

Testování adheziv pro barevnou vrstvu

Renata Tauchmanová, Renata Tišlová

Fakulta restaurování Univerzity Pardubice

Ateliér restaurování a konzervace děl nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury



Abstrakt | Fixování barevné vrstvy má dlouholetou tradici v restaurování barevné vrstvy na plátně, při rentoaláži, zajištění krakel barevné vrstvy nebo v rámci lokálních zásahů, při kterých je třeba zafixovat barevnou vrstvu zpět k textilní podložce. Na sochařských dílech s barevnou vrstvou se můžeme setkat s podobnými fenomény poškození – nánosy barev se oddělují od povrchu v krakelách, které je třeba zpět zafixovat k podkladu. Při jejich obnově se postupně začaly aplikovat materiály a postupy z oboru restaurování obrazů, avšak bez provedení ověření účinku materiálů a trvanlivosti opravy. V rámci příspěvku jsou představeny výsledky výzkumu na toto téma. V rámci diplomové práce byla otestována škála tradičních i nových adheziv na bázi přírodních a syntetických polymerů, které jsou díky svým vlastnostem předurčeny pro využití na zajištění barevné vrstvy – BEVA 371, BEVA GEL, Tylose MH 6000, Plextol B 500, Acrylkleber 498 HV, Laropal A81, Funori užitá ve směsi s vyzinou, Acrylharz P 550–40% Glanz, Paraloid B72, Paraloid B82, Aquazol 500. U adheziv byly na laboratorně připravených vzorcích sledovány aplikační vlastnosti, popsán ideální a vůči podkladu i barevné vrstvě šetrný postup při nanášení, schopnost fixace v různých koncentracích, změna barvy substrátu i barevné vrstvy po fixaci. Pozorování bylo doplněno měřením pevnosti v tahu, tažnosti a elasticity měřené na filmech připravených z adheziv. Výsledky práce byly ověřeny při řešení fixace na reálných objektech, vybraný systém byl použit při restaurování sochy sv. Jana Nepomuckého ze sbírek Lapidária Nár. muzea.

Adhesives in the Conservation of Stone Painted Finishes

Abstract | The main problem concerning polychrome stone artifacts lies in the separation of the paint layer from the surface. There are many causes of such deterioration of the paint: primarily, drying cracks occur during the initial drying of the paint film, followed by different chemical (ageing) processes and physical effects. Furthermore, the application of over-paintings or conservation treatments generates stresses which result in cracking, cleavage or flaking of the paint films which causes delamination but, more often, separation of the painting from the surface. This work deals with the consolidation of decorated stone artifacts subjected to such deterioration. The spectrum of adhesives and technology applied within the study has been developed from the restoration of painting on canvas where both are very well established. This work presents some of the results of the research which evaluates different synthetic and natural adhesives in order to provide a better insight into the effect of individual products in such areas of application. Acrylic resins used either in the form of a dispersion or a solution in organic solvent (Paraloid B72, Paraloid B82, Acrylharz P550 40% Glanz, Plextol B 500, Acrylkleber 498 HV), PVAC (Beva Gel, Beva 371) and aldehyde resin (Laropal A81) were selected within the research. The properties of synthetic adhesives were compared with natural ones – Tylose MH 6000 and Funori used mixed with sturgeon glue. Aquazol 500, poly (2-ethyl-2-oxazoline) was one of the alternatives recommended as a material with good adhesion properties. The testing was designed to describe the application and working properties of individual products. In order to compare the main characteristics of the adhesive materials, dry films of the products were prepared and aesthetic and mechanical properties such as uniaxial tensile strength, elongation and modulus of elasticity of the adhesives were also determined. The effects of adhesives were proven on decorated stone objects; the polychrome statue of St. John of Nepomuk was consequently restored using adhesives and technology developed within the study.



Obr. 1 Socha sv. Jana Nepomuckého z Lapidária Národního muzea v Praze – stav před restaurováním.

1. Úvod

Fixování barevné vrstvy na minerální podklad navazuje v postupech i materiálech na tradici restaurování barevné vrstvy na plátně. Tradičně se užívá při rentoaláži (metoda podlepování starého malířského plátna na nové plátno) nebo při opětovném zajištění odloučené barevné vrstvy (krakel) zpět k textilní podložce. Při jejím zajištění se v současnosti stále užívají tradiční materiály – zejména vosko-pryskyřičné směsi s damarou, BEVA 371, Paraloid B72 nebo v poslední době prostředek Acrylkleber. Jejich použití je v některých případech vzhledem ke složení i vlastnostem těchto látek diskutabilní a nabízí se možnost jejich nahrazení novějšími materiály, které lépe vyhovují požadavkům na chemické složení, stabilitu, fixační účinek, aplikační vlastnosti i odstranitelnost. Také postupy při aplikaci adheziv vycházejí z jejich využití na plátěné podložce; polymerní prostředky užívané pro fixaci se většinou vyznačují termoplastickými vlastnostmi, účinkem tepla se aktivují, měknou nebo taví a obnovují se jejich lepící schopnosti. V tomto stavu se při upevnění barevné vrstvy k podložce využívá mechanický účinek např. špachtle, který zajistí přitlačení oddělené barevné

vrstvy k podkladu. Obojí účinek může zajistit tzv. tepelná špachtle, žehlička, příp. vyhřívání vakuový stůl s regulovaným ohřevem, které lze využít pouze na dobře propustné podložky s pravidelným hladkým povrchem obrazu, nikoliv však na kamenných objektech. Druhou možností, v současnosti prakticky nevyužívanou, je použití aktivace vodní parou, která může představovat alternativu k suchým tepelným procesům a může být účinnější, zvláště v případech materiálů, které se účinkem vlhkosti v kombinaci se zvýšenou teplotou aktivují, např. polymerní disperze, proteinová pojiva, deriváty celulózy.

Postupy a materiály aplikované při zajištění barevné vrstvy na kámen, jak již bylo uvedeno, vychází z tradice restaurování barevné vrstvy na textilní podložce. Je zřejmé, že díky odlišnosti materiálů substrátu i typologii objektů, nemusí tradičně využívané materiály ani postupy zcela vyhovovat. Typu minerálního podkladu je nutné přizpůsobit způsob aplikace, koncentraci užívaného adheziva i technologii při aplikaci. Po jejich nanesení je nutné ověřit přidržitelnost adheziva k poréznímu typu substrátu, které nemusí být totožné s výsledky dosahovanými

prostředky užívanými na textilní podložku. Také škála materiálů nemusí zcela odpovídat materiálům vhodným pro aplikaci na obrazech. Z tohoto hlediska byly stanoveny základní cíle této studie:

- Vytipovat vhodné materiály pro daný typ aplikace na porézní substrát horniny, shrnout základní vlastnosti adheziv, důležitých zejména z pohledu daného typu užití
- Popsat postup při jejich aplikaci na daný typ substrátu (koncentrace, podmínky, lepící schopnost při různých podmínkách, zejména teplotě, aktivaci)
- Otestovat lepící schopnost k podkladu a změřit mechanické vlastnosti samotného filmu adheziva (pevnost při zatížení tahem, tažnost, elasticita)
- Stanovení jiných vlastností důležitých pro praktické užití – vzhled, barva, charakter filmu

Práce představuje pouze dílčí výsledky výzkumu, který byl proveden v souvislosti s řešením diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice v Litomyšli. Práce byla vypracována v roce 2014/2015, k obhajobě bude připravena v roce 2016. V jejím rámci bylo provedeno restaurování polychromované kamenné sochy sv. Jana Nepomuckého z Lapidária Národního muzea v Praze. Při návrhu technologie restaurování byl proveden výzkum materiálů vhodných k zajištění polychromie na kamenný substrát. Výběr materiálů, postupů i testovaných vlastností vyplýval z umístění objektu, který bude po restaurování opětovně umístěn do interiérových podmínek Lapidária. Klimatický režim interiéru Lapidária byl zjištěn a je popsán v restaurátorské dokumentaci.

Socha sv. Jana Nepomuckého byla depopována do sbírek Lapidária v době asanace Prahy kolem roku 1900. Socha světce byla s největší pravděpodobností součástí niky v některém měšťanském domě v centru Prahy. Autor je neznámý, usuzuje se, že se jedná o českého sochaře pozdního baroka, z let kolem 1730–1740. Socha byla pravděpodobně dlouhá léta exponována v exteriéru a tato skutečnost se na kameni samotném i na barevné povrchové úpravě negativně podepsala. Mezi hlavní poškození patří zkrakelovaný povrch polychromie a její odpadávání od kamene, které je patrné cca na 70% dochovaného povrchu (Obr. 1, 2).

Výběr materiálů adheziv

Výběr adheziv byl proveden na základně studia tradičních i v současnosti užívaných materiálů, které se vyznačují lepivým účinkem. Výběr prostředků byl proveden ze skupiny přírodních a syntetických polymerů, které vyhovují stanoveným požadavkům na adheziva v daném typu aplikace:

- **chemické složení prostředku** by se mělo přibližovat co nejvíce původnímu materiálu. Tento požadavek vzhledem ke složení původního pojiva barevné vrstvy nelze dodržet (pojivo barevných



Obr. 2 Zkrakelovaný povrch polychromie a její odpadávání na soše sv. Jana Nepomuckého.

vrstev na kámen bylo většinou na olejové bázi; olej nemá sám o sobě lepící účinky, navíc tuhne pozvolna fotooxidační reakcí. Proto spíše než požadavek na shodu v chemickém složení adheziva je nutné užití takové adhezivum, které nebude mít nepříznivé účinky na polychromii (chemická interakce) ani podklad a nesmí změnit její charakter (barva, lesk). Do těchto požadavků je nutné zařadit i účinek média (voda nebo organické rozpouštědlo), ve kterém je adhezivum aplikováno. Také jeho účinkem nesmí dojít k poškození barevné vrstvy.

- Důležitým požadavkem při aplikaci fixačního prostředku je reverzibilita adheziva. Cílem je využít takové adhezivum, které by bylo možné při budoucí opravě odstranit bez poškození objektu, a to běžně dostupnými postupy a prostředky. S dobrou odstranitelností souvisí **stabilita** prostředků, tj. odolnost vůči stárnutí vlivem různých podmínek, zejména UV záření, jehož účinkem dochází k nevratným změnám v chemické skladbě a změně vlastností včetně rozpustnosti a odstranitelnosti. Předpokladem pro jednoduché odstranění je vždy užívání systémů o jednoduchém složení a vyloučení směsí, u nichž jednotlivé složky odlišně stárnou, a návrh odstraňovacího systému je pak prakticky znemožněn.

- Pro provedení účinného zajištění barevné vrstvy je nutné používat prostředky s **dobrym lepivým účinkem**. Prostředky by měly dostatečně a dlouhodobě zafixovat barevnou vrstvu k podkladu, a to za jasně definovaných podmínek (teplota, postup, koncentrace).¹

V neposlední řadě byl výběr adheziv založen na informacích získaných z odborné literatury, průzkumu restaurátorských dokumentací a na konzultacích se zkušenými restaurátory a specialisty z oboru z České republiky i zahraničí²⁻⁴.

Název prostředku, výrobce, distributor	Složení adheziva	Forma originál	Sušina orig.* (hm.%)	Rozpouštědlo/ředidlo
Paraloid B72 (Rohm & Haas)	kopolymer EMA/MA	granulát, bezbarvý	–	toluen, ethanol, xylen, aceton
Paraloid B82 (Rohm & Haas)	homopolymer MMA	granulát, bezbarvý	–	toluen, ethanol, xylen, aceton
Aquazol 500 (Lascaux Restauro, distr. Kremer Pigmente GmbH&Co.)	monomer 2-ethyl -2-oxazoline (EOX)	granulát, bílý	–	H ₂ O, organická rozpouštědla
Acrykleber 498 HV (Lascaux Restauro, distr. Kremer Pigmente GmbH&Co.)	kopolymer MMA/BA	disperze, krémové konzistence, mléčně zakalená	41	H ₂ O, toluen, xylen, aceton
Plextol B 500 (Lascaux Restauro, distr. Kremer Pigmente GmbH&Co.)	kopolymer EA/MMA	disperze	50	H ₂ O
Laropal A81** (distr. Kremer Pigmente GmbH&Co.)	Aldehydová pryskyřice	granulát, bílý	–	ethanol, alkoholy, estery, ketony, arom. uhlovodíky
Beva Gel (Lascaux Restauro)	kopolymer ethylvinylacetátu a akrylové pryskyřice ve vodném roztoku nitrocelulózy	disperze, krémové konzist., nahnědlá	63	H ₂ O, isopropyl- alkohol, toluen
Beva 371 (Gustav Berger's original formula) (Lascaux Restauro)	kopolymer ethylvinylacetát, ketonová pryskyřice, parafín 40%	disperze, želatinové konzistence, žlutý	47	toluen, benzín, částečně isopropylalkohol
Acrylharz P 550 40% Glanz (Lascaux Restauro)	Butylmetakrylát, 40% roztok ve white spiritu 100/125	roztok, bezbarvý	45	white spirit, toluen, xylen, aceton, částečně ethanol, isopropylalkohol
Tylose MH 6000 (Hoechst)	MHEC	prášek, bílý	–	H ₂ O
Funori + vyzina (Kremer Pigmente GmbH&Co.)	červené řasy čeledi Gloiopeltis, jeseteří klíh	kousky, okrové	–	H ₂ O

Pozn.* – Sušina prostředků (tzv. Dry volatile content) byl naměřen autorkou vždy u třech vzorků od daného typu adheziva v souladu s normou ASTM D2369).

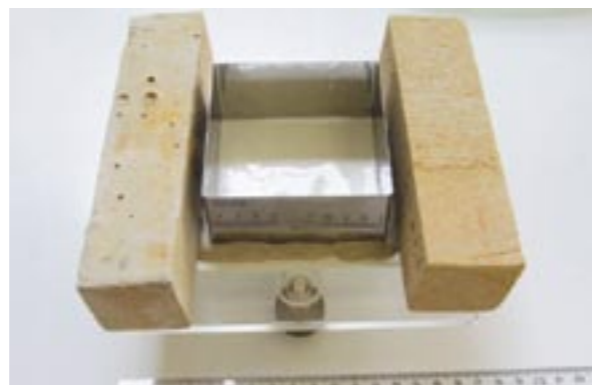
Pozn.** – Z důvodu nemožnosti připravit film nebyl prostředek dále studován.

Tab. 1 Základní vlastnosti použitých adheziv – popis prostředků, složení a koncentrace.

2. Příprava vzorků pro hodnocení

Charakter použitých adheziv byl popsán na filmech prostředků připravených shodně z 20% roztoku. Prostředky byly naředěny rozpouštědlem, které je uvedeno jako první ve sloupci rozpouštědlo/ředidlo v Tab. 1. U suchých materiálů byly připraveny filmy z Paraloidu B72 i B82 rozpuštěním polymerů ve směsi toluenu/ethanolu (1:3, obj.); Aquazol, Tylosa a směs Funori a vyziny byly rozpuštěny ve vodě s přísadkou 5% isopropanolu jako desinfekčního prostředku. Roztok Laropalu K81 byl připraven rozpuštěním v ethanolu. Filmy byly připraveny odlitím stejného množství roztoku (7,5 ml) do nerezových forem o rozměrech 8x8 cm (Obr. 3). Vzhledem k nízké viskozitě bylo nutné snížit koncentraci u prostředku Tylose MH 6000, která byla upravena až na 2 hm.%, totéž bylo provedeno u Funori užití ve směsi s vyzinou, Funori byl naředěn na koncentraci 1,25 %, vyzina na koncentraci 5 % (roztoky byly následně smíchány v poměru 1:1, obj.). Koncentrace takto zředěných roztoků odpovídaly konzistencím pro odlévání i fixaci barevné vrstvy. Filmy byly odlévány na silikonovou podložku (BEVA GEL, Tylosa MH 6000, Plextol B 500, Acrykleber 498 HV, Fu-nori užití ve směsi s vyzinou), silikonový papír (BEVA 371, Acrylharz P 550-40% glanz, Paraloid B 72, Paraloid B 82) nebo hliníkovou nepřílnavou fólii (Aquazol 500). V případě adheziva Laropal A 81 nebylo možné film odlít, a proto byl prostředek z následného testování vyřazen. Filmy byly ponechány v laboratorních podmínkách do odpaření rozpouštědla a zaschnutí filmu. Poté byly filmy lehce sejmuty z podložky a uschovány v temnu a suchu do testování.

Druhou skupinu vzorků tvořily vzorky poškozené barevné vrstvy s podkladem připravené v laboratorních podmínkách. Při její přípravě byla použita alkydová barva na olejové bázi (fa Winsor & Newton), která rychleji vysychá a olejovému typu barvy z historických objektů se chemicky i charakterem naneseného filmu nejvíce podobá (tvoří nános s charakterem pasty o velké krycí mohutnosti). Podklad pod barevnou vrstvou byl vytvořen z plátna silně naklíženého želatinou, na který byl následně nanesen emulsní šeps, který se skládal z plavené křídly, titanové běloby, želatiny a lněného oleje. Nátěr se provedl opakovaně ve dvou vrstvách, křížem přes sebe. Druhý nátěr se aplikoval bezprostředně po nanesení souvislé první vrstvy. Síla obou vrstev dosahovala cca 1 mm. Po zaschnutí šepsu následovaly dva pastózní nátěry alkydovou barvou, vždy po zaschnutí první (vždy ponecháno na cca 24 hodin v sušárně při 40 °C). Barevná vrstva byla z lícové strany zajištěna přelepem s gázou nasycené v 2% Tylose MH 6000 (Obr. 4). Plátno se po zaschnutí přelepu uvolnilo z rámu a barevná vrstva s podkladem



Obr. 3 Odlévání filmu v nerezové formě.



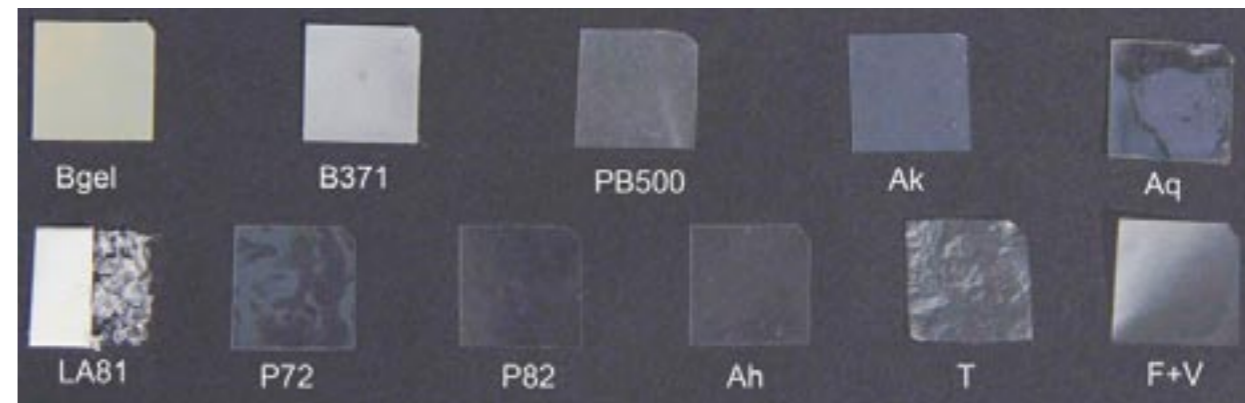
Obr. 4 Výroba umělých krakel na plátně s gázovým přelepem.



Obr. 5 Testovací pole s uměle vytvořenými krakely.



Obr. 6 Zažehlování umělých krakel pomocí adheziva přes melinexovou fólii tepelnou špachtlí s regulovaným ohřevem.



Obr. 7 Filmy testovaných adheziv.

se z plátna sejmula a nastříhala do pravidelného formátu o rozměrech cca 8x7 cm. Deformace simulující zkrakelovanou barevnou vrstvu byla docílena ručně rozpraskáním barevné vrstvy jednoduchým vyvinutím tlaku z rubu souvrství. Takto vznikla pravidelná síť prasklin (Obr. 5). Gáza byla na závěr odstraněna vlhčením z lícové strany teplou vodou. Takto připravená barevná vrstva byla lepena adhezivy na kamenný podklad přes melinexovou fólii (tloušťka cca 50 µm) (Obr. 6), který typově i vlastnostmi odpovídal hornině z referenčního objektu, tj. sochy sv. Jana Nepomuckého. Jednalo se o jemnozrnný typ pískovce křemičitého typu, který se vyznačoval vysokou nasákavostí vodou a porozitou.

Na takto připravených vzorcích byly testovány lepicí účinky adheziv při různých podmínkách aplikace – koncentrace, aktivačních podmínkách, přítlaku.

Na závěr byla vybraná adheziva s nejlepším účinkem otestována in-situ na referenčních objektech, nejprve na pískovcovém bloku s poškozenou monochromní barevnou úpravou, v závěru byl nejlepší materiál i technologie aplikovány při restaurování sochy sv. Jana Nepomuckého.

3. Testované vlastnosti

Vzhledem k rozsahu studie bylo pro prezentaci vybráno pouze několik dosažených výsledků, které se zaměřují zejména na hodnocení vlastností samotných adheziv, jejich aplikaci a podmínky aplikace. Dále jsou představeny výsledky subjektivního hodnocení přídržnosti, doplněné o výsledky pevnosti filmů adheziv, jejich tažnosti a elasticity, které podávají informaci o mechanických vlastnostech samotného prostředku.

3.1 Vzhled a charakter filmů adheziv – subjektivní hodnocení

Hodnocení zahrnuje popis základních optických vlastností filmů adheziv – vzhled, barva, charakter (lesk, mat). Subjektivně byly na filmech také hodnoceny mechanické vlastnosti, zejména pev-

nost/křehkost, elasticita při zatížení v tahu. Hodnocení bylo provedeno na filmech připravených dle popisu, který uvádí kapitola 2. (Obr. 7).

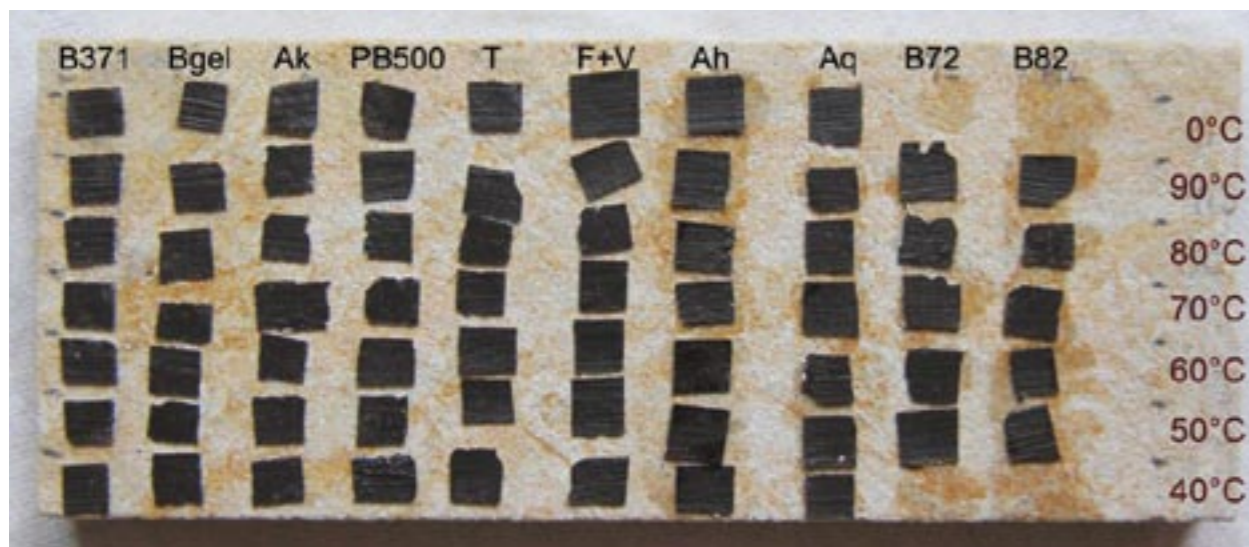
3.2 Aplikace adheziv – volba koncentrace a aplikačních podmínek

Testování aplikace bylo provedeno na laboratorních vzorcích hornin, kam byl fixován soubor uměle připravených krakel. Krakely byly rozmístěny na ploše podložky a pomocí adheziv byly provedeny zkoušky fixace nejprve samotným adhezivem v základní koncentraci 20 %, poté se změněnými podmínkami s cílem popsat optimální podmínky pro aplikaci jednotlivých adheziv. Studovány byly:

- **Vliv teploty aktivace:** teplota hraje důležitou roli při aktivaci adheziva a zároveň má vliv na tepelnou degradaci barevné vrstvy. Např. vyšší teploty nad 70 °C mohou u proteinových pojiv iniciovat nevratná poškození chemické struktury. U olejových pojiv není 'hraniční' teplota přesně známá, ze subjektivních zkušeností restaurátorů však vyplývá, že mezní teplota pro tepelné zatížení olejové barevné vrstvy je 90 °C. Cílem zajištění však obecně je docílit aktivaci adheziva i jeho zažehlení při nejnižší možné teplotě a za nejkratší možnou dobu. U vzorků byl testován účinek adheziv v intervalu teplot 40–90 °C a bez tepelné aktivace. Regulace teploty byla možná pomocí tepelné špachtle s regulovaným ohřevem (Obr. 8).

- **Změna koncentrace:** 20 % koncentrace prostředků je ideální z pohledu dostatečné síly lepení. Cílem restaurování však je vždy minimalizovat množství opravného materiálu, který dodáváme do originálu. Z tohoto hlediska byla všechna adheziva také testována ve snížené koncentraci 5 a 10 hm. % (Obr. 9). S aplikací fixačních prostředků souvisí i změna barevnosti substrátu i fixované barevné vrstvy, která byla při aplikaci různě koncentrovaných prostředků také sledována.

- **Vliv snížení nasákavosti podkladu provedením penetrace:** u nasákových podkladů byl testován účinek penetrace, který má snížit nasákavost podkladu a propojení adhezivní vrstvy s minerálním substrátem. V tomto případě byla penetrace prove-



Obr. 8 Zkoušky fixace adheziv bez zahřátí (0 °C) a tepelnou špachtlí v intervalu teplot 40–90 °C.

dena aplikací prostředků o stejné koncentraci jeho celoplošnou aplikací pod krakely. Po jejím zaschnutí byla provedena fixace barevné vrstvy prostředkem aplikovaným pod jednotlivé krakely injekční stříkačkou a zažehlením. U Tylosy a Aquazolu byla z důvodu vysoké koncentrace samotného adheziva provedena penetrace aplikací ethanolové vody připravené smícháním ethanolu s vodou v obj. poměru 1:1.

3.3 Přídržnost a pevnost adheziv

Přídržnost byla hodnocena subjektivně na vzorcích hornin se souborem krakelů připravených v laboratoři. U adheziv byl popsán jejich lepivý účinek v závislosti na aplikované koncentraci prostředku a podmínkách, které se v závislosti na dosaženém výsledku proměňovaly (viz. kapitola 3.2). Hodnocení bylo provedeno na stupnici 1–5, kde 1 odpovídá výborné přídržnosti dosažené po aplikaci adheziva, naopak stupněm 5 je hodnocena přídržnost nedostačující, kterou nebylo možné zajistit ani při opakované aplikaci adheziva.

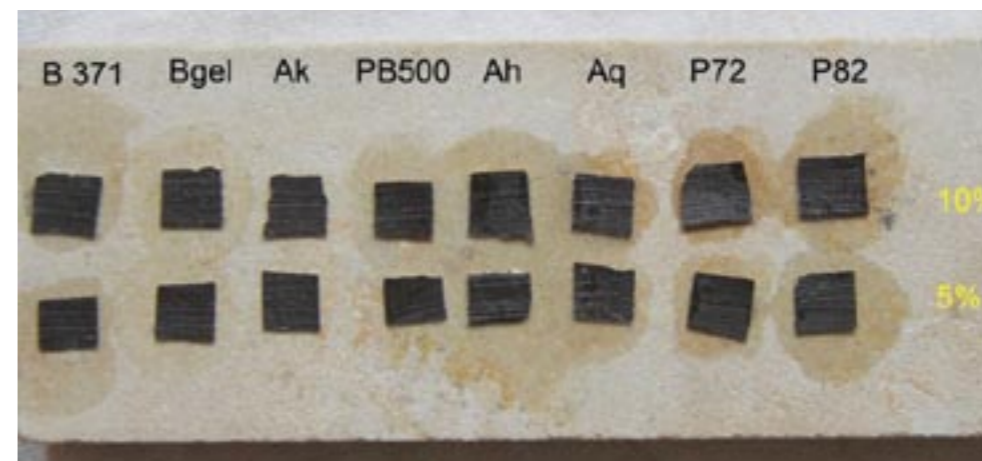
Měření bylo doplněno měřením pevnosti v tahu, elasticity a tažnosti provedených dle podmínek daných ASTM D1708-10, které charakterizují pevnost a elasticitu samotného lepeného spoje. Měření bylo provedeno na vzorcích o tvaru „psí kosti“, které byly vytznuty z připravených filmů. Velikost vzorků byla: délka 50 mm, šířka tělesa v místě zúžení 5 mm, s tloušťkou filmu individuální u každého vzorku dle tloušťky dodaného filmu. Upínací délka byla celkem 22 mm. Měření bylo provedeno na trhačím stroji s pneumatickými čelistmi Instron 500R zatížením rychlostí 10 mm/min, s měřicí hlavou 1kN. Výsledné hodnoty byly stanoveny jako průměrné hodnoty z 5 vzorků. Měření provedl Ing. Luboš Prokůpek, PhD., z Fakulty chemické technologie, Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie, Univerzity Pardubice.

4. Výsledky

4.1 Vzhled a charakter filmů adheziv – subjektivní hodnocení

Filmy většiny adheziv jsou bezbarvé a transparentní, což je dobrý předpoklad pro jejich užití na barevnou vrstvu, neboť prostředek v případě prosycení barevné vrstvy nezmění její barevný tón. Důležité však je i hodnocení dalších optických vlastností, zejména lesku, resp. matu filmů. Při aplikaci adheziv by mohlo dojít k migraci adheziva k povrchu nebo kontaminaci a změně charakteru barevné vrstvy. Z tohoto hlediska by mohla být problematická zejména vysoce lesklá adheziva – Paraloid B72 a B82, Aquazol a Acrylharz, což se potvrdilo také při praktických zkouškách aplikace. Nejmenší barevné změny při praktických zkouškách na vzorcích hornin se soustavou krakelů i bloku kamene (kap. 4.4) nastaly u Acrykleberu 498 HV, neznatelné pak u Tylose MH 6000 a Funori užitých ve směsi s vyzinou.

Subjektivně hodnocená pevnost filmů, která je mírou adheze ve spoji, je u všech prostředků, s výjimkou Laropalu A81, vysoká. Adheziva by měla v ideálním případě splňovat také trvalou pružnost, která by vyrovnávala vzniklá napětí v barevné vrstvě i podkladu. Nejvyšší pružnost má při subjektivním posouzení (ručně provedené namáhání filmů v tahu) Acrykleber 498 HV a Plextol B 500, omezenou pružnost mají Aquazol 500, Beva 371 a Acrylharz P 550, které se natahují pouze do určité míry a v určitém okamžiku nastává jejich poškození přetržením. Křehkost filmů je nejvyšší u Paraloidu B72 a B82, Beva Gelu a zejména Laropalu A81, který byl z důvodu extrémní křehkosti vyřazen z testovaných prostředků. Uvedené mechanické vlastnosti nebyly studovány na stárnutých filmech, i když by tyto údaje lépe reflektovaly vlastnosti adheziv exponovaných po určitou dobu v reálných podmínkách.



Obr. 9 Zkoušky fixace adheziv ve snížené koncentraci 5 a 10 hm.% aktivace tepelnou špachtlí s regulovaným ohřevem.

Název (zkratky užitá ve studii)	Barva	Vzhled	Pevnost	Pružnost	Křehkost
Paraloid B72 (P72)	bezbarvý	transparentní, lesklý	+	-	+
Paraloid B82 (P82)	bezbarvý	transparentní, lesklý	+	-	+
Aquazol 500 (Aq)	bezbarvý	transparentní, lesklý	+	omezeně	-
Acrykleber 498 HV (Ak)	bezbarvý	transparentní, pololesklý	+	+	-
Plextol B 500 (PB500)	bezbarvý	transparentní, matný	+	+	-
Laropal A81* (LA81)	bezbarvý	transparentní, lesklý	nelze určit	-	+
Beva Gel (Bgel)	světle okrový	pololesklý s malými pevnými částicemi	+	-	+
Beva 371 (B371)	bezbarvý	částečně transparentní, matný	+	omezeně	-
Acrylharz P 550 40% Glanz (Ah)	bezbarvý	transparentní, lesklý	+	omezeně	-
Tylose MH 6000 (T)	bezbarvý	transparentní, matný, s nehomogenitami	+	-	-
Funori + vyzina (F+V)	bezbarvý	transparentní, matný	+	-	-

Pozn. * Laropal A 81 nebylo možné vyhodnotit, film byl příliš křehký a nebylo možné film neporušeně oddělit od podložky. + označuje pozitivní hodnocení dané charakteristiky, naopak - negativní.

Tab. 2: Vzhled a charakter filmů testovaných adheziv.

Jedním z negativ, které je nutné při hodnocení zmínit, je výrazné smrštění filmu připraveného z prostředku BEVA 371, které bylo pozorované po zaschnutí filmů v nerezové formě. Tuto vlastnost nelze jednoznačně vysvětlit, ale dle použití tohoto prostředku na lepení krakel je tato vlastnost jednoznačně nežádoucí. Účinkem smrštění adheziva po aplikaci může dojít k namáhání barevné vrstvy, což může podporovat její poškození, příp. ovlivnit kvalitu spojení mezi podkladem a barevnou vrstvou. Výsledky subjektivního pozorování jsou shrnuty v Tab. 2.

4.2 Aplikace adheziv

Při zkouškách s aplikačními podmínkami se prokázalo, že účinek adheziva závisí na několika okolnostech. Zejména je to typ a složení adheziva, které je určující ve stanovení podmínek lepení. Zásadně rozdílné je chování skupiny testovaných syntetických a přírodních polymerů. Prostředky na syntetické bázi se poměrně snadno aplikují a lepící účinek vzniká po odpaření ředidla (vody nebo rozpouštědla). Z tohoto hlediska je možné již po první aplikaci upevnit krakely prostředků BEVA GEL, Acrylkleber 498HV a Plextol B500, jejichž dobrý účinek byl pozorován již za normální teploty bez tepelné aktivace. U ostatních prostředků je nutné při takovém typu použití vpravit větší množství prostředku pro dobrou přidržnost (pozorované zejména u prostředku Acrylharz P 550), v jehož důsledku může dojít k výrazným barevným změnám i zvýšené kontaminaci substrátu nebo barevné vrstvy adhezivem. Tento problém lze částečně vyřešit použitím tepelné špachtle; v důsledku teploty dojde k aktivaci aplikovaného adheziva a jeho množství se tak vzhledem k dosaženému účinku nemusí zvyšovat.

Minimální teplotu pro aktivaci nelze jednoznačně stanovit vzhledem k dosaženému účinku prostředků pozorovaném za pokojové teploty. Subjektivním hodnocením však teplota nad 50 °C zajistí rychlejší účinek a mechanické přitlačení špachtlí vyrovná případné nerovnosti na povrchu barevné vrstvy a zajistí homogenní účinek adheziva v celé ploše krakely. Maximálně by teplota neměla překročit 65 °C pro proteinové materiály obsažené v barevné vrstvě nebo adhezivu. U olejových pojiv není vliv vyšší teploty autorům prozatím znám. Obecně však platí, že starší zesíťované olejové filmy mohou odolávat vyšším teplotám než z čerstvého pojiva. Ze skupiny syntetických látek lze ještě vyzdvihnout odlišné chování vodných disperzí a roztoků v organických rozpouštědlech, zejména těch systémů obsahujících toluen nebo jiná nepolární rozpouštědla (Beva 371, Acrylharz P550 a Paraloid B72 a B82). Zásadní rozdíl spočívá v době odpaření rozpouštědla a možnosti provedení úspěšného zažehlení, které je v uvedených případech ne zcela dobře zaznamenatelné (trvá až několik hodin, příp. dní). Pokud je zažehlení provedeno ve fázi, kdy je rozpouštědlo stále přítomné



Obr. 10 Zkoušky vybraných adheziv na bloku kamene s poškozenou barevnou vrstvou.

ve vrstvě adheziva, musí se zažehlení většinou opakovat, neboť se krakely po zažehlení opětovně deformují nebo spoj není dostatečný. Tento fenomén byl pozorován zejména u Paraloidů, které jsou v praxi často používány pro zajištění polychromie na kámen. Nepředvídatelnost v chování těchto adheziv při aplikaci, nutnost opakování aplikace prostředku neúměrně prodlužují zásah na objektu a z tohoto hlediska je nutné jejich použití vždy zvážit, zvláště v interiéru, kde lze tento typ prostředku nahradit jinými prostředky s lepšími aplikačními vlastnostmi i účinkem. Jejich nesporná výhoda ale spočívá ve vysoké stabilitě v exteriérových podmínkách, díky kterým nemají konkurenci.

Při práci s přírodními polymery se postupuje odlišným způsobem, který je dán vlastnostmi samotných adheziv, zejména chemickým složením. V obou případech se nejedná o termoplasty, účinkem teploty dochází v obou případech k fázovým přechodům (měknutí i tavení), avšak bez výrazného účinku na lepící schopnosti. U směsi Funori a vyziny je důležitá teplota tání, která dle naměřených výsledků leží mírně nad 60 °C. Tylose MH 6000 se v roztoku za normální teploty vyznačuje vysokou lepící schopností a není třeba ji tepelně aktivovat, příp. rozpouštět za vyšší teploty. V případě směsi

Prostředek	Mez pevnosti v tahu (MPa)	Tažnost (%)	Modul pružnosti v tahu (MPa)
Tylosa MH 6000	1,8±0,1	3,3±0,2	73,7±5,2
Plextol B 500	1,0±0,1	274,5±2,0	0,3±0,0
Funori+Vyzina	58,5±5,9	2,5±0,4	2702,1±311,4
Acrylharz P 550	2,7±0,4	359,3±21,0	13,9±1,9
Aquazol 500	7,5±1,1	341,8±59,2	2,4±0,3
Beva 371	4,3±0,3	22,8±2,6	60,9±6,2
Acrylkleber 498 HV	5,9±0,6	363,0±38,7	1,7±0,3
Paraloid B82	2,9±0,7	372,6±59,5	1,1±0,0
Paraloid B72	4,3±0,7	206,9±34,9	53,6±0,6
Beva Gel	6,8±1,0	4,2±0,7	430,9±53,9

Tab. 3 Pevnostní charakteristiky filmů testovaných adheziv – pevnost v tahu, tažnost a elasticita (modul pružnosti v tahu).

Funori s vyzinou musíme aplikovat roztok zahřátý (vystačí teplota 40–50 °C), aby se obě materiálové složky dobře propojily. V tomto případě pak nemusí být použita jiná tepelná aktivace, horký roztok se vyznačuje dobrou penetrační schopností pod krakely a po jeho ochlazení dobrou adhezí a přidržností. K narovnání krakel lze použít tepelnou špachtli zahřátou na nízkou teplotu, vyvinutím slabého tlaku. Nevýhodou směsi Funori a vyziny je jednoznačně potřeba udržet tyto látky v průběhu aplikace stále zahřáté, aby se od sebe opět neoddělyly. Limitem může být náročnost přípravy za běžných podmínek restaurátora, následné uskladnění, nízká biologická odolnost roztoku, která vyžaduje uskladnění na čistém a chladném místě pouze po omezenou dobu.

4.3 Přidržnost a pevnost adheziv

Ze subjektivního hodnocení vyplývá, že velmi dobrou okamžitou i dlouhodobou přidržnost mají disperze syntetických polymerů, zejména Beva 371, Beva Gel, Acrylkleber 498 HV a Plextol B 500, z nichž nejpevnější je jednoznačně spoj vytvořený z adheziva Beva Gel. Tyto prostředky se vyznačovaly i poměrně snadnou aplikací s výrazným účinkem již po první aplikaci. U ostatních prostředků, zejména na bázi roztoků v organických rozpouštědlech,

Aquazolu nebo přírodních polymerů, muselo často docházet k dosažení dobré přidržnosti k opakovaně aplikaci. Jednoznačně nejslabší přidržnost měl Aquazol 500. Z přírodních materiálů měl rychlou a dobrou přidržnost Funori ve směsi s vyzinou.

Tyto výsledky jen částečně korelují s výsledky mechanických charakteristik naměřených na filmech prostředků, které jsou uvedeny v Tab. 3. Z nich vyplývá nejnížší pevnost prostředků Plextol B 500, Tylose MH 6000, která je však relativně elastická při zatížení tahem. Subjektivní posouzení pevnosti filmů se shoduje s výsledky naměřené pro Beva Gel a Acrylkleber 498 HV, u kterých byla naměřena vysoká pevnost v tahu. Pro Beva Gel je charakteristická také vysoká pružnost filmů, která je mnohonásobně vyšší než hodnoty modulu pružnosti naměřené u adheziva Acrylkleber. Překvapením je neporovnatelně vysoká pevnost filmů směsi Funori a vyziny, která zajišťuje vysokou pevnost spoje (10x vyšší pevnosti oproti ostatním prostředkům); výhodou je i vysoká elasticita, která znamená, že film je vysoce pružný při zatížení tahem. Z pohledu tažnosti, která vyjadřuje míru prodloužení (deformace) filmu ve směru tahu, je většina testovaných prostředků vysoce tažná. Nižší tažnost (deformace), která není u adheziv na závadu, byla zjištěna u prostředků Beva, Funori ve směsi s vyzinou a Tylose MH 6000.

4.4 Zkoušky in-situ

Na základě provedených zkoušek a pozorování bylo pro hodnocení na bloku kamene s poškozenou barevnou vrstvou aplikováno 6 prostředků (Obr. 10). Prostředky Beva, Acrylkleber 498 HV a Funori s vyzinou byly vybrány jako fixativa s nejlepšími aplikačními vlastnostmi i vyhovujícími mechanickými charakteristikami. Ostatní, Paraloid B82 a Plextol B500, byly zařazeny pro porovnání, neboť se jedná o prostředky, s nimiž je v praxi dlouhodobá zkušenost. Prostředky byly aplikovány dle postupu, který byl stanoven na laboratorních vzorcích jako pro daný systém ideální – rozdíl spočívá v provedení penetrace, která byla provedena zředěným roztokem prostředku před samotnou aplikací adheziva, jeho koncentrace však byla oproti laboratorním zkouškám snížena na 2,5 %. Při aplikaci adheziva byla použita pro zlepšení přidrženosti nižší teplota 60 °C (reálně 57–63 °C) u Beva Gel, Acrylkleber 498 HV, Plextol B500, zvýšená teplota 65–75 °C pro Paraloid B82 a Beva 371.

Výsledky potvrzují dobrý účinek prostředků Beva a Acrylkleber a to ve všech hodnocených vlastnostech. Oba typy prostředků mají výborné aplikační vlastnosti a přidrženost v nízké koncentraci 5 nebo 10 %. Z testovaných adheziv se také vyznačovaly společně s Funori a vyzinou nejmenší změnou barevnosti po provedení zažehlení. Při práci s roztoky akrylátů se potvrdila jejich problematická aplikace a výrazný vliv na barevnost kamene i barevné vrstvy, pravděpodobně z důvodu dobré migrace polymerů.

5. Diskuse výsledků

Pro zajištění barevné vrstvy na kámen neexistuje žádný univerzální prostředek a při jeho návrhu a zvolené technologii je třeba vždy brát ohledy na aktuální situaci (konkrétní dílo), charakter poškození, vlastnosti materiálů a podmínky, ve kterých je či bude objekt následně uchován. Proto je vhodné před samotným zažehlováním napřed provést průzkum materiálů doplněný o zkoušky aplikace. Ty by měly odpovědět na základní otázky, které se týkají koncentrace adheziva, teploty a času potřebných k provedení lepení. Při jejich aplikaci je třeba také dbát na účinek adheziva na barevnou vrstvu i substrát (změna barevnosti, citlivost na teplo, aj.).

Adheziva, která byla v rámci diplomové práce testována, mají podle dosažených výsledků a zkoušek klady i zápory, kterými je limitováno jejich použití. Přesto mohou všechna najít velmi uspokojivé uplatnění, a to v různých oblastech restaurování uměleckých děl při jejich konsolidaci. V případě sochy svatého Jana Nepomuckého z Lapidária Národního muzea v Praze byl na základě vyhodnocení všech zkoušek a dosažených výsledků pro zažehlování vybrán prostředek Acrylkleber 498 HV a to

v koncentraci 5 %, která byla dostačující pro dosažení dobrého lepícího účinku. Jedná se o disperzi kopolymerů akrylátů s výbornými aplikačními vlastnostmi, zejména jednoduchou přípravou, aplikací, aktivací. Charakter adheziva, které je bezbarvé s pololeskem, zcela vyhovuje typu aplikace. Malá penetrační schopnost prostředku způsobuje, že adhezivum výrazně nemigruje zažehleným souvrstvím a vytváří spojovací vrstvu lokalizovanou mezi kamenem a barevnou vrstvou. Jedná se o termoplast, který lze aktivovat účinkem teploty, která se pohybuje kolem 60 °C. Tento prostředek vyhovuje i z hlediska mechanických vlastností – vyznačuje se dobrou přidržeností, avšak nižší elasticitou a tažností, což nemusí být ve stabilních podmínkách interiéru žádný problém. Určitou alternativou pro použití v interiéru představuje také Beva Gel, který se vyznačuje ještě lepšími mechanickými vlastnostmi. Problematická, dosud neodzkoušená je dlouhodobá stabilita prostředku (prostředek je na bázi nestabilních VAC), který bude dále studován.

Překvapivě kontroverzní výsledky byly získány při hodnocení běžně užívaného Paraloidu B72, který byl testován společně s alternativně užívaným Paraloidem B82. Hlavní nevýhodou prostředku je výrazně komplikovaná aplikace, kterou nelze, i při různé modifikaci technologického postupu, nijak přesně definovat. Výsledky dosažené při zajištění barevné vrstvy proto vycházely jako jedny z nejhorsích. Problém pravděpodobně souvisí s typem použitého ředidla (v našem případě toluen a ethanol), které by bylo dobré zkusit pro tyto účely nahradit. Dalším problémem je výrazná barevná změna, která je patrná na hornině i na samotné barevné vrstvě, a to i v nejnižších možných koncentracích. Výrazné ztmavnutí na zpevněných částech barevné vrstvy je v mnoha případech neakceptovatelné i v exteriérových podmínkách, ve kterých prostředek nemá z důvodu vysoké stability konkurenci.

PRAMENY

1 | Slánský, B., *Technika malby. Díl II., Průzkum a restaurování obrazů*, 2nd ed.; Paseka: Praha, Litomyšl, 2003

2 | Ackroyd, Paul, *The Structural Conservation of Canvas Paintings: Changes in Attitude and Practice since the Early 1970's*, *Reviews in Conservation*, 2002

3 | Ploeger, Rebecca, E. René de la Rie, Christopher W. McGlinchey, Michael R. Palmer, Christopher A. Maines, and Oscar Chiantore, *The Long-Term Stability of a Popular Heat-Seal Adhesive for the Conservation of Painted Cultural Objects*, *Polymer Degradation and Stability* 107, 2014

4 | Michel, Françoise, *Funori and JunFunori: two related consolidants with surprising properties*, *Proceedings of Symposium, Adhesives and consolidants for conservation, research and applications*, Ottawa, 2011