

FORUM / 2019 / ROČ. IX / Č. 2

PRO KONZERVÁTORY-RESTAURÁTORY FORUM FOR CONSERVATORS-RESTORERS

2019 / Vol. IX / No. 2
Peer-reviewed open access journal

Chief editor: Ing. Alena Selucká
Editors: Mgr. Pavla Stöhrová, Mgr. Jana Fricová

Editorial Board:
Ing. Ivo Štěpánek (Head of Editorial board)
doc. Dr. Ing. Michal Ďurovič
Akad. mal. Igor Fogaš
Ing. Pavel Jirásek
Ing. Jan Josef
doc. Akad. sochař Petr Kuthan
prof. RNDr. Jiří Příhoda,
Ing. Radka Šefců
Mgr. Pavla Stöhrová (Secretary)

Open access since 2019 available for free
on <https://mck.technicalmuseum.cz/casopis-fkr/>
The journal is indexed and abstracted in EBSCO.

Published by:
Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno, Czech Republic

Contact for communication:
fricova@tmbrno.cz / stohrova@tmbrno.cz / selucka@tmbrno.cz

© Technické muzeum v Brně, 2019
ISSN (Online) 2571-4384
ISSN (Print) 1805-0050

 TECHNICKÉ
MUZEUM
V BRNĚ

 METODICKÉ
CENTRUM
KONZERVACE

KONSOLIDACE SÁDRY – TESTOVÁNÍ PROSTŘEDKŮ S ORGANICKÝMI ROZPOUŠTĚDLY

Petra Zítková • Renata Tišlová

Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování

MgA. Petra Zítková – absolventka Univerzity Pardubice – Fakulty restaurování v Litomyšli, kde v současnosti působí jako asistentka v Ateliéru restaurování kamene a souvisejících materiálů. (petra.zitkova@upce.cz)

Příspěvek se koncentruje na problematiku konsolidace sádrových odlitků. Na základě publikovaných informací se snaží zachytit stávající stav a nedávnou tradici v této oblasti restaurování. Podrobným průzkumem domácí i zahraniční literatury shromažďuje poznatky o historických i novodobých materiálech a postupech používaných pro zpevnění. Nově jsou prezentovány zkušenosti autorů i studie, v jejích rámci došlo k odzkoušení vybraných konsolidačních prostředků, jejichž výběr vzešel částečně ze současné praxe a z relevantní literatury, která se obecně zabývá konsolidací anorganických porézních materiálů. Z důvodu možného negativního účinku vody byl výběr konsolidantů omezen na prostředky s organickými rozpouštědly. Diskutován je konsolidační účinek bílého šelaku, akrylátové pryskyřice Paraloid B72, do testování byly dále zahrnuty estery kyseliny křemičité, vykazující obecně dobré zpevňující účinky na jiné porézní materiály. V neposlední řadě byly do testování zařazeny nové formy tradičních materiálů v podobě vápenné a sádrové nanosuspenze. Výzkum poukazuje na pozitivní i negativní vlastnosti jednotlivých konsolidantů a nastiňuje možné využití výsledků v praxi.

Klíčová slova: sádra; konsolidace; organická rozpouštědla; sádrové odlitky

PLASTER CONSOLIDATION – TESTING OF AGENTS WITH ORGANIC SOLVENTS

This paper focuses on the multiple issues of consolidation of plaster casts. Based on published information, it tries to summarize the current state of knowledge and describe the recent tradition in this area of restoration. Through a detailed survey of domestic and foreign literature, it collects knowledge about historical and modern materials and technologies used for this treatment/application. Newly presented are the authors' experiences together with an experimental study in which selected consolidation materials were tested. Due to the possible negative effect of water, the choice of consolidants was concentrated on organic solvent formulations. The consolidation effect of white shellac, acrylic resin Paraloid B72, is discussed, together with silica acid esters, which generally have good strengthening effects on other porous materials. The last group of materials mentioned includes traditional ones which have been newly used in the form of lime and gypsum nanosuspensions. The research points to the positive and negative properties of individual consolidants and discusses the possible application of the results in the restoration practice.

Key words: plaster casts; consolidation; gypsum; organic solvents

Péče o sádrové odlitky a jejich restaurování není v současnosti podrobně a systematicky zpracována. Při restaurování sádrového materiálu se setkáváme s mnoha otázkami i přesto, že díla z něj vytvořená jsou přinejmenším stejně stará jako vlastní sochařská tvorba. Souvisí to patrně s nedoceněním odlitků a modelů a obecně sádry jako reprezentativního materiálu pro umělecká díla. Odlitky byly chápány jako dočasný prostředek pro uchování tvaru před převodem díla do jiného ušlechtlejšího materiálu. Tento přístup se odrážel na jejich nedostatečné péči, kdy docházelo k poškození, přetvoření i zničení děl (Obr. 1), mnohdy v důsledku jejich ponechání svému osudu (častý případ sbírek z pozůstalosti sochařů). Z těchto důvodů se jakýkoliv zásah na tomto typu děl často redukoval na minimum a zcela běžně se pojímal invazivním způsobem bez zjevné koncepce nebo úvahy o možné škodlivosti zásahu. Systematický a podrobný přístup v ochraně i restaurování nenacházíme ani u děl uložených do institucionálních sbírek, jejichž péče dodnes vychází spíše z tradičních východisek ochrany uměleckých děl. Stejně tak tomu bylo v případě konsolidace, která se buď neprováděla, nebo byla na sádrových odlitcích provedena tradičními materiály a postupy bez podrobné reflexe vlastností sádrového podkladu. Do značné míry tento přístup přetrvává dodnes.



Obr. 1. Sádrový odlitek od sochaře Stanislava Suchardy vystavený nevhodným podmínkám, u kterého se výrazně projevilo strukturální poškození sádrového materiálu. Foto Radka Zůfalá
Typical degradation of plaster cast by Stanislav Sucharda as a result of exposure to unsuitable environmental conditions. Photo Radka Zůfalá

Současná praxe při konsolidaci sádrových děl doposud vycházela ze dvou odlišných přístupů. První přístup je založen na použití tradičně používaných technologií a prostředků, které byly převzaty z řemeslných postupů při tvorbě samotných odlitků. Výhodiskem druhého přístupu se stal rozvoj moderních materiálů, které rozšířily škálu tradičních konsolidačních prostředků o nové materiály užívané v jiných oblastech restaurování. Možnosti použití těchto látek je však do značné míry limitováno; nedostatek informací o účinnosti konsolidantů na sádrový materiál omezuje výběr prostředků i jejich širší používání. Limitem pro jejich použití je bezpochyby typ zpevňovaného podkladu, tj. sádry, která má zcela specifické vlastnosti jako charakteristickou bílou barevnost, křehkost, vysokou poréznost a citlivost na vlhkost a zvýšenou teplotu [Řičanek, 2002]. O nové poznatky se nelze opřít ani studiem recentní domácí a zahraniční literatury, ve které nacházíme studie zabývající se problematikou konsolidace sádry spíše sporadicky. Více se problematikou konsolidace zabývají v zahraničí zejména ve Francii [Nicolas, 2001; Barthe, 2001], kde je péči a restaurování sádrových modelů a odlitků věnována větší pozornost. Méně propracovaná je jednoznačně metodická část hodnocení konsolidace, která se opírá spíše o dílčí měření bez zjevně definovaných kritérií a požadavků na konsolidační zásah, podle nichž by bylo možné systematicky konsolidaci hodnotit.

O základní vstup do problematiky konsolidace sádry se snaží tento příspěvek. Jeho cílem je na základě studia literatury, revize dříve užívaných postupů a materiálů, zkušeností restaurátorů a v neposlední řadě na základě vlastních experimentů, vytvoření souboru základních doporučení a kritérií pro provádění konsolidace sádrových artefaktů, stejně tak jak je tomu například běžně pro hodnocení konsolidace jiných porézních anorganických materiálů (kámen, omítka).

VYBĚR MATERIÁLŮ A POŽADAVKY NA KONSOLIDANTY

Výběr konsolidačních prostředků by měl být proveden na základě teoretických kritérií, jejichž východiska lze částečně převzít z požadavků na konsolidační prostředek a zásah pro jakýkoliv porézní anorganický materiál, například kámen [Tišlová, 2016]. Obecně je primárním požadavkem dobrá zpevňovací schopnost konsolidantu, který by měl materiálu navrátit nebo alespoň částečně zlepšit jeho původní mechanické i fyzikální vlastnosti. Dobré zpevnění je však podmíněno dalším požadavkem na homogenní distribuci a dostatečnou penetraci poškozeným substrátem. Z hlediska penetrační schopnosti prostředku je důležité zvážit velikost pórů materiálu, protože některé konsolidační produkty nemusí vyhovovat z hlediska velikosti částic.¹ Důležitým kritériem při výběru prostředku jsou také optické vlastnosti povrchu po ošetření. Sádrové odlitky ošetřené konsolidačním prostředkem by neměly změnit svůj vzhled ani charakter. Toto kritérium je zvláště důležité u sádry bez povrchové úpravy nebo patiny. Prostředek sám by měl odpovídat chemickému i látkovému složení sádry, případně mít anorganickou podstatu. Požadavek na látkovou a chemickou kompatibilitu zahrnuje také požadavek na stabilitu prostředku, například při interakci konsolidantu se sádro, ale také stabilitu ve smyslu odolnosti vůči působení světla i ataku mikroorganismů.

Přehled užívaných konsolidantů vzešel z rozsáhlé literární rešerše, která zahrnovala dostupné publikované i nepublikované dokumenty, z nichž se podařilo i přes často sporadicky popsané informace, získat základní přehled o spektru užívaných materiálů a jejich účinku [Zítková, 2016]. Vzhledem k prozatím ne zcela objasněnému účinku vody a vlhkosti na sádrový materiál, byl výběr konsolidačních prostředků zúžen na konsolidanty v organických rozpouštědlech. V minulosti i současnosti je jednoznačně nejrozšířenějším konsolidačním prostředkem roztok šelaku v ethanolu, který nacházíme ve štukatérské praxi širší uplatnění včetně ošetření sádrového povrchu při zhotovování forem i nových odlitků, kde vytvářel vodoodpudivou vrstvu a zabraňoval znečištění povrchu. Pro konsolidaci narušené sádry se běžně užíval v bělené formě v roztoku o nízké koncentraci (okolo 5 %), i když o jeho účinku nenalzáme podrobnější informace. Všeobecně velmi oblíbeným prostředkem nejen pro konsolidaci byla v 2. pol. 20. stol. syntetická akrylátová pryskyřice Paraloid B72, jejíž použití je popisováno i pro narušenou sádry

[Beale, 1977]. Používaná koncentrace se u konsolidace pohybovala maximálně do 5 %. Výhodou tohoto polymeru je poměrně dobrá stabilita i možná volitelnost rozpouštědla. Jako konsolidant sádry byl Paraloid B72 testován i v některých studiích, avšak s rozporuplnými výsledky [Nicolas, 2001; Barthe, 2001]. Další skupinou materiálů, která byla používána zejména ve Francii, jsou syntetické polymery na bázi polyvinylbutyralů nebo polyvinylacetátů, ve studiích [Nicolas, 2001; Barthe, 2001] jsou testovány dříve vyráběné prostředky Mowital B30H, Pioloform BM18. Od obou těchto skupin látek je v současné době ustupováno kvůli jejich diskutabilnímu zpevňujícímu efektu i omezené stabilitě prostředků. Ve výše zmiňovaných studiích byla testována i aplikace prostředků na bázi esterů kyseliny křemičité, které se v současnosti primárně používají ke zpevnění kamene. Při testování prostředku Wacker OH byly popsány překvapivě dobré účinky na zpevnění sádry. Další skupinu látek představují nasycené roztoky anorganických solí, které patří do skupiny tradičních látek pro zpevnění. V historické literatuře je popisováno utvrzení sádry pomocí vápenné nebo sádrové vody [Šedý, 1953; Nikitin, 2003]. Jejich použití je z mnoha hledisek pozitivní; jejich materiálové složení odpovídá složením sádrovému substrátu, problém v jejich použití spočívá především v nízkém zastoupení účinné složky, která se v obou případech pohybuje okolo 1,5 (vápenná voda), resp. 2,5 g/l (sádrová voda) a v případě účinné konsolidace by znamenala vydatné zavlhčení podkladu vodou. Řešení těchto problémů nabízí použití nanosuspenzí, které mají malou velikost částic v řádu nm (okolo 0,1–0,2 μm), což zajišťuje schopnost dobré penetrace i do systémů s menšími póry. Na trhu je již několik let a v praxi se osvědčuje, především v oboru nástěnné malby, nanosuspenze hydroxidu vápenatého v ethanolu nebo isopropanolu (koncentrace 25 g/l) pod názvem CaLoSIL®. Vývoj sádrové nanosuspence se v současnosti zabývá v zahraničí (Zentrum für Bucherhaltung, Leipzig, Německo), kde byl vyvinut prozatím nekomerční produkt sádrové nanosuspence ze štukatérské sádry Almod LC rozptýlené v isopropanolu v koncentraci 100 g/l. Tato nanosuspenze, i když prozatím důkladně neprozkoumaná, má velký potenciál k obnově chemických i mechanicko-fyzikálních vlastností sádry, neboť je narušenému materiálu dodávána pojivová složka o stejném složení.

Uvedené prostředky, kromě prostředků PVB a PVAC, které byly vyřazeny kvůli zmíněným negativům, byly podrobeny testování v laboratorní studii (prostředek Wacker OH byl nahrazen u nás používanějším organokřemičitanem KSE 100 a 300 od fy Remmers). Cílem testování bylo ověření konsolidačního účinku těchto látek, které byly u některých jen teoreticky potvrzeny v literatuře. U materiálů moderních nebo dosud nezkoušených (šelak, estery kyseliny křemičité, vápenné a sádrové nanosuspence) bylo cílem experimentu prokázat jejich konsolidační účinek a porovnat tyto látky dle dosaženého účinku v rámci testované skupiny.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Příprava zkušebních vzorků

Konsolidační účinek vybraných prostředků byl testován na laboratorně připravených vzorcích sádry. Surovinou pro přípravu vzorků byla komerčně dostupná štukatérská, rychle tuhnoucí, sádra Almod LC. Specifika sádrového pojiva jsou uvedena v Tab. 1. Referenční sádrové vzorky, které simulovaly vlastnosti zdravého nestárnutého odlitku, byly připraveny smícháním 100 g sádry se 60 g vody (vodní součinitel 0,6). Poměr složek byl doporučen pro daný typ sádry výrobcem a přibližně odpovídá postupu přípravy odlitků v praxi. Pro konsolidaci byla připravena druhá sada vzorků s nižším obsahem pojiva (vodní součinitel 0,8), které měly simulovat reálné poškozený substrát. Podobný postup při testování konsolidace se vzorky s nižším obsahem pojiva doporučuje například [Barthe, 2001]. Oba typy vzorků byly připraveny dle stejného postupu; nejprve se připravila sádrová suspenze², která se následně vyčila do připravených PP forem, které nebyly z důvodu kontaminace sádrových vzorků opatřeny separací. Vzorky byly po zatvrdnutí vyjmuty z formy a ponechány schnout při laboratorních podmínkách 20 °C a 40–50 % rh po dobu 5–10 dní (do konstantní hmotnosti), poté byly podrobeny měření. Vlastnosti obou typů referenčních sádrových vzorků popisuje Tab. 2.

Sádra Almod LC (Saint-Gobain Formula)	Sypké pojivo		
	Chemické složení	Velikost částic, zastoupení (% hm.)	Sypná hmotnost (g /cm ³)
Data uváděná v technickém listu	CaSO ₄ ·1/2H ₂ O*	200 μm (<0,04%), 90 μm (4%)	800

Pozn.: * dle výsledků kvantitativní práškové difrakční analýzy (metoda vnitřního standardu) byla prokázána přítomnost 74 % CaSO₄·1/2H₂O, 23 % CaSO₄ (měření bylo provedeno ve spolupráci s D. Všianským, PřF., MUNI, Brno).

Tab.1. Vlastnosti sádry Almod LC (Sain-Gobain) uváděné v technickém listu / Almod LC (Sain-Gobain) gypsum properties stated in the technical data sheet

Sádrové vzorky	Obj. hmotnost (g.cm ⁻³)	Celková porozita* (obj.%)	Střední velikosti pórů (μm)	Kap. nasákavost (ethanol) (kg.m ⁻² .hod ^{-1/2})
REF 0.6 (odlitky, vodní součinitel 0.6)	1,19	49-51	1-4	18,8-32,3
REF 0.8 (odlitky, vodní součinitel 0.8)	1,06	53-57	1-5	-

Pozn.:* stanoveno rtuťovou porozimetrií. Distribuci velikosti pórů sádrových vzorků prezentuje Obr. 4.

Tab.2. Vlastnosti sádrových vzorků (vodní součinitel 0,6 a 0,8) / Properties of gypsum samples (water coefficient 0,6 and 0,8)

Pro testování byly zvoleny tři typy zkušebních těles. První typ těles ve tvaru krychle o straně 40 mm sloužil k testování hloubky penetrace konsolidačních prostředků. Pro testování pevnosti v tahu za ohybu, změny barevnosti a tvrdosti byl použit druhý typ těles ve tvaru tenkých hranolů s délkou 100 mm, šířkou 20 mm a redukovanou tloušťkou 5 mm (aplikační plocha 20 cm²). Změna rozměrů těles oproti údajům definovaných normou pro testování pevnosti v tahu za ohybu byla upravena vzhledem k nižší hloubce průniku konsolidantů, která dosahovala hloubky okolo 5 mm. Úpravou tloušťky vzorků bylo zaručeno proniknutí konsolidantů celou hmotou vzorku. Pro zkoušení pevnosti těles v tlaku (třetí typ vzorků) byly ze stejných důvodů připraveny vzorky ve tvaru dutého válce o poloměru 20 mm, výšce 28 mm a tloušťkou 5 mm (aplikační plocha 35 cm²).³ Povrchová vrstva vzorků, jinak hladká a vysoce kompaktní po odlití, byla před aplikací prostředků zbroušena jemným smirkovým papírem a důkladně očištěna od sádrového prachu.

Aplikační podmínky vybraných konsolidantů

Výběr testovaných konsolidantů doplněný o jejich základní charakterizaci a podmínky aplikace je uveden v přehledu v Tab. 3. Koncentrace konsolidačních prostředků byla zvolena na základě předchozích zkoušek a v některých případech upravena na stejnou koncentraci pro možnost vzájemného porovnávání. Roztoky šelaku i akrylátové pryskyřice byly připraveny v koncentraci 2 %. U produktu KSE 300 bylo provedeno zředění ethanolom v poměru 1 : 2 obj., pro možné porovnání s KSE 100. CaLoSiL® E25 byl použit ve výrobní koncentraci

25 g/l a sádrová nanosuspenze byla odzkoušena v koncentraci 25 g/l, která vznikla naředěním původního konsolidantu o koncentraci 100 g/l v poměru 1 : 3, obj. s isopropanolem.

Nanášení prostředku na zkušební tělesa probíhalo ve dvou aplikačních cyklech pomocí pipety.⁴ Vzorek byl vždy ošetřován z jedné strany. Penetraci prostředku zajišťovaly gravitační a kapilární síly. U hranolů byla horizontálním kapáním ošetřena větší plocha odlitku, u dutých válců byl pomocí otočné konstrukce postupně ošetřen celý vnější plášť (Obr. 2). Aplikaci předcházelo penetrování vzorku rozpouštědlem daného typu prostředku, vždy ve stejném množství přepočítaném na danou plochu tělesa (0,45 l/m²), které může zlepšovat průnik konsolidantu do porézní struktury materiálů. Vzorek napuštěný rozpouštědlem byl ponechán 10 minut pod folii, aby došlo k prosycení celé hmoty vzorku. V rámci jedné aplikace bylo nanášeno množství 0,60 l/m² konsolidačního prostředku. U druhé aplikace již do procesu nebyla zahrnuta penetrace materiálu rozpouštědlem, ale pouze nanášení konsolidantu ve stejném množství jako v prvním cyklu. Po ukončení aplikace byly vzorky umístěny do částečně větraných boxů. U vzorků napuštěných konsolidanty estery kyseliny křemičité, sádrové i vápenné nanosuspenze byla v boxech udržována zvýšená vlhkost 65–70 % (estery kyseliny křemičité, vápenné nanosuspenze), resp. 95–100 % (sádrové nanosuspenze). Hodnocení konsolidačního účinku bylo provedeno po vyzrání jednotlivých prostředků po 14, resp. 28 dnech (pro vápenné a sádrové suspenze, estery kyseliny křemičité). Vzorky uložené v prostředí se zvýšenou relativní vlhkostí byly před testováním uloženy po dobu pěti dnů v laboratorních podmínkách.

Prostředek	Aktivní látka	Rozpouštědlo	Koncentrace	Počet aplikací za 1 den	Celkový počet aplikací	Množství aplikované látky (l/m ²)	Podmínky zrání
bílý šelak	-	ethanol	2 % (hm.)	1	1 - 2 (penetrace, aplikace mokré do mokrého)	0,6	50-55% rh, 20°C, 14 dní
Paraloid B72	EMA/MA kop.	toluen, xylen	2 % (hm.)				50-55% rh, 20°C, 14 dní
KSE100	ester kyseliny křemičité	organické rozpouštědlo	100 g/l				65-70% rh, 18-20°C, 28 dní
KSE300 (1:2, obj. ethanol)	ester kyseliny křemičité	bez rozpouštědla	100 g/l				65-70% rh, 18-20°C, 28 dní
CaLoSiL®E25 vápenná nanosuspenze, 25 g/L	Ca(OH) ₂	ethanol	25 g/l				65-70% rh, 18-20°C, 28 dní
Almod LC, sádrová nano- suspenze, 100 g/l	CaSO ₄ ·1/2H ₂ O	isopropanol	25 g/l				95-100 % rh, 18-20°C, 28 dní

Tab.3. Charakteristika testovaných konsolidantů, podmínky jejich aplikace a zrání / Characteristics of tested consolidants, conditions of their application and maturation



Obr. 2. Aplikace konsolidantu metodou kontinuálního kapání vzorků dutých válců na otočné konstrukci. Foto Renata Tišlová / The application of the consolidant on hollow cylinders of gypsum samples by means of the continuous dropping technique. Photo Renata Tišlová

Metody hodnocení testovaných vlastností

Zásadním kritériem pro výběr konsolidantů je jejich zpevňující efekt, který v sobě zahrnuje požadavek na schopnost dostatečné hloubky penetrace prostředku. V této studii byla penetrace konsolidantů hodnocena na základě fluorescence organických látek po jejich excitaci UV zářením. Jako zdroj UV záření byla použita UV fluorescenční lampa UVASPOT 400/T (Hönle UV technology). Optické charakteristiky zkušebních těles jako rozdíly v barevnosti, lesku a opacitě byly zjišťovány před a po ošetření konsolidanty pomocí spektrometru Minolta CM-2600-d shromažďující odražené světlo z povrchu vzorků.⁵ Změny mechanických

vlastností byly vyhodnoceny jako pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu (průměrná hodnota z 9-10 měření). Měření pevnostních charakteristik proběhlo dle normy ČSN EN 1015-11 na stroji FPZ100 (VEB TIW Rauenstein Thüringer).⁶ Mechanické vlastnosti lze částečně odvodit i z rychlosti šíření ultrazvukového signálu.⁷ Měření rychlosti UZ transmise je založeno na měření průchodu UZ vlny, jež se se zpevněním zvyšuje. Pro měření byl použit přístroj Geotron UKS (Geotron-Elektronik, Rolf Krompholz, Pirna-Neundorf, D). Testování povrchových změn způsobených konsolidací, resp. tvrdosti materiálu, proběhlo měřením tvrdosti povrchu s využitím tzv. Tužkového testu dle Wolff Wilborna nástrojem VF2391 (Proinex Instrument), který se primárně užívá pro měření tvrdosti nátěrů. Metoda je založena na užití sady grafitových tužek o různé tvrdosti, které se užívají pro narušení povrchu.⁸

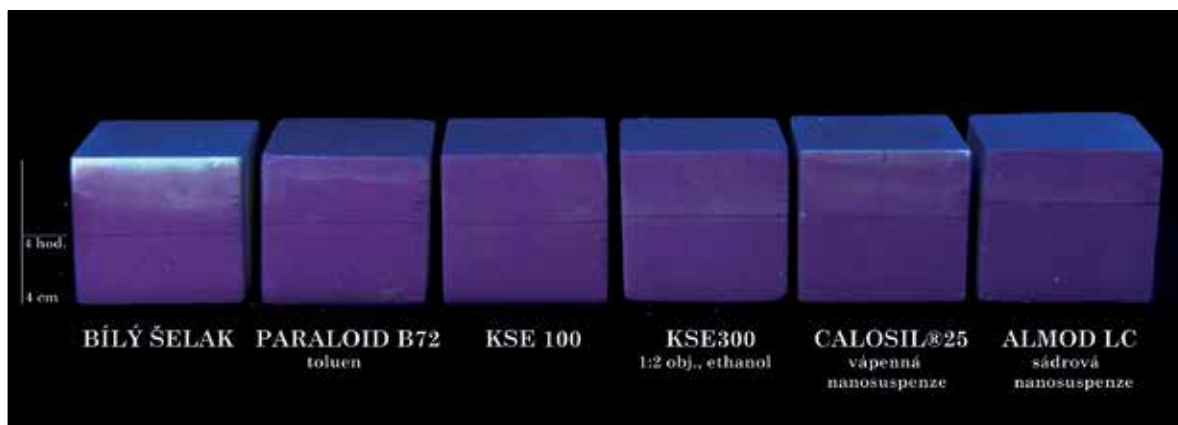
VÝSLEDKY

Aplikační schopnosti prostředků

Výsledný efekt konsolidace určuje použitý konsolidant. Volbou jeho koncentrace a aplikačními podmínkami (způsob a podmínky aplikace, vyzrání prostředku) lze zásadním způsobem ovlivnit penetrační schopnost prostředku a následně i jeho konsolidační účinek. Pro strukturální zpevnění je zvláště žádoucí vyšší hloubka penetrace. V tomto ohledu může mít pozitivní účinek penetrace zředěným roztokem konsolidantu nebo rozpouštědlem před vlastním nanesením konsolidantu, a tím zamezení rychlého odpaření rozpouštědla, které, pokud není zajištěno, může být doprovázeno efektem zpětné migrace účinné látky. Průběh pronikání prostředku je částečně detekovatelný v UV záření, ve kterém konsolidanty podle hloubky průniku projevují luminiscenci.⁹ V Tab. 4 je zaznamenán průběh změny hloubky průniku konsolidantu (sledovaném na povrchu těles) ihned po jeho aplikaci (0 min), 4 hodiny po aplikaci (zakryté) a po odpaření rozpouštědla (24 hodin), který ukazuje Obr. 3.

Hloubka penetrace (cm)	bílý šelak	Paraloid B72 (toluen)	KSE 100	KSE 300 (1:2 obj., ethanol)	CaLoSiL®E25, vápenná nanosuspenze	Almod LC, sádrová nanosuspenze
0 (min)	0,5	0,4	0,3	0,35	0,4	0,5
4 (hod), po aplikaci, mokrý vzhled	1,9	1,6 (60 s)	1,65	1,6	1,5	1,35 (90 s)
po vyschnutí (24 hod)	1,3	0,5 (méně intenzivní do 1,4)	2	1,8	1,6	1,4

Tab. 4. Změna hloubky průniku konsolidantů / Change of the depth of the consolidant penetration

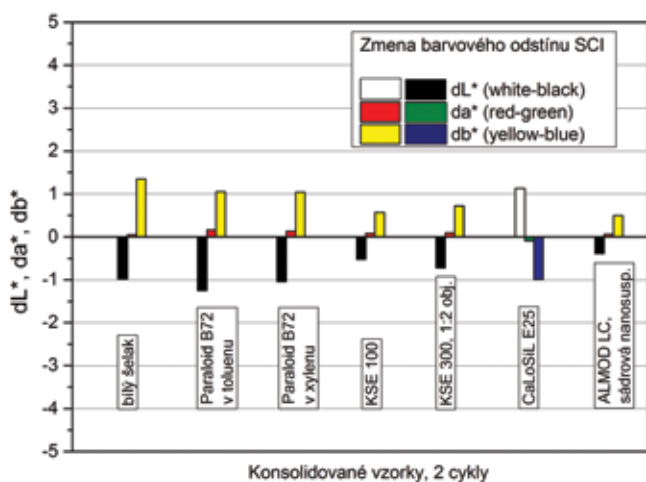


Obr. 3. UV fluorescenční fotografie zaznamenává hloubku průniku konsolidantů. Foto Petra Zítková / UV fluorescent photography of the treated samples used to detect the penetration depth of the consolidants. Photo Petra Zitkova

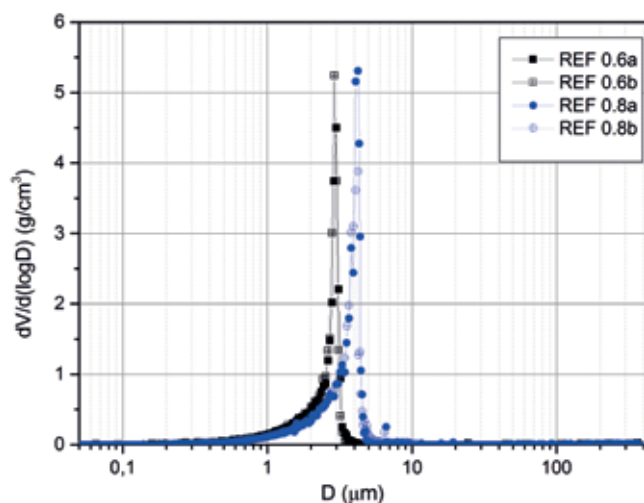
Z pozorování zkoušky vyplývá několik zajímavých poznatků. Prvním z nich je, že ačkoliv je sádra vysoce porézní materiál, jejíž porozita je tvořena v oblasti kapilárních pórů (Obr. 4), je penetrační schopnost konsolidantů v sádrových vzorcích poměrně malá, i když v porovnání s ostatními porézními materiály srovnatelná nebo jen mírně nižší. Například estery kyseliny křemičité, které v případě sádrových vzorků dosáhly největší hloubky průniku 20 mm, dosahují průnik stejným prostředkem a metodou u porézního kutnohorského vápence okolo 5 cm i více, [Škarvada, 2017], srovnatelné hodnoty průniku organokřemičitanů a vápenných nanosuspenzí (CaLoSil® E25) byly naměřeny pro vysoce porézní degradované vápenné omítky [Tišlová, 2014]. Ostatní prostředky se oproti organokřemičitanům vyznačují nižší penetrační schopností do sádrových vzorků, i když většina z těchto prostředků má větší okamžitou pronikací schopnost. Ze skupiny testovaných konsolidantů mají nejnižší výslednou hloubku penetrace sádrové nanosuspenze společně s Paraloidem B72, kde účinná látka prostoupila maximálně do hloubky 14 mm, finální hloubka penetrace po odpaření rozpouštědla u Paraloidu B72 se dále výrazně redukovala (okolo 5 mm). Konsolidanty CaLoSil® E25 a lihový roztok šelaku se vyznačují střední hloubkou penetrace okolo 16 mm. Z výsledků tedy vyplývá omezená penetrační schopnost všech testovaných látek do sádrových vzorků, která může souviset s charakterem konsolidantu, především velikostí částic nanosuspenzí (50–200 nm) a rozpouštědlovým systémem, který ovlivňuje zpětnou migraci účinné látky (šelak, Paraloid B72 nebo vápenné a sádrové nanosuspenze). Podobné zkušenosti s nanosuspenzemi, jejich zpětná migrace ovlivňující konsolidační efekt je popisována například u vysoce porézního vápence [Niedoba, 2017]. U všech testovaných konsolidantů lze však mluvit o penetraci, která je dostačující pro středně narušené materiály nebo pro použití pro konsolidaci povrchově degradovaných odlišků. Účinek materiálů by bylo možné pro strukturální konsolidaci upravit další úpravou aplikačních podmínek, například volbou aplikační metody.

Hodnocení optických změn po konsolidaci

Efekt zpětné migrace a částečná precipitace konsolidantu na povrchu vzorků má za následek změnu optických vlastností povrchu sádry, který se projevuje zejména tmavnutím, změnou barevnosti nebo vznikem lesku na povrchu sádrových těles. Změna barvového odstínu po dvou cyklech aplikace prezentovaná na Obr. 5 jako změna světlosti (dL^*), změna barvy na ose červená–zelená (da^*) a žlutá–modrá (db^*) se po konsolidaci v různé míře projevila u všech vybraných konsoli-

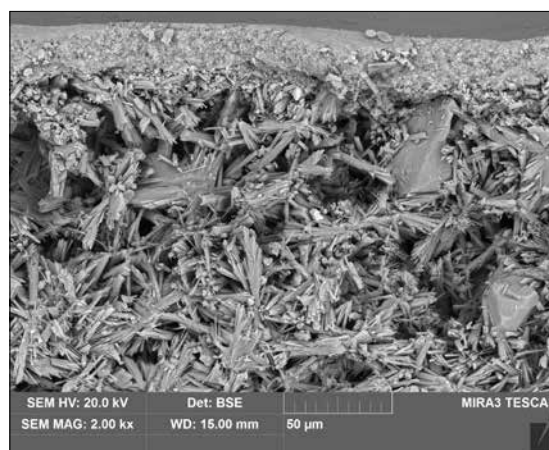


Obr. 5. Změna barvového odstínu sádrových vzorků po konsolidaci. Hodnoty SCI po dvou cyklech aplikace. Foto Renata Tišlová
The colour changes (E^*) of the gypsum samples after consolidation. The values of SCI after two cycles of consolidation. Author Renata Tislova

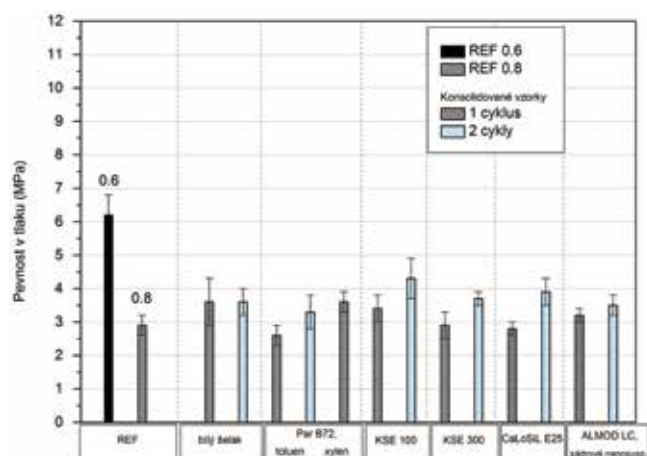


Obr. 4. Graf distribuce velikosti pórů – referenční vzorky (vodní součinitel 0.6 a 0.8). Foto Renata Tišlová / The pore size distribution of the reference gypsum samples (water/binder ratio 0.6 and 0.8). Author Renata Tislova

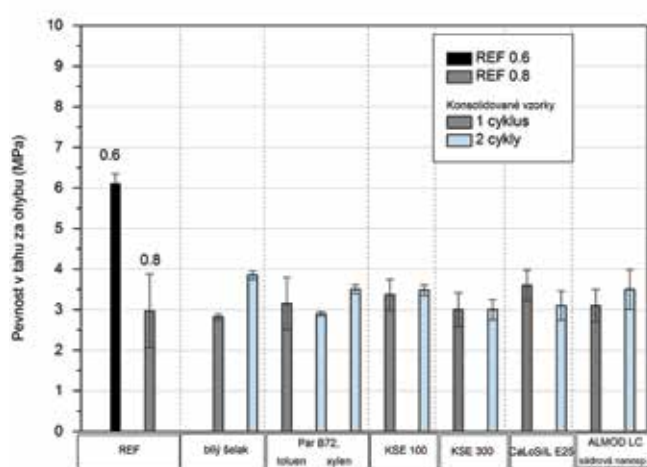
dačních prostředků. Zanedbatelné jsou změny u většiny konsolidantů po první aplikaci, k výraznějším změnám dochází u většiny až po druhém cyklu s výjimkou vzorků ošetřených estery kyseliny křemičité. Jejich dobré optické vlastnosti lze korelovat s dobrou penetrací těchto materiálů do vzorků, která byla popsána výše. Největší změny naopak můžeme pozorovat po konsolidaci bílým šelakem, Paraloidem B72 (xylenový i toluenový roztok) a prostředkem CaLoSil® E25, které se umocňují s opakovanou aplikací. U všech vzorků ošetřených roztoky pryskyřic povrch výrazně žloutne a tmavne, u vzorků konsolidovaných prostředkem CaLoSil® se zvyšuje světlost dL^* jako důsledek vylučování prostředku na konsolidovaném povrchu v podobě bělavého až namodralého filmu (změna db^*), jehož přítomnost byla potvrzena i na příčném řezu napuštěným vzorkem pod skenovacím elektronovým mikroskopem (Obr. 6). Optické změny, i když malé, můžeme pozorovat i po aplikaci sádrových nanosuspenzí, u kterých se na povrchu kromě tmavnutí a žloutnutí navíc objevuje lesklý vzhled. Při navýšení počtu aplikací nebo zvýšení koncentrace, než jsou stávající podmínky (2 cykly, 2 %), se lesk a barevné změny rychle projevují u všech konsolidantů, zvláště u vzorků ošetřených Paraloidem B72.



Obr. 6. Makrosnímek příčného řezu vzorkem ošetřeného vápennou nanosuspenzí CaLoSil® E25 (2x) ze skenovacího elektronového mikroskopu MIRA3-LMU (TESCAN) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), HV 20 kV, WD 15 mm. Foto Renata Tišlová
Scanning electron macro image (SEM) of the thin section of the gypsum sample treated with the CaLoSil E25 lime nanosuspension (after 2 applications). SEM MIRA3-LMU (TESCAN), BSE regime, HV 20 kV, WD 15 mm. Author Renata Tislova



Obr. 7. Pevnost v tlaku vzorků před a po konsolidaci. Foto Renata Tišlová / The compressive strength of the samples before and after consolidation. Author Renata Tišlová.



Obr. 8. Pevnost v tahu za ohybu vzorků před a po konsolidaci. Foto Renata Tišlová / The tensile strength of the samples before and after consolidation. Author Renata Tišlová

Mechanické vlastnosti ošetřeného materiálu

Konsolidace sádrových vzorků byla provedena na vzorcích simulující poškozený sádrový substrát (REF 0.8), jehož pevnost v neošetřeném stavu a po konsolidaci uvádí Tab. 5 a graficky znázorňuje Obr. 7 a 8. Pro srovnání byly naměřeny mechanické vlastnosti pro „zdravý“ nedegradovaný materiál, který reprezentují vzorky s vyšším obsahem pojiva (REF 0.6). Jejich vlastnosti vytváří horní hranici hodnot, ke kterým by se zpevněné vzorky měly v ideálním případě přiblížit.

Testované konsolidační materiály způsobily ve všech případech zvýšení pevnosti degradovaných sádrových vzorků v tlaku i tahu za ohybu, které se však ani v jednom případě nedostaly na úroveň hodnot referenčních vzorků (REF 0.6). Z výsledků je dále zřejmé, že zvýšení pevnosti sádrových těles se více projevilo na hodnotách pevnosti v tlaku a méně výrazněji na hodnotách pevnosti v tahu za ohybu. Z tohoto ohledu bylo u sádrových vzorků dosaženo nejvyšších pevnosti v tlaku u vzorků konsolidovaných estery kyseliny křemičité a vápennou nanosuspenzí CaLoSiL® E25, jejichž účinek se mírně zvyšuje po dvou cyklech aplikace až k hodnotám pevnosti okolo 4 MPa (nárůst pevnosti vůči neošetřeným vzorkům okolo 30 %). Nižšího zpevnění dosáhly vzorky ošetřené ostatními konsolidanty (Paraloidem B72 v toluenu i xyleny a bílým šelakem – 20 %), z nichž nejmenší zpevňující efekt vykazaly vzorky ošetřené sádrovou nanosuspenzí (3,5 MPa, po dvou cyklech, nárůst pevnosti v tlaku o 17 %).

Při namáhání vzorků ohybem se konsolidace na hodnotách pevnosti v tahu za ohybu projevuje velmi nevýrazně a zcela odlišným trendem oproti zkoušce pevnosti v tlaku, což je prozatím velmi problematické vysvětlit. Nejvyšší hodnoty byly dosaženy po ošetření bílým šelakem (2 cykly, nárůst pevnosti o 30 %), ostatní prostředky mají na hodnoty pevnosti vliv velmi malý (KSE 100, CaLoSiL® E25, sádrové nanosuspenze, Paraloid B72 v xyleny – nárůst pevnosti max. o 15 %) a některé prostředky (Paraloid B72 v toluenu, KSE 300) až zanedbatelný. Vysvětlením výsledků měření ohybové zkoušky by mohlo souviset s nerovnoměrnou distribucí prostředku ve vzorku nebo jeho depozicí na povrchu v důsledku zpětné migrace (viz výsledky penetrační zkoušky), které však selhává při vysvětlení nízkých hodnot pevnosti pro vzorky ošetřené KSE 100 a 300, jejichž penetrace byla velmi dobrá. Zajímavým jevem u měření pevnosti v tahu za ohybu, který také nelze jednoznačně interpretovat, je snížení některých hodnot po druhém cyklu aplikace, který se projevil u Paraloidu B72 v toluenu a vápenné nanosuspenze.

Sádrové vzorky	Počet cyklů	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu	Rychlost UZ transmise	Tvrdost
		(MPa)	(MPa)	(km.s ⁻¹)	
REFERENČNÍ (REF 0.6)	-	6,2 ±0,6	6,1 ±0,25	2,7±0,1	2B-4B
STÁRNUTÉ, (REF 0.8)	-	2,9 ±0,3	3,0 ±0,62	2,10 ±0,1	6B
bílý šelak	1	3,6 ±0,7	2,8 ±0,1	2,2±0,1	-
	2	3,6 ±0,4	3,9 ±0,1	2,2±0,1	2H-3H
Paraloid B72, toluen	1	2,6 ±0,3	3,2 ±0,5	2,1±0,1	-
	2	3,3 ±0,5	2,9 ±0,1	2,1±0,1	2H
Paraloid B72, xylen	2	3,6 ±0,3	3,5±0,1	2,2±0,1	4H-6H
KSE 100	1	3,4 ±0,4	3,4 ±0,4	2,1±0,1	-
	2	4,3 ±0,6	3,5 ±0,1	2,2±0,1	B-HB
KSE 300 (zř. 1:2 obj., ethanol)	1	2,9 ±0,4	3,0±0,4	2,1±0,1	-
	2	3,7 ±0,2	3,0 ±0,3	2,1±0,1	2B
CaLoSiL®E25 vápenná nanosuspenze	1	2,8 ±0,2	3,6±0,4	2,1±0,1	-
	2	3,9 ±0,4	3,1 ±0,4	2,2±0,1	2H
Almod LC, sádrová nanosuspenze	1	3,2 ±0,2	3,1±0,4	2,2±0,1	-
	2	3,5 ±0,3	3,5 ±0,5	2,2±0,1	7B-8B

Tab. 5. Vybrané mechanické vlastnosti referenčních vzorků (vodní součinitel 0,6, 0,8) a vzorků (0,8) ošetřených jednotlivými konsolidanty / Selected mechanical properties of reference samples (water coefficient 0,6, 0,8) and samples (0,8) treated with individual consolidants

Míra zpevnění vzorků po konsolidaci by se měla projevit i na zvýšení rychlosti ultrazvukové transmise, která souvisí se změnami v porézni struktuře nastávající po konsolidaci. Hodnoty rychlosti konsolidovaných vzorků, uvedené v Tab. 5, však výrazně zpevnění vzorků oproti neošetřené sadě referenčních vzorků (REF 0.8, resp. REF 0.6) zpevnění neprokázaly (shodně 2,1-2,2 km/s, REF 0.6 2,7 km/s), a to ani u vzorků s naměřenými vyššími hodnotami pevnosti. Výsledky mohou být vysvětleny celkově vysokou porozitou sádrových vzorků, která více než zpevnění ovlivňuje hodnoty UZ transmise. Účinek konsolidantů na porézni systém je však evidentně zanedbatelný a porézni systém výrazně neovlivňuje. Z diskuse výsledků je nutné poukázat i na limity této metody měření, která se častěji, než jako materiálová charakteristika, užívá pro diagnostiku stavu materiálu. Výsledky měření mohou být ovlivněny i geometrií vzorku, která může být výrazně zatížena postupem jejich přípravy.

Abychom mohli potvrdit interpretaci, že by naměřené výsledky ohybové zkoušky mohly souviset s nehomogenní penetrací účinné látky prostředku do vzorků nebo jejím usazováním na povrchu, byla provedena zkouška měření tvrdosti povrchu. Ta potvrdila zvýšení tvrdosti po ošetření těles všemi konsolidanty, i když v různé míře. Hodnoty tvrdosti po dvou cyklech, vyjádřené jako tvrdost tužky, která způsobuje narušení povrchu v podobě rýhy, se na testované škále tvrdosti u referenčního vzorku pohybovala kolem hodnot 2B–4B, oproti nižší tvrdosti degradované sádry (6B). Sádrová tělesa po dvojnásobném ošetření konsolidačními prostředky KSE 100 a KSE 300 (1 : 2, obj.) zvýšila tvrdost povrchu přibližně k hodnotám referenčního vzorku (REF 0.6). Ostatní prostředky navýšily tvrdost povrchu i vůči nedegradovanému referenčnímu vzorku – nejvýraznější zpevnění povrchu bylo naměřeno u bílého šelaku, Paraloidu B72 (okolo 2H, Paraloid B72 v xylenu dokonce 4H-6H), u kterých došlo k výraznému navýšení tvrdosti povrchu vůči referenčnímu degradovanému vzorku (REF 0.8) a zároveň překročení hodnot tvrdosti pro referenční vzorek simulující nedegradovaný odlitek (REF 0.6)

SHRNUTÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Předkládaný příspěvek se snaží o základní shrnutí poznatků a informací v oblasti konsolidace sádry, která byla v rámci příspěvku považována za zásah do struktury degradovaného díla pro obnovení nebo zlepšení jeho mechanických vlastností bez vedlejších negativních změn. V praktické části se příspěvek zaměřil na testování vybraných konsolidačních prostředků s organickými rozpouštědly, které se buď v praxi užívají bez ověření účinku, nebo se jedná o nové materiály, jejichž efekt je třeba odzkoušet. K testování bylo zvoleno celkem šest prostředků zahrnující tradiční látky (přírodní šelakovou pryskyřici, syntetickou pryskyřici Paraloid B72) a látky nové, v oblasti restaurování sádry buď užívané v jiných aplikačních oblastech (estery kyseliny křemičité KSE 100 a KSE 300, vápenná nanosuspenze CaLoSiL E25) nebo pro účely testování speciálně vyvinuté (Almod LC, sádrová nanosuspenze).

Účinek konsolidantů byl vyhodnocen z několika hledisek, z nichž nejvýznamnějším hodnotícím parametrem byla schopnost zpevnění materiálů, které se projevuje zvýšením mechanických vlastností oproti stavu poškozeného substrátu. Z tohoto hlediska zajišťují strukturální konsolidaci narušeného sádrového materiálu v různém stupni všechny testované materiály. Překvapivě je zpevnění ve značně omezené míře u všech prostředků, a to i v případě prostředků, které jsou u jiných anorganických materiálů pro strukturální konsolidaci s úspěchem používány (estery kyseliny křemičité, CaLoSiL® E25). Důvodem omezeného účinku na strukturální zpevnění sádrových vzorků může být ovlivněno řadou okolností; patrně nejvíce jsou výsledky určovány vlastnostmi samotného substrátu (zde napouštěny vzorky připravené ze suspenze s nízkým obsahem pojiva, vodní součinitel 0.8), které se vyznačují specifickým chemickým složením a mikrostrukturou, které mohou ovlivňovat interakci materiálu s konsolidanty. Pro ilustraci, stejný experiment, jehož výsledky budou následně publikovány, zopakovali autoři pro jiným způsobem stárnuté referenční vzorky REF 0.6, u kterých je konsolidační účinek mnohem výraznější.

Vedle pevnosti však lze diskutovat další vlastnosti konsolidantů, zvláště účinek na povrchové vlastnosti sádry. Díla jsou v mnoha případech poškozena pouze povrchově, a proto nemusí být zásadní kritérium výběru založeno na penetrační schopnosti prostředků a zvýšení strukturální pevnosti. V tomto ohledu lze pro povrchové zpevnění doporučit zvláště estery kyseliny křemičité a to nejen z důvodu přiměřeného zpevnění, ale i malým barevným změnám po ošetření. U ostatních prostředků (Paraloid B72, šelak, částečně CaLoSiL® E25) hrozí riziko nadměrného zpevnění povrchu, u zmiňovaných prostředků dále doprovázené barevnými změnami.

Nejvíce problematických vlastností bylo zjištěno u konsolidace pro tuto studii speciálně vyvinutými sádrovými nanosuspenzemi, které z testované skupiny nejlépe vyhovují na materiálovou kompatibilitu vůči zpevňovanému substrátu, ale u kterých byl zaznamenán jen zanedbatelný zpevňující účinek. Testování této skupiny materiálů však přineslo nové poznatky z oblasti nanomateriálů a jejich možné další aplikace v oboru restaurování.

Nejen na základě této studie lze s jistotou konstatovat, že pro konsolidaci sádrového materiálu nelze vybrat jediný prostředek, pokud nejsou zhodnoceny všechny aspekty konsolidačního zásahu. Při každém restaurování sádrového díla je vždy nutné zohlednit konkrétní situaci, kterou představuje stav a materiálová skladba objektu, jeho předchozí ošetření i zamýšlená koncepce restaurování.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za podpory projektu STOPY TVORBY Dědictví velkých sochařů první poloviny 20. století – Restaurování a péče o sochařské památky ze sádry (DG16P02B052, program NAKI III, poskytovatel MK ČR).

SEZNAM MATERIÁLŮ

- Almod LC, štukatérská sádra (Saint-Gobain Formula)
- bílý šelak
- Paraloid B72, akrylátový kopolymer EM/MA v toluenu a xylenu (Rohm & Haas)
- CaLoSiL® E25, vápenná nanosuspenze v ethanolu (IBZ-Freiberg, Ingenieurbüro Dr. Ziegenbalg GbR)
- Almod LC, sádrová nanosuspenze v isopropanolu (Zentrum für Bucherhaltung, Leipzig, Německo)
- KSE 100, KSE 300, estery kyseliny křemičité (Remmers)

POZNÁMKY

- ¹ Pro dosažení hloubky penetrace musí být velikost póru materiálu 100x větší, než je velikost částic konsolidačního prostředku [Tišlová, 2016].
- ² Sádrová směs byla připravena postupným přidáváním práškového pojiva pomalu do vody, kde se ponechalo přibližně 1 minutu odstát a smočit vodou. Následovalo strojové míchání (1 min při středních otáčkách 150 ot/min), proces míchání se dokončil 30 sekundami ručního míchání.
- ³ Tento tvar těles odzkoušela pro testování konsolidantů ve své studii Slížková [Slížková, 2015].
- ⁴ V rámci testování byl také zkoušen vyšší počet aplikací, avšak po více než dvou aplikačních cyklech se výrazně redukuje penetrační schopnost a mění se optické vlastnosti povrchu.
- ⁵ Výsledky, získané jako průměr z celkem šesti měření byly, vyjádřeny jako rozdíly veličin daných standardní notací CIE L*a*b* (kde L* světlost, a* změna barvy, a* červená-zelená, b* žlutozelená) před a po konsolidaci.
- ⁶ Vzorky dutých válců byly zatěžovány 10 kN při kompresních testech a hranoly při tahových zkouškách zatěžovacím článkem 0,4 kN. Maximální zatížení 100 kN, rychlost křížové hlavy 0,63 mm × min⁻¹.
- ⁷ Měření rychlosti UZ transmise je založeno na měření průchodu

UZ vlny (longitudální vlny), jež se zpevněním zvyšuje. Na základě změny signálu lze stanovit rozdíl ultrazvukové transmise v materiálu před a po aplikaci konsolidačního prostředku. Měření probíhalo v souladu s ČSN EN ISO 16823: 2014 při měřicí frekvenci 250 kHz, s měřicími sondami UPG 250 kHz, UPE.

⁸ Zkouška se provádí pod úhlem 45° a pod konstantní silou 7,5 N dle postupu, který uvádí standard ASTM D3363. Hodnocení tvrdosti materiálu bylo vyhodnoceno jako průměr tří měření.

⁹ Nejedná se u části prostředků o efekt rozpouštědla, který byl studován slepým pokusem na stejných vzorcích pouze s čistými rozpouštědly – vodou, ethanolem a toluenem. Voda a toluen fluorescenci vzorků pouze zesvětlují, neovlivňují však fluorescenční efekt (barevný projev). Diskutabilní je pouze účinek ethanolu, který se sám projevuje vznikem ve fluorescenci sv. žluté linie na čele průniku vzorkem, kterou nelze odlišit od efektu konsolidačních látek. Efekt rozpouštědla na sádrovou matici nelze prozatím vysvětlit.

LITERATURA

- BEALE, A. – Craine, C. – Forsythe, C.: The Conservation of plaster Casts. *Preprints of papers presented at the fifth annual meeting of the AIC, Boston, Mass., 30 May - 2 June 1977*. Washington: American Institute for Conservation, 1977, s. 18–26.
- BARTHE, G – COLLOT, C.: Traitement du relief en plâtre du musée d'Orsay, les Fugitifs de Daumier. *Le plâtre: l'art et la matière*. 1. vyd. Paris: Créaphis, 2001. ISBN 2913610196. s. 310–321.
- NICOLAS, M.: *L'Ebauche Bacchante d'Emile Antoine Bourdelle (Paris, Musée Bourdelle): étude et conservation restauration d'une sculpture en plâtre brûlée, recherche sur la consolidation du plâtre*. 2001. Diplomová práce na Ecole nationale du patrimoine – IFROA, Paris.
- NIEDOBA, K. – SLÍŽKOVÁ, Z. – FRANKEOVÁ, D. – Nunes, C. L., – Jan-dejsek, I.: (2017). Modifying the consolidation depth of nanolime on Maastricht limestone. *Construction and Building Materials* 133, 2017, s. 51–56.
- NIKITIN, M. K. – MEL'NIKOVA, J. P.: *Chemie v konzervárenské a restaurátorské praxi*. Brno: Masarykova univerzita, 2003. ISBN 80-210-3062-3. s. 71.
- ŘIČÁNEK, M. Sádra a její vlastnosti. In: STOP: *Sádra v památkové péči: odborný seminář: 21. března 2002*, Národní muzeum, Praha: STOP, 2002, s. 11.
- SLÍŽKOVÁ, Z. – DRDÁČKÝ, M. – VIANI, A.: Consolidation of weak lime mortars by means of saturated solution of calcium hydroxide or barium hydroxide. *Journal of Cultural Heritage*, 2015, vol. 16(4), s. 452-460, ISSN 1296-2074.
- ŠEDÝ, V.: *Sochařské řemeslo: základ sochařského umění*. 1. vyd. Praha: SNKLHU, 1953. Technika a řemeslo.
- ŠKARVADA, J.: *Restaurování sádrových modelů soch pro průčelí muzea v Hradci Králové. Restaurování reliéfu sv. Jakuba na morovém sloupu v Kutné Hoře*. 2017. Bakalářská práce na fakultě restaurování Univerzity Pardubice.
- TIŠLOVÁ, R. – MACHAČKO, L.: Nové možnosti zpevňování omítek. *Sborník z konference Fórum pro konzervátory-restaurátory*, 2014, s. 28–34.
- TIŠLOVÁ, R. – SLÍŽKOVÁ, Z. – NOVOTNÁ, A. – FRANKEOVÁ, D. – KUNEŠ, P. – ĐOUBAL, J.: *Metodika pro určení mezí a intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah*. 2016. Certifikovaná metodika, vytvořeno v rámci projektu NAKI 'Podmínky a požadavky kompatibilní péče pro historické anorganické porézní materiály', id. Č. DF12P010VV018.
- ZÍTKOVÁ, P.: Možnosti konsolidace sádry a fixace barevných vrstev na sádrovém podkladu pro restaurování polychromované sádrové plastiky. *E-Monumentica [online]*. 2016(1), s. 64-74 [cit. 2019-02-08].