FORUM 2026 / roč. XVI / č. 2

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY
FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2026 / Vol. XVI / No. 2
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. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
prof. Dr. Ing. Michal Ďurovič
akad. mal. Igor Fogaš
Ing. Pavel Jirásek
Ing. Jan Josef
doc. akad. soch. Petr Kuthan
Ing. Radka Šefců, Ph.D
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, 2026
ISSN (Online) 2571-4384
ISSN (Print) 1805-0050

DOI 10.61574/FKR.2026.2.055

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

VLIV OBALOVÝCH MATERIÁLŮ NA STABILITU DIAZOTYPICKÝCH ZÁZNAMŮ

Ondřej Görtler · Vítězslav Knotek · Michal Ďurovič

Ústav chemické technologie restaurování památek, VŠCHT Praha

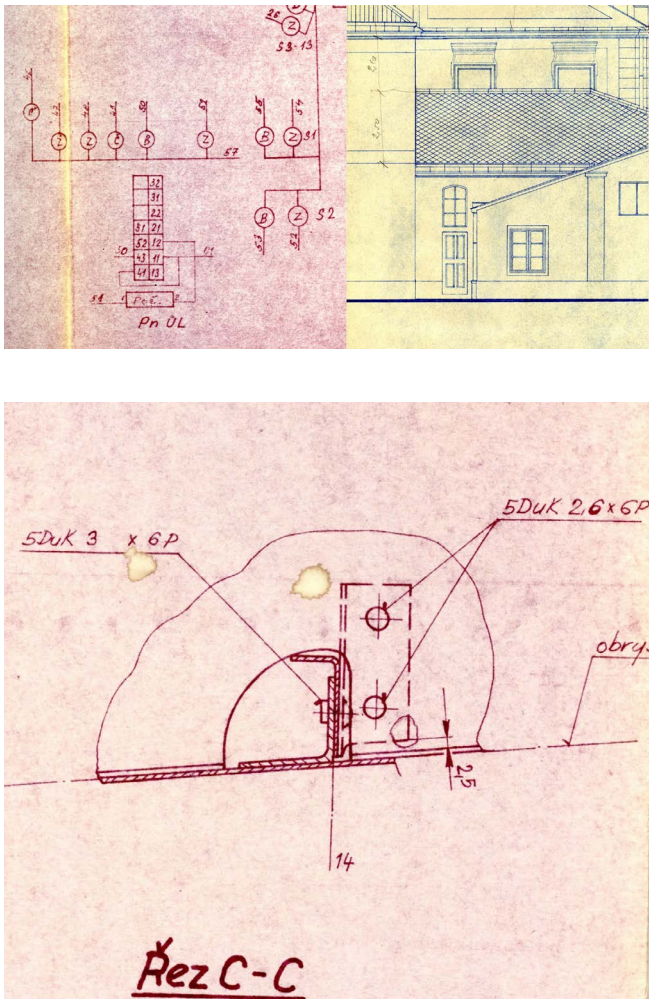
Ing. Ondřej Görtler je absolvent magisterského programu Technologie konzervování-restaurování objektů kulturního dědictví na VŠCHT Praha a student doktorského studijního programu Konzervační vědy v péči o hmotné kulturní dědictví na VŠCHT Praha. (gortlero@vscht.cz)

Práce se zabývá vlivem papírových obalových materiálů na stabilitu diazotypických záznamů, které patří mezi chemicky nestabilní archiválie citlivé na světlo, vlhkost a složení okolního prostředí. Cílem bylo experimentálně ověřit, jak různé typy papírových obalů ovlivňují degradační procesy těchto materiálů. Byly připraveny modelové diazotypy dvou typů (oranžovo-růžové a modré), a to v exponované i neexponované formě. Vzorky byly vystaveny umělému stárnutí za podmínek suchého (80 °C, 14 dní) a vlhkého tepla (80 °C, 50 % RV, 14 dní) v kontaktu se čtyřmi typy papírových obalů. Míra degradace byla hodnocena pomocí kolorimetrie v prostoru CIELAB a UV/Vis reflexní spektrometrie. Výsledky prokázaly, že rozsah degradace závisí jak na typu diazotypu, tak na podmínkách umělého stárnutí a charakteru obalového materiálu. Při stárnutí vlhkým teplem byly změny výraznější než při stárnutí suchým teplem. Nejlepší ochranný účinek vykazoval fotopapír EMBA, zatímco papír pro dokumenty dle ČSN ISO 9706 a zejména papír s alkalickou rezervou vedly k největším změnám barevnosti a poklesu reflektance. Byly rovněž zjištěny rozdíly v degradačním chování jednotlivých typů diazotypů. Studie poskytuje experimentální podklad pro výběr vhodných obalových materiálů při dlouhodobém ukládání diazotypických archiválií.
Klíčová slova: diazotypie, obalové materiály, papír, UV/Vis spektrometrie, kolorimetrie, degradace, preventivní konzervace

THE EFFECT OF PACKAGING MATERIALS ON THE STABILITY OF DIAZOTYPE PRINTS

This study examines the effect of paper packaging materials on the stability of diazotype prints, which are chemically unstable archival materials sensitive to light, humidity, and environmental conditions. The aim was to experimentally verify how different types of paper packaging affect the degradation processes in these materials. Model diazotypes of two types (orange-pink and blue) were prepared, both in exposed and unexposed forms. The samples were subjected to artificial aging under dry heat (80 °C, 14 days) and humid heat (80 °C, 50% RH, 14 days) conditions in contact with four types of paper packaging. The degree of degradation was evaluated using colorimetry in the CIELAB colour space and UV/Vis reflectance spectroscopy. The results demonstrated that the extent of degradation depends on both the type of diazotype print and the artificial aging conditions, as well as the nature of the packaging material. Changes were more pronounced during humid heat aging than during dry heat aging. EMBA photographic paper exhibited the best protective effect, while document paper according to ČSN ISO 9706, and especially paper with an alkaline reserve, led to the greatest changes in colour and decrease in reflectance. Differences in the degradation behaviour of individual types of diazotypes were also observed. The study provides an experimental basis for the selection of suitable packaging materials for the long-term storage of diazotype archival materials.
Keywords: diazotype, packaging materials, paper, UV/Vis spectroscopy, colorimetry, degradation, preventive conservation

Reprodukční technika diazotypie byla v minulosti využívána díky své rychlosti, jednoduchosti, nízkým nákladům a schopnosti reprodukovat kresbu provedenou inkoustem i tužkou. Proces je znám od 80. let 19. století, přičemž jeho využití pro rozmnožování technických výkresů je doloženo od počátku 20. století. K největšímu rozšíření došlo po druhé světové válce, kdy od 50. let 20. století diazotypie prakticky nahradila kyanotypii [Coulbourne, 2025]. Vedle technických a architektonických výkresů (obr. 1) [Soukup, 1969] byla používána například i pro reprodukci kancelářských dokumentů, notových zápisů, nebo i jako umělecké medium [Avery, 2017; Hemmenway, 2013; Wessling, 2015; DeRose, 2015].

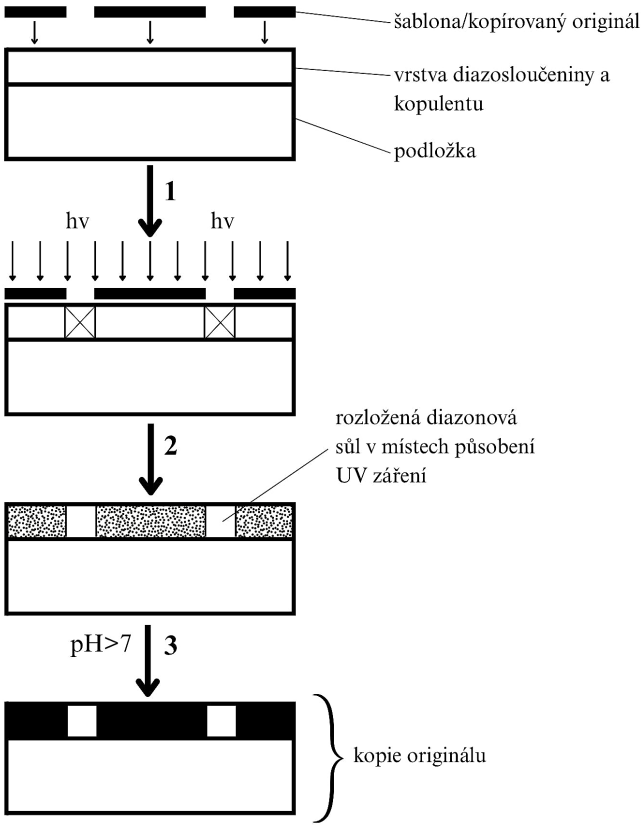


Obr. 1 *Detaily diazotypických* záznamů */ Details of diazotype records*

Navzdory širokému využití patří diazotypické záznamy mezi materiály s omezenou životností, především v důsledku nízké chemické stability diazosloučenin. Při dlouhodobém uložení v archivních podmínkách hraje významnou roli také kvalita obalových materiálů, které mohou stabilitu těchto záznamů zásadně ovlivnit [Klimeš, 1980].

Základem diazotypického kopírovacího procesu je fotochemický rozklad diazosloučenin UV zářením za vzniku fenolů a následná tvorba azobarviv v místech, která nebyla exponována [Šimková, 1973; Jacobson, 1976; Parmeggiani, 2014; Ducci, 2021]. Reakce probíhá za přítomnosti kopulentů, kdy dochází k tzv. kopulaci vedoucí ke vzniku konjugovaných intenzivně zbarvených organických molekul azobarviv. Tato reakce je sice možná i samovolně, avšak výrazně se urychluje při zvýšeném pH, čehož se využívalo při vyvolávání v zásaditém prostředí (např. parami amoniaku) (obr. 2).

Pokud světlocitlivá vrstva zůstává delší dobu nezpracovaná, dochází k pomalé, avšak postupné degradaci materiálu [Tůmová, 1968]. Životnost správně skladovaných diazotypických materiálů byla cca 3–4 měsíce [Kalinovský, 1961]. Podložku diazotypů tvoří zejména papír různých plošných hmotností, případně polymerní fólie (např. acetátové či polyesterové); specifickým typem je také diazotypický mikrofilm [Beneš, 1949; Mikšovský, 2009].



Obr. 2 *Schématický proces diazotypie; 1 – působení UV záření na diazotypický papír přes průsvitný originál, 2 – rozklad diazonové soli vlivem UV záření, 3 – vyvolání diazotypu (reakce diazonové soli s kopulentem) pomocí zvýšení pH / Schematic process of diazotype printing; 1 – exposure of diazotype paper to UV light through a transparent original, 2 – decomposition of the diazonium salt under the influence of UV light, 3 – development of the diazotype (reaction of the diazonium salt with the copulant) by raising the pH*

Při nejrozšířenějším, tzv. suchém diazotypickém procesu (vyvolávání v parách amoniaku) obsahuje světlocitlivá vrstva jak diazosloučeninu, tak kopulent, spolu s řadou přísad (např. stabilizátory, optické zjasňovače, $ZnCl_2$, močovina či thiomočovina), které ovlivňují stabilitu výsledného obrazu [Jacobson, 1976]. V důsledku tohoto procesu však v materiálu zůstávají rezidua chemikálií, včetně nezreagovaných kopulačních činidel a produktů fotodekompozice, které jsou náchylné k oxidaci, zejména za zvýšené vlhkosti nebo přítomnosti alkálií [Hemmenway, 2013; Vilela, 2006].

Degradace diazotypů se projevuje především změnami azobarviv, a to v důsledku fotolýzy, fotooxidace a oxidace. Tyto procesy jsou ovlivněny přítomností kyslíku, plynných polutantů, teplotou a světelným zářením. Diazotypy jsou přitom mimořádně citlivé na UV složku světla, která může vést k rychlému rozkladu barviv [Koerner, 2002; Wessling, 2015]. Takové dokumenty poté podléhají blednutí a dochází k částečné nebo úplné nečitelnosti záznamu [Bílková, 2025].

Současně dochází k vedlejším reakcím, například ke vzniku barevných závojů z reziduálních kopulentů nebo k tvorbě fenolických a chinonových derivátů, které dále akcelerují oxidační procesy. Vznik kyselých produktů může navíc urychlovat degradaci papírové podložky prostřednictvím kyselé hydrolýzy celulózy.

Většina diazotypových podložek je navíc tvořena papíry nižší kvality, což přispívá k nevratným změnám vzhledu a mechanických vlastností [Price, 2010]. Míra degradace podložky závisí nejen na kvalitě materiálu, ale i na adsorpčních vlastnostech celulózových vláken [Avery, 2017].

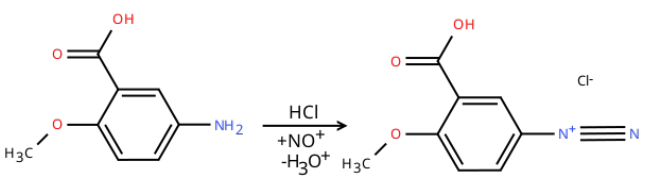
Vzhledem k významnému vlivu obalových materiálů na dlouhodobou stabilitu diazotypů je tato práce zaměřena na studium účinku vybraných papírových obalů na optické vlastnosti modelových diazotypických záznamů.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Příprava modelových vzorků diazotypů

Pro experiment byly použity dva typy modelových diazotypických záznamů: laboratorně připravený diazotyp s oranžovo-růžovým zbarvením a komerční Diazo Blue Print Paper (Digit Számítáztechnikai Bt., Budapešť; 75 g/m^2) poskytující modré zbarvení. Oba typy byly studovány v exponované i neexponované formě. Označení vzorků bylo následující: Ia (neexponovaný) a Ib (exponovaný) pro růžový typ, IIa (neexponovaný) a IIb (exponovaný) pro modrý typ.

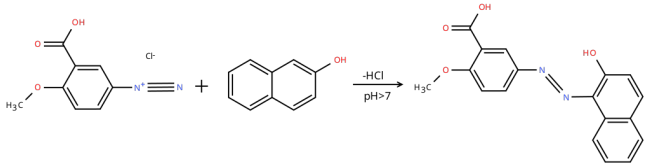
Laboratorní vzorky byly připraveny syntézou diazoniové soli diazotací kyseliny 5-amino-2-methoxybenzoové s dusitanem sodným v kyselém vodném prostředí. Postup vychází z odborné literatury [Ducci, 2021]. Roztok HCl (5 ml; c = 4 mol/l) byl ochlazen v ledové lázni. Paralelně byla kyselina 5-amino-2-methoxybenzoová (0,08 g) rozpuštěna v 5 ml NaOH (c = 2 mol/l), ochlazena a doplněna 2 ml roztoku $NaNO_2$ (c = 0,29 mol/l). Tato směs byla za stálého míchání po kapkách přidávána do kyseliny chlorovodíkové při teplotě nepřesahující 5 °C. Po smísení byla reakční směs ponechána 15 minut k dokončení diazotace, čímž vznikla kyselina 5-diazo-2-methoxybenzoová (obr. 3).



Obr. 3 *Diazotace kyseliny 5-amino-2-methoxybenzoové / Diazotization of 5-amino-2-methoxybenzoic acid*

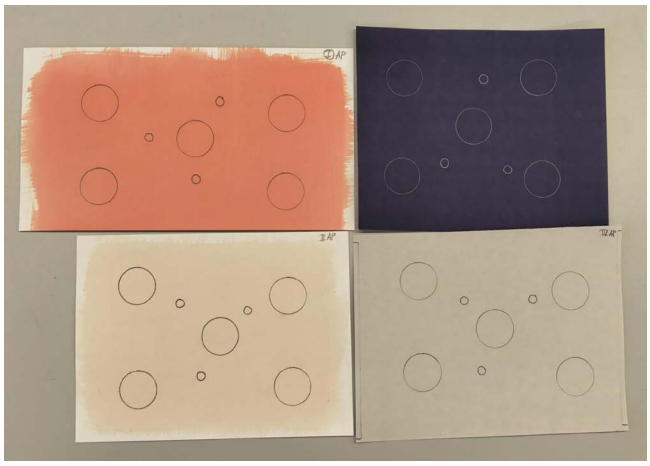
Kopulační roztok byl připraven rozpuštěním β-naftolu (0,084 g) v 6 ml NaOH (c = 2 mol/l). Následně byly 4 ml tohoto roztoku smíseny se 4 ml kyseliny vinné (c = 2,5 mol/l) a poté s 4 ml roztoku diazoniové soli. Dodržení tohoto pořadí je zásadní pro zabránění předčasné kopulace. Výsledný roztok byl zfiltrován (Millipore Millex-HN Nylon, 0,45 µm) a nanesen štětcem na papírové archy (100 g/m^2, hadrovina s příměsí bělené sulfátové buničiny) o rozměrech přibližně 16 × 12 cm. Vzorky byly sušeny při laboratorní teplotě za omezeného přístupu světla; celkem bylo připraveno 16 vzorků.

Polovina vzorků byla vyvolána v parách amoniaku (NH_4OH, ρ = 0,91 kg/l) v uzavřené nádobě při 35 °C po dobu 2 minut. Vzorky byly umístěny na polyethylenové síti nad hladinou roztoku a po vyvolání ponechány 5 minut v digestoři k odstranění zbytkového amoniaku. Zvýšení pH během procesu vyvolávání iniciuje kopulační reakci a tvorbu barevné vrstvy (obr. 4).



Obr. 4 *Reakce diazoniové soli s kopulentem v zásaditém prostředí za vzniku azobarviva / Reaction of a diazonium salt with a copulant in a basic medium to form an azo dye*

Zbývající vzorky byly před vyvoláním exponovány UV zářením (9 lamp LT 18WT8/073, 850 mW/m^2, λ = 365 nm, vzdálenost cca 20 cm, průměrná intenzita osvětlení 4,5 lux) po dobu 1 hodiny a následně vyvolány stejným způsobem. Expozice vedla k rozkladu diazoniové soli, čímž byla potlačena tvorba azobarviva (obr. 5). Komerční modrý diazotyp byl rozstříhán na 16 vzorků (cca 16 × 12 cm). Polovina byla přímo vyvolána, druhá polovina byla před vyvoláním exponována UV zářením, přičemž doba expozice byla zkrácena na 5 minut (obr. 5).



Obr. 5 *Vzorky diazotypů s označenými místy měření barevnosti a UV/Vis spekter, vlevo nahoře Ia, vlevo dole Ib, vpravo nahoře IIa, vpravo dole IIb / Diazotype samples with marked locations for color measurements and UV/Vis spectra: top left Ia, bottom left Ib, top right IIa, bottom right IIb*

Umělé stárnutí v kontaktu s obalovými materiály

Pro studium vlivu obalových materiálů byly vybrány čtyři typy papírů simulující archivní obálky (tab. 1), které byly upraveny na formát A4 (21,0 × 29,7 cm). Zvolen byl papír pro dokumenty dle ČSN ISO 9706, jehož norma uvádí požadavky na trvanlivé papíry určené pro dokumenty. Papír s alkalickou rezervou byl zvolen kvůli jeho dobré dostupnosti na odborných pracovištích (byť dle literatury zásadité prostředí není pro tento typ archiválie vhodné). Dalším byl chromatografický papír Whatman No. 1, který byl zařazen kvůli jeho chemické čistotě, a jako poslední fotopapír EMBA, který je vhodný pro ukládání fotografických materiálů. Výběr materiálů navazuje na předešlou studii [Knotek, 2025], kde byly charakterizovány vlastnosti jednotlivých obalových materiálů s výjimkou fotopapíru EMBA, jehož vlastnosti byly však změřeny dodatečně.

Tab. 1 *Použité druhy obalových papírů a jejich základní vlastnosti / Types of packaging paper used and their basic properties*

Typ papíru	Plošná hmotnost [g/m2]	Tloušťka [mm]	Vlákninové složení	Typ klížení	Označení
papír pro dokumenty dle ČSN ISO 9706	80	0,09	bělená sulfátová buničina pocházející z listnatého stromu	alkyl keten dimery (AKDs)	**ISO**
papír s alkalickou rezervou	146	0,20	bělená sulfátová buničina pocházející z listnatého stromu	alkyl keten dimery (AKDs)	**AP**
chromatografický papír Whatman No. 1	87	0,17	bělená sulfitová buničina pocházející z jehličnatého stromu	neklížen	**W1**
fotopapír EMBA	91	0,12	hadrovina s příměsí bělené sulfátové buničiny pocházející z listnatého stromu	alkyl keten dimery (AKDs)	**FP**

Z každé kategorie diazotypů (Ia, Ib, IIa, IIb) byl vybrán jeden vzorek, čímž vznikly soubory čtyř vzorků určené pro testování jednoho typu obalu v jednom režimu umělého stárnutí. Celkem bylo připraveno osm sad odpovídajících kombinacím obalového materiálu a typu umělého stárnutí.

Umělé stárnutí bylo realizováno dvěma způsoby:

- umělé stárnutí v podmínkách suchého tepla (80 °C, deaktivované zvlhčování, naměřená relativní vlhkost přibližně 5 %, 14 dní),
- umělé stárnutí v podmínkách vlhkého tepla (80 °C, relativní vlhkost 50 %, 14 dní).

Před stárnutím vlhkým teplem byly vzorky kondiciovány 24 hodin při 25 °C a 50% relativní vlhkosti.

Vzorky byly uspořádány do vícevrstvých „sendvičů", kde jednotlivé diazotypy byly obaleny dvěma vrstvami příslušného papíru. Bloky byly odděleny skleněnými deskami (~22 × 30 cm, tloušťka 2 mm) a zatíženy tak, aby byl simulován přibližný tlak při uložení v archivních krabicích (~800 Pa) (obr. 6 a 7).

Umělé stárnutí probíhalo v klimatických komorách Memmert HCP 105 (stárnutí suchým teplem) a Memmert CTC 256 (stárnutí vlhkým teplem).

Obr. 6 *Schéma jednoho bloku diazotypů a obalového papíru / Diagram of a single block of diazo film and wrapping paper*

Obr. 7 *Celý zatížený blok diazotypů a obalových papírů v klimatické komoře Memmert HCP 105 / A full load block of diazotypes and wrapping paper in the Memmert HCP 105 climate chamber*

Hodnocení míry degradace pomocí optických metod

Míra degradace byla hodnocena na základě změn barevnosti vzorků před a po umělém stárnutí. Byly použity metody UV/Vis reflexní spektrometrie a kolorimetrie v barvovém prostoru CIE-LAB. Měření probíhala vždy na stejných, předem označených místech vzorků (obr. 5).

Změna barevnosti

Barevné charakteristiky byly měřeny přenosným spektrofotometrem Konica Minolta CM-700d (režim SCI, štěrbina 8 mm) na opticky neutrální podložce. Každý vzorek byl analyzován na pěti místech.

Z naměřených hodnot L*, a*, b* před a po umělém stárnutí byla vypočtena celková barevná diference ΔE* (rovnice 1), která kvantifikuje změnu barevnosti. Výsledky měření byly statisticky zpracovány – byly vypočteny průměry a směrodatná odchylka.

Tyto hodnoty byly následně porovnány mezi jednotlivými typy diazotypů a obalových materiálů pro oba režimy umělého stárnutí.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \qquad (1)$$

UV/Vis reflexní spektrometrie

Optické vlastnosti vzorků byly dále sledovány pomocí UV/Vis spektrometru Agilent Cary 60 s reflexním nástavcem v rozsahu 200–800 nm (skenovací rychlost 600 nm/min). Pro každý vzorek byly zaznamenány tři spektrální záznamy, z nichž byly vypočteny průměrné spektrální křivky reflektance.

Spektra před a po umělém stárnutí byla porovnávána vizuálně i kvantitativně prostřednictvím poměru integrálních ploch pod spektrálními křivkami po umělém stárnutí k odpovídajícím plochám před umělým stárnutím. Tento přístup umožnil objektivně posoudit změny reflektance a vliv obalových materiálů na degradační chování diazotypů.

VÝSLEDKY

Změna barevnosti

Stárnutí suchým teplem

Z hodnot celkové barevné diference ΔE* (obr. 8) vyplývá, že při stárnutí suchým teplem dochází k nejvýraznějším změnám u diazotypů typu IIa, následovaných typem IIb. Diazotypy typu I vykazují obecně nižší hodnoty ΔE*, přičemž u nich jsou patrnější rozdíly mezi jednotlivými obalovými materiály.

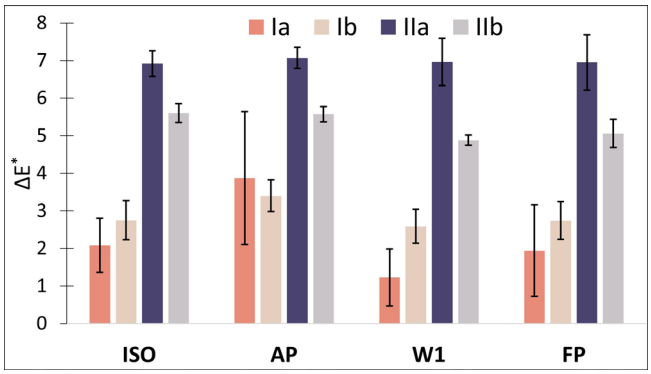
Z porovnání obalových systémů vyplývá, že nejvyšší stabilitu vykazuje papír Whatman 1 – u v něm uložených diazotypů byly zaznamenány nejmenší změny barevnosti u všech typů s výjimkou typu IIa. V tomto případě jsou však rozdíly mezi jednotlivými obaly minimální. Fotopapír EMBA dosahuje ve všech případech druhých nejnižších hodnot ΔE*. Naopak největší barevné změny byly zaznamenány u alkalického papíru, a to u všech typů diazotypů s výjimkou typu IIb, který vykazuje nejvyšší degradaci v papíru ISO.

Stárnutí vlhkým teplem

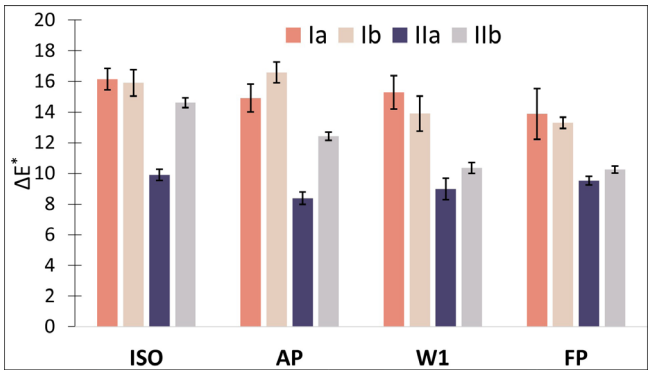
Při umělém stárnutí vlhkým teplem se charakter změn odlišuje. Nejvyšší hodnoty ΔE* byly zaznamenány u diazotypů typu Ia a Ib, zatímco typ IIa vykazuje nejmenší barevné změny (obr. 9).

Z hlediska obalových materiálů vykazuje nejlepší ochranný účinek fotopapír EMBA, u něhož jsou, s výjimkou typu IIa, pozorovány nejnižší hodnoty ΔE*. Druhým nejvhodnějším materiálem je papír Whatman 1, zatímco nejméně příznivé výsledky vykazuje papír ISO.

Vliv alkalického papíru je výrazně závislý na typu diazotypu: u typu IIa poskytuje nejlepší ochranu, u typu Ia vykazuje druhou nejmenší míru změn, u typu IIb druhou nejvyšší a u typu Ib dochází k největší barevné degradaci ze všech hodnocených kombinací.



Obr. 8 *Výsledné hodnoty celkových barevných diferencí vzorků diazotypů po umělém stárnutí suchým teplem / The resulting values of total color differences in diazotype prints after artificial aging by dry heat*



Obr. 9 *Výsledné hodnoty celkových barevných diferencí vzorků diazotypů po umělém stárnutí vlhkým teplem / The resulting values of total color differences in diazo prints after artificial aging with moist heat*

UV/Vis reflexní spektrometrie

Stárnutí suchým teplem

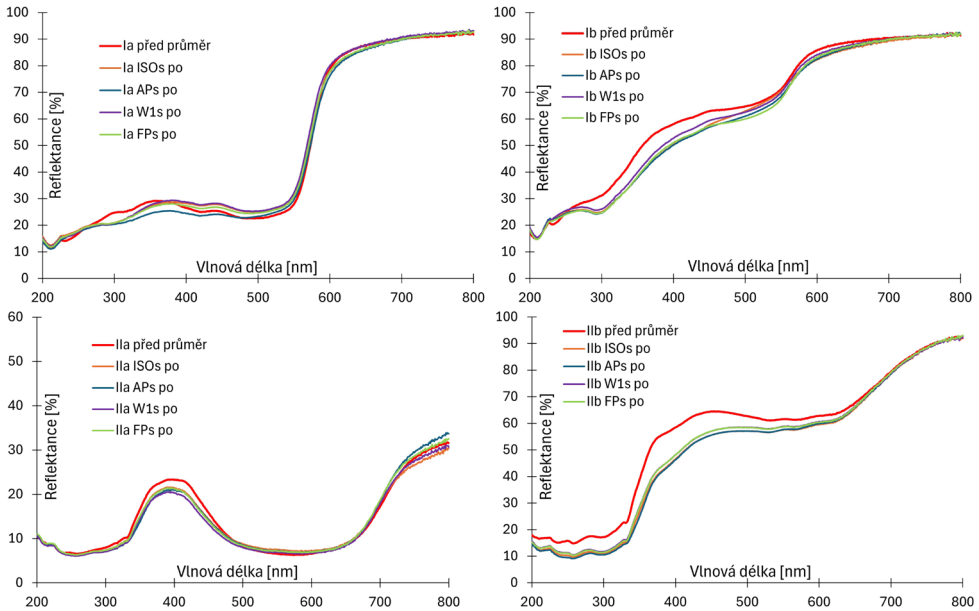
Výsledky UV/Vis reflexní spektrometrie po stárnutí suchým teplem jsou uvedeny na obr. 10 a v tab. 2. Nejvýraznější spektrální změny byly zaznamenány u vzorků Ib a IIb, kde došlo k významnému poklesu reflektance v rozsahu 270–550 nm (Ib) a 200–650 nm (IIb).

Porovnání poměrů integrálních ploch pod spektrálními křivkami ukazuje, že nejmenší změny byly ve většině případů zaznamenány u vzorků uložených v papíru Whatman 1. Výjimku představuje typ IIa, u něhož se tento obal naopak projevil jako nejméně vhodný. Nicméně rozdíly mezi jednotlivými hodnotami při stárnutí suchým teplem byly natolik malé (zejména u vzorků typu b), že provedené porovnání nevykazuje dostatečnou vypovídací hodnotu.

Analýza výšky spektrálních maxim v oblasti přibližně 400 nm dále ukazuje, že pokles reflektance narůstá v pořadí ISO, FP, AP a W1. Z hodnot integrálních ploch zároveň vyplývá, že ve většině ostatních případů vykazují největší spektrální změny vzorky uložené v alkalickém papíru.

Tab. 2 *Hodnoty poměrů integrálních ploch pod křivkami po umělém stárnutí suchým teplem a před stárnutím; hodnoty jsou označeny barevně dle postupného poklesu poměru: zelená > žlutá > oranžová > červená / Values of the ratios of the areas under the curves after artificial aging by dry heat and before aging; the values are color-coded according to the gradual decrease in the ratio: green > yellow > orange > red*

	ISO	AP	W1	FP
Ia	1,010	0,979	1,023	1,004
Ib	0,951	0,947	0,966	0,947
IIa	0,971	0,985	0,941	0,983
IIb	0,908	0,905	0,925	0,924



Obr. 10 *UV/Vis spektra vzorků diazotypů před a po umělém stárnutí suchým teplem; vlevo nahoře Ia, vlevo dole IIa, vpravo nahoře Ib, vpravo dole IIb / UV/Vis spectra of diazotype samples before and after artificial aging by dry heat; top left: Ia, bottom left: IIa, top right: Ib, bottom right: IIb*

Stárnutí vlhkým teplem

UV/Vis spektra vzorků po umělém stárnutí vlhkým teplem (obr. 11) vykazují ve všech případech výraznější pokles reflektance než při stárnutí suchým teplem. Největší změny jsou pozorovány u vzorků uložených v papíru ISO a v alkalickém papíru, zejména v oblasti krátkých a středních vlnových délek (cca 250–600 nm), která zásadně ovlivňuje výslednou barevnost. Tyto materiály tedy působí na diazotypické záznamy spíše degradačně.

Naopak fotopapír EMBA a papír Whatman 1 vykazují obecně více ochranný charakter, což se projevuje menšími změnami spektrálních křivek a vyššími hodnotami reflektance po stárnutí. Fotopapír EMBA přitom ve většině případů poskytuje nejvyšší stabilitu, zatímco papír Whatman 1 je mírně méně účinný a u typu IIa se dokonce jeví jako nevhodný.

Z hlediska jednotlivých diazotypů vykazují největší spektrální změny typy Ib a IIb, u nichž dochází k výraznému poklesu reflektance v širokém rozsahu vlnových délek. Typ Ia je relativně stabilnější, zatímco typ IIa se vyznačuje výrazným absorpčním maximem kolem 450 nm, jehož intenzita po stárnutí výrazně klesá, přičemž míra tohoto poklesu závisí na použitém obalovém materiálu.

Tato pozorování jsou v souladu s výsledky získanými z analýzy integrálních ploch pod spektrálními křivkami (tab. 3).

Tab. 3 *Hodnoty poměrů integrálních ploch pod křivkami po umělém stárnutí vlhkým teplem a před stárnutím; hodnoty jsou označeny barevně dle postupného poklesu poměru: zelená > žlutá > oranžová > červená / Values of the ratios of the areas under the curves after artificial aging by moist heat and before aging; the values are color-coded according to the gradual decrease in the ratio: green > yellow > orange > red*

	ISO	AP	W1	FP
Ia	0,853	0,886	0,934	0,945
Ib	0,695	0,702	0,740	0,731
IIa	0,827	0,834	0,783	0,950
IIb	0,804	0,836	0,857	0,853

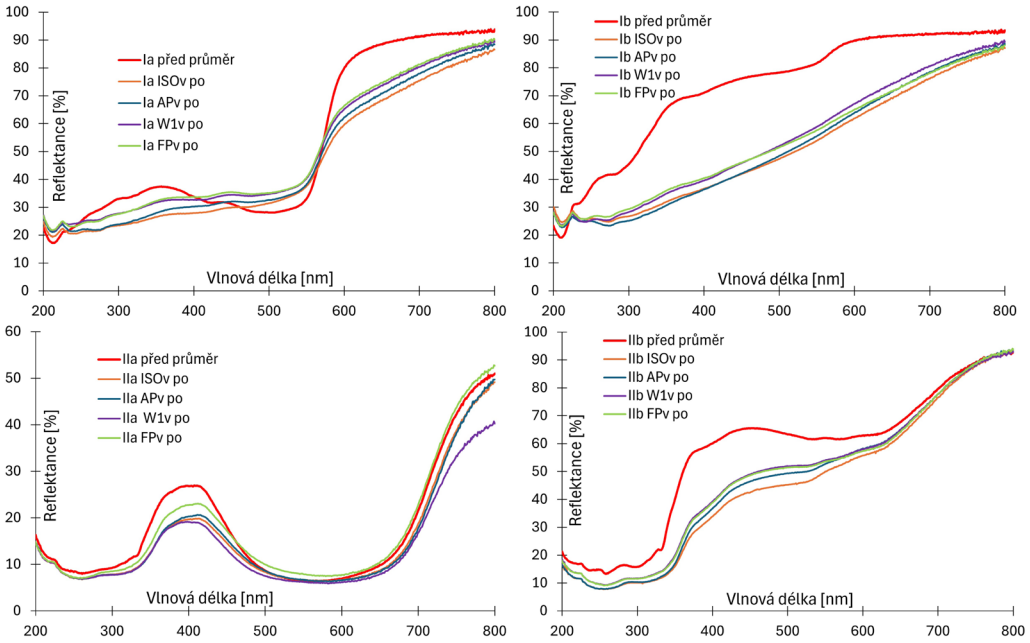
DISKUSE

Výsledky kolorimetrických měření v prostoru CIELAB a UV/Vis reflexní spektrometrie jednoznačně potvrzují, že degradace diazotypických záznamů je ovlivněna jak typem použitého vzorku, tak charakterem obalového materiálu a podmínkami umělého stárnutí. Oba režimy stárnutí vedly ke změnám barevnosti i spektrálních vlastností, jejich rozsah se však mezi jednotlivými typy diazotypů lišil.

Při stárnutí suchým teplem byly nejvýraznější změny pozorovány u diazotypů IIb a Ib, což koreluje s výrazným poklesem reflektance v oblasti přibližně 250–600 nm, odpovídající absorpčním maximům azobarviv. Naopak diazotypy Ia a IIa vykazovaly vyšší míru stability. Při stárnutí vlhkým teplem se tento trend mění: nejvyšší barevné diference byly zaznamenány u typů Ia a Ib, zatímco typ IIa byl relativně nejstabilnější. Tento rozdíl naznačuje odlišné degradační mechanismy jednotlivých azobarviv v přítomnosti vlhkosti.

Významnou roli sehrály také obalové materiály. Fotopapír EMBA vykazoval ve většině případů nejnižší hodnoty ΔE* i nejmenší spektrální změny, což svědčí o jeho relativně inertním charakteru. Papír Whatman 1 poskytoval rovněž dobrý ochranný účinek, jehož efektivita však nebyla konzistentní, zejména u typu IIa. Naproti tomu ISO papír, a především alkalický papír vedly k výraznějším barevným i spektrálním změnám, zejména při stárnutí vlhkým teplem. Tento efekt lze pravděpodobně přičíst jejich chemické reaktivitě, schopnosti ovlivňovat lokální pH a interakci s vlhkostí.

Dobrá shoda mezi výsledky získanými metodami CIELAB a UV/Vis spektrometrie potvrzuje, že dominantním degradačním mechanismem je rozklad chromoforů azobarviv. To se projevuje poklesem reflektance a změnami barevného vjemu. U exponovaných vzorků (tj. vzorků s nižším obsahem chromoforů) docházelo k obdobným barevným změnám jako u vzorků neexponovaných, což může být také částečně způsobeno degradací samotné papírové podložky.



Obr. 11 *UV/Vis spektra vzorků diazotypů před a po umělém stárnutí vlhkým teplem; vlevo nahoře Ia, vlevo dole IIa, vpravo nahoře Ib, vpravo dole IIb / UV/Vis spectra of diazotype samples before and after artificial aging by moist heat; top left: Ia, bottom left: IIa, top right: Ib, bottom right: IIb*

ZÁVĚRY

Výsledky experimentu prokazují, že volba obalového materiálu má zásadní vliv na rychlost i charakter degradace diazotypických záznamů. Z testovaných materiálů se jako nejvhodnější dlouhodobě jevil fotopapír EMBA, který vykazoval nejnižší barevné diference a nejmenší spektrální změny při stárnutí suchým i vlhkým teplem. Relativně příznivých výsledků dosahoval také papír Whatman No. 1, jehož ochranný účinek však nebyl ve všech případech konzistentní.

Naopak ISO papír a zejména alkalický papír se ukázaly jako nevhodné, neboť u většiny vzorků vedly k výraznějším změnám barevnosti a poklesu reflektance, především za zvýšené relativní vlhkosti.

Současně bylo prokázáno, že jednotlivé typy diazotypů reagují na obalové materiály odlišně, a proto nelze volbu obalu zobecnit bez ohledu na charakter záznamu. Studie tak poskytuje experimentálně podložený základ pro informovaný výběr obalových materiálů při ochraně diazotypických archiválií.

Na základě získaných výsledků lze mezi doporučené obalové materiály pro diazotypie zařadit fotopapír EMBA. Naopak méně vhodné a potenciálně rizikové obaly jsou papír s alkalickou rezervou a papír pro dokumenty dle ČSN ISO 9706.

Závěry této studie budou také v budoucnu konfrontovány s výsledky experimentů provedených na originálních historických vzorcích diazotypů, přičemž by měly být provedeny i testy mechanické odolnosti papírových podložek.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla v rámci projektu NAKI III (DH23P03OVV070) podpořeného prostředky Ministerstva kultury ČR.

LITERATURA

- AVERY, Melina. Ozalids in the Music Library: Life Before Xerox. *The Book and Paper Group Annual*. 2012, vol. 31, s. 17–23.
- BENEŠ, Oldřich. Diazotypie. In: *Fotografie dokumentů. Modrotisk – Diazotypie – Reflektografie – Reprodukce – Mikrofilm – Mikráty*. Praha: Orbis, 1949, s. 29–35.
- BÍLKOVÁ, Lenka a BARTL, Benjamin. Možnosti zlepšení čitelnosti vybledlých diazotypií. *Fórum pro konzervátory-restaurátory*. 2025, vol. 15, no. 1, s. 15–20.
- COULBOURNE, Mark; DRAPER, Bryan; TRIM, Alexandra; FRANK, Cindy; ELLIOTT, Kirsten a CONANT, Charlotte. Preserving Architectural Heritage: The Transition of Diazo Prints to Digital Archives. *Visual Resources Association Bulletin*. 2025, vol. 52, no. 1, s. 1–16.
- DEROSE, Elizabeth C. León Ferrari's Heliografias. *Art in Print*. 2015, vol. 5, no. 3, s. 27–31.
- DUCCI, Matthias. Diazotype – A Historical Copying Process. *World Journal of Chemical Education*. 2021, vol. 9, no. 4, s. 136–143.
- HEMMENWAY, Dana C. Francesca Woodman's Untitled Diazotype. *Topics in Photographic Preservation*. 2013, vol. 5, s. 426–437.
- JACOBSON, Kurt I. a JACOBSON, Ralph E. Diazo systems. In: *Imaging systems: mechanisms and applications of established and new photosensitive processes*. London: Focal Press, 1976, s. 158–180.
- KALINOVSKÝ, Karel. Diazotypie (ozalidové kopie). In: *Rozmnožujeme pohotově a dokonale*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, s. 89–95.
- KLIMEŠ, Stanislav; TAUC, Jaroslav a ČERMÁK, František. Problematika technologického výzkumu některých reprografických papírů – diazografický a elektrografický papír. *Papír a celulóza*. 1980, vol. 35, no. 3, s. 68–74.
- KNOTEK, Vítězslav; GÖRTLER, Ondřej a ĎUROVIČ, Michal. Properties of lignocellulosic packaging materials for the long-term storage of diazotype records in depositories. *Koroze a ochrana materiálu*. 2025, vol. 69, no. 1, s. 34–42.
- KOERNER, Jennifer a POTJE, Karen. Testing and Decision-Making Regarding the Exhibition of Blueprint and Diazotypes at the Canadian Centre for Architecture. *The Book and Paper Group Annual*. 2002, vol. 21, s. 15–23.
- MIKŠOVSKÝ, Miroslav. *Kartografická polygrafie a reprografie*. Praha: ČVUT, 2009.
- PARMEGGIANI, Fabio. Fear of the Dark: Diazo Printing by Photochemical Decomposition of Aryldiazonium Tetrafluoroborates. *Journal of Chemical Education*. 2014, vol. 91, no. 5, s. 692–695.
- PRICE, Lois Ollcot. Diazo. In: *Line, Shade and Shadow: The Fabrication and Preservation of Architectural Drawings*. New Castle: Oak Knoll Press, 2010, s. 198–202.
- PSAP. Diazo Print (Architecture). Online. In: *Preservation Self-Assessment Program*. University of Illinois. Dostupné z: https://psap.library.illinois.edu/collection-id-guide/archdrawingrepro#diazoprint-arch. [cit. 2026-03-25].
- PSAP. Diazo Print (Office). Online. In: *Preservation Self-Assessment Program*. University of Illinois. Dostupné z: https://psap.library.illinois.edu/collection-id-guide/officeprintcopy#diazoprint-office. [cit. 2026-03-25].
- SOUKUP, Jiří; ŠAMÁNEK, Josef a VEREŠ, Juraj. Kopírování a rozmnožování výkresů a dokumentace – Planografické (světlokopírovací) metody. In: *Stavební výkresy pozemních staveb*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1969, s. 145–148.
- ŠIMKOVÁ, Marie a ŠIMEK, Jaroslav. Diazotypie. In: *Kvalifikační příručka fotografa a laboranta*. Praha: Práce, 1973, s. 326–329.
- TŮMOVÁ, Marta. *Moderní diazotypie v knihovnách a útvarech VTEI. Metodický leták č. 69*. Praha: UVTEI, 1968.
- VILELA, Marta; Ferreira, Luísa M. a VIEIRA, João. Discolouration of Architectural Photoreproductions Causes and Prevention. *Restaurator*. 2006, vol. 27, no. 1, s. 1–8.
- WESSLING, Margaret; GLASER, Greta a SANDERSON, Katherine. Technical Investigation of the effects of light and Humidity on Diazotypes. *Topics in Photographic Preservation*. 2015, vol. 16, s. 33–45.
- *The Whiteprint in Architectural Design Practice*. Online. In: Nieuwe instituut. Dostupné z: https://nieuweinstituut.nl/en/projects/invented-from-copies/de-witdruk. [cit. 2026-03-25].