FORUM / 2023 / ROČ. XIII / Č. 1

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2023 / Vol. XIII / 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, 2023
ISSN (Online) 2571-4384

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

KLÍČOVÉ ASPEKTY PŘESUNŮ FILMOVÝCH MATERIÁLŮ MEZI CHLADNÝM ARCHIVNÍM DEPOZITÁŘEM A ODBORNÝMI PRACOVIŠTI

Pavel Jelen

Národní filmový archiv

Mgr. Pavel Jelen vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy a pracoval ve filmových laboratořích Barrandov Studio a. s. Nyní se jako technolog zabývá v Národním filmovém archivu monitoringem degradací a ochranou filmových materiálů. (pavel.jelen@nfa.cz)

Filmové materiály, především ty, jejichž podkladová nosná vrstva je složená z acetátů celulózy, a barevné chromogenní materiály je potřeba dlouhodobě skladovat v co možná nejnižších ekonomicky a technicky dosažitelných teplotách, aby se co nejvíce zpomalil jejich rozklad a prodloužila doba, po kterou bude možné je díky dobrému mechanickému a vizuálnímu stavu bez větších problémů promítat, digitalizovat a fotochemicky duplikovat. Jestliže ale archivní instituce po desetiletích příprav zrealizuje projekt specializovaného dlouhodobého úložiště filmových materiálů, které splňuje ideální podmínky doporučené oborovými normami, vyvstanou nová technická a logistická úskalí, zejména při přesunech materiálů mezi depozitářem s teplotou kolem bodu mrazu a regulovanou nízkou relativní vlhkostí a odbornými pracovišti, která bývají temperována na běžnou pokojovou teplotu a vlhkost. Aby byly archivní filmové materiály velkou změnou teploty a vlhkosti co nejméně namáhané, je potřeba zajistit, aby aklimatizační procesy probíhaly určitou rychlostí. Ta by měla být sice dostatečně pomalá, aby se předešlo riziku poškození, ale zároveň provozně zvládnutelná. V literatuře byly takové postupy popsány a v archivech, které disponují nízkoteplotními depozitáři, byly tyto postupy i odzkoušeny. Přesto bylo rozhodnuto jednoduchými pokusy vybrané dílčí aspekty otestovat, aby se postupy zpřesnily pro naše podmínky a optimalizovaly potřebám rozsáhlých sbírek Národního filmového archivu. Zkoumána byla rychlost vyrovnávání vlhkosti v různých typech a formátech filmových materiálů a také se zjišťovalo, za jakých podmínek hrozí nežádoucí kondenzace vzdušné vlhkosti uvnitř krabic s filmovými materiály, v jakém rozsahu vzniká a zaniká a jak je nebezpečná. Výsledky posloužily jako základ metodiky pro bezpečný pohyb mezi nízkoteplotními depozitáři a odbornými pracovišti.
Klíčová slova: filmové materiály, nízkoteplotní skladování, aklimatizace, vyrovnání vlhkosti, kondenzace

KEY ASPECTS OF MOVING FILM MATERIALS BETWEEN COLD STORAGES AND SPECIALIZED DEPARTMENTS Motion picture film materials, especially those whose underlying carrier layer is composed of cellulose acetates and coloured chromogenic materials, need to be stored for long periods of time at the lowest possible temperatures that are economically and technically feasible in order to slow down their decomposition as much as possible and to prolong the time during which they can be projected, digitised and photochemically duplicated without major problems, based on their good mechanical and visual condition. However, if an archival institution, after decades of preparation, implements a project for long-term storage of film materials that meets the ideal conditions recommended by industry standards, new technical and logistical difficulties will arise, especially when reels have to be moved between depots with temperature around the freezing point and regulated low relative humidity and specialized departments with usual room temperature and humidity. In order to ensure that archival film materials are stressed as little as possible by significant changes in temperature and humidity, it is necessary to ensure that acclimatization processes take place at a certain speed. It should be slow enough to avoid damage, but at the same time operationally manageable. Such procedures have been described in professional literature, and they have also been tested in archives that have low-temperature depots. Nevertheless, it was decided to test selected aspects with simple experiments in order to refine and optimize the procedures for the needs of the extensive collections of the National Film Archive. The speed of moisture equalization in different types and formats of film materials was investigated, as well as the conditions under which there is a risk of unwanted condensation of air moisture inside the boxes with film reels, to what extent it arises and disappears, and how dangerous it is. The results served as the basis of a methodology for safe transfer between low-temperature depots and specialized departments.
Keywords: motion picture film materials, cold storage, acclimatization, humidification, humidity condensation

Již při vzniku jednoho z prvních filmových archivů v roce 1935, britské National Film Library, byly definovány teoretické zásady ochrany a uchování filmových materiálů [Report of Special Committee, 1934]. Doporučené podmínky pro ukládání tehdy byly ne méně než 0,5 °C a ne více jak 4,4 °C s výkyvy teplot do 5 °C a relativní vlhkostí udržovanou kolem 50 %. Trvalo ale dalších dvacet let, než se podařilo realizovat budovu speciálně navrženou k ukládání filmů, která tyto podmínky splňovala [Francis, 2006].

Snahy uchovávat filmové materiály v lepších podmínkách, než poskytovaly běžné nadzemní neklimatizované sklady, spíše souvisí se sérií velkých požárů filmových depozitářů na vysoce hořlavém celuloidovém podkladu [Heckman, 2010]. Za jejich příčinu bylo označeno spontánní samovznícení. Praktické pokusy potvrdily, že k samovolnému vznícení dochází za určitých podmínek již při teplotách 41–48 °C [Cummings, 1950]. Proto byla snaha přesunout po vzoru vojenských filmových archivů větší depozitáře pod zem, často do vojenských bunkrů, pevností a hradů a teploty udržovat co nejnižší.

Od padesátých let se také celosvětově začalo masivně překopírovávat z celuloidových materiálů na tzv. bezpečné s podkladem z triacetátů celulózy. Ale i triacetátové filmy, jak se zjistilo později [Allen, 1988], podléhají degradaci, což iniciovalo vytvoření mezinárodních norem [ISO 5466, ISO 18911 a následné, viz poznámka v literatuře], které stanovily doporučení dlouhodobého ukládání triacetátových filmových materiálů. Podobně nestabilní se ukázaly barevné filmové materiály vyrobené tzv. chromogenním vyvoláváním. I jejich vhodné uložení definovaly stejné normy. I když se původně pro barevné filmové materiály doporučovaly teploty do maximálně 10 °C, od roku 1996 normy upravovaly teplotu ukládání těchto materiálů na maximálně 2 °C a současné znění doporučuje teplotu −3 °C.

Podobným vývojem náhledu na uložení archivních filmových materiálů prošel i Filmový archiv, založený v roce 1943, po válce začleněný do Československého filmového ústavu a postupně přejmenovávaný na Filmotéku, Státní filmový archiv, Československou filmotéku až do dnešního názvu – Národní filmový archiv [Trnka, 2018]. V původně roztroušených skladových prostorech v Malešické ulici v Praze, v Hradištku – Brunšově, v bývalé cihelně ve Všetatech a na hradě Kost se teplota a vlhkost začaly monitorovat až v polovině šedesátých let, a protože vhodnými, zejména z hlediska vlhkosti, byly shledány jen první dva depozitáře, zahájil se v podmínkách plánovaného socialistického hospodářství zdlouhavý proces rozšiřování a adaptace prostor na Hradištku a Třebsíně a následně od konce let sedmdesátých jejich vybavení klimatizací, vzduchotechnikou a odvlhčovacím zařízením. Vzorem býval velmi pokrokový Staatliches Filmarchiv der DDR pod vedením Wolfganga Klaue. Na jejich doporučení byly zakoupeny měřáky teploty a relativní vlhkosti na psychrometrickém principu s grafickým výstupem (plotr) západoněmecké výroby (Ultrakust). Již od počátku sedmdesátých let byla plánována úplně nová vícepodlažní budova specializovaných depozitářů, tehdy byla ale nadřízeným vedením zamítnutá, povolena byla jen úprava stávajících prostor včetně zateplení provedeného v osmdesátých letech. K výstavbě nové budovy depozitáře na Hradištku došlo až v letech 2012–2014, kde už se počítalo (opět dle vzoru berlínského filmového archivu) s uložením všech rozmnožovacích filmových materiálů (originálních negativů, dupnegativů, duppozitivů, přibližně 249 000 krabic), zabezpečovacích kopií a všech barevných filmových kopií (přibližně 110 000 krabic) na teplotu –3 °C a relativní vlhkost 30 %. Současný strmý nárůst cen energií vede k přehodnocení a posunutí nastavení teploty na horní konec předešlého znění normy ISO 18911 (2 °C).

Ukládání filmových materiálů v teplotách pod bodem mrazu kromě Staatliches Filmarchiv der DDR (dnes součást Bundesarchiv-Filmarchivu) praktikují v různém rozsahu i další filmové archivy, například Tate Modern (Velká Británie), Nasjonalbiblioteket (Norsko), Cinémathèque suisse, Eye Filminstitute Netherlands, British Film Institute, National Archives (USA), The National Archives of Canada nebo Swedish Film Institute. Pořizovací náklady na tyto technologie (budova musí být dobře izolovaná, dveře a systém odvlhčování musí mít speciální provedení), a zejména provozní náklady jsou vysoké, proto si je mohou dovolit ve větším měřítku jen málokteré instituce, někde (například Cinémathèque suisse) je provozní nesnáze a ekonomické faktory přinutily k určitým kompromisům (například vyřazení provozně problematického a drahého zařízení na odvlhčování). Riziko kondenzace vzdušné vlhkosti na chladných površích při přechodu z teploty pod bodem mrazu do běžné pokojové teploty a naopak řeší archivy též podle svých možností. Pro film je nejšetrnější použití přechodových aklimatizačních komor, které zpomalí proces tepelného vyrovnání, na druhou stranu je to opět řešení drahé a provozně a logisticky složité. Staatliche Filmarchiv der DDR měl už od roku 1974 v provozu aklimatizační skříně, které umožňovaly vhodnou regulací teploty bez rizika kondenzace provést proces přechodu z –5 °C do 25 °C nebo naopak za 8 hodin [Volkmann, 1986]. Na druhou stranu i materiály Permanence Institute připouští možnost pouhého přenesení filmových materiálů přímo do pokojové teploty a ponechání zde několik hodin před další manipulací, podmínkou je jejich uzavření do obalu, který nepropustí vlhkost [Rochester Institute of Technology, 2022]. Mnohé archivy zneklidněné příspěvkem Tima Padfielda [Padfield, 2002] ohledně možností tvorby kondenzace či námrazy uvnitř krabic používají krabice s bočními otvory. Nicméně tyto otvory eliminují možnost kondenzace jen při mrazení, při rozmrazování naopak musí být uzavřeny pootočením víka, jinak hrozí kondenzace vlhkosti na povrchu filmu. Některé archivy (Eye Filminstitute) jako určitý kompromis používají polystyrenem tepelně izolované bedny, v kterých je teplotní vyrovnání též zpomaleno. Specifickou a velmi drahou variantou je systém FICA vyvinutý ve Švédsku pro Swedish Film Institute, kdy jsou filmy zmrazovány bez krabic, speciálním strojem mírně vysušené a zavakuované do speciálních pytlů z vrstev hliníku a plastu [Wilhelm, 1993]. Několik let tento způsob aplikovali i v Library of Congress, ale pak byli nuceni jej z finančních důvodů zrušit. Výhodou sice bylo, že vlhkost nemusela být v depozitářích regulována, ale náklady na stroj a pytle převyšovaly náklady na systém regulující vlhkost v depozitáři. Proces pohybu mezi chladným depozitářem a odbornými pracovišti (úpravny filmů, čističky, prohlížecí stoly, projekce, skenery a přepisová zařízení), která pracují s filmy v běžné kancelářské teplotě kolem 20 °C, je potřeba předem dobře promyslet a odzkoušet, aby nedocházelo k poškozením vlivem skokových změn teplot a zkondenzované vzdušné vlhkosti.

Schopností acetátů celulózy pohlcovat nebo uvolňovat vodu v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu se zabývalo několik prací, ale jejich výsledky se úplně neshodovaly. Například Ducháček udává rozmezí absorpce 2–7 % [Ducháček, 2006], Seread uvádí v grafu pro 30 % relativní vlhkosti obsah vody 1,5 % a při 50% relativní vlhkosti 3 % [Seread, 2009], Manaf, Tsuji, Nobukawa sice pro teplotu 25 °C při 30% relativní vlhkosti uvádí také 1,5 %, ale pro 50 % relativní vlhkosti jen obsah vody 1,8 % [Manaf, 2011]. Pro naše účely jsou nejrelevantnějším zdrojem výzkumy Adelsteina, Bigourdana a Reillyho [Bigourdan, 1997], [Adelstein, 1997], kteří shromáždili data nejen pro triacetát, ale i pro polyester (PET) a filmovou želatinu, ale nebyly zkoušeny všechny druhy a formáty materiálů a jejich podmínky neodpovídaly našim přinejmenším velikostí krabic a filmových rolí. Rozhodli jsme se jednoduchým pokusem tato předešlá zkoumání doplnit a zpřesnit.

Pokud v průběhu zmrazování filmových materiálů za účelem jejich uložení při teplotách pod bodem mrazu nebo v průběhu jejich rozmrazování dojde k tomu, že teplota nějakého povrchu je nižší než tzv. rosný bod, dojde na tomto povrchu ke kondenzaci vody v podobě zamlžení nebo i k tvorbě větších kapek. Hodnota teploty rosného bodu je vlastně jiným vyjádřením absolutní vlhkosti vzduchu nebo nasycenosti vodních par ve vzduchu při určité teplotě. Následkem zkondenzované vlhkosti na filmovém materiálu může být slepení vrstev filmu kvůli vlhké a lepivé želatinové vrstvě a následné poškození materiálu vytrháním kusů emulze při pokusu takto slepený film rozvinout. Proto je nutné podmínky procesů upravit tak, aby ke kondenzaci na filmu nebo na vnitřní straně víka krabice nedošlo. Zejména je důležité pozvolné mražení i rozmrazování takovou rychlostí, aby rozdíl teplot mezi bezprostředním okolím filmu (vzduch v krabici, víko) a filmovým materiálem v daném čase byl v bezpečně malém rozmezí. S kondenzací uvnitř krabic během zmrazování experimentoval Tim Padfield [Padfield, 2002] a i celou problematiku náležitě teoreticky rozebral. Podle něj ke kondenzaci dochází uvnitř krabice vždy, když rozdíl teploty krabice a vzduchu uvnitř přesáhne určitou hranici, která závisí především na relativní vlhkosti a teplotě ukládání filmu před zmrazením. Například pokud je film uložen předtím několik měsíců při 20 °C a 50% relativní vzdušné vlhkosti, pak je ten kritický rozdíl teplot 11 °C, s klesající teplotou uložení se poněkud snižuje (na 10 °C u uložení v 5 °C), ovšem rapidně klesá s vyšší relativní vlhkostí uložení – u 80% už je rozdíl teplot tak malý (cca 3 °C), že i při velmi pomalém mrazení je teoretická pravděpodobnost kondenzace vysoká. Padfield ale v závěru konstatuje, že zkondenzovaná vlhkost se v řádu hodin zase zpětně vstřebá filmem a zmizí, takže vlastně jen hrozí, kdyby se kapky dostaly mezi závity filmu a tam mohly teoreticky zmrznout a způsobit poškození, nicméně přiznává, že praktické důkazy nebo zprávy o tom nemá.

K testování, nastavování mrazicího a rozmrazovacího procesu i rutinnímu provozu je žádoucí nalézt levný a procesně jednoduchý způsob, jak zjistit, jestli ke kondenzaci v některém bodě procesu nedošlo. Poměrně přesné by mohlo být použití přenosných miniaturizovaných dataloggerů teploty a vlhkosti, které často mívají i grafický výstup změny hodnot teploty rosného bodu v čase, kondenzace by tedy měla být jasně detekována překřížením nebo dotykem spojnic bodů teploty a teploty rosného bodu, nutné by ovšem bylo měřit nikoliv jen teplotu vzduchu v krabici, ale i přímo povrch filmového materiálu, což je problematické. Záznamník jsme při testech použili (EasyLog USB-2-LCD+), ale i jeho cena a rozměry (délka 127 mm, průměr 23 mm) omezují jeho užití spíše na experimentální a testovací účely. Jsou ještě menší dataloggery, ale ty jsou jednorázové a pro rutinní aplikace drahé. Na principu senzoru mřížkového typu s proměnným odporem navrhli detektor Montross, Duncan a Gates [Montross, 2006]. Na trhu existují dva typy rutinní detekce vlhkosti ve formě samolepek se změnou barvy: Jeden typ používá barevnou změnu chloridu kobaltnatého

z růžové na sytě modrofialovou, ale existují na podobném principu i bezkobaltové a bezhalogenidové samolepky s přechodem bledě žlutá – sytě žlutá. Obě provedení ale reagují na vzdušnou vlhkost a barevná změna nastává už mezi 20 % a 60 % relativní vlhkosti, tedy i když k žádné kondenzaci nedošlo, navíc použití a likvidace kobaltu by byla z hlediska bezpečnosti filmového materiálu a enviromentálních důvodů problematická. Druhý typ využívá princip, při kterém je na rubové straně samolepky natištěna barva a ta se při styku s vodou propije do vrchní bílé vrstvy papíru. I když tento typ vypadal nadějně, komerční provedení firmy Hologram4U, s. r. o., má jako poslední vrchní vrstvu průhledný plast (zřejmě aby se vrstvy pásky neslepily lepidlem při navinutí na středovku) a ten nedovolí zkondenzované vodě prosáknout dovnitř nálepky. Tento typ tedy dle našich praktických testů reaguje jen na větší množství vody (déšť, sníh, potopení), která pronikne do nálepky z boku (z řezu). Drobné zkondenzované kapičky se sice na samolepce objeví, ale zase po chvíli oschnou a barevná změna neproběhne.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Vyrovnávání vlhkosti filmových materiálů

V první sérii pokusů jsme se zaměřili na vyrovnávání vlhkosti filmových materiálů vůči změně vzdušné vlhkosti.

Filmové materiály použité k testování:

- barevná pozitivní kopie šířky 35 mm na polyesterovém (PET) podkladu, výrobce ORWO, délka 519 a 582 metrů,
- černobílá pozitivní kopie šířky 35 mm na triacetátovém podkladu, výrobce ORWO, délka 592 metrů,
- černobílá pozitivní kopie šířky 35 mm na polyesterovém (PET) podkladu, výrobce KODAK, délka 610 metrů,
- barevná pozitivní kopie šířky 16 mm na triacetátovém podkladu, výrobce KODAK, délka 353 metrů,
- černobílá pozitivní kopie šířky 16 mm na triacetátovém podkladu, výrobce KODAK, délka 129 metrů,
- černobílá pozitivní kopie šířky 16 mm formátu s nanesenou magnetickou zvukovou stopou na triacetátovém podkladu, navinutá na distribuční středovce s bočnicemi, výrobce ORWO, délka 235 metrů,
- barevný originální negativ obrazu šířky 35 mm na triacetátovém podkladu, výrobce FUJI, délka 513 metrů,
- černobílý originální negativ obrazu šířky 35 mm na triacetátovém podkladu, výrobce ORWO, délka 519 metrů,
- barevný rozmnožovací (intermediátní) materiál šířky 35 mm na triacetátovém podkladu, výrobce KODAK, délka 578 metrů,
- černobílý duplikační materiál šířky 35 mm na polyesterovém podkladu, výrobce KODAK, typ určený pro výrobu duplikačních kopií (pozitivů), délka 120 metrů,
- černobílý duplikační materiál šířky 35 mm na polyesterovém podkladu, výrobce KODAK, typ určený pro výrobu duplikátních negativů, délka 72 metrů,
- zvukový pás šířky 35 mm s celoplošně nanesenou magnetickou vrstvou na polyesterovém podkladu, výrobce AGFA, délka 311 metrů,
- černobílý negativ zvuku šířky 35 mm na triacetátovém podkladu, výrobce AGFA, délka 295 metrů.

Tyto vybrané druhy filmových materiálů s odlišným formátem (šířkou), typem podkladu i emulze byly přesně změřeny na filmových měřičkách (typ FP MC-35 a MC-16). Poté byly aklimatizovány tři měsíce v uzavřených plastových krabicích nebo týden v otevřených plastových krabicích v podmínkách 25 °C, 38% relativní vlhkosti, několikrát při tom obráceny. Pak byly přesně zváženy (bez krabic, se středovkou) na vahách Kern EMS 6K0.1. Do prodyšných uzavíratelných plátěných pytlíků byl odvážen nově zakoupený silikagel zrnění 2–5 mm s barevným indikátorem nasycení. Sto gramů běžného silikagelu je schopno navázat při teplotě 25°C a 40% relativní vlhkosti 23 g vody. Do pytlíků ale byl odvážen mírný nadbytek teoretického množství. Pytlíky se po zvážení a uzavření vtlačily do volného místa v plastové krabici vedle filmu a krabice se ihned zavřela a víko se utěsnilo lepicí páskou. Oba díly plastové krabice se k sobě příliš nestlačovaly, aby pod víkem byla malá mezera umožňující výměnu vzduchu a vlhkosti mezi povrchem filmu a pytlíkem se sušidlem.

Cílem tohoto postupu bylo vysušit filmové materiály na absolutní vlhkost filmu podobnou podmínkám v depozitáři při –3 °C a relativní vlhkosti 35 %. Pro výpočet teoretické cílové váhy po vysušení se vzaly hodnoty z pokusů Adelsteina, Bigourdana a Reillyho [Adelstein, 1997]. Polyesterový podklad (polyethylentereftalát) dle nich pohlcuje a mění vlhkost minimálně – v rozsahu 20–70 % relativní vlhkosti se obsah vody mění od 0,1 % do 0,25 %, čili mezi 30 % a 50 % je změna obsahu vody o 0,1 %. Teplotní závislost sorpční izotermy nebyla brána v úvahu, protože dle tohoto článku sice existuje, ale v rozsahu běžných pokojových a skladovacích teplot dosahuje i u želatiny velmi malých rozdílů.

U triacetátu je obsah vody při 30% relativní vlhkosti 1 %,

při 40% relativní vlhkosti 1,5 %,

při 50% relativní vlhkosti 1,75 %,

při 60% relativní vlhkosti 2 %.

Pro fotografickou emulzi jsou ve stejném článku uvedeny tyto obsahy vody:

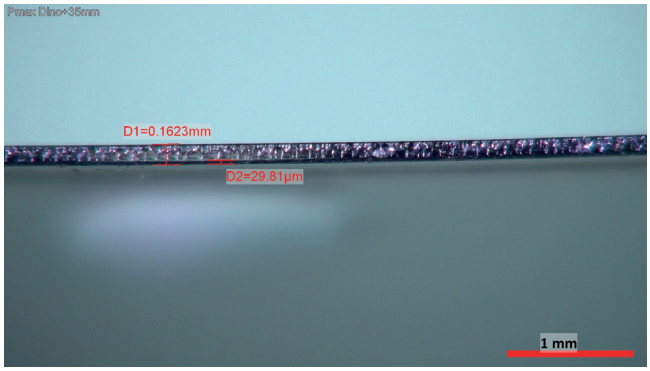
při 30% relativní vlhkosti 6 %,

při 40% relativní vlhkosti 7 %,

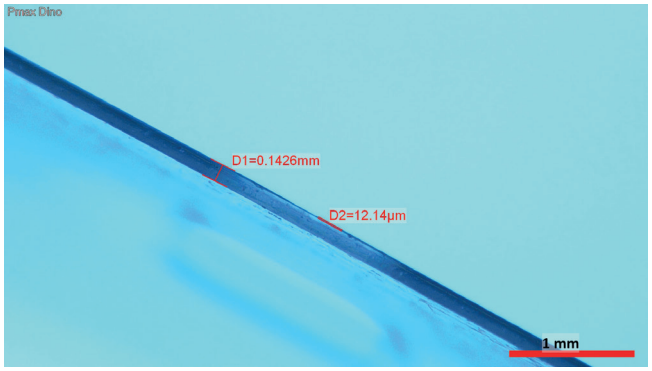
při 50% relativní vlhkosti 8 %,

při 60% relativní vlhkosti 9 %.

Tyto údaje sloužily pro výpočet cílových hodnot hmotnosti jak pro vysoušení, tak pro následné dovlhčování. Pro výpočet bylo potřeba určit tloušťky vrstev. V literatuře se objevují dosti obecné hodnoty tlouštěk [Baker, 1941], pro jistotu jsme tedy vrstvy přeměřili pomocí kalibrovaného digitálního makroskopu Nikon Inspectis F30s při stopadesátinásobném zvětšení (obr. 1 a 2). Měřilo se vždy třikrát v jednom místě.



Obr. 1 Tloušťka barevného pozitivního filmového materiálu a emulzní želatinové vrstvy / Thickness of colour positive film material and the gelatin emulsion layer



Obr. 2 Tloušťka černobílého pozitivního filmového materiálu a emulzní želatinové vrstvy / Thickness of black and white positive film material and the gelatin emulsion layer

$$m_c = m_p - \left\{ m_p * \left[\left(\frac{d_{em}}{d_{em} + d_{pod}} * \Delta\%_{em} \right) + \left(\frac{d_{pod}}{d_{em} + d_{pod}} * \Delta\%_{pod} \right) \right] \right\}$$

Kde m_c znamená cílovou hmotnost filmového materiálu, m_p je počáteční hmotnost filmového materiálu, d_{em} je makroskopem změřená tloušťka emulze daného materiálu, d_{pod} je tloušťka podkladu z triacetátu celulózy nebo polyesteru (polyethylentereftalátu), $\Delta\%_{em}$ a $\Delta\%_{pod}$ jsou rozdíly rovnovážného obsahu vody v emulzi respektive podkladu mezi počáteční a cílovou relativní vlhkostí vzduchu. Hodnoty rovnovážných obsahů vody pro želatinu, triacetát celulózy a polyethylentereftalát pro dané relativní vlhkosti vzduchu se vzaly z pokusů Adelsteina, Bigourdana a Reillyho [Adelstein, 1997], viz v textu výše. Hustoty želatiny, triacetátu celulózy i polyethylentereftalátu jsou prakticky stejné, takže ve vzorci nemusely být brány v úvahu. Při vážení se odečítala vždy váha středovky, na které byly filmové materiály natočeny. Středovky jsou vyrobené z polyethylenu, jehož nasákavost je prakticky nulová [Onwulata, Cooke, 2009], takže kolísání obsahu vody ve středovkách nebylo bráno v úvahu. Prověřovala se možnost, že by výpočet ovlivnila váha stříbra v emulzi, protože vyvolané barevné filmové materiály žádné stříbro neobsahují, zatímco černobílé ano a v různém množství, podle toho, jestli převažují části neexponované světlem (typicky negativ zvuku, kde zvuková stopa je jen velmi úzká) nebo naopak černé silně exponované úseky. Ale vydělením délky vybraných typů materiálů jejich váhou se dostanou totožné hodnoty pro barevné i černobílé materiály, takže toto též nebylo při výpočtech bráno v úvahu.

Proces vysoušení se kontroloval přesným vážením filmů i pytlíků v dvoutýdenních intervalech až do dosažení vypočtených hodnot. Tento proces shrnuje graf 1.

Do jedné z krabic byl navíc vložen miniaturizovaný měřič teploty a vlhkosti EasyLog EL-USB-2-LCD+ ke zkoumání průběhu relativní vlhkosti v mikroklimatu vnitřku krabice během procesu vysoušení. Hodnoty byly odečítány v hodinových intervalech a poté vyhodnocovány z grafů, které byly výstupem firemního softwaru.

Po dosažení cílových hodnot byly v dovlhčovací místnosti nastaveny na přesné klimatizaci GEA Multi-DENCO C5-12 hodnoty 20 °C a 45 % relativní vlhkosti a u všech krabic byla odstraněna víka. V denních intervalech byly filmy z krabic váženy s přesností na desetiny gramu a poté otočeny na druhou stranu. U barevného pozitivu na polyesterovém podkladu byl zkoumán vliv na potenciální urychlení dovlhčení převíjením na převíjecím stole Filmový průmysl typ PSMK 35/16. Vybraná role byla napřed zvážena, pak přetáčena střední rychlostí na jednu stranu a pak zpět. Přetáčení trvalo přibližně 20 minut. Poté se role znovu zvážila. Výsledky se porovnávaly s referenční rolí téhož materiálu, která přetáčení nepodstoupila. Výsledky shrnuje graf 4.

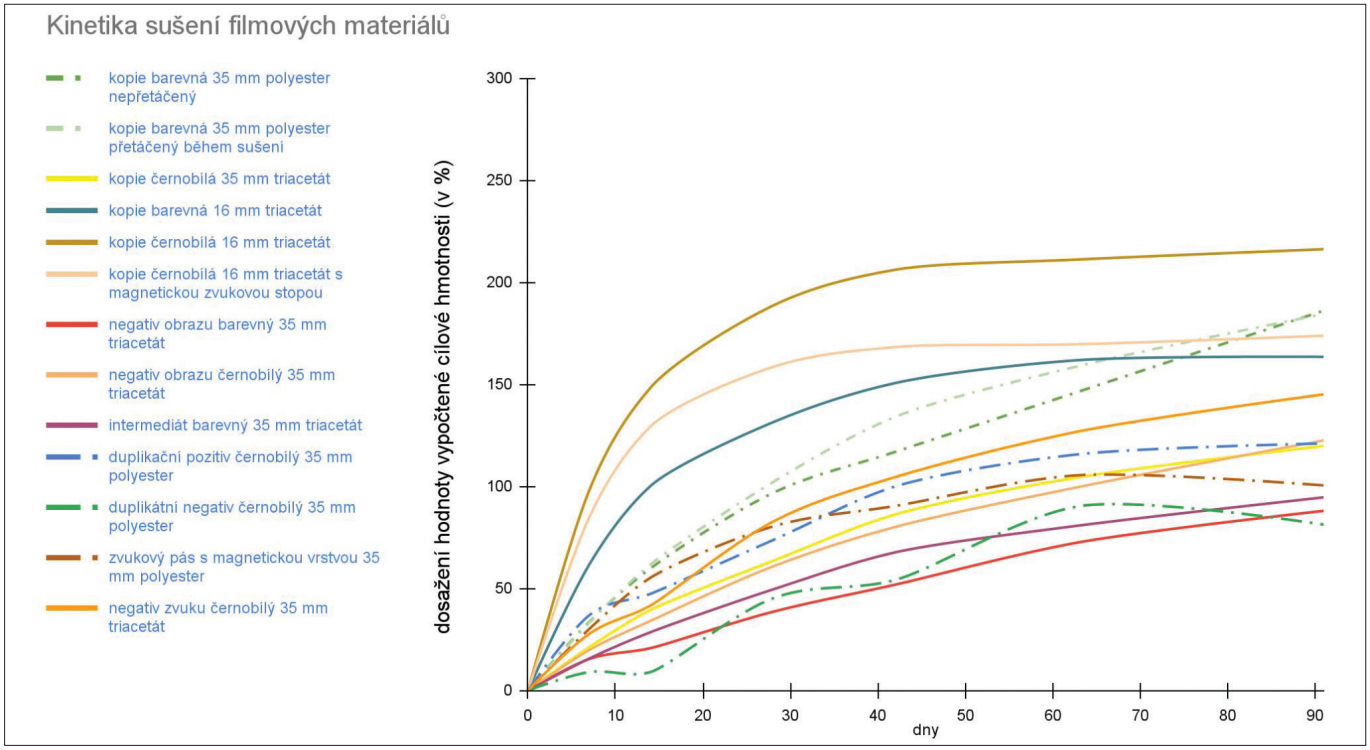
Detekce kondenzace vzdušné vlhkosti

V druhé sérii pokusů jsme hledali levný a provozně nenáročný způsob detekce kondenzace vzdušné vlhkosti uvnitř filmových krabic a na povrchu filmu.

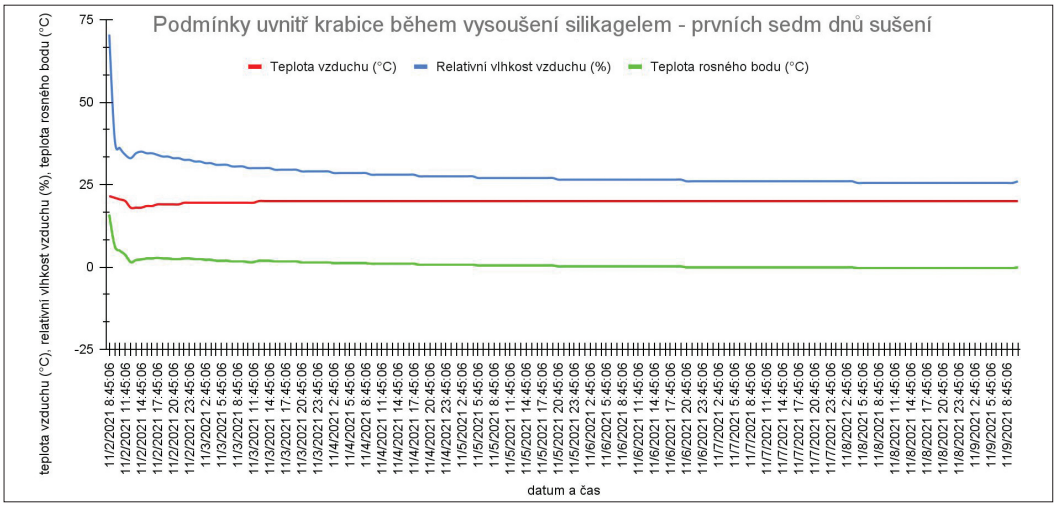
V sériích pokusů byly vždy dvě role filmového materiálu (jedna s podkladem z triacetátu celulózy, druhá s polyesterovým) o délce přibližně 60 m vloženy do běžné plastové filmové krabice. Filmové materiály byly polepeny experimentálními samolepkovými detektory kondenzace vody z boku (na vnějším povrchu konce filmového pásu) a shora (na hranách / závitech filmu), u filmové krabice na víku z vnější i vnitřní strany. Do krabice byl většinou vložen miniaturní datalogger EasyLog EL-USB-2-LCD+ a krabice byla po uzavření zmrazena v mrazáku komerční lednice Miele K 12012 S-3. Teplota v mrazáku nejde regulovat, po čtyřech hodinách mrazení se uvnitř teplota ustálí na –25 °C. Vzhledem k tomu, že jsme chtěli zkoumat teploty kolem –3 °C, nechávali jsme mrazit role s 35mm filmem 1–2 hodiny a role s 16mm filmem 0,5–1 hodinu. Po vyjmutí z mrazáku byly sledovány makroskopické změny na površích (i s pomocí makroskopu Nikon Inspectis F30s) a na detekčních samolepkách.

Byla zkoušena různá technická provedení samolepek, která detekovala kondenzaci. Zaměřili jsme se na optimalizaci principu rozpití barviv do vlhkého papíru. Jako zdroje barviv byly testovány různé druhy tužek (akvarelové, inkoustové), fixů (vodové, dětské – tzv. „pratelné“), barviva z inkoustové tiskárny v různých vzorech („šedá“ plocha složená soutiskem všech barev, čáry, sítě, tečky, vzory s hustší a jemnější kresbou). Jako papíry byly zkoušeny jak běžné kancelářské, tak barvené (tzv. krepové), i neklížené papíry s velkou nasákavostí (laboratorní filtrační), A-D strips (papírky k měření pH u filmových materiálů). K přichycení papírku na povrch jsme použili běžnou průhlednou lepicí pásku, běžnou papírovou samolepku, hliníkovou samolepicí pásku se snadno odlepitelným kaučukovým lepidlem a co možná nejtenčí oboustrannou lepicí pásku. Jednotlivá provedení ukazují obr. 3 a 4.

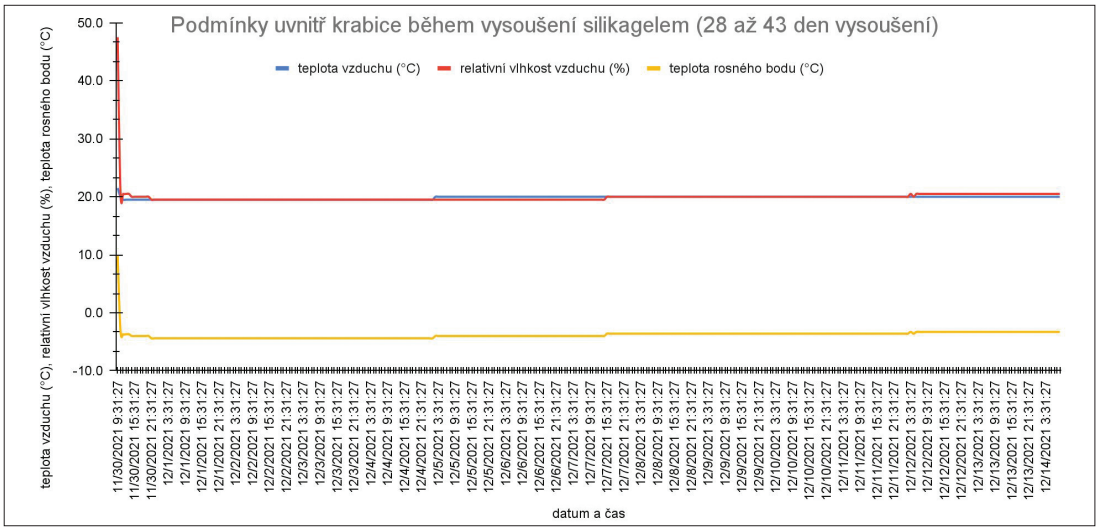
Graf 1 Kinetika sušení různých typů materiálů / Drying kinetics of different types of materials



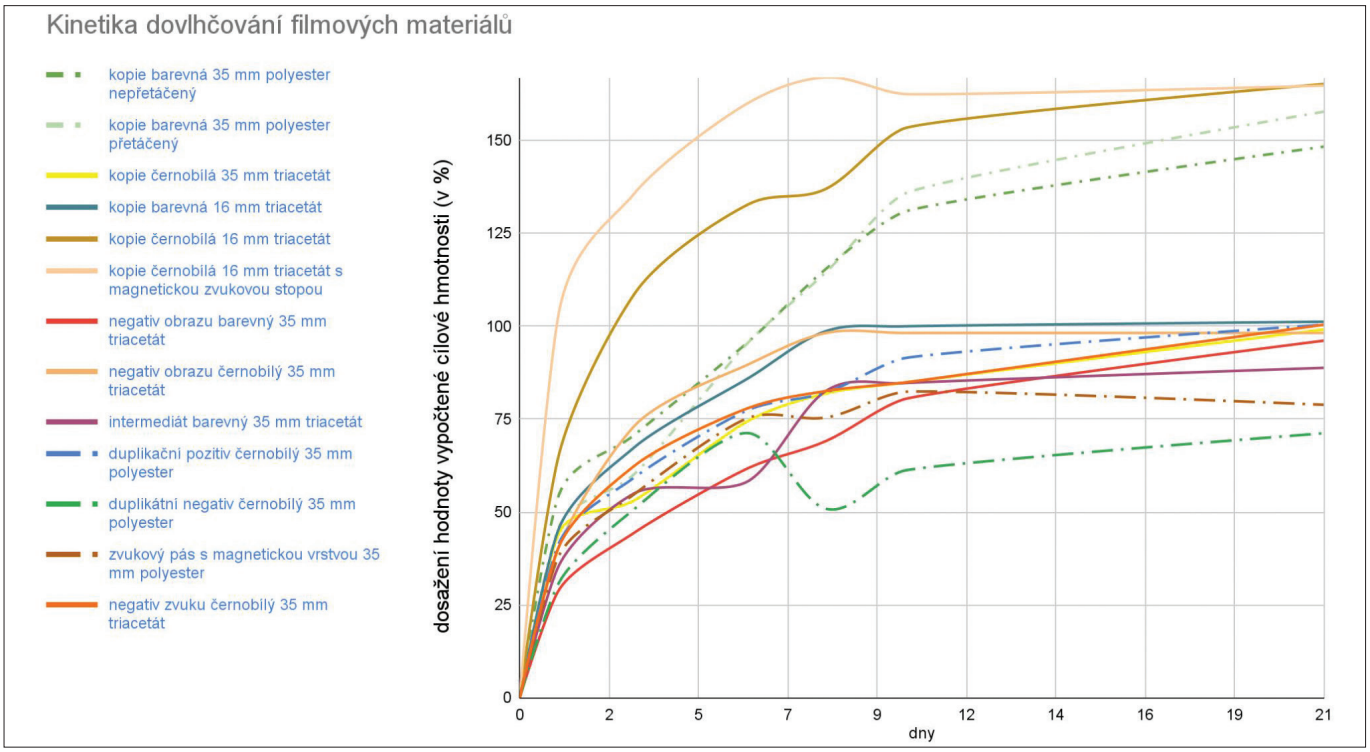
Graf 2 *Podmínky uvnitř krabice během sušicího procesu – silikagel čerstvý / Conditions inside the box during the drying process – silica gel fresh*

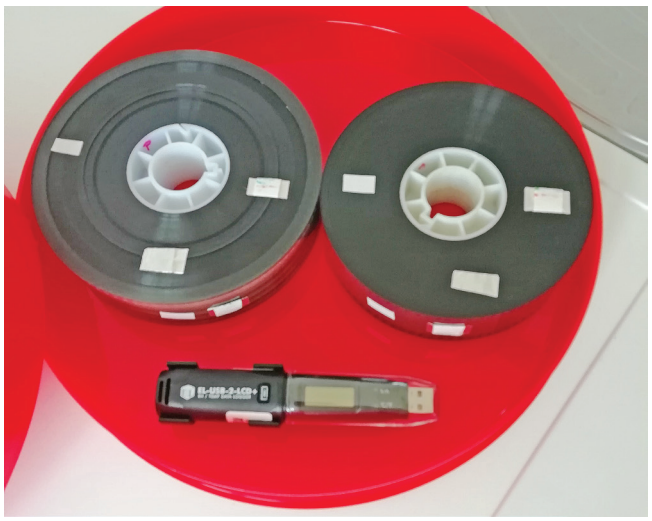


Graf 3 *Podmínky uvnitř krabice během sušicího procesu – silikagel více nasycený / Conditions inside the box during the drying process – silica gel more saturated*

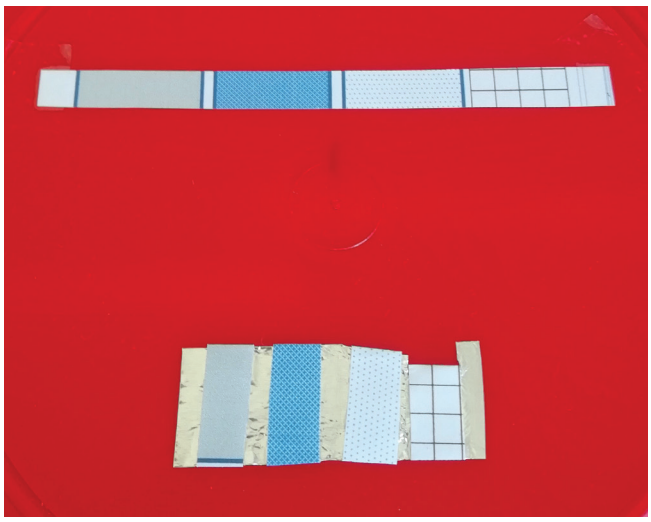


Graf 4 *Kinetika vlhčení různých typů materiálů / Wetting kinetics of different types of materials*



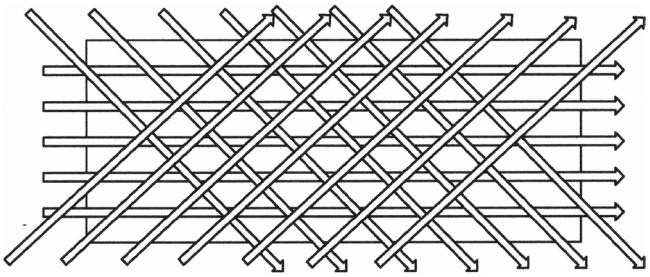


Obr. 3 *První série detekčních samolepek: vlevo na kotouči komerční od hologramy.cz, vpravo a blíže kombinace čar různými tužkami a fixy na rubové straně filtračního papíru navinutého kolem hliníkové lepicí pásky / First series of detection stickers: on the left, commercial ones on a roll by hologramy.cz, on the right and closer, combination of lines made by different pencils and markers on the reverse side of the filter paper wound around the aluminium adhesive tape*



Obr. 4 *Druhá série detekčních papírků: na běžný kancelářský papír natištěná na inkoustové tiskárně různá pole s čarami, barvami a vzory, papírky opět navinuty kolem hliníkové samolepicí pásky nebo jen přichyceny na krajích průhlednou páskou / The second series of detection papers: various fields with lines, colours and patterns printed on regular office paper in an inkjet printer, the papers again wound around aluminium self-adhesive tape or just attached at the edges with transparent tape*

Po vyhodnocení výsledků první a druhé série samolepek jsme se zaměřili na hliníkové samolepky s kaučukovým lepidlem. Na nich k jasné kondenzaci dochází, bylo tedy potřeba vymyslet způsob, jak její viditelné stopy na povrchu zaznamenat, zafixovat. Použili jsme různé barvy a druhy dostupných vodových fixů, zkoušeli jsme povrch hliníku odmašťovat detergenty a isopropylalkoholem.
Uvažovali jsme o modifikaci povrchu hliníku pasivací – pokrytím tenkou vrstvou vzniklého oxidu hlinitého po použití koncentrované kyseliny dusičné, ale z praktických důvodů jsme nejprve zkusili povrch zdrsnit středně jemným smirkovým papírem hrubosti 120. Muselo se použít jen tak silného tlaku na smirkový papír, aby nedošlo k protržení či odchlípnutí okraje samolepky. Rovnoměrně jsme zdrsnili povrch pohybem ve třech směrech navzájem od sebe pootočených o přibližně 45° (obr. 5).



Obr. 5 *Směry drsnění povrchu hliníkové nálepky smirkovým papírem / Directions of roughening the surface of the aluminium sticker with sandpaper*

Studium kondenzace vzdušné vlhkosti na vnitřních površích filmových krabic

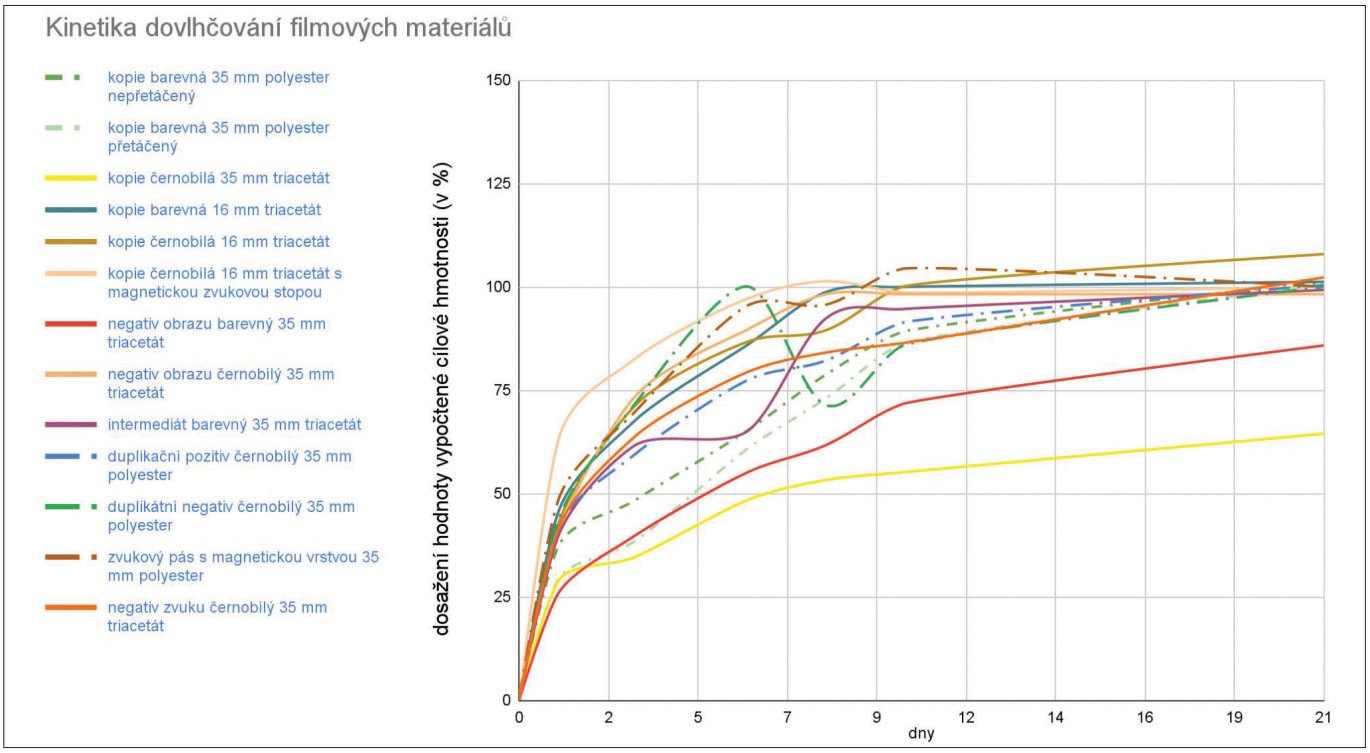
V třetí sérii pokusů jsme využili detekci kondenzace pomocí upravených hliníkových samolepek z předchozích pokusů, abychom studovali podmínky, za nichž dochází ke kondenzaci na površích uvnitř filmových krabic při přechodech z chladu do tepla a naopak.
Zkusili jsme všechny druhy námi používaných plastových krabic (pro 16mm i 35mm filmy, bez děr i s postranními otvory) a pomocí samolepek na detekci kondenzované vlhkosti vyvinutých v průběhu předchozího pokusu jsme simulovali mrazicí a rozmrazovací proces (šokový, bez aklimatizace či jakéhokoliv zpomalování vyrovnávání teplot) v lednici s mrazákem Miele K 12012 S-3. U většiny pokusů jsme podmínky uvnitř doplňkově monitorovali i pomocí miniaturizovaného měřiče teploty a vlhkosti EasyLog EL-USB-2-LCD+. Sledovali jsme přechody z běžných pokojových/kancelářských podmínek (21–24 °C, 30–61 % relativní vlhkosti) nebo z podmínek suterénní místnosti (17 °C, 60–69 % relativní vlhkosti) do chladničky (3–7 °C) a mrazáku (–3 °C až –25 °C). Dalším cílem této série pokusů bylo také ověření, jestli opravdu dosažení hodnoty teploty rosného bodu vede nutně za všech okolností ke vzniku kondenzace na všech námi sledovaných površích a jestli již od tohoto prvního orosení vzejdou škody slepením vrstev filmového materiálu. Nasimulovali jsme v dovlhčovací komoře s přesnou klimatizací GEA Multi-DENCO C5-12 vysokou teplotu i vlhkost (20 °C, 76% relativní vlhkosti), dali jsme do ní krabici z mrazáku zmrazenou na –25 °C a otevřeli ji.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Vyrovnávání vlhkosti filmových materiálů

Do grafů byly vynášeny hodnoty poměru aktuální váhy v daném čase ku vypočtené cílové hodnotě v procentech. Ačkoliv byly pro výpočet použity experimentální údaje Adelsteina, Bigourdana a Reillyho [Adelstein, 1997] a tloušťky vrstev jednotlivých materiálů se ověřovaly měřením na makroskopu, přesto graf vykazuje určitý rozptyl hodnot daný přesností měření na makroskopu a přesností vážení (zejména menších vzorků, například duplikačního pozitivu a duplikátního negativu).
Přesné určení cílové hodnoty (hmotnosti role včetně pohlcené vody) určuje vzájemné pozice křivek v grafu. Z grafu č. 4 by se například mohlo zdát, že z nějakého důvodu barevné i černobílé materiály na triacetátu celulózy nikdy nedosáhnou cílové hodnoty absorpce vody. To samozřejmě nemůže být pravda, je to jen dáno tím, že cílové hodnoty pro tento typ materiálů nebyly stanoveny správně – to je konečně patrné i z tvaru křivky, že nějaké cílové hodnotě se to blíží. Když upravíme cílové hodnoty podle tvaru křivek tak, aby se cílové hodnoty „srovnaly“ blíže hranici 100 %, což většinou odpovídá i počátečním hodnotám váhy před sušením, dostaneme úplně jiný graf (graf 5):

Graf 5 Kinetika dovlhčování různých typů materiálů – s upravenými cílovými hodnotami / Rewetting kinetics of different material types – with adjusted target values



Nově upravené cílové hodnoty pro triacetáty celulózy by tedy znamenaly, že barevné triacetáty by přechodem z 30% relativní vlhkosti do 45% nenabraly 0,77 % vody, jak by odpovídalo výzkumům Adelsteina, Bigourdana a Reillyho [Adelstein, 1997], ale jen 0,4 % a černobílé triacetáty (negativ zvuku a negativ obrazu) ne 0,68 %, ale jen 0,26 %. Pokud nebudeme diskutovat přesnost stanovení adsorpce želatiny z uvedené literatury [Adelstein, 1997], znamenalo by to, že triacetát v tomto rozmezí nepohltí 0,75 % vody, ale jen 0,25 % pro barevné a 0,1 % pro černobílé, což by ale bylo na úrovni polyesterového podkladu, tedy nepravděpodobné. Spíše tedy budou hrát roli i rozdílné vlastnosti různých druhů želatinových emulzí a snad i rozdílné šarže (výrobci) triacetátových materiálů či stáří a stupeň jejich degradace. V teoretické rovině by se mohl brát v úvahu i vliv sorpční hystereze, to znamená odlišnost průběhu křivek adsorpce (vlhčení) a desorpce (sušení), kdy vlhčení mívá obvykle zpočátku poněkud pomalejší průběh, ale tento vliv bývá nejvíce patrný spíše u porézních materiálů, jako je dřevo, beton [Matovič, 1993]. Tvary křivek u našich pokusů příliš nenasvědčují, že by hysterezní vlivy byly u filmových materiálů podstatné. Navíc nám nešlo tolik o dynamiku počátečních fází dovlhčování, ale o praktické vyhodnocení toho, jak dlouho bude trvat dovlhčení do dosažení vyrovnání vlhkostí do alespoň 95 %.

Detekce kondenzace vzdušné vlhkosti

K rozpití barev došlo v první a druhé sérii samolepek jen u A–D papírku a pouze v místě dotyku s větší kapkou, a pak u vzorků natištěných na inkoustové tiskárně, přičemž nejvíce patrné bylo u „šedivého" pole a jemného modrého vzoru. Ovšem v obou případech se to stalo jednou, při druhém opakování pokusu k rozpití nedošlo.

Ale i u těchto vzorků tištěných polí dochází k rozpití až při poměrně značném orosení s kapičkami řádově 1 mm velkými a změna není úplně na první pohled rozpoznatelná, pro posouzení je třeba porovnat fotografie před a po rozmrazení, případně zkoumat pod lupou či mikroskopem.

Zásadním důvodem, proč nedochází k rozpití více a u jiných typů samolepek a papírků, je zejména nasákavost a s ní spojené strukturální změny papíru. Celulózová vlákna jsou schopná určitou část vlhkosti pohltit (adsorbovat), takže malé kapičky na povrchu plastu či filmu v bezprostřední blízkosti papírových kousků (samolepek) vůbec nevznikají, tvoří se až asi v milimetrové vzdálenosti od nich, takže nedochází k dotyku papíru s kapičkami a voda se tak nedostane v dostatečném množství mezi vlákna papíru. Zároveň i když za suchého stavu napneme pomocí samolepek na jejich okraji papírky sebelépe, tak pohlcením vzdušné vlhkosti při rozmrazování dojde k protažení a zvlnění papírku a ten se povrchu plastu či filmu takřka nedotýká.

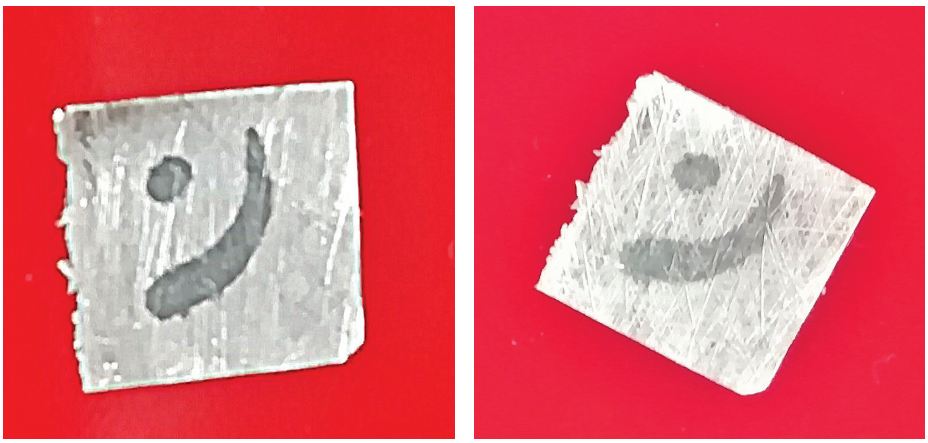
Zajímavým zjištěním bylo, že i když k orosení došlo – například když se během rozmrazování krabice předčasně otevřela, tak v grafech vloženého miniaturizovaného měřáku nedošlo k dotyku křivky teploty s křivkou teploty rosného bodu. Ani tento způsob detekce tedy spolehlivý není. Roli zřejmě hraje přesnost měření a následného výpočtu teploty rosného bodu, ale i vzdálenost čidel a jejich odlišné vlastnosti, co se týká rychlosti ohřívání. Aby se toto eliminovalo, museli bychom instrumentálně zvládnout měřit přímo povrchovou teplotu filmu.

Zásadním faktorem u třetí série samolepek byla špatná přilnavost vodových barev k hladkému kovovému povrchu, kterou se sice dařilo poněkud zlepšit odmaštěním, ale i tak se po několika hodinách barevná stopa na hliníku smrskla do miniaturních kapiček, takže vizuálně téměř „zmizela". Když se barvy nanesou na povrch hliníku těsně před rozmrazením, tak sice k orosení a následnému rozpití a smíchání barev dojde, ale opět po několika hodinách nastává stejný jev: v důsledku povrchového napětí se větší kapky barviva a zkondenzované vody rozdělí a částečně vyschnou na mikroskopicky malé a barevná stopa se tak prakticky „zneviditelní".

Nakonec se nejvíce osvědčila stopa černého fixu na hliníkové samolepce zdrsněné smirkovým papírem. Na upravený povrch barva dobře přilnula a nedocházelo k povrchovým jevům – shlukování do kapiček jako u lesklého povrchu.

Při větším orosení dochází k masivnímu rozpití čáry a k rovnoměrné distribuci barviva na celý povrch samolepky, kresba fixem vizuálně zmizí (obr. 6 a 7).

I při jen jemném zamlžení povrchu dochází k částečnému rozpití, které je dobře patrné – obrys čáry se mírně roztřepí, částečně se rozlije do rýh na povrchu hliníku. Přesně takový typ citlivé detekce jsme potřebovali najít.



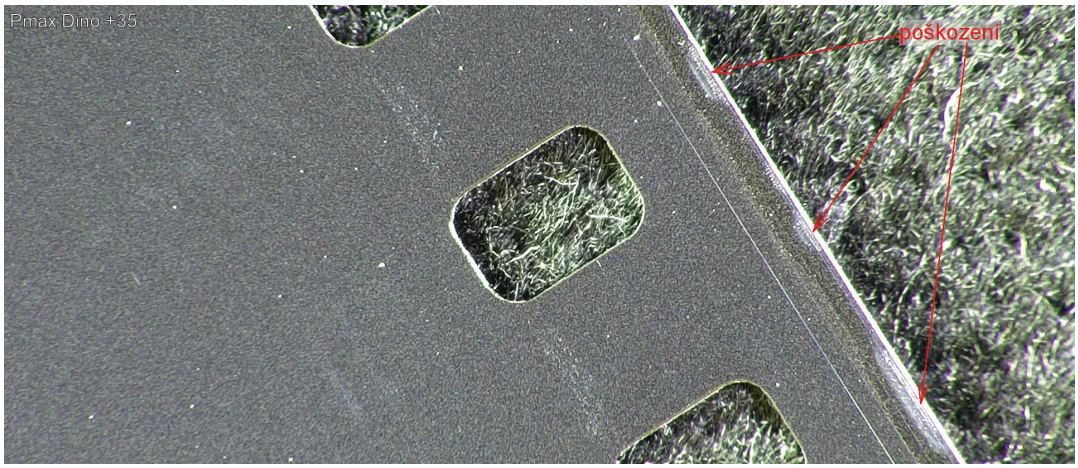
Obr. 6 a 7 Čáry před a po jemném omlžení (roztřepení okrajů čáry) / Lines before and after soft misting up (fraying of line edges)

Obr. 8, 9 a 10 Čáry před, v průběhu a 16 hodin po orosení / Lines before, during and 16 hours after dewing

Studium kondenzace vzdušné vlhkosti na vnitřních površích filmových krabic

Uvnitř uzavřených plastových dobře těsnicích (minimální vůle mezi dnem a víkem) krabic nedošlo ke kondenzaci vlhkosti na vnitřních površích nikdy. Orosily se při rozmrazování jen vnější povrchy krabice, což vedlo k přechodnému zvlnění štítků (pokud nebyly přetřené zředěným latexem) a bočních samolepek na krabicích. Vnější povrch oschl v rozmezí 1–2 hodin. K velmi slabému orosení uvnitř krabic docházelo jen při rozmrazování u krabic na 16mm filmy, u nichž je vůle mezi víkem a dnem dost velká, nebo dokonce mají z boku nezakrytelné větrací otvory. U takových krabic bylo odzkoušeno jako účinné opatření vložení těchto krabic do slabého polyethylenového sáčku (běžný černý do košů na odpadky) na dobu aklimatizace.

I když bylo nasimulováno velmi silné orosení filmového materiálu s více než milimetrovými kapkami, došlo po vysušení při přetáčení filmu na převíjecím stole jen k nepatrnému praskání přilepené emulze u triacetátu při okrajích. Poškození pod lupou takřka nebylo vidět, musel se vhodně nastavit úhel odraženého světla při mikroskopování a zvětšit kontrast obrázku (obr. 11). Slepení dosahovalo jen do maximálně 1 mm šířky.



Obr. 11 Okrajové poškození triacetátu – slepení vrstev mokrou emulzí způsobené kondenzací a následné odtržení při přetáčení / Edge damage to triacetate – wet emulsion bonding of layers caused by condensation and subsequent tearing during rewinding

ZÁVĚR

Přestože přesná teoretická interpretace rozdílů křivek jednotlivých materiálů u první série pokusů je už nad rámec našeho přístrojového vybavení (vyžadovala by důkladnější chemické rozbory jednotlivých vrstev), náš cíl byl ryze praktický: **Jak dlouho musí být materiály v dovlhčovací komoře, aby se jejich vlhkost vyrovnala z vlhkosti mrazicích depozitářů na hodnotu vlhkosti místností, kde se s materiály dále pracuje** (střižny, projekce, digitalizační pracoviště). Z tvarů křivek je bez ohledu na cílové hodnoty patrné, že **k nasycení blízkému cílovým hodnotám dochází u všech materiálů kolem devátého dne.**

Dalším praktickým závěrem první série pokusů je, že **přetáčením na převíjecím stole běžnou rychlostí se rychlost vyrovnání prakticky neurychlí.** Rychlost adsorpce vody je zřejmě řádově pomalejší než krátká doba, po jakou je materiál jednou denně převíjen a tedy v lepším kontaktu se vzduchem.

Nejvýznamnějším výstupem pokusů s kondenzací vzdušné vlhkosti uvnitř filmových krabic je, že v pro nás důležitých podmínkách (depozitáře chlazené na –3 °C nebo na +2 °C a regulovanou relativní vlhkostí 30–35 %, odborná pracoviště s teplotami kolem 20 °C a relativní vlhkostí 30–70 %, dobře těsnicí plastové krabice) **ke kondenzaci uvnitř krabic nedochází**. A kdyby snad i vlivem nějaké chyby či extrému došlo, **poškození emulze kapkami na hranách filmu jsou poměrně nepatrná a mimo oblast zvuku a obrazu**.

Tento recenzovaný odborný článek vznikl na základě institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace poskytované Ministerstvem kultury.

LITERATURA

- ADELSTEIN, P. Z. – BIGOURDAN, J.-L. – REILLY J. M. Moisture Relationships of Photographic Film. JAIC 1997, vol. 36 (3), s. 193–206.
- ALLEN, N. S. – EDGE, M. – HORIE, C. V. – JEWITT, T. S. – APPLEYARD, J. H. The Degradation and Stabilization of the Historic Cellulose acetate / Nitrate Base Motion-picture Film. The Journal of Photographic Science, 1988, vol. 36 (3), s. 103–106.
- BAKER, T. T. Photographic emulsion technique, Boston: American Photographic Publishing Co., 1941, s. 126, 180.
- BIGOURDAN, J.-L. – ADELSTEIN, P. Z. – REILLY, J. M. Moisture and Temperature Equilibration: Behavior and Practical Significance in Photographic Film Preservation, La Conservation: Une Science en Evolution, Bilans et Perspectives. In: Actes des Troisiemes Journées Internationales d'Etudes de l'ARSAG, Paris, 21 au 25 Avril 1997, Paris. Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques, 1997, s. 154–164.
- CUMMINGS et al. Spontaneous Ignition of Decomposing Cellulose Nitrate Film. JSMPTE 1950, vol. 54, s. 269–270.
- DUCHÁČEK, V. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vydání. 2006. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, ISBN 80-7080-617-6, s. 60.
- FRANCIS, D. From Parchment to Pictures to Pixels, Balancing the Accounts: Ernest Lindgren and the National Film Archive, 70 Years On. Journal of Film Preservation, 2006, vol. 71, s. 29.
- HECKMAN, H. Burn after viewing, or, fire in the vaults: nitrate decomposition and combustibility. American Archivist 2010, vol. 73 (2), s. 483–506.
- ISO 5466 – Processed photographic films (původní norma z roku 1980 prošla aktualizacemi v letech 1986, 1992 a 1996, v roce 2000 byla nahrazena normou ISO 18911; podmínky ukládání nitrátních filmových materiálů upravuje od roku 1996 norma ISO 10356); v americkém prostředí byla ekvivalentem ANSI/NAPM IT9.11-1993.
- ISO 18911 – Imaging materials – Processed safety photographic films (původní norma z roku 2000 prošla v roce 2010 aktualizací).
- MANAF, M. E. A. – TSUJI, M. – NOBUKAWA, S. Effect of Moisture on the Orientation Birefringence of Cellulose Esters. Polymers, 2011, vol. 3, s. 955–966.
- MATOVIČ, A. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva, vydání první. 1993. Vysoká škola zemědělská v Brně, s. 212. ISBN 80- 7157-086-9.
- MONTROSS, P. D. – DUNCAN, G. A. – GATES R. S. Development and Testing of a low-cost condensation detection system. Applied Engineering in Agriculture 2006, vol. 22 (4), s. 603–608.
- ONWULATA, Ch. I. – COOKE P. Effect of Biomass in Polyethylene or Polylactic Acid Composites. 2009. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, vol. 3, s. 1–9.
- PADFIELD, T. Condensation in film containers during cooling and warming. In: Proceedings of the Conference: ‚Preserve, then Show', Copenhagen: Danish Film Institute 2002, s. 67–77. ISBN 87-87195-55-0.
- REPORT OF SPECIAL COMMITTEE to Set Up by the British Kinematograph Society To Consider Means that Should be Adopted to Preserve Cinematograph Films for an Indefinite Period. London: British Film Institute Leaflet, no. 4, 1934.
- ROCHESTER INSTITUTE OF TECHNOLOGY – IMAGE PERMANENCE INSTITUTE Thermal Equilibration of Film Materials. 2022. Dostupné z: https://www.filmcare.org/thermal_equilibration.
- SEREAD, G. A. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, vol. 1 – Fibers, Cellulose Esters. 2009. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 9780471238966.
- TRNKA, J. Český filmový archiv 1943–1993, Institucionální vývoj a problémy z praxe. 2018. Praha: Národní filmový archiv. ISBN 978-80-7004-190-1.
- VOLKMANN, H. Preservation and Restoration of Moving Images, Chapter Five: The Preservation of Dyes in Developed Colour Films. FIAF 1986, s. 61–71.
- WILHELM, H. The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures. United States Library of Congress. 1993, s. 703–705. ISBN 0-911515-00-3.