

Testování prostředků pro lepení sádrových artefaktů

Aneta Kokstejnová, Renata Tišlová

Fakulta restaurování Univerzity Pardubice,

Ateliér restaurování a konzervace kamene a souvisejících materiálů



Abstrakt | V uplynulých letech se na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice konzervovalo/restaurovalo několik desítek objektů ze sádry, zejména ze sbírek ak. soch Ladislava Beneše nebo Stanislava Suchardy. Osobně jsem se v rámci závěrečné práce bakalářského stupně studia zabývala restaurováním sádrových plastik rytířů, modelů sochařských článků z chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře a drobnou plastikou ženského aktu od akad. soch. Ladislava Beneše. Nejčastějším typem poškození sádrových děl bylo odlomení určitých částí, které se v rámci navržené koncepce většinou osazovaly zpět s využitím tradičně užívaných prostředků bez detailnější znalosti o jejich účinku nebo trvanlivosti. Pro lepení se využívaly tradičně užívané materiály jako šelak, ale i syntetické epoxidové nebo polyesterové pryskyřice, které svým chemickým složením a vlastnostmi po vytvrzení požadavků na lepení sádry ne zcela vyhovují. V této souvislosti vznikla studie materiálů (tradičně užívaných i nových), které by daným účelům a typu materiálu lépe odpovídaly. Práce se zaměřuje na porovnání adheziv na bázi přírodních a syntetických polymerů; novou skupinu testovaných adheziv tvořily zejména prostředky na bázi akrylátových nebo vinylacetátových disperzí. Prostředky byly porovnány na základě zpracovatelských vlastností. Lepicí schopnost adheziv byla hodnocena na základě měření pevnosti spoje po slepení. Trvanlivost byla testována na základě testu odolnosti vůči vlhkým podmínkám. Výsledky práce byly ověřeny při lepení sádrových plastik rytířů, modelů sochařských článků z chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře.

Testing of adhesives for conservation of gypsum art works

Abstract | Many gypsum artifacts have been recently conserved in the Studio of Stone restoration University of Pardubice, most of them coming from the collections of the famous Czech 20th century sculptors Ladislav Beneš and Stanislav Sucharda. The main problem when dealing with their restoration was the damage due to some parts becoming detached which are then, in the course of the restoration intervention, mostly reattached using different adhesive materials. Traditionally, shellac, epoxy and polyester resins have been used with only little knowledge about their effect or even harmfulness to the art works being preserved. These observations, as well as the need to find better ways to treat gypsum art works, induced the testing of a variety of promising adhesive materials. These products were chemically based on natural and synthetic polymers, all possessed good adhesive properties. The synthetic ones were acrylic, PVAC and cellulose nitrate polymers traditionally used in other fields of conservation. The properties of the synthetic ones were compared with traditional ones (shellac, epoxy and polyester resins). This paper describes only the first part of the results – description of the materials and their application properties. In order to compare the main characteristics of the adhesive materials, dry films of the products were prepared and aesthetic and mechanical properties were described. The paper also includes results of adhesion as the tensile strength of the broken gypsum samples repaired with all the adhesives. The ageing properties which could enable the conservator to decide whether a new adhesive will resist the conditions of further deposition have also been studied. Adhesive films were exposed to a high humidity environment which simulates the threatening interior conditions of old deposits or collections. The conservation of two gypsum artifacts has also been described on two models of knights from the collection of the Czech Museum of Silver, Kutná Hora.

1. Úvod do problematiky

Současná praxe v lepení sádrových artefaktů se setkává s dvojím přístupem; jeden spočívá ve využívání tradičních materiálů a technologií, které vycházejí zejména z postupů používaných v historii. Druhý, spíše intuitivní přístup, je založen na využívání osvědčených průmyslových materiálů snadno dostupných na trhu, které však nereflktují specifické vlastnosti daného typu materiálu a nesplňují přísné požadavky na restaurování historických objektů. Restaurování sádry si z tohoto pohledu zaslouží komplexní revizi postupů a materiálů, které by lépe odpovídaly současné moderní praxi. Cílem této práce bylo zpracovat problematiku lepení sádry; součástí bylo vyhledání nových materiálů, které by svými vlastnostmi vyhovovaly danému typu aplikace, a popsat vlastnosti těchto látek či prostředků. Nově vybrané materiály pro lepení byly porovnány s tradičně užívanými, a to na základě hodnocení vybraných vlastností a schopnosti lepení. Práce se zaměřuje na hodnocení lepícího účinku samotných lepidel, tj. na případy zajištění odlomených částí menších rozměrů bez použití podpory armaturou či vyztužením.

Škála adheziv používaných pro lepení sádry se po mnoho let příliš neměnila. V minulosti byla užívána zejména lepidla na bázi přírodních polymerů, nejčastěji pryskyřice (šelak), klišy nebo anorganická pojiva (sádra)^{1,2}. Lepení šelakem rozpuštěným v lihu patří k nejstarším technikám lepení sádry a používá se dodnes. Při lepení sádry je možné použít šelak více způsoby – klasická je aplikace roztoku šelaku na lepený materiál, druhou možností je lepení zapáleným šelakem. Šelak mohl být zapálen po aplikaci a přiložení lepených ploch k sobě, nebo byl zapálen ještě před samotnou aplikací a až poté nanesen jako adhezivum na lepený materiál. Ve výjimečných případech se lze na našem území setkat s méně známými metodami lepení porézních materiálů organickými lepidly rostlinného původu, jako je např. šťáva z česneku či rýžový škrob. Často se také můžeme setkat s anorganickými adhezivy – lepení bylo možné provést sádrrou, vápnem a od počátku 20. stol. i cementy. Z hlediska materiálového složení je nejvhodnější variantou využití sádry, která se pro lepení používá v řidší konzistenci. Při jejím použití se však můžeme setkat s mnoha problematickými okamžiky; předně, při aplikaci je nutné lepený materiál předem dostatečně navlhčit, což může poškodit nejen samotný substrát, ale – v případě přítomnosti povrchových úprav na vodní bázi – také barevné úpravy. Další nevýhodou tohoto lepení je, že vzniká poměrně silný spoj, který ne zcela vyhovuje nárokům aplikací, při kterých je třeba přesně a „neviditelně“ spojit oddělené části. Sádra, i když užívaná v řidší konzistenci, vytváří při nanesení relativně silný film nebo nános. Proto se při jejím užití

často provádí rozšíření místa defektu zásahem do samotného objektu, což není ve všech případech možné ani žádoucí. Další komplikací je způsob řešení lepeného spoje; samotná sádra je relativně křehká a její lepící účinek se často podporuje použitím armatur nebo výztuží, které také vyžadují fyzický zásah do objektu. Uvedené problémy a relativně komplikovaná aplikace sádry jako adheziva vedly postupně k nahrazení tohoto tradičního materiálu alternativními materiály na bázi přírodních nebo syntetických polymerů, které se vyznačují snadnou přípravou a aplikací. Od pol. 20. století se v restaurátorských zprávách nejčastěji setkáme s lepidlem pod názvem Kanagom, který patří do skupiny roztokových adheziv na bázi nitrátů celulózy. Přibližně od šedesátých let 20. století se rozšířila lepidla na bázi polyesterových a epoxidových pryskyřic, které tvrdnou do formy zesíťovaného nerozpustného reaktoplastu, který nelze poté nijak odstranit. Pro lepení sádrových artefaktů je základním požadavkem reverzibilita lepeného spoje, a proto se od užívání ireverzibilních systémů upouští a populárnějšími se stávají systémy reverzibilní na bázi homopolymerů nebo kopolymerů – zejména akrylátů a VAC, nitrátů celulózy. Tyto systémy nebyly primárně vyvinuty pro lepení sádry, ale jejich účinku se využívalo zejména v jiných oblastech lepení (barevná vrstva, dřevo, plasty, sklo, keramika aj.), užívají se ve formě disperze nebo roztoků a vyznačují se dobrou odolností a barevností³. Oblastí, ve které lze najít inspiraci novými materiály a postupy, je bezesporu restaurování keramiky, kde jsou na adhezivum kladeny podobné požadavky jako při lepení sádry. Druhým zdrojem poznatků je fixace jiných typů materiálů, např. závesného obrazu nebo nástěnné malby. Při zajištění uvolněných krakel nebo rentoalží se tradičně využívají prostředky s výbornými lepícími schopnostmi – disperze homopolymerů akrylátů nebo methakrylátů. Starší praxe spíše spočívá ve využití disperzí na bázi vinylacetátu (např. BEVA 371, BEVA GEL)⁴.

Z uvedeného je zřejmé, že škála materiálů a produktů, které by se pro lepení sádry daly využít, může být značná. Tento příspěvek, který vznikl z výsledků bakalářské práce autorky, si klade za cíl vytvořit jejich základní přehled. Vzhledem k použití těchto materiálů v praxi byly v další části práce popsány vybrané charakteristiky těchto látek, zejména jejich aplikační vlastnosti (koncentrace a postup, v jakém se adhezivum nanáší, aniž by ohrožovalo samotný lepený materiál). Lepicí účinek na sádru byl hodnocen na vzorcích slepených dle ideálního postupu lepení a výsledky byly diskutovány společně s pozorováním vlastností filmů i jejich charakteru. Nejvhodnější materiál i technologie byly následně otestovány při lepení sádrových plastik rytířů (Obr. 1, 2), modelů určených pro vysekání stavebních článků chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře a sošky ženského aktu od akad. sochaře Ladislava Beneše (Obr. 3).



Obr. 1 Sádrový odlitek rytíře s odlomenými fragmenty z depozitáře českého muzea stříbra, Kutná Hora. Stav před restaurováním. Foto: Aneta Kokstejnová.



Obr. 2 Sádrový odlitek rytíře. Stav po restaurování. Foto: Aneta Kokstejnová.



Obr. 3 Studie ženského aktu od akad. sochaře L. Beneše. Stav před restaurováním. Foto: Aneta Kokstejnová.

2. Obecné postupy při lepení sádry a požadavky na lepicí systémy

Vybrané adhezivum se nanáší na odmaštěný, zpevněný povrch sádry zbavený prachu a nečistot. Poměr ředění adheziv pro účely lepení není u většiny produktů přesně znám, neboť testované materiály jsou většinou doporučovány pro jiný typ aplikací než lepení. Ze stejných důvodů není u adheziv uváděn ani postup při lepení – např. úprava nasákavosti povrchu aplikací penetrace, doba zpracovatelnosti apod. Dle předchozích zkoušek a zkušeností se roztok nebo disperze pro lepení používá v originální formě, nebo se ředí z originálu. Koncentrace systémů pro lepení se často pohybuje v intervalu 20–30 hm. %. U většiny dodávaných systémů také není uváděna potřeba nasycení povrchu roztokem separace; využití separačního roztoku je však většinou žádoucí, neboť zlepšuje aplikační vlastnosti i kvalitu lepeného spoje. V neposlední řadě působí pozitivně při rozebrání lepeného spoje při budoucích opravách.

Výběr vhodného typu adheziva však nelze posuzovat pouze na základě jeho aplikačních vlastností. Při jeho výběru je žádoucí, aby vyhovoval i jiným požadavkům na materiálové složení, lepicí účinek, stabilitu a odstranitelnost:²

- **Dobrá přilnavost a dlouhodobá stabilita** – vybrané adhezivum musí v první řadě dobře přilnout k povrchu substrátu a účinně a dlouhodobě spojit oddělené části, a to v míře pevnosti úměrné lepenému typu materiálu. Z hlediska pevnosti materiálu sádry je žádoucí v místě slepení nepřekročit pevnost lepeného materiálu. Trvanlivost spoje ovlivňuje řada okolností (dobrá adheze lepidla k povrchu, provedení aplikace, použitá technologie, podmínky aplikace). Vliv na trvanlivost spoje mají i podmínky následné expozice, které, pokud je adhezivum nevhodně navrženo, může trvanlivost zásahu značně zkrátit. V podmínkách sbírkových předmětů ze sádry, které často nejsou regulované, se jedná zejména o účinek vlhkosti, případně teploty.

- **Žádná chemická reakce** – chemické působení lepidla na umělecký objekt by mělo být omezeno na okamžik podání a nemělo by následně poškozovat objekt pozdější chemickou interakcí v důsledku interakce lepidla nebo některé jeho složky se substrátem.

- **Žádná strukturální reakce** – lepidlo by mělo mít minimální smrštění či expanzi, které by se mohly negativně projevit v lepeném spoji. Nemělo by být tvrdší než lepený materiál, což by mohlo způsobit zničení či znehodnocení originálního materiálu v pří-

3.1. Popis vzorků a lepených substrátů

Pro testování byly připraveny 2 typy vzorků odlitých ze sádry: menší vzorky kruhového tvaru o průměru cca 7 cm (Obr. 4) byly připraveny pro zkoušky aplikace – zkoušky koncentrace lepidla optimální pro nanášení, aplikace lepidla v kombinaci s penetrací a jeho vlastnosti po zaschnutí (vzhled a chování filmu na sádrovém podkladu, jeho tvarové deformace a adheze k substrátu).

Hranoly o rozměrech 16x4x4 cm (Obr. 5) byly využity při zkouškách pevnosti lepeného spoje; vzorky rozlomené na polovinu účinkem ostrého dláta byly celoplošně opatřeny separačním roztokem a následně bodově slepeny daným množstvím lepidla o stejné koncentraci (viz dále v textu), aby mohla být srovnána jejich lepicí schopnost. Lepidlo bylo nanášeno vždy po odpaření ředidla (cca 1 hod) a to v pravidelné síti bodů po celé lomové ploše tělesa. Takto slepené vzorky byly spojeny a ponechány v laboratorních podmínkách do zaschnutí lepidla (7 dní).

Pro posouzení vlastností samotných adheziv byly připraveny filmy (Obr. 6) odlitím ze zředěných prostředků o koncentraci sušiny 20 hm. %. Vždy 3 ml roztoku adheziva bylo aplikováno a rozprostřeno do nerezové formičky o rozměrech 4x4 cm, která byla za pomoci plastické hmoty připevněna k vhodnému nepřilnavému podkladu. Po zaschnutí byla formička s filmem opatrně odejmuta z podkladu a následně byl vzniklý film chirurgickými nůžkami odštěpen od okrajů formičky. Vyjmuté filmy byly zastříženy do pravidelných rozměrů o velikosti cca 3,6x3,6 cm. Filmy byly ponechány k vyschnutí do odpaření rozpouštědla. Na těchto výsledných filmech byly pozorovány optické a mechanické vlastnosti: barva, vzhled, pevnost, houževnatost, elasticita.

3.2. Lepicí systémy

Výběr adheziv použitých pro experiment byl založen na rozsáhlé literární rešerši, která zahrnovala průzkum a shrnutí poznatků a zkušeností s lepením sádrových objektů, keramiky, ale i jiných porézních materiálů. Důležitým zdrojem informací byly práce provedené v Ateliéru restaurování kamene a souvisejících materiálů Fakulty restaurování Univerzity Pardubice. V roce 2011 zde vznikla diplomová práce Martina Parobka⁵, který se zabýval restaurováním děl ze sádry, popisem typických poškození a možnostmi jejich řešení. V další diplomové práci Petra Bény z roku 2011 je řešena „Role sádry v památkové péči“⁶. Konkrétní výběr adheziv byl upřesněn na základě konzultací s odborníky Katedry chemické technologie a Ateliéru restaurování a konzervace kamene. Při konečném výběru byla jejich škála upravena dle požadavků na daný typ materiálu a aplikace. Přehled použitých adheziv a jejich základní charakteristiky udává Tab. 1.

padě vyvinutí napětí. Žádoucí je tedy určitý stupeň plasticity a pružnosti z důvodu umožnění dlouhodobé absorpce napětí u lepených materiálů.

- **Kompatibilita** – lepidlo by nemělo barvit či jinak změnit vzhled lepených objektů. Mělo by být podobné buď struktuře a vzhledu lepených objektů nebo být kompatibilní s materiály, které umožní lepidlo „zamaskovat“ prostřednictvím nenápadných přemalůb či jiným překrytím. Lepidlo by mělo reagovat na vnější vlivy stejným způsobem jako opravený kus tak, aby nedošlo k žádnému zatížení při změně podmínek v místě uložení (např. změnou vzdušné vlhkosti).

- **Reverzibilita** – zahrnuje požadavky na odstranitelnost lepidla v kteroukoliv dobu po jeho nanesení, a to vůči objektu maximálně šetrnými prostředky.

3. Experiment

Cílem experimentální části bylo ohodnotit vybrané druhy adheziv na základě hodnocení určitých vlastností samotných lepidel i posouzení jejich lepicí schopnosti. Testování probíhalo v laboratorních podmínkách na substrátech sádrových vzorků se simulovanými defekty odpovídajícími typu poškození pozorované na sádrových artefaktech.

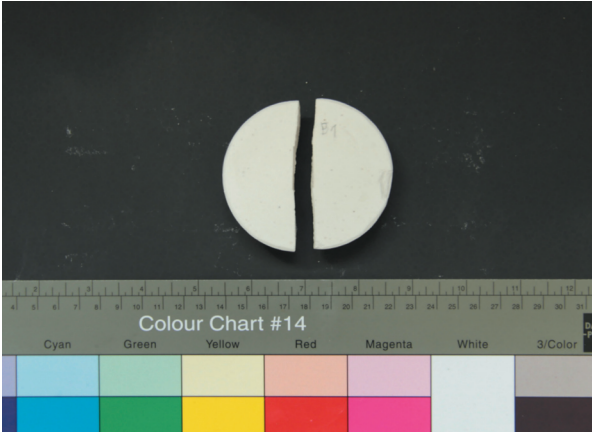
Lepicí systémy (výrobce/distribuce)	Hlavní rozpouštědlo	Forma originál	Oblasti využití
Acrykleber 498 HV (1) (Lascaux Colours & Restauro)	voda	krémová nízkoviskózní konzistence, bílá	marouflage a dublování, zpevnění vrstvy malby, lepení trhlin a vyrovnávání
BEVA® Gel (2) (Kremer Pigmente GmbH & Co.)	voda	nízkoviskózní až kašovitá konzistence, hnědá	konsolidace nástěnné malby (zpráškovatělá místa, puchýře)
Archäocoll 2000 (3) (Kremer Pigmente GmbH & Co.)	aceton	středně viskózní konzistence, čirý, transparentní	lepení keramických materiálů, archeologické keramiky
BEVA® 371 (4) (Kremer Pigmente GmbH & Co.)	toluen, další rozp.	gelová konzistence, čirá	pro zpevňování barevné vrstvy obrazů, nažehlování
Ponal Super 3 (5) (Henkel ČR spol. s r.o.)	voda	středně viskózní konzistence, bílá	lepení dřeva v interiéru i exteriéru
Šelak (6) (Kremer Pigmente GmbH & Co.)	líh	viskózní, oranžová až hnědá	povrchová úprava dřeva pomocí politur, separace, úprava povrchu sádry, patinace
Airoll S Spachtel Transparent (7) (Airo Chemie GmbH & Co.)	–	želatinový, medově žlutá, jantarová	pro injektáž a opravy mramorů, umělého a přírodního kamene, pojivo umělého kamene, lepení
Kanagom (8) (Chemoplast)	aceton	nízkoviskózní roztok, čirý žlutá až slabě žlutohnědá	univerzální průmyslové lepidlo

Tab. 1: Vybrané lepicí systémy – stručná charakteristika lepicích systémů a složení⁷⁻¹³

Z chemického hlediska patřila vybraná adheziva do skupiny přírodních i syntetických polymerů. Dle formy je lze rozdělit do dalších skupin na lepidla disperzní (Acrykleber 498 HV, BEVA® Gel, BEVA® 371 a Ponal Super 3) a roztoková (Archäocoll 2000, Kanagom a šelak). Do výběru byla zařazena i polyesterová dvousložková pryskyřice Airoll S Spachtel Transparent, jejíž lepicí účinek vzniká po smíchání pryskyřice a tvrdidla.

Pro lepení byla vybrána lepidla, ale i prostředky, které se primárně pro lepení porézních podkladů neužívají i přesto, že se vyznačují dobrými lepicími vlastnostmi. Příkladem může být Acrykleber 498 HV či Beva® Gel a Beva® 371, které se běžně spíše využívají k zajištění, dublování či marouflagi zejména barevné vrstvy závesných obrazů či na nástěnné malby. Všechny tři prostředky jsou disperze (homopolymery či kopolymery akrylátu a etylen-vinylacetátu). Tradičním materiálem je Beva 371, který

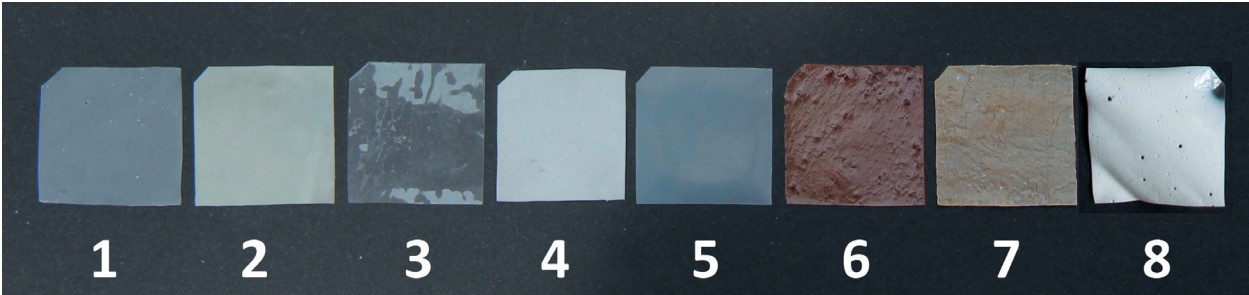
byl speciálně vyvinut pro nažehlování obrazů jako alternativa k vosko-pryskyřičným směsím. Gustav Berger začal s jejím vývojem již v roce 1967 a do současnosti prodělal prostředek mnoho změn ve složení⁴. Přípravek Beva Gel vznikl později jako vodou ředitelná alternativa k tradičnímu produktu Beva 371, který jako hlavní ředidlo obsahuje toluen. U prostředku Acrykleber se jedná o modifikovanou disperzi již dříve prodávaného přípravku řady Plextol⁷, modifikace spočívá především přidáním zahušťovadel a biocidních stabilizátorů. Ponal Super 3 patří mezi lepidla primárně určená pro lepení dřeva, konkrétně pro montážní lepení např. oken či dveří, lamelování okenních hranolků, lepení desek a spár. V technickém listu se uvádí vysoká stabilita vůči vlhkosti, a proto je doporučován pro aplikace do prostředí interiéru i exteriéru se silným klimatickým kolísáním a vlhkostní zátěží. V našem výběru byl zařazen jako alternativa ke známějším adhezivům.



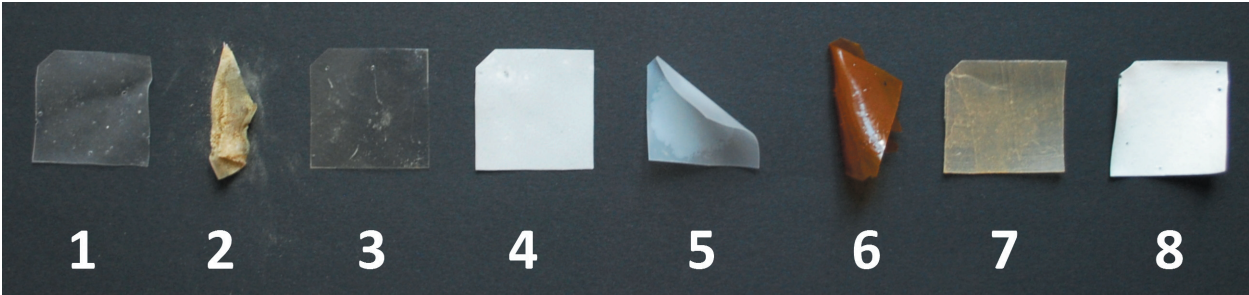
Obr. 4 Vzorky kruhového tvaru pro testování aplikace. Foto: Aneta Kokstejnová.



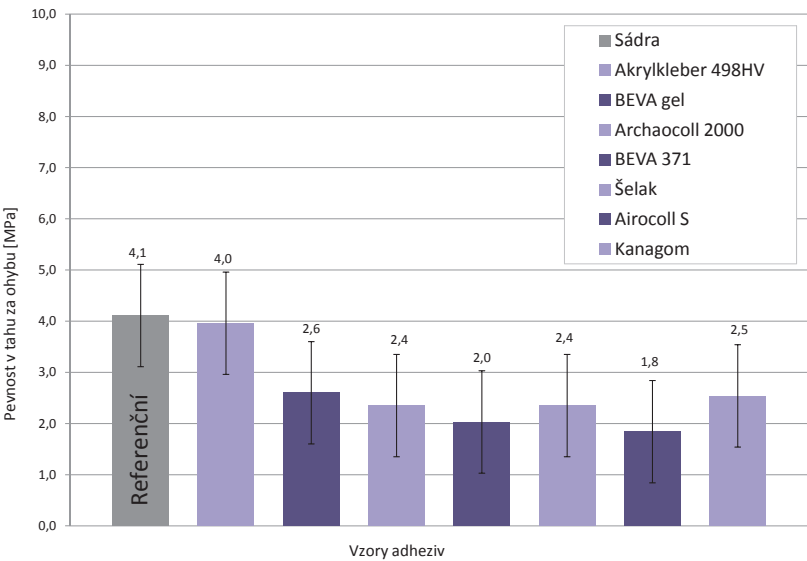
Obr. 5 Vzorky sádrových hranolů pro zkoušky pevnosti lepeného spoje. Foto: Aneta Kokstejnová.



Obr. 6 Vzhled a charakter filmů testovaných adheziv. Foto: Aneta Kokstejnová.



Obr. 8 Filmy vybraných adheziv po zkoušce zatížení zvýšenou relativní vlhkostí. Foto: Aneta Kokstejnová.



Obr. 7 Pevnost v tahu za ohybu lepených spojů vybraných typů adheziv.

Alternativu k disperzním systémům tvoří roztoky na bázi nitrátu celulózy, v našem výběru zastoupené přípravky Archaocoll 2000 a Kanagom. Přípravek Archaocol 2000 byl jako jediný z výběru primárně vyvinut pro lepení archeologických artefaktů. Kanagom, průmyslově vyráběné lepidlo, ačkoliv požadavkům na lepení sádry ne zcela vyhovuje, byl do výběru také zařazen. Stejně jako šelak totiž patří do skupiny pro sádry tradičně využívaných materiálů, jejichž účinek bylo zajímavé srovnat s „novými“ typy adheziv.

3.3 Metody hodnocení

Při práci s lepidly byly sledovány a posuzovány základní vlastnosti důležité z hlediska jejich použití pro lepení sádry:

- **Aplikační vlastnosti** – aplikační vlastnosti lepících systémů byly hodnoceny při míchání, nanášení na lepený substrát a následné manipulaci s lepidlem. Na jejich základě byla stanovena optimální koncentrace prostředků pro lepení a popsán postup při jejich aplikaci. V poslední řadě se hodnotily praktické vlastnosti při čištění pracovních nástrojů a pracovní plochy.

- **Lepicí schopnosti adheziva** – byla hodnocena po nanesení lepidla jako jeho okamžitá lepící schopnost (*okamžitá přídržnost*). Druhým důležitým údajem, který souvisí s lepící schopností, je doba zpracování. *Okamžitá přídržnost* byla definována jako schopnost lepícího systému přichytit se k substrátu bez jiného zajištění (armatura, jiná fixace). Doba tuhnutí je vyjádřena jako čas, za který nelze spoj rozebrat.

Pevnost spoje po zaschnutí lepidla byla vyhodnocena na základě měření pevnosti tahu za ohybu, které se provádí dle normy ČSN EN 12390-5. Měření bylo provedeno čtyřbodovým ohybem na zatěžovacím trháčím lisu FPZ100/1, rychlostí zatížení byla 2,1–84 mm/s. Výsledky byly vyhodnoceny jako průměr z měření 3 vzorků. U hodnot se uvádí směrodatná odchylka, která ukazuje rozptyl hodnot v rámci dané skupiny vzorků.

- **Charakter a vlastnosti adheziva** – v rámci tohoto posouzení byly popsány optické (vzhled, barva) a mechanické vlastnosti (pevnost, elasticita, křehkost). Pozorování bylo provedeno na filmech připravených z roztoků adheziv (*viz Kapitola 2.1*).

- **Hodnocení odolnosti vůči zvýšené vzdušné vlhkosti** – představuje zkoušku, která simuluje možné extrémní podmínky, ve kterých mohou být sádrové artefakty nevhodně uloženy. Filmy byly umístěny v klimaticky regulované komoře s konstantně zvýšenou relativní vlhkostí (70–80 %), která může v krajních případech nastat v interiérech neudržovaných sbírek či lapidárií. Odolnost vlhkosti byla studována po dobu 28 dní na základě změny vzhledu, barvy, deformace a případně odolnosti vůči ataku biologických organismů.

4. Výsledky

4.1 Aplikace adheziv

Již první orientační testy s lepidly ukázaly, že před samotnou aplikací lepidel na sádry je nutné nanášet vrstvu separace, což je roztok o nižší koncentraci, než je koncentrace samotného lepícího systému. Separální roztoky jsou stejné přípravky jako použítá adheziva, mají však nižší obsah sušiny. V tomto experimentu byly roztoky penetrační připraveny zředěním originálního adheziva v objemovém poměru 1:2 (prostředek : rozpouštědlo). U šelaku byl pro separaci připraven 10% (hm.) roztok. Separální roztok sníží nasákavost podkladu a umožní lepší provedení lepeného spoje. Bez této vrstvy snadno dochází ke vzniku filmů s vysokým povrchovým napětím, který se odtrhuje od povrchu i s vrstvou sádry. Separální roztok byl aplikován u všech testovaných přípravků kromě Airocoll S Spachtel Transparent, který není možné na nižší koncentraci ředit. Po zkouškách s různou koncentrací prostředků se jeví jako optimální prostředky s obsahem sušiny 20 hm.%. Při této koncentraci prostředku se vytvořil pevný film na povrchu sádry, který se nesmršťoval. Zároveň daná koncentrace umožňovala dobré vyplnění tenké praskliny a přesné sesazení sádrových střepů.

4.2 Charakter a vlastnosti testovaných adheziv

Vzhled filmů ilustruje Obr. 6. Většina filmů připravených z testovaných adheziv jsou bezbarvé nebo bílé, průhledné nebo průsvitné, a proto se výborně hodí pro lepení daného typu substrátu. Z hlediska barvy je nevyhovující šelak a polyesterová pryskyřice, které se vyznačovaly okrovým až nahnědlým zbarvením, což může být viditelné v okolí lepeného spoje při nedokonalém provedení slepení nebo ponechání přetoků. Tyto filmy nevyhovovaly ani subjektivnímu hodnocení mechanických vlastností – filmy jsou méně pevné na tah a vysoce křehké. Ostatní filmy připravené z disperzí jsou pevné a v různé míře elastické a houževnaté. Nejlepší vlastnosti z hlediska použití v daném typu aplikace vykazoval Acrylkleber 498 HV, který se vyznačoval vysokou elasticitou a houževnatostí. Po uvolnění napětí se natažený film opakovaně navrátil do původního tvaru, aniž by se na něm projevila deformace či poškození. Roztoková lepidla (Kanagom, Archäocoll 2000) vytváří naopak pevné filmy bez elastických vlastností, které lze namáhat ohybem, nikoli tahem.

4.3 Zpracovatelské vlastnosti a aplikace

Nejsnazší práce se jeví s vodou ředitelnými systémy z hlediska zdravotní nezávadnosti, bezproblémové manipulace, snadné přípravy a dostatečné doby pro zpracování lepidla. Z tohoto hlediska lze hodnotit kladně systémy Acrylkleber 498 HV, Beva®

Gel a Ponal Super 3. Jejich nevýhoda naopak spočívá v nižší okamžité přídržnosti; spoj je nutné zajistit do stabilní polohy minimálně po dobu 10 min, kdy začíná tuhnutí lepidel. Nástroje použité pro aplikaci těchto prostředků šly snadno očistit za pomoci teplé vody. Manipulace s rozpouštědlovými systémy byla již méně bezproblémová z hlediska kratší doby zpracování a hygieny práce. Při ředění těchto přípravků bylo nutné provádět tuto činnost v odvětrávané digestoři. Očištění nástrojů bylo také možné provést omytím teplou vodou; po omytí lepidlo na nástrojích vytvořilo pod tekoucí teplou vodou scelenou krustu, která šla bez problémů mechanicky odstranit. Z hlediska manipulovatelnosti je nejhorší práce s přípravkem Beva® 371, který se ředí toluenem; typ rozpouštědla omezuje běžné použití lepidla, lepení nebo ředění adheziva je nutné provádět v digestoři. Vzhledem k tužší gelové konzistenci bylo také nutné přípravek důkladně promíchat s toluenem. Poté již byla aplikace bezproblémová. Očištění nástrojů bylo komplikované, přípravek zanechával velmi mastný film a důkladné omytí bylo možné pouze za pomoci toluenu.

Přípravek dvousložkové polyesterové pryskyřice Airocoll S Spachtel Transparent je klasifikován jako zdraví škodlivý a dráždivý, tudíž je nutné s ním pracovat za zvláštních bezpečnostních podmínek. Příprava a následná manipulace byly bezproblémové, její rychlá doba tuhnutí (cca 4 min) však vyžaduje rychlou manipulaci a rychlé sestavení oddělených částí. Jednoznačnou výhodou prostředku je výborná okamžitá přídržnost. Očištění nástrojů je možné ihned po aplikaci otřením přípravku. Po zaschnutí je čištění nástrojů vzhledem k tvrdosti přípravku obtížné, ale možné pomocí skalpelu či řezacího nože. Problém by však mohl nastat při odstraňování ztuhlého lepidla ze sádry nebo při začišťování spoje. Ostatní prostředky jsou při použití a manipulaci bezproblémové a nevyžadují žádná speciální opatření či úpravu podmínek. Takto kladně lze např. hodnotit šelak, Archäocoll 2000, Ponal Super 3, Beva Gel.

4.4 Mechanické zkoušky odolnosti

Odlomení slepených vzorků probíhalo dvěma způsoby; v prvním případě docházelo při zatížení k odlomení v lepeném spoji, v druhém případě došlo k rozlomení mimo lepený spoj ve hmotě sádrového tělíska. Rozlomení mimo lepený spoj poukazuje na vyšší pevnost lepícího systému, než samotného originálu, což je v případě užití na historické artefakty nežádoucí. K rozlomení všech tělísek mimo lepený spoj došlo u systému Ponal Super 3. Přípravek Acrylkleber 498 HV měl pevnost srovnatelnou s lepeným materiálem. Ostatní adheziva měla nižší pevnost než lepený materiál (jedná se o přípravky Beva® Gel, Beva® 371, Archäocoll 2000, Kanagom, Airocoll S Spachtel Transparent a šelak). Překvapivá je nižší pevnost Airocollu S Spachtel Transparent,

který je sám o sobě velice pevný, i když, jak se ukázalo, v zásadě křehký, pokud je nanášen v tenké vrstvě. Výsledky pevnosti v tahu za ohybu ilustruje Obr. 7.

4.5 Odolnost vůči zatížení vlhkostí

Výsledky zkoušky byly hodnoceny subjektivně posouzením změny tvaru (deformace filmu zvlněním nebo naopak smrštění), barvy a sekundárních změn filmu (zákal, biologické napadení) (Obr. 8). Ze všech uvedených hledisek lze nejlépe hodnotit dva prostředky – Archäocoll 2000 a dvousložkovou polyesterovou pryskyřici Airocoll S Spachtel Transparent, na kterých se neprojevily žádné nebo pouze minimální tvarové změny, a film i jeho stav odpovídal prakticky filmu v nestárnutém stavu. Problematické vůči působení vlhkosti se ukázaly zejména disperzní systémy, které na vlhkost reagují tvarovými deformacemi, ale i zvýšenou lepivostí a v mnoha případech i biologickým atakem. U těchto typů prostředků je vysoká citlivost vůči vzdušné vlhkosti pochopitelná, i když u testovaných prostředků byla pozorovaná v různé míře. Tvarové změny a biologické napadení bylo nejvíce patrné u prostředku BEVA® Gel, který tímto nelze doporučit pro aplikace na objektech, které budou uloženy v prostředí s neregulovanou vzdušnou vlhkostí. Účinek vlhkosti na ostatní disperzní prostředky se projevil v různé míře v závislosti na citlivosti prostředku vůči jejímu působení. Uspokojivě lze hodnotit chování prostředku Acrylkleber 498 HV i Beva 371, nejstabilnější prostředek byl Ponal Super 3, který na vlhkost prakticky nereaguje a jeho stav po zkoušce odpovídal vzorku uloženému v laboratorních podmínkách. Rozdílná odolnost prostředků vůči vlhkosti může souviset s přítomností aditiv, antibakteriálními nebo konzervujícími přísadami, které chrání prostředek vůči biologickému ataku. Přítomnost těchto aditiv však není, kromě prostředku Acrylkleber 498 HV, běžně ve složení prostředků popisována, a proto nelze rozdílné chování prostředků v prostředí se zvýšenou vlhkostí jednoznačně vysvětlit.

5. Závěr

Předmětem práce bylo testování vlastností vybraných adheziv určených pro lepení sádrových artefaktů. Ke zkoumání bylo zvoleno celkem 8 prostředků, které zahrnovaly tradičně užívané prostředky, ale i ty, které se běžně pro lepení sádry nevyužívají (jsou primárně určeny pro keramiku, malby, lepení kamene), avšak jejich lepící schopnosti nabízí možnost využít tyto prostředky pro lepení sádry. Tato adheziva byla vybrána na základě předchozích testů, zkušeností i v literatuře dostupných informací. Lepidla zahrnovala disperze, roztoky přírodních a syntetických polymerů, pro porovnání účinku byla zařazena také polyesterová pryskyřice, která vytvrzuje síťovací reakcí s tvrdidlem. Z chemického

hlediska se jednalo o prostředky na bázi homopolymerů a kopolymerů akrylátů, VAC, nitrocelulózy (Archäocoll 2000, Kanagom). Šelak byl zástupcem tradičních přírodních lepidel. Všechna lepidla jsou určena pro lepení uměleckých artefaktů s výjimkou lepidla Ponal, který byl zařazen jako nové adhezivum k odzkoušení.

Adheziva byla podrobena řadě testů – primárně bylo cílem této studie popsat, v jaké formě a jak se adheziva mají užívat, jaké jsou jejich základní vlastnosti před a po vytvrzení a zároveň uživatelům a restaurátorům dále podat přehlednou ucelenou informaci o jejich složení a účinku. V druhém kroku byla otestována pevnost lepidel při lepení sádrových vzorků a jejich odolnost vůči nevhodným podmínkám, ve kterých se sádrové artefakty mohou uchovávat. Jedná se o místa se zvýšenou relativní vlhkostí – kostely, depozitáře, vily, sklady.

Shrnutím a vyhodnocením jednotlivých testů (Tab. 1) se jako nejlepší adhezivum k lepení sádrových artefaktů jeví přípravek akrylátové disperze Acrykleber 498 HV. Příjemná byla jeho výsledná barevnost na spoji i aplikace díky užitému ředidlu, kterým je voda. Uspokojivá je okamžitá přídržnost, i když je třeba fixace lepeného objektu po dobu několika minut. Ve zkouškách pevnosti má srovnatelnou pevnost jako lepený materiál sádry. Přípravek nepenetruje do hloubky materiálu a nemění jeho barevnost. Výhodou je jeho reverzibilita (ačkoli nebyla zkoušena, autorka je s ní seznámena v rámci své praxe) a vysoká odolnost vůči zvýšené vzdušné vlhkosti. Vzhledem k elasticitě filmu (jako jediný z polymerů je v tuhém stavu ve stavu elastickém) bude vytvářet elastické (pružné) spoje; spoj může pružně reagovat na roztažnost materiálu apod., naopak může nastat problém při zatížení smykem (spoj se může deformovat, ujíždět). Pro dosažení optimálního lepícího účinku je velmi důležitá aplikace lepidla na předem separované plochy roztokem stejného materiálu o nižší koncentraci. Jednoznačným pozitivem adheziva je vysoká houževnatost lepidla, která zajistí vysokou odolnost spoje při případném namáhání.

Ostatní adheziva požadavkům na lepení sádry vyhovují jen částečně – příkladem může být Ponal Super 3, který se vyznačoval výbornými vlastnostmi, ale jeho limitem je nadměrná pevnost

lepeného spoje, který převyšuje pevnost samotné sádry, a malá elasticita lepidla. V praxi by to mohlo znamenat poškození sádrových objektů rozlomením mimo lepený spoj a dalším poškozením samotného artefaktu. Nebezpečí takového poškození se dá předejít použitím pomocných výztuží a armatur. Druhým příkladem je použití prostředků Beva, tradičně užívaným pro zpevňování barevné vrstvy. Beva Gel nelze užít v prostředí s vyšší vzdušnou vlhkostí, Beva 371 zase méně vyhovuje hygienou práce a nepolárním až mastným charakterem, což se může negativně projevit na slepeném spoji při dalších úpravách v rámci restaurování. Příkladem může být komplikované provedení retuší vodorozpuštěnými systémy barev nebo dotmelení slepených spojů minerálními typy tmelů. Ze skupiny nitrocelulóзовých lepidel lze jednoznačně doporučit Archäocoll 2000, který je běžně užíván pro lepení archeologické keramiky a vyhovuje kvalitou filmu, jeho stabilitou i pevností. Otázkou je však změna pH těchto lepidel, o které se zmiňuje odborná literatura, zejména v prostředí se zvýšenou relativní vzdušnou vlhkostí. Při srovnání s tradičními materiály je jediným prostředkem, který se vyznačoval podobnými vlastnostmi i účinkem, šelak. Vzhledem ke kvalitě filmu je třeba pro použití jednoznačně doporučit bělenou variantu, která je vhodnější svou barevností na typ lepeného substrátu. Co se týká křehkosti filmu je vhodný spíše na lepení drobnějších částí, nebo je nutné zajistit lepený spoj armaturou či jinou výztuží a věnovat velkou pozornost opatrné manipulaci s objektem. Nesporná výhoda spočívá v odstranitelnosti zatvrdlého lepidla po delší době. Ostatní prostředky – Kanagom, Airocoll S Spachtel Transparent – nelze z mnoha důvodů pro užití na tomto typu materiálu doporučit.

Na závěr je nutné upozornit, že všechna uvedená adheziva, která byla touto studií doporučena pro použití na sádře, lze spíše doporučit pro lepení menších částí, a to pro aplikace v interiérových podmínkách. Pro lepení rozměrnějších a těžších částí je třeba provést další zajištění za pomoci nerezových, sklolaminátových čepů či armatur, pro jejichž lepení se jako nejlepší přípravek může použít dvousložková polyesterová pryskyřice, která má výbornou adhezi k těmto typům zpevňujících materiálů. Další variantou, která bude studována v následující části práce, je využití anorganických prostředků.

Název	Optické vlastnosti lepeného spoje	Barevné změny sádry	Manipulace a aplikace adheziva	Mechanic. zkoušky odolnosti	Odolnost vůči vlhkosti	Celkové hodnocení*
Acrykleber 498 HV (1)	1	1	1	1	1	1
BEVA® Gel (2)	1	1	1	2	5	2
Archäocoll 2000 (3)	1	1	3	2	1	1,4
BEVA® 371 (4)	1	2	4	3	1	2,22**
Ponal Super 3 (5)	1	1	1	5	2	2
Šelak (6)	2	2	2	2	2	2
Airocoll S Spachtel Tr. (7)	2	2	2	3	1	2
Kanagom (8)	1	1	3	2	2	1,83***

Pozn.* – Škála hodnocení zkoumané charakteristiky byla provedena na stupnici 1–5. 1 – výborně, 5 – nedostačující.
Pozn.** – U tohoto adheziva je výsledek hodnocení spekulativní, v bodování se neprojevilo pevnost adheziva převyšující originální materiál, která by mohla znehodnotit lepený spoj.
Pozn.*** – U tohoto adheziva je výsledek hodnocení spekulativní, v bodování se neprojevilo nadměrné smrštění filmu, které by mohlo znehodnotit lepený spoj.

Tab. 2: Hodnocení lepících systémů – shrnutí zkoumaných vlastností.

POZNÁMKY

- 1 | <http://www.arup.cas.cz/wp-content/uploads/2011/02/Zasady-restaurovani-slinute-keramiky.pdf>
- 2 | Odborný seminář STOP. In: *Sádra v památkové péči*. Národní muzeum, Praha 2002.
- 3 | DOWN. J. – MACDONALD, M. – TÉTREAUULT, J. – WILLIAMS, R.: *Adhesive Testing at the Canadian Conservation Institute – an evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives*. Studie in Conservation, 1996.
- 4 | BERGER, Gustav: *Art adhesive needs stability, reversibility, compatibility*. Adhesives Age, 1985.
- 5 | PARÓBEK, Martin: *Dva případy restaurování sochařských děl ze sádry*. Diplomová práce FR UPa, 2011.
- 6 | BÉNA, Petr: *Restaurování odlitku Sv. Mikuláše Tolentinského*. Diplomová práce FR UPa, 2011.

- 7 | http://talasonline.com/photos/instructions/lascaux_adhesives.pdf
- 8 | http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/87032e.pdf
- 9 | http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/98500_SHD_ENG.pdf
- 10 | http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/87030_31MSDS.pdf
- 11 | <file:///C:/Users/Doma/Downloads/ponal-super-3-technicky-list-2015-07-10.pdf>
- 12 | http://www.airo-chemie.com/pdf/PX_TM_Airocoll_S_alle%20Farben_EN.pdf
- 13 | <http://garancia.ibyznys.cz/www/prilohy/bl/kanagom.pdf>