



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

## **Metodika preventivní ochrany a průzkumu laminátových soch v exteriéru**

Knotek, Vítězslav; Červinka, Josef; Křenková, Zuzana; Říhová, Vladislava  
2019

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-410271>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 03.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://www.nusl.cz) .

# Metodika preventivní ochrany a průzkumu laminátových soch v exteriéru

**Program Národní a kulturní identity (NAKI)**

Projekt MK DG16P02B030 financovaný Ministerstvem kultury ČR

České umění 50. – 80. let ve veřejném prostoru: evidence, průzkumy, restaurování

Autoři: Vítězslav Knotek, Josef Červinka, Zuzana Křenková, Vladislava Říhová  
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Univerzita Pardubice

Praha 2019

Metodika je výsledkem projektu řešeného v letech 2016 - 2019 s **identifikačním kódem DG16P02B030** a celým názvem České umění 50. – 80. let ve veřejném prostoru: evidence, průzkumy, restaurování. Projekt byl financován MK ČR. Projekt byl řešen konsorciem Vysoké školy chemicko-technologické v Praze a Univerzity Pardubice.

Na řešení metodiky se podíleli: Ing. Vítězslav Knotek, Ph.D., MgA. Josef Červinka, Mgr. Zuzana Křenková, Ph.D. a Mgr. Vladislava Říhová, Ph.D. V rámci průběžných prací byli zapojeni i studenti VŠCHT Praha oboru Technologie konzervování a restaurování.

### **Návrh uživatelů**

Metodika je určena pro majitele a správce objektů vytvořených z polyesterového skelného laminátu, umístěných ve venkovním prostředí (památkové ústavy, městské a místní úřady, soukromí majitelé apod.) včetně restaurátorů.

### **Anotace**

Metodika je zaměřena na preventivní ochranu a průzkum polyesterových laminátových soch umístěných v exteriéru. V úvodu metodiky je stručně popsána historie vývoje a užití polyesterových pryskyřic na území ČSR. Dále jsou popsána charakteristická poškození vyskytující se na laminátových sochách. V další části jsou uvedeny metody a postupy terénního a laboratorního průzkumu laminátových soch, což je dokladováno příkladovými studiemi. V závěru metodiky jsou diskutovány vhodné metody preventivního konzervování a ochrany pro maximální prodloužení životnosti laminátových soch.

### **Klíčová slova**

Polyesterový skelný laminát; čištění laminátu; exteriérové laminátové sochy; preventivní konzervace

## Obsah

Metodika preventivní ochrany a průzkumu laminátových soch v exteriéru.....	2
Návrh uživatelů .....	2
Anotace .....	2
Klíčová slova .....	2
I. Úvod .....	4
II. Cíl metodiky .....	7
III. Vlastní popis metodiky .....	7
III.1. Terénní průzkum laminátových soch.....	7
III.1.1. Chemická podstata vrchní vrstvy laminátu .....	7
III.1.2. Průzkum vnitřní části laminátových soch .....	10
III.1.3. 3D skenování laminátových soch.....	11
III.1.4. Odběr vzorků.....	12
III.2. Laboratorní metody průzkumu laminátových soch .....	12
III.2.1. Stratigrafie laminátu .....	12
III.3. Charakteristická poškození laminátových děl.....	14
III.3.1. Praskliny .....	14
III.3.2. Chybějící části vrchní vrstvy.....	15
III.3.3. Koroze vnitřní ocelové výztuže.....	15
III.3.4. Znečištění.....	16
III.3.5. Chybějící části dřeva .....	17
III.4. Preventivní ochrana laminátových děl .....	17
III.4.1. Čištění povrchu laminátu.....	17
III.4.2. Tmelení prasklin.....	22
III.4.3. Konzervace povrchu laminátových soch.....	23
III.4.4. Úpravy okolí.....	25
III.4.5. Údržba.....	25
III.5. Základní materiály pro opravy polyesterových laminátů .....	25
IV. Zdůvodnění „novosti postupů“ .....	27
V. Uplatnění certifikované metodiky .....	27
VI. Seznam použité a související literatury.....	28
VII. Seznam publikací – výstupů z práce .....	30

## I. Úvod

S rychlým rozvojem polymerních materiálů po druhé světové válce dochází k rostoucímu uplatňování plastů ve všech výrobních odvětvích. V důsledku vývoje nových polymerních hmot, které vykazují dosud nevídané vlastnosti a lze je snadno zpracovávat, začali s těmito materiály ve větší míře experimentovat také umělci. Ve světovém měřítku se polymerní materiály začínají prosazovat v umění především v druhé polovině 60. let. Dokladem toho je přehlídka moderního umění v Kasselu v roce 1968, kdy byla umělecká díla z moderních polymerních materiálů zastoupena téměř v polovině případů prezentované tvorby. Ještě o něco dříve, v roce 1967, ovládly polymerní materiály i americkou uměleckou scénu. Na výstavě moderního amerického sochařství 60. let, která proběhla v daném roce v Country Museum v Los Angeles, bylo již u většiny vystavených děl použito syntetických polymerních materiálů [Schätz 1982]. Pro zajištění správného postupu práce s novými materiály a zajištění dostupnosti vhodných materiálů byla při muzeu založena instituce Art and Technology, kde výtvarníkům pomáhali realizovat umělecká díla chemici ve spolupráci s průmyslovými podniky vyrábějícími polymery vhodné pro tyto účely.

Vývoj v socialistickém Československu nebyl v oblasti aplikace moderních materiálů v umělecké tvorbě oproti světovým trendům nijak opožděn.

Experimentálními úkoly ve sledované oblasti se již od roku 1959 zabývalo také Ústředí uměleckých řemesel (ÚÚŘ). V pražských dílnách ÚÚŘ v bývalém Kafkově ateliéru ve Střešovicích fungovalo pracoviště, které se na zavádění umělých hmot do sochařské praxe specializovalo. První pokusy se koncentrovaly hlavně na aplikaci nových materiálů a technologií pro účely reprodukce uměleckých děl a jejich využití v památkové péči [Richter 1963]. Zkoumáno bylo především využití polyesterové, popř. epoxidové pryskyřice, která mohla sloužit hlavně jako náhražka bronzu a kamene v případě momentálního nedostatku finančních prostředků.

Postupem doby bylo upuštěno od použití polymerních materiálů pouze jako náhražky a docházelo k popularizaci nových materiálů s poukazováním na pozitivní vlastnosti pro výtvarné umění [Svoboda 1970]. Velká perspektiva byla přisuzována především skelným laminátům, jejichž široké možnosti využití byly opakovaně zdůrazňovány. Skelné lamináty se prosadily především ve volné tvorbě, kdy byly využívány pro menší interiérová díla i monumentální realizace pro architekturu v exteriéru i interiéru.

Laminát se prosadil i do tvorby klasicky orientovaných sochařů jakými byli např. František Mrázek (*Labutě*, 1965; *Malše*, 1965), Jiří Hanzálek (*Uzdravená*, 1963), nebo Zdeněk Hošek (*Hanačka*, 1975). Progresivněji ladění umělci dokázali ve svých dílech

lépe využít možnosti nových pryskyřic. S materiálem souzněly měkké organicky tvarované formy Slavojе Nejdla (*Racci*, rok vzniku díla neznámý) i styl figurálních kompozic Zdeňka Němečka. Pro něj byl však laminát jen prostředkem ověření modelovaných tvarů v měřítku 1:1. Výsledným dílem pak byla plastika provedená nejčastěji v bronzu (*Basketbalista*, 1977; *Gymnasta*, 1979). Specifika a výhody využití skelného laminátu asi nejvýrazněji zúročil sochař Jiří Novák. Vyplývalo to již z podstaty jeho tvorby, která byla vždy silně koncentrovaná na postup a zejména technické otázky vzniku díla. Práci s laminátem se Novák systematicky věnoval zejména v 60. letech. V krátké době realizoval hned několik děl určených do veřejného prostoru. Velká část se bohužel nezachovala. Zanikl dynamicky vystavěný *Pták* pro kašnu na Tylově náměstí v Praze (1958) i mobilní plastika *Světlo a stín* umístěná na pražském Výstavišti (1961). Mezi významná zachovaná díla ze sklolaminátu patří *Rychlost* z pražských Strašnic (1959) a *Motýlí křídla* (1969) osazená v Liberci. **Tab. 1:** Polyesterové pryskyřice vyráběné v ČSSR

(1965) [Slezák 1965] Historie využívání polyesterových pryskyřic sahá do období před druhou světovou válkou. Jedná se o estery dikarboxylových kyselin s vícesytnými alkoholy dodávané jako roztok ve vhodném reaktivním monomeru. Díky přítomnosti dvojných vazeb v základním řetězci makromolekuly vznikne po přidavku vhodného katalyzátoru, popř. urychlovače, trojrozměrná síť chemických vazeb, která převede původní roztok v pevný materiál. V době pronikání polyesterových pryskyřic do výtvarného umění se jednalo o nejmladší pryskyřice zavedené do výroby [Schätz 1982, Šternschuss 1959], jelikož na počátku 50. let byly veškeré polyesterové pryskyřice a částečně také sklotextil importovány [Rejman 1972].

Na počátku 60. let byly v bývalém ČSSR vyráběny pouze základní tzv. ortoťalové typy polyesterových pryskyřic a to v omezeném měřítku [Doleček 1966, Zilvar 1958]. Chemicky odolnější typy se dovážely ze zahraničí. Byl to důsledek omezené surovinové základny a omezení vývoje chemicky odolných typů rozhodnutím centrálního

Název a charakteristika	Typové označení	Poznámka
Univerzální pryskyřice	Ch-S 104	viskozita asi 1000 mPa.s <sup>-1</sup>
Pryskyřice s větší tepelnou odolností	Ch-S 108	viskózní, obtížně zpracovatelná
Pryskyřice stálá na světle	Ch-S 111	na střešní krytinu, velmi nízká viskozita
Pryskyřice pro zpracování za tepla	zatím neoznačená	
Pryskyřice prášková	zatím neoznačená	na propojování rohoží a stříže
Pryskyřice samozhášecí	Ch-S 150	viskózní
Pryskyřice pružná, změkčující	Ch-S 200	jako přídavná, samotná se nedá použít

Tab. 1: Polyesterové pryskyřice vyráběné v ČSSR (1965) [Slezák 1965]

plánování [Doleček 1966]. Hlavním producentem polyesterových pryskyřic v ČSSR byl Spolek pro chemickou a hutní výrobu v Ústí nad Labem (Spolchemie). V Tab. 1 jsou uvedeny polyesterové pryskyřice vyráběné v ČSSR v roce 1965.

Z Tab. 1 vyplývá, že jedinou polyesterovou pryskyřicí vhodnou pro tvorbu laminátových soch byla univerzální pryskyřice Ch-S 104. Jednalo se o pryskyřici na bázi ftalanhydridu, maleinanhydridu a ethylenglykolu, termínovanou methylcyklohexanolem, která nebyla tixotropní ani předurychlená [Pelc 2017]. Pro aplikaci za normální teploty bylo potřeba přidat peroxidový katalyzátor a vhodný urychlovač, přičemž nejdostupnějšími byly organické sloučeniny na bázi kobaltu [Rejman 1972].

Univerzální pryskyřice Ch-S 104 představovala základní typ pryskyřice tzv. ftalového typu, která vykazovala nízkou chemickou odolnost pro použití v zařízeních pro chemický průmysl. Pro vyšší chemickou odolnost se ukázalo nutné zaměnit některé složky polymerního řetězce za nové sloučeniny. Nejslabším článkem se ukázala být kyselina ftalová, která byla nahrazena kyselinou isoftalovou. Dalšího zlepšení pak bylo dosaženo prodloužením řetězce diolů (propan-1,2-diol, butan-2,3-diol, neopentylglykol [Doleček 1966].

Pro vytváření laminátových uměleckých děl byly používány téměř výhradně negativní formy, čímž mohlo být

snadno dosaženo jakostního, hladkého vnějšího povrchu [Schätz 1976]. První vnější vrstvu laminátu tvoří většínou tzv. pregel, což je polyesterová pryskyřice zahuštěná aerosilem na tixotropní pastu, která při aplikaci do formy nestékala. Pregel je možné plnit i pigmenty pro dosažení požadovaného vzhledu bez nutnosti aplikace nátěrové hmoty. Dalších plniv se při laminování (mimo pregelu) příliš nepoužívalo, jelikož snižují tekutost a mechanické vlastnosti pryskyřice [Schätz 1982]. Vnitřní vrstvy již obsahují výztuž, nejčastěji v podobě skelných vláken, prosyčenou pryskyřicí. Při laminování se používá především rohoží nebo tkanin s různou vazbou [Schätz 1976]. Tkaniny s plátňovou vazbou se označovaly názvem YPLAST, s atlasovou vazbou jako YTLAS a s keprovou vazbou jako YPRA [Doležal 1965]. Pro výrobu skelných rohoží a tkanin se používalo výhradně nízkoalkalické borosilikátové sklo tzv. E-sklo s vysokou hydrolytickou odolností [Šternschuss 1959].

Z hlediska odolnosti jsou polyesterové pryskyřice považovány za velmi odolné působení povětrnostních podmínek. Účinkem UV záření však dochází k poměrně rychlému žloutnutí povrchu, v případě nepřítomnosti UV stabilizátoru [Doležal 1981]. Pro odolnost sklolaminátových uměleckých děl umístěných v exteriéru je kritická kvalita vrchní (gelcoatové) vrstvy, vyplývající z dodržení předepsané technologie zpracování a pečlivosti úpravy povrchu především v místech spojů jednotlivých segmentů díla. Při

porušení povrchu a vzniku prasklin dochází k zatékání vody dovnitř laminátu a ke kontaktu se skleněnou výztuží. Přestože je skleněná výztuž vyrobena z hydrolyticky odolného skla, dochází postupem času k migraci kovových iontů na povrch skla, které při kontaktu s vodou vytvoří povlak hydroxidu rozrušujícího sklo [Beranová 1985]. V případě kontaktu vody se skleněnou výztuží dochází kvůli kapilárním silám k rychlému rozšíření působení vody skrz materiál. Tento stav vede k výraznému snížení pevnosti díla. Kritickým momentem je průsak vody až k ocelové výztuži laminátového díla, která je přítomna uvnitř. Účinkem vody začne ocelová výztuž korodovat a postupem času může dojít až k ohrožení stability díla.

## **II. Cíl metodiky**

Cílem metodiky je popsat základní postupy pro průzkum soch zhotovených z polyesterového sklolaminátu. Postupy se dělí na metody terénní a laboratorní, kterými lze podrobně popsat použité materiály, nevyhnou se však nutnosti odběru reprezentativního vzorku. Při mapování děl ze sklolaminátu se můžeme setkat s dvěma typy použitých pryskyřic – nenasycené polyesterové pryskyřice a epoxidové pryskyřice. Tato metodika se věnuje pouze polyesterovým pryskyřicím, proto prvním krokem při průzkumu sochy je určení chemické podstaty použité pryskyřice.

Dalším cílem metodiky je navržení vhodné preventivní ochrany polyesterových laminátových soch s ohledem na stav původního materiálu a pro maximalizaci prodloužení životnosti díla.

## **III. Vlastní popis metodiky**

### **III.1. Terénní průzkum laminátových soch**

Terénní metody průzkumu laminátových soch využívají mobilní přístroje, kterými lze určit chemickou podstatu vnější vrstvy laminátu, dokumentovat vnitřní stav sochy včetně výztuže, nebo provést trojrozměrný digitální model sochy pro potřeby výpočtu povrchu díla, lokalizaci těžiště nebo měření komplikovaných kompozic. Pod pojmem terénního průzkumu se dále rozumí výběr nástrojů vhodných pro odběr reprezentativního vzorku pro zkoumání laboratorními metodami.

#### **III.1.1. Chemická podstata vrchní vrstvy laminátu**

Pro zjišťování chemické podstaty polymerních materiálů je nejužívanější metodou infračervená spektroskopie. Pro potřeby terénního průzkumu je zapotřebí použití mobilního infračerveného spektrometru. Měření pak probíhá v reflexním módu, přičemž kvalita spektra je závislá na povaze zkoumaného materiálu, velikosti použité měřicí štěrbině a počtu skenů. Problém s určením materiálu může nastat, pokud je socha opatřena povrchovou úpravou



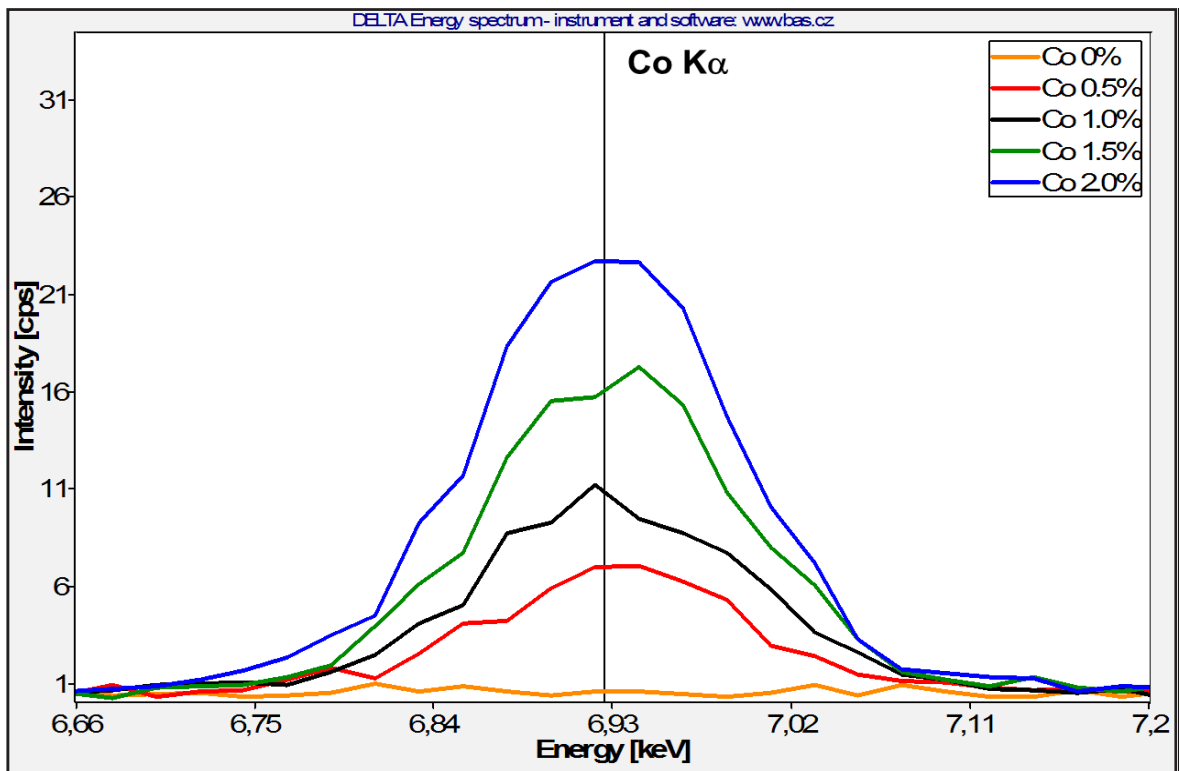
např. nátěrem. V tomto případě získáme informaci o složení nátěrové hmoty, nikoliv samotné laminátové sochy. Použití infračervené spektroskopie pro identifikaci chemické podstaty laminátu může být problematické v případě silně degradovaného povrchu. Při vystavení povětrnosti dochází k oxidaci povrchu a nárůstu množství zejména karboxylových a hydroxylových skupin. Reflexe těchto skupin se pak objeví jako vibrační pásy v infračerveném spektru a znesnadňují identifikaci materiálu. Podobná situace nastává při měření povrchu znečištěného depozity anorganického nebo biologického původu (řasy, lišejníky, atd.). Kromě výše uvedených možných komplikací může spolehlivé určení typu použité pryskyřice znesnadňovat přítomnost většího množství plniv a některých pigmentů, které se v horní vrstvě laminátu často vyskytují. Některá anorganická plniva např. kalcit, aerosil, či rutil mají široké charakteristické reflexe v infračerveném spektru, které mohou být ve stejné oblasti vlnočtů jako pásy pryskyřice.

Kvůli problémům spojeným se spolehlivým určením typu použité pryskyřice pomocí přenosné infračervené spektroskopie byla hledána nová jednoduše použitelná a spolehlivější metoda. Byla navržena a otestována metoda určení typu pryskyřice pomocí přenosného rentgenového fluorescenčního spektrometru (XRF). Metoda je založena na detekci přítomnosti specifických kovů, které byly ve formě organických komplexů přidávány do nenasycené

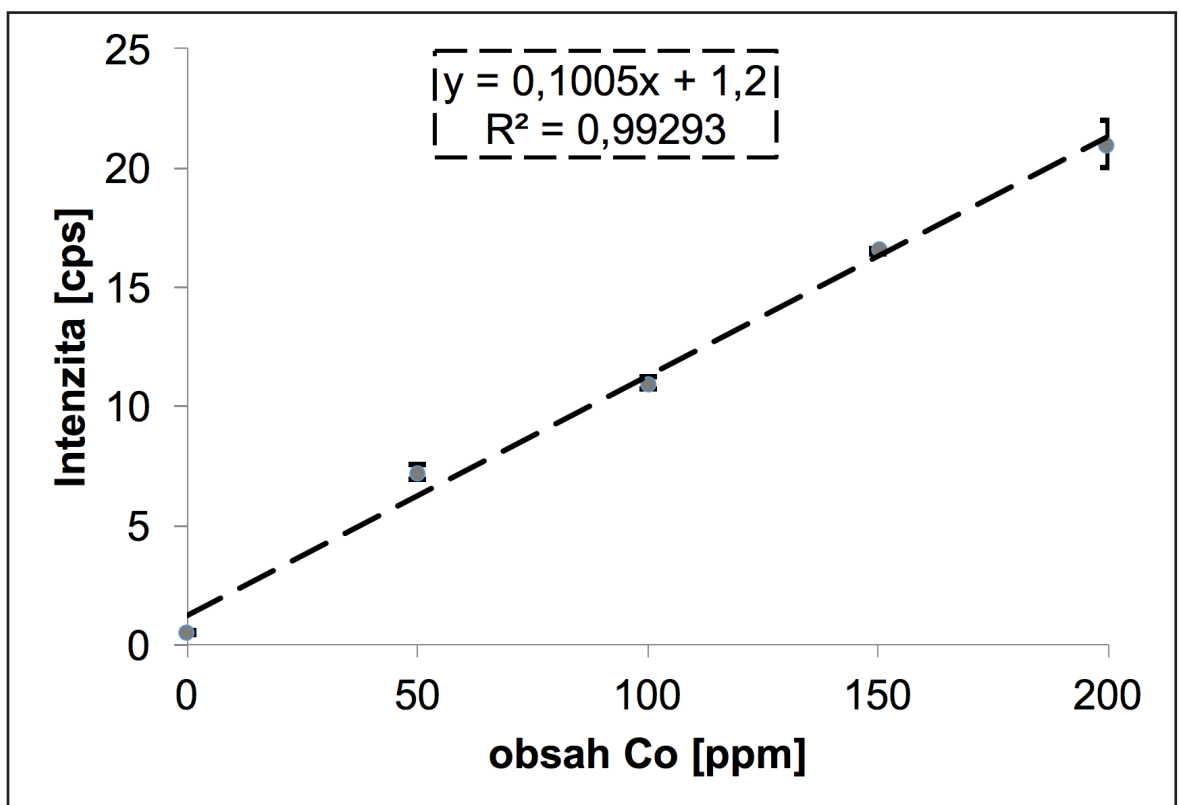
polyesterové pryskyřice jako urychlovače. Studium literatury [Šternschuss 1959, Schätz 1976] bylo zjištěno, že byly používány především urychlovače obsahující kobalt. Nutnost použití urychlovače byla dána nedostatečnou nabídkou katalyzátorů fungujících za normální teploty.

Doporučovaný přírůstek akcelérátoru do pryskyřice se pohyboval v rozmezí 1-3 %, v závislosti na požadovaném čase vytvrzení. Po přepočtení odpovídá toto množství stovkám ppm kobaltu v pryskyřici, což je daleko nad mezí detekce kobaltu pro přenosný XRF spektrometr. Pro testování metody byly připraveny modelové vzorky polyesterové pryskyřice s odstupňovaným obsahem obsahu kobaltu. Měření bylo prováděno přenosným XRF spektrometrem Olympus Delta Professional 50 kV při různých módech nastavení. Z výsledků bylo vybráno nejvhodnější nastavení spektrometru pro nejsilnější signál čáry Co Ka (Obr. 1). Výsledné body závislosti byly proloženy přímkou, čímž byla vytvořena kalibrační přímka závislosti intenzity signálu na obsahu kobaltu (Obr. 2).

Metoda byla verifikována na jedenácti reálných laminátových sochách v rámci průzkumu v České republice. V Tab. 2 jsou uvedeny výsledky, které byly ověřeny infračervenou spektroskopií analýzou reprezentativních vzorků soch.



Obr. 1: Výtěž XRF spekter pro modelové vzorky při napětí 40 kV



Obr. 2: Kalibrační přímka pro závislost intenzity Co píku na obsahu Co v polyesterové pryskyřici

<b>Autor</b>	<b>Název díla</b>	<b>Rok</b>	<b>Místo</b>	<b>Vypočítaný obsah Co při 40 kV [ppm]</b>	<b>Materiál (ATR-FTIR)</b>
Z. Hošek	<i>Hanačka</i>	1975	Olomouc	257	Polyester
Z. Němeček	<i>Skok do vody</i>	1985	Praha	147	Polyester
Z. Němeček	<i>Závod míru</i>	1977	Praha	38	Epoxid
Z. Němeček	<i>Bílá dáma</i>	?	Praha	-2	Epoxid
Z. Němeček	<i>Dribling</i>	1983	Praha	217	Polyester
S. Nejdí	<i>Racci</i>	?	Plzeň	207	Polyester
J. Hanzálek	<i>Ráno</i>	1962	Plzeň	28	Epoxid
E. Scholler	<i>Voda a my</i>	1989	Ostrava	-2	Epoxid
J. Brož	<i>Tíha země</i>	1971	Orlová	187	Polyester
O. Kozák	<i>Tanečnice</i>	?	Praha	68	Epoxid
V. Karoušek	<i>Vzlet</i>	?	Praha	157	Polyester

Tab. 2: Výsledky měření reálných laminátových soch pomocí XRF a ATR-FTIR

Z Tab. 2 vyplývá, že přenosný XRF spektrometr je vhodný pro terénní třídění laminátových soch podle typu použité pryskyřice. Množství přidaného urychlovače u testovaných polyesterových soch se pohybovalo nejčastěji v rozmezí 1,5 – 2,0 % jednaprocentního roztoku Co komplexu.

Hloubka průniku rentgenového záření neplněným vzorkem vytvrzené polyesterové pryskyřice je větší než 5 mm pro doporučené nastavení napětí přístroje. Při použití jiného typu přenosného XRF spektrometru je doporučeno ověřit platnost rovnice kalibrační přímky pro správný výpočet obsahu kobaltu.

### III.1.2. Průzkum vnitřní části laminátových soch

Vzhledem k tomu, že většina laminátových soch je tvořena jako skořepina, je endoskopie vhodnou metodou k průzkumu stavu laminátu z vnitřní strany. Nejdůležitější z informací je vizualizace vnitřních nosných, nejčastěji kovových konstrukcí, upevnění laminátové skořepiny na konstrukci a způsob spojování jednotlivých dílů skořepiny k sobě. Vzhledem k obtížné dostupnosti vnitřních prostor laminátových soch lze v nich endoskopem identifikovat technologické postupy vzniku soch nebo jejich pozdějších oprav. Velmi výhodné jsou barevné endoskopy s možností



Obr. 3: Snímek stavu ocelové nosné konstrukce sochy „Rychlost“ od Jiřího Nováka pořízený endoskopem

velké hloubky ostrosti obrazu. Např. videoskop XL Vu+ 6,1 mm/3 m Proxis XLVUC6130. Příklad snímku pořízeného endoskopem z vnitřní strany sochy *Rychlost* od Jiřího Nováka je na Obr. 3.

### III.1.3. 3D skenování laminátových soch

V restaurování a péči o kulturní dědictví se nabízí využití 3D skenování a následné zpracování skenů. I při průzkumech laminátových soch lze využít některé výstupy 3D skenu. Základním výstupem je podrobné zdokumentování rozměrů jednotlivých částí včetně hůře přístupných míst a měření v řezu. Dále je možné dokumentovat morfologii povrchu sochy. Při výběru vhodného přístroje lze dosáhnout vysokého rozlišení a přesnosti. Opakovaným skenováním povrchu s velkou přesnos-

tí může vzniknout představa o stárnutí materiálu a objemových projevech jeho degradace. Velmi užitečné informace poskytuje výpočet plochy povrchu, který je výhodný při plánování restaurátorského zákroku a pomáhá při rozvahách spotřeby materiálů a časové náročnosti některých kroků restaurování. Další poměrně zajímavé informace lze získat z výpočtu objemu sochy, a to především lokalizace těžiště a jeho zohlednění při transferech a statickém posouzení soch. 3D skenování může podat i informace o některých kvalitativních vlastnostech povrchu skenovaného objektu. Tato oblast využití patří prozatím k těm méně probádaným.

### III.1.4. Odběr vzorků

Pro potřeby detailního průzkumu struktury a složení jednotlivých vrstev laminátové skořepiny je nezbytné odebrat vzorek díla. Povaha vzorku se liší podle účelu následného zkoumání.

Pro zkoumání stratigrafie laminátu musí vzorek obsahovat všechny vrstvy. Reprezentativní vzorek tedy obsahuje jak vnitřní vrstvu (poslední vrstva při laminování do formy), tak vnější gelcoatovou vrstvu. Při odběru vzorku pro zkoumání stratigrafie tak vznikne v díle malý otvor, kterým může do vnitřku plastiky vnikat voda. Proto je třeba dbát na to, aby místo odběru bylo zvoleno pokud možno ze spodní strany díla, nebo v místě, kam se při dešti nemůže dostat voda. Polyesterový skelný laminát je pevný a poměrně tvrdý materiál, proto se pro odběr vzorků na průzkum stratigrafie osvědčil pilový plátek na železo umístěný ve speciálním držáku s přesahem plátku, tzv. „ruční pilka na železo mini“ (viz Obr. 4). Místo odběru by mělo být označeno a fotograficky zdokumentováno. Označení místa může být



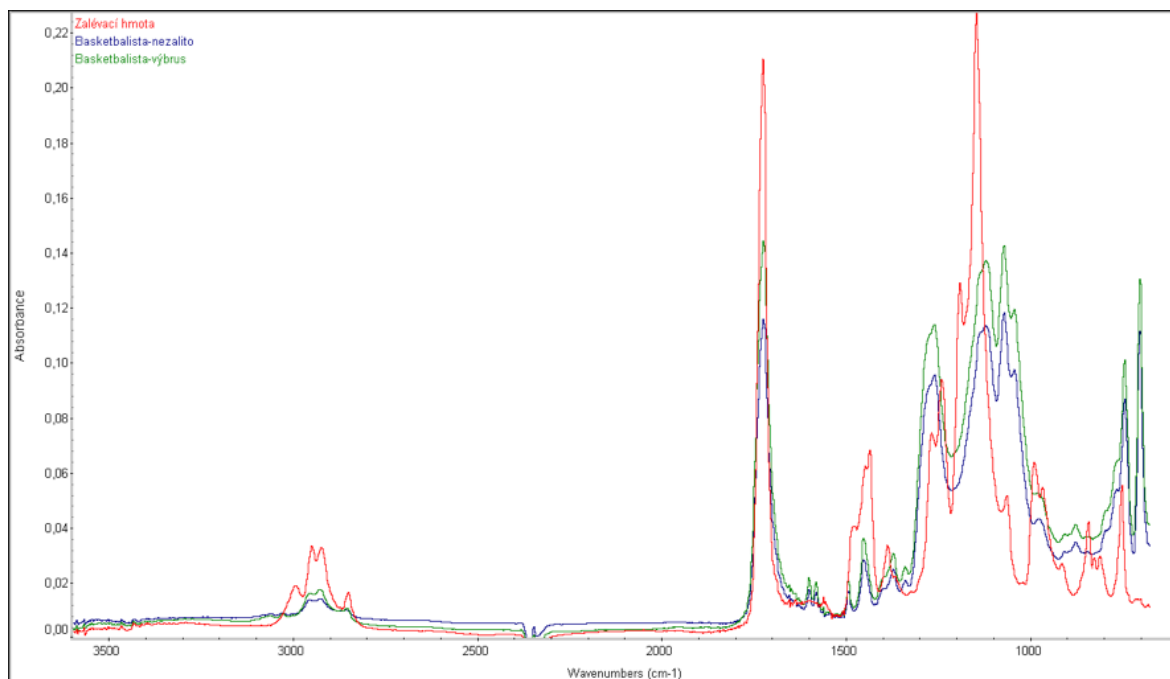
Obr. 4: Pilka na železo vhodná k odběru vzorku laminátu pro zkoumání stratigrafie

provedeno například štítek ve tvaru rovnoarmenného trojúhelníku, jehož vrchol bude směřovat na místo odběru. Na štítku by pak měly být napsány informace nezbytné k identifikaci díla.

## III.2. Laboratorní metody průzkumu laminátových soch

### III.2.1. Stratigrafie laminátu

Průzkum stratigrafie laminátu předpokládá odběr reprezentativního vzorku, který obsahuje všechny vrstvy a jeho následnou úpravu do formy nábrusu kolmého řezu. Jednotlivé vrstvy mohou být zkoumány mikroskopickými metodami. Jedná se zejména o optickou mikroskopii, infračervenou mikroskopii, Ramanovu mikroskopii a elektronovou mikroskopii. Pro přípravu nábrusu laminátového souvrství lze využít metodiku: „Metodika pro spektrální analýzu organických látek (organických pojiv, barviv a syntetických polymerů) ve vzorcích historických nebo uměleckých materiálů, které jsou tvořeny souvrstvím“ [Kopecká 2013]. Vzhledem k povaze laminátových vzorků, které nejsou opatřeny nátěrem, je možné použít zalévací pryskyřici na bázi akrylátů nebo epoxidů, jak dokládá výsledek infračervené mikroskopie vzorku polyesterového laminátu zalitého v pryskyřici na akrylátové bázi na Obr. 5.



Obr. 5: Porovnání FTIR spekter zalévací pryskyřice a laminátu zalitého a nezalitého v pryskyřici

Následně budou stručně popsány a diskutovány vhodné mikroskopické metody pro zkoumání stratigrafie laminátových vzorků:

#### a) **FTIR mikroskopie**

FTIR mikroskopii lze použít pro studium organických složek jednotlivých vrstev v nábrusu laminátového vzorku. Lze například zjistit, zda jsou jednotlivé vrstvy stejné chemické povahy, nebo odhalit pozdější úpravy (opravy převrstvením) původního laminátu.

#### b) **Ramanova mikroskopie**

Ramanova spektroskopie spojená s mikroskopem je vhodná zejména pro zjištění přítomných pigmentů, barviv a minerálních plniv. Úspěšné určení přítomné látky je podmíněno její přítomností v knihovných spekter.

#### c) **Skenovací elektronová mikroskopie**

Pro prvkovou analýzu plniv a pigmentů lze využít skenovací elektronovou mikroskopii spojenou s energiově nebo vlnově disperzním spektrometrem. Pro spolehlivou analýzu musí být povrch vzorku opatřen tenkou elektronově vodivou vrstvou, získanou např. postupným fyzikálním naprašováním vhodného kovu.

#### d) **Rentgenová difrakce**

Rentgenovou difrakční fázovou analýzu lze využít pro určení přítomných krystalických látek. Pro určení složení malých částic o rozměrech 0,1 – 2 μm lze využít mikrodifrakční fázovou analýzu. U mikrodifrakční analýzy představuje minimální koncentrace pro stanovení krystalické fáze cca 2 hm. %. Metoda může být využita pro doplnění nebo potvrzení výsledků získané z Ramanovy mikroskopie. Jedná se o semikvantitativní metodu.

### e) **Rentgenová fluorescence**

Laboratorní rentgenová fluorescence poskytuje kvantitativní prvkové složení od koncentrace ppm do 100 hm. %. V rámci periodické tabulky lze detekovat prvky od fluoru po uran. Velice vhodná je rentgenová fluorescence na zjišťování složení skla. U sklolaminátu lze touto metodou zjistit složení použité skleněné výztuže.

### **III.2.2. Charakteristická poškození laminátových děl**

#### **III.2.3. Praskliny**

Praskliny se mohou vyskytovat ve vrchní vrstvě laminátu (tzv. gelcoatu, pregelu) v různých velikostech od vlasových trhlin (Obr. 6) do cca jednoho milimetru (Obr. 7). Vznik prasklin v povrchové vrstvě laminátu je nejčastěji způsobený pnutím v místech spojů jednotlivých dílů nebo pohybem jednotlivých dílů např. v důsledku působení větru. Praskliny vznikají také v důsledku působení povětrnosti, kdy dochází ke štěpení vazeb polyesterové sítě (hydrolýza, fotolýza). Praskliny vrchní vrstvy mohou být způsobeny také mechanicky, např. nárazem předmětu do povrchu.

V případě absence nátěru plní vrchní gelcoatová vrstva laminátu estetickou a především ochrannou funkci, tím, že brání průniku vlhkosti ke spodním vrstvám obsahujících skelnou výztuž. Při přítomnosti trhlin v horní vrstvě laminátu dochází ke snadnému pronikání vody k rozhraní pryskyřice-skelná

výztuž, kde může kapilárně difundovat do vzdálenějších míst laminátu a snižovat mechanické vlastnosti a přispívat k další tvorbě prasklin [Beranová 1985].



Obr. 6: Vlasové praskliny v povrchové vrstvě laminátu



Obr. 7: Prasklina ve vrchní vrstvě laminátu

Dalším typem trhlin jsou trhliny v celé tloušťce laminátu (Obr. 8 a Obr. 9). Tyto trhliny vznikají nejčastěji v místech spoje jednotlivých dílů laminátu. Spojování dílů bylo často prováděno jejich slícováním, vytmelením tixotropní pastou a přelaminováním z vnitřní strany. Pevnost takového spoje je dána především kvalitou provedení.

Praskliny v celé tloušťce laminátu ohrožují stabilitu díla možným oddělením jednotlivých částí a především

umožněním pronikání vody přímo k vnitřní ocelové výztuži, což vede k její korozi a snížení pevnosti.



Obr. 8: Prasklina v celé tloušťce laminátu



Obr. 9: Praskliny mezi spojovanými díly

### III.2.4. Chybějící části vrchní vrstvy

Vytvoření povrchových prasklin vede postupem času k narušení soudržnosti vrchní vrstvy s vyztuženým podkladem. Výsledkem je ztráta větší části povrchové vrstvy a obnažení materiálu se skelnou výztuží. Vzniklou dírou může do spodních vrstev laminátu snadno vstupovat voda a nečistoty podporující další poškození laminátu.

Menší díry v povrchu mohou být způsobeny vytvořením vzduchových bublin v gelcoatové vrstvě během tvorby díla a následná absence jejich odstranění po odformování díla.

Vzduchové bubliny jsou kryty pouze tenkou vrstvou pryskyřice, která nemá dostatečnou ochranou schopnost a dochází k pronikání vody do materiálu. Takové místo se po čase oddělí od podkladu a vytvoří malou díru v gelcoatové vrstvě. Následným působením vody a dalších nečistot se může plocha chybějícího materiálu zvětšit. Příklady chybějících částí vrchní vrstvy laminátu jsou na Obr. 10 a Obr. 11.



Obr. 10: Chybějící část povrchové vrstvy



Obr. 11: Ztráta krycí vrstvy laminátu

### III.2.5. Koroze vnitřní ocelové výztuže

V případě pronikání vody až k ocelové výztuži dochází k nárůstu korozní rychlosti. Častým projevem pronikání vody k ocelové výztuži je vytékání korozních produktů ve spodních částech plastiky. Korozní produkty mají



typickou barvu rzi. Příklady vytékání korozních produktů výztuže jsou na Obr. 12 a Obr. 13.



Obr. 12: Vytékání korozních produktů ocelové výztuže přes prasklinu v noze sochy



Obr. 13: Oblast kolem praskliny na patce sochy zabarvený korozními produkty ocelové výztuže

### III.2.6. Znečištění

V důsledku zanedbání údržby je většina exteriérových laminátových soch povrchově znečištěna. Pomineme-li znečištění povrchu korozními produkty diskutované výše, lze se u soch nalézt několik druhů znečištění.

#### a) **Biologické znečištění**

Biologické znečištění představuje především výskyt mechů, lišejníků a řas na povrchu laminátu (Obr. 14 a Obr. 15). Výskyt je hojnější ve stínu a vlhkých stanovištích, například blízko vegetace. Biologické znečištění zadr-

žuje vlhkost a může uvolňovat kyselé metabolity, které působí korozivně jak na polyesterovou pryskyřici (kyselá hydrolýza), tak na skelnou výztuž [Beranová 1985]. Kyselější povaha laminátu s biologickým znečištěním byla potvrzena měřením pH pomocí dotykové elektrody [Popova 2018].

Mezi biologické znečištění patří také exkrementy drobných živočichů.



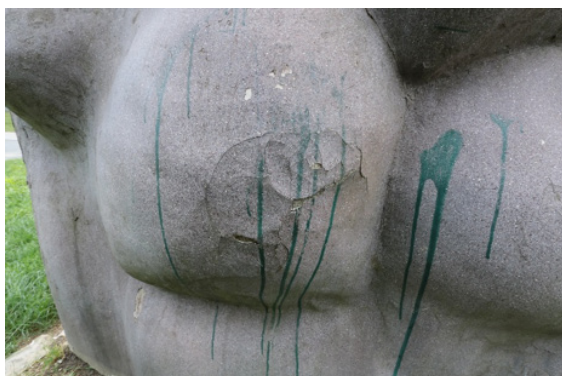
Obr. 14: Silné biologické znečištění povrchu laminátu



Obr. 15: Biologické znečištění v místech poškození vrchní vrstvy

#### b) **Znečištění nátěrovými hmotami**

Znečištění nátěrovými hmotami souvisí s vandalismem. Lze se setkat s laminátovými díly lokálně znečištěnými barvou, nápisy nebo graffiti. Z hlediska vlivu na laminátový objekt jde především o estetickou vadu.



Obr. 16: Lokální znečištění laminátu nátěrovou hmotou



Obr. 17: Nápis na povrchu laminátu

### c) **Znečištění prachovými nánosy**

Povrch laminátových soch je postupně pokrýván prachovými částicemi především anorganického původu. Při kombinaci s produkty vznikající spalováním uhlovodíkových paliv, tzv. „městská špína“, dochází k tvorbě soudržné hmoty, která vytváří na povrchu krusty. Prachové nečistoty se snadno dostávají do prasklin a otvorů v povrchu, kde zadržují vlhkost a tvoří vhodné podmínky pro osídlení živými organismy.

### **III.2.7. Chybějící části díla**

Poškození laminátových soch ve formě jejich chybějících částí je v drtivé většině případů spojeno s vandalismem (Obr. 18 a Obr. 19). Oprava takového

poškození spočívá ve vymodelování nové části z laminátu a její připojení např. přes kovový čep nebo přilepením k původnímu dílu. Velice problematická je modelace ztracené části při chybějící dokumentaci sochy před poškozením.



Obr. 18: Chybějící ruka laminátové sochy

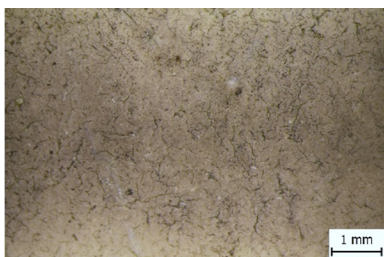


Obr. 19: Chybějící přirození laminátové sochy chlapce

### **III.2.8. Preventivní ochrana laminátových děl**

### **III.2.9. Čištění povrchu laminátu**

Čištění laminátových objektů je nezbytné pro udržení jejich dlouhodobé životnosti. Čistý povrch zajistí pouze periodické provádění čištění vhodnými prostředky.



Obr. 20: Šedé znečištění (stereomikroskop)



Obr. 21: Hnědé znečištění (stereomikroskop)



Obr. 22: Zelené znečištění (stereomikroskop)

Následující část se zabývá odstraňováním různých druhů nečistot z reálného laminátového objektu se zanedbanou údržbou. V práci [Popova 2018] je znečištění povrchu rozděleno do 3 skupin podle vzhledu a charakteru: šedé znečištění (Obr. 20); hnědé znečištění (Obr. 21) a zelené znečištění biologického původu (Obr. 22). Navíc bylo na základě literatury [Balcar 2012] simulováno městské znečištění na modelových vzorcích. Jsou představeny různé metody čištění a čisticí prostředky včetně jejich doporučení.

#### a) **Chemické metody čištění**

Pro testování chemického čištění byly vybrány následující prostředky: demineralizovaná voda, ethanol denaturovaný methanolem, 50% roztok denaturovaného ethanolu a demineralizované vody, čistič laminátů, lodí a karavanů SONAX, isopropanol, micelární emulze SDS (dodecylsulfát (laurylsíran) sodný v demineralizované vodě).

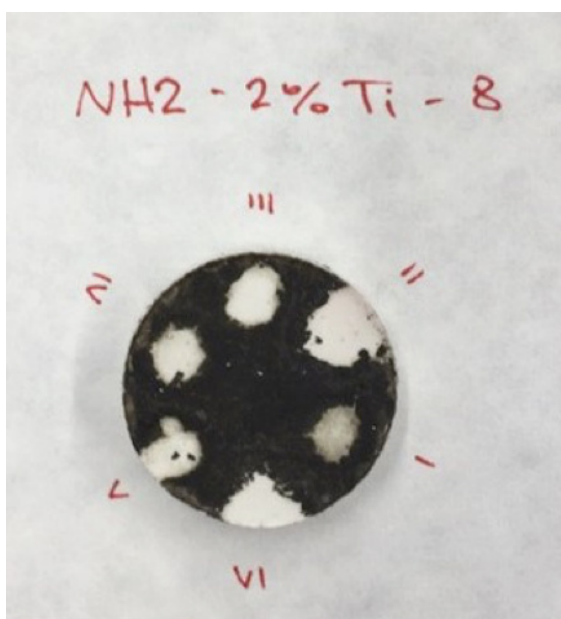
Změna byla hodnocena vizuálně pomocí optického mikroskopu a měřením změny barevnosti.

Ze závěru práce [Popova 2018] vyplývá, že šedá forma znečištění byla nejlépe odstranitelná komerčním

prostředkem SONAX a destilovanou vodou. Nejúčinnějším prostředkem pro odstranění hnědého znečištění byla destilovaná voda. Jednalo se tedy o vodorozpustné úsady. Zelený (biologický) typ znečištění byl nejlépe odstranitelný 50% roztokem ethanol-voda. Ethanol má zároveň biocidní účinky. Micelární emulze SDS vykazovala menší nebo maximálně stejný účinek jako ostatní testované chemikálie. Nejnižší účinnost čištění vykazoval isopropanol.

Všechny použité chemické prostředky jsou pro laminát bezpečné [Doležel 1981]. U komerčního čističe Sonax se nepodařilo zjistit přesné složení. Nicméně, výrobce v postupu uvádí po čištění důkladné opláchnutí místa čistou vodou. Důvodem je pravděpodobně poměrně vysoká hodnota pH 10,3. Při působení zásaditých roztoků může docházet k hydrolýze esterových vazeb v polyesterové pryskyřici a při kontaktu se skelnou výztuží k jejímu poškození v důsledku vyluhování kationtů [Beranová 1985]. **Pro uvedené důvody nelze použití čisticího prostředku SONAX pro lamináty doporučit pro povrchy (např. popraskané), ze kterých nelze čisticí prostředek důkladně vymýt čistou vodou.**

Na základě výsledků chemického čištění uměle znečištěných modelových vzorků byl určen ethanol jako nejúčinnější čisticí prostředek. Příklad čištěného vzorku je prezentován na Obr. 23. Subjektivní hodnocení je uvedeno v Tab. 3. Měření změn barevnosti (Obr. 24) potvrzuje výsledky subjektivního hodnocení, přičemž menší hodnota  $\Delta E^*$  znamená vyšší účinnost čištění.



Obr. 23: Vzorek uměle znečištěné polyesterové pryskyřice po chemickém čištění

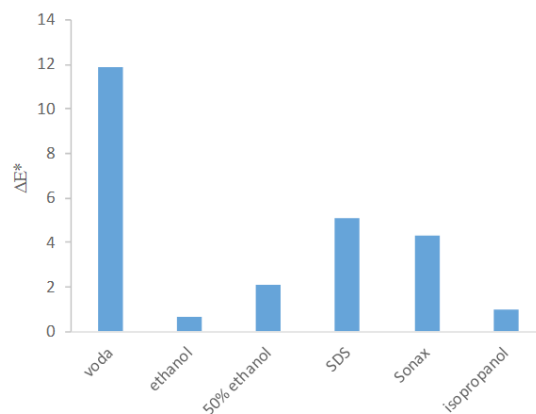
Vzorek	Číslo	Činidlo	Hodnocení*
NH2 - 2%Ti - 8	1	dest. voda	--
	2	50% ethanol	-
	3	isopropylalkohol	+
	4	SDS	-
	5	Sonax	-
	6	ethanol	++

Tab. 3: Subjektivní hodnocení čisticí schopnosti chemických prostředků uměle znečištěných vzorků

\*Čisticí schopnost: -- velmi malá; - malá; + dobrá; ++ výborná

Na odstranění uměle připraveného znečištění měly nejmenší účinnost přípravky na bázi vody nebo vodných

roztoků. Nejlepší čisticí účinek vykazoval ethanol a isopropanol. Při porovnání s výsledky přirozeně znečištěného laminátu lze říci, že umělé znečištění neodpovídalo ani jednomu typu reálného znečištění (viz Obr. 20 až Obr. 22).



Obr. 24: Barevná změna po čištění uměle znečištěných vzorků (nižší  $\Delta E^*$  znamená lepší účinnost)

### Použití silných organických rozpouštědel na bázi aromatů nebo ketonů se na čištění nedoporučuje.

Aromatické sloučeniny (např. toluen, xylen) vstupují do struktury pryskyřice a působí jako změkčovadla, čímž snižují mechanické vlastnosti. Po čase, ale dojde k jejich vytěkání bez výrazného účinku na laminát. Naproti tomu ketony (např. ethyl(methyl)keton, aceton) leptají povrch a dlouhodobé působení může vést až k rozpadu polyesterové pryskyřice, což bylo ověřeno ponořením testovacích vzorků do ethyl(methyl)ketonu a acetonu po dobu tří dnů. Právě aceton byl dříve doporučován a hojně používán na leštění povrchu polyesterového laminátu [Schätz 1976].

## b) Fyzikální metody čištění

### Čištění tryskáním

Tryskání laminátových objektů proudem abrazivních částic představuje účinnou metodu odstranění různých druhů nečistot. Během tryskání však dochází také k odstranění povrchové vrstvy. Rychlost úbytku vrchní krycí vrstvy závisí na jejím složení (obsah plniv a pigmentů) a na parametrech tryskání (typ abraziva, tlak, úhel a doba tryskání) [Popova 2018]. Výhodou tryskání je rychlé čištění povrchu včetně odstranění nedokonalostí ve vrchní vrstvě, např. mikroprasklin a degradovaných vrstev. Ovšem, vzhledem k tloušťce vrchní gelcoatové vrstvy (kolem 0,5 mm) hrozí při nevhodných parametrech tryskání nebezpečí obnažení vrstvy se skelnou výztuží. Čištění povrchu laminátových objektů pomocí tryskání je vhodné pouze v případě následného ošetření a konzervace povrchu vhodnými prostředky. Z testovaných abraziv (balotina B 112 a B 9; korund F 80 a F 220; ořechové skořápky) bylo k polyesterové pryskyřici nešetnější použití ořechových skořápek. Ostatní abraziva měla vyšší tvrdost, což se projevovalo v rychlejším úbytku materiálu a vzniku povrchu s vyšší drsností [Popova 2018].

### Čištění pomocí mechanických pomůcek

Na základě provedených testů [Popova 2018] nelze k čištění doporučit použití kartáčků z důvodu tvoření mikroskopických škrábanců hladkém povrchu polyesterové pryskyřice. Na-

víc při použití na sucho byl účinek zanedbatelný. V kombinaci s chemickými čisticími prostředky nebyl výsledek lepší, než při použití samotného chemického čisticího prostředku.

Mimo kartáčků byly na čištění testovány následující prostředky: houbička na nádobí SPONTEX (Obr. 25); autohouba ATOL JUMBO (Obr. 26); viskózní houba VILEDA GLITZI (Obr. 27); textilie z mikrovlákna VILEDA ACTIFIBRE (Obr. 28).



Obr. 25: Houbička na nádobí SPONTEX



Obr. 26: Autohouba ATOL JUMBO

Mycí houbičky SPONTEX a VILEDA byly složeny z měkké houbové části a z hrubší zelené části, která měla povahu lisovaných vláken. Obě zelené hrubé strany zanechávaly na hladkém laminátovém povrchu škrábance. Čištění měkkou houbovou částí nezpůsobovalo poškození povrchu.



Obr. 27: Univerzální houbička VILEDA GLITZI



Obr. 28: Utěrka z mikrovlákna VILEDA ACTIFIBRE

Stejně šetrná k povrchu byla také autohouba JUMBO a utěrka z mikrovlákna.

Čisticí schopnosti testovaných prostředků byly zkoušeny na vzorcích přirozeně znečištěného laminátu pouze pomocí destilované vody. Šedé nečistoty (viz Obr. 20) nejlépe odstraňovala autohouba JUMBO. Nejnižší čisticí účinnost pro hnědé nečistoty (viz Obr. 21) vykazovala viskózní houba VILEDA GLITZI. Účinnost ostatních zkoušených prostředků byla v případě hnědého typu nečistot srovnatelná. V případě zeleného znečištění (viz Obr. 22) byla nejúčinnější utěrka z mikrovlákna. Mimo hrubých částí houbiček lze všechny testované prostředky

doporučit a pro lepší účinnost je vhodné je kombinovat s nejvhodnějšími chemickými prostředky (viz kapitola III.4.1a).

#### Čištění laserem

Čištění laserem je v současnosti hodně diskutovanou a zkoušenou technikou využívanou pro různé druhy materiálů [Pardo 2018]. Práce zabývající se čištěním polyesterových laminátových soch se však nepodařilo dohledat. Proto byla tato technika vyzkoušena na sérii přirozeně znečištěných laminátových vzorků. Ve spolupráci s Ústavem chemických procesů AV ČR byly pro testy zvoleny dva typy laserů: ArF excimerový laser ( $\lambda=193$  nm,  $U=27$  kV,  $E=40,6-68$  mJ) a TEA CO<sub>2</sub> laser ( $\lambda=10$  mm,  $E=500$  mJ).

Z provedených testů čištění s různým nastavením laserů vyplynulo, že pro čištění laminátového povrchu je vhodný zkoušený ArF excimerový laser při použití fokusovaného svazku. Mimo nečistot došlo také k odstranění tenké zežloutlé degradované vrstvy (Obr. 29). Celkově je výsledek porovnatelný s tryskáním ořechovými skořápkami ve výsledném vzhledu a drsnosti čištěného povrchu [Popova 2018].

V případě TEA CO<sub>2</sub> laseru bylo pro odstranění nečistot nutné také použití fokusovaného svazku. Při čištění, byť jedním pulzem, docházelo k výraznému a nerovnoměrnému úbytku pryskyřice se vznikem důlků a prohlubní. Okolní ovlivněný materiál se zbarvil do žluta až hněda (Obr. 30).



Obr. 29: Povrch laminátu po čištění ArF excimerovým laserem s fokusovaným zářením ( $E=41,7$  mJ, počet pulzů 30)



Obr. 30: Povrch vzorku po čištění TEA  $CO_2$  laserem ( $E=500$  mJ, fokusovaný svazek, počet pulzů 1)

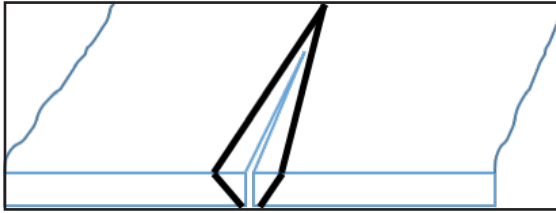
Z výsledků testovaných laserů pro čištění laminátu nelze TEA  $CO_2$  laser doporučit z důvodu velkého a nerovnoměrného úběru materiálu a barevných změn v okolí čištěného povrchu. Změnou nastavení se nepodařilo dosáhnout lepších výsledků.

Celkově je použití laserů k čištění velmi náročnou technikou zejména na čas, nákladné vybavení a provoz. Vzhledem k vysoké hustotě energie je v případě polyesterových laminátových objektů obtížné nalézt vhodné parametry nastavení, aby nečistoty byly odstraněny a povrch zůstal nepoškozen. Takové nastavení se podařilo nalézt u ArF excimerového laseru, který ovšem existuje pouze jako stacionární typ.

### III.2.10. Tmelení prasklin

Největší problém pro životnost laminátové sochy představují praskliny v celé tloušťce laminátu (viz Obr. 8), kterými proniká voda ke kostře vnitřní ocelové výztuže, jež je nejčastěji tvořena běžnou uhlíkovou ocelí. V důsledku zatékání vody a kontaktu vody s uhlíkovou ocelí dochází k urychlení koroze výztuže, což vede ke snížení nosnosti konstrukce v důsledku zmenšení průřezu použitých profilů. Přítomnost prasklin v celé tloušťce laminátu tak představuje přímé nebezpečí pro dlouhodobou stabilitu sochy, a proto je nezbytné takové praskliny zatmelit.

Nejjednodušším způsobem tmelení prasklin je použití již připravených polyesterových tmelů, které se před použitím smíchají s předepsaným množstvím katalyzátoru. Jedná se o vysoce plněné nenasycené polyesterové pryskyřice pastovité konzistence. Podle povahy tmeleného místa lze volit od jemných finálních, snadno tvarovatelných tmelů až po tmely plněné skleněnými vlákny pro opravy větších prasklin a děr. Pro nanášení je možné použít nerezovou špachtli. Po vytvrzení je možné tmel odstranit pouze mechanicky. Tmelené místo je třeba řádně odmastit a očistit (například broušením). Dovoluje-li to povaha praskliny, je vhodné prasklinu mechanicky opracovat do tvaru klínu a poté vytmelit (Obr. 31). Zhruba po 30 minutách od smísení s katalyzátorem jsou tmely vytvrzené a je možné je upravovat broušením do konečného tvaru. Pro správnou aplikaci je nutné dodržet návod výrobce.



Obr. 31: Schematické znázornění vhodné úpravy tvaru praskliny pro tmelení

Nevýhodou již připravených polyesterových tmelů je předem daná barva, kterou nelze měnit. Pro vytvoření nerušivého vzhledu tmeleného místa je nutné ho retušovat nátěrem v barvě okolí. Dalším řešením je příprava vlastního tmelu z pigmentované pryskyřice. Běžnou službou výrobců a dodavatelů polyesterových pryskyřic je namíchání barvy pryskyřice podle požadavků zákazníka. Tmel se následně připraví zahuštěním polyesterové pryskyřice vhodným plnivem např. Aerosilem (jemné kuličky  $\text{SiO}_2$  práškového charakteru). Vhodné konzistence pro tmelení lze dosáhnout po přidavku cca 10 hm. % Aerosilu [Balíková 2017]. Před aplikací je nutné přidat a důkladně rozmíchat předepsané množství katalyzátoru. Postup úpravy povrchu prasklin a tmelení je poté shodný jako v případě již připravených tmelů.

Bez následné povrchové úpravy tmelů je nutné počítat se změnou barvy (žloutnutím) v důsledku působení UV záření. Existují i UV odolné polyesterové pryskyřice, které jsou žloutnutí odolné. Jejich aplikační vlastnosti však nejsou vhodné pro použití jako tmely [Balíková 2017].

Praskliny a díry ve vrchní vrstvě laminátu je třeba také zajistit proti prů-

niku vody vytmelením. Před opravou je nutné posoudit soudržnost okolní vrchní vrstvy ke spodním vrstvám laminátu. V případě nesoudržné a oddělené vrchní vrstvy od pokladu je tuto nutné odstranit. Před tmelením je třeba praskliny a díry o něco rozšířit a upravit do vhodného tvaru pro vnášení tmelu. Při rozšiřování prasklin dojde zároveň k ověření soudržnosti okolní vrstvy laminátu, protože nesoudržné vrstvy se při mechanickém zatěžování oddělí od pokladu. Opravovaná místa je třeba důkladně očistit a odmastit. Pro samotné tmelení lze použít stejných tmelů jako v případě tmelení prasklin v celé tloušťce laminátu.

Obecně je důležité degradovaný a nesoudržný materiál z místa poškození před opravou odstranit. Příprava okolí poškozeného místa k opravě s sebou vždy přináší nutnost odstranění části originálního, často soudržného materiálu. Ztráta takové části materiálu by měla být posouzena a upřednostněna v souvislosti se záchranou zbytku sochy a jejího vzhledu před oddalováním opravy nebo provedením dočasných oprav, které bude nutno poměrně brzy opakovat.

### III.2.11. Konzervace povrchu laminátových soch

Pro životnost laminátových soch je rozhodující kvalita vrchní gelcoatové vrstvy a její odolnost proti působení vody. Pro tvorbu polyesterových laminátových soch byla nejužívanější pryskyřice ChS 104 vyráběná Spolkem



pro chemickou a hutní výrobu Ústí nad Labem. Jednalo se o základní typ nenasyčené polyesterové pryskyřice, jejíž formulace vycházela z nedostatku jiných embargovaných surovin [Pelc 2017]. Oproti zahraničním typům vykazovala pryskyřice ChS 104 horší mechanické vlastnosti a odolnost proti vodě a chemikáliím (hydrolýza, osmóza). Pro prodloužení životnosti laminátu je tedy vhodné aplikovat ochranou vrchní vrstvu.

Před aplikací jakékoliv vrchní vrstvy je nutné dokonale očistit a odmastit podklad. Pokud je povrch degradovaný, je třeba odstranit degradovanou nesoudržnou vrstvu broušením nebo leštěním prostředky určenými na lamináty a také doplnit chybějící části. Na upravený povrch lze následně aplikovat vrstvu vhodného ochranného nátěru.

Na trhu neexistují laky nebo barvy určené přímo na polyesterové lamináty s výjimkou některých komerčních epoxidových a polyuretanových nátěrových hmot (např. International, Hempel, SeaLine) určených pro ochranu laminátových lodí. Nevýhodou těchto nátěrových hmot je omezená nabízená barevná škála a nutnost mechanického odstranění při renovaci.

Další možností ochrany povrchu je použití polyesterových pryskyřic vyvinutých pro vytvoření závěrečné vrstvy laminátu tzv. topcoatu. Topcoatové pryskyřice tvoří dlouhodobou ochranu proti povětrnosti a jsou odol-

né vůči UV záření. Mohou se nanášet štětcem, válečkem nebo stříkací pistolí. Na základě provedených testů aplikačních vlastností u topcoatů nabízených firmou Skolil Kompozit s.r.o. doporučujeme vyzkoušet různé druhy nanášecích pomůcek (štětce a válečky) a vybrat variantu poskytující kvalitní rovnoměrnou vrstvu topcoatu o tloušťce předepsané výrobcem.

Mezi výhody použití topcoatů patří možnost pigmentace na barvu podle přání zákazníka a vysoká odolnost proti povětrnosti. Nevýhodou je úzký interval teplot pro aplikaci (obvykle 18-23 °C) a prakticky nulová reverzibilita.

Z hlediska reverzibility není otázka použití ochranných vrstev na původní materiál zcela jednoznačná. Při konzervačním zásahu je nutné s vlastníkem vyřešit formu povrchové ochrany. Mezi nejodolnější nátěry patří bezrozpuštědlové systémy na bázi epoxidu nebo polyurethanu. Tyto systémy jsou dvousložkové a vytvrzují síťováním za tvorby reaktoplastického produktu, který není rozpustný v žádném rozpouštědle. Současně je potřeba vyřešit otázku dostatečné adheze, která bývá v případě sklolaminátu problematická. Pro zlepšení adheze je výrobcem často doporučováno použití primeru, jehož aplikace je však často také nereverzibilní [Benson 2013].

Jako reverzibilní dočasnou ochranu povrchu lze využít aplikaci mikrokrystalických vosků, stejně jako v případě

kovových soch [Considine 2010; Stigter 2008]. Pro déletrvající reverzibilní úpravu povrchu s udávanou dobrou odolností proti povětrnosti lze použít Paraloid B-84, který byl vyvinut speciálně pro aplikaci na laminátové a plastové povrchy. Bohužel tento typ není v současné době nabízen žádným distributorem v České republice ani v sousedních zemích. Dále chybí experimentálně ověřená data o odolnosti tohoto typu Paraloidu proti povětrnosti. Z důvodu špatné dostupnosti nebyl v této metodice Paraloid B-84 testován.

### III.2.12. Úpravy okolí

Životnost polyesterových laminátových soch je ovlivňována především vnějším prostředím a jeho činiteli. Proto je vhodné v blízkosti soch odstranit vegetaci, která ve svém okolí zvyšuje vlhkost a podporuje napadení laminátu biologickými činiteli.

Další možností ochrany soch před působením vnějších vlivů, především vody a UV záření, představuje zakrytí sochy stříškou.

### III.2.13. Údržba

Životnost laminátových soch může být výrazně prodloužena pravidelnou údržbou skládající se z následujících položek:

- Odstranění nečistot umytím šetrným prostředkem (viz kap. III.4.1) – 2x ročně

- Periodické kontroly stavu povrchu pro odhalení defektů – 2x ročně (ideálně po čištění)
- Oprava, případně obnova vrchní ochranné vrstvy – podle potřeby

### III.2.14. Základní materiály pro opravy polyesterových laminátů

V České republice působí čtyři významné společnosti zabývající se prodejem materiálů pro výrobu laminátů. Všechny společnosti poskytují technologické a materiálové poradenství ohledně použití nabízených produktů. Jedná se o následující společnosti:

- Havel Composites CZ s.r.o.  
(<http://havel-composites.com>)
- GRM systems s.r.o.  
(<http://www.grm-systems.cz>)
- Skolil Kompozit s.r.o.  
(<http://www.skolil.cz>)
- POLYGLASS Rakovník  
(<http://polyglass.cz>)

V nabídce uvedených firem lze nalézt produkty vhodné pro opravy polyesterových laminátů.

Seznam skupin materiálů vhodných pro opravy polyesterových laminátů:

GEALCOAT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- speciální pryskyřice určená pro přípravu první vrstvy laminátu (nanáší se jako první do formy)</li> <li>- typy s deklarovanou odolností povětrnosti a UV;</li> <li>- lze pigmentovat a nanášet štětcem, válečkem nebo stříkáním</li> </ul>
TOPCOAT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- speciální pryskyřice určená jako poslední vrstva laminátu při laminování do formy</li> <li>- typy s deklarovanou odolností povětrnosti, UV a vodě</li> <li>- lze připravit z gelcoatového typu po přidavku voskového roztoku</li> <li>- lze pigmentovat a nanášet štětcem, válečkem nebo stříkáním</li> <li>- také označení pro nátěrové hmoty určené pro nanášení na vnější (gelcoatovou) vrstvu laminátu – především pro lodě</li> </ul>
POLYESTEROVÁ PRYSKYŘICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- polyesterové pryskyřice jsou vyráběny na bázi kyseliny ortoftalové (typ orto), isoftalové (typ iso), dicyklopentadienu (typ DCPD) a vinyl-esterové (nejčastěji bisfenol A místo kys. ftalové)</li> <li>- většina nabízených pryskyřic je již předurychlená a tixotropní</li> <li>- pro povětrnostní zatížení se doporučuje použití isoftalového typu</li> </ul>
KATALYZÁTORY	<ul style="list-style-type: none"> <li>- látky na bázi peroxidů zahajující síťující reakci po přidavku do nenasyacených polyesterových pryskyřic</li> <li>- nutno dodržet předepsané množství a teplotu působení</li> </ul>
URYCHLOVAČE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- většinou na bázi organického kobaltového komplexu</li> <li>- pro vytvrzení pryskyřic za normální teploty, které nejsou předurychlené</li> <li>- NEMÍCHAT URYCHLOVAČ S KATALYZÁTOREM = HROZÍ VÝBUCH!</li> </ul>
PLNIVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pro získání tixotropních vlastností pryskyřice a přípravu tmelů</li> <li>- typy na bázi SiO<sub>2</sub> (např. Aerosil), uhlíkových vláken, celulózy</li> </ul>
TKANINY	<ul style="list-style-type: none"> <li>- skelné nebo uhlíkové typy; různé gramáže (cca 20 – 400 g/m<sup>2</sup>)</li> <li>- nižší gramáže jsou používány ve vrstvách pod povrchem</li> </ul>
ROHOŽE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- skelné rohože s gramážemi cca 30 – 600 g/m<sup>2</sup></li> <li>- nižší pevnost než tkaniny, ale lépe tvarovatelné</li> </ul>
TMELY	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pro polyesterové lamináty doporučovány polyesterové typy</li> <li>- mnoho druhů podle použití – např. jemný dokončovací; se skelným vláknem; elastický; snadno brousitelný atd.</li> <li>- dvousložkový systém – míchání s katalyzátorem (peroxidem) před použitím</li> <li>- snadné použití, ale předem určená barva</li> </ul>
LEŠTICÍ PASTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pro finální úpravu povrchu po aplikaci ochranné vrstvy nebo zoxidované starší soudržné vrstvy</li> <li>- systém s odstupňovanými hrubostmi nebo univerzální pasta s širším rozsahem použití</li> </ul>

### **III.2.15. Zdůvodnění „novosti postupů“**

Autorům není známa metodika nebo práce zabývající se preventivní ochranou a průzkumem venkovních polyesterových laminátových soch. Jelikož je tato metodika zaměřena pouze na polyesterové skelné lamináty, byla vyvinuta rychlá a spolehlivá metoda na rozlišení epoxidových a polyesterových laminátů pomocí přenosné rentgenové fluorescence. Pro detailní analýzu laminátu, jako kompozitního vrstevnatého materiálu se hodí specifické analytické metody, které jsou vyjmenovány. Příprava vzorku souvrství pro zkoumání není detailně popsána, jelikož lze využít již existující metodiky, např. [Kopecká 2013]. Ohledně čištění a údržby polyesterových laminátových soch, neexistuje metodika nebo návod, který by tento problém řešil.

Ani v zahraničí nebyla podobná metodika nalezena. Při rešeršní činnosti bylo nalezeno několik prací zabývajících se otázkou průzkumu a restaurování polyesterových nebo epoxidových laminátových soch od světově známých [Beerkens 2012, Levaï 2017], i méně známých umělců [Kauppinen 2015, Benson 2013, Salvadori 2016].

### **III.2.16. Uplatnění certifikované metodiky**

Metodika podává celkový přehled dílčích aspektů preventivní konzervace polyesterových laminátových soch. Měla by najít uplatnění

v oblasti péče o specifická umělecká díla, jakými jsou polyesterové skelné lamináty. V metodice jsou uvedeny a diskutovány vhodné analytické metody nezbytné pro provedení detailního průzkumu složení laminátových soch, což je nutné před provedením restaurátorského zásahu. Proto lze předpokládat, že metodika najde uplatnění u restaurátorů, kteří budou postaveni před tento úkol. V neposlední řadě by měla metodika být nápomocna vlastníkům laminátových soch z hlediska schopnosti posouzení míry poškození objektu a vhodnosti navrženého postupu konzervace restaurátorem nebo technologem.

### III.2.17. Seznam použité a související literatury

Schätz M.: *Moderní materiály ve výtvarné praxi*, 1. vyd. ed. Polytechnická knihovna. SNTL: Praha, 1982. ISBN 04-618-82.

Richter, S.: Sochařství v novém materiálu. *Umění a řemesla* 1963, 2, 58–63.

Svoboda B.: Plastické hmoty a umění. *Technický magazín* 1970, 10, 40–41.

Šternschuss A.: *Polyesterové skelné lamináty*, 1. vyd. ed. Makromolekulární látky. SNTL: Praha, 1959.

Doleček K.: *Výzkum vlastností polyesterových skelných laminátů z nových typů pryskyřic*, 1. vyd. SNTL: Praha, 1966.

Zilvar V.: *Polyesterové skelné lamináty*, 1. vyd. RVTS: Praha, 1958.

Slezák O.: *Zpracování a použití polyesterových skelných laminátů*, 1. vyd. ed. Knihovna strojírenské výroby. SNTL: Praha, 1965.

Pelc B.: Ústní sdělení, 2017.

Rejman M.: *Co a jak s polyesterovými skelnými lamináty*, 1. vyd. ed. Polytechnická knihovna. Ř. 3, Udělejte si sami. SNTL: Praha, 1972.

Schätz M.: *Polymery ve výtvarné praxi*, 1 vyd. ed. Učebnice odborných a středních odborných škol. SPN: Praha, 1976.

Doležal V.: *Plastické hmoty*, 2. vyd. SNTL: Praha, 1965.

Doležel B.: *Odolnost plastů a pryží*, 1. vyd. SNTL: Praha, 1981.

Beranová M.: Koroze skelných laminátů. Dizertační práce. VŠCHT Praha, 1985.

Balcar N., Barabant G., Bollard C., et al.: Studies in cleaning plastics. *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*, 1st ed.; Bietlot Imprimerie: Belgium, 2012; Chapter Studies in active conservation of plastic artefacts in museums, pp 225–270.

Pardo L. P., Korenberg C.: The use of erbium lasers for the conservation of cultural heritage. A review. *Journal of Cultural Heritage* 2018, 31, 236–247.

Kopecká I., Svobodová E.: Metodika pro spektrální analýzu organických látek (organických pojiv, barviv a syntetických polymerů) ve vzorcích historických nebo uměleckých materiálů, které jsou tvořeny souvrstvím, 2014. Národní úložiště šedé literatury. <http://invenio.nusl.cz/record/204313?ln=cs> [staženo 17.3.2016].

Popova K.: Čištění povrchu polyesterových skelných laminátů. Semestrální práce. VŠCHT Praha, 2018.

Balíková K.: Doplnování prasklin děl ze sklolaminátu. Bakalářská práce. VŠCHT Praha, 2017.

Benson P. L.: Some Considerations in Determining New Paint Systems for Use in the Treatment of Painted Fiberglass and Steel Outdoor Sculptures, in: *Proceedings from the interim meeting of the Modern Materials and Contemporary Art Working Group of ICOM-CC*, Kröller-Müller Museum, Otterlo, The Netherlands, 4-5 June 2013. pp. 87-94.

Considine B., Wolfe J., Posner K., Bouchard M.: *Conserving Outdoor Sculpture: The Stark Collection at the Getty Center*. Los Angeles, CA: The Getty Conservation Institute, 2010.

Stigter S., Beerkens L., Schellen H. L., Kuperholc S.: Joep van Lieshout's 'Mobile Home for Kröller-Müller': Outdoor polyester sculpture in transit. In: *Proceedings of 15th Triennial Conference*, ICOM Committee for Conservation, New Delhi, 22-26 September 2008. pp. 489-96.

Beerkens L., Breder F.: Temporary Art? The Production and Conservation of Outdoor Sculptures in Fiberglass-Reinforced Polyester. [http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/newsletters/27\\_2/temporary\\_art.html](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/27_2/temporary_art.html) [staženo 15.5.2016].

Levai I.: La restauration de la fontaine de Niki de Saint Phalle à La Petite Escalère. 2017. <https://lpe-jardin.org/evenements/restauration-de-fontaine-de-niki-de-saint-phallenana-1967/> [staženo 3.3. 2019].

Kauppinen L., Häyhä H.: The Circus Horses Are Under the Weather. In: *Monumental Treasures, Preservation and Conservation*, XX NFK Congress, Helsinki, Finland, 21-23 October 2015. pp. 134-141.

Salvadori B., Cantisani E., Colombini M. P., Tognon C. G. R.: Painted Fiberglass-Reinforced Contemporary Sculpture: Investigating Composite Materials, Techniques and Conservation Using a Multi-Analytical Approach. *Applied Spectroscopy* **2016**, 70(1) 174-185.

### **III.2.18. Seznam publikací – výstupů z práce**

Knotek V., Křenková Z., Balíková K.: Historical-technology survey and possibilities of sealing cracks in fibre-glass plastics. In: Zborník príspevkov z konferencie CSTI 2018 Conservation Science, Technology and Industry. 7. – 9. 3. 2018. Bratislava, Slovenská republika, pp. 232–244. ISBN 978-80-8060-435-6.

Knotek V.: Study of Glass Reinforced Polyester Sculptures by Handheld XRF Spectrometer. Poster. European Conference on X-Ray Spectrometry 2018, 24. – 29. 6. 2018. Lublaň, Slovinsko.

Knotek V., Popova K., Fajgar R.: Čištění sklolaminátových děl umístěných v exteriéru. Poster. Konference konzervátorů-restaurátorů. 11. – 13. 9. 2018. Mikulov, Česká republika.

Knotek V., Červinka J., Hricková K.: Flying Gulls: A Survey of Glass-Reinforced Polyester Sculpture. Poster. International Conference on the use of Analytical Techniques for Characterization of Artworks. 7. – 10. 5. 2019, Bruggy, Belgie.

Č. j. MK 11109/2020 OVV

Sp. Zn. MK-S 14289/2019 OVV

**v y d á v á**

## **OSVĚDČENÍ**

č. 196

**o uznání uplatněné metodiky**

v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výzkumných organizací a hodnocení programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací“

**Název metodiky:** *Metodika preventivní ochrany a průzkumu laminátových soch v exteriéru*

**Autorský kolektiv:** *Vítězslav Knotek, Josef Červinka, Zuzana Křenková, Vladislava Říhová*

**Příjemce podpory, na jehož základě byla metodika vytvořena:** *Univerzita Pardubice, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*

**Dedikace:** *Projekt NAKI „České umění 50. - 80. let 20. století ve veřejném prostoru: evidence, průzkumy a restaurování“*

**Identifikační kód projektu:** *DG16P02B030*

**Uživatelé metodiky v praxi:**

- restaurátoři
- vlastníci a správci laminátových soch

V Praze dne 12. 2. 2020



Ing. Martina Dvořáková  
ředitelka Odboru výzkumu a vývoje

