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.2026.2.074

TECHNICKÉ MUZEUM V BRNĚ

METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE

# RESTAUROVÁNÍ LAMINOVANÉHO PAPÍROVÉHO PLÁNKU Z PROVOZU HISTORICKÉHO SYPACÍHO VOZU ŠKODA LIAZ MTSP 25

**Tereza Kubalová · Karel Rapouch**

Metodické centrum konzervace, Technické muzeum v Brně

**BcA. Tereza Kubalová vystudovala bakalářský obor Konzervování a restaurování papíru, knižní vazby a dokumentů na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice. Momentálně pracuje jako konzervátorka papíru v Metodickém centru konzervace TMB. (kubalova@tmbrno.cz)**

Příspěvek se zabývá restaurováním laminovaného papírového plánku, který byl nalezen v sypacím voze ŠKODA Liaz MTSP 25. Vozidlo je součástí sbírky Technického muzea v Brně. Restaurovaný objekt je orientační plánek pro posádku tohoto vozidla a sloužil jako návod pro údržbu silnic v okolí Jaderné elektrárny Dukovany.
Dokument byl zataven v komerční laminační fólii, jejíž degradace a znečištění vedly ke snížení čitelnosti a zhoršení stavu papírové podložky. Cílem studie je popsat provedený konzervátorsko-restaurátorský zásah a zasadit problematiku laminace do širšího materiálového kontextu.
Teoretická část shrnuje vývoj laminace a věnuje se degradaci kopolymerů ethylenu (EVA – ethylenvinylacetát, EEA – ethylen-ethylakrylát) a jejich vlivu na papír. Praktická část zahrnuje materiálový průzkum, který identifikoval laminaci jako kombinaci polyethylentereftalátové fólie a adhezní vrstvy na bázi EEA. Restaurátorský zásah spočíval v oddělení laminace od papíru, odmaštění, čištění, stabilizaci a zpevnění papírové podložky. Výsledkem bylo zlepšení fyzického stavu a čitelnosti dokumentu.
**Klíčová slova:** papír, laminace, laminační fólie, degradace syntetických polymerů, termoplasty

**RESTORATION OF A LAMINATED PAPER ORIENTATION MAP FROM A HISTORIC ŠKODA LIAZ MTSP 25 GRIT-SPREADING TRUCK**
The paper presents the restoration of a laminated paper orientation map found in a grit-spreading truck ŠKODA LIAZ MTSP 25. The vehicle forms part of the collection of the Technical Museum in Brno. The restored object is an orientation plan intended for the crew of the vehicle and served as a guide for winter road maintenance in the vicinity of the Dukovany Nuclear Power Plant. The document had been sealed in a commercial lamination film whose degradation led to reduced legibility and deterioration of the paper support. The aim of the study is to describe the restoration treatment carried out and to place the issue of lamination within a broader material context.
The theoretical section summarizes the development of lamination and discusses the degradation of ethylene copolymers (EVA – Ethylene-vinyl acetate, EEA – Ethylene Ethyl Acrylate) and their effects on paper. The practical section includes material analysis, which identified the lamination as a combination of Polyethylene terephthalate film and an adhesive layer based on EEA. The conservation treatment involved separating the lamination from the paper, degreasing, cleaning, stabilization, and consolidation of the paper support. The result was an improvement in both the physical condition and legibility of the document.
**Key words:** paper, lamination, lamination film, degradation of synthetic polymers, thermoplastics

Součástí sbírky historických vozidel Technického muzea v Brně je řada doprovodné dokumentace, která dokládá jejich účel a způsob používání. Jedná se o cenné relikty související s technickými návody, specifikací jízdních parametrů či údajů jejich majitelů. Míra zachování těchto papírových záznamů je velice různorodá a často ovlivněná používáním během provozování vozidel. Příkladem je i plánek pro sypací vůz ŠKODA Liaz MTSP 25, určený k navigaci během ošetřování silniční komunikace v okolí Jaderné elektrárny Dukovany. Tento dokument byl zatavený v laminační fólii, jejíž degradace zhoršila čitelnost obsahu a přispěla k celkovému znehodnocení papírové podložky. Záměrem konzervátorsko-restaurátorského zásahu bylo separovat jednotlivé materiály a zejména zachránit technický plánek na papíře. Vzhledem k tomu, že obdobných laminovaných dokumentů je ve sbírce velké množství, cílem studie bylo i zpracovat základní přehled historie laminování a rizik vzájemného působení degradovaného plastu na papír. Zkušenosti a výsledky z této případové studie pak lze využít při nastavení vhodných konzervátorsko-restaurátorských zásahů na dalších dokumentech.

## HISTORIE LAMINACE

Již od dávných dob se objevovaly snahy o ochranu papírového média a informací nebo uměleckých děl na něm zaznamenaných. Tyto snahy se přitom uplatňovaly ve dvou odlišných rovinách. Na jedné straně stojí klížení papírové podložky, které je součástí samotné technologie výroby papíru a ovlivňuje jeho základní vlastnosti ještě před nanesením záznamového prostředku. Na straně druhé pak existují dodatečné zásahy aplikované až na hotové dílo, jejichž cílem je zvýšit jeho odolnost vůči mechanickému poškození či nepříznivým vlivům prostředí.
Právě v rámci těchto sekundárních ochranných úprav byly v historii využívány různé látky, například kasein, pryskyřice nebo želatina, jakožto fixační prostředky [Mayer, 1991]. Právě želatina později nalezla uplatnění zejména v oblasti fotografie, kde nesla a zároveň chránila citlivou obrazovou vrstvu. Na konci 19. století byl jako ochranná laminující vrstva, například u litografií, využíván celuloid (nitrát celulózy plastifikovaný kafrem) [Lorenz, S. – Lorenz, M. 2015].
Snaha o laminování papírových dokumentů se objevuje již před nástupem plastů. Doklady dochované na samotných restaurovaných artefaktech ukazují, že k laminování poškozených dokumentů byl nejméně od poloviny 19. století používán průsvitný papír, obvykle označovaný jako hedvábný. První zmínky o těchto technikách v odborné literatuře pocházejí z roku 1837 ve Spojených státech a z roku 1858 v Evropě. K laminaci dokumentů byly využívány také další materiály, například hedvábí nebo japonský papír [Roggia – Sally, 1999].

V současnosti je pojem laminování spojován především s použitím syntetických polymerních materiálů. U technik využívajících nosné podložky z přírodních materiálů se častěji uplatňuje označení skeletizace. Samotný rozvoj laminování v dnešním slova smyslu proto souvisí až s nástupem syntetických polymerů a výrobou skutečných laminovacích fólií.

Významnou osobností spojenou s rozvojem těchto postupů byl americký chemik a konzervátor William James Barrow, který se ve 30.–40. letech 20. století věnoval výzkumu a aplikaci acetátu celulózy v konzervátorské praxi. Transparentní termoplastické fólie využíval ke zpevňování degradovaných dokumentů, přičemž jeho typický postup spočíval ve vytvoření „sendviče", kdy byl dokument vložen mezi dvě vrstvy tenké fólie (často v kombinaci s japonským papírem) a následně zalisován za zvýšené teploty. V průběhu několikaletého výzkumu Barrow postupně upravoval technologii i složení samotných fólií.

Po mnoho let byly Barrowovy postupy s velkým nadšením využívány v institucích po celém světě, stejně jako jeho patentované válcové laminovací stroje [Woodward, 2017]. Jak uvádí National Archives bulletin, laminace acetátem celulózy byla v určité době vnímána téměř jako univerzální řešení pro záchranu dokumentů [Roggia, 1999].

Teprve v 70. letech 20. století se však začalo odborné mínění proti tomuto způsobu ošetření postupně obracet. V roce 1973 Národní archiv USA uvedl, že se nachází ve fázi „hloubkové studie možností nahrazení procesu laminace", a zároveň konstatoval existenci „důkazů, že tento proces není bez některých škodlivých účinků". K definitivnímu ústupu od těchto praktik v konzervátorské praxi však dochází až na konci 80. let 20. století [Woodward, 2017].

Z dnešního pohledu jsou Barrowovy laminace s fóliemi na bázi acetátu celulózy považovány za problematické, zejména s ohledem na jejich omezenou reverzibilitu, nutnost použití zvýšené teploty a tlaku během procesu a na degradační produkty vznikající stárnutím použitých termoplastů.

Jedna z významných kritik Barrowových metod se objevila v článku Frazera G. Poolea z roku 1976, kde autor zdůrazňuje enkapsulaci jako vhodnější formu ošetření [McGath, 2017]. Zároveň Poole poukazuje na výhody polyesterových fólií, které se následně prosadily jako preferovaný materiál; materiály na bázi polyethylentereftalátu (zkr. PET) si postupně získaly postavení tzv. „archivních" materiálů a začaly být doporučovány pro konzervátorské využití – příkladem jsou fólie Melinex.

Enkapsulace, označovaná také jako vakuové zatavení dokumentů, spočívá v tom, že je dokument vložen mezi dvě fólie, které jsou po odsátí vzduchu svařeny po obvodu [Ďurovič, 2002]. Dokument tak nepřichází do přímého kontaktu s žádnou adhezivní složkou. Důležité je, aby byl papír předem dezinfikován a neutralizován, jak zdůrazňuje již Barrow.

Vedle termoplastických laminačních systémů existuje v restaurátorské praxi také tzv. studená laminace, při níž je adhezní vrstva aktivována rozpouštědlem. V českém prostředí byly připravovány například laminovací fólie tvořené japonským papírem impregnovaným polyvinylacetátovou disperzí Duvilax BD 20, později též polyakrylátovou disperzí Sokrat 6492. Fólie se přikládala na dokument natřený rozpouštědlem a celý systém byl následně zalisován. Výhodou této metody bylo omezení tepelného zatížení dokumentu, nevýhodou však zůstávala obtížná možnost dekonzervace vzniklých filmů a riziko slepování sousedních listů při dlouhodobém uložení. Z těchto důvodů byly později upřednostňovány fólie z japonského papíru impregnovaného pravými roztoky polymerů nebo jiné konzervátorsky vhodnější systémy [Ďurovič, 2002]. Příkladem využití tohoto principu jsou adhezivní japanové fólie rozvíjené v Národní knihovně ČR Ondřejem Lehovcem, u nichž je jako adhezivum využívána hydroxypropylcelulóza. Kromě fólií připravovaných přímo v restaurátorských dílnách se postupně začaly uplatňovat také komerčně vyráběné materiály určené pro zpevňování papírových dokumentů, zejména v knihovnách a archivech. Příkladem je Filmoplast R, tvořený japonským papírem opatřeným teplem aktivovatelným adhezivem.

Zatímco v oblasti ochrany a konzervování papírových dokumentů byly klasické laminace termoplastickými fóliemi od 70. let 20. století postupně opouštěny ve prospěch šetrnějších metod, v průmyslovém sektoru docházelo k dalšímu rozvoji laminačních technologií. Od poloviny 20. století se začínají ve větší míře uplatňovat tavná lepidla (*hot-melt adhesive*) a mezi nimi nejčastěji:

- polyethyleny nebo jiné polyolefiny a směsi polyolefinů,
- kopolymery ethylenvinylacetátu a jejich hydrolyzované verze, ethylen-ethyl akrylát,
- vybrané druhy kopolyesterů/kopolyamidů smíchané s novolakovými (fenolformaldehydovými) pryskyřicemi a plnivy a také dimerní polyamidy na bázi kyselin,
- nylon, polyestery, polyuretany,
- styren-butadienový kopolymer [Ghosh, 2008].

Kombinace polypropylenové nebo polyesterové nosné vrstvy a EVA (ethylenvinylacetát) lepicí vrstvy se v následujících dekádách stala standardem komerční laminace a dnes se v tomto složení vyskytuje nejčastěji. Z tohoto důvodu se text dále zaměřuje na degradaci EVA, který je při laminaci v přímém kontaktu s papírovým objektem. Dále je krátce zmíněná i degradace EEA (ethylenethylakrylát) kvůli dále řešenému konzervovanému objektu.

## DEGRADAČNÍ PROCESY EVA A EEA A JEJICH VLIV NA PAPÍR

Polyethylenvinylacetát (EVA) je kopolymer ethylenu a vinylacetátu, přičemž hmotnostní podíl vinylacetátu se obvykle pohybuje v rozmezí 10–30 %, zbytek tvoří ethylen. V základní formě se jedná o termoplastický kopolymer, který při vyšším obsahu vinylacetátu vykazuje výraznou elasticitu. EVA se vyznačuje dobrou adhezí k širokému spektru materiálů, relativně vysokou permeabilitou vůči plynům a vodním parám a příznivými mechanickými vlastnostmi. Díky těmto charakteristikám nachází uplatnění například při výrobě vícevrstvých fólií [Špelda, 2021].

Degradační procesy v EVA jsou podrobně popsány zejména v pracích zaměřených na fotovoltaický průmysl [Oliveira, 2018; Oreski, 2009; aj.], kde je ethylenvinylacetát dominantním zapouzdřovacím materiálem (encapsulant). EVA je zde využíván ve většině solárních modulů k ochraně křemíkových článků, přičemž zajišťuje mechanickou stabilitu, elektrickou izolaci a omezuje pronikání vlhkosti.

Degradace EVA probíhá působením několika základních mechanismů, zejména UV zářením, zvýšenou teplotou a vlhkostí. Tyto vlivy vedou ke vzniku radikálů a postupnému štěpení polymerního řetězce. Jednotlivé degradační mechanismy se přitom vzájemně ovlivňují a jejich průběh závisí na konkrétních podmínkách prostředí.

Při degradaci EVA vznikají nízkomolekulární produkty, z nichž nejvýznamnější je kyselina octová. Ta může způsobovat okyselení papíru, čímž přispívá k degradaci celulózy. Její přítomnost je často doprovázena charakteristickým octovým zápachem. Kromě ní vznikají také další látky, například aldehydy nebo peroxidy, které mohou degradační procesy dále podporovat.

Degradace se projevuje i viditelnými změnami materiálu, jako je žloutnutí až hnědnutí fólie (může souviset i s rozkladem přítomných aditiv), snížení průhlednosti, ztráta pružnosti, nebo vznik bublin a delaminace v důsledku uvolňování kyseliny octové a dalších těkavých látek [Oliveira, 2018].

V oblasti konzervování a archivnictví se EVA uplatňuje například ve formě lepidel používaných pro vazbu knih. Speciálně formulované archivní EVA emulze jsou navrhovány tak, aby neobsahovaly plastifikátory, vykazovaly přibližně neutrální pH a minimalizovaly vznik kyseliny octové.[1]

Ethylenvinylacetát je rovněž hlavní složkou často používaného lepidla BEVA 371, vyvinutého v roce 1970 Gustavem Bergerem. Studie zaměřené na dlouhodobou stabilitu tohoto materiálu ukazují, že i když lze na stárnutých vzorcích detekovat malé množství kyseliny octové, k výraznějším degradačním změnám dochází až za podstatně extrémnějších světelných a tepelných podmínek, než jaké se běžně vyskytují v muzejním a galerijním prostředí [Ploeger, 2014].

Kopolymer ethenu a ethyl prop-2-enoátu[2] (často označovaný spíše jako kopolymer ethylen-ethylakrylát – EEA) patří stejně jako EVA mezi kopolymery ethylenu, liší se však přítomností akrylátové složky namísto acetátové. Z hlediska degradace vykazuje EEA některé společné rysy s EVA, zejména náchylnost k fotooxidačním procesům vedoucím ke štěpení polymerního řetězce a vzniku nízkomolekulárních degradačních produktů. Na rozdíl od EVA však EEA neobsahuje acetátové skupiny, a proto při jeho degradaci nedochází k uvolňování kyseliny octové. Degradační produkty EEA zahrnují kromě těkavých uhlovodíků (ethylen, butylen), vznikajících při esterové pyrolýze, také oxidované organické sloučeniny, jako jsou karboxylové kyseliny a další karbonylové sloučeniny [Oreski, 2009].

Na základě dostupných studií lze EEA ve srovnání s EVA považovat za relativně stabilnější materiál, neboť jeho degradace není spojena s uvolňováním kyseliny octové, která představuje riziko pro stabilitu papírové podložky.

Je však třeba dodat, že poznatky o degradaci kopolymerů ethylenu, včetně EVA a EEA, vychází ze studií zaměřených na fotovoltaické moduly, kde jsou tyto materiály dlouhodobě vystaveny zvýšeným teplotám a intenzivnímu UV záření. Takové podmínky jsou výrazně odlišné od prostředí muzejních a galerijních institucí, kde lze očekávat relativně stabilní klima a omezenou expozici světlu, a tedy i pomalejší průběh degradačních procesů. Použití těchto materiálů ve formě lepidel, zejména v jejich modifikovaných recepturách, by tak v rámci kontrolovaných podmínek neměl představovat problém.

*Obr. 1* *Místo nálezu papírového plánku – Škoda LIAZ MTSP 25. Foto © TMB / Place where the paper orientation map was found – Škoda LIAZ MTSP 25. Photo © TMB*

V kontextu průmyslově laminovaných objektů je však nutné počítat s tím, že se tyto materiály mohou v průběhu své existence ocitnout v různorodých a často nepříznivých podmínkách, které mohou zahrnovat kolísání teplot, dlouhodobé vystavení slunečnímu záření, mechanické zatížení i působení cizorodých látek.

## RESTAUROVÁNÍ PAPÍROVÉHO PLÁNKU Z PROVOZU SYPACÍHO VOZU ŠKODA LIAZ MTSP 25

### Popis objektu a jeho stav před konzervátorsko-restaurátorským zásahem

Objektem restaurování je papírový plánek, původně zatavený v laminační fólii. Jedná se o provozní návod určený pro posádku sypačů komunikací v zimním období v okolí Jaderné elektrárny Dukovany. Předmět byl nalezen v kabině řidiče posypového vozu ŠKODA Liaz MTSP 25, který je momentálně součástí sbírky Technického muzea v Brně (obr. 1). Podle údajů v technickém průkazu byl vůz do Dukovan převeden v roce 1995; lze proto předpokládat, že plánek pochází z tohoto období.

Nálezový stav objektu byl velmi špatný. Vzhledem k prostředí, ve kterém se nacházel, došlo k výraznému znečištění hydraulickým olejem. Laminační fólie byly silně kontaminovány mastnotou, na niž se následně vázaly další nečistoty; zároveň byly zažloutlé, deformované a místy mechanicky poškozené. Vyskytovaly se v nich trhliny, škrábance i zkrabacení materiálu (obr. 2, 3). Kvůli silnému znečištění fólie bylo obtížné číst informace v plánku.

*Obr. 2* *Detail degradace EEA termoplastické vrstvy – zažloutnutí a delaminace (foceno po očištění fólie). Foto © TMB / Detail of degradation of the EEA thermoplastic layer – yellowing and delamination (photographed after cleaning the film). Photo © TMB*

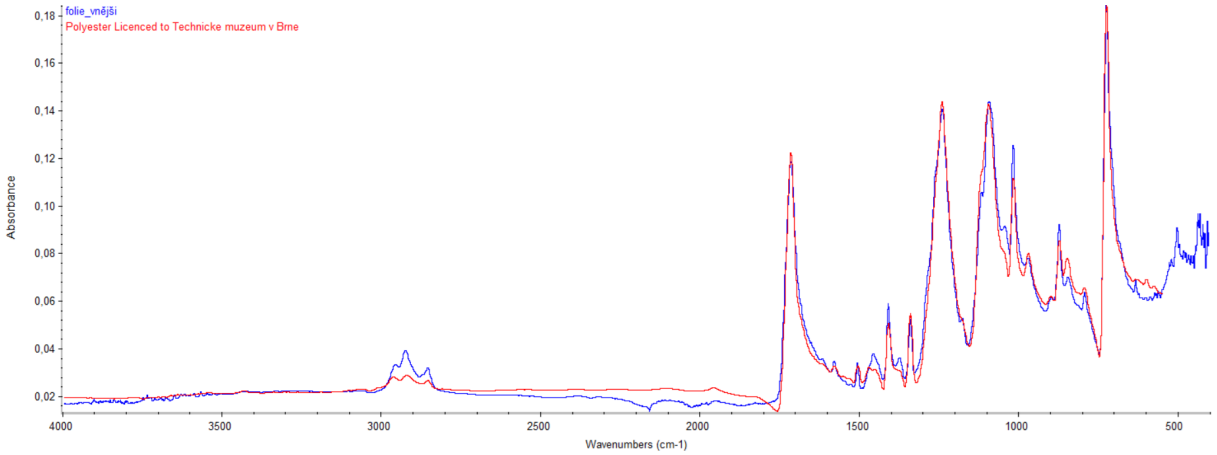
*Obr. 3* *Detail degradace EEA termoplastické vrstvy – zvrásnění a delaminace (foceno po očištění fólie). Foto © TMB / Detail of degradation of the EEA thermoplastic layer – wrinkling and delamination (photographed after cleaning the film). Photo © TMB*

Původně zatavené spoje se lokálně rozlepovaly, v důsledku čehož byl papírový podklad vystaven přímému působení okolního prostředí i olejové kontaminaci. Laminační fólie se rozvrstvovala na vnější, pevnější vrstvu a na vnitřní, tenčí, termoaktivní vrstvu. Do prostoru mezi těmito vrstvami pronikaly nečistoty a vlhkost, které dále podporovaly degradační procesy. V některých místech zůstaly části termoaktivní vrstvy přichycené na papírové podložce, s tím, že se od nosné fólie oddělovaly, a naopak, na některých místech tato vrstva štěpila již degradovaný papír.
Samotný papír byl silně promaštěný, výrazně oslabený a místy měl rozvlákněnou strukturu. Záznamové prostředky na plánku se jevily být relativně stabilní, i když v některých místech došlo k jejich ulpění na plastové fólii. V těchto místech však na papíře zůstaly viditelné stopy a informace tak setrvala čitelná. U pravého okraje dokumentu došlo k malé ztrátě materiálu a celkově byla tato strana více poškozená z důvodu celkové delaminace v této oblasti.

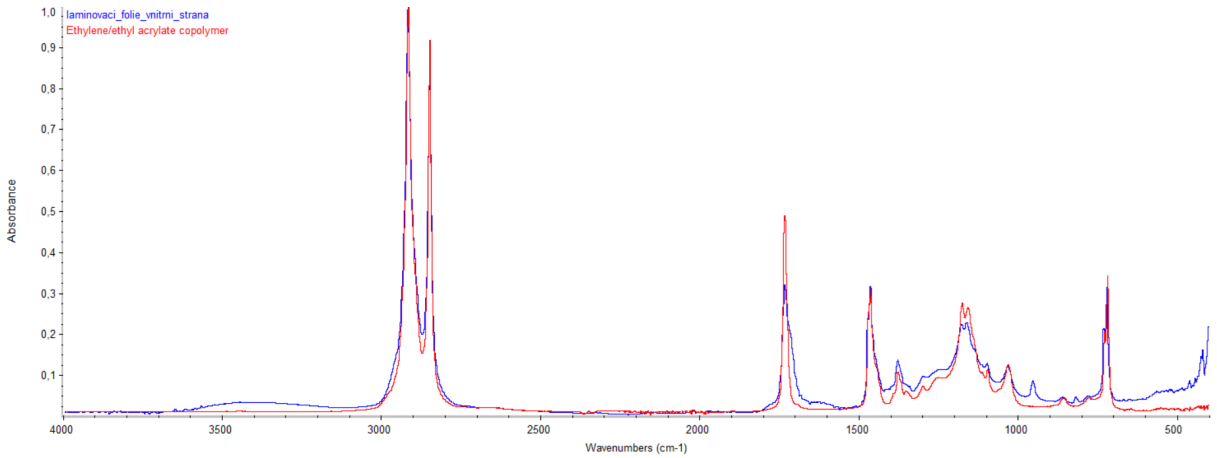
## PRŮZKUM

### *Fotodokumentace*

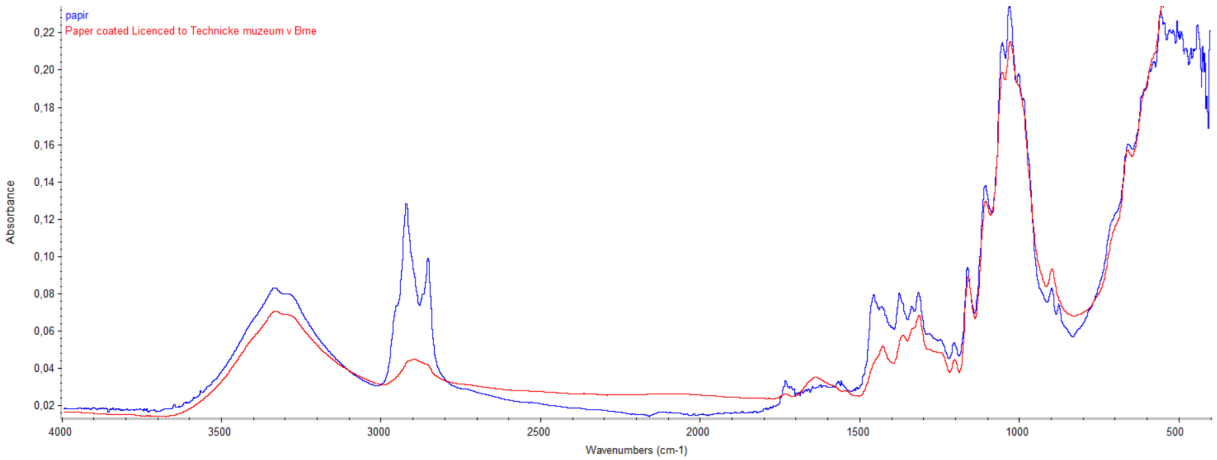
Fotografie stavu objektu před a po restaurátorském zásahu a fotografie z průběhu restaurování byly pořízeny na fotoaparát Nikon D5600. Makrosnímky byly pořízeny pomocí digitálního mikroskopu Dino-Lite Premier AM7013MZT.




*Obr. 4* *FTIR spektrum PET fólie (vnější vrstva laminovací fólie). Foto © TMB / FTIR spectrum of PET film (outer layer of the lamination film). Photo © TMB*



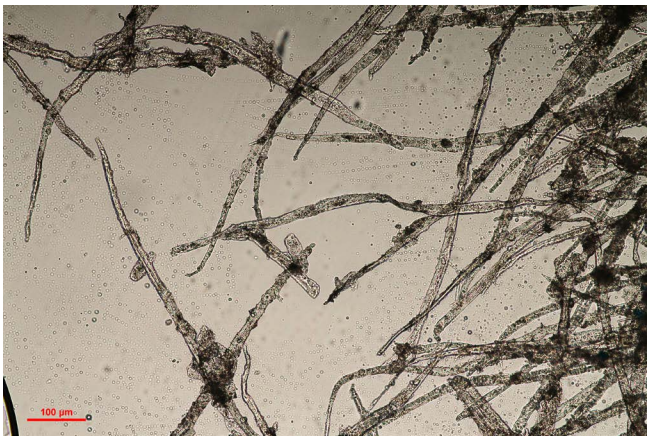

*Obr. 5* *FTIR spektrum EEA fólie (vnitřní termoplastická fólie). Foto © TMB / FTIR spectrum of EEA film (inner thermoplastic layer). Photo © TMB*




*Obr. 6* *FTIR spektrum papíru. Foto © TMB / FTIR spectrum of the paper. Photo © TMB*

### *Materiálový průzkum*

Pro přístup k restaurovanému plánku bylo nutné zjistit kromě materiálového složení papíru především složení laminovací folie, na což byla využita infračervená spektroskopie s technikou zeslabeného totální odrazu (ATR-FTIR).[3] Laminovací fólie byla na základě výsledků vyrobena z polyesterové fólie, konkrétně z polyethylentereftalátu (PET). Adhezní vrstva pak obsahovala kopolymer ethylen-ethylakrylát, tedy výše zmiňovaný materiál EEA. Spektra vzorků překrytá se standardy jsou uvedená na obr. 4, 5, 6. Dále byl zpracován průzkum papíru, a to jak určení druhů vláken mikroskopicky, tak i určení použitých aditiv pomocí prvkové rentgenfluorescenční analýzy (XRF).[4] Na snímku z mikroskopu lze pozorovat poměrně dlouhá, nepravidelně zploštělá vlákna s roztřepenými konci, což odpovídá vzhledu dřevitým vláknům obsahující lignin (obr. 7).[5] Pro důkaz přítomnosti dřevovinové složky v papíru byl proveden také test s Herzbergovým činidlem. Metodou XRF byla zjištěna přítomnost titanu a vápníku. Titan byl obsažen ve formě titanové běloby ($TiO_2$), obsah vápníku však není jasný. Pokud by papír byl plněn křídou ($CaCO_3$), tak by jeho pH muselo mít hodnotu vyšší než 7. Takto lze soudit, že se jedná spíš o znečištění z provozu posypového automobilu (obr. 8).



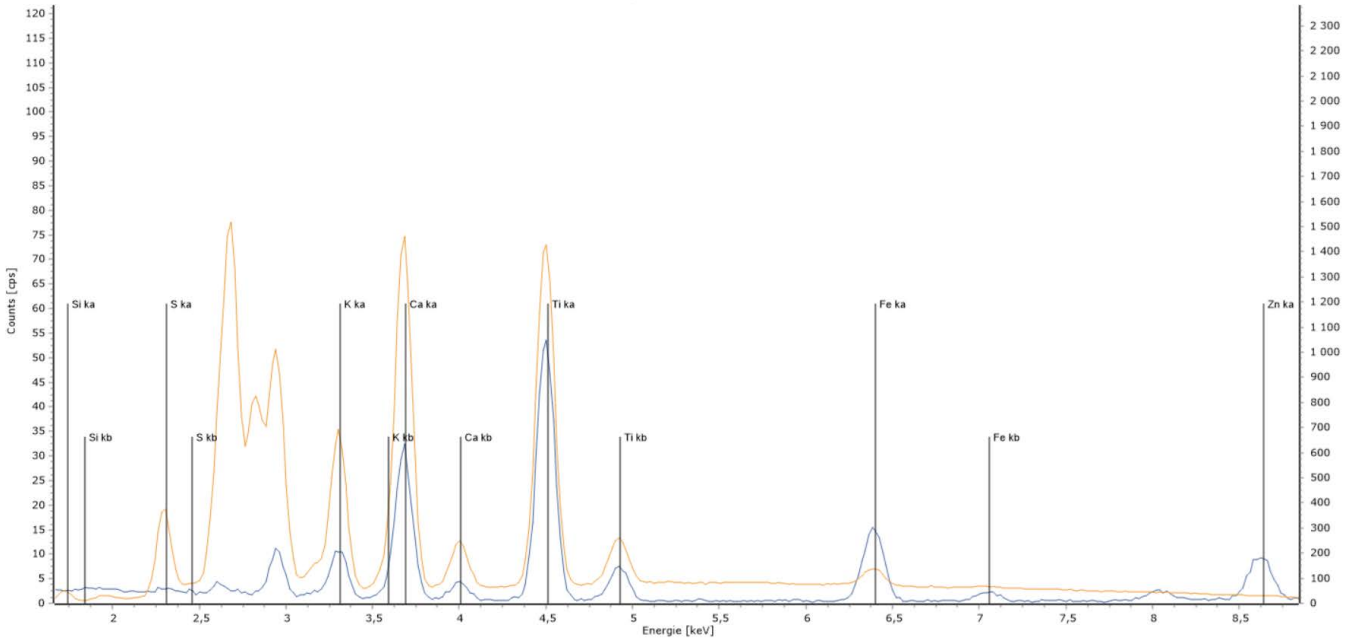

*Obr. 7* *Mikroskopický snímek celulózových vláken v papíru. Foto © TMB / Microscopic image of cellulose fibers in paper. Photo © TMB*

### *Měření hodnot pH papírové podložky*

U papírové podložky proběhlo měření pH pomocí dotykové elektrody a pH metru WTW ProfiLine pH3210. Místo měření se zakáplo demineralizovanou vodou. Průměrná hodnota naměřená před restaurováním činila 5,5 (tab. 1), tzn. papír byl mírně kyselý.

### *Zkoušky stability barevných vrstev*

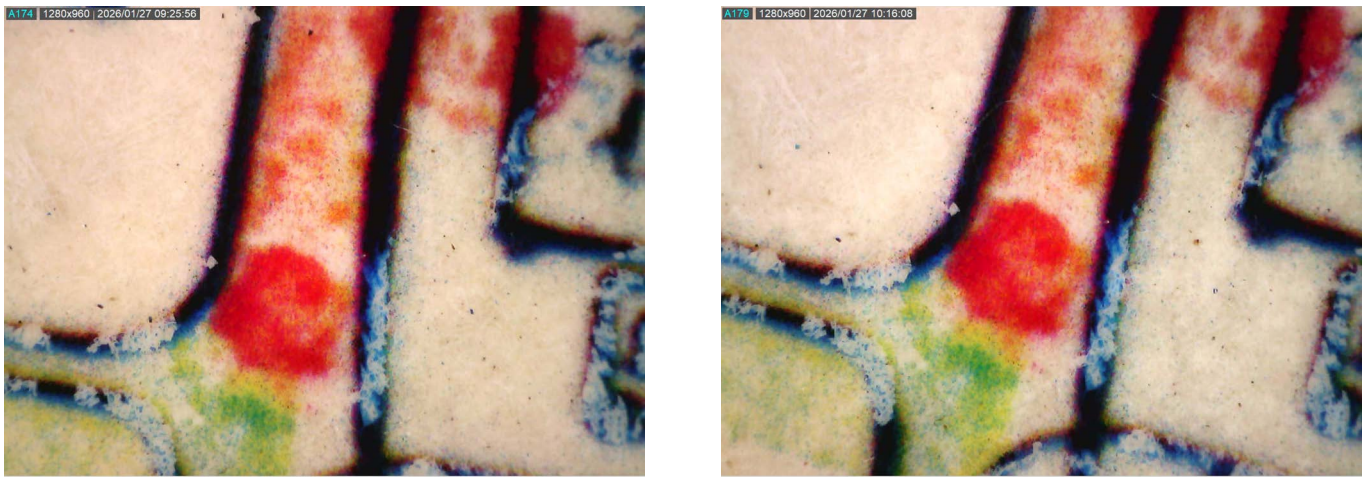
Plánek byl natištěn zřejmě inkoustovou barvou a v levém horním rohu se objevuje slovo dopsané popisovačem. U všech záznamových prostředků proběhly zkoušky rozpíjivosti, kdy se testovala reaktivita na vodu, izopropylalkohol a butylalkohol. Reakce byla pozorována pod digitálním mikroskopem Dino-Lite Premier AM7013MZT (obr. 9). Všechny záznamové prostředky se ukázaly být stabilní.




*Obr. 8* *XRF spektrum papíru (modrá křivka – pro paprsek 40 kV, oranžová křivka – pro paprsek 10 kV). Foto © TMB / XRF spectrum of the paper (blue curve – 40 kV beam; orange curve – 10 kV beam). Photo © TMB*

| | *Před čištěním* | *Po čištění isopropylalkoholem* | *Po čištění dem. vodou* |
|---|---|---|---|
| *Levý horní roh* | *5,2* | *5,9* | *6,6* |
| *Pravý horní roh* | *4,8* | *5* | *6,7* |
| *Levý dolní roh* | *6,1* | *6,3* | *7* |
| *Pravý dolní roh* | *5,8* | *5,8* | *6,7* |
| *Prostředek* | *5,8* | *5,9* | *7,1* |
| *Průměr* | *5,5* | *5,8* | *6,8* |

*Tab. 1* *Výsledky měření pH papírové podložky / Results of pH measurements of the paper support*




*Obr. 9* *Detail záznamových prostředků před a po analýze reaktivity na demineralizovanou vodu. Foto © TMB / Detail of the printed inks before and after testing their reactivity to demineralized water. Photo © TMB*

**Postup konzervování-restaurování**

Před zahájením konzervátorsko-restaurátorských prací byl stav objektu zdokumentován fotograficky. Po provedení analýz se přistoupilo k oddělení laminovací fólie z přední strany objektu.[6] Vzhledem k tomu, že byla přední fólie vlivem degradace již téměř zcela oddělena od papírového plánku a držela pouze v několika místech při okrajích, kde byla zatavena bez přítomnosti papíru, použil se k oddělení této strany fólie skalpel. Prořízutím fólie podél okrajů tak došlo k sejmutí přední strany fólie z objektu (obr. 10).

*Obr. 10* *Proces oddělování přední části laminační fólie od papíru a zadní části fólie. Foto © TMB / Process of separating the front part of the lamination film from the paper and the rear film layer. Photo © TMB*

*Obr. 11* *Čištění papírové podložky isopropylalkoholem na odsávacím stole. Foto © TMB / Cleaning of the paper support with isopropyl alcohol on a suction table. Photo © TMB*

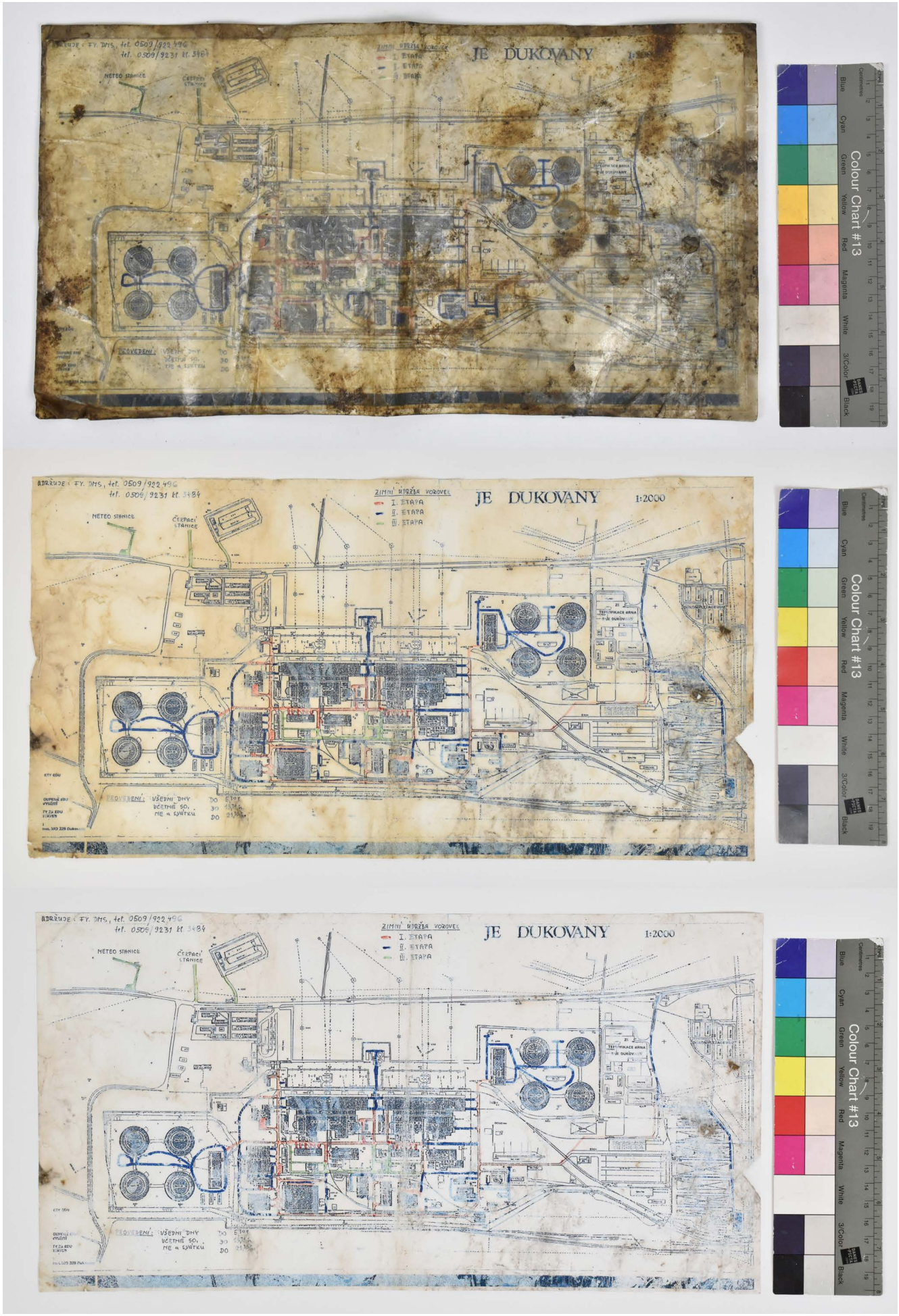
Následně byl celý objekt umístěn do hermeticky uzavřeného boxu k dezinfekci, jelikož se na papíru vyskytovaly skvrny připomínající mikrobiologické napadení. Jako dezinfekční prostředek byl použit 96% roztok butylalkoholu s vodou, který byl ponechán v komoře k volnému odpařování. Po 48 hodinách byl objekt vyjmut a ponechán v digestoři k odvětrání, načež následovalo mechanické čištění pomocí muzejního vysavače s kontrolovaným odtahem.

Po dezinfekci objektu se přistoupilo k oddělení papírového plánku od zadní strany fólie. Z této strany byl plánek stále z velké části k fólii přichycen. V některých místech bylo možné od sebe vrstvy oddělit mechanicky, v některých oblastech byl však papír s fólií ještě stále silně spjat. V těchto oblastech se přistoupilo k nahřátí termoplastické vrstvy, aby došlo k jejímu uvolnění od papírové podložky. Přes silikonový papír byla z vnější strany přiložena vyhřívaná restaurátorská špachtle,[7] zahřátá na cca 65 °C, což umožnilo následné oddělení papíru od plastu pomocí špachtličky. Na některých místech zůstaly na povrchu papíru drobné zbytky termoplastické fólie, které byly odstraněny stejným způsobem.

Papír byl v této fázi od fólie oddělen a vykazoval špatné mechanické vlastnosti – byl velmi oslabený, křehký a uvolňovala se z něj mastnota. Byl proto umístěn mezi filtrační papíry pod zátěž, aby se alespoň část mastnoty odstranila, než se přistoupilo k dalšímu čištění.

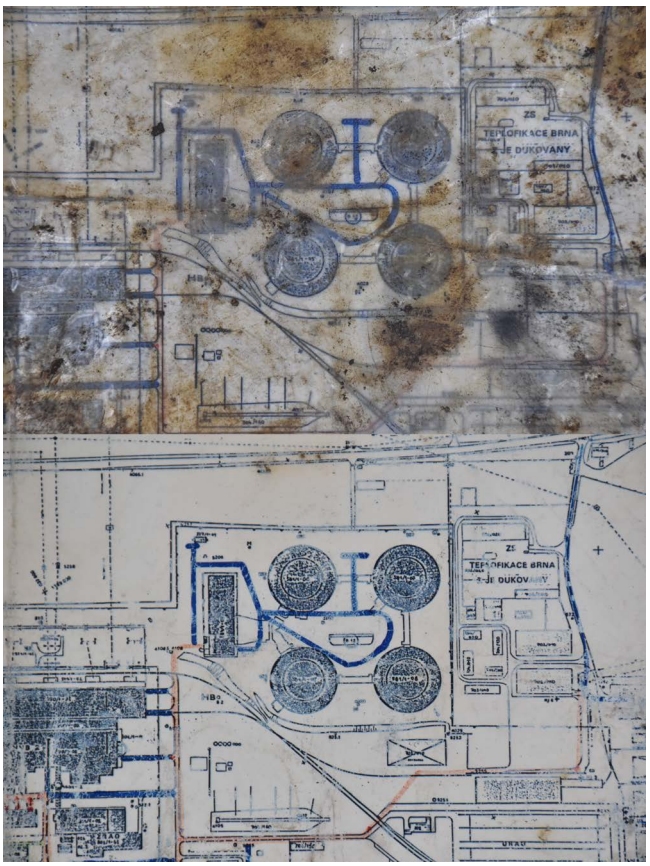
Plánek byl umístěn na odsávací stůl,[8] přičemž jeho okolí bylo zakryto polyethylenovou folií, aby se maximalizoval účinek odsávání v ošetřované oblasti. Za chodu odsávání byl papír postupně prolévání isopropylalkoholem, přičemž uvolněná mastnota byla odsávána do filtračního papíru umístěného pod objektem (obr. 11). Tento postup se opakoval až do chvíle, kdy se na filtračních papírech přestala objevovat odsátá mastnota.

Následně byla provedena zkouška čištění demineralizovanou vodou, při níž se ukázalo, že se z plánku uvolňují další nečistoty a navíc tak lze odstranit i kyselé produkty degradace papíru. Z těchto důvodů bylo další čištění realizováno stejným způsobem s použitím demineralizované vody. Po vyčištění byl papír zaklížen 1% roztokem Tylose MH 300 ve vodě. Po jeho zaschnutí následovalo kontrolní měření pH, při němž byla naměřena průměrná hodnota 6,8, tedy o jednotku vyšší oproti stavu před zásahem (tab. 1). Čištění papíru pomocí vodných systémů tedy vedlo ke zvýšení pH papíru na hodnoty v neutrální oblasti a bylo rozhodnuto, že místo dalšího odkyselovacího procesu bude upřednostněna stabilizace pH použitím obalového materiálu s alkalickou rezervou.




*Obr. 12* *Stav papírového plánku před, během a po restaurování. Foto © TMB / Condition of the paper map before, during, and after restoration. Photo © TMB*

*Obr. 13* *Stav papírového plánku před a po restaurování. Foto © TMB / Condition of the paper map before and after restoration. Photo © TMB*



*Obr. 14* *Detail papírového plánku před a po restaurování. Foto © TMB / Detail of the paper map before and after restoration. Photo © TMB*

Následovalo vyspravení ztrát dokumentu a jeho současné podlepení japonským papírem. K doplnění materiálových ztrát při levém okraji plánku byl použit japonský papír Shiohara o gramáži 40 g/m$^2$ a pro celoplošné podlepení byl zvolen papír Tengujo Kashmir o gramáži 8,6 g/m$^2$. Jako adhezivum bylo použité škrobové lepidlo. Objekt byl zalisován a za průběžné výměny filtračních papírů byl v lise ponechán k uschnutí.

Demontované laminační fólie byly očištěny pomocí vaty a isopropylalkoholu. Z důvodu obtisknutí části záznamového prostředku do fólie bylo rozhodnuto o jejím uchování a uložení spolu s restaurovaným dokumentem. V případě potřeby by tak mohla sloužit např. ke zhotovení digitální rekonstrukce apod., nicméně míra zachování záznamového prostředku v restaurovaném objektu slouží k čitelnosti informací dostatečně.

Na závěr byl papírový dokument adjustován na alkalickou lepenku BoxBoard (0,9 mm, 670 g/m$^2$), k níž byl uchycen utahovatelnými proužky z fólie Melinex 401 a vložen do obálky vyhotovené ze stejné fólie. Obě části demontované laminační fólie byly adjustovány samostatně, týmž způsobem. Objekt bude umístěn v depozitáři Technického muzea v Brně, odděleně od historického vozidla, jako součást jeho doprovodné dokumentace.

## ZÁVĚR

Předložená případová studie ukazuje, že průmyslová laminace papírových dokumentů může v dlouhodobém horizontu představovat riziko pro jejich fyzický stav i čitelnost. Degradační procesy syntetických polymerů, zejména v kombinaci s nevhodnými podmínkami uložení, vedou ke vzniku látek negativně ovlivňujících papírovou podložku a zároveň komplikují samotný restaurátorský zásah.

Na základě provedeného průzkumu bylo zjištěno, že v případě restaurovaného objektu tvořila nosnou vrstvu laminace polyesterová fólie (PET), zatímco adhezní vrstva byla založena na kopolymeru ethylen-ethylakrylátu (EEA). Přestože EEA nelze považovat za materiál zcela inertní, jeho degradační produkty nepředstavují z hlediska okyselování papíru tak výrazné riziko jako v případě EVA. Zásadní roli v degradaci dokumentu však sehrály především nevhodné podmínky prostředí během jeho užívání a kontaminace hydraulickým olejem, které vedly k výraznému zhoršení mechanických vlastností i celkové integrity papíru.

Restaurátorský zásah vedl k obnovení čitelnosti plánku a k jeho materiálové stabilizaci. Realizovaný postup zahrnoval oddělení laminační fólie od papírové podložky, následné čištění isopropylalkoholem a vodní čištění na odsávacím stole. Po doklížení a podlepení papírové podložky došlo k výraznému zlepšení fyzikálního stavu papíru. Zvolený způsob adjustace jednotlivých částí objektu umožňuje jeho studium bez nutnosti manipulace s originálem, čímž se minimalizuje riziko mechanického namáhání a poškození.

Získané poznatky lze využít při ošetřování dalších laminovaných dokumentů ve sbírkách Technického muzea v Brně i v širší konzervátorské praxi.

## SEZNAM POUŽITÝCH MATERIÁLŮ A CHEMIKÁLIÍ

- demineralizovaná voda
- Tylose MH 300 (metylhydroxyetylcelulosa, Ceiba, s. r. o.)
- pšeničný škrob (polysacharid, Ceiba, s. r. o.)
- isopropylalkohol ($C_3H_8O$, PENTA, s. r. o.)

- etanol 96% ($C_2H_6O$, PENTA, s. r. o.)
- butanol ($C_4H_{10}O$, Chemapol)
- japonský papír Tengujo Kashmir 8,6 g/m², Shiohara 40 g/m² (Ceiba, s. r. o)
- sterilní vata (100% bavlna)
- Hollytex 33 g/m² (netkaná textilie, 100% polyester, Ceiba, s. r. o.)
- filtrační papír (pH neutrální, bělená buničina, Papírna Pernštejn, s. r. o.)
- silikonový papír (Ceiba, s. r. o)
- alkalická lepenka BoxBoard, 0,9 mm, 670 g/m² (Ceiba, s. r. o)
- Melinex 401 (100% polyesterová folie, Ceiba, s. r. o)
- Filmoplast T, SH (samolepící páska archivní kvality z tkaného plátna, adhezní vrstva – polyakrylátová disperze, Ceiba, s. r. o)
- akrylové lepidlo Lascaux® 498 HV (butyl-methakrylátová vodní disperze zahuštěná kyselinou akrylovou, biocidy: 2-ethyl-4-isothiazolin-3-on, 1,2-benzisothiazol-3-(2H)-on, látky upravující pH (Lascaux Colours & Restauro)
- samolepící suché zipy (tesa tape, s. r. o.)

## PODĚKOVÁNÍ

*Odborný recenzovaný článek byl zpracován v rámci Institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Technické muzeum v Brně poskytované Ministerstvem kultury ČR na období 2024–2028.*
*Za pomoc děkujeme kolegům z TMB, jmenovitě Ing. Aleně Selucké, Martinu Šebelovi a Mgr. Sylvii Zouharové Dykové.*

## POZNÁMKY

[1] Jak uvádí výrobce lepidla EVA Neutral pH Adhesive, firma PEL – Preservation Equipment Ltd – https://www.preservationequipment.com/eva-neutral-ph-adhesive-p601-1032?.

[2] EEA dle Slovníku mezinárodních chemických akronymů, symbolů a zkratek – MINDL, Jaromír. *Slovník mezinárodních chemických akronymů, symbolů a zkratek: frekventovaný výběr*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2019. ISBN 978-80-214-5693-8.

[3] Pro analýzu byl využit FTIR spektrometr Nicolet iS5 s diamantovým ATR krystalem. Spektrální rozsah při použití KBr okének byl 7800–400 $cm^{-1}$ s rozlišením 4 $cm^{-1}$. Výsledná spektra byla pak porovnána s referenčními z komerční databáze.

[4] Analýza byla provedena spektrometrem Olympus Vanta VMR. Zvolen byl kalibrační mód Geochem využívající dva paprsky primárního rtg. záření, a to při napětí rentgenky 40 a 10 kV. Načítací čas spektra byl 30 s pro každý paprsek.

[5] Byl použit optický mikroskop Olympus BX60 se zvětšením 1000× a spodním nasvětlením vzorku.

[6] Vyjma měření pH papírové podložky, ke kterému došlo až po oddělení papíru od fólie.

[7] RESTAURO-TECHNIKA, Polsko.

[8] Prosvětlovací a odsávací stůl s průhledným krytem SONJA od výrobce Artcard, Richard Růžička.

## LITERATURA


- ĎUROVIČ, Michal. *Restaurování a konzervování archiválií a knih*. V Praze: Paseka, 2002. ISBN 80-7185-383-6.
- GHOSH, Premamoy. *Adhesive And Coating Technology*. Nové Dillí: McGraw-Hill Education Pvt Limited, 2008. ISBN 0070656940. Dostupné z: https://www.academia.edu/107572197/ADHESIVES_AND_COATINGS_TECHNOLOGY.
- LORENZ, S. a LORENZ, M. Turning Paper into Plastic, Celluloid Book Covers. *Journal of Paper Conservation,* 2015, vol. 16, no 2. Dostupné z: https://doi.org/10.1179/1868086015Z.00000000012. [cit 11. 2. 2026].
- MAYER, Ralph. *The Artist´s Handbook Of Materials And Techniques*. Londýn: Faber & Faber, 1991. ISBN 978-0-571-14331-3. Dostupné z: https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.70073/page/n225/mode/2up.
- McGATH, Molly. Cellulose Acetate Lamination: History. Online. *WAAC Newsletter*, 2017, Volume 39, Number 1, Page 16–20. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/342318016_Cellulose_Acetate_Lamination_History.
- OLIVEIRA, M. C. C.; CARDOSO, A. S. A. D.; VIANA, M. M. a FREITAS CUNHA LINS, V. The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, Volume 81, Part 2, Pages 2219–2317. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117309851.
- ORESKI, G. a WALLNER, G. M. Evaluation of the aging behavior of ethylene copolymer films for solar applications under accelerated weathering conditions. *Solar Energy*, 2009, Volume 83, Issue 7, Pages 1040–1047. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X09000115.
- PLOEGER, R.; RIE, R.; McGLINCHEY, Ch.; PALMER, M.; MAINES, Ch. a CHIANTORE, O. The long-term stability of a popular heat-seal adhesive for the conservation of painted cultural objects. *Polymer Degradation and Stability*, 2014, Volume 107, Pages 307–313. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391014000421.
- POOLE, Frazer. Current Lamination Policies of the Library of Congress. *The American Archivist*, 1976, Volume 39, Number 1, Page 157–259. Dostupné z: https://www.jstor.org/stable/40291849?seq=2.
- ROGGIA, Sally. *William James Barrow: A Biographical Study of His Formative Years and His Role in the History of Library and Archives Conservation From 1931 to 1941*. Disertační práce. New York: Columbia University, 1999. Dostupné z: https://cool.culturalheritage.org/byauth/roggia/barrow/.
- ŠPELDA, Jiří. *Charakteristika foliotvorných polyolefinů metodou DSC*. Bakalářská práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2021. Dostupné z: https://dk.upce.cz/server/api/core/bitstreams/f01a5dfc-b575-4370-95aa-dae0ebfbb2e1/content.
- WOODWARD, Eddie. The Epidemic in the Archives: A Layman's Guide to Cellulose Acetate Lamination. Online. *RBM A Journal of Rare Books Manuscripts and Cultural Heritage*, 2017, Volume 18, Number 5, Page 108. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/320941980_The_Epidemic_in_the_Archives_A_Layman%27s_Guide_to_Cellulose_Acetate_Lamination.