

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

**Kritické posouzení možností redukce obsahu sádrovce v degradovaných
povrchových vrstvách sochařských děl z pískovce kombinovanou
s pre-/konsolidací degradovaných vrstev**

Restaurování polychromované sochy mladého rybáře z Červených Janovic

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **BcA. Eliška Vítková**
Osobní číslo: **R23005**
Studijní program: **N0222A310001 Restaurování a konzervace děl hmotného kulturního dědictví**
Specializace: **Polychromovaná a nepolychromovaná sochařská díla**
Téma práce: **Kritické posouzení možností redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách sochařských děl z pískovce kombinovanou s pre-/konsolidací degradovaných vrstev. Restaurování polychromované sochy mladého rybáře z Červených Janovic.**
Zadávací katedra: **Ateliér restaurování kamene**

Zásady pro vypracování

Diplomová práce se bude zabývat zkoumáním a kritickým posouzením možností redukce obsahu dihydrátu síranu vápenatého (sádrovce) z křemičitých pískovců kombinovanou s jejich pre-/konsolidací. Součástí diplomové práce je také komplexní restaurování polychromované sochy rybáře z Červených Janovic.

Na základě výsledků literární rešerše dostupných zdrojů odborné literatury budou popsány zdroje, mechanismy kumulace a degradační vliv sádrovce na díla zhotovená z pískovce, dále pak metody redukce solí z porézních materiálů obecně i s důrazem na odstraňování síranu vápenatého. Dalším krokem bude i experimentální odzkoušení možnosti kombinace konsolidace a redukce obsahu sádrovce pomocí odsolování se zahrnutím konverze sádrovce na rozpustnější a lépe odstranitelný síran.

Experimentální část bude zahrnovat vytvoření sady vzorků imitující reálný fenomén tenké síranové endokrusty na povrchu degradovaného křemenného pískovce (množství sádrovce zde nahrazuje pojivovou složku plniva) a nesoudržné vrstvy pod ní. Na vytvořené sadě vzorků budou testovány různé postupy redukce síranu vápenatého v kombinaci s konsolidací degradovaných vrstev. Pro studium a objektivní hodnocení jednotlivých postupů bude využito několik instrumentálních analytických a diagnostických metod, především optická a skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou SEM-EDS, dále metoda odporového vrtání pro stanovení pevnostního profilu, doprovázena vizuálním posouzením výsledků jednotlivých postupů.

Součástí diplomové práce bude také komplexní restaurování polychromované kamenné sochy mladého rybáře z Červených Janovic. Restaurování bude předcházet restaurátorský, chemicko-technologický a umělecko-historický průzkum na jehož základě bude vypracovaná koncepce restaurátorského zásahu. Postupy a metody restaurování budou provedeny na základě zkoušek a vše bude dokumentováno podle standardů stanovených pro restaurátorské dokumentace.

Práce budou probíhat pod dohledem pedagogů restaurátorů a technologů. Postup prací bude průběžně konzultován s přidělenými konzultanty a vedoucím práce.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BAYER K., "Gypsum – an overlooked corrosive factor for some types of silicate sandstones in Bohemia. A case study on the example of the stone adornment corrosion on the facing leaf of st. Peter and Paul's cathedral in Brno"; p.97-108; European Research on Cultural Heritage, State of the Art Studies, Proceedings of the ARCCHHIP Workshops supported from EC 5th FP Projects No. ICA1-CT-2000-70013; Prague 2006; ISBN 80-86246-28-0
- ŽOUBAL, Jakub. *Kamenné památky Kutné Hory: Restaurování a péče o sochařská díla*. Univerzita Pardubice, 2015.
- ŽOUBAL, Jakub. *Úvod do restaurování kamenných památek*. Vydání: 1. [Litomyšl]: Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2023. ISBN 978-80-7560-475-0.
- GLÁSER, P.; NEJEDLÝ, V. Organokřemičitany v české památkové praxi. *Padesát let používání organokřemičitanů na území České republiky*, 2008.
- HENRY, Alison (ed.). *Stone conservation: principles and practice*. Routledge, 2015.
- KOTLÍK, P. a kolektiv. *Stavební materiály historických objektů*. Praha, 1999.
- KOTLÍK, Petr. *Konsolidanty kamene – historie a současnost*. In: HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MAČAČKO, Luboš, eds. *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: sborník z konference*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 187. ISBN 978-80-7395-594-6.
- LUBELLI, Barbara, Ameya KAMAT a Wido QUIST, ed. *Proceedings of SWBSS 2021: Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures*. Delft (The Netherlands): TU Delft Open, 2021. ISBN 978-94-6366-439-4.
- PRICE C., Doehne E. *Stone conservation (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA)*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010.
- TORRACA, G. *Lectures on materials Science For Architectural Conservation*. GCI, Los Angeles, 2009.
- ZELINGE J. a kol. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Academia Praha, 1987.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Karol Bayer

Katedra chemické technologie FR

Datum zadání diplomové práce:

30. listopadu 2024

Termín odevzdání diplomové práce:

13. srpna 2025

L.S.

Mgr. BcA. Radomír Slovík
děkan

doc. Jakub Žoubal, Ph.D.
vedoucí ateliéru

Prohlašuji:

Práci s názvem Kritické posouzení možností redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách sochařských děl z pískovce kombinovanou s pre-/konsolidací degradovaných vrstev, restaurování polychromované sochy mladého rybáře z Červených Janovic jsem vypracoval/a samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil/a, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Litomyšli dne 13. 8. 2025

Eliška Vítková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Karolu Bayerovi za vedení, cenné rady a ochotu, kterou mi věnoval, při zpracování této práce. Děkuji také Zuzce Auské za neochvěnou podporu a neustále posouvání vpřed. Děkuji konzultantům za pomoc při zpracování odborných částí práce a v neposlední řadě bych chtěla poděkovat Kubovi Novému, rodině a přátelům za jejich trpělivost a podporu při psaní této práce.

Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou sádrovcových krust a endokrúst tvořených v povrchových vrstvách pískovcových děl v důsledku sulfatace a jejich akumulace v porézním systému. Sádrovec vytvářející poměrně kompaktní krustu s výrazně odlišnými vlastnostmi bývá jednou z hlavních příčin eroze a degradace původního povrchu pískovce. Paradoxně však zastává současně pojivovou složku povrchových vrstev nesoucí často poslední zbytky modelace. Proto je redukce sádrovce spojena s hrozbou rozpadu materiálu a jeho odsolení může být komplikované. Součástí zákroku by tudíž měla být prekonsolidace degradovaných míst pískovce. V rámci práce jsou experimentálně zkoušeny postupy redukce obsahu síranu vápenatého obklady s pre-/konsolidací a přeměnou sádrovce na rozpustnější formu pomocí reakčních činidel EDTA a uhličitanu amonného, přičemž je sledována účinnost jednotlivých postupů a dopad na soudržnost a homogenitu materiálu. Výsledky hodnocení zahrnují vizuální srovnávání, stanovení pevnostních profilů pomocí odporového vrtání a obsahu síranů v obkladech i mikroanalýzy vzorků pomocí skenovací optické mikroskopie s prvkovou analýzou SEM-EDX, slouží k porovnání možností i případných rizik redukce síranu vápenatého v povrchových vrstvách kombinované s konsolidací pomocí organokřemičitých zpevňovacích prostředků. Práce přispívá k lepšímu porozumění mechanismů degradace způsobené sádrovcem a posouzení možností redukce sádrovce s minimalizací ztrát povrchu pískovce.

Součástí práce je i komplexní restaurátorský zásah na polychromované pískovcové soše mladého rybáře z obce Červené Janovice. V dokumentaci je uveden detailní umělecko-historický průzkum, v rámci kterého bylo zjištěno několik informací o soše a jejím vzniku (např. byl zjištěn autor Adolf Štícha ze Zbraslavi). V chemicko-technologickém průzkumu díla bylo identifikováno a popsáno několik vrstev polychromie, její degradace a mechanická poškození. Restaurátorský zásah obsahoval mimo jiné i čištění, fixaci polychromie a snímání mladších vrstev polychromie, doplnění chybějících částí a nápodobivou barevnou retuš.

Klíčová slova: odsolování, redukce obsahu solí, sádrovec, dihydrát síranu vápenatého, konsolidace, organokřemičitany, síranová krusta, endokrusta, sírany, vodorozpustné soli, restaurování, konzervování, polychromie, kámen, pískovec, socha

Title

Critical evaluation of the possibilities of reducing the gypsum content in degraded surface layers of stone sculptures, combined with the pre-/consolidation of the degraded layers. Restoration of a polychrome statue of a young fisherman from Červené Janovice.

Annotation

This thesis addresses the issue of gypsum crusts and endocrusts that form in the surface layers of sandstone formations due to sulfation and the accumulation of these crusts within porous systems. Gypsum forms a relatively compact crust with significantly different properties and is one of the leading causes of erosion and degradation of the original sandstone surface. However, it also paradoxically represents a binding component of surface layers, often carrying the last remnants of modelling. Therefore, reducing gypsum is connected with the threat of material disintegration, and desalinating it can be complicated. The intervention should consequently include the pre-consolidation of degraded sandstone areas. As part of the work, procedures for reducing the calcium sulphate content are being tested experimentally with pre- and post-consolidation, and the conversion of gypsum into a more soluble form is being attempted using EDTA and ammonium carbonate reagents. The effectiveness of the individual procedures and their impact on the cohesion and homogeneity of the material are being monitored. The evaluation includes a visual comparison and the determination of resistance profiles using resistance drilling and the measurement of the sulfate content of the cladding. Microanalysis of samples is performed using scanning optical microscopy and SEM-EDX elemental analysis. The results compare the possibilities and potential risks of reducing the calcium sulfate content in the surface layers when combined with consolidation using organosilicate consolidants. This work improves our understanding of the degradation mechanisms caused by gypsum and assesses the potential for gypsum reduction while minimising sandstone surface loss.

The work also involves the comprehensive restoration of a polychrome sandstone statue of a young fisherman from the village of Červené Janovice. A detailed art-historical survey of the statue and its origin was conducted, revealing several pieces of information (e.g. the author was identified as Adolf Štícha from Zbraslavice). A chemical and technological survey of the statue identified and described the various layers of polychromy and the degradation and mechanical damage present. The restoration work included cleaning the statue, fixing the polychromy, removing newer layers of polychromy, filling in missing parts, and carrying out imitative colour retouching.

Keywords: desalination, salt reduction, gypsum, calcium sulfate dihydrate, consolidation, organosilicates, sulfate crust, endocrust, sulfates, water-soluble salts, restoration, conservation, polychromy, stone, sandstone, sculpture

Obsah

1	Úvod	13
2	Kritické posouzení možností redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách sochařských děl z pískovce kombinované s pre-/konsolidací degradovaných vrstev	14
2.1	Úvod do problematiky	14
2.2	Vodorozpustné soli v kamenných památkách – všeobecné vlastnosti ve vztahu k degradaci v pískovcích	14
2.2.1	Zdroje a působení vodorozpustných solí v porézních materiálech	15
2.2.2	Krystalizace a hydratace solí	16
2.2.3	Hygroskopicitata solí	16
2.2.4	Vliv teploty a vlhkosti na krystalizaci a rozpustnost	17
2.3	Dihydrát síranu vápenatého - sádrovec	17
2.3.1	Sádrovec jako stavební materiál - sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)	17
2.3.2	Rozpustnost a hygroskopicitata sádrovce	18
2.3.3	Sulfatace a kumulace sádrovce v pískovcových materiálech	19
2.3.4	Degradační mechanismy vyvolané sádrovcem v pískovcových materiálech	20
2.3.5	Dekoratívni váza z ohradní zdi na Zámku v Litomyšli – příklad sádrovcové endokrusty 21	
2.4	Možnosti snížení degradačních účinků sádrovce	24
2.5	Konsolidace organokřemičitany	27
2.6	Zkoušky odsolování v kombinaci s konsolidací v rámci restaurování dekorativní vázy ze zámku v Litomyšli	27
2.7	Experimentální zkoušky odsolování v kombinaci s pre-/konsolidací	28
2.7.1	Příprava vzorků	29
2.7.2	Použité materiály	32
2.7.3	Postup a průběh experimentu – odsolování a konsolidace	32
2.7.4	Metody a analýzy	33
2.7.5	Výsledky	35
2.7.6	Shrnutí a vyhodnocení výsledků	36
2.8	Závěr experimentu	37

3	Restaurování polychromované sochy mladého rybáře z Červených Janovic	39
3.1	Základní informace	39
3.2	Popis díla.....	40
3.3	Současný stav díla.....	40
3.3.1	Tabulka poškození	41
3.4	Restaurátorský průzkum	42
3.4.1	Umělecko-historický průzkum	42
3.4.2	Chemicko-technologický průzkum.....	45
3.4.3	Průzkum povrchových vrstev	46
3.4.4	Zkoušky materiálů a technologií	49
3.5	Vyhodnocení průzkumu	51
3.6	Koncepce restaurování.....	51
3.7	Restaurování	51
3.7.1	Postup prací	51
3.7.2	Použité materiály a technologie.....	52
3.7.3	Nová zjištění	53
3.8	Doporučený režim památky	53
3.9	Grafická zákresy	54
3.10	Fotografická dokumentace	56
4	Závěr.....	86
5	Použitá literatura a prameny	88
6	Seznam použitých zkratk	91
7	Seznam obrázků.....	92
8	Přílohy	95
8.1	Přílohy k možnostem redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách kombinovanou s pre-/konsolidací	95
8.1.1	Tabulka solí s hodnotami rovnovážné vlhkosti.....	95
8.1.2	Tabulka s popisem vzorků	95
8.1.3	Tabulka s grafy odporového vrtání	97

8.1.4	Průzkum mikrostruktury a výsledky analýz SEM-BSE	102
8.1.5	Tabulky koncentrace síranů ve výluzích z obkladů	108
8.1.6	Fotografická dokumentace	111
8.2	Příloha k restaurování mladého rybáře	113
8.2.1	Sken stránky z obecní knihy	113
8.2.2	Chemickotechnologický průzkum	114

1 Úvod

Diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části. První část se zabývá posouzením možností redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách pískovcových sochařských děl v kombinaci s pre-/konsolidací degradovaných vrstev. Součástí jsou experimentální zkoušky, při kterých jsou testovány různé postupy stanovené na základě rešerše odborné literatury, zkušeností a konzultace s technologií.

Druhá část se zabývá komplexním restaurováním polychromované pískovcové sošky mladého rybáře. Součástí restaurování je podrobný restaurátorský průzkum díla obsahující především průzkum povrchových vrstev, který je důležitou součástí restaurování polychromovaných děl. Na jeho základě se určuje míra odkryvu barevných vrstev a celková koncepce restaurování, proto je nezbytné věnovat tomuto kroku zvláštní pozornost. Toto restaurování bylo vedeno pod dohledem asistentky ARK a restaurátorky Zuzany Auské. Odborným konzultantem v oblasti umělecko-historického průzkumu byla Petra Hečková z Katedry humanitních věd FR UPCE, a chemickotechnologický průzkum k tomuto restaurování vypracovala Petra Lesniaková z Katedry chemické technologie FR UPCE.

2 Kritické posouzení možností redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách sochařských děl z pískovce kombinované s pre-/konsolidací degradovaných vrstev

2.1 Úvod do problematiky

Degradace kamenných materiálů vlivem vodorozpustných solí představuje dlouhodobě sledovaný problém v oblasti památkové péče a restaurování. Jednou z poměrně častých, ale zároveň i přehlížených solí, které se v povrchových vrstvách porézních hornin kumulují, je síran vápenatý.

Síran vápenatý, obvykle ve formě sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), výrazně přispívá ke korozi povrchu kamene děl zhotovených nejen z vápence, ale i z jiných porézních hornin, včetně křemenných pískovců. Často dochází ke kumulaci sádrovce v dešťových stínech, tj. místech méně exponovaných dešťovým srážkám. V povrchových vrstvách materiálu pak může vytvářet kompaktní krustu nebo endokrustu s výrazně rozdílnými vlastnostmi od původní horniny. Tato skutečnost spolu s opakovanou krystalizací bývá častou příčinou eroze povrchu pískovců. Proto bývá redukce sádrovce důležitým krokem restaurování/konzervování, aby se omezil jeho negativní vliv v budoucnu.

Vedle výše zmíněných poškození způsobených kumulací sádrovce na povrchu porézních materiálů je sádrovec paradoxně často i pojivem degradovaného povrchu hornin. Čili na jedné straně sádrovec přispívá, nebo je jednou z hlavních příčin eroze povrchových vrstev, a na druhé straně je pojivem povrchu, v mnoha případech původního povrchu díla. Proto může jeho odstranění nebo redukce způsobit významné ztráty původního povrchu uměleckého nebo umělecko-řemeslného kamenného díla.

Sádrovec je ve vodě málo rozpustný, a proto je i jeho odstranění nebo snížení koncentrace odsolovacími technikami obvykle poměrně pomalý proces. Jak je uvedeno výše, hrozí při jeho redukci ztráta originálního materiálu, často nesoucí poslední zbytky původního povrchu díla. Jako možné řešení se nabízí konsolidace povrchu díla před zahájením procesu redukce obsahu sádrovce, tj. náhrada pojivové složky vhodným konsolidantem. Vzhledem ke kompaktnosti, malé pórovitosti a nízké nasákavosti sádrovcových krust může být však penetrace zpevňovacích prostředků do povrchu horniny poměrně obtížná. S popisovaným problémem se autorka diplomové práce setkala v rámci restaurování pískovcové dekorativní vázy ze zámecké ohradní zdi v Litomyšli. Na základě konzultací s dalšími akademickými pracovníky (restaurátory a technology) byly na daném objektu provedeny zkoušky prekonsolidace a následně redukce obsahu sádrovce. Tato zkušenost spolu s uvědoměním si komplexnosti tohoto problému vedli autorku k výběru zvoleného tématu diplomové práce.

2.2 Vodorozpustné soli v kamenných památkách – všeobecné vlastnosti ve vztahu k degradaci v pískovcích

Soli jsou anorganické sloučeniny s atomy vázanými iontovou vazbou. Skládají se z iontů se záporným a kladným nábojem, anion⁻ a kation⁺, které se ve sloučenině vyrovnávají. V porézních materiálech (zdivo, malty, kámen, štuk) se nejčastěji vyskytují sole s kationy vápníku (Ca^{2+}), sodíku (Na^+), draslíku

(K⁺), hořčíku (Mg²⁺) a aniony síranu (SO₄⁻), chloridu (Cl⁻), uhličitanu (CO₃⁻) a dusičnanu (NO₃⁻). Značná část anorganických solí je rozpustná ve vodě a po rozpuštění může docházet i k jejich disociaci na ionty. Tyto ionty mohou vytvářet v materiálech nejen jednoduché roztoky solí jednoho typu kationu a anionu, ale i jejich směsi. Při odpařování vody, nárůstu koncentrace rozpuštěných iontů a následné krystalizaci může docházet ke vzniku různých druhů solí s rozdílnými vlastnostmi (např. rozpustností a hygroskopicitou) a tím i s odlišnou degradační mírou v důsledku vzniku krystalizačních nebo hydratačních tlaků.¹ Mezi důležité vlastnosti solí a solných roztoků ovlivňující rozsah a míru degradace patří zejména rozpustnost, hygroskopicitu a krystalizační nebo hydratační tlak. Jejich přítomnost je takřka vždy záležitostí sekundárního zanesení či přeměny, např. sulfatizace, určitého použitého materiálu.

2.2.1 Zdroje a působení vodorozpustných solí v porézních materiálech

Přítomnost solí je úzce spojená s vodou, díky které jsou schopny migrovat do materiálu. Druh a množství solí je spojeno s prostředím ve kterém se památka nachází nebo nacházela. Zasolení může být také způsobeno druhotně použitými materiály při opravě nebo restaurování.

Chloridy se nejčastěji vyskytují v objektech umístěných blízko dopravní komunikace, zdrojem je posypová sůl používaná pro údržbu cest i chodníků v zimním období. V přímořských oblastech může být zdrojem mořská voda nebo písek.² Zdrojem dusičnanů bývá velmi často rozklad biologického materiálu a průmyslových hnojiv. Často se tedy vyskytují v blízkosti odpadů nebo budov sloužících jako stáje. Dusičnany a sírany často vznikají jako důsledek reakce složek hornin nebo jiných materiálů s polutanty oxidu dusíku a oxidu síry.³ Tyto oxidy dále reagují s primárními či sekundárními materiály v kameni za vzniku solí (více o reakci oxidů síry v kapitole 2.3.3 Sulfatace a kumulace sádrovce v pískovcových materiálech).

Soli v materiálu způsobují různé stupně degradace závislé na vlastnosti solí a materiálu a vlivu prostředí. Nejběžnějším jevem degradace bývá dezintegrace materiálu – pískovatění, drolení, nebo odlupování tenkých vrstev pískovce. Dalším jevem bývá tvorba krust povrchových anebo endokrust – krusta tvořená povrchovou vrstvou materiálu s póry částečně nebo plně vyplněnými krystaly solí.

¹SCHWARZ, Hans-Jürgen. *Salts and Salt Mixtures*. Online. SaltWiki. Dostupné z: https://www.saltwiki.net/index.php/Salts/Salt_Mixtures. [cit. 2025-05-19]. V dokončení diplomové práce jsou stránky aktuálně nedostupné. a SLÍŽKOVÁ, Zuzana. Zdroje solí, jejich transport a působení ve zdivu. In: *Odsolování zdiva památkových objektů*. Praha: STOP Společnost pro technologie ochrany památek, 2019. ISSN 1212-4168.

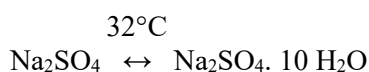
² SLÍŽKOVÁ, 2019

³ Ibidem a KOTLÍK, Petr. Vliv vodorozpustných solí. Online. In: *Stavební materiály historických objektů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999, s. 63-65. ISBN 80-7080-347-9. Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/>. [cit. 2025-07-30].

2.2.2 Krystalizace a hydratace solí

Při odpařování vody se obsah rozpuštěných solí v roztoku zvyšuje až dojde k nasycení a následně k přesycení a krystalizaci. Roztoky solí obsažené v horninách mohou krystalizovat jak na povrchu materiálu (eflorescence) tak v pórech materiálu (subflorescence), tyto krystaly vyplňují, ucpávají a tlačí na stěny pórů. Tento jev tzv. krystalizační tlak může způsobit dezintegraci materiálu, dále také může dojít k ucpání pórů v povrchové vrstvě a vytvoření tenké vrstvy materiálu s odlišnými vlastnosti oproti nepoškozenému materiálu.

Dalším jevem, který způsobuje růst objemu krystalů, je hydratace solí. Při tomto procesu některé soli vážou molekuly vody do své krystalové struktury za vzniku hydrátů, které zvětšují objem krystalu. Například síran sodný je schopný navázat do své struktury 10 molekul vody za vzniku dekahydrátu síranu sodného s mnohonásobně větším objemem krystalu:⁴



Hydratovat mohou pouze určité soli za určitých podmínek a dalo by se říct, že k hydrataci dochází méně často než ke krystalizaci, avšak je to neméně závažný problém, s kterým se často setkáváme.

2.2.3 Hygroscopicita solí

Hygroscopicita je schopnost materiálů vázat na svém povrchu molekuly vody z okolního vzduchu ve formě kapaliny. Na rozdíl od hydratace, kdy se molekula vody stává součástí krystalové struktury, dochází u hygroscopicity k vázání vody pomocí fyzikálních sil (např. vodíkových můstků, van der Waalových sil) na povrch krystalu. Soli, které mají vyšší schopnost vázání molekul vykazují vyšší hygroscopicitu než soli s nižší schopností, které naopak považujeme za málo hygroscopické. Za určitých podmínek dochází k rovnováze mezi množstvím molekul vody adsorbovaných na povrchu a množstvím, které se z něj uvolňuje. Tento stav označujeme jako rovnovážná vlhkost – materiál v tomto stavu teoreticky vodu nepřijímá ani neuvolňuje vodu do okolí. Materiál v tomto stavu zůstává z hlediska vlhkosti nezměněný. Pokud se však relativní vlhkost okolního vzduchu zvýší a překročí tuto rovnovážnou vlhkost, dochází k zvýšení navázaných molekul vody na povrchu materiálu. Tím se zvyšuje jeho vlhkost a hygroscopické soli se začínají rozpouštět (rovnovážná relativní vlhkost vybraných solí je uvedena v příloze 8.1.1 Tabulka solí s hodnotami rovnovážné vlhkosti).

Hygroscopické soli mohou zvyšovat vlhkost porézních materiálů. V podmínkách s vysokou relevantní vzdušnou vlhkostí navazují hygroscopické sole vodu a rozpustí se, přičemž solný roztok migruje

⁴ BAYER, Karol, *Water-soluble salts and their impact on Cultural Heritage objects*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE v Litomyšli 4. prosince 2020

v porézním systému a vytváří vlhké mapy, na jejichž rozhraní nebo při změně klimatických podmínek mohou soli krystalizovat.

2.2.4 Vliv teploty a vlhkosti na krystalizaci a rozpustnost

Krystalizace i hydratace solí úzce souvisejí s relativní vlhkostí vzduchu a teplotou okolí. K cyklům krystalizace a rozpouštění solí nedochází pouze při přímém kontaktu s vodou, ale i v důsledku změn relativní vlhkosti vzduchu. Díky své hygroskopicitě soli výrazně reagují i na drobné změny klimatických podmínek, které se vyskytují mnohem častěji než přímý kontakt s kapalnou vodou. Při zvýšené vlhkosti se na povrchu solí adsorbují větší množství molekul vody, čímž dochází k jejich rozpouštění. Rozpustnost solí je zároveň ovlivněna teplotou – s jejím vzestupem se obvykle rozpustnost zvyšuje, zatímco při nižších teplotách klesá. V zimních měsících dochází často nejen k poklesu teploty, ale i k poklesu relativní vlhkosti, což podporuje krystalizaci solí. Kolísají-li teplota a vlhkost okolo hodnot rovnovážné vlhkosti solí, může docházet k opakovanému rozpouštění a následné krystalizaci, což představuje závažný degradační mechanismus pro porézní materiály, jako je např. pískovec.

2.3 Dihydrát síranu vápenatého - sádrovec

Sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se běžně vyskytuje v přírodě v různých krystalických formách. Jeho barva může být bílo-žlutá až hnědá, někdy i narůžovělá, přičemž v tenkých vrstvách je průsvitný.⁵ Mezi známé formy vyskytující se v přírodě patří selenit, mariánské sklo a alabastr. Sádrovec vzniká vysrážením z mořské nebo jezerní vody, přičemž na takovýchto ložiscích jsou vrstvy dihydrátu ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) střídané s anhydridovou (CaSO_4) formou síranu vápenatého, způsobenou kolísáním teploty při sedimentaci.⁶ Krystaly sádrovce jsou monoklinické s protáhlým tabulkovitým tvarem různých tlouštěk nebo mají hranolovitou až jehlicovitou formu, mnohdy vytvářející růžicovité shluky. Tento popis odpovídá především krystalům pozorovaným při růstu sádrovcových výkvětů. Bassanit (hemihydrát síranu vápenatého, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) vytváří mikroskopické jehličky a anhydridové krystaly jsou ortorhombické, dipyramidální a obvykle masivní.⁷

2.3.1 Sádrovec jako stavební materiál - sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)

Průmyslová fáze sádrovce vzniká opětovnou hydratací sádry, která se běžně používá při odlévání a ve stavebnictví a je známá jako pařížská sádra. Běžně dostupná sádra je z větší části tvořena hemihydrátem síranu vápenatého ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, částečně hydratovaná forma), což je bílý krystalický prášek vznikající pálením přírodního sádrovce při teplotách okolo 130°C. Při vyšších teplotách nad 150 °C se tvoří anhydridové formy, označované A III (rozpustný), A II (nerozpustný) a A I, jejichž některé formy

⁵ Kotlík, 1999, s. 17

⁶ MATYÁŠEK, Jiří a SUK, Miloš. *Sádrovec*. Online. Přehled minerálů a hornin E-learning Katedry biologie PdF MU. 2007. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pdf/js10/minerals/web/index.html> [cit. 2025-07-31].

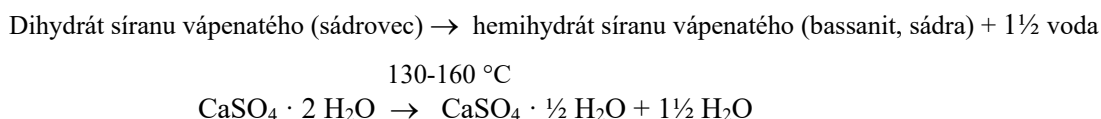
⁷ CHARLOTA, A. Elena; PHÜRINGER, Josef a STEIGER, Michael. Gypsum: a review of its role in the deterioration of building materials. Online. *Environmental Geology*. 2007, vol. 52, s. 339-352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0566-9>. [cit. 2025-07-31].

se také používají ve stavebnictví. Při teplotách vyšších nad 850 °C dochází k částečnému rozpadu síranu vápenatého za vzniku oxidu vápenatého (CaO).

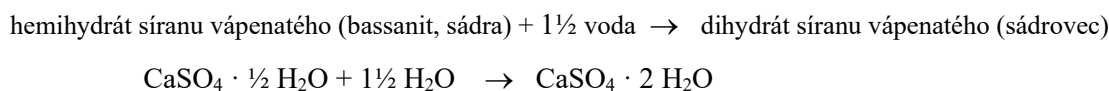
Z krystalografického hlediska je známo několik forem, jejichž vlastnosti jsou dány způsobem a stupněm pálení. U hemihydrátu a anhydridu III jsou známé α - a β - formy, které jsou z krystalografického složení stejné, liší se pouze velikostí krystalů. Tento rozdíl však výrazně ovlivňuje rychlost tuhnutí a výslednou pevnost.

Sádry se řadí mezi vzdušná pojiva, která, jak již bylo zmíněno, vznikají dehydratací přírodního sádrovce. Takto vzniklý hemihydrát se běžně označuje jako pařížská či štukatérská sádra. Při jeho zpracování dochází k hydrataci, při níž hemihydrát opět přechází na dihydrát (sádrovec).⁸ Popsaný cyklus hydratace je základem tuhnutí sádry.

Pálení sádrovce, dehydratace (vznik sádry):



Hydratace sádry (tuhnutí sádry):



Dihydrát síranu vápenatého se kromě sádrových omítek a malt, které se v minulosti využívaly ve stavební a štukatérské praxi, může také sekundárně vyskytovat i ve vápenných materiálech, kde vzniká sulfataci uhličitanu vápenatého. Popřípadě se může vyskytnout i v pískovcových materiálech, kam se dostává druhotně použitými vápennými materiály (více viz kapitola 2.3.3. Sulfatace a kumulace sádrovce v pískovcových materiálech)

2.3.2 Rozpustnost a hygroskopicitá sádrovce

Sádrovec je ve vodě velmi málo rozpustný, takřka nerozpustný, jeho rovnovážná vlhkost při teplotě 20°C je 0,26 g/100 g roztoku. Jeho schopnost vázat vodu ze vzduchu (hygroskopicitá) je zanedbatelná, jeho rovnovážná vlhkost je >99,9 % při 25°C. Podobné hodnoty platí i pro další formy CaSO₄ (anhydrit a bassanit). Rozpustnost sádrovce je však zásadně ovlivněna je-li v kameni přítomná další sůl. Obecně platí že pokud soli nemají stejné ionty, rozpustnost se zvyšuje (např. s NaCl, NaNO₃, KNO₃, a Mg(NO₃)₂), přičemž rozpustnost bude vyšší pro méně rozpustnou sůl, v tomto případě sádrovec. Rozpustnost se naopak snižuje mají-li soli stejný ion, rozpustnost se v tomto případě snižuje pro obě soli.⁹

⁸ Kotlík, 1999, s. 20-23. a BAYER, Karol, *Malty a minerální pojiva*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE v Litomyšli 5. listopadu 2020.

⁹ CHARLOTA et al. 2007, s 339-352.

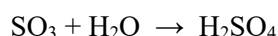
2.3.3 Sulfatace a kumulace sádrovce v pískovcových materiálech

Sádrovec se v pískovcových (křemičitých) materiálech vyskytuje sekundárně. Většinou se do pískovců dostává z nevhodně použitých vápenných materiálů při opravě, obnově, restaurování, ale i při primárním použití různých materiálů např. sádrových a vápenných malt. Kupříkladu v Kutné Hoře byly v 19. století při opravách chrámu sv. Barbory provedeny rozsáhlé výměny vápencového kamene (kutnohorský vápenec) za hořický pískovec, a to i v opěrných obloucích, tato výměna však přinesla značné technologické problémy, když se z vápencových bloků začal vyplavovat sádrovec do křemičitého pískovce, kde způsobil značnou degradaci.¹⁰ Problému zanesení a vzniku sádrovce a s tím související degradaci pískovců se věnuje řada studií mimo jiné Bayer (2006)¹¹ nebo Charola et al. (2007). K popisu specifického poškození sádrovcem bude věnována pozornost v následujících kapitolách. Pro celkové porozumění procesu postupné tvorby a kumulace sádrovce ve struktuře pískovce je však nejprve potřeba popsat mechanismus sulfatace vápence – konkrétně uhličitanu vápenatého CaCO_3 .

K sulfataci dochází vlivem polutantů obsažených v atmosféře, konkrétně se jedná o oxidy síry, které se v současnosti dostávají do atmosféry hlavně z antropogenních zdrojů z průmyslové činnosti a spalováním fosilních paliv obsahujících sloučeniny síry. Tyto oxidy síry SO_x vytváří ve vlhkém prostředí aerosol kyseliny sírové H_2SO_4 , která je díky své hygroskopičnosti přítomna ve vzduchu v kapičkách slabých roztoků, jejichž koncentrace se mění se změnou vlhkosti ovzduší. Přítomnost oxidů síry a následných slabých aerosolových roztoků kyseliny v ovzduší zapříčiňuje velmi nízké pH srážkové vody, která bývala označována jako kyselý déšť.¹²

Zjednodušené schéma tvorby kyseliny sírové v ovzduší:

Oxid síry + voda → kyselina sírová



Roztok kyseliny sírové ve formě aerosolu se deponuje na povrchu materiálů s obsahem vápenných složek, kde může začít reagovat s uhličitánem vápenatým CaCO_3 . Po reakci vzniká rozpustná sůl – dihydrát síranu vápenatého neboli sádrovec. Pro lepší pochopení chemické reakce (sulfatace) je zde uvedeno zjednodušené schéma reakce:¹³

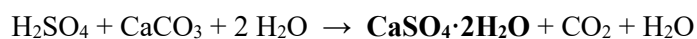
Kyselina sírová + uhličitán vápenatý + 2 voda → **dihydrát síranu vápenatého** + oxid uhličitý + voda

¹⁰ ĎOUBAL, Jakub. Postupy k obnově památek v druhé polovině 19. století. In: *Kamenné památky Kutné Hory: Restaurování a péče o sochařská díla*. 2015, s. 33-35. ISBN 978-80-7395-906-7.

¹¹ BAYER, Karol, Gypsum – an overlooked corrosive factor for some types of silicate sandstones in Bohemia. A case study on the example of the stone adornment corrosion on the facing leaf of st. Peter and Paul's cathedral in Brno. In: *European Research on Cultural Heritage, State of the Art Studies, Proceedings of the ARCCHHIP Workshops supported from EC 5th FP Projects No. ICA1-CT-2000-70013*. Prague 2006. s. 97-108; ISBN 80-86246-28-0

¹² Ďoubal, 2015, s. 48. a Kotlík 1999, s. 61-62.

¹³ Ibidem a SCHWARZ, Hans-Jürgen. *Gypsum*. Online. Saltwiki. Dostupné z: <https://www.saltwiki.net/index.php/Gypsum>. [cit. 2025-05-19]. V dokončení diplomové práce jsou stránky aktuálně nedostupné.



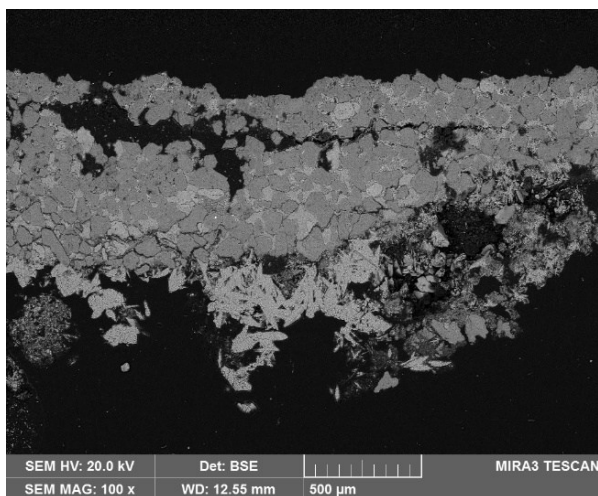
Vzniklá sůl se může ukládat v pórech blízko povrchu, které vyplňuje a vytváří tak tenkou endokrustu. Nebo se při omývání srážkovou vodou, vzniklá vodorozpustná sůl, vyplavuje do dešťových stínů, kde se ukládá společně s nečistotami a vytváří nepropustné černé krusty na povrchu materiálu.

2.3.4 Degradční mechanismy vyvolané sádrovcem v pískovcových materiálech

Sádrovec se v pískovcích kumuluje jinak, respektive pochází obvykle z jiných zdrojů než ve vápenných materiálech. Ve vápenných materiálech, jak už bylo zmíněno výše, vzniká přeměnou originálního materiálu, který se vyplavuje z exponovaného povrchu a ukládá se v dešťových stínech, kde vytváří tmavou nepropustnou krustu na povrchu materiálu, za níž hornina degraduje nejčastěji, tzv. pískovatí. Oproti tomu v pískovcových materiálech se sádrovec povětšinou ukládá do porézni struktury kamene.

Díky malé rozpustnosti a skoro žádné hygroskopicitě zůstává uložený v pevném stavu (krystalech) v povrchových vrstvách. Oproti více rozpustným a hygroskopickým solím, sádrovec nemá tendenci migrovat materiálem a hromadí se blízkosti místa, kde byl vytvořen.¹⁴ To potvrzuje i Bayer (2006) při stanovování obsahu solí u katedrály sv. Petra a Pavla v Brně. Kdy bylo zjištěno, že koncentrace sádrovice klesá se vzdáleností od zdroje, v tomto případě vápennými dekorativními sochami, a s hloubkou do materiálu, tj. u povrchu je koncentrace sádrovice vyšší.

Sádrovec, který se ukládá v pórovitém systému, postupně vytlačuje původní pojivo pískovce. tento jev popisuje Steiger (2003).¹⁵ Uvádí, že sádrovec tak postupně nahrazuje původní pojiva a zásadně tím mění původní strukturu. Vytvořené krystaly postupně vyplňují póry a dochází k jejich ucpávání. Vzniká endokrusta, která tvoří často jen velmi tenkou dvou milimetrovou tvrdou vrstvu. Za touto vrstvou může materiál ztrácet soudržnost a dochází k desintegraci ve formě pískovatění. Při tomto stavu hrozí odlupování povrchové vrstvy a nenavrtaná ztráta povrchové modelace.



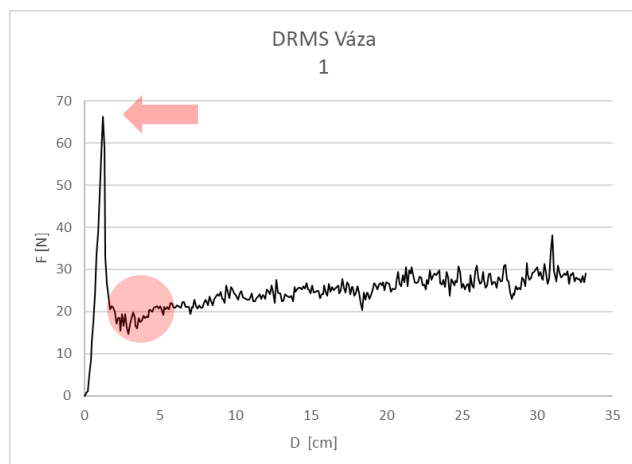
obrázek 1 snímek REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů, nábrus, spodní část s krystaly sádrovice – převzat z Materiálového průzkumu vzorků z dekorativní vázy s podstavcem z ohradní zdi zámku v Litomyšli provedeného na katedře chemické technologie v roce 2021

¹⁴ STEIGER, M. Salts and Crusts: Mobility and Hygrosopicity of Salts. In: BRIMBLECOMBE, Peter (ed.). *The Effects of Air Pollution on the Built Environment*. Imperial College Press, 2003, s. 153-153. ISBN 978-1-86094-291-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1142/p243>.

¹⁵ Ibidem

Mikroskopickou strukturu tohoto degradačního fenoménu vidíme na snímku z REM-BSE (obrázek 1), kde je zjevné ucpaní pórů a subflorescence sádrovce pod krustou. Takto uložený sádrovec vytváří nepropustnou endokrustu, která má jiné vlastnosti oproti originálnímu materiálu – ucpaní pórů způsobuje nepropustnost krusty a extrémní přezpevnění oproti originálnímu pískovci.

Nehomogenitu takto degradovaného povrchu můžeme vidět na křivce odporového vrtání, která byla zjišťována při restaurování dekorativní vázy ze zámku Litomyšl v roce 2022 (obrázek 2).¹⁶ Je zajímavé, že stejnou křivku vykazuje na váze i místo, kde zdánlivě nedocházelo k viditelné degradaci kamene,



obrázek 2 graf s výsledky z měření DRMS – krusta na povrchu pískovce, povrch je výrazně pevnější než hlubší vrstvy kamene (vyznačeno šipkou); za povrchovou krustou s tloušťkou 2-3 mm následuje degradovaná zóna pískovce s nižší pevností (vyznačeno kroužkem) – graf převzat z Materiálového průzkumu vzorků z dekorativní vázy s podstavcem z ohradní zdi zámku v Litomyšli provedeného na katedře chemické technologie FR UPCE v roce 2021

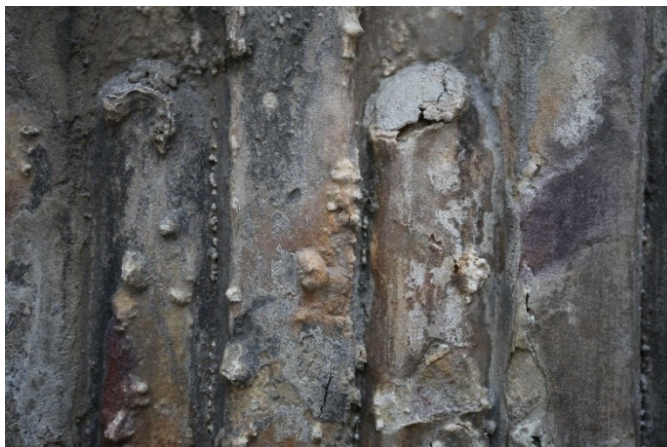
díky tomu bylo možno předpokládat, že sádrovec se vyskytoval po celém povrchu.¹⁷ Na stejném objektu bylo kromě odlupování povrchu pozorováno výrazné puchýřovatení způsobené pravděpodobně jinou tepelnou a vlhkostní roztažností krusty. Při kolísání teploty a vlhkosti se endokrusta pravděpodobně rozpíná více či méně oproti původnímu kamenu, důsledkem čehož je puchýřovatení a oddělování vrstvy.

2.3.5 Dekorativní váza z ohradní zdi na Zámku v Litomyšli – příklad sádrovcové endokrusty

Jak již bylo zmíněno, s problematikou sádrovcové krusty na pískovcovém materiálu se autorka setkala při restaurování dekorativního podstavce vázy ze zámku v Litomyšli. V rámci tohoto restaurování byl proveden podrobný chemicko-technologický i restaurátorský průzkum, v němž byl popsán degradační fenomén sádrovcové endokrusty. Pro doplnění diplomové práce příkladem z praxe, slouží tento případ sádrovcové endokrusty jako demonstrace diskutované problematiky, resp. stručná případová studie. Část výsledků analýz bylo uvedeno již v předchozí kapitole, zde se pokusíme popsat endokrustu v širších

¹⁶ VÍTKOVÁ, Eliška. *Restaurátorská dokumentace: Pískovcový podstavec vázy na ohradní zdi francouzské zahrady zámku Litomyšl*. Ročníková práce, vedoucí Petra Zítková. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE, 2022.

¹⁷ Při historickém průzkumu bylo zjištěno že povrch byl nejspíše zpevňován vápennou vodou a pravděpodobně i natírán vápenocementovým přetěrem.



obrázek 3 puchýřovatení povrchu pískovce vlivem sádrovcové endokrusty - podstavec dekorativní vázy ze zámku v Litomyšli

souvislostech – rozpoznání při restaurátorském průzkumu, výsledky chemicko-technologických analýz až k odůvodnění možného zanesení sádrovce díky historickému průzkumu. Budou popsány viditelné projevy a výsledky měření a zkoušek, které pomohly určit a rozpoznat degradaci způsobenou sádrovcem.

Při vizuálním průzkumu vázy byly na povrchu pozorovány puchýře, oddělující se endokrusty materiálu a tmavé povrchové krusty v dešťových stínech. Už tyto, na první pohled viditelné, degradační procesy napovídají, že se na povrchu ukládají soli či jiné materiály vytvářející tyto projevy. Dalším pro nás ověřujícím průzkumem, že se na povrchu vyskytují druhotné materiály/soli, je měření nasákavosti povrchu pomocí Karstenovy trubice. Byla měřena nasákavost na několika místech s vizuálně odlišným povrchem a byla porovnáována s nasákavostí naměřenou na lomovém povrchu na spáře mezi jednotlivými bloky díla¹⁸. Všechna měřená místa byla oproti lomovému velmi málo nasákavá nebo nenasákavá, což poukazuje na ucpání porézního systému pískovce. V rámci neinvazivních průzkumových metod byl proveden vizuální průzkum v UV světle, kdy krom dalších byla pozorována namodralá luminiscence, kterou můžou vykazovat krystaly solí – eflorescence.

Již v minulé kapitole bylo zmíněno, že v rámci tohoto průzkumu povrchové vrstvy kamene bylo rozhodnuto pro použití invazivní metody odporového vrtání, které bylo provedeno na dvou místech – na místě s viditelně tvořící se krustou a v místě se zdánlivě nenarušeným povrchem. Přičemž obě tato místa vykazovala podobnou pevnostní křivku (viz obrázek 2): extrémně pevný povrch do hloubky 2-3 mm, za nímž je malý pevnostní propad materiálu, a pak teprve nastává vcelku homogenní materiál pískovce.

Všechny výše zmíněné průzkumy ukazují na velmi pevnou povrchovou vrstvu s výrazně sníženou nasákavostí, krusta má specifické vlastnosti, odlišné od vlastností originální horniny, což vedlo ke zmíněnému puchýřovatení a oddělování krust. Pro identifikování solí byly odebrány vzorky vrtné moučky na třech místech ve třech hloubkách. U dvou vzorků odebraných u podstavce se v první vrstvě (0-1 cm do hloubky) vyskytovalo zvýšené množství síranů, v jednom případě extrémní množství 2,28 %Hm. SO_4^{2-} .¹⁹ Dále bylo na objektu odebráno několik vzorků pro analýzu materiálového složení,

¹⁸ Bylo předpokládáno že lomový povrch je dostatečně reprezentativní místo originálního kamene bez zanesení druhotných materiálů.

¹⁹ Podle rakouské normy onorm 3355-1 jsou opatření nutná už při obsahu 0.25% hm SO_4^{2-}

struktury a velikosti částic degradovaných povrchů. Nábrusy vzorků byly pozorovány v dopadajícím bílém a UV světle pod optickým mikroskopem a pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu s detektorem zpětně odražených elektronů REM-BSE. Takřka ve všech vzorcích byl identifikován dihydrát síranu vápenatého (sádrovec). Sádrovec téměř ve všech vzorcích vyplňuje póry pískovce, výjimkou je vzorek odebraný na vrchu vázy v místě s černým povlakem, který neobsahuje takřka žádný sádrovec, ten mohl být vyplavený srážkovou vodou, to je ale pouze spekulace. Na podstavci se však prokazatelně vyskytovaly síranové krusty tvořené sádrovcem vyplaveným a usazeným v dešťových stínech.

Výše popsané degradační procesy a výsledky analýz i dalších metod dokazují přítomnost sádrovce v pískovci, nevysvětlují však příčinu zanesení do křemičitého materiálu v takovém množství. Součástí průzkumu bylo i dohledání historických pramenů, které pomohly částečně objasnit historii a povahu předchozích oprav a restaurování. Znalost historických zásahů pomáhá komplexně porozumět problému degradace památky.

Byly dohledány dvě restaurátorské zprávy, které se věnují sledovanému objektu alespoň okrajově. Restaurátorská zpráva ze 70. let 20. století popisuje restaurování celého souboru sedmi soch a tří dekorativních váz, jehož součástí je i sledovaný objekt. Jednotlivé restaurátorské kroky jsou zde popsány obecně pro všechny objekty dohromady, jde však vyčíst, že dekorativní podstavec s vázou byly zpevňovány vápennou vodou. Také je zde zmíněno, že povrch už vykazuje poškození (odlupování) způsobené fluátý. Ve zprávě z let 1988-89 je váza restaurována současně s dvěma dalšími skulpturami. V tomto případě není přímo řečeno, jestli byly objekty zpevněny. Ve stejném dokumentu je však přiložen i rozpočet prací ve kterém je navrhováno zpevnění pískovce. V dokumentu je také rozpočet na navazující etapu restaurování soch z ohradní zdi, ve kterém je také navrhováno zpevnění pískovce. Je pravděpodobné, že povrch byl tedy opět zpevněn, ale není jasné jakým prostředkem. Ve výčtu použitých materiálů je uvedeno „vyleželé vápno“, což je jediný materiál z uvedených, který byl používán pro zpevňování, respektive byla používána vápenná voda.

Tento případ vcelku jasně ukazuje příčinu degradace. Sádrovec je do křemičitého pískovce nebo jiných čistě silikátových hornin druhotně zanesený. Použití vápenné vody ke zpevňování pískovce je pravděpodobně jedním z hlavních zdrojů sádrovce v pískovci a tím později i významnou příčinou masivních degradačních procesů spojených s nevratnou ztrátou originálního kamene. Přeměna (sulfatace) uhličitanu vápenatého (vápna) na sádrovec v pískovci lze považovat za jednu z hlavních příčin vzniku nepropustné endokrudy, za níž hornina pískovatí, popřípadě se může vymývat a ukládat v dešťových stínech podobně jako je tomu u vápenců (vápenných pískovců např. kutnohorský vápenec), kdy však sulfataci podléhá originální materiál na exponovaných místech. U vápencových materiálů dochází k postupnému „omývání“ povrchu a následnému ukládání povrchových krust v dešťových stínech.

2.4 Možnosti snížení degradačních účinků sádrovce

Existuje několik postupů omezení negativního působení vodorozpustných solí, mezi něž patří jejich stabilizace za kontrolovaných klimatických podmínek (konstantní teplota a relevantní vlhkost) pro snížení cyklické krystalizace a hydratace, chemická konverze na méně aktivní či nerozpustné formy nebo redukce jejich celkového obsahu – odsolování. Pojem odsolování bývá někdy chápán jako úplné odsolení solí, to však není vždy možné a ani žádané, vhodnějším výrazem je proto redukce obsahu solí. Slovo odsolování je však častěji používáno a oba pojmy mohou být chápány stejně a mohou se zaměňovat. V textu diplomové práce se tyto dva pojmy výrazně nerozlišují a oba jsou chápány stejně.

V restaurátorské praxi se využívají různé postupy. Ty je vždy potřeba vybrat na základě stavu zasoleného objektu. Opatření snižující kolísání teploty a relativní vzdušné vlhkosti (stabilizace klimatu) lze například provést pouze v interiérových podmínkách, odsolování ponorem zase nejde použít pro silně degradovaný materiál. Odsolovací postupy převážně fungují na dvou mechanismech transportu vodorozpustných solí – difúzi a kapilárním transportu vodorozpustných solí. Ponor objektu do demineralizované vody funguje na principu difúze, kdy se soli uložené v pórech rozpustí a migrují do okolní vody, po vyrovnání koncentrací se voda vymění. Další metodou je extrakce solí pomocí podtlaku, kdy se soli vyplavují z porézního systému pomocí vody, jejíž transport kapilárami je podpořen uměle vytvořeným podtlakem²⁰. Obě metody jde však použít pouze na mobilní a méně degradované objekty. Nejběžněji používaná metoda odsolování je za pomoci obkladů.

Redukce obsahu solí pomocí obkladů funguje na obou výše zmíněných mechanismech – difúzi i kapilárním transportu. Po nanesení mokrého obkladu nejprve probíhá rozpuštění solí a vyrovnávání jejich koncentrace v pískovci a obkladu. Kapilární transport roztoku solí do obkladu je podpořen vysycháním, kdy má kapalina tendenci migrovat do užších pórů a k vysušovanému povrchu. Namíchaná směs na obklad by tudíž měla mít vlastnosti podporující oba principy – schopnost udržet kapalnou vodu dostatečně dlouho a o trochu menší kapilární systém než odsolovaný materiál. Nejčastěji se na obklady používá směs praného písku, buničiny a kaolinu. Písek zaujímá místo plniva a tvoří základ směsi, do které je přidána buničina, která dobře udržuje vodu a spolu s kaolinem vytváří jemnou porézní strukturu. Existují i komerční odsolovací směsi fungující jako obětní omítky, například Kompresenputz od Remmers, které fungují na stejných principech, na objektech však působí několik měsíců.

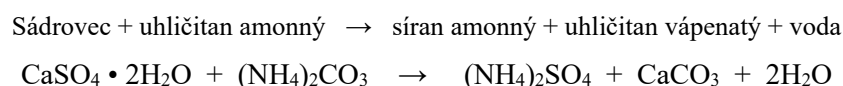
Stabilizace solí se používá převážně u nástěnných maleb, u kterých nelze pokaždé účinně odstranit primární příčinu tvorby nebo zanesení solí. Princip stabilizace funguje na přeměně soli na méně rozpustnou formu. V zahraničí se běžně aplikovala na nástěnné malby tzv. florentinská metoda, která

²⁰ BAYER, 2020. (Přednáška: Water-soluble salts and their impact on Cultural Heritage objects)

krom stabilizace síranových solí zároveň povrch zpevňuje.²¹ Metoda probíhá ve dvou etapách: nejprve je na povrch aplikován uhličitán amonný, a poté následuje aplikace hydroxidu barnatého.

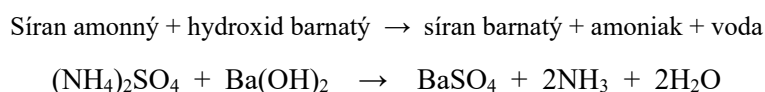
V prvním kroku se sádrovec přemění pomocí uhličitánu amonného $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ na rozpustnější síran amonný $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, který se částečně absorbuje do obkladu a částečně zůstává v podkladovém porézním materiálu. Vytváří se také uhličitán vápenatý, který ve vápenné omítce může tvořit dodatečnou pojivovou schopnost. Výhodou je, že uhličitán amonný $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ se postupně samovolně rozkládá na tekavé látky (amoniak, oxid uhličitý a vodu), tudíž nezanechává žádná rezidua přebytečného materiálu.

Přeměna sádrovce na rozpustnější formu:

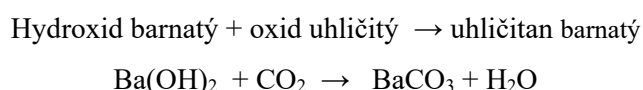


Druhým krokem je stabilizace a konsolidace hydroxidem barnatým $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Rozpustný síran amonný se po kontaktu s hydroxidem barnatým přemění na nerozpustný síran barnatý BaSO_4 . Vedlejšími produkty při reakci jsou voda a amoniak 2NH_3 , ty samovolně vytékají.²²

Stabilizace síranu amonného (konverze na nerozpustnou sůl):



Přebytečný hydroxid barnatý se přeměňuje s pomocí oxidu uhličitého ze vzduchu na uhličitán barnatý BaCO_3 , který má mít konsolidační účinek:



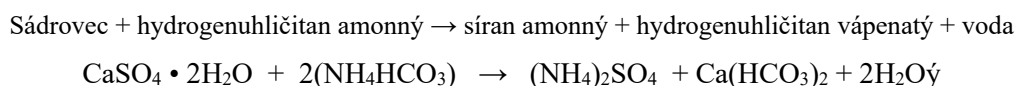
Tento chemický proces, reakce hydroxidu barnatého s oxidem uhličitým, případně s uhličitánovými aniony na povrchu, může být rizikový. Hydroxid barnatý může reagovat kromě oxidu uhličitého i se zbytkovým uhličitánem amonným, čímž vzniká tentýž produkt – uhličitán barnatý, který se často ukládá na povrchu a vytváří nerozpustné bílé povlaky. Tyto povlaky po vytvrnutí není možné takřka odstranit, prakticky jen mechanicky a s velkým rizikem ztráty tenké povrchové vrstvy. Při aplikování této metody

²¹ MATTEINI, Mauro. In Review: An Assessment of Florentine Methods of Wall Painting Conservation Based on the Use of Mineral Treatments. In: CATHER, Sharon (ed.). *The Conservation of Wall Paintings: proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, July 13-16, 1987*. London: Getty Conservation Institute, 1991, s. 137-148. ISBN 0-89236-162-X.

²² Ibdem a BAYER, Karol, *Přírodovědné principy metod čištění kamene, omítek, povrchu architektury a nástěnných maleb*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE, v Litomyšl, 26. 3. 2021.

je proto nezbytné dbát na správný pracovní postup, včetně důsledného očištění povrchu, aby se zamezilo vzniku nežádoucích bílých povlaků. Zároveň je nutné zdůraznit, že hydroxid barnatý je vysoce toxická látka a při veškeré manipulaci s jejími sloučeninami musí být dodržována pravidla ochrany zdraví.²³

První krok – přeměna sádrovce na rozpustnější formu, se využívá i při čištění síranových krust tvořených na povrchu památek. Aplikace uhličitanu amonného napomáhá k naměkčení a rozpuštění jinak tvrdé a nepropustné povrchové krusty. K čištění, resp. čištění/redukci, síranových krust se používá i hydrogenuhličitan amonný (NH_4HCO_3) nebo soli kyseliny ethylendiamintetraoctové známé jako EDTA, které patří do skupiny chelatačních činidel. Používají se převážně k čištění kovů a kovových skvrn, z praxe je však známo použití i na naměkčení a rozpuštění sádrovcových krust pro jejich snadnější odstranění.²⁴ EDTA, komerčně Chelaton III nebo Komplexon III, je disodná sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové, která je slabě rozpustná ve vodě a má kyselý charakter. Chelatace je fyzikálně-chemický proces založený na tvorbě cyklických koordinačních (komplexních) sloučenin – tzv. chelátů.²⁵ Hydrogenuhličitan amonný reaguje podobně jako uhličitan amonný za vzniku síranu amonného, vedlejším produktem je hydrogenuhličitan vápenatý, který se takřka okamžitě rozpadá na uhličitan vápenatý a oxid uhličitý:



Jak bylo zmíněno na začátku, úplné odsolení není vždy žádoucí nebo možné. U velkých objektů a omítek může odsolování způsobit migraci solí spojenou s tvorbou vlhkých map, které mohou výsledný stav ještě zhoršit. V případě sádrovcových endokrust může odsolování způsobit desintegraci povrchové vrstvy, která často nese poslední zbytky modelce. Z tohoto důvodu by měla být součástí zákroku i konsolidace povrchu, která by zajistila stabilitu povrchu a zamezila rozpadu. Kombinace odsolování a současné konsolidace však není běžně aplikovaným postupem i vzhledem k malé pórovitosti a nízké nasákavosti sádrovcových endokrust, které omezují možnost penetrace konsolidantu do pískovcové

²³ BAYER, 2021. (Přednáška: přírodovědné principy metod čištění kamene, omítek, povrchu architektury a nástěnných maleb)

²⁴TORRACA, Gioroio. *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Online. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2009. s. 19. ISBN 978-0-9827668-3-5. Dostupné z: http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/materials_science_architectural_conserv. [cit. 2025-08-01].

²⁵ ŠKRABALOVÁ, Adela, *Možnosti odstranění druhotných vápenných nátěrů z vápenných podkladů: čištění chelatačními činidly*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE. V Litomyšli 26. 2. 2025.

horniny. Proto je důležité prozkoumání možností postupů a kritické posouzení jejich účinnosti i možných rizik poškození.

2.5 Konsolidace organokřemičitany

Organokřemičité konsolidanty jsou v současné praxi běžně používány a jejich rozvoj v posledních desetiletích rapidně stoupl. Dříve používané organokřemičité prostředky byly dvousložkové s obsahem kyselého katalyzátoru a vody. V současné době používané organokřemičitany jsou jednosložkové rozpuštěné v organických látkách (např. alkoholech), produkt současně obsahuje i neutrální katalyzátor – nejčastěji organokovový katalyzátor s obsahem cínu, který lze přidávat bez obsahu vody. K uskutečnění reakce a tvorby gelu je zapotřebí voda, kterou jednosložkový konsolidant získává z okolního vzduchu nebo materiálu. Základní složkou jsou estery kyseliny křemičité (tetraalkoxysilany), používané v praxi ve formě oligomerů. Za vhodných podmínek (obsahu vhodného katalyzátoru a množství vody/vlhkosti) v důsledku hydrolyzy a kondenzace vytvářejí amorfní gel oxidu křemičitého SiO₂, který pak vytváří druhotné pojivo pískovce.²⁶

Aplikovaný konsolidant vytvoří v porézním systému novou pojivovou síť a při správné aplikaci dochází k minimálnímu ovlivnění nasákavosti kamene a jeho propustnosti pro vodní páru. Dalšími výhodami této skupiny konsolidantů jsou dobré penetrační schopnosti do hloubky pískovce a minimální vizuální změny po správném ošetření jako je barevnost a lesk. K nevýhodám v praxi slouží poměrně dlouhá doba zrání několika týdnů a s tím spojená hydrofobita povrchu, která se ale po vytvrnutí gelu ztrácí.

Na trhu je v současnosti nabízeno několik organokřemičitých konsolidantů kamene, které se liší svými vlastnostmi, zejména z hlediska množství výsledného gelu vyloučeného z rozpouštědla. Mezi tyto komerční prostředky patří např. systémová řada KSE od značky Remmers nebo Porosil od značky Aqua. Remmers KSE je dodáván v různých koncentracích – KSE 100, 300 a 500, kde číslo vyjadřuje přibližné množství vyloučeného gelu v poměru na 1 l kapalného konsolidantu (přibližně 10 %hm., 30 %hm. a 50 %hm.).²⁷ Výrobce uvádí u těchto konsolidantů dobu vytvrzení 28 dní, z praxe je prokázáno že doba vytvrnutí může být i delší – pět až šest týdnů nebo je minimálně po tuto dobu povrch hydrofobní.

2.6 Zkoušky odsolování v kombinaci s konsolidací v rámci restaurování dekorativní vazy ze zámku v Litomyšli²⁸

V rámci restaurátorského zásahu na dekorativní váze ze zámku v Litomyšli byly provedeny zkoušky odsolování, které zahrnovaly i prekonsolidaci povrchu. Byla vybrána dvě zkušební místa, na kterých byly testovány dva postupy navržené technologem. První postup spočíval v prekonsolidaci povrchu

²⁶ KOTLÍK, Petr. Konsolidanty kamene – historie a současnost. In: HEČKOVÁ, Petra; HORÁK, Petr a MACHAČKO, Luboš (ed.). *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 183-194. ISBN 978-80-7395-594-6.

²⁷ Webové stránky: *Remmers*. Online. Dostupné z: <https://www.remmers.cz/cs/ochrana-a-obnova-pama%CC%81tek/zpevneni%CC%81/kse-300/p/00000000000072005>. [cit. 2025-08-01].

²⁸ VÍTKOVÁ, 2022.

následovaném nanesením reakčního obkladu s hydrogenuhličitanem amonným a dvěma odsolovacími zábalami. Druhý postup byl téměř totožný, ale bez předchozí prekonsolidace.

Pro zkoušky byl vybrán organokřemičitý konsolidant KSE 100 a KSE 300 a jako reakční činidlo byl použit hydrogenuhličitan amonný. Zábalai byly tvořeny z buničiny. Zkoušky byly hodnoceny vizuálně, přičemž byla zkoušena soudržnost lehkým mechanickým oděrem povrchu. Obě místa zkoušek vykazovala podobnou soudržnost bez viditelných známek narušení povrchu. Stanovována byla také nasákavost povrchu, která byla vyšší než před zkouškami odsolováním.

Po zkouškách byla stanovována účinnost obkladů a následně byla vyhodnocována: obklady z místa A měly nižší účinnost než obklady z místa B. Přesto byly oba postupy považovány za funkční a po celkovém zhodnocení byl pro restaurátorský zásah vybrán postup s prekonsolidací přípravkem KSE 100. Tento postup byl vybrán zejména s přihlédnutím k rozsáhlým oblastem s dezintegrováním (zpískovatěným a odlupujícím se) povrchem.

Celý proces redukce sádrovce lze hodnotit jako úspěšný. Po ukončení restaurátorského zásahu byly odebrány kontrolní vzorky vrtné moučky a následně byl stanoven obsah vodorozpustných solí. Vzorek S4/1, odebraný v blízkosti původního místa odběru vzorku S2/1, neobsahoval po odsolování žádné sírany. Vzorek S5/1, odebraný poblíž vzorku S3/1, vykazoval stále zvýšený obsah síranů, nicméně oproti původní hodnotě 2,28 %hm došlo k výraznému snížení. Přesné hodnoty obsahu vodorozpustných solí jsou uvedeny v Tabulka 1 a Tabulka 2.

Přestože byl odsolovací zásah na dekorativní váze celkově úspěšný, experiment odsolování a prekonsolidace nebyl detailně zdokumentována a ani systematicky vyhodnocován. Vzhledem ke komplexnosti problematiky kumulace sádrovce v pískovcových skulpturách bylo konstatováno že by bylo vhodné věnovat se tomuto tématu podrobněji.

Vzorek	Výška / Hloubka [cm]	SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		Cl ⁻	
		X [%hm.]	C [mmol/k g]	X [%hm.]	C [mmol/k g]	X [%hm.]	C [mmol/k g]
S2/1	88 /0 - 1	0,21	22	<0,01	<2	<0,01	<2,5
S2/2	88 /1 - 3	<0,01	<1	<0,01	<2	<0,01	<2,5
S2/3	88 /3 - 5	<0,01	<1	<0,01	<2	<0,01	<2,5
S3/1	121 /0 - 1	2,28	237	<0,01	<2	<0,01	<2,5
S3/2	121 /1 - 3	<0,01	<1	<0,01	<2	<0,01	<2,5
S3/3	121 /3 - 5	<0,01	<1	<0,01	<2	<0,01	<2,5

Tabulka 1 obsah vodorozpustných solí ve vzorcích odebráných na dekorativní váze ze zahrad zámku Litomyšl, před odsolováním

Vzorek	Výška / Hloubka [cm]	SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		Cl ⁻	
		X [%hm.]	C [mmol/k g]	X [%hm.]	C [mmol/k g]	X [%hm.]	C [mmol/k g]
S4/1	88 /0 - 1	0,00	0	0,01	2	1	0,01
S4/2	88 /1 - 3	0,00	0	0,00	1	0	0,00
S4/3	88 /3 - 5	0,00	0	0,01	2	0	0,00
S5/1	121 /0 - 1	0,65	68	0,01	2	1	0,00
S5/2	121 /1 - 3	0,00	0	0,04	11	1	0,01
S5/3	121 /3 - 5	0,02	2	0,00	1	0	0,00

Tabulka 2 obsah vodorozpustných solí ve vzorcích odebráných na dekorativní váze ze zahrad zámku Litomyšl, po odsolováním

2.7 Experimentální zkoušky odsolování v kombinaci s pre-/konsolidací

Tato část diplomové práce se zabývá experimentálními postupy redukce sádrovce v porézním systému povrchu kamenosochařských děl a nahrazení pojivové složky sádrovce za kompatibilnější materiál.

Výsledky experimentu jsou kriticky posuzovány. V první řadě byla věnována pozornost přípravě vzorků s napodobující sádrovcovou endokrustou na povrchu degradovaného pískovce. Následovala příprava a výběr vhodných materiálů a postupů pro Pre-/konsolidaci a redukci obsahu síranu vápenatého. Byly vybrány reakční činidla pro přeměnu sádrovce na rozpustnější formu. Jednotlivé kroky a postupy experimentu byly průběžně konzultována s vedoucím práce.

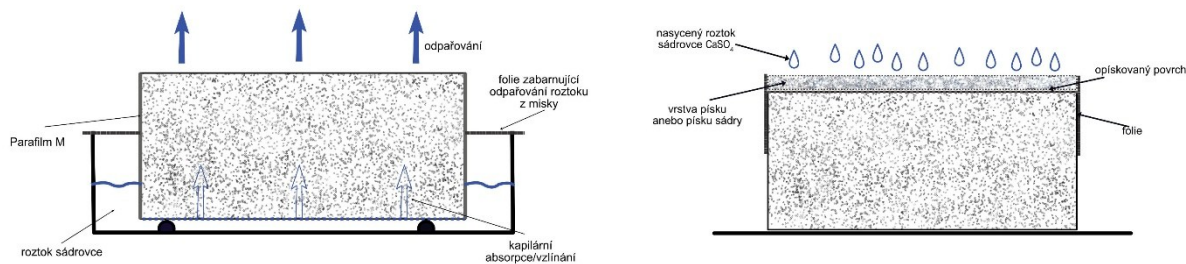
2.7.1 Příprava vzorků

Vzhledem k absenci vhodného objektu s „přírodně“ vzniklou sádrovcovou endokrustou bylo nejprve potřeba připravit laboratorní vzorky vhodné pro experiment. Při jejich přípravě bylo přihlíženo ke konkrétní endokrustě vzniklé na dekorativní váze ze zámku v Litomyšli popsané v předcházející kapitole 2.3.5. Ta posloužila jako vzorový příklad krusty s tvrdou nepropustnou vrstvou, pod níž je měkčí degradovaná vrstva, za níž je homogenní „zdravý“ kámen. Na základě literární rešerše a konzultací s technologem bylo odzkoušeno několik experimentálních postupů pro přípravu laboratorních vzorků s uměle vytvořenou sádrovcovou endokrustou. V průběhu zkoušek se však ukázalo, že vytvoření vhodných vzorků je poměrně komplikované. V následujícím textu jsou souhrnně popsány testované postupy přípravy vzorků simulující reálnou sádrovcovou endokrustu na degradovaném pískovci. Je vhodné také zmínit, že byla věnována i značná pozornost hledání přírodního kamene s přirozeně vytvořenou sádrovcovou endokrustou, na kterém by bylo možno provést experiment, avšak bez úspěchu.

Pro první pokusy byly použity kamenné vzorky o rozměrech 10x10x5 cm z křemičitého pískovce, které byly před aplikací zváženy a fotograficky zdokumentovány. Byly stanoveny dva, resp. tři experimentální postupy: (1) kontinuální kapilární absorpce nasyceného roztoku síranu vápenatého a (2) nanesení písku a směsi písku se sádrovcem na povrch vzorků a následné kropení nasyceným roztokem síranu vápenatého. Třetím zkoušeným způsobem bylo vytvoření tenké sádrovcové vrstvy na podkladu z dusaného, mírně zpevněného jemnozrnného křemenného písku nanesením směsi sádry (hemihydrátu síranu vápenatého), stejného písku s přísadkou vody, tj. sádrové malty.

První postup založený na kapilárním vztlínání spočívá v ponoření spodní části vzorku do nasyceného roztoku sádrovce, přičemž boční stěny vzorku byly utěsněné parafínovou folií Parafilm M a horní povrch zůstal volně otevřený. Díky tomuto způsobu dochází k vztlínání roztoku přes spodní povrch a jeho odparu pouze přes horní povrch vzorku. V důsledku toho sádrovec krystalizuje a kumuluje se v povrchové části vzorku a vytváří tak krustu. Roztok byl pravidelně doplňován vždy při poklesu hladiny roztoku zhruba o jednu třetinu, tak aby spodní hrana vzorku zůstávala vždy ponořená. Schéma kapilární absorpce nasyceného roztoku sádrovce je zobrazeno na obrázek 4. Tento experimentální postup částečně vychází z práce Nunes et al. (2021), kde autoři výzkumu porovnávali různé metody kontaminace kamene

solemi a zhodnocovali výslednou distribuci a degradaci použitých solí: chloridu sodného NaCl a síranu sodného Na₂SO₄.²⁹



obrázek 4 schéma kapilární kontinuální absorpce (1) a schéma uměle vytvoření krusty z písku/směsi písku a sádrovce kropeného nasyceným roztokem síranu vápenatého (2)

Druhý postup spočíval v nanesení vrstvy jemnozrného křemenného suchého písku, se zrnitostí blízké použitému křemennému pískovci, na horní povrch kamenného vzorku, následovaném pravidelným kropením nasyceným roztokem síranu vápenatého. Teoretickým předpokladem daného postupu bylo vytvoření sádrovcové endokrusty v tenké vrstvě písku v důsledku odpařování vody po opakované aplikaci nasyceného roztoku síranu vápenatého. Během odpařování vody z roztoku dojde ke vzniku krystalů sádrovce, které pojí jednotlivá zrna písku a vytvoří tak souvislou krustu. Před aplikací písku byl povrch mírně opískován s cílem zvýšit otevřenost pórovitého systému a podpořit tak mechanickou vazbu mezi podkladem a nově vytvářenou povrchovou vrstvou. Teto postup byl rozdělen na dva dílčí postupy: první postup (A) spočíval v nanesení čistého písku a druhý postup (B) se lišil tím, že bylo do písku přimícháno 10 %hm. sádrovce, dále byl postup totožný.

U obou postupů probíhala zkušební příprava po dobu jednoho měsíce. Následně byla vyhodnocena úspěšnost jednotlivých postupů. U prvního postupu byla na vzorcích pozorována určitá uzavřenost povrchu, která ale nebyla doprovázena typickými degradačními projevy jako je pískovatění. U druhého postupu zůstávala povrchová vrstva písku sypká bez známek soudržnosti nebo známek jakékoliv krystalizace. Série vzorků připravená prvním postupem byla následně podrobena cyklickému umělému stárnutí v klimatické komoře. Jeden cyklus byl nastaven na střídání vysoké relativní vlhkosti vzduchu při nižší teplotě (95 % RH a 20°C) a nízké relativní vlhkosti vzduchu a vyšší teplotě (50 % RH a 40°C). Celkový počet cyklů byl 30. Po ukončení procesu stárnutí nebyly zjištěny žádné viditelné změny. Bylo proto provedeno odporové vrtání za účelem zjištění vnitřní soudržnosti kamene. Křivka odporového vrtání ukazovala lehce zpevněnou povrchovou vrstvu, která však nebyla dostačená a ani zdaleka se neblížila charakteru kompaktní sádrovcové endokrusty pozorované na historických objektech.

²⁹ NUNES, Cristiana; SANCHEZ, Asel Maria Aguilar; GODTS, Sebastiaan; GULOTTA, Davide; IOANNOU, Ioannis et al. Experimental research on salt contamination procedures and methods for assessment of the salt distribution. Online. *Construction and Building Materials*. 2021, vol. 298. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123862>. [cit. 2025-07-27].

Po prvních neúspěšných pokusech bylo zkoušeno nanesení směsi písku se sádrou v poměru 6:1 s rozdělanou vodou na povrch vzorků. Na opískovaný povrch kamenného vzorku byl nanesen čistý písek v tenké vrstvě a na něj byla následně dusána vlhká směs sádry a písku. Vzorek byl takto ponechán do vytvrdnutí a následně byl podroben odporovému vrtání (DRMS). Pevnostní křivka vykazovala velký rozdíl mezi původním kamenným materiálem a novou vrstvou, nadusaná povrchová vrstva ukazovala zpevnění, ale oproti kamennému podkladu byla měkčí. Mezivrstva písku, která měla představovat zpískovatělý materiál, nebyla v křivce patrná.

Prvotní experimentální pokusy tvorby sádrovcové krusty probíhaly vždy na originálním kamenném vzorku, to se však ukázalo jako neefektivní postup. Cílem bylo vytvořit krustu na přírodním kameni a přiblížit se tak co nejvíce reálnému fenoménu sádrovcové endokrusty. Tento postup však nebyl v laboratorních podmínkách z důvodu velké časové náročnosti uskutečnitelný, proto bylo rozhodnuto vytvořit jako podklad dusané vzorky z umělého kamene.

Pro zkoušky dusaných vzorků byly vybrány dva druhy kopaných písků – Střeleč světlá a Běstovice (okrový). Jejich gradient zrn je uveden v Tabulka 3 . Vzorky byly dusány do normovaných forem 4x4x4 cm ve vrstvách odspodu nahoru, nejprve vrstva představující endokrustu, následně degradovaná (málo soudržná) vrstva, a pak vrstva imitující kámen. Sádrovcová endokrusta byla tvořena ze sádry Almod a písku, pak následoval čistý písek – nesoudržná vrstva, a pak vrstva písku s pojivem SioXal 10 (křemičitý sol) imitující pískovec.

	<0,125	<0,250	<0,500	<1
Běstovice	1 %	9 %	57 %	33 %
Střeleč	2 %	12 %	33 %	53 %

Tabulka 3 gradient velikosti zrn písků

Byly zkoušeny různé poměry a tloušťky jednotlivých vrstev. Pro umělý kámen byl stanoven hmotnostní poměr 4:1 písek : SioXal. Menší poměr písku ku pojivu vedl k nadměrnému pronikání pojiva do všech vrstev a k jeho úniku z formy. Čistá písková vrstva byla nakonec vynechána. Původní předpoklad byl, že do této se částečně vsákne křemičitý sol a vrstvu alespoň částečně propojí, ale v praxi buď pojivo proniklo celou vrstvou a měla stejnou soudržnost jako vrstva imitující kámen (viz předchozí vysvětlení), anebo naopak pojivo neproniklo vůbec a vrstva zůstala bez pojiva, takže se vzorek rozpadal. Zároveň konečný poměr písku a SioXalu nevytváří dostatečně pevný umělý kámen jako zdravý pískovec a spíše nahrazuje degradovanou vrstvu. Poměr písku a sádry imitující sádrovcovou krutu byl po zkouškách stanoven na 8:1 (písek : sádra).

Vzorky vytvořené pro další zkoušky jsou tvořeny dvěma vrstvami – horní tenkou vrstvou napodobující sádrovcovou endokrustu tvořenou sádrou a pískem Běstovice v hmotnostním poměru 1:8 a druhou spodní vrstvou napodobující degradovaný povrch pískovce pod nepropustnou endokrustou tvořený

křemičitým solem SioXal A10 a písek Běstovice v hmotnostním poměru 1:4, „zdravý“ pevný materiál nakonec ve vzorku není zastoupen. To však pro potřeby experimentu není zásadní.

2.7.2 Použité materiály

Materiály byly vybírány na základě praktických zkušeností a konzultací s vedoucím práce. Písky pro výrobu vzorků byly vybrány tak aby, co nejvíce napodobovaly přírodní kámen. Byl vybrán kopaný křemenný písek Běstovice, který má zrnitost velmi blízkou jemnozrnným pískovcům. Jako pojící materiál písku byl vybrán křemičitý sol SioXal A10 s obsahem pevných částic 30 %hm SiO₂ (použitý v původní koncentraci), který napodobuje materiál křemičitých pískovců. Na napodobení sádrovcové vrstvy byla vybrána jako pojivová složka štukatérská sádra Almod. Ta po vytvrnutí napodobuje pojivovou složku na bázi sádrovce, který je z chemického hlediska stejný jako hydratovaná sádra (poměry jsou uvedeny v předchozí kapitole 2.7.2 Použité materiály).

Pro přeměnu sádrovce na rozpustnější síran bylo vybráno chelatační činidlo EDTA a uhličitan amonný. Obě tyto látky se v praxi používají pro odstranění povrchových sádrovcových krust, popřípadě jako první krok při tzv. florentinské metodě. Obkladová směs byla vytvořena z tříděného písku Sřeleč T56, buničiny Arboceel a kaolinu v poměru 6:3:1. Tento poměr směsi byl použit jako nosič pro reakční činidla i jako následující odsolovací obklady. Jako konsolidační prostředek byl vybrán komerční organokřemičitý prostředek KSE 300 (Remmers CZ), ke kterému bylo přidáno 1 % organociničitého katalyzátoru Lukopren N. Tyto katalyzátory jsou dlouhodobě používány a laboratorně i prakticky odzkoušeny a využívají se pro urychlení vytvrzování esterů kyseliny křemičité. Dodatečný přídavek katalyzátoru sloužil k urychlení reakce hydrolýzy, tvorby gelu a zároveň rychlejšímu odštěpení zbytkových alkoxylových řetězců z důvodu odbourání hydrofobity povrchu konsolidovaných vzorků.

2.7.3 Postup a průběh experimentu – odsolování a konsolidace

Vydusané vzorky byly rozděleny do dvou skupin A a B po 12 kusech a každý vzorek byl popsán a nafocen. Pět referenčních vzorků bylo označeno písmenem C. Skupina A byla prekonsolidována komerčním organokřemičitanem KSE 300, ke kterému bylo přidáno 1 % organociničitého katalyzátoru Lukopren N. Do každého vzorku A byly přidány 3 ml konsolidantu, které penetrovaly zhruba do hloubky 1,5 – 2 cm (obrázek 69). Konsolidant byl nechán vytvrdnout při 22°C ± 2°C a při 65 % ± 5 % relativní vlhkosti. Skupina B byla ponechána bez prekonsolidace.

Následně byl na vzorky aplikován zábal s aktivačními látkami v tloušťce cca 0,5 cm. Zábal s 10 % EDTA byl aplikován na vzorky A1-6 a B1-6. Zábal s 10 % uhličitanem amonným byl aplikován na vzorky A7-12 a B7-12. Zábaly byly na povrchu ponechány ve třech časových intervalech – 2 hodiny, 6 hodina a 12 hodin. Aby nedocházelo k vysušení zábalu a dřívější době ukončení působení aktivačních látek, byly vzorky s obkladem zabaleny do polyethylenové folie. Po ukončení doby působení byl obklad vyměněn za odsolovací v tloušťce cca 1 cm, který byl ponechán zabalený pět dní v polyethylenové folii,

pro dostatečné vyrovnání koncentrací solí, a následně byl rozbalen a ponechán do vyschnutí pro podpoření kapilárního transportu roztoku solí. Stejný postup byl proveden i u druhého odsolovacího obkladu. Popis vzorků s aplikovanými materiály a dobou působení je uveden v příloze v Tabulka 9.

Po odsolování byly vzorky očištěny co nejšetrněji od zábalu a konsolidovány KSE 300 s 1 % organociničitým katalyzátorem. Do vzorku bylo aplikováno 6 ml KSE 300, které penetrovaly do celé hloubky vzorku. Vzorky s konsolidantem byly ponechány pro vytvrzení opět při $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ a relativní vlhkosti $65\% \pm 5\%$. Vzorky byly následně omyty od zbytků zábalu. U vzorků A 6, B1, B3, B7 a B11 se po umytí vodou objevily na povrchu lesklé filmy, pravděpodobně od nedostatečně vytvrzeného konsolidantu, na tyto vzorky byl několikrát aplikován technický líh, který lesklý film potlačil.

Po ukončení procesu odsolování a konsolidace byly vzorky podrobovány analýzám, odporovému vrtání a na odebraných vzorcích byl proveden nábrus pro pozorování v elektronovém mikroskopu. Byl stanoven obsah solí obsažený v aplikovaných obkladech pro zjištění míry účinnosti obkladů a jednotlivých cyklů odsolování.

2.7.4 Metody a analýzy

Odporové vrtání přístrojem DRMS Cordless (SINT Technologies)

Měření odporu je invazivní metoda, kterou lze zjistit pevnostní profil povrchu a podpovrchových částí materiálů. Měří se odpor při vrtání v závislosti na hloubce průniku vrtáku do materiálu. Přístroj je mobilní a lze jej využít v terénu na reálné objekty (omítky, kamenné sochy), ale také na laboratorně připravené vzorky. Měřením lze zhodnocovat a monitorovat stav materiálu nebo zhodnotit restaurátorské zásahy např. konsolidaci, injektáž nebo lepení porovnáváním jednotlivých pevnostních profilů.

Sledovanou veličinou při měření je síla penetrace vrtáku, která je nutná k docílení konstantní rychlosti posunu vrtáku při konstantních otáčkách. Měřený rozsah síly je od 0–100 N. Před zahájením měření lze nastavit parametry jako je rychlost posunu a otáčky, které jsou při měření konstantní. Rychlost posunu (penetration rate) lze nastavit v rozsahu 1-80 mm/min a otáčky (revolution speed) v rozsahu 20–1000 ot/min (rpm). Maximální hloubka (hole depth) měření je 50 mm a průměr vrtáku bývá 3-5 mm.³⁰ Pro měření experimentálních vzorků byla nastavena rychlost posunu 10 mm/min, rychlost otáček byla nastavena na 600 rpm a hloubka měření byly stanoveny na 15 mm.

Skenovací elektronová mikroskopie s detektorem zpětně odražených elektronů (SEM-BSE)

Tato mikroskopická metoda se využívá k průzkumu a zobrazování různých materiálů ve vysokém zvětšení a s velkou hloubkou ostrosti. Ve spojení s prvkovou analýzou (EDX) se využívá k identifikaci anorganických látek. Lze studovat mikrostrukturu a prvkové složení jednotlivých materiálů

³⁰ FAKULTA RESTAUROVÁNÍ UPCE: KATEDRA CHEMICKÉ TECHNOLOGIE. *Odporové vrtání: Využití v oboru restaurování-konzervace památek*. Studijní materiál. Litomyšl.

v odebraném vzorku nebo na příčném řezu vzorků. V restaurátorské praxi se využívá k upřesnění stratigrafie povrchových vrstev, identifikaci pigmentů, pojiv a druhotných materiálů a zásahů nebo ke studiu a identifikaci příčin poškození, degradačních a korozních procesů.

Analýza probíhá za sníženého tlaku ve speciální komoře. Vysoká energie a úzký průměr svazku primárních elektronů umožňuje velké zvětšení a hloubku ostroty. Výstupem je obraz – fotografie, která je vytvářena detekcí elektronů pocházejících z interakce svazku primárních elektronů se vzorkem. Při skenovací elektronové mikroskopii skenuje svazek elektronů povrch vzorku, při kterém vznikají různé typy záření, které jsou detekována. Informace jsou běžně získávány detekcí sekundárních elektronů (SE), zpětně odražených elektronů (BSE) a rentgenového záření (X-ray). U vzorků, které jsou nevodivé může docházet k nabíjení povrchu, což vede k negativním projevům obrazu. Tomu lze předejít tzv. zvodivěním/pokovením - opatřením povrchu tenkou vodivou vrstvou. K zvodivění se nejčastěji používá naprášení zlatem nebo uhlíkem v přístroji Q15 (Quantax). Další možností je pracovat s nižšími hodnotami podtlaku v komoře v tzv. nízkotlakovém modu (low Vacuum). V tomto případě není potřeba vzorky nijak upravovat.³¹

Analýzy na odebraných úlomcích experimentálních vzorků bylo provedeno na přístroji SEM Jeol JEOL JSM-6010 LA (Institut für Konservierung und Restaurierung, Universität für angewandte Kunst Wien). Vzorky byly studovány přímo bez měření bez zvodivěnění povrchu (pokovení nebo pouhličení) v režimu nízkého vakua v komoře mikroskopu s urychlovacím napětím 15 kV.

UV - VIS Spektrometrie

UV – VIS spektrometrie se v restaurátorské praxi využívá při stanovování druhu a množství vodorozpustných solí v porézních materiálech. Princip metody spočívá v měření absorpci ultrafialového a viditelného záření, které je přímo úměrné koncentraci anionů v kapalném vzorku. U pevných vzorků (např. kamene nebo odsolovacích buničinných obkladů) je nejdříve připravován vodní extrakt v demineralizované vodě. Následně se výluh smísí s činidly selektivními pro daný aniony.

Při vyhodnocování byl obsah sádrovce stanoven ve vodních extraktech obkladů demineralizovanou vodou, a to pomocí standardní metodiky pro stanovení obsahu síranů pomocí UV/VIS spektrometru (na přístroji Beckmann DU 40). Vzhledem k tomu, že testovací tělíska obsahovaly pouze sírany, bylo stanovení obsahu provedeno pouze pro síranové aniony.

Postup spočívá v měření absorbance vodního výluhu po přidání definovaného objemu 0,5 % vodního roztoku chloridu barnatého (BaCl_2). Při reakci iontů Ba^{2+} se síranovými aniony SO_4^{2-} dochází ke vzniku nerozpustného síranu barnatého (BaSO_4). Obsah síranu barnatého koreluje s mírou vzniklého zákalu,

³¹ LESNIAKOVÁ, Petra. Vybrané metody průzkumu předmětů kulturního dědictví. In: SAMOHÝLOVÁ, Alena a HOLÝ, Zdeněk (ed.). *Metodika průzkumů vybraných skupin předmětů uměleckého řemesla*. České Budějovice: Národní památkový ústav, 2019. ISBN 978-80-87890-30-1. Dostupné také z: <https://www.recmaterialu.cz/cs/vystupy/studie>.

který je měřitelný UV/VIS spektrometrií při vlnové délce 345 nm podle metodiky vypracované na KCHT FR. Na základě zjištěné absorbance lze pak následně vypočítat obsah síranů v daném vzorku.

2.7.5 Výsledky

Výsledné křivky odporového vrtání ukázaly, že vzorky A1-12 měly ve všech případech zpevněnou vrstvu do hloubky přibližně 2 milimetrů. Nejvyšší naměřené hodnoty pevnosti se pohybovaly v rozmezí od 2,0 až 5,05 N v hloubkách do 2,1 mm. Nejvyšší naměřená hodnota 5,05 N byla zaznamenána na vzorku A3 v hloubce 0,5 mm. Na vzorcích A 7, A8 a A10 byla dále pozorována místa s mírně zvýšenou tvrdostí i ve větších hloubkách (viz Tabulka 11 grafy s křivkami pevnostních profilů vzorků A7-12).

U některých vzorků B1-12 byla zaznamenána pevnější místa do hloubky 2,5 mm, s hodnotami pevnosti v rozmezí od 0,8 N do 4,8 N. Nejvyšší hodnota 4,8 N byla naměřena na vzorku B6. Nejnížší hodnoty byly pozorovány na vzorku B9, jehož pevnostní profil byl rovnoměrný, bez výrazných zpevněných míst. Z řady B7-12 vykazoval nejvyšší hodnoty vzorek B10, ostatní vzorky z této skupiny vykazovaly výrazně nižší pevnostní profily. Vzorky B1-12 vykazovaly v průměru nižší hodnoty zpevnění než vzorky A1-12. Pevnostní křivky z řady C neprokázaly nijak zvlášť tvrdší povrchovou krustu, nejvyšší hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,2 N do 1,75 N do hloubky přibližně 2 mm. Všechny křivky odporového vrtání jsou uvedeny v grafech DRMS v 8.1.3 Tabulka s grafy odporového vrtání.

Studium mikrostruktury vzorků pomocí SEM-BSE prokázalo, že u řady vzorků A1-12 lze charakterizovat spodní dusanou vrstvu jako vysoce pórovitou s velikostí většiny pórů v rozmezí 50-200 μm . V pórech i v kontaktních místech mezi křemennými zrny byl pozorován křemičitý gel vzniklý ze zpevnění pomocí organokřemičitanů KSE 300. Povrchová vrstva s obsahem sádrovce je méně pórovitá, ale ne uzavřená. Sádrovcová matrix je mikrokrytalická a mikroporovitá a obsahuje i částice anhydridu (zřejmě rezidua v použité sádře). Velikost pórů se pohybuje v rozmezí 20-150 μm . V pórech této vrstvy se také prokazatelně vykytuje organokřemičitý konsolidant. U této sady vzorků jsou také prokazatelně na některých místech dvě vrstvy křemičitého gelu vzniklého z prekonsolidace a závěrečné konsolidace. Řada vzorku B1-12 má podobnou mikrostrukturu jako v řadě A. Rozdíl je v menším obsahu křemičitého gelu z organokřemičitého zpevňovače KSE 300 zastoupeného jen v jedné vrstvě.

Výsledky účinnosti obkladů prokázaly, že první reakční obklady s EDTA aplikovaných na vzorcích A7-12 a B7-12 lépe mobilizovaly sádrovec. Tyto obklady spolu s dalšími dvěma odsolovacími obklady obsahovaly vyšší koncentrace síranů než obklady aplikované na vzorcích A1-6 a B1-6, kde byl v prvním obkladu použit uhličitan amonný. Bylo rovněž zjištěno, že i první reakční obklady obsahovaly významné množství síranů, přičemž nejvyšší hodnoty byly zjištěny u obkladů na vzorcích A7-12. Celkově nejvyšší koncentrace síranů obsahovaly druhé obklady, a to především u obkladů na vzorcích B7-12. Třetí obklady obsahovaly obecně nižší množství síranů než druhé obklady a u vzorků A7-12 a B7-12 byly hodnoty obsahu sádrovce ve třetím obkladu nižší než u obkladů prvních.

2.7.6 Shrnutí a vyhodnocení výsledků

Výsledky odporového vrtání vykazují určitou míru rozporů. Většina vzorků vykazuje ve srovnání s referenčními vzorky C2-5 tvrdší povrchovou vrstvu – endokrustu – pojenou sádrovcem (hydratovaná sádra), která byla vytvořena jako imitace přirozeně vzniklých sádrovcových krystalů. Vzorek C1 byl vyřazen vzhledem k jeho úplnému rozpadu. Skutečnost, že referenční vzorky nevykazují výrazněji zpevněnou povrchovou krustu, může souviset s neúplným vytvořením krystalové struktury. U vzorků z řad A a B byly následně aplikovány obklady obsahující vodu, která mohla proces tvorby krystalové struktury podpořit, a tím přispět k vytvoření tvrdší povrchové vrstvy ve srovnání s referenčními vzorky. Z tohoto důvodu byly na vzorky C4 a C5 aplikovány tři čisté zábaly pro ověření hypotézy.

Porovnávání pevnostních křivek odporového vrtání u vzorků C4 a C5 neprokázalo výrazné rozdíly mezi profily měřenými před aplikací a po aplikaci zabalů. Vyšší tvrdost povrchové vrstvy tedy pravděpodobně nesouvisí s dotvořením krystalové struktury sádrovce, tvrdost tedy může být spíše spojována s konsolidantem. Tento závěr podporují i analýzy mikrostruktury vzorků, podle nichž je rozdíl pevnosti mezi referenčními vzorky C a vzorky z řad A a B v obsahu organokřemičitého gelu v povrchové vrstvě obsahující sádrovec.

Ve srovnání s mikrostrukturou referenčních vzorků (série C) mají série vzorků A a B ve vrstvě imitující endokrustu patrný mírný nárůst pórovitosti a pokles obsahu síranu vápenatého. Mikrostruktura sádrovce vytvořená ve vzorcích je také mnohem jemnější a pórovitější oproti sádrovci v sádrovcových krustách vzniklých v reálných podmínkách na povrchu pískovcových uměleckých nebo umělecko-řemeslných děl. Dlouhá doba ukládání a tvoření (sulfatace) umožňuje sádrovci vytvářet větší krystaly, které vyplňují póry horniny bez vzniku další menší provité struktury jako tomu je u experimentálních vzorků.

Celkově lze konstatovat, že vzorky z řady B (bez prekonsolidace) vykazují po odsolování a následné závěrečné konsolidaci homogennější strukturu než vzorky řady A (prekonsolidované). Pravděpodobným vysvětlením může být, že prekonsolidace částečně omezila proces redukce sádrovce a současně zvýšila pevnost již tak tvrdší vrstvy, což je patrné také na mikrostruktuře pozorované při REM-BSA analýze. Vzorky A1-6 a B1-6, u nichž byl v prvním reakčním obkladu aplikován uhličitán amonný, dosahují v průměru, podle křivek odporového vyvrtání, vyšších hodnot (větší tvrdosti) do hloubky 2 mm než vzorky A7-12 a B7-12 s reakčním obkladem obsahující EDTA. U vzorků B7-12 je struktura materiálu podle pevnostních křivek téměř u všech vzorků homogenní v celé hloubce. Vzorek B9 nevykazoval dokonce žádnou výrazně více pevnou vrstvu. Oproti tomu vzorek B10, na který byl použit stejný experimentální postup, vykazoval výrazně vyšší pevnost povrchové vrstvy do 2 mm. V průměru však postupy obsahující EDTA v reakčním zabalů dosahovaly vyšší účinnosti než postupy s obsahem uhličitánu amonného v reakčním zabalů, zejména při době působení reakčního zabalů 6 a 12 hodin.

Pozorování mikrostruktury REM-BSE neodhalilo rozdíly mezi vzorky, u nichž byla v prvním reakčním obkladu použita různá doba působení reakčních činidel. Rozdíl je zaznamenán pouze mezi řadami A1-

12 a B1-12, kdy řada A s prekonsolidací má ve své pórovité struktuře vyšší obsah organokřemičitého gelu, což se projevilo vyšší tvrdostí, jak je také potvrzeno odporovým vrtáním.

Stanovení obsahu síranů prokázalo účinnost jednotlivých obkladů. První (reakční) obklad, přestože nemá primárně odsolovací funkci, vykazoval významný podíl obsahu síranů. U reakčních obkladů s EDTA byl zjištěn vyšší obsah síranů než u třetího (odsolovacího) zábalu. Nejvyšší podíl solí byl zachycen v druhých obkladech, přičemž vzorky ošetřené v prvním obkladu EDTA (A7-12 a B7-12) vykazovaly v průměru vyšší účinnost druhého obkladu než vzorky A1-6 a B1-6 s uhličitanem amonným v prvním obkladu. Skupiny vzorků A1-6 a B1-6 naopak obsahovaly vyšší množství síranů v třetím odsolovacím obkladu, pravděpodobně v důsledku pomalejší rozpustnosti síranů a pozdějšího uvolňování solí. Lze konstatovat, že všechny obklady byly účinné, přičemž nejvyšší účinnost byla pozorována na obkladech aplikovaných na vzorcích A7-12 a B7-12 s prvním reakčním obkladem obsahujícím EDTA. Prekonsolidace povrchu neměla v těchto případech prokazatelný výrazný vliv na účinnost redukce sádrovce.

2.8 Závěr experimentu

V experimentální části byly zkoumány možnosti redukce sádrovce za pomoci jeho konverze na rozpustnější síran, a to v kombinaci s pre-/konsolidací degradovaných vrstev pod sádrovcovou endokrustou. Testovány byly různé postupy na laboratorních vzorcích s imitací reálné sádrovcové endokrusty, jejichž příprava byla součástí experimentu.

Příprava vzorků se ukázala jako jeden z nejnáročnějších kroků a jejich tvorba trvale nejdéle z celého experimentu. V rámci přípravy vzorků napodobujících sádrovcovou endokrustu se ukázalo, že připravit vzorky umožňující reprodukovatelné testování je poměrně obtížné. Zároveň je složité dosáhnout toho, aby se tyto vzorky co nejvíce blížily vlastnostem materiálů s reálnou sádrovcovou krustou a s ní souvisejícími degradačními projevy. Část testovaných postupů se ukázala jako nevhodná, a nakonec byl zvolen postup výroby dusáním. Finálně zvolený způsob výroby (dusání) endokrusty se od přírodně vytvořené endokrusty do jisté míry liší. Rozdílnost spočívá zejména v mikrostruktuře a zřejmě i v některých fyzikálních vlastnostech. Endokrusta připravená ze sádry a písku má výrazně menší krystaly sádrovce, mírně vyšší pórovitost a celkově menší kompaktnost oproti přírodně vytvořeným krustám, u kterých lze předpokládat větší krystaly a nižší pórovitost a s tím spojenou menší nasákavost a prostupnost pro konsolidační prostředky.

Navzdory těmto odlišnostem byla ve všech případech na zkušebních tělíscích prokázána poměrně dobrá penetrace organokřemičitých zpevňovacích prostředků, což poukazuje na reálnou možnost provedení prekonsolidace a konsolidace povrchu (endokrusty) i degradovaného materiálu pod ní. Porovnání účinnosti jednotlivých postupů redukce sádrovce ukázalo, že použití reakčních obkladů s EDTA dosahovalo mírně vyšší účinnosti než obklady s uhličitanem amonným. Pro křemenné pískovce představuje použití EDTA výrazně menší riziko než u vápenců, u kterých hrozí rozpuštění uhličitanu

vápenatého. Výsledky rovněž prokázaly, že prekonsolidace přispívá ke zpevnění povrchu a současně nebrání redukcí obsahu sádrovce. Tento poznatek je významný zejména v případech, kdy sádrovec zaujímá místo pojiva křemenných zrn a jeho redukce může vést k narušení soudržnosti.

Je nutné však zdůraznit, že i přes relativní úspěšnost experimentu, se stále jednalo o laboratorní testování a při aplikaci na reálném objektu se mohou některé aspekty lišit. A to zejména s ohledem na to, že finální experimentální vzorek nedokázal plně napodobit všechny vlastnosti přirozeně vzniklé endokrusty. Lze říci, že zvolené metody umožnily ověřit praktické možnosti redukce sádrovcových krust a poskytly relativní informace pro rozhodování o vhodném postupu při zásahu na reálných historických objektech. Pro úspěšný zásah je však vždy nutné detailně poznat restaurovaný objekt a pochopit degradační mechanismy, na jejich základě lze následně možné stanovit vhodný postup.

Přestože experiment nedokázal plně napodobit reálný případ, výsledky ukazují, že kombinace reakčních obkladů s EDTA a vhodně zvolená prekonsolidace představuje vcelku účinný postup, který by bylo po detailních předběžných zkouškách možné aplikovat i v praxi. Zároveň vzhledem k výše uvedeným důvodům, zejména k neúplnému napodobení mikrostruktury a vlastnostem sádrovcové krusty, s tím spojené degradace a k rozdílnému chování uměle vytvořených vzorků oproti přirozeně vytvořené endokrustě, by bylo vhodné tuto problematiku dále zkoumat. Další výzkum by se měl především zaměřit na tvorbu vzorků s mikrostrukturou a fyzikálními vlastnostmi co nejpodobnějšími reálné degradaci způsobné sádrovcem. Díky tomu by bylo možné přesněji simulovat postupy redukce sádrovce a současně pre-/konsolidace. To by umožnilo přesnější výsledky a lepší stanovení metod vhodných pro redukci sádrovcových krust a navrácení původních vlastností originálního křemenného pískovce.

3 Restaurování polychromované sochy mladého rybáře z obce Červené Janovice

Předmětem restaurátorské části diplomové práce je polychromovaná socha mladého chlapce (rybáře) z obce Červené Janovice. Vstupní restaurátorský průzkum byl proveden kolegyní BcA. Zuzanou Korábkovou v roce 2022 na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

3.1 Základní informace

Lokalizace památky

Kraj: Středočeský kraj

Okres: Kutná Hora

Obec: Červené Janovice

Adresa: náves Červené Janovice

Bližší určení místa: vedle vodní plochy na návsi

GPS souřadnice: 49.8346478N, 15,2526028E

Údaje o památce

Název památky: Socha rybáře

Klasifikace památky: nezapsaná památka

Autor: Adolf Štícha ze Zbraslavic

Sloh/Datace: 1911 (osazeno)

Materiál/technika: polychromovaný hořický pískovec

Rozměry: výška bez hlavy 69 cm + hlava 18 cm, šířka 54 cm, hloubka 41 cm

Předchozí restaurátorské zásahy: nejsou známy, ale na soše se vyskytují známky pozdějších oprav

Údaje o akci

Vlastník a investor: obec Červené Janovice

Zhotovitel: Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, Jiráskova 3, 570 01

Litomyšl, email: dekanat.fr@upce.cz

Vypracovala: Bc. Eliška Vítková

Odborný pedagogický dohled: MgA. Zuzana Auská

Odborná spolupráce: chemicko-technologický průzkum – Ing. Petra Lesniaková, Ph.D.

umělecko-historický průzkum – Mgr. Petra Hečková, Ph.D.

3.2 Popis díla

Socha znázorňuje mladého rybáře v námořnickém oblečku sedícího na skalisku při lovu ryb. Socha je asi metr vysoká, s barevnou povrchovou úpravou. Objekt před restaurováním sestával ze dvou částí – těla se skaliskem a oddělenou hlavou.

Chlapec sedí uvolněně s tělem lehce nakloněným doprava při pohledu z předu. Na sobě má modrý námořnický komplet, který se skládá z krátkých modrých šortek a košile s volnými rukávy staženými u zápěstí a typickým širokým bílým límcem, pod nímž je šátek svázaný do uzlu. Kotník levé nohy má přehozený přes stehno pravé nohy. Ruce má volně položené na stehnech. V pravé ruce je viditelná drážka na rybářský prut, který chybí. Levá ruka volně leží na stehně dlaní vzhůru, pravá nejspíše leží hřbetem vzhůru. Prsty a hřbet pravé ruky byly uraženy.

Oddělená hlava má tmavé vlnité vlasy. Krk se na trupu a ani hlavě nedochoval. Na hlavě je místo pro spojení s trupem opracováno kamenickým nářadím. Hlava i tělo byly pravděpodobně vytvořeny současně. Hlava byla buďto vytvořena samostatně a poté přilepena, anebo byla za neznámých okolností oddělena a znovu přilepena ke zbytku těla. Skalisko je z hrubě opracovaného kamene s viditelnými stopami po kamenickém nářadí.

3.3 Současný stav díla




Socha je rozdělena na dva hlavní kusy, sedící tělo na skalisku a hlavu, a pár menších fragmentů (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Na soše byl proveden zajišťovací zásah a další dílčí restaurátorské zásahy v podobě zpevnění kamene organokřemičitanem KSE 100 a 300 od značky Remmers. Konsolidace pískovce proběhla především na skalisku pod nohama chlapce, kde jsou viditelné známky po pískovatění kamene. Dalším zásahem bylo sejmutí (rozšířené zkoušky) svrchních vrstev polychromie v oblasti pravého kolene a části čela na hlavě chlapce. Také proběhlo částečné ošetření a očištění od biologického napadení.³²

Velkým poškozením je oddělená hlava, která byla v minulosti již lepena. Svědčí o tom otvor po kovovém čepu (korodovaný kovový čep byl už odstraněn), oddělené fragmenty a opracovaná spodní část hlavy. Neméně výrazným poškozením je degradovaná polychromie, která byla několikrát obnovována. Vrstvy polychromie jsou nanášeny v relativně silné vrstvě a místy krakelovají a místy se prohýbají. Značná část polychromie chybí, přičemž na některých místech odkrývá jemnou modelaci kamenného povrchu (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), která v důsledku silné vrstvy polychromie není patrná. Jinde je povrch bez polychromie degradován. Chodidla a prsty na ruce zcela chybí. Tmely nalezené na nose a zbytku palce levé ruky jsou dožilé a hrubozrnější oproti originálnímu kamenu. Tmel na nose a další

³² KORÁBKOVÁ, Zuzana. *Dokumentace restaurátorského průzkumu a záměru: Polychromovaný rybář, Červené Janovice*. Litomyšl: Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2022.

menší tmely jsou překryty vrstvami polychromie. Z tmelu na palci vyčnívá kovová armatura. Stopy po armatuře jsou patrné i na chodidle levé nohy a spoje hlavy.

3.3.1 Tabulka poškození

	<p><u>Degradace polychromie</u></p> <p>Barevná vrstva je položena v několika různě tlustých vrstvách, které se slévají a překrývají i některé jemné modelace povrchu kamene sochy. Vlivem UV záření a vlhkosti, nebo i různými vlastnostmi materiálů, polychromie krakelovává, miskovitě se prohýbá a odděluje se od podložky, případně celá odpadá.</p>
	<p><u>Degradace povrchu kamene</u></p> <p>Obnažený kámen na některých místech nese stopy dlouhodobého namáhání povětrnostních vlivů, které způsobily nerovnoměrný úbytek hmoty.</p>
	<p><u>Biologické napadení</u></p> <p>Zbytky biologického napadení jsou především v prohlubních modelace a krakelách. Biologické napadení ulpívá na povrchu a vlivem klimatických podmínek a opakovaným zavlhčováním vzniká vhodné prostředí pro jeho růst (mechy, řasy). To pak může způsobovat degradaci vlivem prorůstání kořínků mechtů do struktury kamene a barevné vrstvy, nebo zadržování vlhkosti.</p>

	<p><u>Odpadlé části</u></p> <p>Vlivem mechanického namáhání nebo nárazu může dojít k odlomení, odštípnutí a ztrátě hmoty kamene.</p>
---	---

Tabulka 4 Popis degradačních mechanismů

3.4 Restaurátorský průzkum

3.4.1 Umělecko-historický průzkum

V rámci historického průzkumu byly kolegyní Zuzanou Korábkovou kontaktovány paměťové instituce v blízkém okolí Červených Janovic i obyvatelé s žádostí o fotografie či jiné informace a zmínky o soše mladého rybáře.³³ Jedinou nalezenou archiválií, kde bylo možné dohledat zmínku o soše rybáře, je obecní kronika z let 1906-1938³⁴ uložená v státním okresním archivu (SOKA) v Kutné Hoře, jejíž digitalizovanou podobu lze nalézt ve webové aplikaci ebadatelna Státního oblastního archivu v Praze. V kronice z let 1906-1935 byla nalezena na straně 18 zmínka o soše rybáře, která poskytla zajímavé informace o vzniku sochy (viz kapitola 0). Dále byl v rámci průzkumu zevrubně prozkoumán fenomén dětského námořního oblečení a analogie, ikonografie díla a další okolnosti vzniku.

Historie sochy Mladého rybáře (obecní kronika z let 1906-1935)

Jediné informace o díle byly nalezeny v obecní kronice (pamětní kniha obce Červené Janovice), ve které je zapsáno, že „Roku 1911 oplotil jej (rybníček) zkrášlovací spolek drátěným plotem, osel břehy trávou, do rohu zasázel skupiny keřů, a vprostřed zhotovil umělou skálu a umístil na ni sošku, představující hocha – rybáře -, který udicí chytá ryby. Socha asi 1 m vysoká jest tesána z hořického kamene velmi úhledně. Jest dílem pana Štýchy ze Zbraslavic, absolventa hořické školy kamenické. Stála poměrně malý obnos 65 korun.“³⁵

³³ KORÁBKOVÁ, 2022.

³⁴ ARCHIV OBCE ČERVENÉ JANOVICE. 1912-1294. *Pamětní kniha obce Červených Janovic 1906*. In: Archiv obce Červené Janovice. Místo: Státní okresní archiv Kutná Hora. Dostupné z <https://ebadatelna.soapraha.cz/a/276/13>

³⁵ ARCHIV OBCE ČERVENÉ JANOVICE. 1912-1294. *Pamětní kniha obce Červených Janovic 1906*. In: Archiv obce Červené Janovice. Místo: Státní okresní archiv Kutná Hora. Dostupné z <https://ebadatelna.soapraha.cz/a/276/13>

Jsou zde zapsány poměrně podrobné údaje o soše a autorovi, kromě jiného to, že socha je asi 1 metr vysoká a je vytesána z hořického pískovce „*velmi úhledně*“. Autor je zde zapsán jako „*pan Štýcha ze Zbraslavic absolvent hořické školy kamenické*“. Dále je zde zmíněna například i částka, kterou za sochu zaplatili, a to 65 korun. V zápisu však není zmíněna barevnost sochy, což vzhledem k značnému obsahu informací vede k domněnce, že socha byla původně bez polychromie. K tomuto tvrzení přispívá i spojení „*vytesána... velmi úhledně*“, tedy velmi zdařilá, ale bez zmínky o barvě oblečku či vlasů. Kopie stránky je k nahlédnutí v příloze v kapitole 8.2.1.

Popis umístění rybáře

Socha Rybáře je umístěna na návsi vedle vodní nádrže. Původně se nacházela uprostřed rybníčku, který je nedaleko nádrže odkud byla socha z neznámého důvodu přemístěna.

Ikonografie a analogie díla

Motiv chlapce chytajícího ryby může představovat rybáře – učedníka, popřípadě chlapce chytajícího ryby pro zábavu. Postava chytající ryby je častěji zpodobňována jako dospělý muž, či skupina mužů lovící ryby pro svoji obživu. Rybolov je též častým křesťanským motivem, vzhledem k velkému významu ryby, jakožto motivu, v Bibli³⁶. Přihlédne-li se k samotné kompozici sochy můžeme vidět podobnost v antické soše tzv. Spinaria, chlapce vytahujícího si trn z paty. Podobnost kompozice je jednoznačná: sedící chlapec s levou nohou opřenou o stehno pravé nohy.



obrázek 5 portrét prince z Walesu 1946, budoucí Král Edward VII

Oprostíme-li se od motivu rybaření je možné se zaměřit na oděv chlapce – námořního oblečku. Námořnický obleček, dětská uniforma neboli „matróz“ je jedním z prvních čistě dětských kousků oblečení³⁷ a získala svou oblibu v dětském odívání v druhé polovině 19. století. První zmínka o dětském námořním obleku je z roku 1846, kdy byl portrétován pětiletý syn britské královny Viktorie, k této příležitosti mu byla na míru ušita zdrobnělá nápodoba námořní uniformy³⁸. Tento obraz

³⁶ Ryba byl starokřesťanský symbol křtu, také věřící byli nazýváni „pisciculi“ neboli rybičky a křtitelnice „piscina“ neboli rybník. Starokřesťani byli se symbolem ryby pevně spjati především proto, že písmena řeckého slova pro rybu byla první písmena slov Ježíš, Kristus, Boží, Syn, Spasitel. Info. z HALL, James; ROYT, Jan a PLZÁK, Allan. *Slovník námětů a symbolů ve výtvarném umění*. Praha: Mladá fronta, 1991. s. 391. ISBN 80-204-0205-5.

³⁷ KYBALOVÁ, Ludmila. *Od empíru k druhému rokoku. Dějiny odívání*, sv. 5. Praha: Lidové noviny, 2004. s. 158–159. ISBN 80-7106-147-6.

³⁸ *Sailor Suit*. Online. Album 1900. C 2001-2018. Dostupné z: <http://www.album1900.com/glossary/sailorsuit/sailorsuit.php>. [cit. 2024-09-03]., *Obrázek 1 King Edward VII (1841-1910), when Albert Edward, Prince of Wales*. Online. In: Royal Collection Trust. Dostupné z: <https://www.rct.uk/collection/stories/royal-travel/king-edward-vii-1841-1910-when-albert-edward-prince-of-wales>. [cit. 2024-09-03].



obrázek 7 chlapec v námořním oblečení, Pierre-Auguste Renoir

se stal inspirací pro další matky, které své děti začali oblékat do podobných uniforem. Matróz se tak stal oblíbeným až do 1. čtvrtiny 20. století.

Děti se v něm nechávaly portrétovat³⁹ a později i fotografovat. Tento motiv „sailor boy“, neboli chlapec námořník, se tak stal velmi oblíbeným motivem a dovádějící chlapce, ale i dívky, v námořním oblečku můžeme nalézt na pohlednicích, ale i spotřebních produktech.⁴⁰ Tyto pohlednice a fotografie mohou posloužit jako analogické předlohy pro rekonstrukci díla.



obrázek 6 obal Tulip soap, s chlapcem v námořním oblečku chytajícím ryby

Z plastických děl podobných motivů mnoho není, jedna z nalezených soch oděných v námořním oblečení je součástí pomníku první světové války v Mississippi ve spojených státech amerických.⁴¹ Dalším dílem je plastika *Bezpodmínečná kapitulace* vytvořená podle fotografie Victora Jorgensena z roku 1945 z oslav konce války, kdy námořník líbá sestřičku. Obě díla však zpodobňují dospělé muže námořníky (vojáky) v reálných uniformách, také jsou tato díla mladší oproti chlapci z Červených Janovic.

Technika vzniku díla

Dílo je zhotoveno z hořického pískovce, který byl ručně opracován kamenickým nářadím do finálního tvaru. Poté byla na dílo aplikována polychromní úprava, která byla po různých časových obdobích obnovována různými druhy barev.

Předchozí restaurátorské zásahy

Na díle jsou viditelné druhotné zásahy – zbytky tmelů a viditelné zásahy do spojů odpadlých částí (otvory po čepech) i několikrát obnovená barevnost povrchu. Restaurátorské zprávy nebo jiné zmínky o opravách nebyly nalezeny.

Shrnutí umělecko-historického průzkumu

Dílo, byť lokálního významu, je velmi zajímavou a motivem ojedinělou památkou. Socha byla vytvořena někdy těsně před rokem 1911, kdy byla osazena na svém původním místě uprostřed rybníčku na návsi v obci Červené Janovice. Autor sochy je pan Štyýcha ze Zbraslavic, který sochu vytesal z hořického pískovce. Barevná povrchová úprava je pravděpodobně pozdější. Motiv chlapce

³⁹ Obrátek 2: Pierre-Auguste Renoir *Sailor Boy (Portrait of Robert Nunes)*. Online. In: Barnes. C 2024. Dostupné z: [https://collection.barnesfoundation.org/objects/5064/Sailor-Boy-\(Portrait-of-Robert-Nunes\)/](https://collection.barnesfoundation.org/objects/5064/Sailor-Boy-(Portrait-of-Robert-Nunes)). [cit. 2024-09-03].

⁴⁰ Například Tulip soap, obrátek3: *21 Sailor Clipart*. Online. In: The Graphics Fairy. C2007-2024. Dostupné z: <https://thegraphicsfairy.com/vintage-sailor-lady-image-gibson-girl/>. [cit. 2024-09-03].

⁴¹ *Vicksburg-Warren-County Memorial*. Online. The historical marker database. 2006-2004n. 1. Dostupné z: <https://www.hmdb.org/m.asp?m=109893>. [cit. 2024-09-03].

v námořním oblečení („sailor boy“) byl velmi běžným zobrazením na pohlednicích, fotografiích a obrazech v druhé polovině 19. století a na začátku 20. století. Socha s tímto motivem je ojedinělou, ale o to významnější lidovou památkou.

3.4.2 Chemicko-technologický průzkum

V této kapitole jsou uvedené poznatky získané z průzkumu provedeného Zuzanou Korábkovou,⁴² z chemicko-technologického průzkumu provedeného Petrou Lesniakovou na katedře KTCH Fakulty restaurování⁴³ a další výsledky z vlastního průzkumu díla.

UV fluorescence

Díky průzkumu UV fluorescence můžeme pozorovat a identifikovat různé povrchy, povrchové nečistoty i degradační procesy, které nejsou ve viditelném světle patrné. UV fluorescenční fotografie byly pořízeny za pomoci zdrojů UV záření – UVASPOT 400T od firmy *Hönle UV Technology* s rozsahem vlnových délek 315-400 nm. Průzkum byl proveden po zbavení povrchu prachových depozitů. Tímto průzkumem je možné rozlišit a dokumentovat další povrchové úpravy.

Průzkum odhalil jednoznačné použití zinkové běloby v odhalených spodních vrstvách polychromie, konkrétně na límci a v podobě příměsí na rukách. Na přední straně skaliska pod figurou pravděpodobně luminovaly vodorozpustné soli. Pro ověření a identifikaci solí je nutné odebrat vzorek.

Jiné projevy luminiscence nebylo možné pouhým pozorováním identifikovat, proto následuje podrobnější stratigrafická analýza vzorků, odebraných na základě barevné odlišnosti povrchů.

Vodorozpustné soli

Obsah vodorozpustných solí v kameni znamená velké riziko vzhledem k jejich vlastnostem a dopadu na homogenitu kamene. Vodorozpustné soli při změnách klimatických podmínek krystalizují a hydratují. Tyto dva jevy zapříčiňují změnu objemu krystalů, které pak tlačí na stěny pórů v kameni a trhají je, což zapříčiňuje například tzv. pískovatění povrchu nebo další negativní projevy způsobující změnu vlastností a ztrátu kamene. Z tohoto důvodu je nutné zjistit obsah vodorozpustných solí a zmírnit jejich dopad na objekt. Byly odebrány tři vzorky vrtné moučky z jednoho vrtu asi v první třetině skály (od spodu) pod levou nohou rybáře.

K obsahu anionů vodorozpustných solí byla použita UV/VIS spektrofotometrie přístrojem Beckman Coulter DU© 720 ve vyluzích odebraných vzorků vrtné moučky v demineralizované vodě. Měření bylo provedeno v rozmezí vlnových délek 360–525 nm. Výsledky byly hodnoceny podle rakouské normy

⁴² Korábková, 2022.

⁴³ LESNIAKOVÁ, Petra. *Průzkum složení a stratigrafie povrchových úprav: Kamenná polychromovaná socha rybáře*. Litomyšl, Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Universita Pardubice, 2024.

Onorm B3355-1 (Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Bauwerksdiagnose und Planungsgrundlagen).

Z výsledku analýz vyplývá, že skalisko obsahuje zvýšené množství síranů jak na povrchu, tak v hloubce materiálu. Pro snížení obsahu solí je nutné provést odsolení objektu.

3.4.3 Průzkum povrchových vrstev

Stratigrafie a materiálový průzkum vybraných vrstev

Stratigrafie povrchových barevných úprav se provádí za účelem detailní analýzy vrstev polychromie. Tímto způsobem je možné určit jednotlivé vrstvy barev a nečistot na odebraných vzorcích polychromie.

Stratigrafie byla provedena na úlomcích a nábrusech zhotovených z pěti odebraných vzorků polychromie pomocí optické mikroskopie a skenovací elektronové mikroskopie (SEM). U vybraných vrstev bylo pomocí optické mikroskopie a skenovací elektronové mikroskopie s energiově-disperzní rentgenovou analýzou (SEM-EDX) zjištěno prvkové složení.

Z výsledků analýz vyplývá že dílo bylo v minulosti vícekrát povrchově upravováno. Na vzorcích bylo nalezeno několik různě tlustých vrstev barvy a nečistot. Některé vrstvy nejsou od sebe jednoznačně oddělitelné. Nejstarší povrchové úpravy jsou nejspíše zachovány ve fragmentární podobě, na některých vzorcích nebyly vůbec zaznamenány nebo nebyly čitelné. Jedná se pravděpodobně o světlý podklad s bílou hlinkou (vrstva 1) a oranžovo-růžovou polychromií inkarnátu (vrstva 2) zaznamenané na vzorcích z tváře.

PŘÍLOHA II – PŘEHLED VZORKŮ A VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU STRATIGRAFIE PVRCHOVÝCH ÚPRAV					
Vzorek	11311/VZP1	11312/VZP2	11313/VZP3	11314/VZP4	11315/VZP5
Optická mikroskopie, bílé světlo					
Optická mikroskopie, UV luminescence					
Skenovací elektronová mikroskopie SEM/BSE					
Výstavba povrchových úprav					
	černá 4	oranžovo-žlutá 8 až 10	tyrkysová 10 šedá 9 fragment hnědá 8	bílá 8	oranžovo-žlutá 11, 12
	žlutá 3	žlutá 6, 7	žlutá 6, 7	žlutá 7	žlutá 9, 10 silná béžová 8
	černé vrstvy 1, 2	růžové 3 až 5 hnědo-červená 2 bílá 1	modré 3 až 5 tenká černá 2 šedo-hnědá 1	modré 4 až 6 bílá 3 fragменты šedé 1	fragменты tyrkysové 7 růžové 2 až 6 bílá 1
	úloemek pískovce 0	fragment pískovce 0	-	-	-

Tabulka 5 přehled vzorků a výsledků stratigrafie povrchových úprav

Dalšími vrstvami polychromie jsou zřejmě alespoň dvě vrstvy v růžových až nahnědlých odstínech inkarnátu a modré a bílé barvy draperie. Tyto fáze mají vysoký obsah zinkové běloby vyznačující se charakteristickou luminiscencí.

Následující vrstva vyznačující se výraznou žlutou barvou byla zaznamenána na všech vzorcích, na některých ve dvou vrstvách. Obsahuje barytovou bělobu a žluté pigmenty na bázi chromu, olova případně barya a zinku, pravděpodobně se jedná o chromovou žluť. Nejspíše se mělo jednat o jakýsi scelující nátěr pro následnou polychromii. Vrstvení posledních, zřejmě dvou vrstev není vždy jednoznačné a vyznačuje se dvěma srovnatelnými okrovo-oranžovými nátěry v inkarnátu. V draperii byla znamenána světle modrá a bílá barevnost.

Kompletní výsledky jsou uvedeny v průřezu,⁴⁴ který je k nahlédnutí v příloze 8.2.2 Chemickotechnologický průřez.

Sondážní průřez

Pro zhodnocení stavu vrstev polychromie byl vizuálně prozkoumán povrch a bylo vytvořeno několik sond. Číslování vrstev na fotkách je orientační a na každém obrázku (sondě) je číslování jiné. Číslo 0 označuje podklad, kámen, a jednotlivé vrstvy jsou číslovány od 1 označující nejstarší vrstvy.

Sonda č.1 byla provedena na obličejí v přechodu mezi nosem a tváří s rozšířením k puse. V této sondě se podařilo vytipovat pět barevných vrstev.

0- Kámen

0_A- tmel

1- Narůžovělá vrstva

2- Běžová vrstva, přechází i přes tmel na nose

3- Okrovo-hnědá vrstva, v této vrstvě byla nalezena pomalování pod nosem a červená barva na puse

4- Výrazně žlutá barva

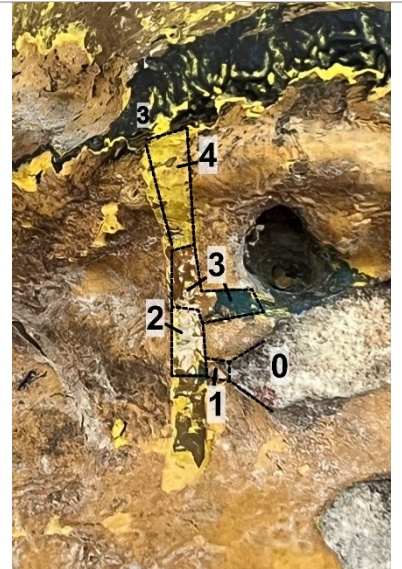
5- Okrovo-oranžová vrstva, nejmladší, místy bylo možné rozpoznat dvě vrstvy obdobné barvy



⁴⁴ LESNIAKOVÁ, Petra. *Průřez složení a stratigrafie povrchových úprav: Kamenná polychromovaná socha rybáře*. Litomyšl, Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Universita Pardubice, 2024.

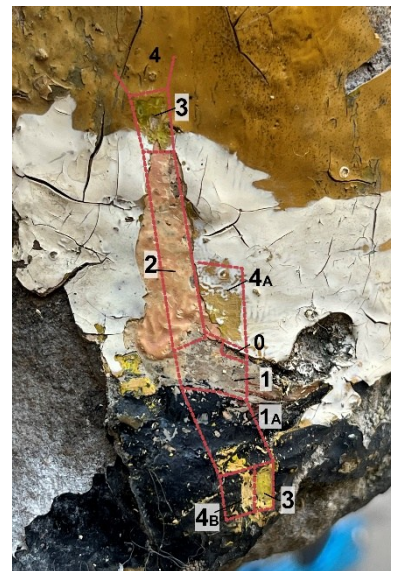
sonda č. 2 je menší sonda provedená v levém oku.

- 0- Kámen
- 1- Narůžovělá vrstva
- 2- Běžová vrstva
- 3- Okrovo-hnědá vrstva v oku přecházející do modré barvy.
V této vrstvě je černou barvou zvýrazněno obočí
- 4- Žlutá vrstva
- 5- Okrovo-oranžová vrstva



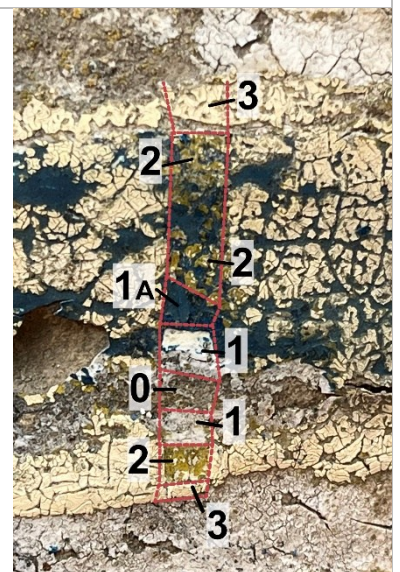
sonda č. 3 byla vytvořena na pravé noze chlapce v přechodu mezi botou a holení. V této sondě bylo nalezeno zdánlivě nejvíce vrstev, ale po bližším zkoumání bylo konstatováno, že některé vrstvy jsou ze stejné etapy.



- 0- Kámen
- 1- Běžovo-okrová vrstva
 - 1A- černá vrstva, nejspíše bota, nejspíše stejná etapa jako 1
- 2- Růžová vrstva
- 3- Žlutá barva
- 4- Nejmladší okrovo-oranžová vrstva
 - 4A- bílá vrstva, nejspíše má zpodobňovat ponožku
 - 4B- černá vrstva, nejspíše bota, pravděpodobně stejná etapa jako 4



sonda č. 4 byla provedena na kraji límečku.

- 0- Kámen
- 1- Bílá vrstva
 - 1A- modrá vrstva, pravděpodobně stejná etapa jako 1
- 2- Žlutá vrstva, velice zkrakelovaná
- 3- Bílá vrstva, více do béžova než vrstva 1, velmi zkrakelovaná



<p>sonda č. 5 byla provedena na draperii pravé ruky chlapce.</p> <ul style="list-style-type: none"> 0- Kámen 1- Modrá vrstva 2- Tmavší modrá, nejspíše nečistoty 3- Žlutá vrstva 4- Fragменты modrozelené barvy 	
<p>Fotografický záznam fragmentárně dochované zelené a světle modré nejmladší vrstvy.</p>	

Tabulka 6 sondážní průzkum

Z průzkumu povrchových vrstev vyplývá, že dílo bylo několikrát barevně obnovováno. Jednotlivé vrstvy barev jsou těžko odlišitelné a obtížně zařaditelné do jednotlivých etap. Jednou konkrétní etapou, kterou můžeme vrstvy rozdělit, je souvislá výrazně žlutá barva, která byla nanесena na celý povrch sochy a měla nejspíše sloužit jako scelující podklad. Vrstvy nanесené na tuto žlutou můžeme zařadit do jedné etapy. V inkarnátu se jedná o jednu až dvě vrstvy okrovo-oranžové barvy s promalováním očí, obočí, bot a ponožek. Na draperii se jedná o fragmentárně zachovanou světle modrou a zelenou vrstvu barvy.

Mladší vrstvy pod žlutým podkladem je charakteristický obsah zinkové běloby, jsou to 1 až 2 vrstvy v draperii modré a bílé barvy, v inkarnátu jsou okrovo-hnědé. Tato etapa je dobře zachovaná a promalovaná. V obličejí bylo například nalezeno modré oko a červené rty. Pod touto etapou se nejspíše nachází béžová vrstva pravděpodobně bez promalování. Nejstarší vrstvou je fragmentárně zachovaná narůžovělá barva.

3.4.4 Zkoušky materiálů a technologií

Zkouška rozpustnosti a čištění usazených depozitů

Na objektu byla zkoumána především polychromie, na které byly, kromě stratigrafie a sondážního průzkumu, provedeny zkoušky rozpustnosti. Zkoušky byly provedeny demineralizovanou vodou, acetonem a toluenem nanесenými vatovou tyčinkou na povrch a lehce setřeny.

Rozdíly mezi rozpouštědly nebyly nijak zásadní. Na vatových tyčinkách lehce ulpívala barva, ta zde však zůstávala patrně po mechanickém oděru a výsledky zkoušek byly tedy pravděpodobně zkrasleny mírou poškození barevných vrstev.

Všechna rozpouštědla také zbavovala povrch usazených nečistot. Jejich použití však musí být šetrné a vatovým tamponkem je doporučeno povrch spíše tupovat než stírat. Popřípadě je také možné použít houbu Blitz-Fix namočenou ve vodě. Suché čištění není doporučeno vzhledem k nutnosti povrch třít, což může způsobit narušení polychromie. Suché čištění bylo provedeno měkkou houbou wishab, melaninovu nanohoubičkou.

Zkoušky fixace krakelované polychromie

Pro zkoušky byly vybrány přípravky Padraloid B72, Lascaux Medium for Consolidation a disperze K9 od značky Kremer. Přípravky byly aplikovány pod oddělenou polychromii pomocí injekční jehly a stříkačky, v případě media a K9 byla místa před aplikací navlhčena demineralizovanou vodou s lihem pro lepší zatékavost do prasklin. Přípravky byly testovány v různých koncentracích. Po aplikování přípravku byla místa nahřata mikrohorkovzdušnou pistolí s regulací teploty a zažehlena přes folii kovovou špachtlí.

Zkoušky prokázaly, že nejvhodnějším přípravkem je Medium for Consolidation v koncentraci od 15 % do 30 % (což je přibližná koncentrace zakoupeného přípravku bez ředění). Koncentrace se odvíjí od síly polychromie a velikosti krakel. Na menší krakely, které je možné i lépe prohrát, lze použít nižší koncentraci. U vyšší koncentrace je nutné dbát na to, aby po aplikaci přípravku byly přebytečné kapky media očištěny houbičkou, jinak hrozí lehké lesknutí povrchu. Ze zkoušek vyplynulo také to, že je lepší aplikované medium v prasklinách nejprve nechat uschnout a poté až tepelně nahřát a zažehlit. Paraloid B72 nebyl vybrán vzhledem k jeho vysokému lesku i v nízkých koncentracích a horší zpracovatelnosti. Disperze K9 nepřilepila krakely dostatečně pevně ve srovnání s Mediem.

Zkoušky tmelů

Pro zkoušky tmelů byly namíchány tři směsi v poměru plniva vůči pojivu 3:1. Jako pojivo byl zvolen bílý cement s hydraulickým vápnem 3,5 v poměru 1:1. Poměry plniva jsou uvedeny níže v tabulce. Maltové směsi byly rozmíchány v 5 % disperzi Sokrat 2802A a do všech směsí byl přimíchán černý pigment (révová čern).

tmel	Střelec T56	Černuc okr světlý, <0,500 mm	Záměl, <1 mm
1	5	1	1
2	7	1	1
3	5	1	X

Tabulka 7 poměry písků na zkoušky tmelů



obrázek 8 zkouška tmelů

Pro tmelení byla vybrána maltová směs 1 s poměrem písku 5:1:1 Střeleč, Černuc, Záměl. Tmel byl po vyzrání dostatečně pevný a nejlépe vyhovoval barveným odstínem i strukturou.

3.5 Vyhodnocení průzkumu

Z výsledků chemicko-technologického průzkumu vyplývá, že povrchové vrstvy jsou výrazně degradovány. Povrch kamene je poškozen vlivem vodorozpustných solí (síranů) a pískovatí. Vlivem povětrnostních podmínek dochází ke krakelování polychromie a na mnohých místech odpadá i s hmotou kamene. Hlava a části končetin byly v minulosti uraženy. Hlava a některé končetiny byly k tělu přilepovány na kovový čep, jiné byly domodelovány v tmelu.

Barevná povrchová úprava byla několikrát obnovována. Mladší obnovy polychromie byly prováděny bez doplňování chybějících hmot a schematicky bez většího rozmyslu a promalovávání detailů.

3.6 Koncepce restaurování

Socha mladého rybáře je drobná lokální (vesnická) památka hodnotná pro místní obyvatele, kterým dotváří kolorit jejich okolí. S ohledem na tuto skutečnost bylo rozhodnuto pro rekonstrukční zásah, který respektuje dochovaný stav díla a jeho vnímání v malé obci.

Cílem zásahu bylo zajištění a redukování degradačních procesů, jeho obnova a celková konzervace, a to jak barevných povrchových vrstev, tak povrchu a hmoty kamene. Byla respektována barevná úprava sochy, která prezentuje starší dochovanou vrstvu s určitou estetickou hodnotou vybranou na základě průzkumu. Nejmladší vrstvy polychromie byly nanесeny schematicky bez většího vnímání detailů a modelace sochy, proto bylo rozhodnuto pro jejich sejmutí. Plastické rekonstrukce byly doplněny tak, aby podpořily celistvost figury. Pro vizuální sjednocení díla byla zvolena nápodobivá retuš, provedená reverzibilními barvami na základě dochované barevné polychromie a dohledaných analogií. Socha je prezentována ve starší barevné úpravě podpořené nápodobivou retuší v místech bez polychromie. po restaurování byla socha navráćena navráćení zpět na místo u vodní nádrže na návsi obce Červené Janovice.

Vzhledem k tomu, že dílo bylo navráćeno zpět na náves, bylo by vhodné, pro stabilitu a delší životnost zásahu a díla samotného, zamezit kontaktu se vzlínající a dopadající vodou. Toho je možné docílit vhodnou úpravou povrchu, na němž je dílo umístěno a případným vybudováním estetické stříšky chránící před dešťovou vodou.

3.7 Restaurování

3.7.1 Postup prací

Objekt byl nejprve fotograficky zdokumentován a prozkoumán, fotografie byly pořizovány i v průběhu restaurování. Povrch byl ošetřen 10 % *Ajatinem plus* pro umrtvení zbytků biologického napadení. Bio napadení bylo lokálně šetrně odstraněno měkkými kartáčky a skalpelem. Následně byla lokálně

zpevněna skála s dezintegrováním povrchem pomocí injekční jehly a stříkačky. Po zpevnění byl povrch skály odsolen pomocí zábalů. Souběžně s odsolováním probíhala fixáž krakelovaného povrchu. disperze použitá pro fixaci byla aplikována pomocí injekční jehly pod krakely, které byly následně zažehleny horkovzdušnou mikropájkou přes folii. Byly odstraněny kovové zbytky armatur a dožilé tmely. Následoval mechanický odkryv mladších vrstev polychromie skalpelem, přičemž na obličejí byly následně žlutá vrstva odstraněna pomocí toulenu a vatových smotků. Modelování chybějících končetin proběhlo nejprve v hlíně. Hliněné modely pak byly odlity a vydusány z umělého kamene ze směsi zvolené na základě zkoušek. Zároveň bylo provedeno tmelení chybějících částí kamene a přilepení oddělené hlavy bodově epoxidovým lepidlem, do spoje byla přidána i nerezová armatura pro zvýšení stability spoje. Lepené spoje byly vyplněny injektážní směsí. Na závěr byla provedena barevná retuš polychromie nápodobivou retuší. Povrch byl před tím separován a zafixován 2% Paraloidem B72.

3.7.2 Použité materiály a technologie

Čištění

- 10 % Ajatin plus, skalpel, plastový kartáček

Zpevňování

- organokřemičitan KSE 100 a 300 od značky Remmers

Odsolování

- zábal vytvořený z buničiny Arbocel, křemičitého písku Střeleč T56 a kaolinu v poměru 2:5:1 a demineralizované vody

Fixáž polychromie

- 15–30% Medium for Conservation, horkovzdušná mikropájka s regulací vzduchu a teploty, kovové špachtle, vatový polštářek

Odkryv

- skalpel, toluen (jen na žlutou vrstvu na hlavě), vatové tyčinky a smotky

Modelování

- hlína, dřevěné špachtle a kovová očka

Lepení

- epoxidové lepidlo AkepoX 5010, Paraloid B72 (na separaci povrchu), klínky, kurty
- injektážní malta Ledan TB1

Tmelení

- tmel v poměru 1:3 pojiva a plniva, plnivo složeno z písků Střeleč T56, Černuc okr (<0,005mm) a Záměl (<1mm), pojivo 1:1 bílý cement a NHL 3,5
- Doplnky z umělého kamene – stejná maltová směs jako u tmelení, sádra, silikon, špachtle

Barevná retuš

- Restaurátorské barvy Gamblin Conservation Colors, retušovací štětce, paleta
- 2 % B72 pro separaci a fixaci povrchu před barevnou retuší

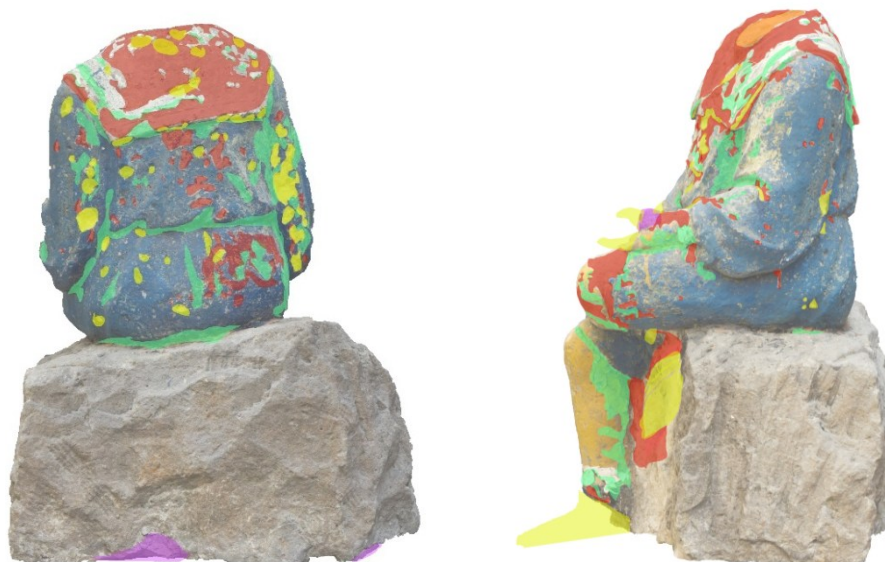
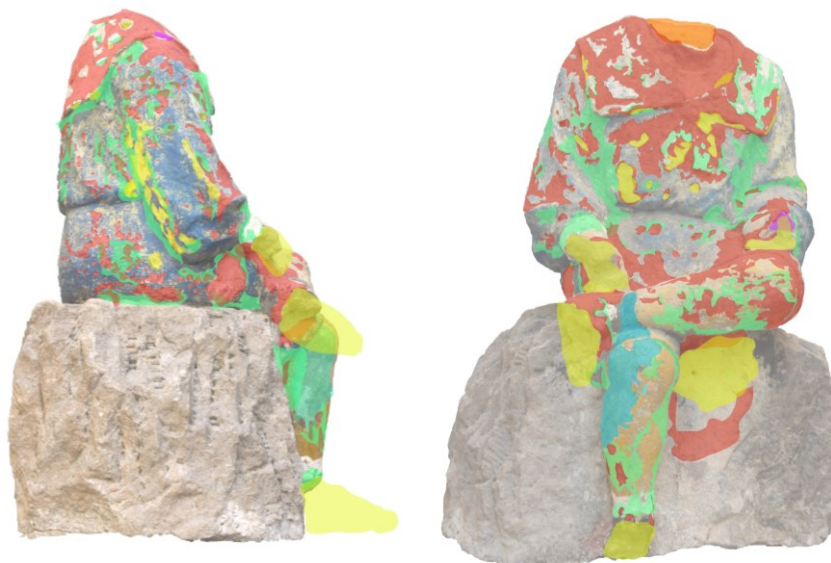
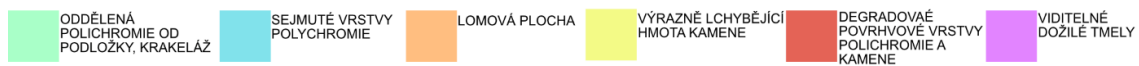
3.7.3 Nová zjištění

Při snímání žluté vrstvy na hlavě bylo zjištěno, že je možné tuto vrstvu rozpustit v toluenu, aniž by docházelo k poškození vrstvy pod ní, na rozdíl od modré draperie. Toto by mohlo být způsobeno tím, že polychromie na hlavě byla více celistvá a chránila tak starší vrstvu, zatímco stejně stará vrstva na draperii byla více odhalená, a tím pádem déle exponovaná povětrnostním vlivům.

3.8 Doporučený režim památky

Vzhledem k navrácení objektu zpět na náves vedle vodní nádrže bude dílo znovu vystavené povětrnostním vlivům – především vzlínající a srážkové vodě. Pro památku tohoto typu není vhodné dlouhodobé umístění v exteriéru zvláště pro životnost barevné úpravy (polychromie). Měla by být zvážena možnost přesunu památky na méně namáhané místo do polo-exteriéru nebo interiéru a zhotovení kopie umístitelné na původní místo sochy u rybníčku. Životnost památky je možné prodloužit vybudováním vhodného podkladu, díky kterému se sníží zatížení vzlínající vlhkostí od země a prováděním pravidelné údržby zeleně v okolí objektu, které může snížit ulpívání biologického napadení na povrchu. Na zimní měsíce je doporučeno objekt přikrýt pod stříšku nebo do dřevěného boxu, aby se zamezilo namáhání památky v důsledku ulpívání sněhu a následných mrazových cyklů vody. Také včasné zajištění drobných prasklin a jiných degradačních procesů na povrchu výrazně prodlouží životnost památky. Je doporučena pravidelná kontrola stavu památky minimálně jednou ročně po zimním období. Případné opravy a další zásahy do objektu by měla provádět kvalifikovaná osoba – restaurátor.

3.9 Grafická zákresy



obrázek 9 grafické zákresy, před restaurováním

■ NEREZOVÉ ARMATURY ■ NOVÉ TMELY



obrázek 10 grafické zákresy, po restaurování

3.10 Fotografická dokumentace

Před restaurováním



obrázek 11 přední strana, tělo s hlavou, před restaurováním



obrázek 12 pravá strana, tělo, před restaurováním



obrázek 13 levá strana, tělo, před restaurováním



obrázek 14 zadní strana, tělo, před restaurováním



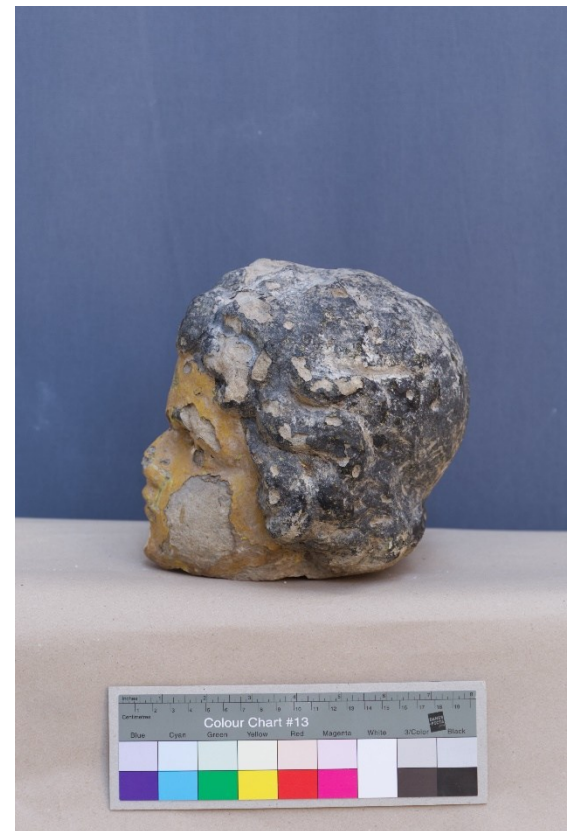
obrázek 15 přední strana, hlava, před restaurováním



obrázek 16 levá strana, hlava, před restaurováním



obrázek 17 zadní strana, hlava, před restaurováním



obrázek 18 pravá strana, hlava, před restaurováním



obrázek 19 odlomené fragmenty



obrázek 20 detail odlomené pravé ruky, se zbytkem tmelu a vyčnívající armaturou, zaschnutá kapka steklé barvy



obrázek 21 detail pravé nohy, zkrakelovaná polychromie



obrázek 23 detail pravého ramene zezadu, chybějící polychromie, pravidelný hlubší kulatý otvor



obrázek 22 detail pravé strany těla, límce, degradovaný povrch a povrchové vrstvy, odkrytý detail jemné modelace šátku



obrázek 24 detail levé nohy, odpadlé chodidlo, otvor po armatuře



obrázek 25 detail skály, stopy po kamenickém nářadí

Po snímání mladších vrstev polychromie



obrázek 26 přední strana, tělo, průběh modelování a po snímání



obrázek 27 levá strana, tělo, během modelování, po snímání



obrázek 28 levá strana, tělo, během modelování, po snímání



obrázek 29 zadní strana, tělo, po snímání



obrázek 30 přední strana, hlava, po snímání

Tmelení a modelování



obrázek 31 přední strana, po tmelení a modelování



obrázek 32 pravá strana, po tmelení a modelování



obrázek 33 levá strana, po tmelení a modelování



obrázek 34 zadní strana, po tmelení a modelování

Po osazení plastických doplňků a během barevné retuše



obrázek 35 přední strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše



obrázek 36 pravá strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše

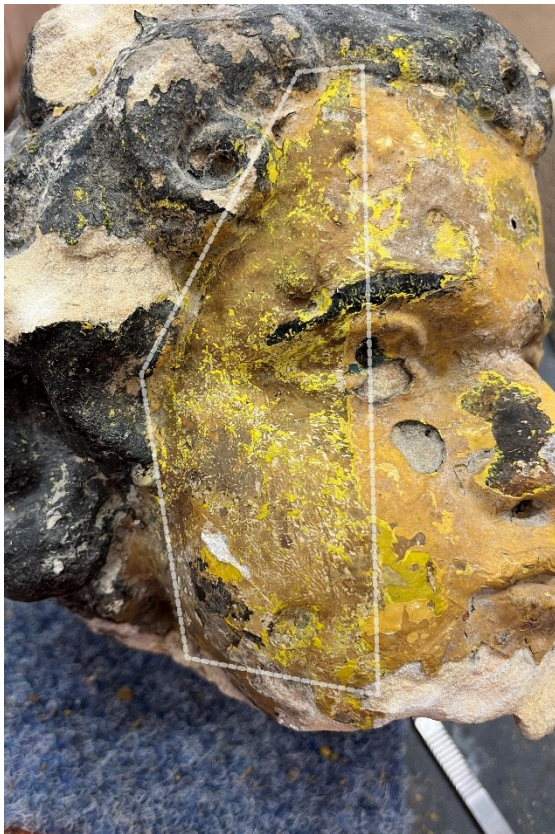


obrázek 37 levá strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše



obrázek 38 zadní strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše

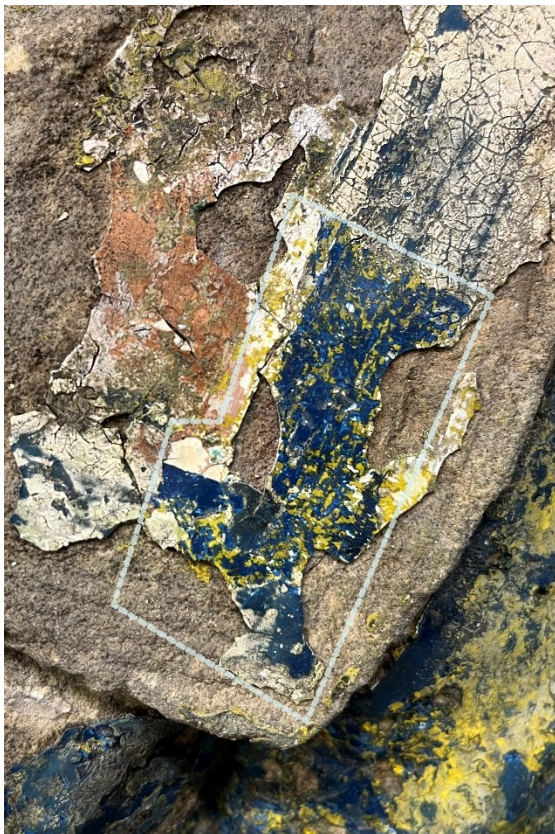
Průběh prací



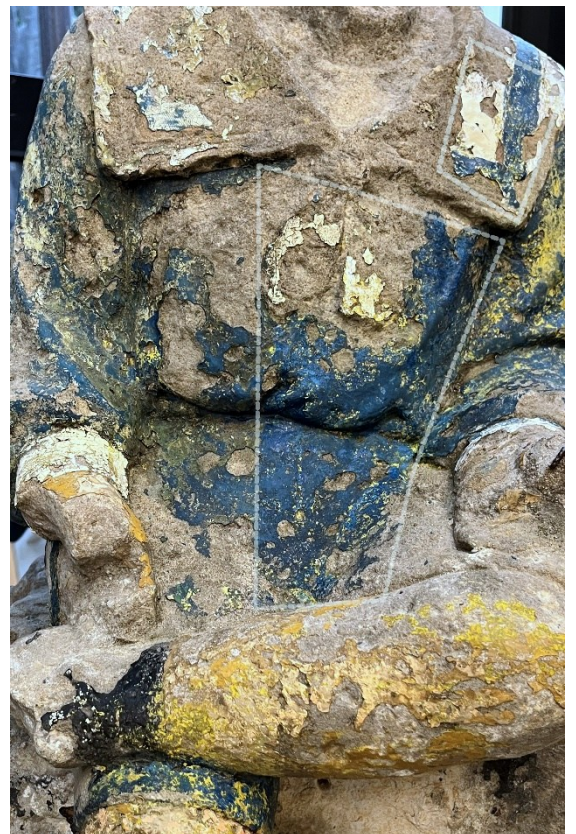
obrázek 39 průběh snímání, levá tvář, hlava



obrázek 40 průběh snímání, vlasy



obrázek 41 průběh snímání límeček



obrázek 42 průběh snímání, pravá pŕlka tĕla



obrázek 44 sejmutí dožilého tmelu na levé ruce



obrázek 43 příprava podpůrného lešení na modelování chybějících bot



obrázek 46 průběh modelování



obrázek 45 tvorba výdusků z umělého kamene



obrázek 47 záznam bodově naneseného lepidla pro lepení fragmentů k hlavě



obrázek 48 lepení hlavy k tělu



obrázek 50 průběh barevných retuší



obrázek 49 barvené retušování

Po restaurování



obrázek 51 přední strana po restaurování



obrázek 52 pravá strana po restaurování



obrázek 53 levá strana po restaurování

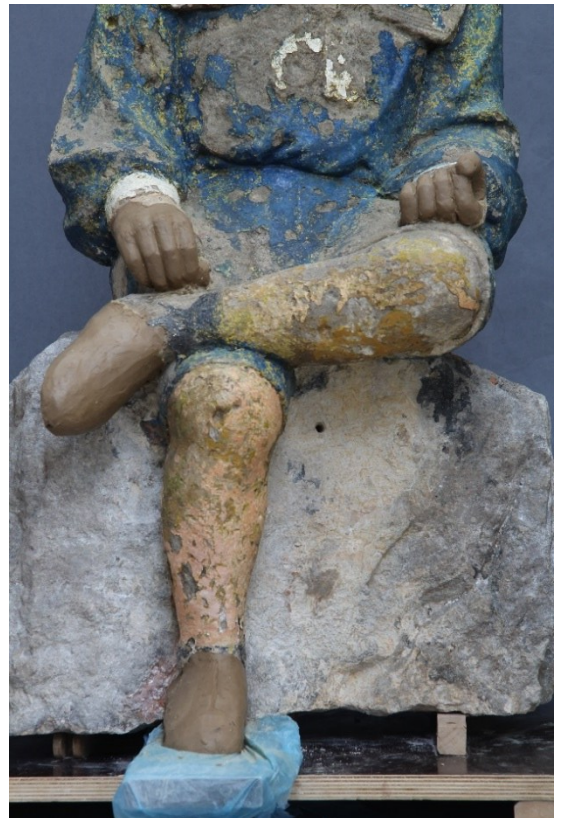


obrázek 54 zadní strana po restaurování

Porovnání jednotlivých restaurátorských fází zásahu



obrázek 55 detail spodní části těla z předu po restaurování



obrázek 56 detail spodní části těla z předu po snímání



obrázek 57 detail spodní části těla z předu po tmelení a modelování



obrázek 58 detail spodní části těla z předu po restaurování



obrázek 59 detail pravé části těla, límec, před restaurováním



obrázek 60 detail pravé části těla, límec, po snímání



obrázek 62 detail pravé části těla, límec, po tmelení a modelování



obrázek 61 detail pravé části těla, límec, po restaurování



obrázek 63 přední strana po restaurování s "rybářským" prutem

4 Závěr

Restaurování polychromované sochy mladého rybáře z obce Červené Janovice představovalo komplexní restaurátorský zásah, jehož hlavním cílem byla stabilizace stavu díla a omezení probíhajících degradačních procesů. Umělecko-historický průzkum odhalil podrobné informace o vzniku díla, díky nimž bylo možné identifikovat autora – Adolfa Štýchu ze Zbraslavic, a datovat osazení (a pravděpodobně i samotné vytvoření sochy) do roku 1911.

Podrobný sondážní a chemicko-technologický průzkumu umožnil identifikovat několik vrstev polychromie. Na základě těchto zjištění byla vybrána reprezentativní vrstva, přičemž bylo rozhodnuto o sejmutí mladších vrstev a prezentaci esteticky hodnotnější a promalované starší vrstvy. O zachování této barevné úpravy bylo rozhodnuto i s ohledem na skutečnost, že socha pravděpodobně původně nebyla polychromovaná. Volba prezentace promalované vrstvy polychromie, doplněné nápodobivou retuší, umožnila zachovat charakter díla a zároveň zajistit jeho vizuální čitelnost pro veřejnost.

Případ restaurování sochy mladého rybáře ukazuje, že i drobné lokální památky představují významnou kulturní i historickou hodnotu, kterou je třeba chránit. Restaurování a obnovení této sochy tak přispělo nejen k zachování původního díla, ale i ke kultivaci veřejného prostoru obce.

Dalším předmětem diplomové práce bylo také kritické posouzení možnosti redukce obsahu sádrovce v povrchových vrstvách pískovce (sádrovcových endokrustách) a posouzení vlivu prekonsolidace a konečné konsolidace degradovaných vrstev na průběh odsolování. V rámci experimentu byla věnována pozornost jak různým odsolovacím postupům v kombinaci s konverzí sádrovce a pre-/konsolidací degradovaných vrstev, tak přípravě samotných experimentálních vzorků napodobujících reálnou sádrovcovou endokrustu.

Na základě provedeného experimentu lze konstatovat, že příprava vzorků imitující sádrovcovou endokrustu a degradaci pískovce s tím spojenou je složitým procesem, při kterém je obtížné dosáhnout vzorků, které umožňují reprodukovat testování a věrně napodobují sádrovcovou endokrustu. Část testovaných vzorků se ukázala být nevhodná a pro příští výzkum nebo odborné studie by bylo i proto vhodné hledat další možnosti tvorby endokrusty s mikrostrukturou i vlastnostmi co nejpodobnějšími reálným případům.

Finální vzorek s tenkou vrstvou sádrovo-pískové směsi se od reálných krust do jisté míry liší zejména menší kompaktností, mírně vyšší pórovitostí a mnohem menšími krystaly sádrovce. I přestože byla na testovacích vzorcích ve všech případech prokázána dobrá penetrace organokřemičitých prostředků, lze předpokládat, že reálné sádrovcové krusty budou méně nasákové a méně propustné pro konsolidanty.

Při srovnávání účinnosti redukce obsahu sádrovce byly reakční obklady s EDTA účinnější než obklady s uhličitanem amonným. Zásadním zjištěním je, že prekonsolidace organokřemičitany zvyšuje pevnost

povrchu, aniž by bránila redukci sádrovce, a může tak snižovat riziko rozpadu originálního povrchu kamenosochařských a uměleckých děl.

Výsledky diplomové práce sice přináší nové poznatky k danému tématu, ale vzhledem k rozsahu práce zůstali některé otázky nezodpovězené. Bylo by proto vhodné navázat na toto téma dalšími výzkumy a studii, které by se mohli zaměřit např. na posouzení úplného odstranění sádrovce z povrchové endokrusty po prekonsolidaci bez významných ztrát originálního povrchu, na možnost zvýšení účinnosti prekonsolidace jinými typy konsolidačních prostředků či jejich kombinací, nebo také na posouzení případných rizik prekonsolidace z hlediska eroze povrchu v budoucnu.

5 Použitá literatura a prameny

ARCHIV OBCE ČERVENÉ JANOVICE. 1912-1294. *Pamětní kniha obce Červených Janovic 1906*. In: Archiv obce Červené Janovice. Místo: Státní okresní archiv Kutná Hora. Dostupné z <https://ebadatelna.soapraha.cz/a/276/13>

BAYER, Karol, Gypsum – an overlooked corrosive factor for some types of silicate sandstones in Bohemia. A case study on the example of the stone adornment corrosion on the facing leaf of st. Peter and Paul's cathedral in Brno. In: *European Research on Cultural Heritage, State of the Art Studies, Proceedings of the ARCCHHIP Workshops supported from EC 5th FP Projects No. ICA1-CT-2000-70013*. Prague 2006. s. 97-108; ISBN 80-86246-28-0

BAYER, Karol, *Malty a minerální pojiva*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE v Litomyšli 5. listopadu 2020.

BAYER, Karol, *Water-soluble salts and their impact on Cultural Heritage objects*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE v Litomyšli 4. prosince 2020

BAYER, Karol, *Přírodovědné principy metod čištění kamene, omítek, povrchu architektury a nástěnných maleb*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE, v Litomyšli, 26. 3. 2021.

ĎOUBAL, Jakub. Postupy k obnově památek v druhé polovině 19. století. In: *Kamenné památky Kutné Hory: Restaurování a péče o sochařská díla*. 2015. ISBN 978-80-7395-906-7.

HALL, James; ROYT, Jan a PLZÁK, Allan. *Slovník námětů a symbolů ve výtvarném umění*. Praha: Mladá fronta, 1991. ISBN 80-204-0205-5.

CHARLOTA, A. Elena; PHÜRINGER, Josef a STEIGER, Michael. Gypsum: a review of its role in the deterioration of building materials. Online. *Environmental Geology*. 2007, vol. 52, s. 339-352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0566-9>. [cit. 2025-07-31].

KORÁBKOVÁ, Zuzana. *Dokumentace restaurátorského průzkumu a záměru: Polychromovaný rybář, Červené Janovice*. Litomyšl: Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2022.

KOTLÍK, Petr. *Stavební materiály historických objektů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-7080-347-9. Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/>. [cit. 2025-07-30].

KOTLÍK, Petr. Konsolidanty kamene – historie a současnost. In: HEČKOVÁ, Petra; HORÁK, Petr a MACHAČKO, Luboš (ed.). *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 183-194. ISBN 978-80-7395-594-6.

KYBALOVÁ, Ludmila. *Od empiru k druhému roko. Dějiny odívání, sv. 5*. Praha: Lidové noviny, 2004. s. 158–159. ISBN 80-7106-147-6.

LESNIAKOVÁ, Petra. *Kamenná polychromovaná pískovcová socha sedícího chlapce*. Litomyšl, Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Universita Pardubice, 2024.

MATYÁŠEK, Jiří a SUK, Miloš. *Sádrovec*. Online. Přehled minerálů a hornin E-learning Katedry biologie PdF MU. 2007. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pdf/js10/minerals/web/index.html> [cit. 2025-07-31].

MATTEINI, Mauro. In Review: An Assessment of Florentine Methods of Wall Painting Conservation Based on the Use of Mineral Treatments. In: CATHER, Sharon (ed.). *The Conservation of Wall Paintings: proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, July 13-16, 1987*. London: Getty Conservation Institute, 1991, s. 137-148. ISBN 0-89236-162-X.

NUNES, Cristiana; SANCHEZ, Asel Maria Aguilar; GODTS, Sebastiaan; GULOTTA, Davide; IOANNOU, Ioannis et al. Experimental research on salt contamination procedures and methods for assessment of the salt distribution. Online. *Construction and Building Materials*. 2021, vol. 298. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123862>. [cit. 2025-07-27]. V SCHWARZ, Hans-Jürgen. *Salts and Salt Mixtures*. Online. SaltWiki. Dostupné z: https://www.saltwiki.net/index.php/Salts/Salt_Mixtures. [cit. 2025-05-19]. V dokončení diplomové práce jsou stránky aktuálně nedostupné.

SCHWARZ, Hans-Jürgen *Gypsum*. Online. Saltwiki. Dostupné z: <https://www.saltwiki.net/index.php/Gypsum>. [cit. 2025-05-19]. V dokončení diplomové práce jsou stránky aktuálně nedostupné.

SLÍŽKOVÁ, Zuzana. Zdroje solí, jejich transport a působení ve zdivu. In: *Odsolování zdiva památkových objektů*. Praha: STOP Společnost pro technologie ochrany památek, 2019. ISSN 1212-4168.

STEIGER, M. Salts and Crusts: Mobility and Hygroscopicity of Salts. In: BRIMBLECOMBE, Peter (ed.). *The Effects of Air Pollution on the Built Environment*. Imperial College Press, 2003, s. 133-181. ISBN 978-1-86094-291-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1142/p243>.

ŠKRABALOVÁ, Adela, *Možnosti odstranění druhotných vápenných nátěrů z vápenných podkladů: čištění chelatačními činidly*. Přednáška. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE. V Litomyšli 26. 2. 2025.

TORRACA, Giorio. *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Online. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2009. ISBN 978-0-9827668-3-5. Dostupné z: http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/materials_science_architectural_conserv. [cit. 2025-08-01].

Vicksburg-Warren-County Memorial. Online. The historical marker database. 2006-2004n. 1. Dostupné z: <https://www.hmdb.org/m.asp?m=109893>. [cit. 2024-09-03].

VÍTKOVÁ, Eliška. *Restaurátorská dokumentace: Pískovcový podstavec vázy na ohradní zdi francouzské zahrady zámku Litomyšl*. Ročníková práce, vedoucí Petra Zítková. Litomyšl: Fakulta restaurování UPCE, 2022.

Webové stránky: *Remmers*. Online. Dostupné z: <https://www.remmers.cz/cs/ochrana-a-obnova-pama%CC%81tek/zpevneni%CC%81/kse-300/p/0000000000000072005>. [cit. 2025-08-01].

Obrázky:

King Edward VII (1841-1910), when Albert Edward, Prince of Wales. Online. In: Royal Collection Trust. Dostupné z: <https://www.rct.uk/collection/stories/royal-travel/king-edward-vii-1841-1910-when-albert-edward-prince-of-wales>. [cit. 2024-09-03].

Pierre-Auguste Renoir Sailor Boy (Portrait of Robert Nunès). Online. In: Barnes. C 2024. Dostupné z: [https://collection.barnesfoundation.org/objects/5064/Sailor-Boy-\(Portrait-of-Robert-Nunes\)/](https://collection.barnesfoundation.org/objects/5064/Sailor-Boy-(Portrait-of-Robert-Nunes)/). [cit. 2024-09-03].

Sailor Suit. Online. Album 1900. C 2001-2018. Dostupné z: <http://www.album1900.com/glossary/sailorsuit/sailorsuit.php>. [cit. 2024-09-03]

21 Sailor Clipart. Online. In: The Graphics Fairy. C2007-2024. Dostupné z: <https://thegraphicsfairy.com/vintage-sailor-lady-image-gibson-girl/>. [cit. 2024-09-03].

6 Seznam použitých zkratk

Tzv. – takzvaně

Např. – například

tj. – to je, to jiné

resp. - respektive

UV – ultrafialové, ultraviolet (záření)

VIS – viditelné, visible light (záření)

REM-BSE - Skenovací elektronová mikroskopie s detektorem zpětně odražených elektronů

SEM-EDX - Skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikro analýzou

DRMS – odporové vrtání

EDTA - kyselina ethylendiamintetraoctová, soli kyseliny ethylendiamintetraoctová

7 Seznam obrázků

obrázek 1 snímek REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů, nábrus, spodní část s krystaly sádrovce – převzat z Materiálového průzkumu vzorků z dekorativní vázy s podstavcem z ohradní zdi zámku v Litomyšli provedeného na katedře chemické technologie v roce 2021.....	20
obrázek 2 graf s výsledky z měření DRMS – krusta na povrchu pískovce, povrch je výrazně pevnější než hlubší vrstvy kamene (vyznačeno šipkou); za povrchovou krustou s tloušťkou 2-3 mm následuje degradovaná zóna pískovce s nižší pevností (vyznačeno kroužkem) – graf převzat z Materiálového průzkumu vzorků z dekorativní vázy s podstavcem z ohradní zdi zámku v Litomyšli provedeného na katedře chemické technologie FR UPCE v roce 2021	21
obrázek 3 puchýřovatění povrchu pískovce vlivem sádrovcové endokrusty - podstavec dekorativní vázy ze zámku v Litomyšli	22
obrázek 4 schéma kapilární kontinuální absorpce (1) a schéma uměle vytvoření krusty z písku/směsi písku a sádrovce kropeného nasyceným roztokem síranu vapanatého (2).....	30
obrázek 5 portrét prince z Walesu 1946, budoucí Král Edward VII	43
obrázek 6 obal Tulip soap, s chlapcem v námořním oblečku chytajícího ryby.....	44
obrázek 7 chlapec v námořním oblečení, Pierre-Auguste Renoir	44
obrázek 8 zkouška tmelů.....	50
obrázek 9 grafické zákresy, před restaurováním	54
obrázek 10 grafické zákresy, po restaurování	55
obrázek 11 přední strana, tělo s hlavou, před restaurováním	56
obrázek 12 pravá strana, tělo, před restaurováním.....	57
obrázek 13 levá strana, tělo, před restaurováním	58
obrázek 14 zadní strana, tělo, před restaurováním	59
obrázek 15 přední strana, hlava, před restaurováním.....	60
obrázek 16 levá strana, hlava, před restaurováním	60
obrázek 17 zadní strana, hlava, před restaurováním	60
obrázek 18pravá strana, hlava, před restaurováním	60
obrázek 19odlomené fragmenty	61
obrázek 20 detail odlomené pravé ruky, se zbytkem tmelu a vyčnívající armaturou, zaschnutá kapka steklé barvy	61
obrázek 21 detail pravé nohy, zkrakelovaná polychromie	61
obrázek 22 detail pravé strany těla, límce, degradovaný povrch a povrchové vrstvy, odkrytý detail jemné modelace šátku	62
obrázek 23 detail pravého ramene zezadu, chybějící polychromie, pravidelný hlubší kulatý otvor.....	62
obrázek 24 detail levé nohy, odpadlé chodidlo, otvor po armatuře.....	62
obrázek 25 detail skály, stopy po kamenickém nářadí	62

obrázek 26 přední strana, tělo, průběh modelování a po snímání	63
obrázek 27 levá strana, tělo, během modelování, po snímání	64
obrázek 28 levá strana, tělo, během modelování, po snímání	65
obrázek 29 zadní strana, tělo, po snímání	66
obrázek 30 přední strana, hlava, po snímání	67
obrázek 31 přední strana, po tmelení a modelování	68
obrázek 32 pravá strana, po tmelení a modelování	69
obrázek 33 levá strana, po tmelení a modelování	70
obrázek 34 zadní strana, po tmelení a modelování	71
obrázek 35 přední strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše	72
obrázek 36 pravá strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše	73
obrázek 37 levá strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše	74
obrázek 38 zadní strana, po osazení plastických doplňků a během barevné retuše	75
obrázek 39 průběh snímání, levá tvář, hlava	76
obrázek 40 průběh snímání, vlasy	76
obrázek 41 průběh snímání límec	76
obrázek 42 průběh snímání, pravá půlka těla	76
obrázek 43 příprava podpůrného lešení na modelování chybějících bot	77
obrázek 44 sejmutí dožilého tmelu na levé ruce	77
obrázek 45 tvorba výdusků z umělého kamene	77
obrázek 46 průběh modelování	77
obrázek 47 záznam bodově naneseného lepidla pro lepení fragmentů k hlavě	78
obrázek 48 lepení hlavy k tělu	78
obrázek 49 barvené retušování	78
obrázek 50 průběh barevných retuší	78
obrázek 51 přední strana po restaurování	79
obrázek 52 pravá strana po restaurování	80
obrázek 53 levá strana po restaurování	81
obrázek 54 zadní strana po restaurování	82
obrázek 55 detail spodní části těla z předu po restaurování	83
obrázek 56 detail spodní části těla z předu po snímání	83
obrázek 57 detail spodní části těla z předu po tmelení a modelování	83
obrázek 58 detail spodní části těla z předu po restaurování	83
obrázek 59 detail pravé části těla, límec, před restaurováním	84
obrázek 60 detail pravé části těla, límec, po snímání	84
obrázek 61 detail pravé části těla, límec, po restaurování	84
obrázek 62 detail pravé části těla, límec, po tmelení a modelování	84

obrázek 63 přední strana po restaurování s "rybářským" prutem	85
obrázek 64 první experimentální vzorky: 1 kontinuální absorpce, 2a a 2b kroupení nasyceným roztokem sádrovce	111
obrázek 65 dusané vzorky: A1-12, B1-12 a C1-5	111
obrázek 66 prekonsolidované vzorky.....	111
obrázek 67 prekonsolidované vzorky.....	111
obrázek 68 konsolidace pomocí injekční stříkačky a jehly	111
obrázek 69 viditelná penetrace KSE 300 při prekonsolidace, vzorek A7	111
obrázek 70 první reakční zábal na vzorku B3	111
obrázek 71 vzorky B1-6 po experimentu, před zhodnocením	112
obrázek 72 vzorky 17-12 po experimentu viditelně světlejší povrch.....	112
obrázek 73 všechny vzorky po experiment před zhodnocením	112
obrázek 74 vzorky s lesklým povrchem.....	112
obrázek 75 vzorky A1-6 a B1-6 po odporovém vrtání.....	112
obrázek 76 vzorky A7-12 a B7-12 po odporovém vrtání.....	112
obrázek 77 průběh přípravy výluhů síranových solí z obkladů.....	112
obrázek 78 průběh odporového vrtání.....	112
obrázek 134 sken stránky z obecní knihy, stránka se zápisem o osazení sochy.....	113

8 Přílohy







8.1 Přílohy k možnostem redukce obsahu sádrovce v degradovaných povrchových vrstvách kombinovanou s pre-/konsolidací



















8.1.1 Tabulka solí s hodnotami rovnovážné vlhkosti

	Rovnovážná relativní vlhkost (%)	
CaSO ₄ •2H ₂ O	> 99 %	20 °C
K ₂ SO ₄	97.6 %	20 °C
Na ₂ SO ₄ •10H ₂ O	95.6 %	20 °C
KNO ₃	93.7 %	20 °C
KCl	85.0 %	20 °C
Na ₂ SO ₄	82.9 %	20 °C
NaCl	75.4 %	20 °C
NaNO ₃	75.3 %	20 °C
NH ₄ NO ₃	65 %	20 °C
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	53.06 %	20 °C
K ₂ CO ₃ •2H ₂ O	42,8 %	25 °C
MgCl ₂ •6H ₂ O	33.1 %	20 °C
CaCl ₂ •6H ₂ O	33.3 %	20 °C

Tabulka 8 hodnoty relevantní rovnovážné vlhkosti vybraných vodorozpustných solí

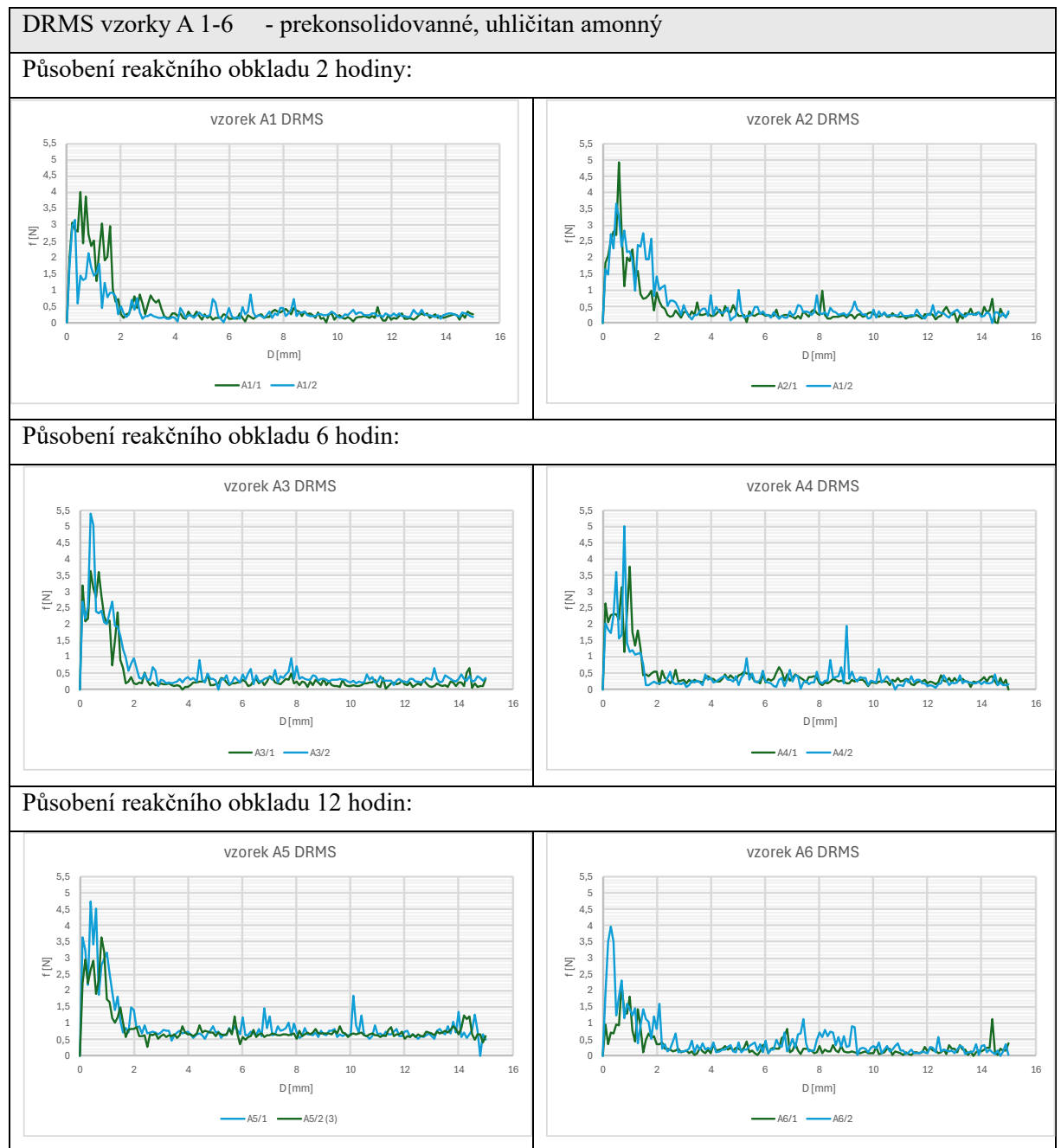
8.1.2 Tabulka s popisem vzorků

		předspevněné	uhlíčan amonný	EDTA	délka působení (hodiny)			předspevněné	uhlíčan amonný	EDTA	délka působení (hodiny)
A1		ano	Ano		2	B1		ne	Ano		2
A2		ano	Ano		2	B2		ne	Ano		2
A3		ano	Ano		6	B3		ne	Ano		6

A4		ano	Ano		6
A5		ano	Ano		12
A6		ano	ano		12
B4		ne	Ano		6
B5		ne	Ano		12
B6		ne	ano		12
A7		ano		Ano	2
A8		ano		Ano	2
A9		ano		Ano	6
A 10		ano		Ano	6
A 11		ano		Ano	12
A 12		ano		ano	12
B7		ne		Ano	2
B8		ne		Ano	2
B9		ne		Ano	6
B 10		ne		Ano	6
B 11		ne		Ano	12
B 12		ne		ano	12

Tabulka 9 popis vzorku A1-12 a B1-12

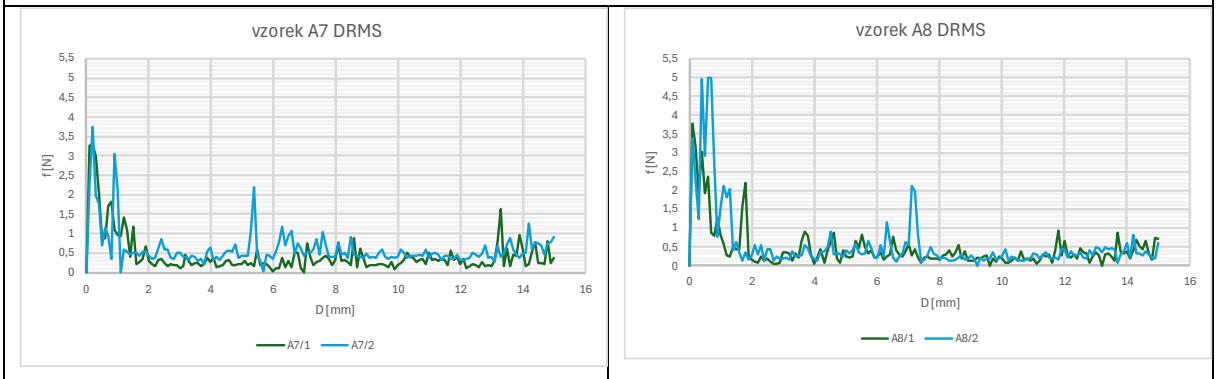
8.1.3 Tabulka s grafy odporového vrtání



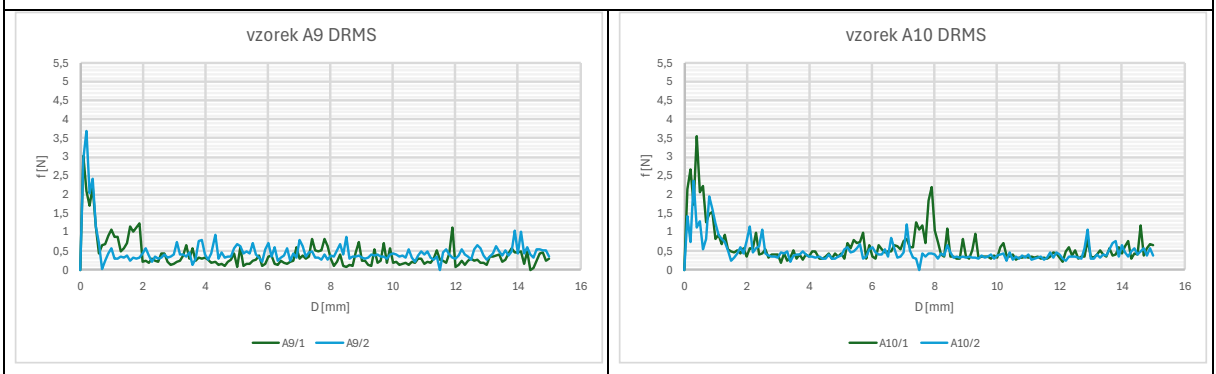
Tabulka 10 grafy s křivkami pevnostních profilů vzorků A1-6

DRMS vzorky A7-12 - prekonsolidované, EDTA

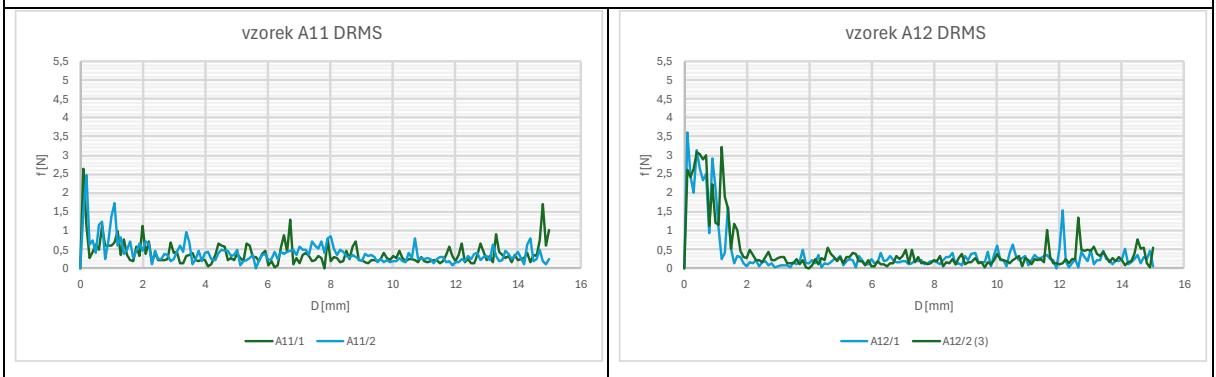
Působení reakčního obkladu 2 hodiny:



Působení reakčního obkladu 6 hodin:



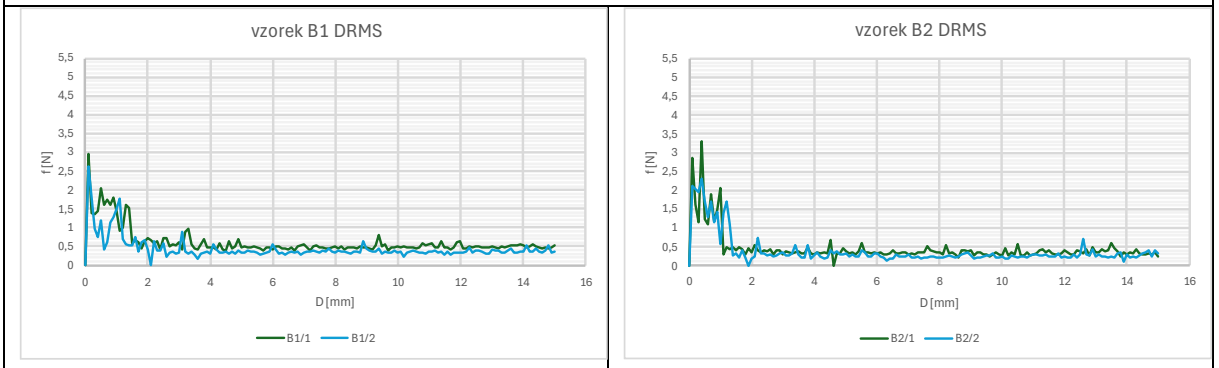
Působení reakčního obkladu 12 hodin:



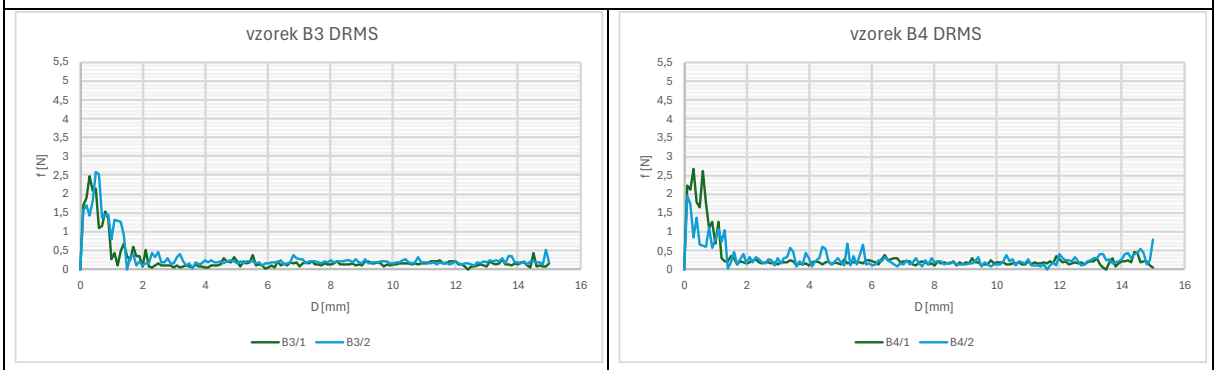
Tabulka 11 grafy s křivkami pevnostních profilů vzorků A7-12

DRMS vzorky B1-6 - bez prekonsolidace, uhličitán amonný

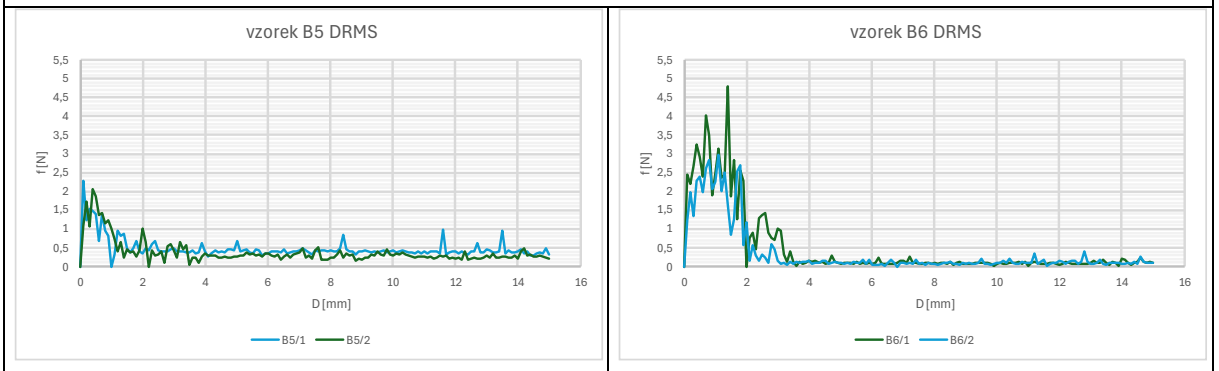
Působení reakčního obkladu 2 hodiny:



Působení reakčního obkladu 6 hodin:



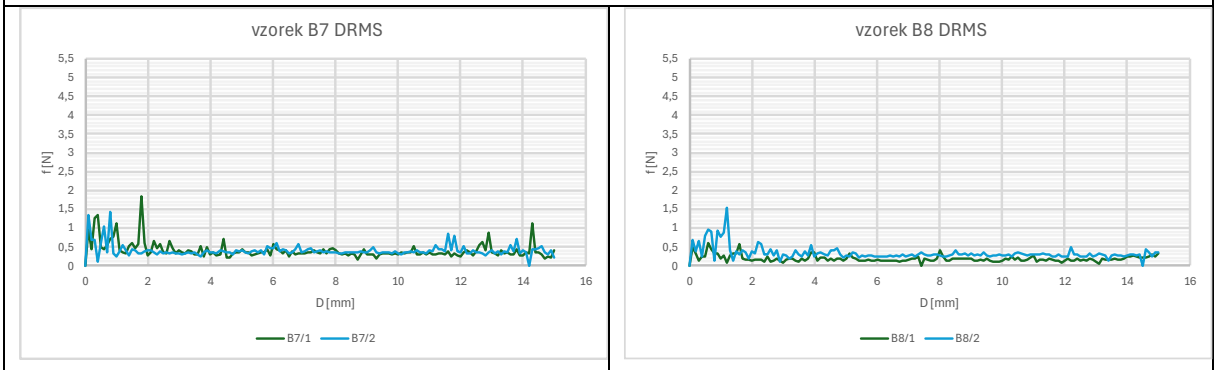
Působení reakčního obkladu 12 hodin:



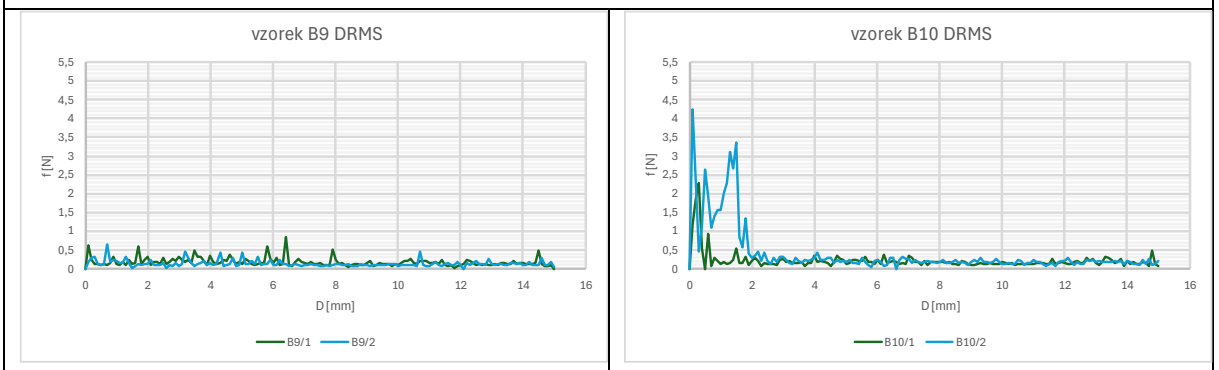
Tabulka 12 grafy s křivkami pevnostních profilů vzorků B1-6

DRMS vzorky B7-12 - bez prekonsolidace, EDTA

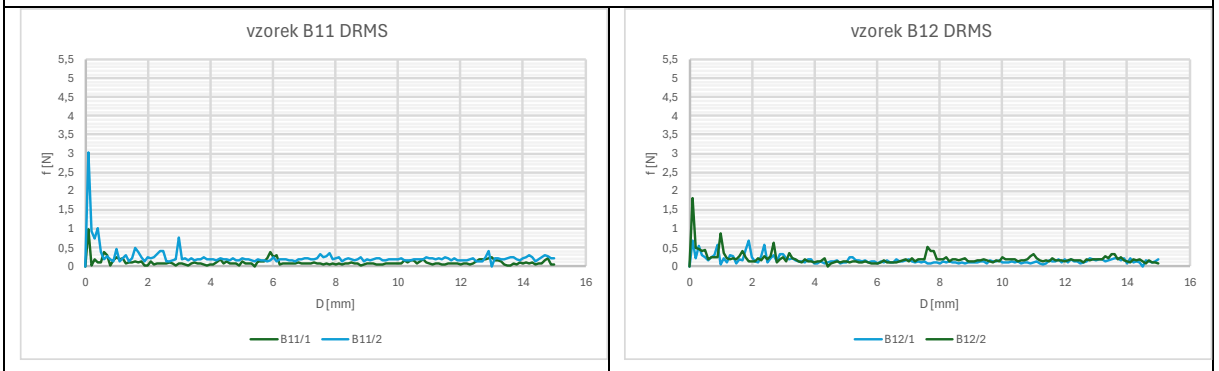
Působení reakčního obkladu 2 hodiny:



Působení reakčního obkladu 6 hodin:

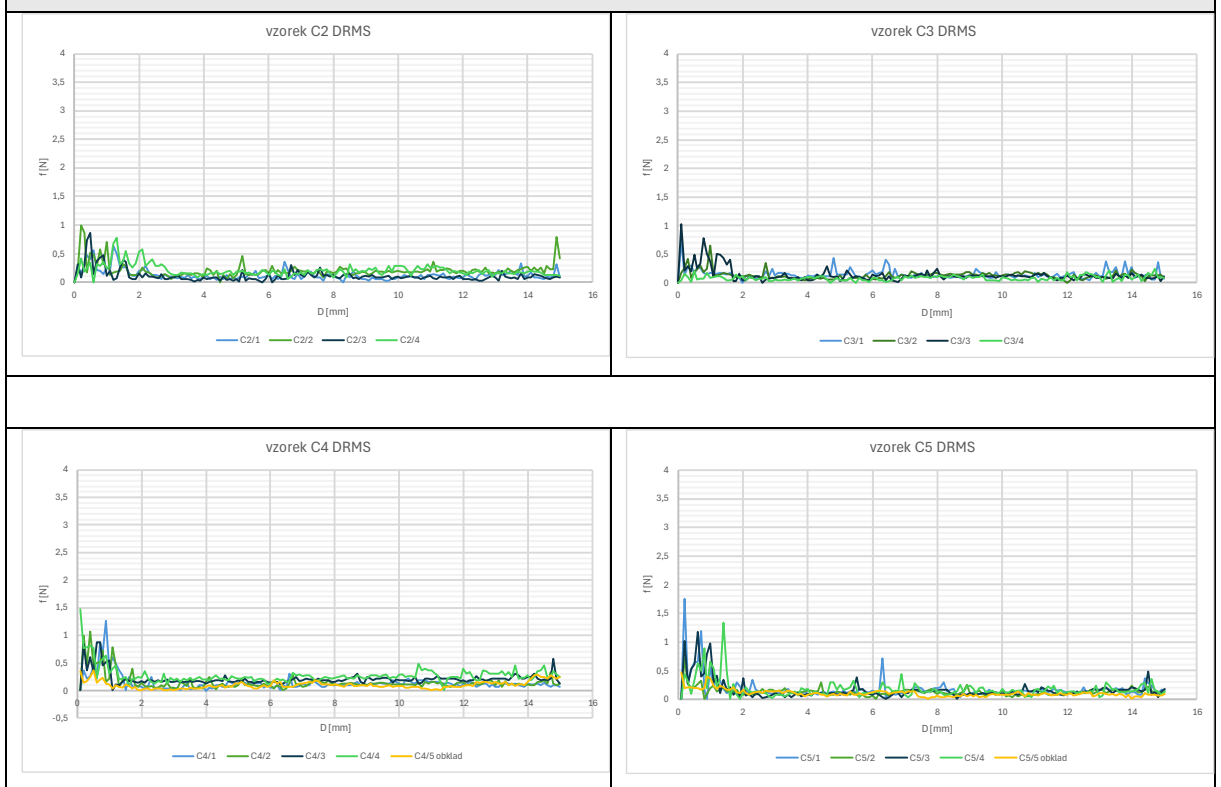


Působení reakčního obkladu 12 hodin:



Tabulka 13 grafy s křivkami pevnostních profilů vzorků B7-12

DRMS vzorky C2-5 referenční



Tabulka 14 grafy s křivkami pevnostních profilů referenčních vzorků C2-5

8.1.4 Průzkum mikrostruktury a výsledky analýz SEM-BSE

Studium mikrostruktury vzorků

Použitá metoda: Rastrovací elektronová mikroskopie

Mikroskop: SEM Jeol JEOL JSM-6010 LA (Institut für Konservierung und Restaurierung, Universität für angewandte Kunst Wien)

Parametry měření:

- Low vakuum mode (LV), režim nízkého vákua v komoře mikroskopu
- BSE detektor (detektor zpětně odražených elektronů)
- Urychlovací napětí: 15 kV
- Vzorky byly studovány bez pokovení / pouhličení

Vzorek	Způsob ošetření	Výsledky studie mikrostruktury*
Série A		
A1 / A2	Předzpevněné prostředkem KSE 300, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem uhličitanu amonného, doba působení 2 hod; Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300	Mikrostrukturu spodní dusané vrstvy tělíska (napodobení degradovaného pískovce) lze charakterizovat jako vysoce pórovitou. Velikost většiny pórů se pohybuje v rozmezí 50-200 μm . Na povrchu pórů i v kontaktních místech mezi zrny křemene lze pozorovat křemičitý gel vzniklý z organokřemičitého zpevňovacího prostředku (KSE 300). Je zřejmé, že zpevňovací prostředek proniká do hloubky dané vrstvy. V místech pod simulovanou endokrustou je pozorovatelné částečné snížení pórovitosti v důsledku vyplnění pórů křemičitým gelem. Povrchová vrstva obsahující sádrovec (matrix) a křemen (simulace sádrovcové endokrusty) je logicky méně pórovitá, ale není uzavřená. Sádrovcová matrix je mikrokrytalická a mikropórovitá. Kromě drobných krystalů sádrovce, obsahuje i částice anhydritu (zřejmě rezidua nezreagovaného síranu vápenatého, tj. anhydrit přítomný v sádře použité na přípravu vzorků). Větší póry průměrně velikosti v rozmezí 20-150 μm pravděpodobně vznikly po odpaření vody při přípravě simulované endokrusty. V těchto pórech je také prokazatelně přítomný křemičitý gel vzniklý z organokřemičitého zpevňovacího prostředku (KSE 300). V obou vrstvách je vzniklý gel mírně popraskaný a má charakteristickou

		<p>strukturu známou u daného typu konsolidantů. Na mnoha místech jsou viditelné dvě vrstvy křemičitého gelu jako důsledek předzpevnění a finální konsolidace.</p> <p>Ve srovnání s mikrostrukturou referenčních vzorků je ve vrstvě simulované endokrusty patrný mírný nárůst pórovitosti a pokles obsahu síranu vápenatého.</p>
A3 / A4	<p>Předzpevněné prostředkem KSE 300, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem uhličitanu amonného, doba působení 6 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2 x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku A1 / A2.</p>
A5 / A6	<p>Předzpevněné prostředkem KSE 300, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem uhličitanu amonného, doba působení 12 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2 x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku A1 / A2.</p>
A7 / A8	<p>Předzpevněné prostředkem KSE 300, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku A1 / A2.</p>

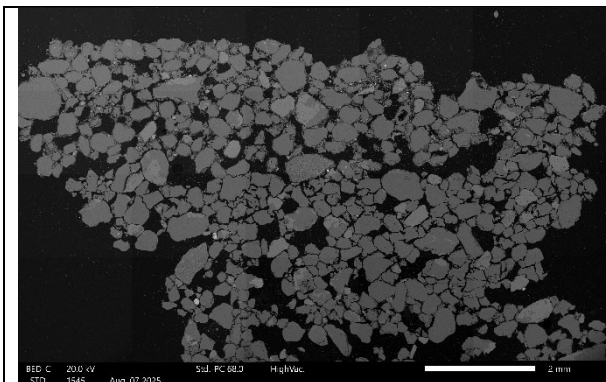
	<p>roztokem EDTA, doba působení 2 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2 x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	
A9 / A10	<p>Předzpevněné prostředkem KSE 300, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem EDTA, doba působení 2 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2 x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku A1 / A2.</p>
A11 / A12	<p>Předzpevněné prostředkem KSE 300, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem EDTA, doba působení 2 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2 x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku A1 / A2.</p>
Série B		
B1 / B2	<p>Bez předzpevnění, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná mikrostruktuře v sérii vzorků A. Hlavní rozdíl spočívá v mírně menším obsahu resp. vyplnění pórů simulované endokrusty i spodní</p>

	<p>roztokem uhličitanu amonného, doba působení 2 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>vrstvy (simulace degradovaného pískovce) křemičitým gelem vzniklým z organokřemičitého zpevňovacího prostředku (KSE 300). Nižší obsah gelu lze považovat za důsledek vynechání předzpevnění v dané sérii vzorků. Ve srovnání s mikrostrukturou referenčních vzorků je ve vrstvě simulované endokrusty patrný mírný nárůst pórovitosti a pokles obsahu síranu vápenatého.</p>
B3 / B4	<p>Bez předzpevnění, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem uhličitanu amonného, doba působení 6 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku B1 / B2.</p>
B5 / B6	<p>Bez předzpevnění, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem uhličitanu amonného, doba působení 12 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku B1 / B2.</p>
B7 / B8	<p>Bez předzpevnění, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s</p>	<p>Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku B1 / B2.</p>

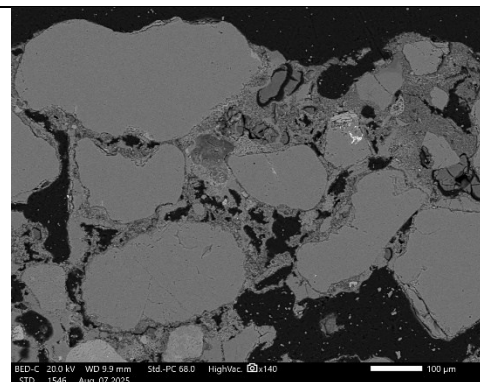
	<p>roztokem EDTA, doba působení 2 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	
B9 / B10	<p>Bez předzpevnění, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem EDTA, doba působení 6 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku B1 / B2.
B11 / B12	<p>Bez předzpevnění, redukce obsahu sádrovce pomocí obkladu s roztokem EDTA, doba působení 12 hod;</p> <p>Následně odsolení povrchu pomocí obkladu z buničiny (2x) a po vyschnutí finální konsolidace prostředkem KSE 300</p>	Mikrostruktura je velmi podobná, prakticky identická s mikrostrukturou ve vzorku B1 / B2.
Série c		
C2/C3/C4/C5	<p>Referenční bez předzpevnění a finálního zpevnění</p>	Mikrostruktura je v zásadě podobná sérii A a B. Celková pórovitost obou vrstev je vyšší, protože póry nejsou vyplněné křemičitým gelem vzniklým z organokřemičitého konsolidačního prostředku.

Tabulka 15 Popsání výsledků analýzy SEM-BSE

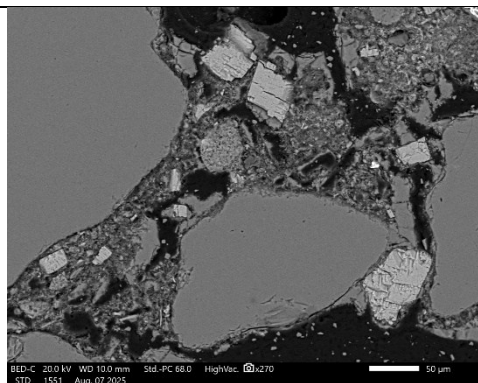
*Z důvodu vzniklé závady softwaru nebylo bohužel možné pořídit fotodokumentaci u všech studovaných vzorků, pouze u jednoho vzorku – B12. Fotografie nábrusu daného vzorku, ale relativně dobře ilustrují popis mikrostruktury uvedený v tabulce výše.



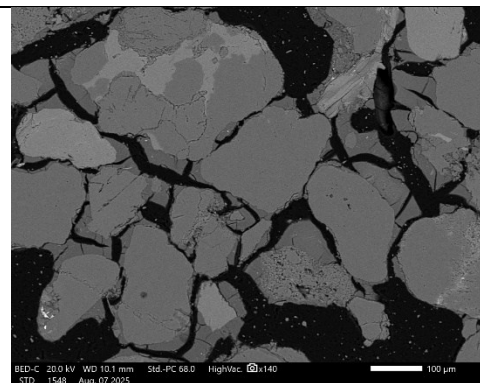
Obr.1. REM-BSE, nábrus, povrch vzorku B12 s horní (simulace sádrovcové endokrusty) i spodní vrstvou (simulace degradovaného pískovce)



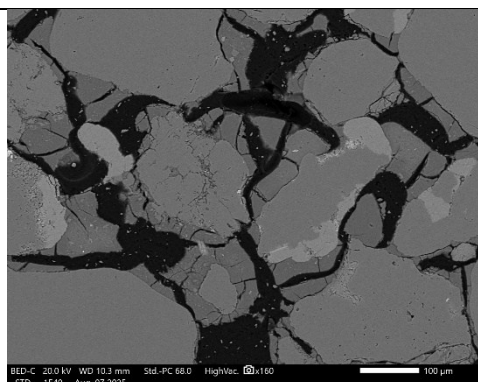
Obr.2. REM-BSE, nábrus, povrch vzorku B12 – detail horní vrstvy (simulace sádrovcové endokrusty)



Obr.3. REM-BSE, nábrus, vzorek B12 – detail horní vrstvy (simulace sádrovcové endokrusty)

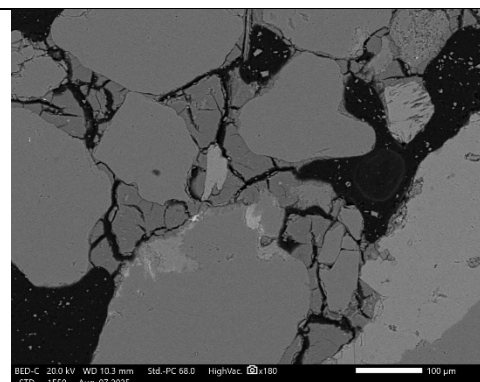


Obr.4. REM-BSE, nábrus, vzorek B12 – detail spodní vrstvy (simulace degradovaného pískovce)



Tabulka 16 Snímky SEM-BSE vzorku B12

Obr.5. REM-BSE, nábrus, vzorek B12 – detail spodní vrstvy (simulace degradovaného pískovce)



Obr.6. REM-BSE, nábrus, vzorek B12 – detail spodní vrstvy (simulace degradovaného pískovce)

Tabulka 17 snímky SEM-BSE vzorku B12

8.1.5 Tabulky koncentrace síranů ve vyluzích z obkladů

2025	Místo:	Litomyšl	Rozmezí hodnot absorbance pro přesné měření		Legenda podmíněného zbarvení polí:		
	Objekt:	dílomová práce					
	Jméno:	Eliška vítková	skupina solí	Abs. (absorbance)	2,800	příliš vysoká hodnota absorbance, výsledná koncentrace bude nepřesná - orientační, pro přesné měření je nutné roztok naředit	
	Vedoucí práce:	Krol Bayer	NO ₃ ⁻	c (hm%)	0,01	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí v obkladu	
	Konzultant KCHT:		(SO ₄) ₂ ⁻				
	Kontakt:		Cl ⁻				
			hodnota absorbance Abs. do 1,5				
			do 0,8				
			do 1,3				
Výpočet koncentrací solí obkladu 1							
Tabulka pro výpočet koncentrace vodrozpuštěných solí bez nutnosti dále ředit filtrát							
▶ naměřená absorbance nepřekračuje doporučenou horní hranici absorbance pro daný anion, filtrát nebyl dále ředěn							
vzorek	a (cm)	b (cm)	S (m ²)	V _{filtr} /ml	Abs. _{(SO₄)₂⁻}	c _{(SO₄)₂⁻} (gm-2)	c _{(SO₄)₂⁻} (gm-2)
A1	4	4	0,0016	100	0,072	5,06	60,772
A2	4	4	0,0016	100	0,097	6,82	81,873
A3	4	4	0,0016	100	0,073	5,13	61,616
A4	4	4	0,0016	100	0,068	4,78	57,395
A5	4	4	0,0016	100	0,074	5,20	62,460
A6	4	4	0,0016	100	0,079	5,56	66,680
A7	4	4	0,0016	100	0,141	9,92	119,011
A8	4	4	0,0016	100	0,095	6,68	80,185
A9	4	4	0,0016	100	0,078	5,49	65,836
A10	4	4	0,0016	100	0,121	8,51	102,130
A11	4	4	0,0016	100	0,124	8,72	104,662
A12	4	4	0,0016	100	0,139	9,78	117,323
B1	4	4	0,0016	100	0,075	5,28	63,304
B2	4	4	0,0016	100	0,091	6,40	76,809
B3	4	4	0,0016	100	0,073	5,13	61,616
B4	4	4	0,0016	100	0,081	5,70	68,368
B5	4	4	0,0016	100	0,070	4,92	59,084
B6	4	4	0,0016	100	0,059	4,15	49,799
B7	4	4	0,0016	100	0,071	4,99	59,928
B8	4	4	0,0016	100	0,079	5,56	66,680
B9	4	4	0,0016	100	0,107	7,53	90,313
B10	4	4	0,0016	100	0,121	8,51	102,130
B11	4	4	0,0016	100	0,096	6,75	81,029
B12	4	4	0,0016	100	0,108	7,60	91,157

Tabulka 18 Koncentrace obsahu síranů v prvním (reakčním) obkladu

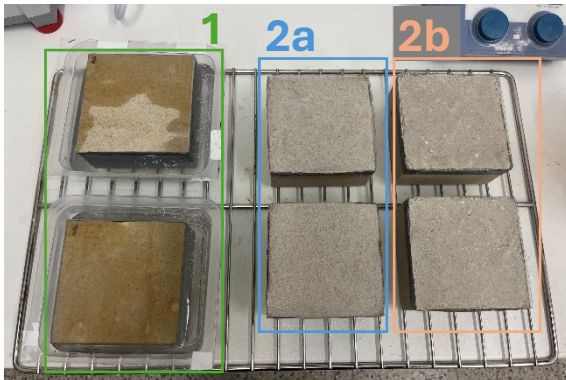
2025	Místo:	Litomyšl	Legenda podmíněného zbarvení poli:				
	Objekt:	díplomová práce	Abs. (absorbance)	2,800	příliš vysoká hodnota absorbance, výsledná koncentrace bude nepřesná - orientační, pro přesné měření je nutné roztok naředit		
	Jméno:	Eliška Vítková	c (hm%)	0,01	výsledná koncentrace vodorozpustných solí v obkladu		
	Vedoucí práce:	Krol Bayer					
	Konzultant KCHT:						
Kontakt:							
Výpočet koncentrací solí obkladu 2							
<p>Tabulka pro výpočet koncentrace vodorozpustných solí bez nutnosti dále ředit filtrát</p> <p>► naměřená absorbance nepřekračuje doporučenou horní hranici absorbance pro daný anion, filtrát nebyl dále ředěn</p>							
vzorek	a (cm)	b (cm)	S (m²)	V_{ISO}/ml	Abs._{(SO4)2-}	c_{(SO4)2-} (gm-2)	c_{(SO4)2-} (gm-2)
A1	4	4	0,0016	100	0,071	4,99	114,861
A2	4	4	0,0016	100	0,060	4,22	97,066
A3	4	4	0,0016	100	0,037	2,60	59,857
A4	4	4	0,0016	100	0,058	4,08	93,830
A5	4	4	0,0016	100	0,034	2,39	55,004
A6	4	4	0,0016	100	0,084	5,91	135,892
A7	4	4	0,0016	100	0,058	4,08	93,830
A8	4	4	0,0016	100	0,047	3,31	76,035
A9	4	4	0,0016	100	0,118	8,30	190,896
A10	4	4	0,0016	100	0,048	3,38	77,653
A11	4	4	0,0016	100	0,043	3,02	69,564
A12	4	4	0,0016	100	0,057	4,01	92,212
B1	4	4	0,0016	100	0,052	3,66	84,124
B2	4	4	0,0016	100	0,039	2,74	63,093
B3	4	4	0,0016	100	0,046	3,24	74,417
B4	4	4	0,0016	100	0,071	4,99	114,861
B5	4	4	0,0016	100	0,067	4,71	108,390
B6	4	4	0,0016	100	0,069	4,85	111,626
B7	4	4	0,0016	100	0,034	2,39	55,004
B8	4	4	0,0016	100	0,071	4,99	114,861
B9	4	4	0,0016	100	0,064	4,50	103,537
B10	4	4	0,0016	100	0,071	4,99	114,861
B11	4	4	0,0016	100	0,119	8,37	192,514
B12	4	4	0,0016	100	0,053	3,73	85,741

Tabulka 19 Koncentrace obsahu síranů v druhém (odsolovacím) obkladu

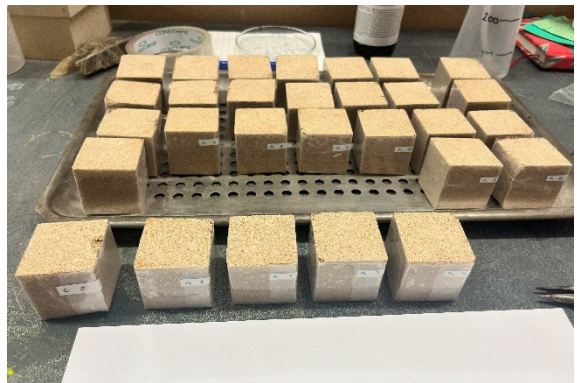
2025	Místo: Objekt: Jméno: Vedoucí práce: Konzultant KČHT: Kontakt:	Litomyšl diplomová práce Eliška Vítková Krol Bayer					
Rozmezí hodnot absorbance pro přesné měření							
skupina soli	hodnota absorbance Abs.						
NO ³⁻	do 1,5						
(SO ₄) ²⁻	do 0,8						
Cl ⁻	do 1,3						
Výpočet koncentrací soli obkladu 3							
<p>Tabulka pro výpočet koncentrace vodrozpuštěných solí bez nutnosti dále ředit filtrát</p> <p>► naměřená absorbance nepřekračuje doporučenou horní hranici absorbance pro daný anion, filtrát nebyl dále ředěn</p>							
vzorek	a (cm)	b (cm)	S (m²)	V_{PO}/ml	Abs_{(SO4)2-}	c_{(SO4)2-} (gm-2)	c_{(SO4)2-} (gm-2)
A1	4	4	0,0016	100	0,054	3,80	83,561
A2	4	4	0,0016	100	0,064	4,50	99,035
A3	4	4	0,0016	100	0,048	3,38	74,276
A4	4	4	0,0016	100	0,048	3,38	74,276
A5	4	4	0,0016	100	0,051	3,59	78,919
A6	4	4	0,0016	100	0,043	3,02	66,539
A7	4	4	0,0016	100	0,035	2,46	54,160
A8	4	4	0,0016	100	0,043	3,02	66,539
A9	4	4	0,0016	100	0,031	2,18	47,970
A10	4	4	0,0016	100	0,038	2,67	58,802
A11	4	4	0,0016	100	0,034	2,39	52,612
A12	4	4	0,0016	100	0,030	2,11	46,423
B1	4	4	0,0016	100	0,044	3,09	68,087
B2	4	4	0,0016	100	0,036	2,53	55,707
B3	4	4	0,0016	100	0,052	3,66	80,466
B4	4	4	0,0016	100	0,041	2,88	63,444
B5	4	4	0,0016	100	0,029	2,04	44,875
B6	4	4	0,0016	100	0,035	2,46	54,160
B7	4	4	0,0016	100	0,036	2,53	55,707
B8	4	4	0,0016	100	0,057	4,01	88,203
B9	4	4	0,0016	100	0,041	2,88	63,444
B10	4	4	0,0016	100	0,038	2,67	58,802
B11	4	4	0,0016	100	0,048	3,38	74,276
B12	4	4	0,0016	100	0,061	4,29	94,393

Tabulka 20 Koncentrace obsahu síranů v třetím (odsolovacím) obkladu

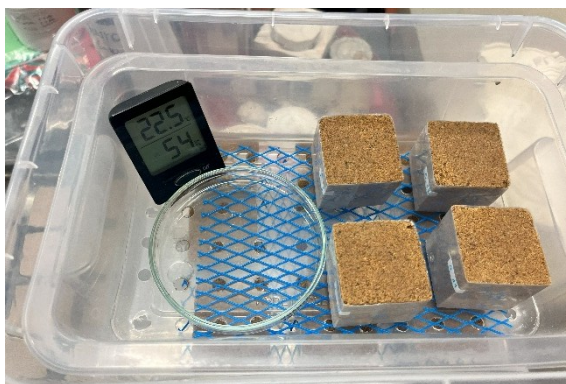
8.1.6 Fotografická dokumentace



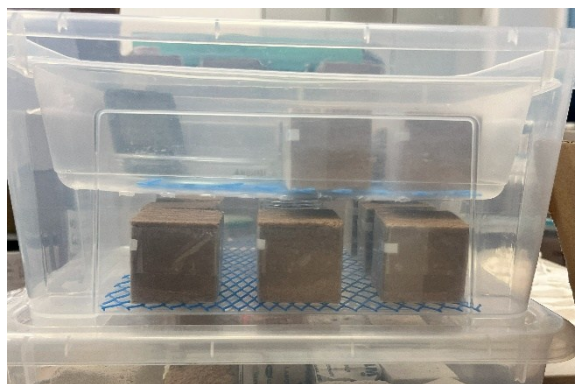
obrázek 64 první experimentální vzorky: 1 kontinuální absorpce, 2a a 2b kroplení nasyceným roztokem sádrovce



obrázek 65 dusané vzorky: A1-12, B1-12 a C1-5



obrázek 66 prekonsolidované vzorky



obrázek 67 prekonsolidované vzorky



obrázek 68 konsolidace pomocí injekční stříkačky a jehly



obrázek 69 viditelná penetrace KSE 300 při prekonsolidace, vzorek A7



obrázek 70 první reakční zábal na vzorku B3



obrázek 71 vzorky B1-6 po experimentu, před zhodnocením



obrázek 72 vzorky 17-12 po experimentu viditelně světlejší povrch



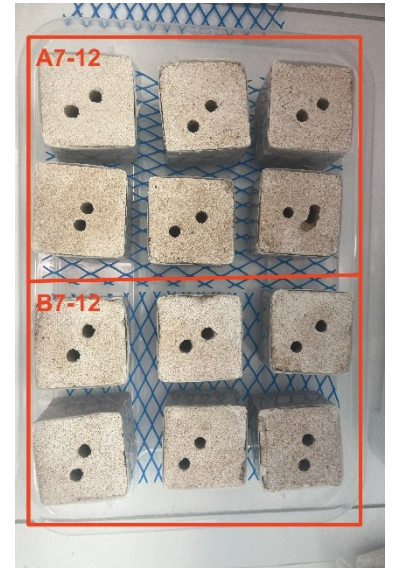
obrázek 73 všechny vzorky po experiment před zhodnocením



obrázek 74 vzorky s lesklým povrchem



obrázek 75 vzorky A1-6 a B1-6 po odporovém vrtání



obrázek 76 vzorky A7-12 a B7-12 po odporovém vrtání



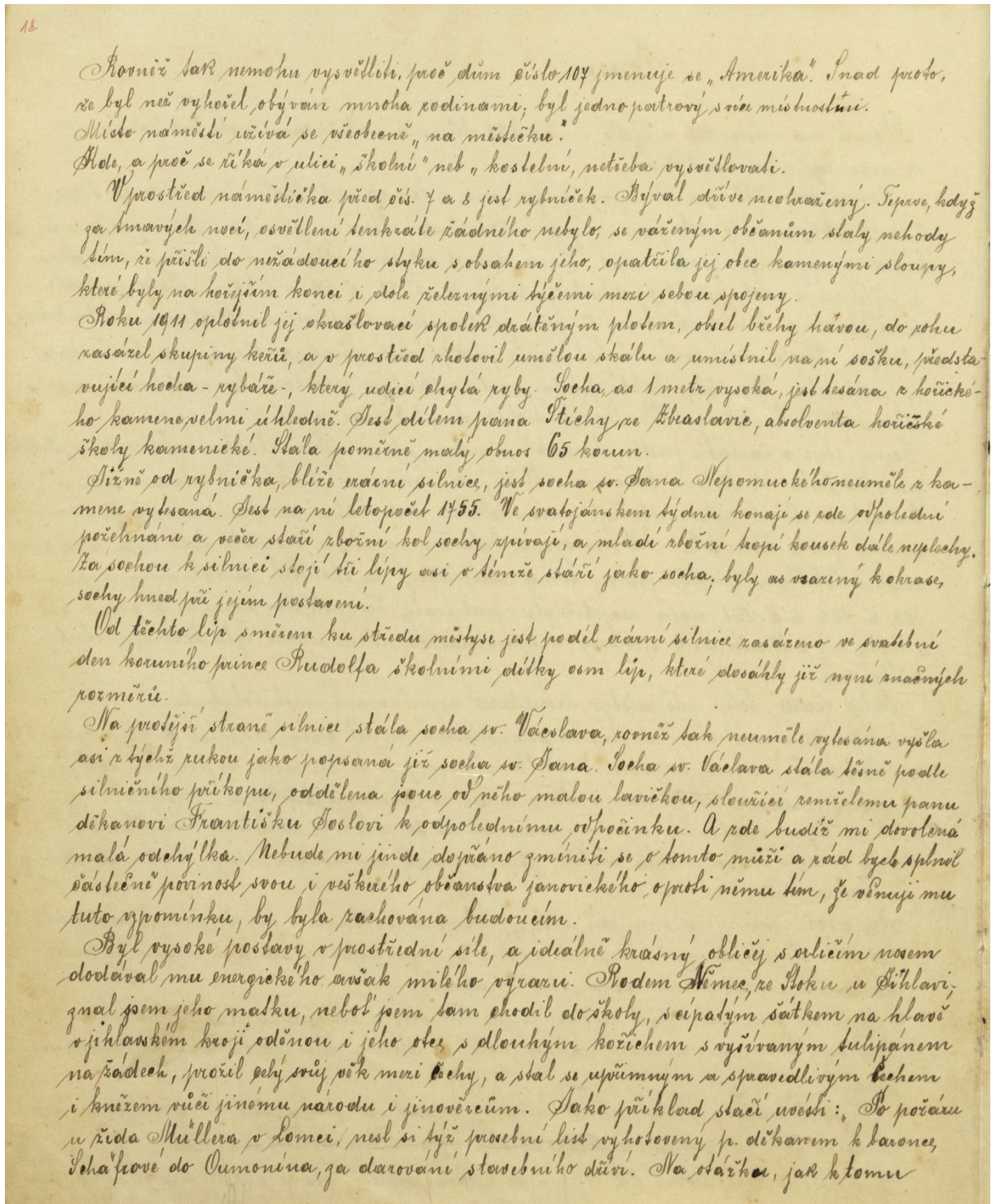
obrázek 77 průběh přípravy výluhů síranových solí z obkladů



obrázek 78 průběh odporového vrtání

8.2 Příloha k restaurování mladého rybáře

8.2.1 Sken stránky z obecní knihy



obrázek 79 sken stránky z obecní knihy, stránka se zápisem o osazení sochy

8.2.2 Chemickotechnologický průzkum



PRŮZKUM SLOŽENÍ A STRATIGRAFIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV KAMENNÁ POLYCHROMOVANÁ SOCHA RYBÁŘE

ZADAVATEL PRŮZKUMU

Ateliér restaurování uměleckých děl z kamene a příbuzných materiálů
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice
Vedoucí ateliéru: doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

PEDAGOGICKÝ DOZOR / STUDENTI

MgA. Zuzana Auská / BcA. Zuzana Korábková, Bc. Eliška Vítková

SPECIFIKACE OBJEKTU OD ZADAVATELE

Lokalizace: obec Červené Janovice, okres Kutná Hora, vedle vodní plochy na návsi
Polychromovaná pískovcová socha rybáře, osazeno 1911, autor Adolf Štícha ze Zbraslavic, výška bez hlavy 69 cm, šířka 54 cm, hloubka 41 cm, výška hlavy 18 cm, hořický pískovec



Obr. 1 Kamenná polychromovaná socha sedícího chlapce před restaurováním, foto Z. Korábková.

ZPRÁVA Z PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV

Počet stran:	17	Počet příloh:	2	Datum:	4. 9. 2024
Místo:	Petra Lesniaková Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice Jiráskova 3, Litomyšl				

ZADÁNÍ PRŮZKUMU, ODBĚR VZORKŮ

Počet a typ dodaných vzorků: 5 vzorků souvrství polychromie

Zadání: stratigrafie vrstev a materiálový průzkum vybraných vrstev metodami optické mikroskopie a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM-EDX)

Lokalizace odběru vzorků: detailní snímky míst odběrů vzorků jsou uvedeny v Příloze I
Příloha II uvádí přehled snímků použitými metodami nábrusů a stručný popis jejich stratigrafie

Tab. 1: Přehled vzorků, lokalizace, popis.

Evidenční číslo	Označení	Lokalizace, popis
11311	VZP1	Vlasy, černá
11312	VZP2	Inkarnát, levá tvář, okrová
11313	VZP3	Levá noha, draperie
11314	VZP4	Límeč oblečku, bílá
11315	VZP5	Inkarnát, pravá ruka, okrová

METODIKA PRŮZKUMU

STRATIGRAFIE A OPTICKÉ VLASTNOSTI VRSTEV / SVĚTELNÁ, LUMINISCENČNÍ A SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE (SEM)

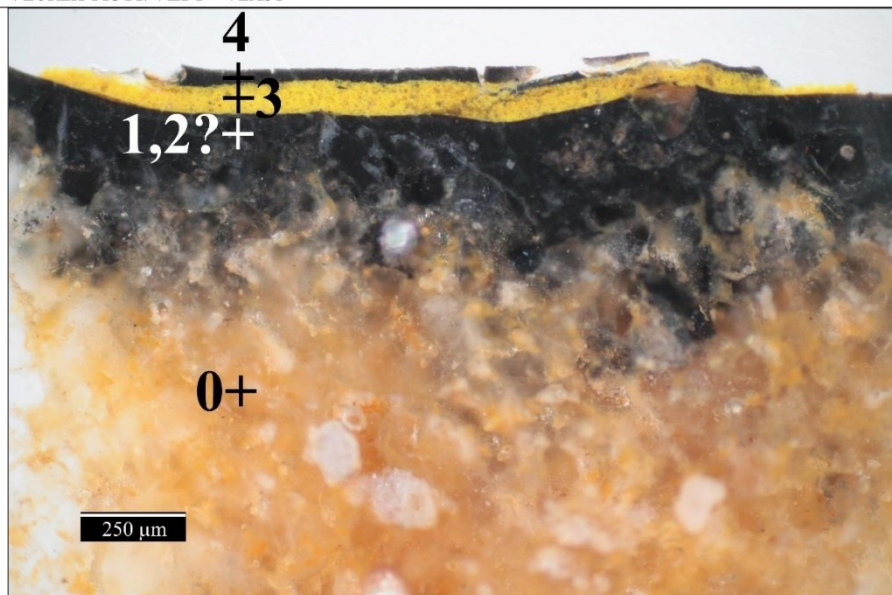
Studium stratigrafie a optických vlastností vzorků bylo provedeno s využitím světelné, luminiscenční a skenovací elektronové mikroskopie (SEM). Vzorky byly nejprve zkoumány a zdokumentovány optickým mikroskopem Eclipse LV100D-U (Nikon) s digitálním fotoaparátem EOS 1100D (Canon) v dopadajícím bílém světle, UV luminiscenci (viditelné luminiscenci buzené ultrafialovým zářením, jinak UV fluorescence) a viditelné (VIS) luminiscenci generované modrým světlem. Stejně techniky byly použity k mikroskopickému průzkumu nábrusů připravených z vybraných úlomků vzorků. Nábrusy byly připraveny zalitím úlomků do polyesterové pryskyřice GPE100S a sbroušením po vytvrdnutí hmoty. Pouhličené nábrusy byly dále studovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu Mira 3 LMU (Tescan) ve vysokém vakuu, režimu zpětně odražených elektronů (BSE), při urychlovacím napětí 25 kV.

MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM VYBRANÝCH VRSTEV / SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE S PRVKOVOU MIKROANALÝZOU (SEM-EDX)

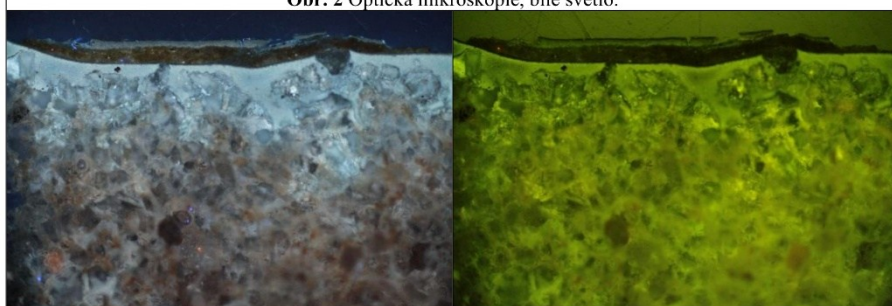
Materiálový průzkum byl proveden na základě určení prvkového složení částí vrstev vybraných pomocí optické mikroskopie skenovací elektronovou mikroskopií s energiově-disperzní rentgenovou analýzou (SEM-EDX). K tomuto účelu byly využity světelný mikroskop Eclipse LV100D-U (Nikon) a elektronový mikroskop Mira 3 LMU (Tescan) s analytickým systémem Bruker Quantax 2000 (Bruker, XFlash 5010 detektor). Měření bylo provedeno na pouhličených nábrusech vzorků ve vysokém vakuu v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), při urychlovacím napětí 25 kV a pracovní vzdálenosti 15 mm. Výsledky analýz jsou uvedeny na základě atomových procent tak, že prvky s dominantním zastoupením jsou podtrženy, následují prvky s menším zastoupením a v závorkách jsou prvky s minoritním zastoupením. Prvky kyslík a uhlík nejsou uváděny, pokud to není účelné.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE VRSTEV / OM, SEM

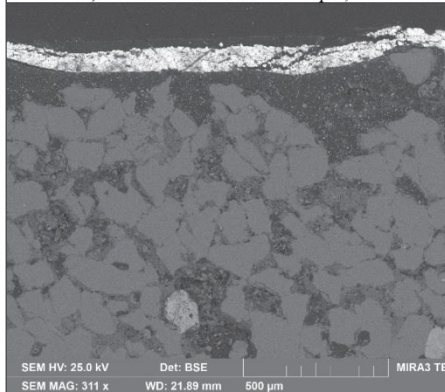
VZOREK 11311/VZP1 – VLASY



Obr. 2 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 3, 4 Luminiscenční mikroskopie; UV luminiscence a VIS luminiscence buzená modrým světlem.



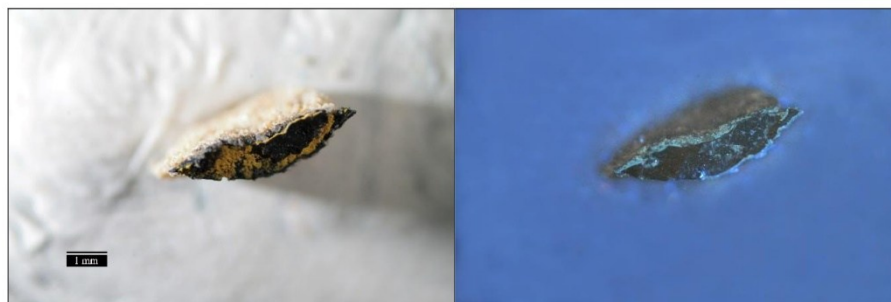
Obr. 5 Elektronová mikroskopie BSE.



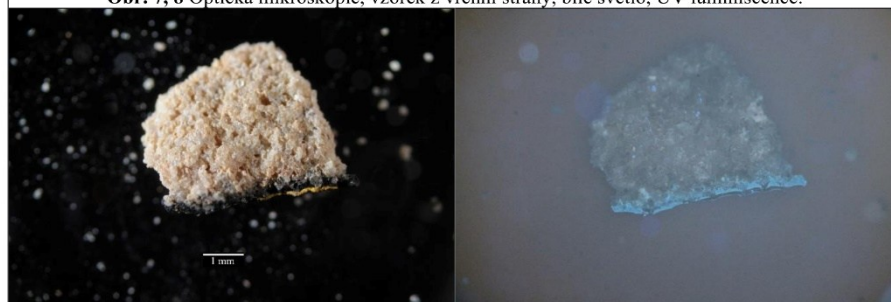
Obr. 6 Místo odběru vzorku, detail.

Tab. 2: Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií.

Číslo vrstvy	Popis vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie (OM, SEM/BSE)
4	Černá povrchová úprava, může se jednat o dvě povrchové úpravy
3	Žlutá povrchová úprava
2	Tenká černá povrchová úprava nebo degradovaný povrch vrstvy 1
1	Černá povrchová úprava, modrá UV luminiscence
0	Materiál podložky, pískovec



Obr. 7, 8 Optická mikroskopie, vzorek z vrchní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

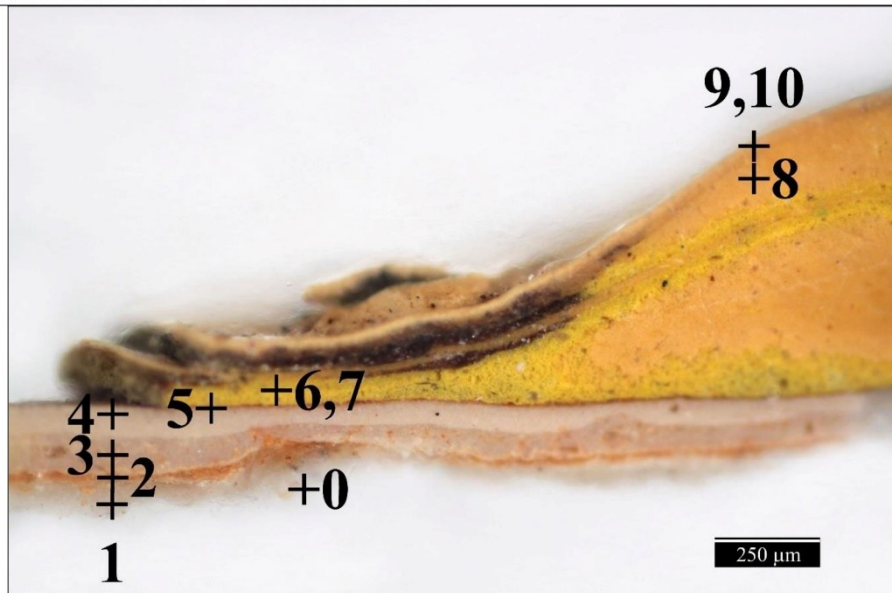


Obr. 9, 10 Optická mikroskopie, vzorek z boku, bílé světlo, UV luminiscence.

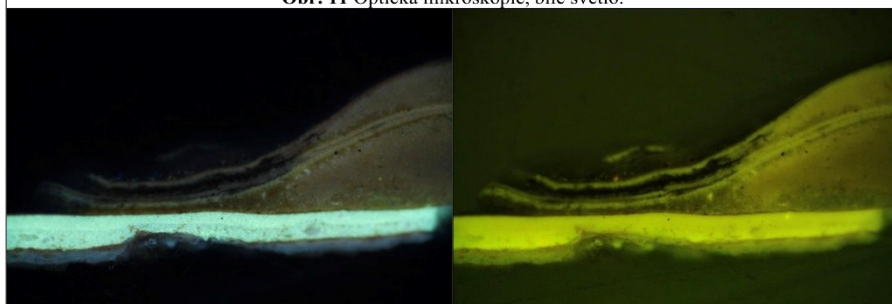
Shrnutí: Vzorek nejprve obsahuje fragment **pískovce** (vrstva 0), který je základním materiálem sochy. Jeho povrch je penetrován organickým pojivem – vyznačuje modrou UV luminiscencí. Pojivo může pocházet z úpravy povrchu nebo z nejstarší dochované **černé povrchové úpravy** (vrstva 1), která má obdobnou světle modrou UV luminiscenci. Na této úpravě byla zaznamenána v UV luminiscenci **tenká vrstva 2** a není zřejmé, zda se jedná o degradovaný povrch černé vrstvy 1 nebo samostatnou černou povrchovou úpravu. Následuje **žlutá** (vrstva 3) a **černá** (vrstva 4) povrchová úprava.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VRSTEV / OM, SEM-EDX

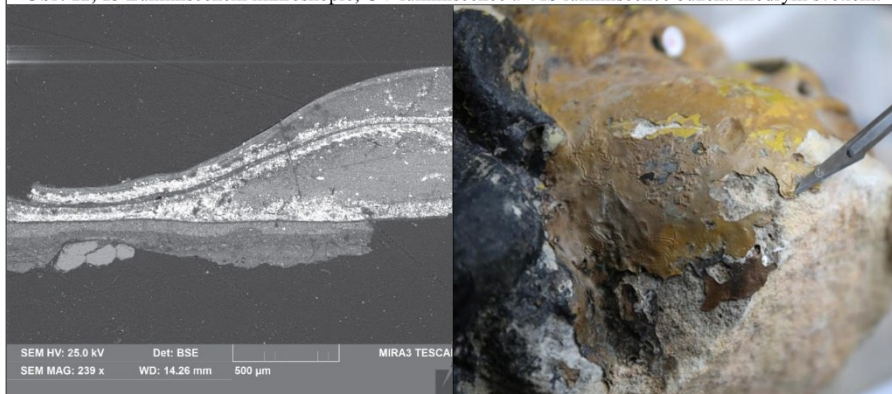
VZOREK 11312/VZP2 – INKARNÁT PRAVÉ TVÁŘE



Obr. 11 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 12, 13 Luminiscenční mikroskopie; UV luminiscence a VIS luminiscence buzená modrým světlem.

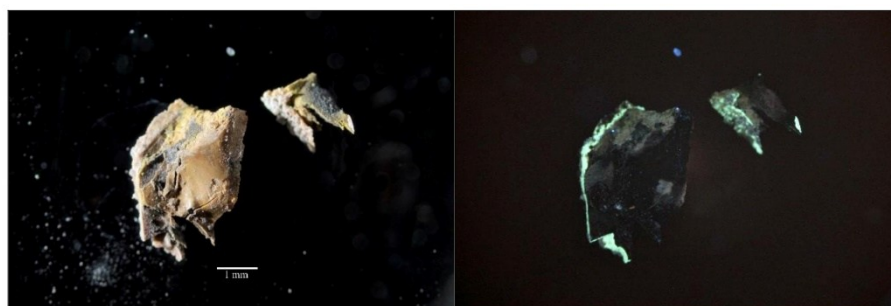


Obr. 14 Elektronová mikroskopie BSE.

Obr. 15 Místo odběru vzorku, detail.

Tab. 3: Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
10	Okrovo-oranžová povrchová úprava	neanalyzováno
9	Okrovo-oranžová povrchová úprava	neanalyzováno
8	Žluto-oranžová silná vrstva: žlutý železitý pigment, zřejmě zinková běloba, blíže neurčeno	Zn, Fe, Na (S, Al, Si, Ba)
7	Žlutá vrstva: barytová běloba, uhličitán vápenatý, žlutý pigment na bázi sloučenin chromu, pigmenty na bázi olova, zinková běloba, blíže neurčeno	Ba, S, Ca, Pb, Si, Zn (Cr, Al, Fe)
6	Žlutá vrstva: barytová běloba, žluté pigmenty na bázi sloučenin chromu – pravděpodobně chromová žluť nebo jiné, blíže neurčeno	Ba, Si, S, Pb, Cr, Al, Ca (Zn, Fe), bílá zrna Ba, S
5	Tenká hnědo-oranžová vrstva: zinková běloba, pigmenty na bázi oxidů železa, žluté pigmenty na bázi sloučenin chromu (mohou pocházet z následující vrstvy), případně jiné	Fe, Zn (Si, P, Pb, Ca, S, Al, Mn, Ba, Cr, Mn)
4	Bílo-běžová vrstva s intenzivní zeleno-žlutou UV luminiscencí: zinková běloba	Zn (Si, S, Fe)
3	Šedo-běžová vrstva s intenzivní zeleno-žlutou UV luminiscencí: zinková běloba, bílá hlinka, zřejmě železité pigmenty	Zn, Si, Al (Fe, S, Ca, Cl) ojediněle zrna Si
2	Oranžovo-růžová tenká vrstva: zinková běloba – patrně z dalších vrstev, zřejmě bílá hlinka, pigmenty na bázi oxidů železa	Zn, Al, Si, Fe
1	Bílá nebo světle šedá povrchová úprava: bílá hlinka	Al, Si (K, Zn, Fe, Mg)
0	Křemenná zrna pískovce	Si

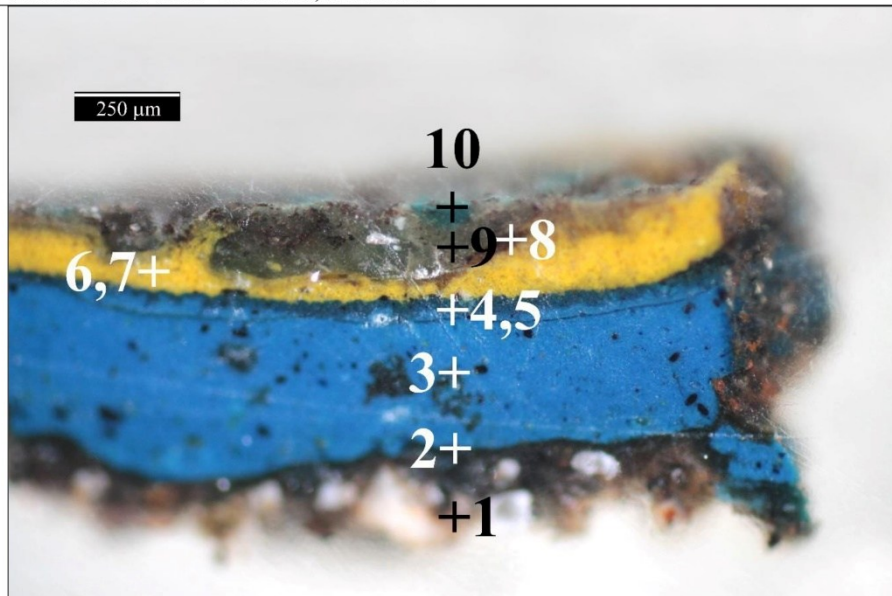


Obr. 16, 17 Optická mikroskopie, vzorek z vrchní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

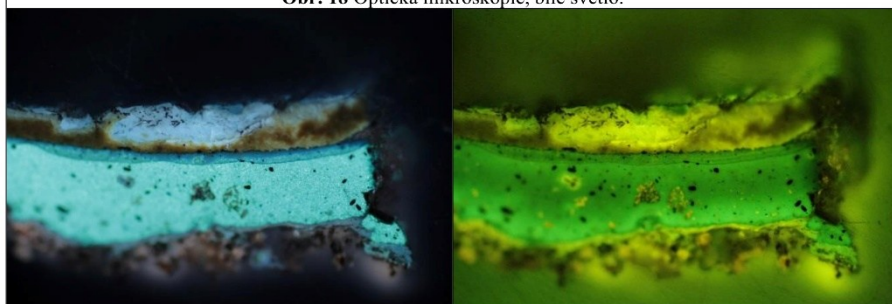
Shrnutí: Vzorek nejprve obsahuje fragment **pískovce** (vrstva 0). Na povrchu pískovce se nejprve vyskytuje **bílá/světle šedá** povrchová úprava (vrstva 1) vyznačující se modrou UV luminiscencí. Úprava obsahuje především bílou hlinku. Následují **tenká oranžovo-růžová** vrstva 2 s železitémi pigmenty a bílou hlinkou a dvě světlé, zřejmě **běžové povrchové úpravy** (vrstvy 3, 4), s vysokým podílem zinkové běloby, vyznačují se zeleno-žlutou UV luminiscencí, charakteristickou pro tento pigment. **Tenká hnědo-oranžová** povrchová úprava 5 obsahuje zinkovou bělobu, pigmenty na bázi oxidů železa a zřejmě také příměs pigmentů na bázi sloučenin chromu. Následují dvě **žluté vrstvy** (6, 7), které obsahují barytovou bělobu, žluté pigmenty na bázi sloučenin různých kombinací prvků chromu, olova, případně barya a zinku, blíže nemohlo být složení těchto vrstev prvkovou analýzou upřesněno. Silnější **žluto-oranžová** úprava (vrstva 8) je probarvena žlutým železitým pigmentem, zřejmě obsahuje zinkovou bělobu, její složení nebylo taktéž blíže specifikováno. Následují **dvě okrovo-oranžové** povrchové úpravy (vrstvy 9, 10), které nebyly analyzovány.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE VRSTEV / OM, SEM

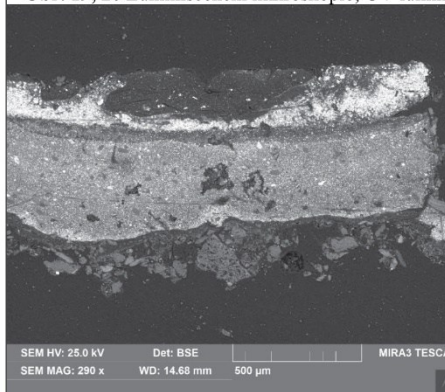
VZOREK 11313/VZP3 – DRAPERIE, LEVÁ NOHA



Obr. 18 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 19, 20 Luminiscenční mikroskopie; UV luminiscence a VIS luminiscence buzená modrým světlem.



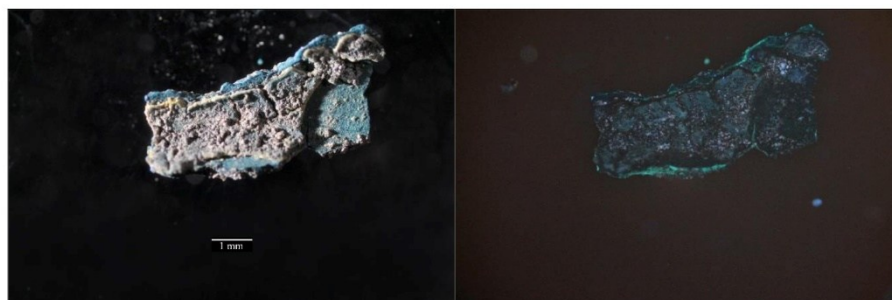
Obr. 21 Elektronová mikroskopie BSE.



Obr. 22 Místo odběru vzorku, detail.

Tab. 4: Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií.

Číslo vrstvy	Popis vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie (OM, SEM/BSE)
10	Fragment tyrkysově polychromie, modrá UV luminiscence
9	Bílá povrchová úprava, modrá UV luminiscence
8	Fragment hnědé vrstvy, modrá UV luminiscence
7	Nesouvislá žlutá vrstva, modrá UV luminiscence
6	Žlutá povrchová úprava, žluto-okrová UV luminiscence
5	Zřejmě další tmavě modrá vrstva
4	Modrá polychromie, obsahuje zinkovou bělobu, zeleno-žlutá UV luminiscence
3	Silná modrá polychromie, obsahuje zinkovou bělobu, zeleno-žlutá UV luminiscence, na povrchu tenká linka, není zřejmě, zda se jedná o další povrchovou úpravu
2	Tenká černá vrstva s modrou UV luminiscencí
1	Hnědo-šedá heterogenní vrstva, může se jednat o nečistoty



Obr. 23, 24 Optická mikroskopie, vzorek z vrchní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

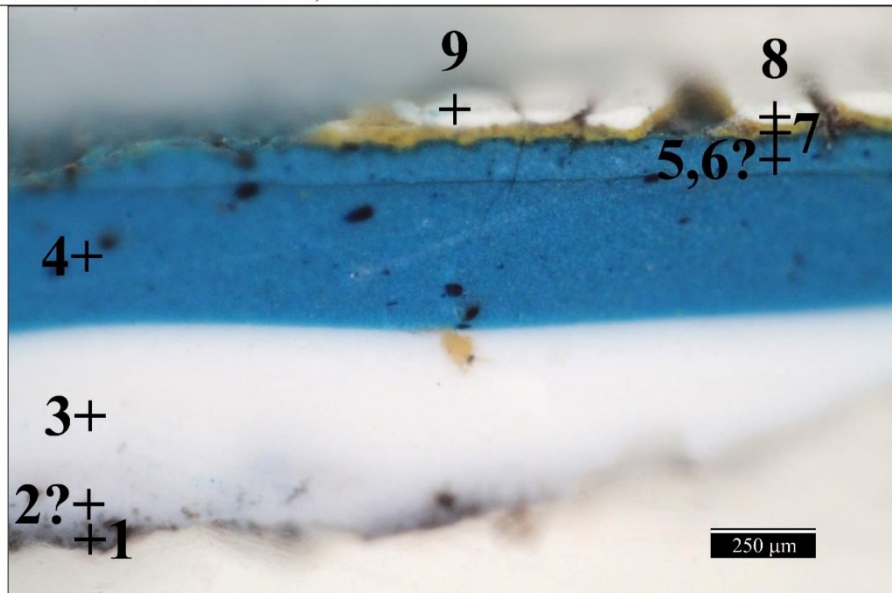


Obr. 25, 26 Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

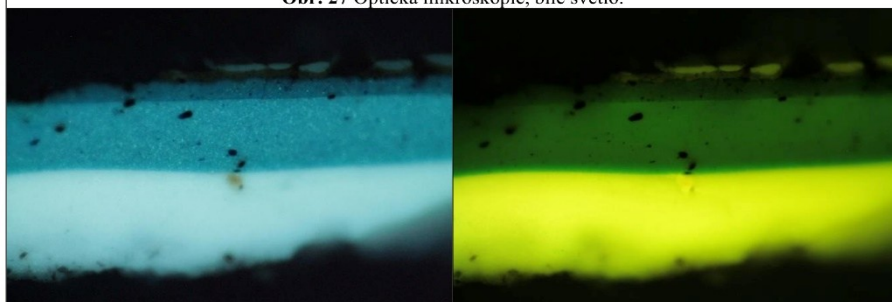
Shrnutí: Vzorek nejprve obsahuje heterogenní hnědo-šedou vrstvu 1, u které není zřejmé, zda se nejedná o relativně silnou vrstvu nečistot. Následuje tmavá, zřejmě **černá** vrstva 2 s modrou UV luminiscencí. Na ní se vyskytuje silná **modrá povrchová úprava** 3 s vysokým podílem zinkové běloby, vyznačují se zeleno-žlutou charakteristickou UV luminiscencí pro tento pigment. Není zřejmé, zda tenká **tmavá linka** na jejím povrchu je další barevnou vrstvou. Následuje další **modrá** povrchová úprava 4 se zinkovou bělobou a zeleno-žlutou UV luminiscencí a zřejmě také tmavší **modrá povrchová úprava** 5 s modrou UV luminiscencí. Na ní se vyskytuje **žlutá** (vrstva 6) povrchová úprava a další **žlutá** nesouvislá povrchová úprava (7). Následuje fragment **hnědé** vrstvy s modrou UV luminiscencí (8) a zřejmě souvrství **bílé** povrchové úpravy 9 s fragmenty **tyrkysově** polychromie (vrstva 10).

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE VRSTEV / OM, SEM

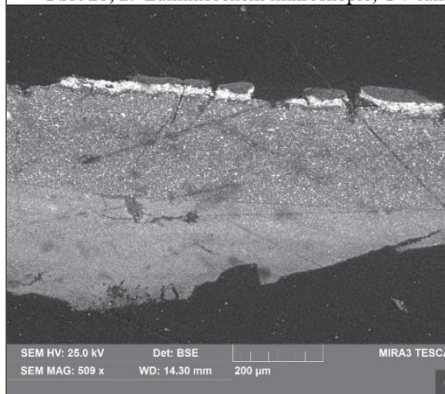
VZOREK 11314/VZP4 – DRAPERIE, LÍMEC



Obr. 27 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 28, 29 Luminiscenční mikroskopie; UV luminiscence a VIS luminiscence buzená modrým světlem.



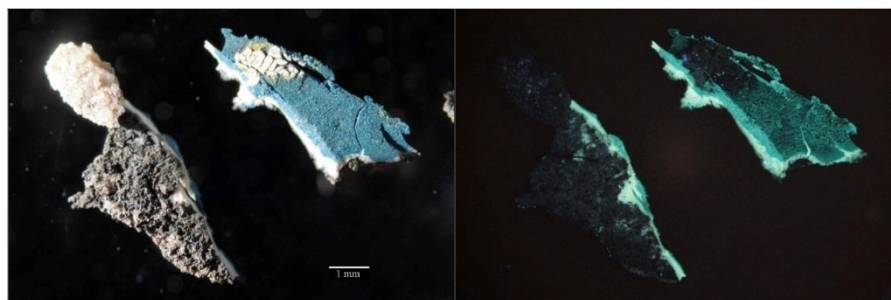
Obr. 30 Elektronová mikroskopie BSE.



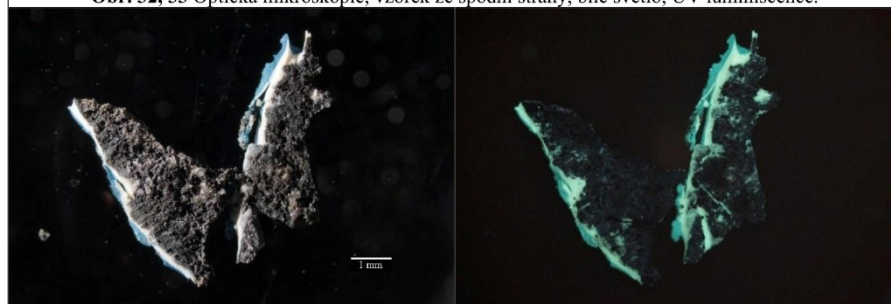
Obr. 31 Místo odběru vzorku, detail.

Tab. 5: Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií.

Číslo vrstvy	Popis vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie (OM, SEM/BSE)
9	Ojedinelé malé fragmenty tyrkysově polychromie, modrá UV luminiscence
8	Bílá povrchová úprava, modrá UV luminiscence
7	Žlutá povrchová úprava, žluto-okrová UV luminiscence
6	Zřejmě další tmavě modrá vrstva
5	Modrá polychromie, obsahuje zinkovou bělobu, zeleno-žlutá UV luminiscence
4	Silná modrá vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, zeleno-žlutá UV luminiscence, na povrchu tenká linka, není zřejmé, zda se jedná o další povrchovou úpravu
3	Silná bílá vrstva se zinkovou bělobou, zeleno-žlutá UV luminiscence, může být nanášena ve dvou vrstvách
2	Zřejmě bílá vrstva
1	Šedá povrchová úprava, místy bílá UV luminiscence



Obr. 32, 33 Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

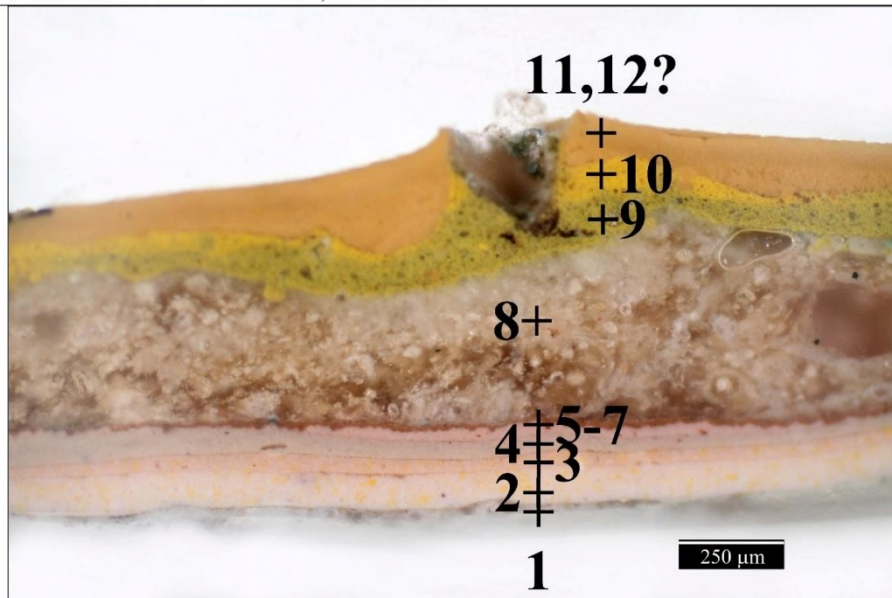


Obr. 34, 35 Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

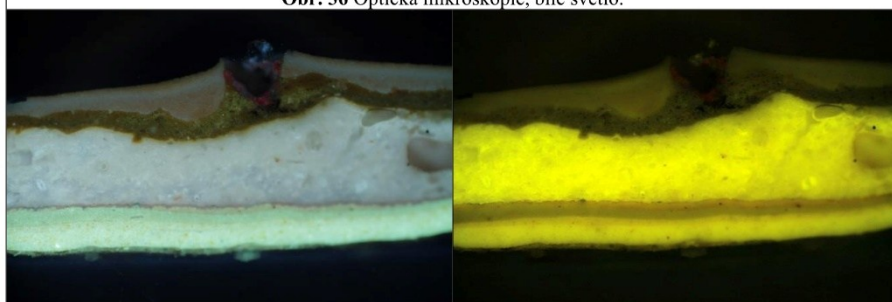
Shrnutí: Vzorek nejprve obsahuje heterogenní šedou vrstvu 1, u které není zřejmé, zda se nejedná o relativně silnou vrstvu nečistot. Následuje zřejmě **nesouvislá bílá** vrstva 2 a **silná bílá** povrchová úprava 3 se zeleno-žlutou UV luminiscencí. Vrstva obsahuje zinkovou bělobu. Na ní se vyskytuje silná **modrá povrchová úprava** 4 s vysokým podílem zinkové běloby, vyznačují se charakteristickou zeleno-žlutou UV luminiscencí pro tento pigment. Není zřejmé, zda tenká **tmavá linka** na jejím povrchu je další barevnou vrstvou. Následuje další **modrá** povrchová úprava 5 se zinkovou bělobou a zeleno-žlutou UV luminiscencí a zřejmě také tmavší **modrá povrchová úprava** 6 s modrou UV luminiscencí. Na ní se vyskytuje **žlutá** (vrstva 7) povrchová úprava. Následuje zřejmě souvrství **bílé** povrchové úpravy 8 a fragmentů **tyrkysově** polychromie (vrstva 9).

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VRSTEV / OM, SEM

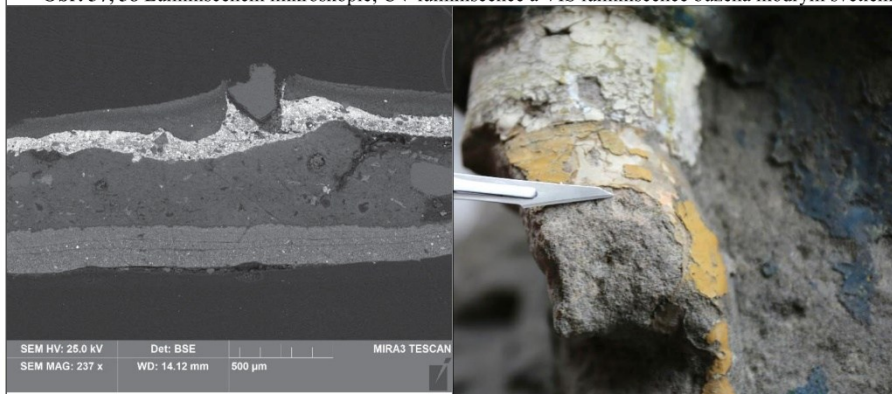
VZOREK 11315/VZP5 – INKARNÁT, PRAVÁ RUKA



Obr. 36 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 37, 38 Luminiscenční mikroskopie; UV luminiscence a VIS luminiscence buzená modrým světlem.

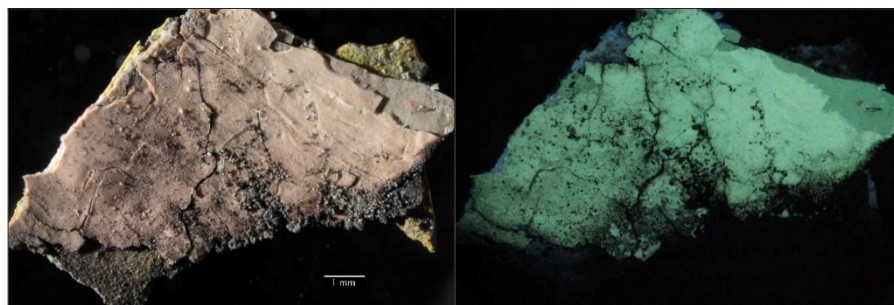


Obr. 39 Elektronová mikroskopie BSE.

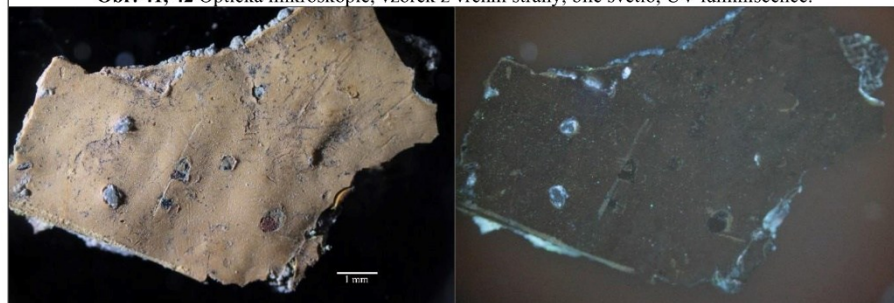
Obr. 40 Místo odběru vzorku, detail.

Tab. 6: Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie (OM, SEM/BSE)
<u>12</u>	Žluto-oranžová povrchová úprava
<u>11</u>	Žluto-oranžová povrchová úprava
<u>10</u>	Žlutá polychromie
<u>9</u>	Žluto-zelená polychromie, promísená s následující vrstvou
<u>8</u>	Silná bílá nebo světle béžová vrstva, šedá UV luminiscence
<u>7</u>	Fragmenty tyrkysové vrstvy
<u>6</u>	Tenká oranžovo-červená vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí
<u>5</u>	Růžová vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí
<u>4</u>	Sedá nebo světle růžová vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí
<u>3</u>	Růžová vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí, dále obsahuje žlutý a červený pigment
<u>2</u>	Růžová vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí, dále obsahuje žlutý a červený pigment
<u>1</u>	Bílá nebo světle šedá vrstva, obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí



Obr. 41, 42 Optická mikroskopie, vzorek z vrchní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



Obr. 43, 44 Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

Shrnutí: Na spodní straně vzorku se vyskytuje **bílá/světle šedá** vrstva 1, která obsahuje zinkovou bělobu, a proto se vyznačuje zeleno-žlutou UV luminiscencí. Následují **čtyři růžové** vrstvy polychromie (vrstvy 2–5), všechny také obsahují zinkovou bělobu a mají zeleno-žlutou UV luminiscenci. Další dvě povrchové úpravy se vyznačují **oranžovo-růžovou** (vrstva 6) a **tyrkysovou** (vrstva 7) barevností. Následuje silná **světle béžová** vrstva 8 s šedo-bílou UV luminiscencí. Dále jsou to **dvě** propojené **žluté** vrstvy 9, 10 a další **dvě žluto-oranžové** povrchové úpravy (vrstvy 11, 12).

ZÁVĚR¹

Laboratorní průzkum byl proveden v souvislosti s restaurováním **pískovcové polychromované sochy chlapce**. Cílem průzkumu bylo zjistit **stratigrafii** a **barevnost povrchových úprav/polychromie**, případně **materiálové složení** vybraných vrstev. Průzkum byl uskutečněn na pěti vzorcích pomocí **optické a skenovací elektronové mikroskopie**. U vybraných vrstev jednoho vzorku bylo určeno prvkové složení **energiově-disperzní analýzou** ve spojení se skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM/EDX).

Vzorky byly odebrány z vlasů, inkarnátů a draperií sochy chlapce. Z průzkumu vyplynulo, že byl reliéf vícekrát v minulosti povrchově upravován. Průzkumem byly pravděpodobně odhaleny alespoň **4 fáze polychromního** zpracování povrchu sochy.

Nejstarší povrchové úpravy jsou zřejmě zachovány ve fragmentální podobě, na mnohých vzorcích nebyly zaznamenány vůbec nebo není čitelná jejich barevnost, případně vrstvení. Do této fáze úprav lze zařadit světlý předpokládaný podklad s bílou hlínkou (vrstva 1) a oranžovo-růžovou polychromií inkarnátu (vrstva 2), které byly zaznamenány na vzorku odebraném z tváře (vzorek 11312).

Další (jedna nebo dvě) **fáze** polychromie se většinou vyznačují vysokým obsahem zinkové běloby (charakteristická UV luminiscence, širší využití od cca 1834). V rámci těchto fází zpracování povrchu sochy byly inkarnáty podle předpokladu pojednány v růžových až nahnědlých odstínech, draperie potom v modré, případně bílé (linky, límec) barvě.

Následuje **žlutá vrstva** zaznamenaná na všech vzorcích, pro níž je charakteristické použití barytové běloby (širší využití od cca 1815) a žlutých pigmentů na bázi sloučenin chromu, olova, případně barya a zinku (pravděpodobně chromová žlut, případně další, širší využití od počátku 19. stol a později). Na některých vzorcích se vyskytují obdobné vrstvy dvě. Patrně se jedná o **scelující nátěr** pro **následující polychromii**, jejíž vrstvení a někdy také barevnost nejsou vždy zcela jednoznačné. Zastoupena je zřejmě dvěma srovnatelnými okrovo-oranžovými nátěry v plochách inkarnátů. V místech draperie byla zaznamenaná světle modrá a bílá (límec) barevnost.

¹ Zdroj literatury k identifikaci pigmentů, případně časového zařazení jejich širšího využití ve výtvarné tvorbě: Šimůnková E., Bayerová T. Pigmenty. STOP. Praha 2014. ISBN 978-80-86657-17-2. 13/17

PŘÍLOHA I – FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE MÍST ODBĚRŮ VZORKŮ

Autorka fotografií: Z. Korábková, Autorka zákresu lokalizace vzorků: E. Vítková



Obr. 45 Lokalizace místa odběru vzorku 11311/VZP1, detail.



Obr. 46 Lokalizace místa odběru vzorku 11312/VZP2, detail.



Obr. 47 Lokalizace místa odběru vzorku 11313/VZP3, detail.



Obr. 48 Lokalizace místa odběru vzorku 11314/VZP4, detail.



Obr. 49 Lokalizace místa odběru vzorku 11315/VZP5, detail.



Obr. 50 Lokalizace míst odběrů vzorků, zakres.

PŘÍLOHA II – PŘEHLED VZORKŮ A VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU STRATIGRAFIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV

Vzorek	11311/VZP1	11312/VZP2	11313/VZP3	11314/VZP4	11315/VZP5
Optická mikroskopie, bílé světlo					
Optická mikroskopie, UV luminescence					
Skenovací elektronová mikroskopie SEM/BSE					
Výstavba povrchových úprav, rozlišitelné časové fáze/vzájemně souvisící vrstvy					
Nejmladší povrchové úpravy	černá 4	oranžovo-žluté 8 až 10	tyrkysová 10 šedá 9 fragment hnědá 8	bílá 8	oranžovo-žluté 11, 12
Srovnatelné žluté vrstvy	žlutá 3	žluté 6, 7	žluté 6, 7	žlutá 7	žluté 9, 10 sílná běžová 8
Povrchové úpravy se zinkovou bělobou	černé vrstvy 1, 2	růžové 3 až 5	modré 3 až 5	modré 4 až 6 bílá 3	fragmenty tyrkysové 7 růžové 2 až 6 bílá 1
vrstvy		hnědo-červená 2 bílá 1	tenká černá 2 šedo-hnědá 1	fragmenty šedé 1	
Základní materiál	úlopek pískovce 0	fragment pískovce 0	-	-	-