovlivňuje chemickou strukturu acetátu celulózy, což vede ke zrychlení studovaných parametrů degradace.
Klíčová slova: kinofilmy, acetát celulózy, dezinfekce

INFLUENCE OF DISINFECTANTS ON CELLULOSE TRIACETATE CINEMATOGRAPHIC BASE Motion picture film is a complex material composed of several layers. The most valuable image information is carried by the gelatin-based emulsion layer. The thickest layer of the film is the base, which ensures film integrity and ease of handling. At present,motion picture films are produced with a base made of cellulose acetate or polyethylene terephthalate. Both the emulsion layer and the film base can be subject to microbiological attack and there is a risk of losing image information and historical material. Appropriate disinfection resolves the negative effects of microorganisms on the film, however, at the same time it must not adversely affect any part of the film. The effect of common disinfectants on the cellulose triacetate film base was tested. Ethylene oxide gas, butanol vapours, Septonex solution and the alcohol disinfectant Bacillol AF were applied. After disinfection and artificial aging, physical and chemical changes such as change in color, ductility, degree of substitution, etc. were investigated. In terms of the observed changes in the film base, butanol vapour appears to be the most suitable and gentle disinfectant. By contrast, ethylene oxide seems to affect the chemical structure of cellulose acetate, leading to an acceleration of the studied degradation parameters.
Key words: motion picture films, cellulose acetate, disinfection

Kinofilmy jsou komplexními materiály skládající se z několika vrstev. Nejobjemnější vrstvou, která tvoří podporu a nosič pro světlocitlivou vrstvu, je podložka [Nunes, 2020]. Podložka může být vyrobená v principu ze tří materiálů, konkrétně z nitrátu celulózy (NC), acetátu celulózy (AC) a polyethylentereftalátu (PET). Nitrát celulózy se pro účely kinofilmů přestal vyrábět během první poloviny 20. století a byl nahrazen acetátem celulózy [Nunes, 2020]. V 60. letech 20. století byl pak poprvé použit polyethylentereftalát jako kinofilmová podložka [Read, 2000]. Podložka z triacetátu celulózy je vyráběna dodnes a v porovnání s PET podložkou má výhodnější mechanické vlastnosti, které jsou vhodnější k citlivým mechanismům promítaček.

Degradace podložky filmu je kritickým faktorem určujícím životnost nesené audiovizuální informace. V otázce odolnosti vůči různým rozpouštědlům jsou podložky z AC a PET dostatečně odolné a díky tomu je využíváno několik metod na bázi rozpouštědel nebo vodných roztoků určených k čištění historických filmů, které je nutné provést před přehráváním či kopírováním [Read, 2000].

V otázce napadení kinofilmových materiálů mikroorganismy je nejslabším místem želatina, konkrétně emulzní vrstva [Abrusci, 2005]. Zvláště plísně jsou schopny způsobovat rozsáhlá poškození prorůstáním hyf do vrstvy želatinové emulze, což způsobuje nevratné poškození emulzní vrstvy a může dojít také k oddělení od podložky [Read, 2000]. Mimo emulzní vrstvy mohou mikroorganismy napadat také podložku. Zkoumána byla především podložka z acetátu celulózy, přičemž odolnost vůči napadení mikroorganismy hraje stupeň substituce. Čím vyšší je stupeň substituce podložky z acetátu celulózy, tím lepší je odolnost vůči napadení mikroorganismy [Buchanan, 1993; Sakai, 1996]. Mikroorganismy schopné biodegradovat acetát celulózy produkují zejména enzymy esterázy, lipázy a celulázy [Sakai, 1996]. Negativní vliv mikroorganismů na degradaci reálných filmových podložek z acetátu a nitrátu celulózy byl potvrzen v několika studiích [Sadurska, 1973; Koppe, 2004]. Proto je při prokázaném napadení materiálů mikroorganismy důležité přistoupit k dezinfekci.

Dezinfekci lze provést celou řadou chemických látek ve formě plynu, par nebo kapaliny. K dezinfekci památkových předmětů jsou doporučovány alkoholy, aldehydy, ethylenoxid, kvartérní amoniové ionty, fenoly a další [Drábková, 2021]. Alkoholy se používají velmi často a dlouhou dobu, přičemž pro zajištění dezinfekčního účinku je potřeba určitá minimální koncentrace [Bacílková, 2015]. Dobře byly prozkoumány účinky par butanolu, které působí fungicidně po 48hodinovém působení [Bacílková, 2015]. Nicméně spory bakterií bývají proti působení alkoholů rezistentní [Stickley, 1986]. Ethylenoxid je v tomto ohledu účinnější.

Ve studiích byly vyzkoušeny různé dezinfekční metody, zkoumala se hlavně účinnost na odstranění mikroorganismů a zabránění jejich působení. Bohužel malá pozornost byla věnována vlivu dezinfekčních metod na podložku ve smyslu jejího možného urychlení degradace. Na základě provedené rešerše lze říci, že ani současné vědecké články zaměřené na konzervaci audiovizuální tvorby se nezabývají možným vlivem dezinfekčních prostředků na kinofilmovou podložku. Proto se tato práce zabývá vlivem čtyř běžných dezinfekčních prostředků na vlastnosti kinofilmové podložky z triacetátu celulózy.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Testovaný materiál a dezinfekční prostředky

Testování vlivu dezinfekčních prostředků bylo provedeno na kinofilmové podložce z triacetátu celulózy (AC) dodané firmou Foma Bohemia s. r. o. Podložka byla dodána v roli o šířce 1 metr a z jedné strany byla opatřena tenkou želatinovou vrstvou, která slouží jako adhezní mezivrstva pro další nanášené vrstvy ve výrobním procesu. Jelikož se jednalo o nový materiál, byla provedena jeho úprava podle normy ISO 18901 pro simulaci stavu přirozeně stárnutého filmu. Úprava spočívala v hermetickém uzavření kinofilmové podložky do hliníkového sáčku a uložení do sušárny při 100 °C po dobu 72 hodin.

Upravené vzorky filmů byly dezinfikovány Etoxenem (značení **AE**), butanolem (značení **ABu**), Bacillolem (značení **ABa**) a roztokem Septonexu (značení **AS**). Pro srovnání byly testovány také nedezinfikované vzorky (značení **AN**).

Dezinfekce Etoxenem (90 % CO_2 + 10 % ethylenoxid) byla provedena v Národním archivu Praha. Vzorky byly proloženy papírem Whatman tak, aby se navzájem jednotlivé vzorky nedotýkaly a dohromady byly všechny uloženy do lepenkové archivní krabice. Všechny takto připravené sady určené k dezinfekci umístěny do dezinfekční komory MATACHANA (typ 1.3100 LGE-2). Dezinfekce probíhala po dobu 6 hodin při teplotě 30 °C a tlaku 220 kPa. Následně byly vzorky pro snížení koncentrace zbytkového ethylenoxidu pod 1 mg/m^3 odvětrány po dobu 6 dní v odvětrávacím tunelu protiproudem vzduchu zahřátým na 30 °C.

Pro dezinfekci butanolem byly použity páry butan-1-olu (Penta s. r. o.). Dezinfekce probíhala v plastovém exikátoru, kde byly vzorky rozmístěny do prostoru tak, aby se navzájem nedotýkaly. Odpařování alkoholu bylo zajištěno otevřenou Petriho miskou s butanolem, jehož množství odpovídalo 100 ml 96% vodného roztoku na 30 dm^3 komory. Samotný proces dezinfekce probíhal po dobu 48 hodin.

Dezinfekce Bacillolem probíhala ponorem vzorků v neředěném dezinfekčním prostředku Bacillol AF (Bode Chemie). Aktivními látkami v Bacillolu jsou alkoholy (propan-1-ol, propan-2-ol a ethanol). Expozice probíhala po dobu 5 minut při laboratorní teplotě. Sušení probíhalo volně na vzduchu.

Dezinfekční prostředek Septonex byl vyroben za použití karbethopendecinia bromidu (Kulich Pharma s. r. o.), který byl rozpuštěný v deionizované vodě v koncentraci 2 % (w/v). Dezinfekce probíhala ponorem vzorků do roztoku na jednu minutu při laboratorní teplotě. Po vyjmutí byl přebytečný roztok odsát přes vrstvu netkané textilie buničinou.

Dezinfikované a nedezinfikované vzorky podložek byly uměle stárnuty v klimatizační komoře Memmert HCP 108 při teplotě 70 °C a relativní vlhkosti 55 % po dobu 28 dní.

Metody testování

Optické vlastnosti

Optické vlastnosti byly hodnoceny vizuálně a pomocí měření změn barevnosti a lesku.

Barevnost byla měřena pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-700d v barevném prostoru CIELAB. Spektrofotometr byl ovládán pomocí programu SpectraMagic NX. Pro každou sadu materiálu bylo vyhodnoceno deset měření z každé strany. Byla vypočítána průměrná hodnota a celková chyba uvedena ve formě chybových úseček.

Lesk byl měřen přístrojem micro-TRI-gloss od společnosti BYK Additives & Instruments na deseti místech z každé strany vzorku. Jelikož podložky vykazují vysoký lesk, byla na měření použita geometrie 20°. Z naměřených dat byla vypočítána průměrná hodnota a výběrová směrodatná odchylka.

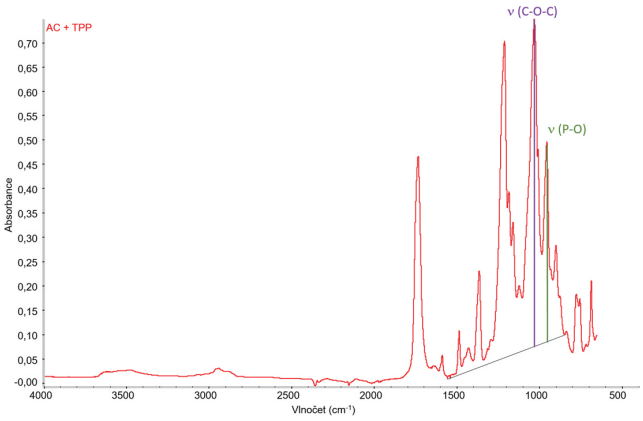
Mechanické vlastnosti

K posouzení mechanických vlastností bylo využito přístroje Instron 3365 a celý proces byl prováděn v souladu s normou ISO 18901. Norma určuje tvar vzorků jako obdélník o rozměrech 16 x 150 mm, které byly podrobeny měření pevnosti v tahu. Bylo provedeno 10 měření pro každou sadu vzorků. Hodnocena byla pevnost v tahu a tažnost vzorků. Pro oba parametry byla vypočítána průměrná hodnota a výběrová směrodatná odchylka uvedena ve formě chybových úseček.

Obsah změkčovadla

Obsah změkčovadla v AC fólii byl určen na základě váhového rozdílu po extrakci methanolem. Extrakce byla provedena podle postupu uvedeného v literatuře [Kemper, 2019]. Obsah změkčovadla, potažmo všech vyluhovatelných složek, byl určen jako rozdíl hmotností vzorků filmů před a po extrakci.

Typ změkčovadla byl určen z odparku extraktu pomocí ATR-FTIR (Nicolet iZ10, MCT detektor, diamantový krystal, 4 cm^{-1}, 64 skenů). Po porovnání s knihovnami spekter bylo spektrum odparku identifikováno jako trifenylfosfát (více než 90% shoda v oblasti „otisku palce“ spektra). ATR-FTIR spektra byla využita pro porovnání obsahu změkčovadla v povrchové vrstvě jednotlivých vzorků. Pro porovnání byl určen poměr intenzity absorbancí pro pásy odpovídající vibracím vazby (P-O) příslušející změkčovadlu a vazby (C-O-C) příslušející acetátu celulózy. Určení intenzit pásů je uvedeno na obr. 1. Průměrné hodnoty byly určeny z deseti měření pro každý vzorek. Následně byla vypočítána výběrová směrodatná odchylka.



Obr. 1 Pásy IR spekter použité pro výpočet poměrného obsahu změkčovadla / Bands in IR spectra used to calculate the relative plasticizer content

Stupeň substituce

Stupeň substituce AC byl určen ze vzorků rozpuštěných v deuterovaném dimethylsulfoxidu pomocí nukleární magnetické rezonance (NMR). Spektra byla naměřena v režimu jader 1H při 363 K na přístroji Bruker 600 Avance III, pulzy 500 MHz, počet skenů 16. Naměřená spektra byla zpracována a integrována v programu Bruker TopSpin 4.1.1. Pro výpočet stupně substituce byla využita rov. 1, přičemž I_{acetyl} značí integrovanou plochu pásů acetylových skupin (rozsah 2,4–1,6 ppm) a I_{AGU} je integrovaná plocha pásů signálu glukopyranózových jednotek (rozsah 5,5–3,2 ppm). Stupeň substituce byl určen jako průměrná hodnota ze dvou měření pro každý vzorek.

$$\text{Stupeň substituce} = \frac{7 * I_{acetyl}}{3 * I_{AGU}} \qquad \text{Rov. 1}$$

Vnitřní viskozita

Vzorky AC byly podrobeny měření vnitřní viskozity, pro zjištění vlivu dezinfekce na průměrný polymerační stupeň. Měření probíhalo podle technické normy ASTM D871-96 (2019). Pro měření byly použity vzorky po extrakci změkčovadel. Zhruba 0,26 gramů vzorku z každé sady bylo rozpuštěno ve 100 ml roztoku, který byl složen z 90 hm. % dichlormethanu a 10 hm. % methanolu. Od každé sady byly takto připraveny dva vzorky, u kterých byla následně měřena vnitřní viskozita (počítaná podle rov. 2) pomocí 0,40 mm Ubellohdeho viskozimetru o konstantě K = 0,003001 při teplotě 25 °C.

$$[\eta] = \left(\frac{k}{c}\right) * \left[\text{antilog}\left(\frac{\log\eta_{rel}}{k}\right) - 1\right] \qquad \textit{Rov. 2}$$

Kde $[\eta]$ je zjišťovaná vnitřní viskozita, k je konstanta rozpouštědla (konkrétně $k = 3$), c je koncentrace polymeru v g/dl, η_{rel} je relativní viskozita počítána jako podíl průměrného času průtoku rozpouštědla ku průměrnému času průtoku roztoku polymeru.
Průměrná hodnota vnitřní viskozity byla určena ze dvou vzorků pro každý typ fólie, přičemž každý vzorek byl měřen dvakrát.

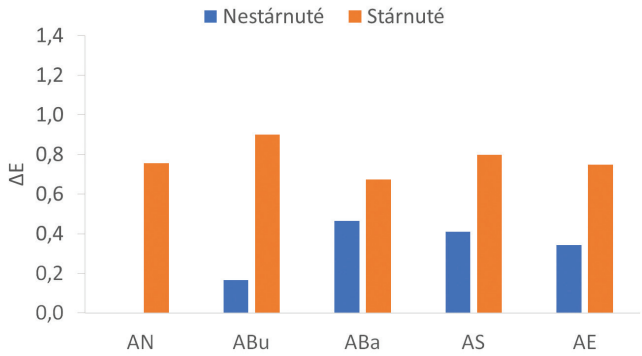
VÝSLEDKY A DISKUZE

Optické vlastnosti

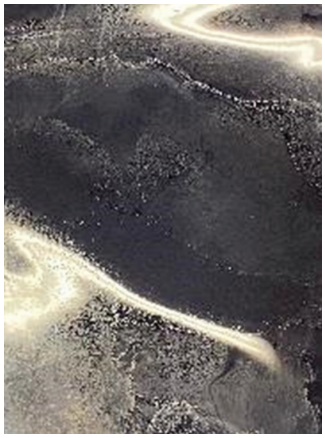
Výsledky celkové barevné diference pro testované vzorky po dezinfekci a umělém stárnutí jsou uvedeny na obr. 2. Po umělém stárnutí došlo u jednotlivých vzorků k přibližně stejné změně barevnosti. Rozdíly v průměrných hodnotách dezinfikovaných vzorků jsou minimální (v rozmezí ±0,2 jednotky ΔE) v porovnání s nedezinfikovaným vzorkem AN. Výraznější změny barevnosti byly zaznamenány po dezinfekci vzorků ABa, AS a AE. Změna barevnosti u vzorků dezinfikovaných Bacillolem a Septonexem pravděpodobně souvisí se vznikem povrchových map po zaschnutí dezinfekčního prostředku (obr. 3 a 4).
Změna lesku u stárnutých vzorků je ukázána na obr. 5, kde je patrný výrazný pokles lesku pro vzorky dezinfikované Bacillolem a Septonexem, což pravděpodobně souvisí s ovlivněním optických vlastností povrchu vytvořenými mapami po zaschnutí dezinfekce. Výrazný pokles lesku byl zaznamenán také u vzorku dezinfikovaného Etoxenem, což může ukazovat na ovlivnění rovinnosti povrchu nebo jeho zmatnění v důsledku působení Etoxenu.

Mechanické vlastnosti

Hodnoty pevnosti v tahu pro vzorky po dezinfekci a stárnutí jsou uvedeny na obr. 6. Po aplikaci dezinfekce nedochází k významným změnám v pevnosti vzorků. Nejnižší hodnota pevnosti byla naměřena po dezinfekci Bacilollem. Hodnoty pevnosti u dezinfikovaných vzorků po stárnutí se příliš neliší od stárnutého nedezinfikovaného vzorku. V případě stárnutých vzorků byla nejnižší průměrná hodnota pevnosti naměřena u vzorků dezinfikovaných Etoxenem.
Větší rozdíly u vzorků AC byly pozorovány v případě hodnot tažnosti. Tažnost souvisí jak s průměrným polymeračním stupněm, tak i s obsahem změkčovadla. Z obr. 7 vyplývá, že při porovnání průměrných hodnot měření, došlo k poklesu tažnosti pro vzorky dezinfikované Bacillolem a Etoxenem. Po stárnutí došlo k mírnému snížení tažnosti. Výjimkami byly vzorky dezinfikované Bacillolem a Etoxenem, u kterých tažnost mírně vzrostla. Vzorky dezinfikované Bacillolem vykazují nejvyšší hodnoty směrodatné odchylky, což značí vyšší míru nehomogenity vzorků.



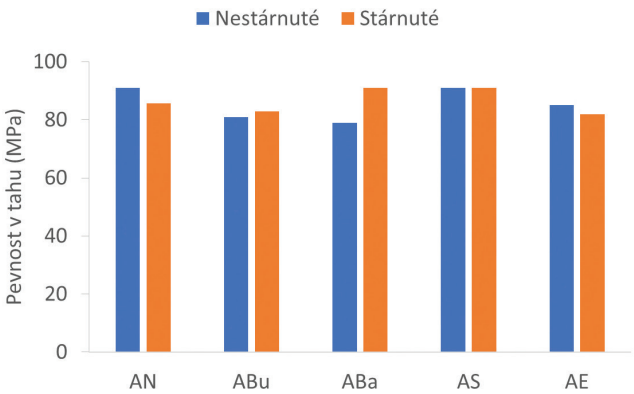
Obr. 2 *Celková barevná diference vzorků po dezinfekci a umělém stárnutí / Total colour difference of samples after disinfection and artificial ageing*



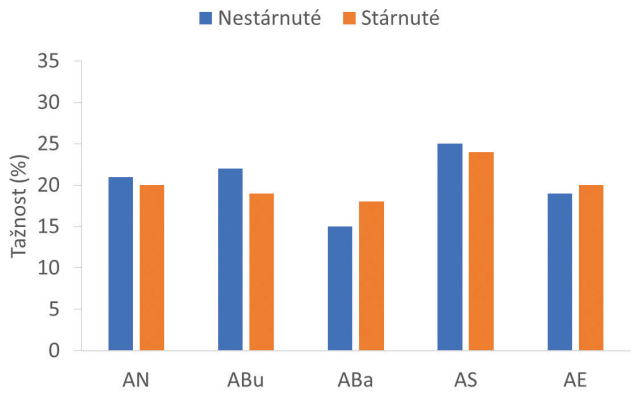
Obr. 3 *Mapy na povrchu po aplikaci Bacillolu / Spots on the surface after application of Bacillol*

Obr. 4 *Mapy na povrchu po aplikaci Septonexu / Spots on the surface after application of Septonex*

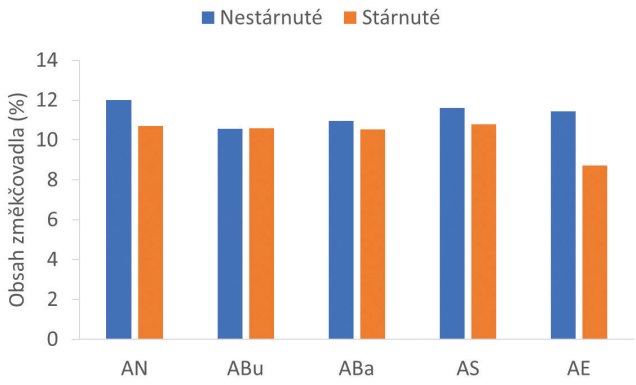
Obr. 5 *Změna lesku vzorků po umělém stárnutí / Change in gloss of samples after artificial ageing*



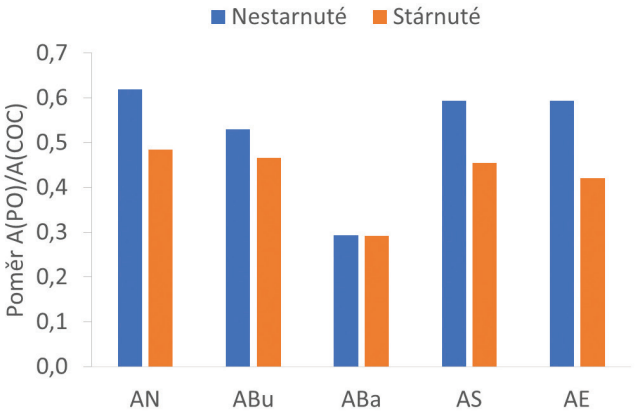
Obr. 6 *Pevnost v tahu nestárnutých a stárnutých vzorků po dezinfekci Tensile strength in unaged and aged samples after disinfection*



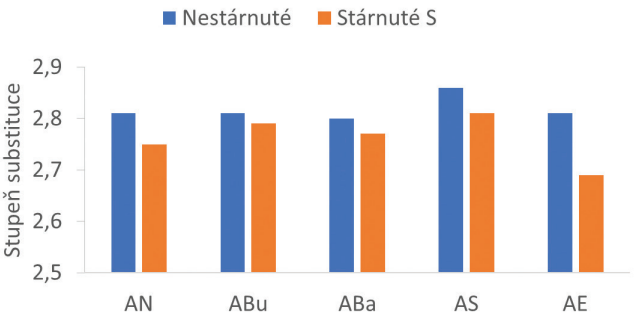
Obr. 7 *Tažnost nestárnutých a stárnutých vzorků po dezinfekci Ductility in unaged and aged samples after disinfection*



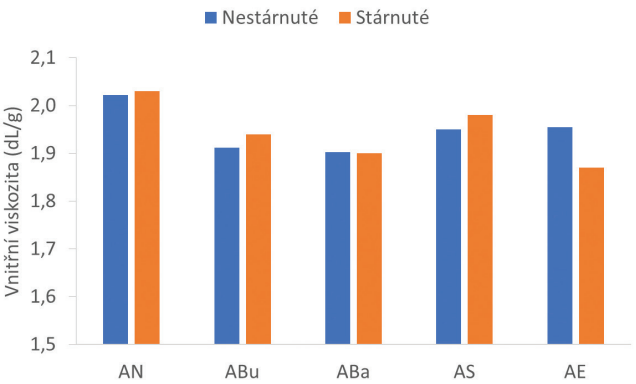
Obr. 8 *Obsah změkčovadla zjištěný extrakcí u nestárnutých a stárnutých vzorků / The plasticizer content determined by extraction in unaged and aged samples*



Obr. 9 *Poměry výšek vybraných pásů pro určení obsahu změkčovadla ve vzorcích / Height ratios of selected bands for determining the conten of plasticizer in the samples*



Obr. 10 *Stupeň substituce vzorků zjištěný pomocí metody NMR Degree of substitution of samples determined by NMR*



Obr. 11 *Vnitřní viskozita roztoků nestárnutých a stárnutých vzorků po dezinfekci / Intristic viscosity of solutions in unaged and aged samples after disinfection*

Obsah změkčovadla

Výsledky obsahu změkčovadel zjištěné pomocí extrakce (obr. 8) ukazují mírný pokles extrahovatelných složek po aplikaci dezinfekčních prostředků. Nejvyšší pokles vykazovaly vzorky po působení par butanolu a aplikaci Bacillolu. Jedná se o prostředky na bázi alkoholů, které mají schopnost extrahovat přítomné změkčovadlo (trifenylfosfát). Pokles obsahu změkčovadla by se měl podle teorie projevit ve změně tažnosti. Výrazné snížení tažnosti bylo ovšem pozorováno pouze u vzorku dezinfikovaného Bacillolem (viz obr. 7). U dezinfekce parami butanolu se tažnost příliš nezměnila. Možným vysvětlením může být nedostatečné odvětrání po dezinfekci, kdy butanol může působit jako změkčovadlo. Po umělém stárnutí byl obsah extrahovatelných složek u dezinfikovaných vzorků porovnatelný s nedezinfikovanou fólií. Výjimku tvořil vzorek dezinfikovaný Etoxenem. Tento výsledek může ukazovat na ovlivnění povrchu nebo vnitřní struktury acetátu celulózy, čímž může docházet k snadnější migraci změkčovadla z fólie k povrchu. Snížení obsahu změkčovadla u Etoxenu nevedlo ke snížení tažnosti (viz obr. 7). Ztracené změkčovadlo, může být do určité míry nahrazeno vodou ze vzdušné vlhkosti. Tažnost také souvisí s hodnotou průměrného polymeračního stupně.

Výsledky poměru pásů zpracovaných ATR-FTIR spekter dezinfikovaných a stárnutých vzorků jsou uvedeny na obr. 9. Výsledky ukazují obsah trifenylfosfátu pouze v tenké povrchové vrstvě (zhruba 2 µm) a nelze je porovnávat s výsledky získanými extrakcí (viz obr. 8). Pokles obsahu změkčovadla na povrchu byl zaznamenán u filmu dezinfikovaného butanolem a Bacillolem, přičemž u vzorků ABa byl nejvýraznější. Výrazné ovlivnění obsahu změkčovadla v povrchových vrstvách může souviset s vysokou směrodatnou odchylkou výsledků tažnosti (viz obr. 7), kdy nemuselo dojít k rovnoměrnému hloubkovému vyluhování změkčovadla v celé délce vzorku. Mimo filmů dezinfikovaných Bacillolem došlo u všech testovaných vzorků k poklesu povrchového obsahu změkčovadla po stárnutí. Hodnoty u vzorků dezinfikovaných butanolem a Septonexem jsou porovnatelné s nedezinfikovanými vzorky. O něco nižší hodnoty vykazovaly vzorky dezinfikované Etoxenem.

Stupeň substituce

Z výsledků stupně substituce získaných pomocí NMR (obr. 10) není patrný vliv na snížení stupně substituce po dezinfekci vzorků před stárnutím. Po umělém stárnutí došlo k mírnému poklesu stupně substituce u všech vzorků. V porovnání se srovnávacím nedezinfikovaným vzorkem je patrný výraznější pokles v hodnotě stupně substituce u vzorku dezinfikovaném Etoxenem. Toto zhoršení ukazuje na možný vliv ethylenoxidu na odštěpování acetátových skupin. Nicméně mechanismus takového působení ethylenoxidu na acetát celulózy není jasný.

Vnitřní viskozita

Vnitřní viskozita, která byla měřena u roztoků vzorků AC, je znázorněna na obr. 11. Rozdíly ve výsledcích jsou poměrně malé, nicméně v porovnání s nedezinfikovaným vzorkem došlo ke snížení hodnoty vnitřní viskozity po dezinfekci všemi testovanými prostředky. Nejvýraznější snížení vnitřní viskozity bylo pozorováno po dezinfekci butanolem a Bacillolem. Tedy u prostředků, které nejvýrazněji snížily povrchový obsah změkčovadla po aplikaci (viz obr. 9). Hodnota vnitřní viskozity souvisí s hodnotou průměrného polymeračního stupně polymeru a její pokles u vzorků po dezinfekci ukazuje pravděpodobně na štěpení hlavního řetězce u glykosidové vazby. Z výsledků se zdá, že rychlost tohoto procesu souvisí s obsahem změkčovadla v povrchových vrstvách. Tuto hypotézu je ovšem nutné ověřit dalším výzkumem.

Po stárnutí došlo u vzorků AN, ABu a AS ke zdánlivému zvýšení vnitřní viskozity. Tento jev může být způsoben mírně odlišnou koncentrací složek rozpouštědla u stárnutých vzorků než v případě nestárnutých. Směs rozpouštědel byla připravována zvlášť pro vzorky nedezinfikované a dezinfikované. Znamená to, že v případě stárnutých vzorků AN, ABu a AS se vnitřní viskozita změnila poměrově stejně vzhledem k výchozím hodnotám. U vzorku ABa lze usuzovat na mírně vyšší pokles průměrného polymeračního stupně po stárnutí. U vzorku dezinfikovaného Etoxenem byl pozorován nejvýraznější pokles vnitřní viskozity po stárnutí. Nejnižší hodnota vnitřní viskozity vzorku AE koreluje s nejnižší

pevností v tahu (viz obr. 6) a vzrůst tažnosti po stárnutí (viz obr. 7). Z výsledků lze usoudit, že dezinfekce Etoxenem urychluje snížení průměrného polymeračního stupně v průběhu stárnutí. Mechanismus takového působení bude předmětem dalšího výzkumu.

ZÁVĚR

Vzorky dezinfikované **parami butanolu** byly ve zkoumaných parametrech po umělém stárnutí srovnatelné s nedezinfikovanými srovnávacími vzorky. Dezinfekce parami butanolu se zdá být šetrnou metodou vzhledem k vlivu na kinofilmovou podložku z acetátu celulózy.
Aplikací dezinfekčního prostředku **Bacillol AF** způsobem doporučeným výrobcem vznikají na povrchu filmových podložek mapy, které mohou působit obrazové změny při prosvícení filmového políčka. U vzorků z acetátu celulózy se ukázalo, že Bacillol AF je schopný extrahovat změkčovadla už po krátké době aplikace (5 min).
Předepsanou aplikací **roztoku Septonexu** vznikají na povrchu filmů nevzhledné mapy způsobené zaschlou účinnou látkou. Odstranění map by vyžadovalo oplach demineralizovanou vodou a osušení. Z dlouhodobého hlediska je přítomnost kvartérní amoniové soli na povrchu kinofilmů nežádoucí, jelikož její dlouhodobý vliv na vlastnosti podložky není prozkoumán.
Dezinfekce **Etoxenem** představuje spolehlivou a snadnou formu hromadné dezinfekce. Bezprostředně po dezinfekci nebyl pozorován žádný výrazný vliv na vlastnosti kinofilmových podložek. Nicméně po umělém stárnutí byl zaznamenán pokles obsahu změkčovadla a vnitřní viskozity u vzorků acetátu celulózy. Výsledky naznačují, že kontakt ethylenoxidu s acetátem celulózy může urychlovat degradační procesy. Roli může hrát i doba kontaktu ethylenoxidu s fólií a možnost přítomnosti zbytkového ethylenoxidu v materiálu po delší dobu. Abychom zjistili, jak účinkuje mechanismus působení ethylenoxidu na acetát celulózy, provedeme další výzkum.
Obecně lze říci, že dezinfekce acetátu celulózy ponorem je problematická, jelikož může docházet k extrakci změkčovadel a tvorbě nevzhledných map.

Práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury České republiky v rámci Programu aplikovaného výzkumu a vývoje NAKI II – Biodiverzita černobílých fotografických a kinematografických materiálů v archivních fondech a metody jejich dezinfekce (projekt č. DG18P02OVV062).

LITERATURA

- BRUSCI, C. – MARTÍN-GONZÁLES, A. – DEL AMO, A. – et. al. Isolation and identification of bacteria and fungi from cinematographic films. International Biodeterioration & Biodegradation, 2005, vol. 56, s. 58–68.
- BACÍLKOVÁ, B. Studium účinků par butanolu a jiných alkoholů na plísně [online]. Národní archiv, 2015 [cit. 28. 1. 2022]. Dostupný z www:https://old2.nacr.cz/wp-content/uploads/2015/11/butanol.pdf
- BUCHANAN, C. H. – GARDNER, R. M. – KOMAREK, R. J. Aerobic biodegradation of cellulose acetate. Journal of Applied Polymer Science, 1993, vol. 74, s. 1709–1719.
- DRÁBKOVÁ, K. – KREJČÍ, J. – ŠKRDLANTOVÁ, M. – ĎUROVIČ, M. – BACÍLKOVÁ, B. Influence of disinfectants on natural textile fibres. Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material, 2021, vol. 42, no. 2, s. 67–86.
- KEMPER, B. – LICHTBLAU, D. A. Extraction of plasticizers: An entire and reproducible quantification method for historical cellulose acetate material. Polymer Testing, 2019, vol. 80, s. 106096.
- KOPPE, E. Schimmel: Gefahr für mensch und kulturgut durch mikroorganismen. 1. vyd. 2004. ISBN 9783806219258. s. 198–202.
- NUNES, S. – RAMACCIOTTI, F. – NEVES, A. – et al. A diagnostic tool for assessing the conservation condition of cellulose nitrate and acetate in heritage collections: quantifying the degree of substitution by infrared spectroscopy. Heritage Science, 2020, vol. 8, no. 33.
- READ, P. – MAYER, M. Restoration of motion picture film. 1. vyd. 2000. ISBN 9780750627931. s. 19–20.
- SADURSKA, I. – KOWALIK, R. Microbiodeterioration of Microfilm. Bulletin (International Council of Archives. Microfilm Committee), 1973, vol. 2, s. 39–40.
- SAKAI, K. – YAMAUCHI, T. – NASAKU, F. – OHE, T. Biodegradation of cellulose acetate by Neisseria sicca. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1996, vol. 60, s. 1617–1622.
- STICKLEY, F. L. The biodegradation of gelatin and its problems in the photographic industry. The Journal of Photographic Science, 1986, vol. 34, s. 111–112.