

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

**Restaurování sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí**  
**Biologické čištění sádrovcových kruz na kameni pomocí bakterií**

Diplomová práce

2023

BcA. Stella Burkhardtová



Univerzita Pardubice  
Fakulta restaurování  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Stella Burkhardtová**  
Osobní číslo: **R19024**  
Studijní program: **N8206 Výtvarná umění**  
Studijní obor: **Restaurování a konzervace nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury: Kámen**  
Téma práce: **Restaurování sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí; Biologické čištění sádrovcových krust na kameni pomocí bakterií**  
Zadávající katedra: **Ateliér restaurování kamene**

## Zásady pro vypracování

Teoretická část diplomové práce bude zaměřena na možnosti využití bakterií v restaurátorské praxi, zejména při odstraňování sádrovcových krust z kamene. Úvodem teoretické části diplomové práce bude rešerše převážně zahraničních studií a literatury, která se danou problematikou zabývá. Během literární rešerše bude kladen důraz na možnosti zakoupení bakterií, jejich výběr, kultivaci a v neposlední řadě možnosti aplikace. Další část rešerše se bude zabývat přípravou umělé krusty. Výsledky získané z literárních pramenů budou kriticky vyhodnoceny a následně z nich bude vycházeno v experimentální části diplomové práce.

Experimentální část bude zahrnovat sehnání a zakoupení bakterií, které byli v zahraničí použity k čištění sádrovcových krust na kameni. Na základě získaných poznatků bude přistoupeno k jejich kultivaci za účelem empirického testování na některé z hornin používaných v kamenosochařství (vápenec, mramor, pískovec), na kterých je přítomna sádrovcová krusta. Případně bude přistoupeno k nanesení umělé sádrovcové krusty, jež bude simulovat znečištění. V rámci experimentální části budou odzkoušeny různé možnosti aplikace bakterií. Výsledky čištění budou porovnány se zkouškami odstraňování krust pomocí laseru. Na závěr bude provedeno kritické shrnutí a zhodnocení výsledků v širším kontextu včetně doporučení pro současnou restaurátorskou praxi.

Praktická část bude představovat komplexní restaurátorský zásah provedený na pískovcovém sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí. Vlastnímu restaurování bude předcházet samostatné zpracování a vyhodnocení výsledků restaurátorského a přírodovědného průzkumu, na jejichž základě bude vypracována koncepce restaurátorského zásahu. Tvarové rekonstrukce budou prováděny na základě důkladného shromáždění podkladů (historických fotografie a analogie). Všechny postupy budou průběžně konzultovány s přidělenými konzultanty a externími specialisty. Veškeré práce budou průběžně dokumentovány podle standardů stanovených pro restaurátorské dokumentace.

Práce budou probíhat pod dohledem pedagogů restaurátorů. Použité postupy a technologie budou voleny na základě důkladných zkoušek. Při realizaci diplomové práce bude dodržen následující harmonogram dokončování dílčích úkolů.

Harmonogram:

Po ukončení zimního semestru budou vedoucímu a konzultantům prezentovány výsledky průzkumu a rešerší literatury a pramenů k danému tématu. Dokončená textová část bude ve finální podobě předána vedoucímu práce, vedoucímu ateliéru a konzultantům nejpozději jeden měsíc před oficiálním termínem odevzdání práce. Restaurování bude dokončeno a předáno vedoucímu práce včetně kompletní textové, grafické části (zákresy, tabulky) a náhledů tiskové kvality fotodokumentace, nejpozději 14 dní před oficiálním termínem odevzdání práce (elektronická podoba). Finální podoba diplomové práce bude k závěrečné revizi (v elektronické podobě) doručena vedoucímu týden před oficiálním termínem odevzdání práce.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

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

Seznam doporučené literatury:

- Základní: Viñas S. M. Contemporary Theory of Conservation. Oxford, 2005.
- Základní: Didaktické návody (vydáno v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA).
- Henry, A., ed. Stone conservation, principles and Practice (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DPC). Donhead Publishing Ltd. 2006.
- Základní: Price C., Doehne E. Stone conservation (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA). The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010.
- Doporučená: Zelinger J. a kol. Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Academia Praha, 1987.
- Doporučená: Ďoubal, J. Kamenné památky Kutné Hory: restaurování a péče o sochařské památky (vydáno v rámci projektu DPC). Univerzita Pardubice, 2015.
- Doporučená: Torraca, G. Lectures on materials Science For Architectural Conservation. GCI, Los Angeles, 2009.
- Doporučená: Ďoubal J. a kol. Sádrové odlitky: restaurování a péče o sádrová díla. Univerzita Pardubice, 2020.
- Doporučená: Šimůnková E., Bayerová T. Pigmenty. STOP Praha, 1999.
- Doporučená: Henry A., ed. Principles and Practice (Polychrome Stone by Christopher Weeks: s. 237-255). Donhead Publishing Ltd., 2006.
- Doporučená: Koller, M. Probleme und Methoden der Retusche polychromer Skulptur, in: maltechnik Restauro 85 /1979), s. 14-40 (přeloženo v rámci projektu DPC).
- Doporučená: Kopecká I., Nejedlý V. Průzkum hist. materiálů, analytické metody pro rest. a pam. péči. Grada Pub., 2005.
- Doporučená: Knoepfli A., ed. Reclams Handbuch der Künstlerischen Techniken. Stuttgart, 1990.
- Doporučená: Slánský, B. Technika malby. Praha, 2003.
- Doporučená: Slánský, B. Technika v malířské tvorbě (malářský a restaurátorský materiál). Praha, 1976.
- Doporučená: BRANDI, C. Teorie restaurování. Kutná Hora: Tichá Byzanc, 2000.
- Doporučená: Kubička R., Zelinger J. Výkladový slovník malířství, grafiky a restaurátorství. Grada, 2004. ISBN 0-247-9046-7.

Vedoucí diplomové práce:

**MgA. Petr Rejman**

Ateliér restaurování kamene

Datum zadání diplomové práce:

**21. prosince 2022**

Termín odevzdání diplomové práce:

**16. srpna 2023**

L.S.

---

**Mgr. BcA. Radomír Slovík**  
děkan

---

**doc. Jakub Ďoubal, Ph.D.**  
vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 14. srpna 2023

## **Prohlašuji:**

Práci s názvem **Restaurování sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí a Biologické čištění sádrovcových krust na kameni pomocí bakterií** jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, 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

Stella Burkhardtová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala MgA. Petru Rejmanovi za odborné vedení restaurátorských prací, cenné rady a pomoc nejen během diplomové práce, ale po celou dobu studia. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Petře Lesniakové Ph.D. za přínosné konzultace, obětavost a vedení teoretické a experimentální části diplomové práce. Děkuji také vedoucímu ateliéru doc. Mgr. art. Jakubovi Ďoubalovi Ph.D. a MgA. Petře Zítkové za pravidelné konzultace a pomoc během studia. Mé další poděkování patří Mgr. Vladislavě Říhové, která se podílela na umělecko-historickém průzkumu sousoší Nejsvětější Trojice v Osíku. Zde bych také ráda poděkovala panu Miroslavovi Dvořákovi z Litomyšli, jenž mi zaslal velmi přínosnou historickou fotografii díla.

Je mi velkou ctí, že téma teoretická části diplomové práce bylo vybráno do projektu studentské grantové soutěže probíhající na Univerzitě Pardubice v roce 2022, díky které mohlo dojít k jeho financování a realizaci. Dále bych chtěla poděkovat za spolupráci Univerzitě Pardubice, konkrétně Ing. Květě Koryčanové Ph.D. za kultivaci a přípravu bakterií pro experimentální část práce. Na tomto místě bych také ráda poděkovala archiváři MMag. Franzi Zehetnerovi z archivu stavební huti dómu sv. Štěpána ve Vídni, který pro experiment poskytnul vápencové architektonické prvky s reálnou krustou.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat všem mým spolužákům za podporu a pomoc během studia, jmenovitě MgA. Markovi Laškovi, BcA. Adéle Machové, MgA. Jakubovi Balcarovi, BcA. Vítovi Šafferovi, BcA. Blance Veselé, BcA. Marku Knotovi a MgA. Zuzaně Auské, které navíc děkuji za provedené korektury textu práce.

V závěru bych chtěla poděkovat celé mé rodině, partnerovi a blízkým přátelům za veškerou podporu a pomoc během studia.

## **Název**

Restaurování sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí

Biologické čištění kamene od sádrovcových krust pomocí bakterií

## **Anotace**

Diplomová práce je rozdělena na praktickou a teoretickou část.

Praktická část představuje komplexní restaurátorský zásah provedený na pískovcovém sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí. Samotnému restaurování předcházela restaurátorský a přírodovědný průzkum, na jejichž základě byla zvolena koncepce restaurátorského zásahu. Všechny kroky restaurování jsou podrobně popsány a fotograficky i graficky zdokumentovány.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na možnosti využití bakterií v restaurátorské praxi, zejména při odstraňování sádrovcových krust z kamene. Literární rešerše shrnuje zkušenosti s bakteriálním čištěním a zabývá se možnostmi přípravy umělé krusty. Z těchto poznatků vychází experimentální část, která zahrnuje zakoupení bakterií, jejich kultivaci a následnou aplikaci na vápenec se sádrovcovou krustou a na připravené sádrové a vápencové vzorky s umělou krustou. Výsledky jsou v závěru porovnány s dalšími metodami čištění.

## **Klíčová slova**

restaurování, Nejsvětější Trojice, Osecké údolí, biologické čištění, sádrovcová krusta, umělá krusta, bakterie *desulfovibrio vulgaris*.

## **Title**

Restoration of the Sculpture of the Holy Trinity in the Osecké údolí

Biological cleaning of stone from gypsum crusts by bacteria

## **Annotation**

The thesis is divided into practical and theoretical parts.

The practical part presents a complex restoration intervention carried out on the sandstone sculpture of the Holy Trinity in the Osec valley. The restoration itself was preceded by a restoration and natural history survey, on the basis of which the concept of the restoration intervention was chosen. All steps of the restoration are described in detail and documented photographically and graphically.

The theoretical part of the thesis focuses on the possibilities of using bacteria in restoration practice, especially in the removal of gypsum crusts from stone. The literature search summarizes the experience with bacterial cleaning and discusses the possibilities of artificial crust preparation. The experimental part is based on these findings and includes the purchase of bacteria, their cultivation and subsequent application to limestone with gypsum crust and to prepared gypsum and limestone samples with artificial crust. The results are finally compared with other cleaning methods.

## **Keywords**

Restoration, Holy Trinity, Ossetian Valley, biological cleaning, gypsum crust, artificial crust, bacteria *desulfovibrio vulgaris*.



# OBSAH

<b>I.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>II.</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>ZÁKLADNÍ INFORMACE .....</b>	<b>16</b>
1.1	LOKALIZACE PAMÁTKY .....	16
1.2	ÚDAJE O PAMÁTCE .....	16
1.3	ÚDAJE O AKCI .....	17
1.4	ÚDAJE O DOKUMENTACI .....	17
<b>2</b>	<b>ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>PRŮZKUM.....</b>	<b>19</b>
3.1	UMĚLECKOHISTORICKÝ PRŮZKUM .....	19
3.1.1	<i>Historie sousoší Nejsvětější Trojice .....</i>	<i>19</i>
3.1.2	<i>Další probádané prameny.....</i>	<i>21</i>
3.1.3	<i>Sochařské předlohy pro vyhotovení chybějících částí postav.....</i>	<i>24</i>
3.1.4	<i>Ikonografie Nejsvětější Trojice .....</i>	<i>26</i>
3.1.5	<i>Popis díla.....</i>	<i>28</i>
3.1.6	<i>Předchozí restaurátorské zásahy.....</i>	<i>29</i>
3.2	RESTAURÁTORSKÝ PRŮZKUM.....	29
3.2.1	<i>Stav památky před restaurováním – vizuální průzkum .....</i>	<i>29</i>
3.2.2	<i>Průzkum UV fluorescence .....</i>	<i>30</i>
3.2.3	<i>Průzkum kovových prvků a čepů pomocí detektoru kovů.....</i>	<i>34</i>
3.2.4	<i>Měření kapilární nasákavosti.....</i>	<i>34</i>
3.2.5	<i>Stanovení obsahu vodorozpustných solí .....</i>	<i>36</i>
3.2.6	<i>Stratigrafie a materiálový průzkum povrchových úprav .....</i>	<i>37</i>
3.2.7	<i>Určení stavu horniny – měření ultrazvukové transmise .....</i>	<i>38</i>
<b>4</b>	<b>ZKOUŠKY MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ.....</b>	<b>39</b>
4.1	ZKOUŠKY ČIŠTĚNÍ BIOLOGICKÉHO NAPADENÍ .....	39
4.2	ZKOUŠKY ČIŠTĚNÍ SÁDROVCOVÝCH KRUST .....	40
4.3	ZKOUŠKY MINERÁLNÍCH TMELŮ PRO TVAROVÉ DOPLŇKY A VÝDUSEK.....	42
<b>5</b>	<b>VYHODNOCENÍ PRŮZKUMU .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>KONCEPCE RESTAURÁTORSKÉHO ZÁSAHU .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>POSTUP RESTAURÁTORSKÝCH PRACÍ .....</b>	<b>49</b>
7.1	ODSTRANĚNÍ BIOLOGICKÉHO NAPADENÍ.....	49
7.2	ODSTRANĚNÍ KRUSTY .....	49
7.3	ODSOLOVÁNÍ.....	49

7.4	KONSOLIDACE .....	50
7.5	INJEKTÁŽ PRASKLIN .....	50
7.6	VÝROBA DOPLŇKŮ Z UMĚLÉHO KAMENE A JEJICH OSAZENÍ .....	50
7.7	PLASTICKÁ RETUŠ .....	51
7.8	BAREVNÁ RETUŠ .....	52
7.9	OSAZOVÁNÍ A HYDROFOBIZACE .....	52
<b>8</b>	<b>POUŽITÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE .....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>DOPORUČENÝ REŽIM PAMÁTKY .....</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>GRAFICKÁ PŘÍLOHA .....</b>	<b>56</b>
10.1	STAV PŘED RESTAUROVÁNÍM .....	56
10.2	STAV PO RESTAUROVÁNÍ .....	60
<b>11</b>	<b>OBRAZOVÁ PŘÍLOHA RESTAURÁTORSKÉ ZPRÁVY .....</b>	<b>62</b>
11.1	FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA HISTORICKÉHO PRŮZKUMU .....	62
11.2	SOCHAŘSKÉ PŘEDLOHY PRO DOPLNĚNÍ CHYBĚJÍCÍCH ČÁSTÍ .....	64
11.3	FOTOGRAFICKÁ PŘÍLOHA RESTAURÁTORSKÉHO ZÁSAHU .....	68
11.3.1	<i>Stav před restaurováním .....</i>	<i>68</i>
11.3.2	<i>Stav po očištění .....</i>	<i>76</i>
11.3.3	<i>Stav po doplnění chybějících částí .....</i>	<i>80</i>
11.3.4	<i>Stav po restaurování .....</i>	<i>86</i>
11.3.5	<i>Průběh restaurátorských prací .....</i>	<i>93</i>
<b>III.</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>104</b>
<b>12</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>105</b>
<b>13</b>	<b>REŠERŠE LITERÁRNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>107</b>
13.1	SPECIFIKA ČIŠTĚNÍ KAMENNÝCH DĚL .....	107
13.2	SULFATIZACE A VZNIK SÁDROVCOVÝCH KRUST .....	107
13.3	ZAVEDENÉ MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ SÁDROVCOVÝCH KRUST .....	109
13.4	POUŽITÍ MIKROORGANISMŮ V RESTAUROVÁNÍ .....	110
13.5	ODSTRAŇOVÁNÍ SÁDROVCOVÝCH KRUST DESULFURIKAČNÍMI BAKTERIEMI .....	111
13.5.1	<i>Vývoj použití bakterií při odstraňování síranů a sádrovcových krust .....</i>	<i>113</i>
13.5.2	<i>Shrnutí aplikačních metod .....</i>	<i>119</i>
13.5.3	<i>Kultivace bakterií Desulfovibrio vulgaris .....</i>	<i>120</i>
13.6	RECEPTURY NA VYTVOŘENÍ UMĚLÉ KRUSTY .....	121
13.6.1	<i>Pigment (nečistota) na sádře, suchá aplikace .....</i>	<i>122</i>
13.6.2	<i>Směs pigmentu (nečistoty) a sádry na sádře, mokrá aplikace .....</i>	<i>126</i>
13.6.3	<i>Drcená přírodní krusta se sádrou aplikovaná na vlhkou sádro .....</i>	<i>130</i>
13.6.4	<i>Expozice karbonátového kamene sloučeninám síry .....</i>	<i>131</i>

<b>14</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>134</b>
14.1	SEZNAM POUŽITÝCH MATERIÁLŮ, METOD A PŘÍSTROJŮ .....	134
14.1.1	<i>Materiály.....</i>	<i>134</i>
14.1.2	<i>Metody a přístroje .....</i>	<i>135</i>
14.2	VÝBĚR ČIŠTĚNÝCH PODKLADŮ .....	136
14.3	PŘÍPRAVA UMĚLÝCH KRUST NA SÁDROVÉM A VÁPENCOVÉM PODKLADU.....	138
14.4	ZKOUŠKY ČIŠTĚNÍ.....	139
14.4.1	<i>Zkoušky čištění pomocí laserů .....</i>	<i>139</i>
14.4.2	<i>Pilotní kultivace bakteriálního systému.....</i>	<i>144</i>
14.4.3	<i>Pilotní aplikace bakteriální suspenze v Carbogelu.....</i>	<i>146</i>
14.5	METODY VYHODNOCENÍ.....	152
14.5.1	<i>Vizuální posouzení a fotografická dokumentace.....</i>	<i>152</i>
14.5.2	<i>Průzkum testovaných ploch ve větším zvětšení .....</i>	<i>153</i>
14.5.3	<i>Průzkum odebraných vzorků – světelná mikroskopie.....</i>	<i>153</i>
14.5.4	<i>Průzkum odebraných vzorků – skenovací elektronová mikroskopie .....</i>	<i>154</i>
14.6	VÝSLEDKY .....	154
	<i>Příprava zkušebních vzorků .....</i>	<i>154</i>
14.6.1	<i>Vizuální vyhodnocení zkoušek čištění pomocí laserů.....</i>	<i>158</i>
14.6.2	<i>Vizuální vyhodnocení pilotních zkoušek čištění pomocí bakterií.....</i>	<i>167</i>
14.6.3	<i>Výsledky mikroskopického průzkumu .....</i>	<i>169</i>
<b>15</b>	<b>DISKUZE A SHRNU TÍ .....</b>	<b>172</b>
15.1	TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY VYPLÝVAJÍCÍ Z REŠERŠE LITERATURY .....	172
15.2	PŘÍPRAVA MODELOVÝCH VZORKŮ S UMĚLOU KRUSTOU, VHODNOST VZORKŮ.....	172
15.3	KULTIVACE A APLIKACE BAKTERIÁLNÍ SUSPENZE .....	174
15.4	POUŽITÍ LASERŮ.....	176
15.4.1	<i>Čištění umělých krust pomocí laserů.....</i>	<i>177</i>
15.4.2	<i>Čištění reálných krust vápencových prvků pomocí laserů .....</i>	<i>178</i>
<b>IV.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>180</b>
<b>16</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ .....</b>	<b>183</b>
16.1	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	183
16.2	SEZNAM PRAMENŮ .....	198
<b>17</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>200</b>
<b>18</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>201</b>
<b>19</b>	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>202</b>
<b>20</b>	<b>SEZNAM VYOBRAZENÍ.....</b>	<b>203</b>
20.1	SEZNAM OBRAZOVÝCH PŘÍLOH.....	203

20.2	SEZNAM GRAFICKÝCH PŘÍLOH .....	212
<b>21</b>	<b>SEZNAM TEXTOVÝCH PŘÍLOH .....</b>	<b>213</b>

# I. ÚVOD

Diplomová práce je složena ze dvou částí, praktické, ta představuje podrobnou restaurátorskou dokumentaci k zásahu na pískovcovém sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí, a teoretické, která se zabývá možnostmi využití bakterií v restaurátorské praxi, zejména při odstraňování sádrovcových krust z kamene.

Sousoší Nejsvětější Trojice bylo před provedením zásahu značně poškozeno, dá se říci, že se dochovalo jako torzo, protože došlo k rozsáhlým úbytkům ve hmotě, včetně hlav obou zobrazených figur. Na díle byl proveden komplexní restaurátorský zásah, který vzhledem k dochovanému stavu představoval poměrně náročnou výzvu. Nejsložitější částí zásahu bylo zhotovení doplňků chybějících hlav Boha Otce a Ježíše Krista. Samotnému restaurování předcházela umělecko-historický, restaurátorský a přírodovědný průzkum, na jejichž základě byla zvolena koncepce restaurátorského zásahu. Všechny kroky restaurování jsou podrobně popsány a fotograficky i graficky zdokumentovány.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na možnosti využití bakterií v restaurátorské praxi, zejména při odstraňování sádrovcových krust z kamene. Téma pozitivního využití mikroorganismů při péči o kulturní dědictví není v českém prostředí příliš známé, i když v zahraničí jde o etablovaný výzkum. Literární rešerše shrnuje zkušenosti s bakteriálním čištěním a zabývá se možnostmi přípravy umělé krusty. Z těchto poznatků vychází experimentální část, která zahrnuje zakoupení bakterií, jejich kultivaci a následnou aplikaci na vápenec se sádrovcovou krustou a na připravené sádrové a vápencové vzorky s umělou krustou. Výsledky jsou v závěru porovnány s laserovým čištěním.

## II. PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

### Restaurování sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí



*Obr. 1 Stav sousoší Nejsvětější Trojice a podstavce před zahájením restaurátorského zásahu s vymezením restaurovaného úseku, vyfoceno v místě osazení památky (autor fotografie – MgA. Petr Rejman, 2020, vyfoceno na FinePix S9600 od firmy FUJIFILM)*

# 1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

## 1.1 Lokalizace památky

Kraj:	Pardubický
Okres:	Svitavy
Obec:	Litomyšl
Katastrální území:	Litomyšl, památka je však na hranici kat. území Litomyšl a Osík
Adresa:	Litomyšl 570 01
GPS souřadnice:	49.8608250N, 16.2987264E
Bližší určení místa:	Osecké údolí, po levé straně cesty vedoucí ze silnice 359 k Lučnímu rybníku

## 1.2 Údaje o památce

Název památky:	Sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí
Klasifikace památky:	není zapsána v seznamu kulturních památek
Autor:	neznámý
Sloh/Datace:	pseudoslohový, 1873
Technika:	sekaná, původně barevně upravená kamenná skulptura
Materiál:	pískovec, pravděpodobně Maletín
Rozměry:	sousoší: výška – 130 cm (bez hlav a doplňku kříže), šířka – 90 cm, hloubka – 50 cm - Součástí památky je i podstavec, který není předmětem restaurování této diplomové práce.
Předchozí známé restaurátorské zásahy:	nejsou datovány

### 1.3 Údaje o akci

Vlastník památky a zadavatel:	Město Litomyšl
Restaurátorský záměr – návrh na restaurování:	MgA. Petr Rejman, 2020
Zhotovitel:	Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl
Odborný pedagogický dozor:	MgA. Petr Rejman
Sousoší restaurovala:	BcA. Stella Burkhardtová
Podstavec pod sousoším restauroval:	Samuel Schreiber
Odborné spolupráce:	Ing. Petra Lesniaková, Ph.D.; Mgr. Vladislava Říhová, Ph.D.
Termín započetí a ukončení akce:	září 2020 – listopad 2022

### 1.4 Údaje o dokumentaci

Autor dokumentace:	BcA. Stella Burkhardtová
Autor fotografií:	BcA. Stella Burkhardtová (není-li uvedeno jinak)
Použitá snímací technika:	Canon EOS 60D (není-li uvedeno jinak)



## 2 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

Předmětem diplomové práce je sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí. Součástí památky je i podstavec, který restauroval student Fakulty restaurování Univerzity Pardubice – Samuel Schreiber. Na podstavci se nachází nápis, který nám odhaluje, že sochu nechal v roce 1873 vyhotovit litomyšlský měšťan Václav Svoboda. Památka je umístěna pod stromy u šterkové cesty vedoucí ze silnice 359 k Lučnímu rybníku. Na jaře roku 2020 byl na objektu realizován předběžný restaurátorský záměr.<sup>1</sup> V tomto vstupním záměru byl popsán nálezový stav památky a navrhnout postup prací.

Hlavním úkolem pro navazující restaurátorský průzkum je shromáždění dostatečných podkladů umožňujících zhotovení chybějících hlav postav, ruky a vrchní části kříže. Z těchto důvodů se umělecko-historický průzkum převážně zabývá shromážděním historických fotografií díla a fotografií analogických objektů. Investor restaurátorského zásahu zvažuje přemístění tohoto díla. Pro tyto účely bylo zapotřebí shromáždit informace, které by objasnily, na základě čeho vybral donátor památky Václav Svoboda současné místo. V rámci průzkumu byly zjišťovány vlastnosti a stav materiálu díla provedením měření kapilární nasákavosti, stanovením obsahu vodorozpustných solí nebo měřením ultrazvukové transmise. V rámci průzkumu bylo odebráno několik vzorků pro chemickotechnologický průzkum za účelem zjištění materiálového složení tmelů a dochovaných fragmentů povrchových úprav. U vzorků povrchových úprav bylo zároveň cílem popsat stratigrafii jednotlivých vrstev. Na základě vyhodnocení výsledků provedeného průzkumu bylo formulováno vyhodnocení a navržen případný další postup prací.

---

<sup>1</sup> REJMAN. 2020.

### 3 PRŮZKUM

Umělecko-historický průzkum se věnuje dohledání analogií, historických fotografií a sochařských předloh k celému objektu. Hlavním cílem bylo zjistit, kdy došlo k odcizení litinového zlaceného reliéfu Panny Marie, který byl původně uchycen na čelní straně podstavce, a kdy byly ulomeny hlavy postav, ruka a vrchní část kříže u Nejsvětější Trojice. Restaurátorský průzkum a chemicko-technologický průzkum se již zabývá pouze sousoším Nejsvětější Trojice, jenž je předmětem restaurování této práce. V případě, že během průzkumů u podstavce došlo k objevení nových poznatků, či se objevila jiná návaznost se sousoším Nejsvětější Trojice, odkazuje se text na restaurátorskou dokumentaci Samuela Schreiberera, která se restaurováním podstavce zabývá.

#### 3.1 Umělecko-historický průzkum

Jak již bylo řečeno, umělecko-historický průzkum se zabývá jak podstavcem, tak sousoším Nejsvětější Trojice. K zjištění informací o díle a jeho historii byla provedena rešerše dostupných historických pramenů. V rámci průzkumu bylo spolupracováno se Státním okresním archivem Svitavy se sídlem v Litomyšli, s Městskou galerií Litomyšl a s Regionálním muzeem v Litomyšli. Dále byl kontaktován bývalý ředitel místní školy a bývalý redaktor obecních novin obce Osíka, autor několika publikací a kronik zabývajících se Osíkem Josef Klouda a probošt Římskokatolické farnosti – probošství Litomyšl Zdeněk Mach.

##### 3.1.1 Historie sousoší Nejsvětější Trojice

Dle identifikačního nápisu na zadní straně podstavce je nám známo, že sochu Nejsvětější Trojice nechal vytvořit litomyšlský měšťan Václav Svoboda v roce 1873. V rámci umělecko-historického průzkumu byla nalezena v online sbírkách Regionálního muzea v Litomyšli idealizovaná kolorovaná perokresba od Quida Šimka.<sup>2</sup> Jedná se o kresbu na papírové podložce z období mezi lety 1921–1933. Rozměry kresby jsou 22,5 cm na výšku a 31,5 cm na šířku. Kresba je rozdělena na dvě poloviny. V levé polovině je Svatá Trojice z Oseckého údolí a v pravé polovině je socha Svaté Trojice, která se nachází u hřbitova. Perokresba je doplněna textem, kde se kromě znění nápisu

---

<sup>2</sup> ŠIMEK. 1921–1933.

vysekaného na zadní straně podstavce vyskytuje věta informující o tom, že roku 1919 byl soše uražen kříž. Na základě otisknutého příspěvku ve zpravodaji Lilie nám byla poskytnuta od Miroslava Dvořáka fotografie z roku 1961, která se nacházela v kronice tehdejší 6. třídy Masarykovy základní školy v Morašicích. Z této fotografie je nám známo, že k odcizení litinové madony, ulomení hlav postav a žezla v ruce Boha Otce došlo až po vzniku této fotografie. Kdy došlo k ulomení ruky není známo, jelikož ruka není na fotografii vidět, jelikož sousoší je zde zachyceno z pravého boku. O fotografii z roku 1961 je rozsáhleji psáno v následující podkapitole.



Obr. 2 Sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí v levé polovině kresby, perokresba od Q. Šimka z období mezi lety 1921–1933, Regionální muzeum v Litomyšli



Obr. 3 Historická fotografie sousoší Nejsvětější Trojice z roku 1961, kronika tehdejší 6. třídy Masarykovy základní školy v Morašicích (autor fotografie: učitel Maleček z Morašic)

### 3.1.2 Další probádané prameny

V rámci umělecko-historického průzkumu jsme se Samuelem Schreiberem navštívili Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli, kde nám byla poskytnuta Pamětní kniha města Osíka, kterou přepsal v roce 2003 podle rukopisné kroniky Bernarda Beniše Josef Klouda.<sup>3</sup> V prepisu od Josefa Kloudy je sousoší Nejsvětější Trojice zmíněno v těchto větách: „*Studánka tato leží ve břehu u cesty vedoucí od dolního mlýna ku statui Nejsvět. Trojice, kde cesta se rozvětjuje ve tři směry, okolo rybníka, přímo do vrchu k Litomyšli a na okr. silnici.*“<sup>4</sup>, „*Cestou z Bělidel sestoupíme ke statui Nejsvětější Trojice a odtud' přímo okolo Slezákova křížku, který...*“<sup>5</sup> Nelze s jistotou říct, zda se jedná o přesné znění vět, jelikož Josef Klouda text upravil podle nového pravopisu. V archivu byl dále probádán Přehled článků časopisu *Od Trstenické stezky*<sup>6</sup>, *Soupis památek historických a uměleckých v politickém okrese Litomyšlském*<sup>7</sup>, *Školní kroniky Osíku*<sup>8</sup> a pamětní kniha města Litomyšle.<sup>9</sup> V žádné z těchto publikací se pravděpodobně zmínka o sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí nevyskytuje.

Dále jsme prostudovali starší kroniku Římskokatolické farnosti v Litomyšli,<sup>10</sup> kterou v současné době restauruje MgA. Ivan Kopáčik. Na kroniku nás odkázal probošt této farnosti a proboštsství Zdeněk Mach. V kronice je popsáno mnoho památek z Litomyšle a okolí, ale sousoší Nejsvětější Trojice z Oseckého údolí se zde nevyskytuje.

Během průzkumu jsme také prošli sbírku výtvarného umění Městské galerie Litomyšl, která je dostupná online na stránkách instituce.<sup>11</sup> V těchto sbírkách jsme nenašli žádná umělecká díla, která by ztvárňovala sousoší v Oseckém údolí. Následně byla kontaktována kurátorka galerie Mgr. Zuzana Tomanová, která nám potvrdila, že se k danému tématu ve sbírkách nic nevyskytuje.

---

<sup>3</sup> SOkA Svitavy. *Pamětní kniha obce Osíka.*

<sup>4</sup> Tamtéž, s. 7.

<sup>5</sup> Tamtéž, s. 11.

<sup>6</sup> KUPKA. 1931.

<sup>7</sup> MATĚJKA; ŠTĚPÁNEK; WIRTH. 1908.

<sup>8</sup> SOkA Svitavy. *Kronika školy obecné v Osíku z let 1869–1921.*

SOkA Svitavy. *Kronika obecné školy v Osíku z let 1921–1934.*

SOkA Svitavy. *Školní kronika od r. 1940 do r. 1945, z let 1939–1945.*

<sup>9</sup> SOkA Svitavy. *Kniha pamětní města Litomyšle počínajíc od r. 1848.*

<sup>10</sup> Kronika Římskokatolické farnosti. 19. století.

<sup>11</sup> Sbírký on-line. Městská galerie Litomyšl, 2015.

V neposlední řadě došlo k přečtení všech čísel obecních novin Osík DNES, které jsou zdigitalizovány. Jedná se o první číslo z roku 1994 a čísla vydávané v letech 2008–2020. Fotografie sousoší Nejsvětější Trojice byla v novinách poprvé publikována v roce 2013.<sup>12</sup> Míra dochování je totožná se současným stavem díla. Fotografie odhaluje pouze informaci, že k odcizení litinové madony na podstavci došlo již před rokem 2013. Sousoší je dále zachyceno na fotografii dokumentující výstavbu kanalizace v Osíku.<sup>13</sup> Socha je zde zachycena z pravého boku a nepřináší nám žádné nové poznatky o díle. Nejrozsáhlejší zmínkou o sousoší je článek, který vyšel v čísle 7–8 tohoto roku (2020), zabývající se pamětními kříži a pomníky v Osíku.<sup>14</sup> Autorka článku Dana Mňuková zde uvádí: „Prvním je 2,5 m vysoký pískovcový pomník Trojice boží. Dle vyprávění jde o poděkování litomyšlského měšťana za uchránění obyvatel před morovou epidemií. Je usazen u polní cesty, pod dvěma již značně sešlými a polámanými lipami. Dříve tudy vedla cesta z Litomyšle přes kopec směrem k Osíku – Lazaretu. Jeho vrchní část i sousoší je bohužel již značně poškozena. Najdeme zde vyryty tyto citace z Bible a odkaz V. Svobody:...”<sup>15</sup> Text dále pokračuje zněním nápisů, které jsou vysekány na podstavci. Autorka článku zde uvádí, že památka byla založena roku 1863. Jedná se však o chybný přepis, jelikož byla založena Václavem Svobodou až v roce 1873. Také je zde pravděpodobně nesprávně uvedeno, že památka byla postavena jako poděkování před uchráněním před morovou epidemií, jelikož Litomyšl byla ohrožena morem 160 let před vznikem památky.<sup>16</sup> Je tedy velmi nepravděpodobné, že by vystavění Nejsvětější Trojice souviselo s touto epidemií.

Během průzkumu bylo také pracováno s litomyšlským zpravodajem Lilie, jelikož sousoší se nachází na katastrálním území Litomyšle. Konkrétně jsme prošli ročníky, které jsou dostupné online na stránkách města Litomyšle.<sup>17</sup> Jedná se o čísla vydávaná v letech 2006–2020 (říjen). Avšak v městském zpravodaji nebyla nalezena žádná zmínka o sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí.

Za účelem objevení historické fotografie památky byl publikován jak ve zpravodaji Lilie, tak v obecních novinách Osík DNES příspěvek s prosbou o pomoc při hledání archiválií k dílu. Na výzvu otisknutou ve zpravodaji Lilie zareagoval pan Miroslav

---

<sup>12</sup> Zprávy z obce: Fotohádanka. 2013.

<sup>13</sup> NĚMĚC; ROTHSCHHEIN. 2015.

<sup>14</sup> MŇUKOVÁ. 2020.

<sup>15</sup> Tamtéž.

<sup>16</sup> RUSNÁKOVÁ. 2017.

<sup>17</sup> Lilie: Zpravodaj města Litomyšle. 2006-2020.

Dvořák z Litomyšle, který studoval na Masarykově základní škole v Morašicích, kde si na oslavě výročí 150 let školy oskenoval fotografii z kroniky tehdejší 6. třídy.<sup>18</sup> Jedná se o fotografii z roku 1961 zachycující sousoší Nejsvětější Trojice z pravého boku. Fotografie byla pořízena během branných her pořádaných každoročně tehdejším Domem pionýrů a mládeže Litomyšl. Autorem fotografie je učitel Maleček z Morašic. Pan Dvořák se domnívá, že tyto branné hry se konaly každý rok na stejných místech. Z těchto důvodů byla kontaktována Masarykova základní škola v Morašicích, kde by měly být uloženy kroniky dalších ročníků a sousoší by zde mohlo být také zachyceno. Na fotografii, jež nám poskytnul pan Miroslav Dvořák je vidět, že v roce 1961 se na podstavci ještě vyskytovala litinová madona, obě postavy Nejsvětější Trojice měly hlavy a Bůh Otec držel ve své levé ruce žezlo zachované v původní velikosti.

Jak již bylo výše zmíněno, na základě dohledané historické fotografie z roku 1961 byla telefonicky kontaktována základní škola v Morašicích, kde nám zástupkyně ředitele Mgr. Hana Heroldová poskytla informaci, že v kronice je sousoší Nejsvětější Trojice zachyceno pouze na již námi dohledané fotografii. V emailové korespondenci nám následně poskytla ke kronice bibliografické údaje.

V rámci umělecko-historického průzkumu jsme také kontaktovali územní odborné pracoviště Národního památkového ústavu v Pardubicích. V jejich fotoarchivu byly nalezeny fotografie od F. R. Václavíka (NPÚ Pardubice) z roku 2005, kde je sousoší zachyceno v současném stavu zachování, takže fotografie nám nepřinášejí žádné nové poznatky.

Investor restaurátorského zásahu uvažuje o přesunutí sousoší Nejsvětější Trojice na jiné místo. Z těchto důvodů byly v rámci umělecko-historického průzkumu řešeny důvody, proč nechal Václav Svoboda vystavět sousoší Nejsvětější Trojice právě v Oseckém údolí. Lze uvažovat o možnosti, že donátor památky měl k danému místu majetkový nebo citový vztah. Pro zjištění vlastnictví pozemku v době vzniku díla byl kontaktován Český úřad zeměměřický a katastrální, konkrétně katastrální pracoviště Svitavy, kde byla v jejich archivu dohledána *Pozemková kniha*. Jedná se o "novější" knihu, která vznikla v druhé polovině 19. století. Památka se nachází na parcele číslo 2285. V knize je parcela evidována na seznamu 1 jako veřejný majetek. V seznamu parcel je přesněji uvedena jako veřejná cesta. Pracovník úřadu nás dále informoval, že

---

<sup>18</sup> Archiv Masarykova základní škola Morašice.  
Fotografie pořízená 26. 4. 1961 během branného cvičení mezi Litomyšlí a Osíkem.

Václav Svoboda nevlastnil v Litomyšli ani žádný jiný pozemek. Vlastnictví pozemku donátorem památky bylo tímto vyvráceno. Sousoší mohlo vzniknout v Oseckém údolí také z důvodu nějaké tragické události v tomto místě. Jak již bylo výše zmíněno pravděpodobně se nejednalo o poděkování za ochránění města před morovou epidemií, jak zmiňuje Dana Mňuková v článku v novinách OSÍK DNES,<sup>19</sup> jelikož morová epidemie byla v okolí Litomyšle zaznamenána 160 let před vznikem památky. V té době byla v části Osíka, které se dnes přezdívá Lazaret, vystavěna nemocnice pro měšťany nakažené morem. Hlavní cesta k nemocnici z Litomyšle vedla Oseckým údolím. Mor se v té době Litomyšli vyhnul.<sup>20</sup>

V rámci rešerše byla probádána literatura zachycující Litomyšl a její okolí.<sup>21</sup> Jednou z publikací byla kniha od Martina Boštíka zabývající se kresbami od Quida Šimka, jehož kresba sousoší Nejsvětější Trojice byla dohledána v Regionálním muzeu v Litomyšli (viz kapitola 3.1.1 Historie sousoší Nejsvětější Trojice). Ani v jedné z výše uvedených publikací nebyla dohledána žádná zmínka o sousoší Nejsvětější Trojice. Jediným literárním dílem, kde byla památka zmíněna je kniha od Zdeňka Nejedlého,<sup>22</sup> který na straně 159 uvádí, že „...i další procházky přicházejí nyní velmi v oblibu. Vedle tradičního Nedošina i Osecké údolí,[...], s oblíbenou studánkou u sv. Trojice,...“

V neposlední řadě jsme prošli publikace věnující se Osíku,<sup>23</sup> které byly dostupné v městské knihovně v Litomyšli. Převážně jsme se zaměřili na jejich ilustrační část. V žádné z nich nebyla nalezena fotografie zachycující sousoší Nejsvětější Trojice.

### **3.1.3 Sochařské předlohy pro vyhotovení chybějících částí postav**

Na základě doporučení MgA. Petra Rejmana jsme navštívili se Samuelem Schreiberem sochy Nejsvětějších Trojic v okolí Litomyšle, konkrétně ve vesnici Strakov a Morašice. Sousoší Nejsvětější Trojice v Morašicích je kompozicí zcela

---

<sup>19</sup> MŇUKOVÁ. 2020.

<sup>20</sup> RUSNÁKOVÁ. 2017.

<sup>21</sup> SKŘIVÁNEK. 2006.

RŮŽIČKA. 1981.

BOŠTÍK. 2007.

<sup>22</sup> NEJEDLÝ. 1934.

<sup>23</sup> SOBOTKA. 2002.

KLOUDA. 2010.

KLOUDA. 2008.

KLOUDA. 2012.

KLOUDA. 2014.

NĚMEC. 2013.

totožné se sousoším Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí. Jedinou odlišností je, že na oblacích se nachází čtyři okřídlené hlavy andělů a ne dvě, jako je tomu na restaurovaném díle, a Ježíš Kristus drží kříž v horní části a ne dole. Na základě těchto skutečností lze předpokládat, že obě sochy vznikly v jedné kamenické dílně. Mnoho podobností má i socha ve Strakově, kde na oblacích se dvěma okřídlenými hlavami andělů sedí Bůh Otec s kovovým pozlaceným žezlem ve své pravé ruce. V případě sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí má Bůh Otec žezlo v levé ruce a k jeho vyhotovení byl použit kámen. Dále u sochy ve Strakově Ježíš Kristus drží kříž ve své pravé ruce, nikoliv v levé a Duch svatý je zde znázorněn jako letící holubice s kovovou pozlacenou svatozáří nad hlavami postav. Na zeměkouli uprostřed oblak je místo Ducha svatého vyobrazena další okřídlená hlava andílka. Kromě těchto odchylek je sousoší ve Strakově kompozičně totožné se sousoším v Oseckém údolí. Dále nás vedoucí práce Petr Rejman odkázal na sochu Nejsvětější Trojice v podloubí u proboštství v Litomyšli. Nejsvětější Trojice z Litomyšle je velmi podobná sousoší v Oseckém údolí, avšak Bůh Otec nemá v ruce žezlo a gesto žehnání u pravé ruky je výrazněji pojednáno tak, že postava má ruku ohnutou v lokti a vystrčenou v prostoru. Postava Krista nemá pravou ruku položenou na hrudi, ale má jí nataženou s dlaní obrácenou vzhůru. Duch svatý zde není vyobrazen. Posledním rozdílem je, že se na oblacích pod postavami objevují tři okřídlené hlavy andílků místo dvou. Fotografie sousoší Nejsvětějších Trojic jsou umístěna v Obrazové příloze (viz podkapitola 11.2 Sochařské předlohy pro doplnění chybějících částí).

V památkovém katalogu od Národního památkového ústavu (dále uváděno jako NPÚ) byly vyhledány sousoší Nejsvětějších Trojic v Pardubickém kraji, která jsou součástí Ústředního seznamu kulturních památek. Určitou podobnost lze zaznamenat u sousoší Nejsvětějších Trojic v Mladějově na Moravě, Rychnově na Moravě, Třebařově, Hnátnici, Rybníku u České Třebové, Semaníně, Ústí nad Orlicí, ve Výprachticích nebo v Proseči. Z těchto děl bude vycházeno při rekonstrukci chybějících částí postav. Fotografie těchto památek jsou umístěny v Obrazové příloze (viz podkapitola 11.2 Sochařské předlohy pro doplnění chybějících částí).

Poslední Nejsvětější Trojicí, které byla náhodně objevena je sousoší u hřbitova v Čisté u Litomyšle. Jedná se o podobné znázornění Trojice jako u sousoší v Oseckém údolí. Liší se tím, že Bůh Otec je zde znázorněn bez žezla a s pokrčenou žehnající pravíci Boží a postavy nesedí na zeměkouli, ale mají jí pouze pod nohama. Dále se zde



nevyskytují oblaka s okřídlenými hlavami andílků. Fotografie je součástí Obrazové přílohy (viz podkapitola 11.2 Sochařské předlohy pro doplnění chybějících částí).

### 3.1.4 Ikonografie Nejsvětější Trojice

Nejsvětější Trojice je Bůh znázorněn ve třech osobách – Bůh Otec, Syn a Duch svatý. Ve Starém zákoně je Trojice pouze naznačena používáním plurality, kdy Bůh o sobě mluví nebo je osločován v množném čísle.<sup>24</sup> Ve výtvarném umění lze Nejsvětější Trojici znázornit mnoha způsoby. Tím nejjednodušším je číslo 3 a geometrické znázornění pomocí rovnostranného trojúhelníku nebo symbol tří protínajících se, či do sebe vepsaných kružnic. Můžeme se také setkat s Kristovy monogramy tzv. chrismony doplněnými písmeny Alfa a Omega nebo s postavou Krista, který drží v ruce knihu s textem evangelia. Další možností je figurální vyobrazení, kdy jsou jednotlivé postavy charakteristické svými gesty a barvou šatu. Například u Andreje Rubleva mají postavy vrchní část oděvu světlou, což znázorňuje jejich trojjedinost. Pro postavu Krista je ikonická červená barevnost pláště a gesto žehnání kalicha, pravý anděl v zeleném rouchu představuje postavu Boha Otce. Zelená barva je symbolem stvoření. Duch svatý je vyobrazen jako anděl ve světlém rouchu. Někteří tvrdí, že Duch svatý je anděl v zeleném oděvu a Bůh Otec anděl v „zářícím“ oděvu. Možností jak ikonograficky znázornit Nejsvětější Trojici je několik. V 11. století vznikl na Východě typ Trojice *Paternitas*, kde Bůh Otec má v klíně medailon s Kristem Immanuelem nebo výjimečně s Bolestným Kristem. *Paternitas* je většinou obklopena andělskými chóry. Nejrozšířenějším typem Trojice je *Žaltářová Trojice*, která byla uplatňována od raného středověku až do 19. století. V baroku se s tímto typem Trojice často můžeme setkat u morových sloupů. *Žaltářovou Trojicí* je i sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí. Kristus Syn Boží sedí po pravici Boha Otce a v ruce třímá kříž. V některých vyobrazeních jsou dokonce vidět stigmata na jeho ruku. Duch svatý je vtělen do holubice a vznáší se mezi postavami. Existuje několik variant *Žaltářových Trojic*. Lze se setkat s vyobrazením, kdy spodní část těla Krista a Boha Otce je spojena a překryta pláštěm, častěji pak *Žaltářová Trojice* korunuje Pannu Marii. Ve 13.–15. století se nejčastěji setkáváme s ikonografickým typem Trojice *Trůn milosti*. Bůh otec je zde znázorněn většinou jako trůnící postava, která má v ruce ukřižovaného Krista. Holubice

---

<sup>24</sup> RULÍŠEK. 2006.

se vznáší nad horizontálním břevnem kříže nebo má jedno křídlo v ústech Boha Otce a druhé v ústech Krista. V některých případech se vznáší nad hlavou Boha Otce, který má od pozdního středověku na hlavě papežskou tiáru. *Trůn milosti* je výjev, jenž znázorňuje Boha Otce, jak obětuje svého Syna a tím prokazuje milost a lásku Boží k člověku. Tento námět byl často aplikován u dvorského umění Karla IV. Ojediněle se pak můžeme setkat s variantou, kdy Bůh Otec drží v rukou tělo Abrahama a kříž s Kristem má umístěn mezi nohama. Ve 14. století se poprvé objevuje výtvarný námět *Pieta Páně*, který je další variantou *Trůnu milosti*. *Pieta Páně* se vyznačuje tím, že Bůh Otec má v rukou Bolestného Krista s viditelnými ranami. Duch svatý jako holubice zde není většinou vyobrazen. V 15. a na počátku 16. století je doplněn o postavu Panny Marie, sv. Jana Evangelisty a o anděly s nástroji umučení. Další možností, jak zobrazit Nejsvětější Trojici je výtvarné ztvárnění pouze symbolů jednotlivých postav, kterými jsou pravice Boží, holubice Ducha svatého a beránek nebo kříž znázorňující Krista. V 16. století namaloval Tizian *Žaltářovou Trojici* na společném trůnu doplněnou o chóry andělů a svaté. Tím vzniká typ tzv. *Trojice ve Slávě*. V baroku se pak můžeme setkat s propojením nebeské a pozemské Trojice v jednom uměleckém díle. Nebeskou Trojici zastupuje Bůh Otec, Ježíš Kristus a Duch svatý v podobě holubice a u pozemské Trojice je vyobrazena Panna Marie, sv. Josef a malý Ježíš. V neposlední řadě je možné Trojici znázornit jako tři postavy, kdy Duch svatý je také antropomorfizován. V některých případech jsou postavy od sebe odlišeny věkem, korunami na hlavách nebo žezly či sférami, které mají v rukách. Jako nejstarší je vyobrazován Bůh Otec, ve středním věku Ježíš Kristus a Duch svatý je z postav nejmladší. V barokním umění se se znázorněním tří postav setkáváme ojediněle, jelikož Benedikt XIV. zakázal vyobrazovat Ducha svatého s lidskou podobou. Další možností ztvárnění jsou tři hlavy, které jsou jako u předchozí typu někdy odlišeny věkem a občas vycházejí z jednoho těla. Zvláštní formou zobrazení jsou tři tváře, které mají tři ústa, tři nosy, ale pouze dva páry očí, někdy pak jedny oči a ústa a tři nosy. Do architektury se Nejsvětější Trojice promítla v podobě počtu oltářů, tvaru půdorysu, oken či námětem nástěnných maleb.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> ROYT; HAMSÍKOVÁ. 2006. s. 170–177.

### 3.1.5 Popis díla

Sousoší Nejsvětější Trojice se nachází u polní šterkové cesty, která vede ze silnice 359 k Lučnímu rybníku v Osíku. Socha stojí po levé straně cesty na vyvýšeném místě pod starými lipami, jejichž větve sahají až k dílu a částečně ho zakrývají.

Celá skulptura měří necelé čtyři metry. Zemina pod sochou je zpevněna opukovým kamením. Na tomto podkladu je osazena základová deska, která se skládá ze dvou segmentů odlišných rozměrů, které jsou umístěny vedle sebe. Základová deska jako celek je širší než podstavec a její vrchní okraj je zdoben oblounem a výžlabkem. Na desce náleží podstavec, který se skládá ze čtyř dílů – spodní patky, vrchní patky, těla podstavce a hlavice. Spodní patka je volně osazena na základovou desku. Vrchní část patky ubíhá směrem k soše. Stejně je tomu i u druhé patky, u které se navíc po stranách vyskytují kovové spony spojující patku s tělem podstavce. Vysoký hranolový podstavec je v horní části zdoben ze tří stran římsou a výžlabkem. U čelní strany se nad římsou rozprostírá ornamentální rostlinný motiv, konkrétně rozvilina akantu. V centrální části podstavce je zapuštěné zrcadlo ve tvaru ostře zalomeného oblouku, které je po obvodu profilované. Vrchol zrcadla je po stranách doplněn gotickým zdobným prvkem zvaným *jeptiška*<sup>26</sup>. Ve středu zrcadla je vysekána konzola, na které byla v minulosti přichycena pomocí kotvícího železného trnu litinová pozlacená madona. Po chybějícím kotvícím trnu zde zbyl pouze otvor. Reliéf madony byl orámován žlabem, jenž nám napovídá, že pravděpodobně se jednalo o vyobrazení madony v kontrapostu. Na ostatních stranách podstavce jsou vysekány identifikační nápisy. Na levém boku je vysekán nápis:

*„Pochválena*

*pozdravena*

*budiž*

*Nejsvětější*

*Trojice Boží“*

Na pravém boku je v některých místech špatně čitelný nápis:

*„Tři jsou, kteří*

*svědectví vydávají*

*na nebi: Otec, Slovo*

*(a) Duch svatý, a ti*

---

<sup>26</sup> Jeptiška je vrchní část kružby gotického chrámového okna ve tvaru trojlistu. CHODURA. 1999. s. 37.

*(t)ři jedno jsou.*

*I. Jan V. 7. “*

Na zadní nepohledové straně je nápis:

*„Založil Václav Svoboda,*

*měšťan Litomyšlský*

*ke cti a chvále boží*

*1873. “*

Posledním dílem podstavce je profilovaná hlavice, která je osazena na dva čepy zalité sírou.

Celou sochu završuje sousoší Nejsvětější Trojice. Výjev vyobrazuje Boha Otce s žezlem v levé ruce. Po jeho pravici sedí Ježíš Kristus, syn Boží s křížem v levé ruce. Kříž se tak nachází mezi postavami. Pravou ruku má pokrčenou v lokti a položenou na hrudi. Obě postavy jsou oděny do našasené tuniky, z pod které jim koukají bosá chodidla a sedí na zeměkouli, kde je znázorněn Duch svatý v podobě holubice s roztaženými křídly a svatozáří. Zeměkoule se nachází ve středu výjevu a vystupuje z oblak pojatých z frontálního pohledu. Oblaka jsou doplněny o dvě okřídlené hlavy andílků.

### **3.1.6 Předchozí restaurátorské zásahy**

Na díle se nachází několik druhů tmelů, což vypovídá o tom, že socha byla v minulosti opakovaně restaurována. Avšak restaurátorské zásahy nelze blíže specifikovat, jelikož se nepodařilo dohledat žádné restaurátorské dokumentace.

## **3.2 Restaurátorský průzkum**

Restaurátorský průzkum se zabývá pouze předmětem této diplomové práce, tedy sousoším Nejsvětější Trojice. Veškeré výsledky průzkumu budou porovnávány a vztahovány k výsledkům restaurátorského průzkumu podstavce, jelikož se jedná o část sochy, která se sousoším Nejsvětější Trojice úzce souvisí.

### **3.2.1 Stav památky před restaurováním – vizuální průzkum**

Po převezení díla do ateliéru byl proveden vizuální průzkum za použití mobilního ramenového stereoskopického mikroskopu. Celý objekt byl následně fotograficky zdokumentován.

Sousoší Nejsvětější Trojice se nachází v havarijním stavu. Nejvážnějším poškozením jsou chybějící hlavy postav, pravá ruka Ježíše Krista a vrchní část kříže. Povrch díla je pokryt biologickým napadením, konkrétně mechy, plísněmi a lišejníky. Plastická modelace je špatně čitelná, jelikož v důsledku degradace povrchu došlo ke značné ztrátě materiálu. Lokálně dochází k pískovatění kamene a ke tvorbě puchýřků. V místech dešťových stínů jsou přítomny zčernalé sádrovcové krusty. Na zadní straně sousoší se ve spodní části nalevo vyskytuje svislá prasklina, která pravděpodobně vznikla již při těžbě bloku pískovce, nebo se jedná o lasu. Památka má narušenou statiku a je vykloněna do boku. Sousoší je na hlavicí podstavce osazeno na sucho bez jakéhokoliv zajištění. Z těchto důvodů nedošlo ke vzniku mnohačetných trhlin jako je tomu u podstavce. Trhliny v podstavci jsou způsobené pravděpodobně korozí kovových čepů spojujících podstavec s hlavicí. Na závěr je nutné zmínit, že na díle lze lokálně zaznamenat několik fragmentů povrchových úprav.

### **3.2.2 Průzkum UV fluorescence**

Průzkum UV fluorescence byl nejprve proveden před restaurátorským zásahem, avšak téměř celý povrch sochy byl pokryt silnou vrstvou biologické napadení, které znemožňovalo jeho čitelnost. Z těchto důvodů byl průzkum znovu proveden až po očištění díla od biologického napadení. Na základě výsledků průzkumu bylo možné přesněji určit místa odběrů vzorků pro stratigrafický a materiálový průzkum povrchových úprav, krust a tmelů. Během průzkumu byly pořízeny UV fluorescenční fotografie čtyř základních pohledů.

Z výsledků průzkumu vyplývá, že na díle se dochovalo několik fragmentů povrchových úprav, které se vyznačují žlutou až okrovou fluorescencí. Některé z nich nebyly v denním světle viditelné nebo byly zakryty sádrovcovou krustou. Všechny pozůstatky povrchových úprav se vyskytovaly v hloubkách modelace sochy (viz Obr. 5, kde jsou místa červeně ohraničena) a vyznačovaly se světlou barevností v denním světle. V jedné z hloubek s charakteristickou žlutou fluorescencí byl odebrán vzorek pro další průzkum (viz Obr. 4, u kterého je šipkou vyznačeno místo odběru). Červený, modrý a žlutý fragment viditelný v denním světle se nevyznačoval žádnou specifickou UV fluorescencí. Polychromie díla se dochovala v malém rozsahu. Přestože došlo před provedením průzkumu UV fluorescence k odstranění biologického napadení, na povrchu částečně zůstala jeho tenká vrstva tzv. biofilm, který je charakteristický svou

červenou až lososovou fluorescencí. Převážně se jedná o místa namáhaná deštěm, kde se vyskytovala silnější vrstva biologického napadení. V hloubkách draperie je tato fluorescence intenzivnější. Dále lze na sousoší zaznamenat tyrkysovou fluorescenci, která je typická pro vodorozpustné soli v kameni. Převážně se fluorescence této barevnosti vyskytuje na odhaleném kameni a převážně v dolní polovině sousoší. Tyrkysová fluorescence je nejintenzivnější na zadní straně památky, kde ve spodní části došlo k vytvoření solných výkvětů na povrchu kamene (viz Obr. 6). Přítomné drobné tmely se nevyznačují žádnou charakteristickou fluorescencí.



*Obr. 4 Sousoší Nejsvětější Trojice v zářivkovém světle – frontální pohled*



*Obr. 5 Sousoší Nejsvětější Trojice v UV fluorescenci – frontální pohled*



*Obr. 6 Sousoší Nejsvětější Trojice v zářivkovém světle – zadní pohled*

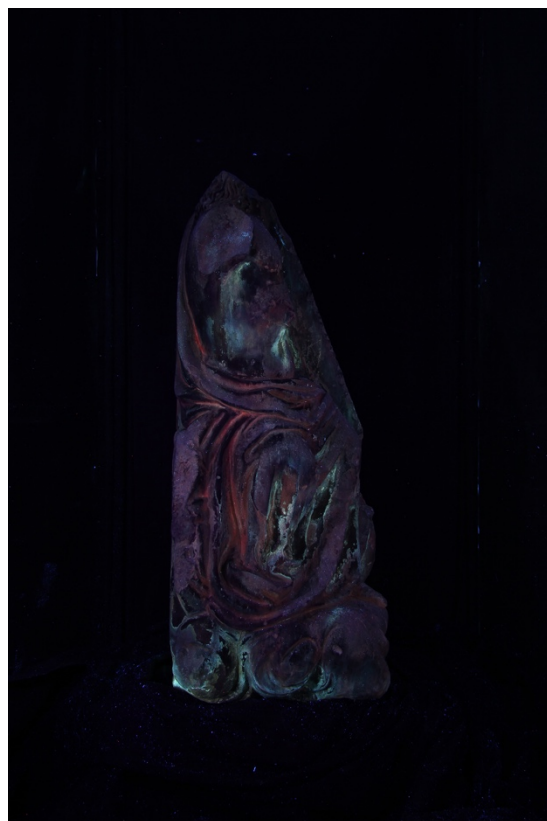


*Obr. 7 Sousoší Nejsvětější Trojice v UV fluorescenci – zadní pohled*





*Obr. 8 Sosoší Nejsvětější Trojice  
v zářivkovém světle – levý boční pohled*



*Obr. 9 Sosoší Nejsvětější Trojice v UV  
fluorescenci – levý boční pohled*



*Obr. 10 Sosoší Nejsvětější Trojice  
v zářivkovém světle – pravý boční pohled*



*Obr. 11 Sosoší Nejsvětější Trojice v UV  
fluorescenci – pravý boční pohled*



### 3.2.3 Průzkum kovových prvků a čepů pomocí detektoru kovů

Na soše byl uskutečněn neinvazivní průzkum kovových prvků, ke kterému byl použit detektor kovů BOSCH GMS 120 Professional. Měření bylo provedeno na celé památce.

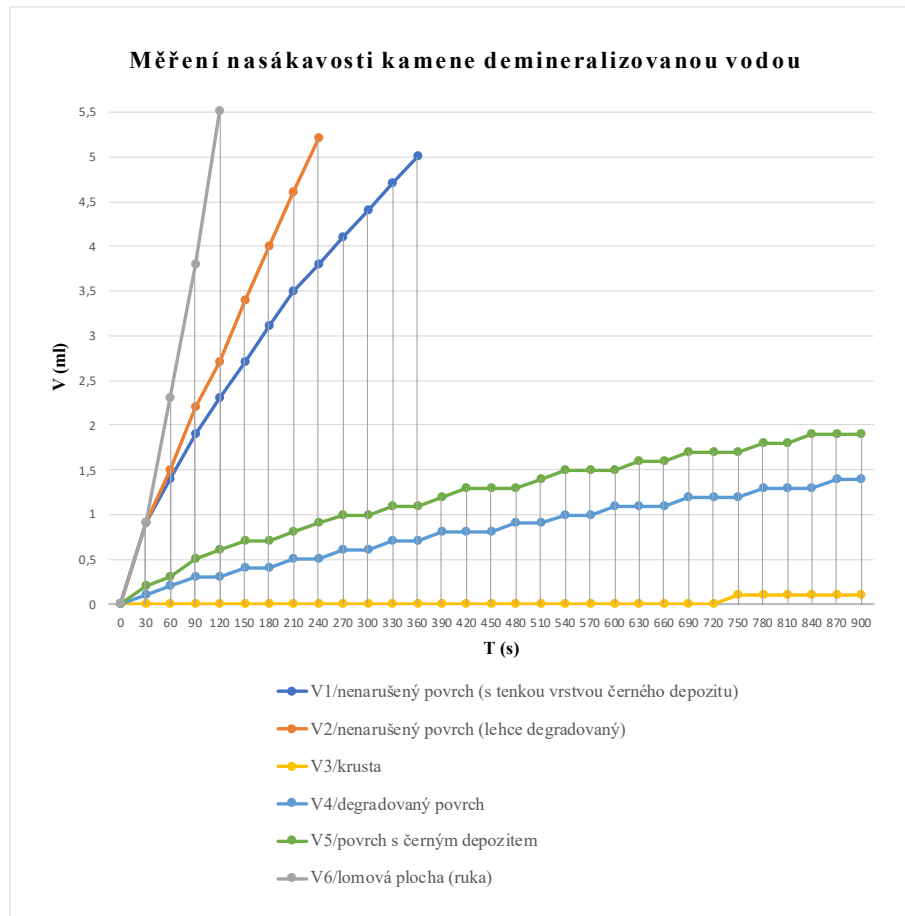
Od začátku bylo předpokládáno, že se ve skulptuře nenachází žádné armatury či čepy, jelikož přítomné tmely jsou malé a jsou zastoupeny v malé míře a sousoší bylo osazeno na hlavici bez kovového zajištění. Výsledky průzkumu tuto domněnku potvrdily.

### 3.2.4 Měření kapilární nasákavosti

Měření bylo provedeno neinvazivní metodou pomocí Karstenovy trubice a demineralizované vody. Během měření bylo sledováno, jak velké množství kapaliny se absorbuje určitou plochou do porézního systému kamene za 15 minut. Měřením byla zjišťována nasákavost různých povrchů přítomných na sousoší. Z výsledků lze zjistit do jaké míry je snížena nasákavost kamene přítomnými depozity, krustami, případně v minulosti uplatněnými povrchovými úpravami nebo jinými materiály. Nasákavost tmelů nebyla zjišťována, jelikož tmely se na sousoší nachází ve velmi malé míře a u žádného z nich nelze provést měření z důvodu jejich velikosti. Výsledky měření budou nápomocné k dalším restaurátorským zásahům jako je například výběr metody čištění, míra očištění památky nebo výběr konsolidačního přípravku.

Výsledky měření prokázaly, že na sousoší Nejsvětější Trojice se vyskytují různé povrchy s odlišnou nasákavostí (viz Graf. č. 1). Nejvíce nasákavý je degradovaný kámen, u kterého došlo k nasáknutí 5 ml kapaliny za 1 minutu a 50 s (měření V3). Velmi nasákavý je i nenarušený povrch. V rámci průzkumu byl nedegradovaný materiál měřen na dvou místech. V prvním případě se jednalo o nenarušený povrch s tenkou vrstvou černého depositu (měření V1), u druhého měření byl povrch více degradovaný než u prvního místa (měření V2). U obou měření došlo k nasáknutí demineralizované vody do 6 minut. Dále bylo provedeno měření na lomové ploše u ulomené ruky postavy Ježíše Krista (měření V6). Průběh měření a výsledné množství kapaliny vsáknuté do kamene je srovnatelné s povrchem s černým depozitem (měření V5). Nejméně nasákavá je krusta na zadní straně sousoší, u které došlo za 15 minut k absorpci pouze 0,1 ml vody (měření V4). Z výsledků vyplývá, že v rámci restaurování by bylo vhodné přistoupit ke

ztenčení či úplnému odstranění sádrovcových krust. Po tomto zásahu již bude možné přistoupit k účinnému odsolení objektu či k případnému lokálnímu zpevnění materiálu.



Graf. 1 Měření nasákavosti kamene demineralizovanou vodou



Obr. 12 Grafické znázornění míst měření nasákavosti

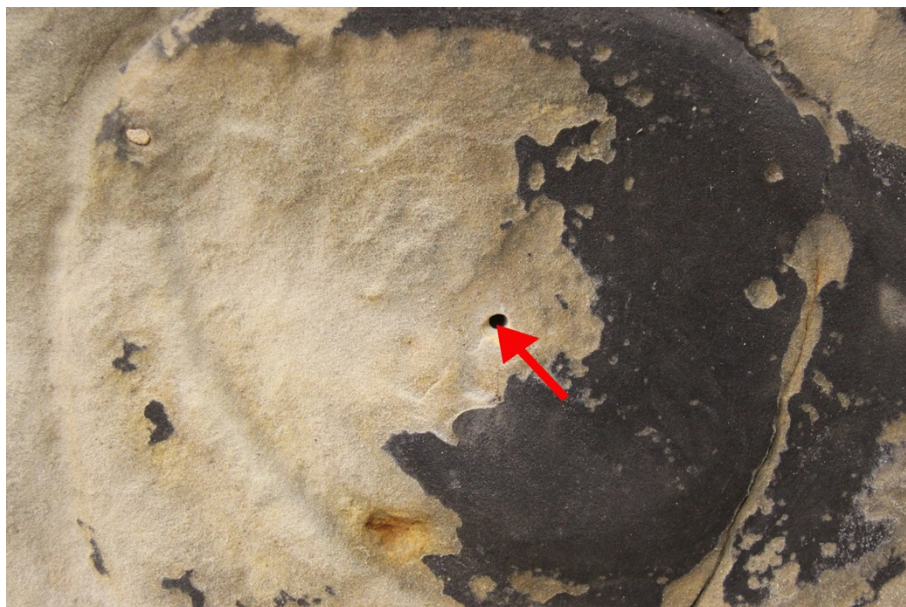


Obr. 13 Detail místa měření nasákavosti pomocí Karstenovy trubice

### 3.2.5 Stanovení obsahu vodorozpustných solí

Množství vodorozpustných solí bylo zjištěno z vrtné moučky pískovce, která byla získána z hloubkového vrtu na zadní straně sousoší. Konkrétně se jednalo o místo ve výšce 15 cm, kde byl kámen značně degradován. Ke stanovení obsahu vodorozpustných solí v památce byly odebrány vzorky ze tří hloubek – 0–1 cm, 1–2 cm a 2–3 cm. Průměr vyvrtaného otvoru byl 5 mm. Místo odběru je graficky vyznačeno na Obr. 14. Kompletní vyhodnocení průzkumu je uvedeno v Příloze P.I.

Z výsledků průzkumu vyplývá, že ve všech vzorcích odebraných z jednoho vrtu se vyskytuje vysoké množství síranů a zvýšené množství chloridů. Dusičnany se v díle vyskytují v zanedbatelné míře. Z těchto důvodů bude zapotřebí vícekrát aplikovat na povrch skulptury buničínový zábal, kterým dojde ke snížení množství solí v kameni.



Obr. 14 Detail místa odběru vzorku pro stanovení obsahu vodorozpustných solí v kameni

Vzorek	Síraný (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		Dusičnany (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	
	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]
V1/1 (hloubka 0–1 cm)	1,38	144	0,00	0	0,04	10
V1/2 (hloubka 1–2 cm)	0,47	49	0,04	6	0,04	10
V1/3 (hloubka 2–3 cm)	0,29	31	0,03	6	0,3	9

Tab. 1 Obsah solí před odsolováním získaný z vrtné moučky

Hodnocení stupně zasolení	Sírany (%hm.)	Dusičnany (%hm.)	Chloridy (%hm.)
Nejsou nutná žádná opatření	< 0,10	< 0,05	< 0,03
Je nutné zvážit další opatření	0,10–0,25	0,05–0,15	0,03–0,10
Opatření jsou nezbytná	> 0,25	> 0,15	0,10

Tab. 2 Hodnocení stupně zasolení

### 3.2.6 Stratigrafie a materiálový průzkum povrchových úprav

Na základě vizuálního průzkumu a průzkumu UV fluorescence bylo vybráno 5 míst k odběru vzorků k zjištění stratigrafie a materiálového složení povrchových úprav, plísně a krusty. V případě povrchových vrstev byla navíc zjišťována jejich stratigrafie. Z celkového počtu vzorků byly odebrány dva vzorky krusty z hloubky draperie na noze Boha Otce a Ježíše Krista. Cílem bylo určit složení krusty a případně zjistit zda se jedná pouze o sádrovcovou krustu nebo se v místě nachází i sulfatizované povrchové úpravy či nátěry. Dále byl odebrán vzorek v jednom ze záhybů mraku na zadní straně sousoší. Podle vizuálního posouzení nebylo možné s jistotou určit, zda se jedná o povrchovou úpravu/nátěr nebo o tmel. Na základě výsledků průzkumu UV fluorescence byl odebrán vzorek z hloubky mraku pod Ježíšem Kristem, která se vyznačovala žlutou fluorescencí naznačující přítomnost organických pojiv. Poslední vzorek byl odebrán na rozhraní draperie a rukojeti žezla, které drží v ruce postava Boha Otce, kde se nacházela plíseň. Chemicko-technologickým průzkumem mělo být zjištěno, jestli napadení plísněmi není vázáno na pozůstatky povrchových úprav.

Z výsledků chemicko-technologického průzkumu vyplývá, že povrch sochy byl původně pravděpodobně opatřen oranžovo-okrovým nátěrem. Jedná se o sulfatizovanou vrstvu s pojivem obsahující strusko-portlandský cement. Vrstva neobsahuje plnivo a je probarvena železitým oranžovým a červeným pigmentem. Tyto povrchové úpravy se nacházejí i pod krustou na draperii, kterou mají postavy na nohách. V případě krusty se jedná o sádrovcovou krustu obsahující síran vápenatý. V případě vzorku odebraného na zadní straně sousoší se jedná o fragmenty již zmíněného nátěru a ne o zbytky tmelu. U vzorku odebraného na základě výsledků průzkumu UV fluorescence nebyla prokázána přítomnost povrchové úpravy. Jednalo se pouze o vzorek pískovce. U vzorku s plísní bylo zjištěno, že biologické napadení má oranžovou fluorescenci a v hornině se

vyskytovaly sloučeniny olova a síry. Pravděpodobně se může jednat o zbytky olovnatých pigmentů a sírany.

### **3.2.7 Určení stavu horniny – měření ultrazvukové transmise**

V rámci průzkumu bylo provedeno měření ultrazvukové transmise, které slouží k zjištění stavu kamene a jde s ní odhalit i případné poškození díla jako jsou například praskliny nebo trhliny. Podstatou tohoto průzkumu je zaznamenat rychlost, tvar a intenzitu ultrazvukového signálu procházejícího skrz zkoumaný materiál. Platí, že čím je ultrazvukový signál pomalejší tím se nachází v hornině více defektů. K průzkumu byl použit přístroj Geotron UKS-14 (Geotron-Elektronik, Rolf Krompholz, Pirna-Neundorf) se sondami UND 46, SW 40 a přijímačem UPE. Během ultrazvukové transmise bylo na celém objektu provedeno 40 měření, které jsou graficky znázorněny, popsány a podrobněji vyhodnoceny v Materiálovém průzkumu vzorků, jenž je předmětem Přílohy P.I.

Z výsledků vyplývá, že dle většiny měření se pískovec se nachází v dobrém až lehce narušeném stavu. U užších části sochy byl naměřen pomalejší signál, který může poukazovat na degradaci povrchu. Nejnižší signál byl naměřen na kříži v místech kde jsou přítomny viditelné praskliny. Tudíž se tento výsledek dal předpokládat. Další poškození nebyly na díle odhaleny.

## 4 ZKOUŠKY MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ

### 4.1 Zkoušky čištění biologického napadení

Povrch kamene byl ve velké míře pokryt biologickým napadením, převážně se jednalo o mechy a lišejníky, avšak vyskytovaly se zde i plísně. Pro výběr nejšetrnější metody čištění biologického napadení byly provedeny zkoušky tří přípravků na zadní straně skulptury. Před aplikací všech zkušebních přípravků byl povrch pomocí vodní páry namočen tak, aby došlo k aktivaci biologického napadení. Jako první byla provedena zkouška pomocí desinfekčního přípravku Ajatin o 1,5% koncentraci, který byl na povrch kamene aplikován pomocí rozprašovače a následně se nechal působit do druhého dne. Poté bylo přistoupeno k omytí povrchu pomocí vodní páry a nylonových kartáčků. Dále byl odzkoušen etanol o koncentraci 98%, jenž se nechal na povrchu působit pouze pár minut a poté došlo k očištění plochy zkoušky pomocí vodní páry a nylonového kartáčku. Poslední provedenou zkouškou byla kombinace čpavkové vody a peroxidu vodíku v poměru 1 : 1. Po nanesení se na povrchu vytvořila pěna a po pár minutách působení byl povrch stejně jako u předchozích zkoušek opláchnut vodní párou a nylonovými kartáčky.

Výsledný efekt čištění byl u všech zkoušek srovnatelný. Z důvodu pravděpodobně přítomných povrchových úprav na díle byla z finálního výběru vyřazena kombinace čpavkové vody s peroxidem vodíku, jelikož by mohlo dojít ke ztrátě těchto vrstev. K očištění sousoší od biologického napadení bude použit desinfekční přípravek Ajatin, který se jeví jako účinný a šetrný.





*Obr. 15 Zkoušky čištění kamene od biologického napadení provedené na zadní straně sousoší*

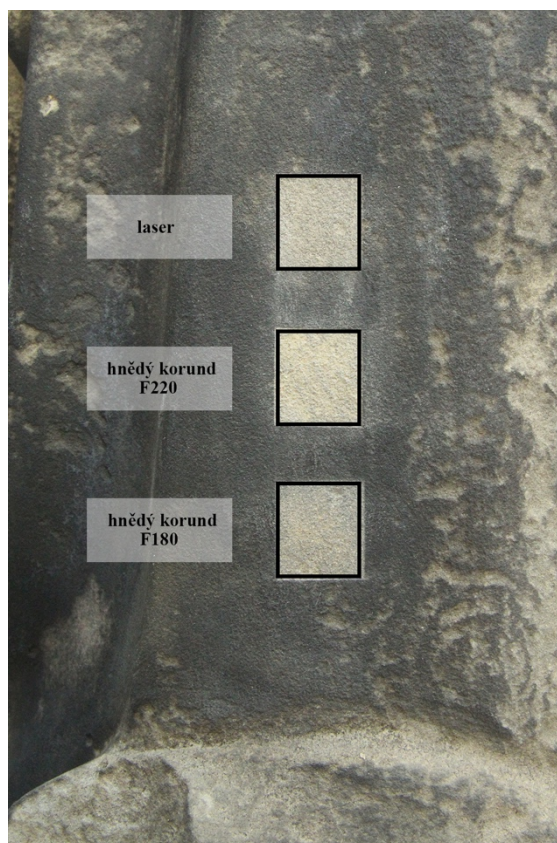
## 4.2 Zkoušky čištění sádrovcových krust

Možnostmi čištění sádrovcových krust na kameni se více zabývá teoretická část diplomové práce, která je zaměřená na použití bakterií k těmto účelům. Původně mělo být biologické čištění odzkoušeno na sousoší Nejsvětější Trojici, avšak z časových důvodů nebylo k tomuto kroku přistoupeno a na památce byly provedeny pouze zkoušky pomocí dvou níže uvedených metod čištění.

Na památce se převážně v dešťových stínech vyskytují sádrovcové krusty, které jsou velmi masivní a nenasákavé. Pod nepropustnými krustami dochází k degradaci materiálu. Místy krusty vytvářejí puchýře, jenž narušují modelaci díla. Z těchto důvodů bude zapotřebí sádrovcové krusty odstranit nebo alespoň částečně ztenčit. Výsledná metoda čištění byla vybrána na základě výsledků zkoušek. K provedení tří zkoušek byla vybrána draperie na zadní straně sousoší, konkrétně na postavě Boha Otce. Jako první bylo vyzkoušeno nejméně mechanicky invazivní čištění pomocí laseru, kdy byl použit ND:YAG Q-switched laser Thunder art, na kterém byla nastavena vlnová délka laserového paprsku 1064  $\mu\text{m}$ , energie 300 mJ, opakovací kmitočet 20 Hz a velikost bodu

byla 5 mm. Zkouška byla provedena ze vzdálenosti 10–15 cm. Dále byly provedeny dvě zkoušky pomocí mikropískování. Jako první byl použit hnědý korund o frakci 220  $\mu\text{m}$  a u poslední zkoušky byl použit hnědý korund o frakci 180  $\mu\text{m}$ . V obou případech byl na kompresoru nastaven tlak 8,5 barů a na pískovacím zařízení Miniblaster 1 s tryskou o průměru 1,6 mm byl nastaven tlak 2 bary. Zkoušky mikropískování byly provedeny ze vzdálenosti cca 15 cm od povrchu skulptury.

Na základě vizuálního posouzení bylo možné přistoupit k porovnání jednotlivých zkoušek a určit, která metoda vykazuje nejhomogennější výsledek čištění a adekvátní míru očištění. Nejméně vhodnou možností se jevilo použití hnědého korundu o frakci 220  $\mu\text{m}$ , jelikož v tomto případě došlo ke značnému přečištění povrchu a k velkému úbytku materiálu. K větší ztrátě modelace docházelo i u druhé abrazivní metody, proto bylo rozhodnuto, že k odstranění sádrovcových krust bude použit laser. A to i přesto, že v případě podstavce, který restauruje Samuel Schreiber bylo přistoupeno k použití převážně mikroabrazivní metody. U figurální části dochází k většímu úbytku kamene také z důvodu, že sousoší oproti podstavci obsahuje daleko více vodorozpustných solí, jejichž následkem je kámen značně degradován. Proto se laserová ablace zdá pro tento případ jako nejšetrnější metoda čištění.



*Obr. 16 Zkoušky čištění sádrovcové krusty na zadní straně sousoší*



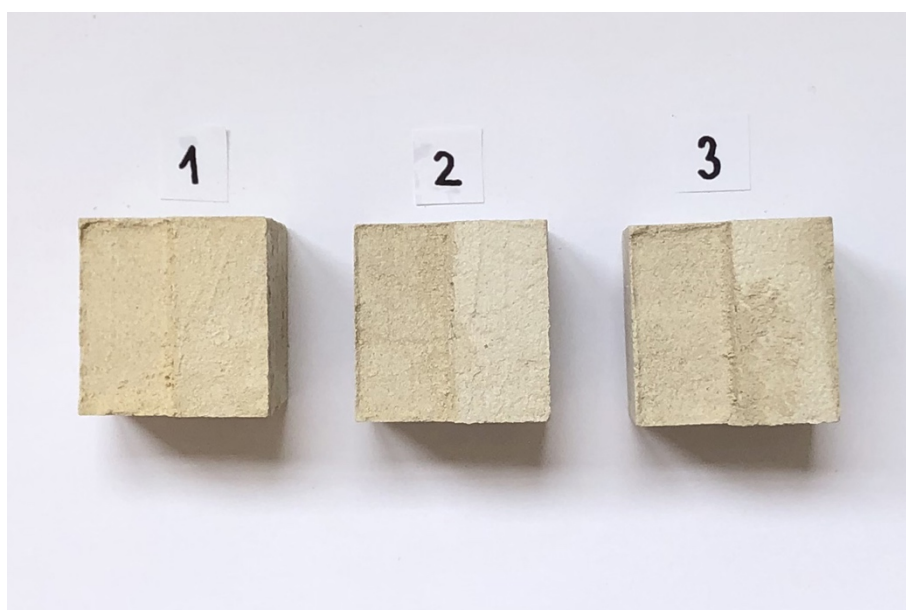
### 4.3 Zkoušky minerálních tmelů pro tvarové doplňky a výdusek

Zkoušky minerálních tmelů byly provedeny v kooperaci se Samuelem Schreiberem, který restauruje podstavec pod sousoší. Součástí jeho práce byl petrografický průzkum hornin, který vypracoval Ing. Karol Bayer. Z průzkumu bylo zjištěno, že skulptura byla vysekána z jemnozrného nasákavého pískovce, který je složen převážně ze zrn křemene a zřídka se zde nachází živec. Velikost zrn se pohybuje v rozmezí 50–200  $\mu\text{m}$ . Na základě těchto poznatků Samuel Schreiber provedl tři zkoušky minerálních tmelů (viz Tab. 3). Z nich byl vybrán vzorek č. 1, který byl připraven ze světle okrové černuce, bílé černuce a záměle v objemovém poměru 4 : 1 : 1. Všechny písky byly přesáty přes síto na frakci do 0,250 mm. Směs písků byla smíchána s pojivem, tedy s bílým portlandským cementem v objemovém poměru 3 : 1. Zvolený tmel byl vyhovující z hlediska struktury. Jeho barevnost však byla lehce světlejší než originální kámen, jelikož sousoší Nejsvětější Trojice je tmavší než podstavec pod ní. Z těchto důvodů bylo přistoupeno ke zkouškám, kdy do vybrané směsi byly přidávány pigmenty tak, aby došlo ke ztmavení tmelící směsi, ale zároveň aby byla zachována stejná směs plniva a pojiva jako u podstavce (viz Tab. 4). Pro přítomnost různých odstínů šedivé a okrové na sousoší nebylo nakonec k probarvení tmelu pomocí pigmentů přistoupeno, jelikož při zvolení jednolitě tmavšího tmelu by bylo obtížné do tmelu dostat pomocí barevné retuše světlé akcenty. Nakonec byl tedy k plastické retuši vybrán výše zmíněný vzorek č. 1, který v závěru restaurování bude barevně pojednán retuší.

V případě výběru vhodné minerální směsi pro výdusky bylo provedeno pět zkoušek minerálních směsí, kdy byly použity stejné písky jako u předchozích zkoušek, avšak byla zkoušena změna jejich hmotnostních poměrů a frakce tak, aby byla získána tmelící směs tmavší barevnosti (viz. Tab. 5). Nakonec bylo stejně jako u plastické retuše setrváno u původní tmelící směsi, tedy u vzorku č. 1.

Zkoušky minerálních směsí pro plastickou retuš – Samuel Schreiber							
Vzorek	Plnivo			Pojivo	Obj. díly	Barva/ struktura	Vyhodnocení
1	světle okrový černuc	bílá černuc	záměl	Bílý portlandský cement	4 : 1 : 1 : 2	světle béžová dobrá	vyhovují
2	světle okrový černuc	bílá černuc		Bílý portlandský cement	5 : 1 : 2	světle béžová dobrá	vyhovují
3	světle okrový černuc			Bílý portlandský cement	3 : 1	světle béžová dobrá	Nevyhovující moc světlý

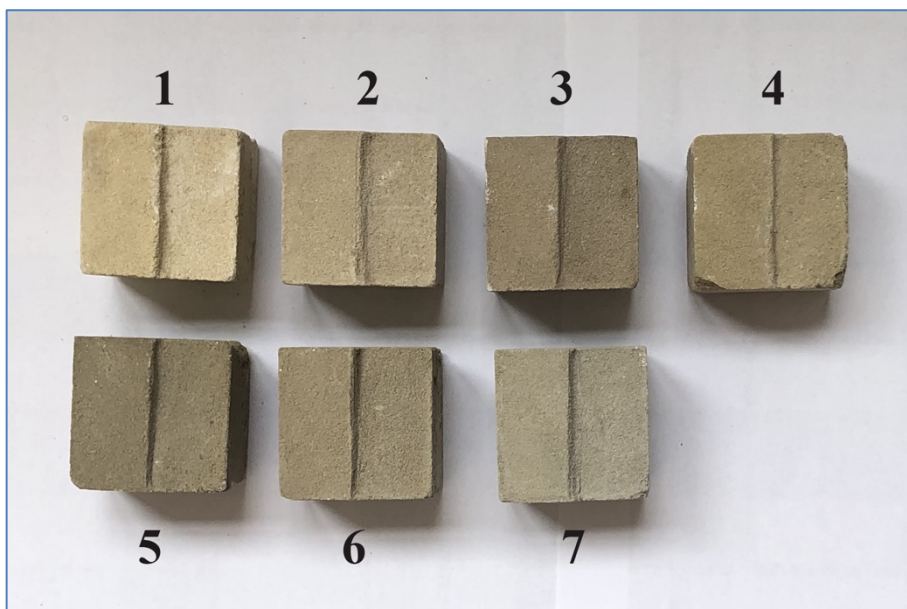
Tab. 3 Zkoušky minerálních směsí pro plastickou retuš



Obr. 17 Zkoušky minerálních směsí pro plastickou retuš

Zkoušky probarvení minerálních směsí pro plastickou retuš								
Vzorek	Plnivo			Pojivo	Obj. díly	Pigmenty	Barva/ struktura	Vyhodnocení
1	světle okrový černuc	bílá černuc	záměl	Bílý portlandský cement	4:1:1:2		světle béžová/ dobrá	vyhovují
2	složení stejné jako u Vz. 1					1 % Umbry přírodní tmavé	světle okrová/ dobrá	nevyhovující barva
3	složení stejné jako u Vz. 1					3 % Umbry přírodní tmavé	tmavě okrová/ dobrá	nevyhovující barva
4	složení stejné jako u Vz. 1					1 % Umbry zelenavé	světle okrová/ dobrá	nevyhovující barva
5	složení stejné jako u Vz. 1					3 % Umbry zelenavé	tmavě okrová/ dobrá	nevyhovující barva
6	složení stejné jako u Vz. 1					1,5 % Umbry přírodní tmavé + 1,5 % Umbry	tmavě okrová/ dobrá	nevyhovující barva
7	složení stejné jako u Vz. 1					1 % Umbry přírodní tmavé + 0,5 % révové černi	světle okrovo šedá/ dobrá	nevyhovující barva

Tab. 4 Zkoušky probarvení vybrané tmelící směsi pomocí pigmentů

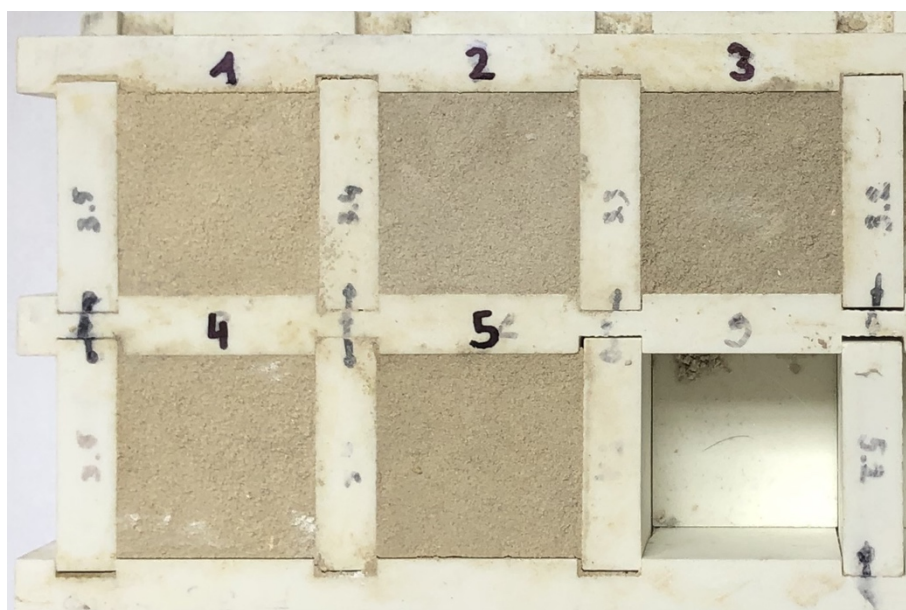


Obr. 18 Zkoušky probarvení vybrané tmelící směsi pomocí pigmentů

Zkoušky minerálních směsí pro vyhotovení výdusků							
Vzorek	Plnivo			Pojivo	Obj. díly	Barva/ struktura	Vyhodnocení
1	světle okrový černuc	bílá černuc	záměl	Bílý portlandský cement	4 : 1 : 1 : 2	světle béžová/ dobrá	vyhovují
2	světle okrový černuc	bílá černuc	záměl	Bílý portlandský cement	1 : 4 : 1 : 2	šedo okrová/ dobrá	nevyhovující barva
3	světle okrový černuc	bílá černuc < 0,500 mm	záměl	Bílý portlandský cement	1 : 4 : 1 : 2	šedo okrová/ dobrá	nevyhovující barva
4	světle okrový černuc	bílá černuc	záměl	Bílý portlandský cement	3 : 2 : 1 : 2	světle okrová/ dobrá	nevyhovující barva
5	světle okrový černuc	bílá černuc	záměl	Bílý portlandský cement	2 : 3 : 1 : 2	světle okrová/ dobrá	nevyhovující barva

**Pozn.: Všechny písky přesáty na frakci do 0,250 mm, pokud není uvedeno jinak**

Tab. 5 Zkoušky minerálních směsí pro vyhotovení výdusků



Obr. 19 Zkoušky minerálních směsí pro vyhotovení výdusků

## 5 VYHODNOCENÍ PRŮZKUMU

Diplomová práce se věnuje pouze figurální části sousoší Nejsvětější Trojice. Přesto bude v následujících odstavcích přistoupeno v některých případech k hodnocení díla jako celku. Restaurováním podstavce se zabývá Samuel Schreiber v rámci své ročníkové práce.

Sousoší Nejsvětější Trojice nechal v roce 1873 vystavět Litomyšlský měšťan Václav Svoboda. Datace vzniku je nám známa z identifikačního nápisu na podstavci. V současné době se sousoší nachází v havarijním stavu. Statika sochy je narušena a skulptura je vykloněna do boku. Pohledově nejvýraznějším poničením jsou chybějící části postav. Obě postavy přišly o hlavy, Ježíši Kristu byla ulomena pravá ruka a vrchní část kříže. V rámci umělecko-historického průzkumu byla dohledána v Regionálním muzeu v Litomyšli kresba od Quida Šimka, která je doplněna o popis, kde se uvádí, že k ulomení kříže došlo v roce 1919. Přestože kresba vznikla mezi lety 1921–1933, tak je na ní sousoší vyobrazeno ještě nepoškozeno. Je však nutné podotknout, že se jedná o idealizovanou kresbu. K sousoší se nám dále povedlo dohledat historickou fotografii z roku 1961, která se nachází v ročníkové kronice 6. třídy na Masarykově základní škole v Morašicích. Na fotografii je zachyceno sousoší z pravé boční strany a lze zaznamenat, že v té době je zde stále přítomná litinová madona na podstavci, hlavy postav a žezlo Boha Otce. K ulomení těchto částí tedy došlo až po roce 1961. Kdy byla ulomena ruka Ježíše Krista nám není známo. Sousoší bylo nejspíše poničeno vandalským činem. Památka je dále zmíněna v kronice Osíka a v knize od Zdeňka Nejedlého zabývající se přímo Litomyšlí. Vizuální stránka díla je ještě zachycena v oseckých novinách Osík DNES. Fotografie sousoší byla v novinách publikována v roce 2013 a stav díla je zde totožný s aktuálním vzhledem. Ve stejných novinách v roce 2020 Dana Mňuková uvádí, že sousoší bylo vystavěno pro poděkování za uchránění obyvatel před morovou epidemií. Pravděpodobně se však jedná o chybný údaj, jelikož morová epidemie se v okolí Litomyšle vyskytovala 160 let před vznikem památky. Uvažovat lze pouze o souvislosti s epidemií cholery, která se zde pár let před vystavěním sousoší v Oseckém údolí vyskytovala.

Kromě již výše zmíněných poškození památky je povrch díla v důsledku přítomných stromů značně pokryt biologickým napadením. Přítomná vlhkost zvyšuje degradaci materiálu a korozi kovových čepů v soše. Degradaci povrchu kamene došlo k výraznému zaniknutí plastické modelace. Vlivem koroze čepů a také v konsekvenci

přítomné síry, kterou byly kovové prvky zality, poté dochází k vytvoření trhlin v podstavci a hlavici. Prasklina se nachází i na zadní straně sousoší. V dešťových stínech jsou přítomny sádrovcové krusty, místy dochází k tvorbě puchýřů a k pískovatění povrchu. Lokálně se na díle vyskytují velmi malé fragmenty povrchových úprav.

Po obhlédnutí stavu památky před restaurováním bylo přistoupeno k neinvazivnímu průzkumu kovových prvků pomocí detektoru kovů, který potvrdil, že se v díle nenachází žádné kovové armatury.

Dále byla zjišťována nasákavost povrchu kamene. Z výsledků vyplývá, že různé druhy povrchů přítomných na soše jsou odlišně nasákavé. Degradovaná část pískovce je nejvíce nasákavá, nejzachovalejší povrch díla je středně nasákavý a kámen s černou k krustou není nasákavý vůbec. Různorodá nasákavost bude sjednocena odstraněním sádrovcových krust. K jejich odstranění byl na základě provedených zkoušek vybrán laser Q-switched Nd:YAG Thunder art.

Před provedením průzkumu UV fluorescence bylo zapotřebí odstranit z povrchu památky silnou vrstvu biologického napadení, tak aby byla obnovena čitelnost díla. Na základě zkoušek byl vybrán k těmto účelům desinfekční přípravek Ajatin.

Průzkum UV fluorescence odhalil světlé fragmenty povrchových úprav v hloubkách modelace sochy, které se vyznačovaly charakteristickou žlutou fluorescencí. Z jednoho místa s touto fluorescencí byl odebrán vzorek pro další průzkum. Pravděpodobně se jednalo o špatně odebraný vzorek, jelikož se zde neprokázaly žádné povrchové úpravy. Fragment modré, červené a žluté povrchové úpravy nevykazoval žádnou charakteristickou fluorescenci. Pozůstatky biologického napadení se vyznačovaly červenou fluorescencí. Převážně na zadní straně sousoší ve spodní části se vyskytovala tyrkysová fluorescence typická pro vodorozpustné soli.

Analýza vodorozpustných solí potvrdila přítomnost solí v kameni. Ve všech odebraných vzorcích z vrtu do hloubky 3 cm se vyskytovalo vysoké množství síranů a zvýšené množství chloridů. Dusičnany zde byly přítomny v zanedbatelné míře. Sírany se do sousoší Nejsvětější Trojice dostaly vzlínající vlhkostí z hlavice, která je osazena na dva čepy zalité sírou. Na základě výsledků zkoušek čištění je doporučeno nejdříve zredukovat či zcela odstranit sádrovcové krusty z povrchu kamene pomocí laseru a následně přistoupit k odsolování pískovce pomocí odsolovacích zábalů.

## 6 KONCEPCE RESTAURÁTORSKÉHO ZÁSAHU

Z figurální části sousoší Nejsvětější Trojice se dochovaly pouze torza postav. Památka se nachází v havarijním stavu, kdy dílu hrozí akutní nebezpečí poškození. Z těchto důvodů bude na díle proveden komplexní restaurátorský zásah, při kterém se přistoupí k rekonstrukci ulomených částí postav a kříže tak, aby byla obnovena původní umělecká kvalita díla. Tím bude památce navrácena její estetická hodnota a bude moci sloužit svému původnímu účelu. Chybějící modelace i části postav budou doplněny tak, aby doplňky byly odlišitelné od originálu a nedocházelo tak k falsifikaci díla z historického a uměleckého ohledu. K těmto účelům bude použita dohledaná historická fotografie sousoší a sochařské analogie ze stejné lokality. Tmelý budou provedeny pouze tam, kde bylo výrazně narušeno tvarosloví, menší degradace povrchu způsobená povětrnostními podmínkami v exteriéru bude ponechána. Dalším cílem restaurátorského zásahu je stabilizování současného stavu materiálu a prodloužení jeho životnosti. K tomu napomůže například očištění povrchu od biologického napadení a krusť nebo redukce přítomných vodorozpustných solí, které udržují vlhkost v kameni a dochází tím k jeho degradaci. Čištěním by mělo být docíleno nejen otevření povrchu, ale i barevného sjednocení díla. Na závěr bude přistoupeno ke sjednocení vzhledu díla zapojením nových tmelů a výdusků z umělého kamene pomocí napodobivé barevné retuše. Cílem restaurování je zachovat památku v původním prostředí, kterým je Osecké údolí, jelikož sousoší je s místem neodmyslitelně spjata nejen historicky, ale i kulturně. O přemístění sochy na žádost investora se dá uvažovat jen v případě, že by okolní prostředí památku ohrožovalo. Restaurováním bude obnoven její původní účel, kterým je kulturně obohatit společnost a zkrášlit a zvelebit Osecké údolí.

## **7 POSTUP RESTAURÁTORSKÝCH PRACÍ**

Po převezení sousoší do ateliéru byly pořízeny fotografie stavu před restaurováním. Fotoaparátem Canon EOS 60D vznikly snímky zachycující celou památku ze čtyř hlavních pohledů a její detaily. Po vizuální obhlídce byl stav díla před restaurováním zaznamenán do grafických zákresů (viz kapitola 10 Grafická příloha). Jednotlivé kroky restaurátorského zásahu byly v průběhu prací dokumentovány. Před zahájením restaurování byly provedeny průzkumy a na základě jejich výsledků byla nastavena koncepce a postup prací.

### **7.1 Odstranění biologického napadení**

Nejprve bylo přistoupeno k odstranění biologického napadení z památky. Před nanesením čistícího přípravku byl povrch skulptury namočen pomocí vodní páry tak, aby došlo k aktivaci biologického napadení. Následně byl pomocí rozprašovače na sochu aplikován desinfekční přípravek Ajatin o 1,5% koncentraci. Ten se nechal na díle působit do druhého dne a poté byla socha očištěna pomocí vodní páry a nylonových kartáčků.

### **7.2 Odstranění krusty**

V dalším kroku došlo k odstranění sádrovcových krust nebo alespoň k jejich částečnému ztenčení tak, aby mohlo být následně přistoupeno k efektivnímu odsolení objektu. Vlivem přítomných vodorozpustných solí docházelo k degradaci materiálu a zhoršování jeho soudržnosti. Z těchto důvodů byl ze všech provedených zkoušek vybrán laser Q-switched Nd:YAG Thunder art, u kterého bylo docíleno šetrného a selektivního očištění povrchu. Pro lepší výsledek bylo lokálně přistoupeno k předvhčení povrchu vodou. Na laseru byla nastavena vlnová délka 1064  $\mu\text{m}$ , energie 300 mJ a opakovací kmitočet 20 Hz. Čištění bylo prováděno ze vzdálenosti 15–20 cm.

### **7.3 Odsolování**

Na základě výsledků analýz na stanovení obsahu vodorozpustných solí v kameni, které potvrdily, že materiál je značně zasolen a obsahuje vysoké množství síranů a chloridů, bylo přistoupeno k odsolení objektu pomocí buničinových zábalů. Odsolovací zábal byl tvořen ze směsi křemičitého písku, celulózových vláken Arbocel a z kaolínu v poměru 4 : 2 : 1 rozmíchané v demineralizované vodě. Do zábalů byl



přidán desinfekční přípravek Ajatin o 1,5% koncentraci tak, aby nedocházelo k jejich zplisnivění. Odsolovací zábal byl aplikován ve třech cyklech. První zábal se nechal na povrchu sochy působit 10 dní, druhý 10 dní a třetí 7 dní. Před nanesením zábalu byla socha namočena pomocí vodní páry.

#### **7.4 Konsolidace**

Na základě výsledků ultrazvukové transmise bylo přistoupeno ke konsolidaci objektu v malé míře. Památka byla lokálně zpevněna v místech degradace povrchu, přítomných prasklin nebo v částech, kde došlo v minulosti k ulomení sochy. Jako konsolidant byl vybrán zpevňovač kamene na organokřemičité bázi KSE 100, 300 a 500 E od značky Remmers. Konsolidační přípravek byl regulovaně aplikován injekční stříkačkou ve třech navazujících cyklech. Nejprve byl povrch zpevněn konsolidantem KSE 100 s nízkým množstvím vyloučeného gelu (cca 10 %), po kterém následovala aplikace konsolidantu KSE 300, který má z důvodu většího množství vyloučeného gelu (cca 30 %) větší zpevňující schopnosti, avšak menší míru penetrace do povrchu. Konsolidant KSE 300 byl aplikován lokálně v místě odlomení větších částí (draperie, kříž, mrak v zadní části) a odlomení větších částí jako jsou mraky po stranách, chybějící hlavy postav, žezlo Boha Otce nebo ulomený kříž a pravé ruka Ježíše Krista. Celkem bylo k těmto účelům použito 20 ml konsolidantu. Do trhlin a prasklin byl navíc aplikován elastifikovaný zpevňovač KSE 500 E, kterého bylo spotřebováno 5 ml.

#### **7.5 Injektáž prasklin**

K injektáži přítomných prasklin a trhlin byla použita injektážní vápenná směs Ledan TA 1 Leit 03, která byla nejprve probarvena světlostálými práškovými pigmenty a následně aplikována do těchto míst pomocí injekční stříkačky. K zamezení jejího vytékání a pro zatečení směsi do hloubky materiálu byla použita vata namočená ve vodě. Stejná injektážní směs byla uplatněna k vyplnění prostoru mezi novými výdusky a originálním dílem.

#### **7.6 Výroba doplňků z umělého kamene a jejich osazení**

Větší chybějící části byly doplněny v umělém kameni, konkrétně se jednalo o obě hlavy postav, pravou ruku Ježíše Krista a část kříže, čemuž předcházelo jejich vymodelování v sochařské hlíně. Před započítím těchto prací byl povrch kamene

v místech modelovaných částí separován tenkou vrstvou speciálního kaučukového latexu Arte Mundit od firmy Remmers. Během modelování bylo vycházeno z historické fotografie a dohledaných analogií. K těmto účelům nejlépe posloužily fotografie sousoší Nejsvětějších Trojic, které se nachází mezi vesnicí Lubná a Široký důl a v Morašicích. V případě poslední zmiňované byly vyrobeny otisky do hlíny, které byly následně odlity do sádry, jelikož se jedná o analogii která je svojí kompozicí, tvarovou podstatou i velikostí nejvíce podobná restaurovanému dílu. Doplnky z hlíny byly zaformovány pomocí silikonu a sádrových kadlubů. Chybějící části byly následně vydušány směsí, která byla použita na tmelení. Její přesné složení je uvedeno v kapitole 8 Použité materiály a technologie. Po dvou dnech vlhčení byly výdušky vyndány z forem a jejich povrch byl narušen špachtlemi a dláty. Dále byly doplnky z umělého kamene osazeny na nerezové čepy zajištěné dvousložkovým epoxidovým lepidlem. Z důvodu kratších armatur v pravé ruce Ježíše Krista byla tato část navíc zajištěna použitím epoxidového lepidla na ploše v oblasti ramene, kam bylo lepidlo aplikováno v bodech. Zákresy nových kovových armatur jsou součástí Grafické přílohy (viz podkapitola 10.2 Stav po restaurování) a jejich rozměr je uveden v kapitole 8 Použité materiály a technologie. Po dobu tří týdnů byly výdušky nadále vlhčeny, tak aby dosáhly optimálního vytvrnutí. V závěru byl povrch doplňků upraven dláty, brusným kamenem a metodou mikropískování, tak aby bylo docíleno podobné struktury jako má okolní materiál. Prostor mezi originálním kamenem a výdušky byl před plastickou retuší vyinjektován vápennou směsí (viz podkapitola 7.5 Injektáž prasklin).

## 7.7 Plastická retuš

Na základě nastavené koncepce bylo přistoupeno k sjednocení památky vytmelením míst z vysokou ztrátou modelace a prasklin. V podobě výdušku byly dále doplněny chybějící části sousoší, tedy obě hlavy postav, pravá ruka Ježíše Krista a horní část kříže. Doplnkům z umělého kamene, jejich osazení a armování se věnuje předchozí podkapitola.

K plastické retuši byla použita směs křemičitých písků a bílého portlandského cementu v objemovém poměru 3 : 1 s přídávkem akrylátové disperze Sokrat S2802A max. do 5 % (hm.). Následně byla tmelící směs nanášena na místo doplnění a po zavadnutí tmelu byl jeho povrch strhnut pomocí špachtle, čímž došlo k otevření jeho struktury. Po dobu následujícího týdne byly tmely vlhčeny vodou za použití stříčky.

V případě doplnění mraku na boční levé straně sousoší byla použita armatura, jelikož se jednalo o velký tmel vyčnívající do prostoru. Armatura byla osazena do šikmo navrtaného otvoru ve spodní části mraku na minerální tmel.

## **7.8 Barevná retuš**

V závěru restaurování bylo přistoupeno k barevnému zapojení nově vzniklých tmelů a doplňků z umělého kamene pomocí světlostálých práškových pigmentů, které byly pojeny 2% akrylátovou disperzí K9 s vodou. Barevná retuš byla aplikována štětci různých velikostí a v případě výdusků byla navíc použita přírodní mořská houba, která vytvořila na povrchu požadovanou strukturu barevné retuše.

## **7.9 Osazování a hydrofobizace**

Sousoší Nejsvětější Trojice bylo z ateliéru transportováno do Oseckého údolí nákladním autem s hydraulickou rukou za použití upínacích pásů. Zde bylo dílo osazeno na podstavec, který restauroval student Fakulty restaurování Samuel Schreiber. Ten byl osazen na nové odizolované betonové základy a jeho jednotlivé části byly spojeny nerezovou pásovinou (tělo podstavce – horní patka) nebo nerezovou armaturou zalitou tmelem (tělo podstavce s horní patkou – hlavice). Všechny díly včetně sousoší Nejsvětější Trojice byly dále zajištěny tmelem, který byl aplikován bodově mezi jednotlivé části díla. Tmelicí směs byla dále probarvena světlostálými práškovými pigmenty a byla použita k vyspárování mezer mezi nimi.

Po osazení sochy byl povrch památky hydrofobizován za použití přípravku Funcosil SNL od značky Remmers, který byl aplikován postříkem.

## 8 POUŽITÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE

### **Čištění biologického napadení:**

Desinfekční přípravek Ajatin, vodní pára, nylonové kartáčky, skalpel

### **Odstranění tmelů:**

Sochařská dláta

### **Odstranění sádrovcových krust:**

Metoda využívající záření: laser (Nd:YAG Q-switched laser Thunder art), nastavení: vlnová délka 1064  $\mu\text{m}$  při energii 400-650 mJ

### **Prekonsolidace a konsolidace:**

Zpevňovač na bázi esteru kyseliny křemičité – organokřemičitan KSE 100, 300 a 500 E od značky Remmers, injekční stříkačka

### **Injektáž:**

Injektážní vápenná směs Ledan TA 1 Leit 03, světlostálé práškové pigmenty (dodavatel Deffner and Johann), injekční stříkačka, voda, vata

### **Odsolování:**

Kaolín, střelecký písek ST 56, demineralizovaná voda, celulózová vlákna Arbocel – Arbocel BC 200, celulózová vlákna o délce 300  $\mu\text{m}$

### **Doplnění chybějících částí v hlíně a výroba formy:**

Sochařská hlína, špachtle, separační vrstva proti znečištění – kaučuková latexová pasta Arte Mundit od firmy Remmers, silikon, sádra Almod LC, jutová netkaná textilie, gázové kompresy, kovové dráty

### **Zajištění doplňků z umělého kamene:**

Vrtání otvorů pro armatury: Aku bezuhlíková vrtačka s příklepem 18V XR Li-Ion 2x2, 0Ah DeWALT DCD796D2, průměr vrtáku 12 mm

Kovové armatury: 6 nerezových závitových tyčovin o různých délkách a průměrech (hlava Krista – průměr 10 mm, délka 16,5 cm; hlava Boha Otce – průměr 10 mm, délka 14 cm; kříž – průměr 10 mm, délka 24 cm; ruka – průměr 8 mm, dvě armatury v rameni o délce 7 cm (horní) a 11 cm (spodní), jedna armatura v místě dlaně o délce 6,5 cm)

Lepení: dvousložkové epoxidové lepidlo AkepoX 5010

### **Plasická retuš:**

Minerální tmel: směs křemičitých písků, pojivo: bílý portlandský cement v poměru 1 : 3 se směsí písků, voda, akrylátový disperze Sokrat S2802A (dodavatel Den Braven), kovové špachtle

Armování: nerezová závitová tyčovina o délce 28 cm a průměru 5 mm, armatura zajištěna minerálním tmelem

**Barevná retuš:**

Světlostálé práškové pigmenty (dodavatel Deffner and Johann), pojivo: akrylátová disperze K9 (2% koncentrace), štětce různých velikostí, přírodní mořská houba od značky Ebelin

**Hydrofobizace:**

Funcosil SNL od značky Remmers, stříčka

**Osazení sousoší:**

Nákladní auto s hydraulickou rukou, upínací pás s hákem a ráčnou, upínací pás s přezkou, vysokopevnostní třmen omega s čepem, textilní rohož, molitany

Nové základy: Beton (kamenivo, cement, voda)

Spárovací směs: křemičitý písek, cement





## 9 DOPORUČENÝ REŽIM PAMÁTKY

Sousoší Nejsvětější Trojice bylo umístěno nazpět na podstavec, který byl restaurován současně s dílem. Ten byl osazen na odizolované betonové základy tak, aby bylo zabráněno vzlínající vlhkosti z půdy. Památka se nachází u polní cesty v Oseckém údolí, kde bude podléhat povětrnostním vlivům, změnám teplot, srážkám a sněhu, které budou mít dopad na její zachování. Z těchto důvodů je potřeba dílo pravidelně podrobovat kontrole. Ideálně je tak dobré uskutečnit v každoročních intervalech po skončení zimního období. Minimálně však jednou za dva roky. Zejména je dobré sledovat případné změny u přítomných prasklin, stav dochování nových výdusků z umělého kamene, které jsou osazeny na nerezové čepy, a plastických a barevných retuší. Zároveň v bezprostřední blízkosti památky je několik vzrostlých stromů, u kterých je zapotřebí sledovat jejich stav a v případě nutnosti přistoupit k ořezání větví, tak aby nedocházelo k ohrožování díla. Přítomné stromy také vytváří ideální prostředí pro vznik nežádoucího biologického napadení na povrchu plastiky. Pravidelnými kontrolami a revizemi lze docílit prodloužení životnosti restaurátorského zásahu i samotné skulptury.

# 10 GRAFICKÁ PŘÍLOHA

## 10.1 Stav před restaurováním

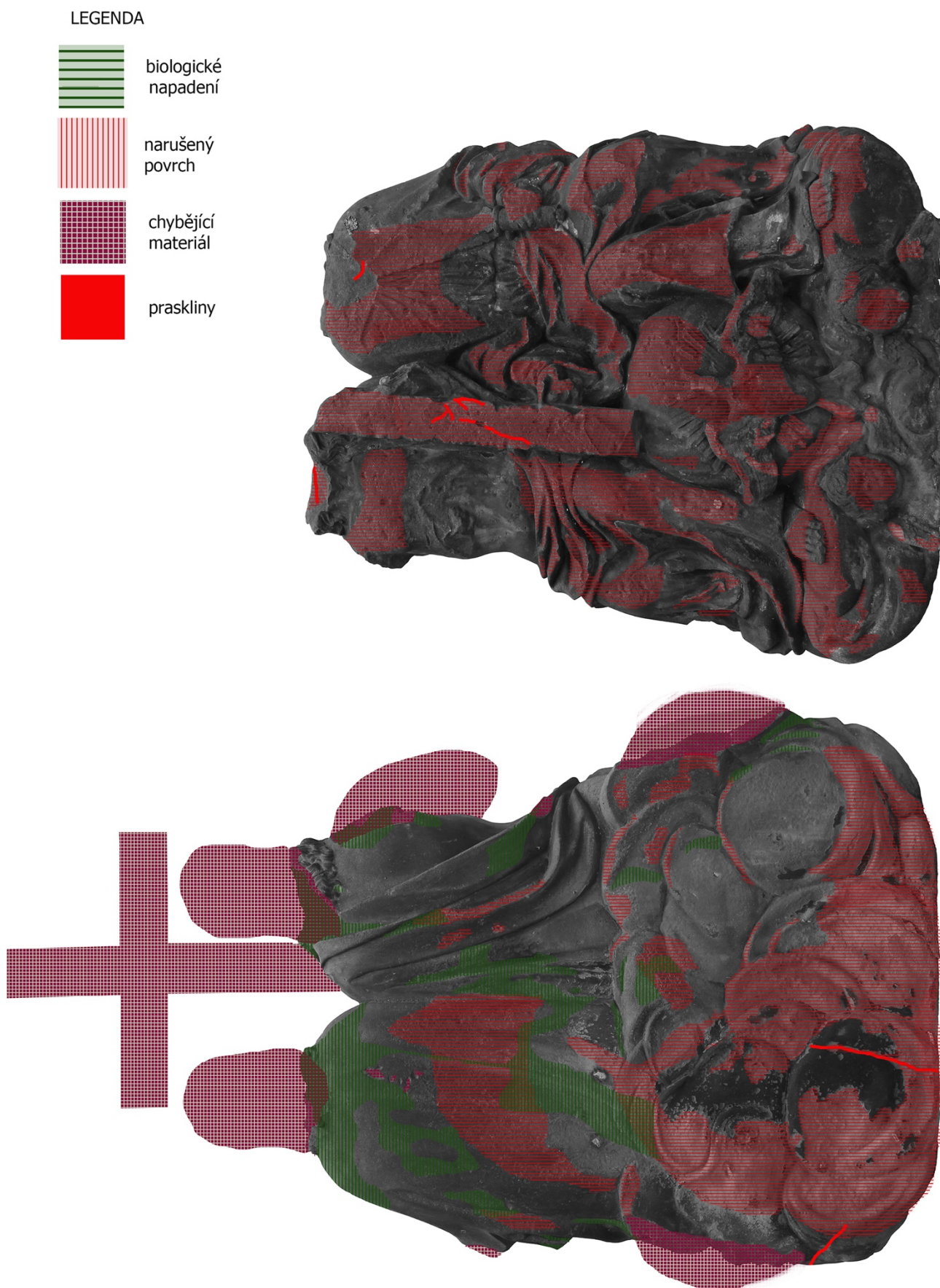
### LEGENDA

	biologické napadení
	narušený povrch
	chybějící materiál
	praskliny



*Graf. 2 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, přední pohled*

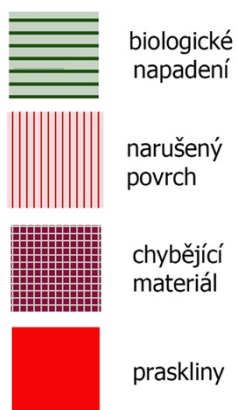




Graf. 3 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, přední a zadní pohled

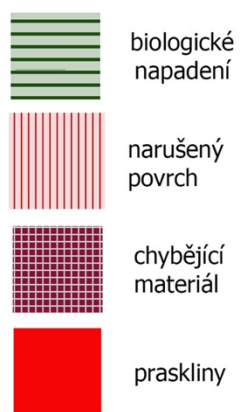


LEGENDA



*Graf. 4 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, boční pohledy*

LEGENDA



*Graf. 5 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, boční pohledy*



## 10.2 Stav po restaurování

### LEGENDA



nové tmely



výdusek



nové armatury



Graf. 6 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav po restaurování, přední a zadní pohled

LEGENDA



nové tmely



výdusek



nové armatury



*Graf. 7 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav po restaurování, boční pohledy*

# 11 OBRAZOVÁ PŘÍLOHA RESTAURÁTORSKÉ ZPRÁVY

## 11.1 Fotografická příloha historického průzkumu



Obr. 20 Sousedí Nejsvětější Trojice z Oseckého údolí, kronika tehdejší 6. třídy Masarykovy základní školy v Morašicích (autor fotografie: učitel Maleček z Morašic)





Obr. 21 Perokresba od Quida Šimka z období mezi lety 1921–1933, Regionální muzeum v Litomyšli



Obr. 22 Výřez levé poloviny perokresby, kde je zachyceno sousolí Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí



## 11.2 Sochařské předlohy pro doplnění chybějících částí



*Obr. 23 Sousoší Nejsvětější Trojice v Morašicích (1865), okres Svitavy*



*Obr. 24 Sousoší Nejsvětější Trojice ve Strakově (1894), okres Svitavy*



*Obr. 25 Sousoší Nejsvětější Trojice v Širokém dole (1889), okres Svitavy*



*Obr. 26 Sousoší Nejsvětější Trojice v Opatovci, okres Svitavy (autor fotografie Kristýna Bittnerová)*





*Obr. 27 Sousoší Nejsvětější Trojice  
v podloubí u probošství v Litomyšli,  
okres Svitavy*



*Obr. 28 Sousoší Nejsvětější Trojice  
v Čisté u Litomyšle, okres Svitavy (autor  
fotografie Samuel Schreiber)*



*Obr. 29 Sousoší Nejsvětější Trojice  
v Rychnově na Moravě, okres Svitavy  
(autor fotografie: Petr Arijčuk, NPÚ)*



*Obr. 30 Sousoší Nejsvětější Trojice  
v Mladějově na Moravě, okres Svitavy  
(autor fotografie: Ludmila Nováková,  
NPÚ)*





*Obr. 31 Sousoší Nejsvětější Trojice v Trebářově, okres Svitavy (autor fotografie: Petr Arijčuk, NPÚ)*



*Obr. 32 Sousoší Nejsvětější Trojice v Rybníku u České Třebové, okres Ústí nad Orlicí (autor fotografie: Jitka Svobodová, NPÚ)*



*Obr. 33 Sousoší Nejsvětější Trojice v Hnátnici, okres Ústí nad Orlicí (autor fotografie: Milan Křištof, NPÚ)*



*Obr. 34 Sousoší Nejsvětější Trojice ve Výprachticích, okres Ústí nad Orlicí (autor fotografie: Václav Paukrt, NPÚ)*



*Obr. 35 Sousoší Nejsvětější Trojice v Semaníně, okres Ústí nad Orlicí, stav před restaurováním (autor fotografie: Jitka Svobodová, NPÚ)*



*Obr. 36 Sousoší Nejsvětější Trojice v Semaníně, okres Ústí nad Orlicí, stav po restaurování (autor fotografie: Jana Pochmanová, NPÚ)*



*Obr. 37 Sousoší Nejsvětější Trojice v Proseči, okres Chrudim, (autor fotografie: Jitka Svobodová, NPÚ)*



## 11.3 Fotografická příloha restaurátorského zásahu

### 11.3.1 Stav před restaurováním



*Obr. 38 Stav před restaurováním – frontální pohled na celou památku v místě osazení (autor fotografie: MgA. Petr Rejman, vyfoceno na FinePix S9600 od firmy FUJIFILM)*





*Obr. 39 Stav před restaurováním – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 40 Stav před restaurováním – zadní pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 41 Stav před restaurováním – levý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*



*Obr. 42 Stav před restaurováním – pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 43 Stav před restaurováním – detail kříže*



*Obr. 44 Stav před restaurováním – detail levé ruky Boha Otce s ulomeným žezlem*



*Obr. 45 Stav před restaurováním – detail povrchu s plísní*





*Obr. 46 Stav před restaurováním – detail holubice se svatozáří na zeměkouli*



*Obr. 47 Stav před restaurováním – detail levé okřídlené hlavy anděla*





*Obr. 48 Stav před restaurováním – detail draperie na noze Boha Otce*



*Obr. 49 Stav před restaurováním – zadní strana sousoší, detail praskliny a vykrystalizovaných solí na povrchu*



*Obr. 50 Stav před restaurováním – detail se zbytky světlé povrchové úpravy a s malým fragmentem červené barvy (v horní polovině uprostřed)*



### 11.3.2 Stav po očištění



*Obr. 51 Stav po očištění od biologického napadení – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*



Obr. 52 Stav po očištění od biologického napadení – zleva: zadní pohled, levý boční pohled, pravý boční pohled na sousoší  
Nejsvětější Tojice





*Obr. 53 Stav po celkovém očištění – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*



*Obr. 54 Stav po celkovém očištění – zleva: zadní pohled, levý boční pohled, pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Tojice*



### 11.3.3 Stav po doplnění chybějících částí



*Obr. 55 Stav po doplnění chybějících částí – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 56 Stav po doplnění chybějících částí – zadní pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 57 Stav po doplnění chybějících částí – levý boční pohled na sousoší  
Nejsvětější Trojice*



*Obr. 58 Stav po doplnění chybějících částí – pravý boční pohled na sousoší  
Nejsvětější Trojice*





*Obr. 59 Stav po doplnění chybějících částí – detail kříže*



*Obr. 60 Stav po doplnění chybějících částí – detail levé ruky Boha Otce s žezlem*



*Obr. 61 Stav po doplnění chybějících částí – detail holubice se svatozáří na zeměkouli*



*Obr. 62 Stav po doplnění chybějících částí – detail postavy Ježíše Krista*



*Obr. 63 Stav po doplnění chybějících částí – detail hlavy Boha Otce*



### 11.3.4 Stav po restaurování



*Obr. 64 Stav po restaurování – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 65 Stav po restaurování – zadní pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 66 Stav po restaurování – levý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*

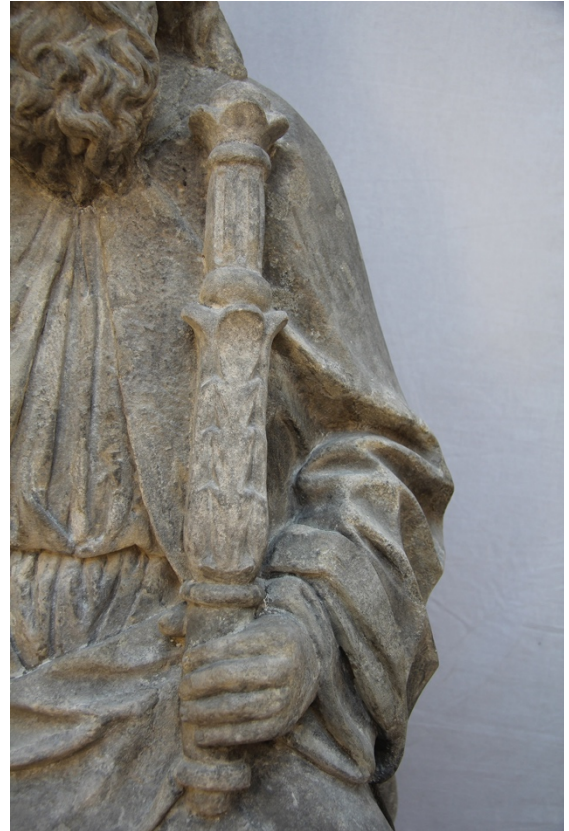


*Obr. 67 Stav po restaurování – pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice*





*Obr. 68 Stav po restaurování – detail kříže*



*Obr. 69 Stav po restaurování – detail levé ruky Boha Otce s žezlem*



*Obr. 70 Stav po restaurování – detail holubice se svatozáří na zeměkouli*





*Obr. 71 Stav po restaurování – detail postavy Ježíše Krista*



*Obr. 72 Stav po restaurování – detail hlavy Boha Otce*





*Obr. 73 Stav po restaurování – frontální pohled na celou památku v místě osazení*



### 11.3.5 Průběh restaurátorských prací



*Obr. 74 Transport sousoší Nejsvětější Trojice do ateliéru*



*Obr. 75 Odstraňování biologického napadení pomocí páry*





*Obr. 76 Odstraňování biologického napadení pomocí kartáčů*



*Obr. 77 Odstraňování sádrovcových krust pomocí laseru*



*Obr. 78 Celkové očištění levé poloviny sousoší Nejsvětější Trojice*



*Obr. 79 Odsolovací zábal*





*Obr. 80 Lokální konsolidace kamene*



*Obr. 81 Doplnění chybějících částí v hlíně*



*Obr. 82 Stav po doplnění chybějících částí ve hlíně a sádře – čelní pohled*



*Obr. 83 Stav po doplnění chybějících částí ve hlíně a sádře – zadní pohled*





*Obr. 84 Zaformování doplňků z hlíny a sádky pomocí silikonu*



*Obr. 85 Otevřená silikonová forma hlavy Boha Otce*



*Obr. 86 Zaformovaná polovina ruky Ježíše Krista do silikonu*





*Obr. 87 Proces výroby doplňku z umělého kamene – zaformování kříže z hlíny pomocí silikonu a sádrových kadlubů*



*Obr. 88 Proces výroby doplňku z umělého kamene – odlití kříže do sádry pomocí silikonové formy*



*Obr. 89 Proces výroby doplňku z umělého kamene – zaformování sádrového kříže do silikonu*



*Obr. 90 Proces výroby doplňku z umělého kamene – vydusána forma kříže*





*Obr. 91 Detail nových nerezových armatur v hlavách postav a kříži*



*Obr. 92 Detail nových nerezových armatur v ruce Ježíše Krista*



*Obr. 93 Detail nové nerezové armatury v mraku*





*Obr. 94 Zajištění doplňku z umělého kamene pomocí epoxidového lepidla*



*Obr. 95 Osazování výdusků z umělého kamene*



*Obr. 96 Injektáž dutin přítomných mezi výdusky z umělého kamene a originálním materiálem*





*Obr. 97 Doplnění chybějících částí  
v minerálním tmelu*



*Obr. 98 Barevná retuš pomocí mořské  
houby*



*Obr. 99 Barevná retuš pomocí štětce*





*Obr. 100 Transport sousoší Nejsvětější Trojice z ateliéru do Oseckého údolí*



*Obr. 101 Osazení sousoší na podstavec pomocí auta s hydraulickou rukou*

### **III. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**Biologické čištění sádrovcových krust na kameni pomocí bakterií**



## 12 ÚVOD

V oblasti restaurování kulturního dědictví se většinou setkáváme s negativním vlivem mikroorganismů na stav památky. Kromě nežádoucí biologické kontaminace totiž dochází v důsledku působení mikroorganismů k tzv. biodegradaci napadených částí uměleckého díla. Teoretická část diplomové práce se naopak věnuje pozitivnímu fenoménu spjatému s mikroorganismy, kterým je možnost čištění povrchu kamene pomocí bakterií. Konkrétně se diplomová práce zabývá použitím desulfurikačních bakterií druhu *Desulfovibrio vulgaris* k odstranění sádrovcových krust z kamenných objektů. V této souvislosti je zapotřebí zmínit, že je uplatnění bakterií při restaurování daleko širší a neomezuje se pouze na čištění. Jak bude přiblíženo v textu, živé bakterie se dále využívají například ke konsolidaci, odstraňování rzi a solí nebo při kontrole mikrobiologického napadení historických předmětů různé materiálové podstaty.

Řešené téma navazuje na rozšířenou část bakalářské práce<sup>27</sup> autorky a na diplomovou práci Romana Koláře<sup>28</sup>, které vznikly na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice. Tyto práce jsou zaměřeny na možnosti odstraňování sádrovcových krust z povrchu vápence. Nejen z těchto publikací vyplývá, že je využití bakterií k čištění sádrovcových krust v oboru restaurování památek poměrně novou a nepřiliš využívanou možností. Zároveň je tato problematika publikována pouze v zahraničních zdrojích. Předkládaný výzkum je pravděpodobně prvním počinem u nás, který se v teoretické rovině a také prakticky zabývá použitím bakterií k čištění uměleckých děl. Práce si proto klade za cíl získat základní zkušenosti s bakteriálním čištěním sádrovcových krust, poukázat na jeho výhody i úskalí, ale také rozšířit povědomí o této metodě mezi odbornou i laickou veřejnost, případně přispět k rozvoji této problematiky.

Přítomnost sádrovcových krust na kamenosochařských dílech je nežádoucí jak z estetického hlediska, tak z technologického. Proto je jedním ze zásadních kroků v postupu restaurování jejich odstranění. Avšak tento zásah je velmi rizikový a při použití tradičních metod čištění může hrozit ztráta hodnot památky spojená především s úbytkem materiálů či změnou odstínu. Biologická metoda odstraňování krust pomocí desulfurikačních bakterií by měla představovat velmi šetrnou variantu čištění. Za její

---

<sup>27</sup> BURKHARDTOVÁ. 2019. s. 41–71.

<sup>28</sup> KOLÁŘ. 2016. s. 10–61.

největší výhody lze podle literatury dále považovat selektivitu, která zaručuje zachování sulfatizovaného povrchu kamene, případně polychromie pod krustami, homogenitu čištění nebo možnost opětovného zpevnění očištěného povrchu karbonátových hornin. Ačkoliv nabízí bakteriální čištění sádrovcových krust mnoho pozitiv, je jeho použití také spojeno se zásadními nevýhodami, které jsou pro tuto metodu zřejmě zásadním způsobem omezující pro využití v restaurátorské praxi. Patří mezi ně zejména vysoce specializovaná kultivace bakterií a jejich celkem komplikovaná a zdlouhavá aplikace.

Teoretickou část diplomové práce lze rozdělit na rešerši literatury a experiment. Rešerše se nejprve zaměřuje na vývoj bakteriálního čištění sádrovcových krust z hlediska používaných druhů bakterií, způsobů aplikace i efektivity čištění. Dále bylo nezbytné nastudovat možnosti a upřesnit postupy kultivace bakterií, či specifika, která jsou s jejich přípravou spojená. Patří mezi ně především nutnost odstranění černého produktu metabolismu bakterií z kultivační suspenze, příprava bakteriálního systému v anaerobním prostředí a vhodné podmínky samotné aplikace. Aby bylo možné výsledky porovnat a objektivně vyhodnotit také vzhledem k velké nehomogenitě reálných sádrovcových krust, bylo zapotřebí bakteriální čištění odzkoušet nejen na přirozených sádrovcových krustách, ale i na modelových vzorcích s umělou krustou. Proto byla dále v rámci rešerše dohledána literatura zabývající se přípravou modelových vzorků simulujících síranové krusty na různých podkladech (sádra, vápenec).

Experimentální část práce zahrnuje přípravu a průzkum zkušebních vzorků, pilotní kultivaci bakteriálního systému a první aplikaci bakteriální suspenze na vzorky s reálnou a uměle vytvořenou sádrovcovou krustou. Bakteriální systém byl aplikován v gelu z Carbogelu na fragmenty vápence z fasády katedrály sv. Štěpána ve Vídni a na umělé sádrovcové krusty, které byly vyrobeny podle postupu dohledaného v rámci literární rešerše. Výsledky bakteriálního čištění a s ním spojená hlediska byly porovnávány s čištěním lasery, které nabízí jednu z nejšetrnějších možností odstraňování sádrovcových krust. Výsledek provedených zkoušek čištění byl nejprve vyhodnocen na základě vizuálního pozorování, fotografické dokumentace a dokumentace při větším zvětšení a následně na odebraných vzorcích, v tomto případě optickou mikroskopií, případně skenovací elektronovou mikroskopií.

## 13 REŠERŠE LITERÁRNÍCH ZDROJŮ

### 13.1 Specifika čištění kamenných děl<sup>29</sup>

Čištění je součástí téměř každého restaurátorského zásahu. Častým důvodem tohoto kroku je nutnost odstranění či částečné redukce krust. K odstranění krust se přistupuje na základě několika podnětů. V první řadě se krusty odstraňují z estetických důvodů, jelikož mají vliv na změnu barevnosti díla a čitelnost modelace. Druhým problémem jsou technologická hlediska, zahrnující uzavření povrchu kamene, které vede ke snížení jeho nasákavosti, paropropustnosti a ke změně tepelné a vlhkostní roztažnosti. V případě přítomnosti vodorozpustných solí také dochází pod krustou k působení krystalizačních tlaků v pórovitém systému kamene a k následné degradaci kamene a snížení životnosti díla. Dále se krusty odstraňují kvůli zvýšení funkčnosti a efektivity následujících restaurátorských kroků jako je například konsolidace nebo hydrofobizace.

Před přistoupením k čištění je zapotřebí důsledně zvážit hodnotu díla, jeho funkci i to, co je cílem samotného čištění. Na základě těchto kritérií a průzkumu objektu se následně stanoví metoda čištění a míra zásahu. Je třeba si uvědomit, že se jedná o nevratný krok, který nese svá rizika, zahrnující možnou ztrátu hmoty, významnou změnu vizuální stránky díla či vlastností materiálů. Z těchto důvodů se v dnešní době již přistupuje pouze k částečnému očištění povrchu, respektive částečné redukci krust.

Samotnému procesu čištění předchází provedení zkoušek, na jejichž základě se zvolí správná metoda čištění. Její výběr je podmíněn také výsledkem, kterého chceme dosáhnout nebo její časovou a finanční náročností. Při čištění je důležitá také jeho kontrolovatelnost a selektivita. Je nutné zvažovat i jiná rizika čištění, jako jsou například zbytky reziduí po chemickém čištění. Z uvedených důvodů se často přistupuje ke kombinaci různých metod čištění.

### 13.2 Sulfatizace a vznik sádrovcových krust

Černé krusty patří mezi běžná znečištění kamenosochařských děl, která vznikají chemickou korozí povrchu kamene. Se znečištěním tohoto typu se můžeme setkat především u kamenných památek umístěných v exteriéru. Nejnáchylnější jsou k tomuto

---

<sup>29</sup> DOEHNE; PRICE. 2010a. s. 29–33.  
KOTLÍK. 1999b. s. 84–89.  
ĎOUBAL. 2015.



jevu karbonátové horniny, jejichž chemickou podstatou je uhličitán vápenatý. Patří mezi ně například mramor, vápenec, ale také pískovec s vápenným tmelem. Vznik krust je v těchto případech založen na chemické přeměně kamene, která zahrnuje reakci uhličitánu vápenatého s oxidem uhličitým (uhličitánové povlaky) nebo s oxidy síry (sádrovcové krusty<sup>30</sup>). Tato práce se věnuje sádrovcovým krustám. Kromě karbonátových hornin může sádrovcová krusta vznikat i na samotných pískovcích, které uhličitán vápenatý neobsahují. V těchto případech vzniká sádrovcová krusta vlivem přítomných polutantů v ovzduší nebo sulfatizací dřívějších opravných zásahů provedených na památce.<sup>31</sup>

Sádrovcové krusty se zpravidla vyskytují ve srážkových stínech, tedy místech, která nejsou vystavena dešti. Vznikají tzv. sulfatizací povrchu karbonátových hornin, kdy dochází k přeměně uhličitánu vápenatého na sádrovec, tedy dihydrát síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) za zvýšené vlhkosti vzduchu či působením vody. Sádrovec je rozpustný ve vodě, a tudíž se vymývá vodou, prakticky tedy dešťovými srážkami. Nejen přítomnost černých krust, ale tedy také jejich rozpustnost ve vodě může vést až ke ztrátě modelace skulptury. Důsledkem ulpívání tmavých prachových částic a jiných depozitů při rozpouštění i vzniku krust je jejich tmavá až černá barevnost. Samotný sádrovec je sám o sobě bezbarvý.<sup>32</sup>

Jak již bylo uvedeno, černé sádrovcové krusty jsou nežádoucím fenoménem nejen z estetického hlediska, ale také z důvodu tzv. uzavření povrchu kamene, kdy fyzikální vlastnosti krusty (nasákavost, paropropustnost, tepelná a vlhkostní roztažnost atd.) jsou jiné než vlastnosti původního materiálu. Následkem toho může při klimatických změnách docházet k pnutí mezi vrstvami, kumulací solí či vlhkosti pod krustou, což má za následek významnou degradaci kamene. Dalším negativním jevem spojeným s přítomností sádrovcových krust, respektive dihydrátu síranu vápenatého, je jeho pomalé rozpouštění ve vodě, migrace a krystalizace, vedoucí ke škodlivým rekrystalizačním tlakům narušujícím vnitřní strukturu kamene.<sup>33</sup>

---

<sup>30</sup> DOEHNE; PRICE. 2010b

KOTLÍK. 1999b.

ĎOUBAL. 2015.

<sup>31</sup> BAYER. 2006.

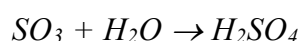
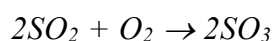
MARSZALEK; ALEXANDROWICZ; RZEPA. 2014.

HALSEY; DEWS; MITCHELL a kol. 1996.

<sup>32</sup> MOROPOULOU; BISBIKOU; TORFS a kol. 1998.

<sup>33</sup> ĎOUBAL. 2015. s. 52–54.

Největším podnětem vzniku sádrovcových krust je znečištěné ovzduší. Vlivem rozvoje průmyslu a automobilové dopravy jsou ve vzduchu zastoupeny oxidy síry a dusíku, které patří mezi nejagresivnější složky ovzduší. Oxidy síry v kombinaci s vodou nebo zvýšenou vlhkostí vytvářejí kyselé prostředí a kyselé deště, jež reagují u karbonátových hornin s uhličitanem vápenatým a přeměňují ho právě na sádrovec. Jak bylo naznačeno výše, tento chemický korozní proces se nazývá sulfatizace. U exponovaných částí kamene, které jsou vystaveny dešťovým srážkám dochází k vymývání nečistot a sádrovce, zatímco v dešťových stínech se rozpustnější sloučeniny kumulují a vzniká zde sádrovcová křusta.<sup>34</sup> „Chemické reakce probíhající během procesu sulfatizace jsou popsány níže:



### 13.3 Zavedené možnosti odstraňování sádrovcových krust<sup>36</sup>

K odstraňování sádrovcových krust z kamene se používají především fyzikální a chemické metody čištění. Fyzikální čištění zahrnuje například kartáčování, mytí a napařování nebo odstranění krust pomocí mikroabraziva na suché či mokré bázi.<sup>37</sup> Další rozšířenou metodou je použití laserů.<sup>38</sup> V rámci chemických metod se potom nejčastěji využívají aplikace roztoků uhličitanu a hydrogenuhličitanu amonného, případně chelatačních činidel (kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA), kyselina citronová a jejich soli) a iontoměníčů.<sup>39</sup> Každá z uvedených metod má svoje klady, ale i zápory. Případná negativa lze v praxi řešit kombinací metod.<sup>40</sup>

Zjednodušeně lze shrnout, že se zavedené metody většinou vyznačují dostatečnou účinností. Některé z nich jsou však nedostatečně šetrné a při jejich použití hrozí

<sup>34</sup> ĐOUBAL. 2015. s. 47, 52.

RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 586.

<sup>35</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.

<sup>36</sup> NORMANDIN; SLATON. 2006.

<sup>37</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.

KOTLÍK. 1999a. s. 81–89.

<sup>38</sup> COOPER; EMMONY; LARSON. 1995.

COOPER; EMMONY; LARSON. 1992.

<sup>39</sup> KOTLÍK, 1999b. s. 87–88.

<sup>40</sup> Podrobněji jsou metody čištění popsány v: BURKHARDTOVÁ. 2019. s. 41–53.

poškození kamene nebo jeho povrchových úprav (abraze, chemické metody), nehomogenita očištění (abraze, chemické metody), obtížná kontrolovatelnost výsledku (chemické metody) či zanechání reziduí (některé chemické metod). Hlavní nevýhodou chemického čištění je, že využívá celkem agresivní látky a materiály, které mohou být nebezpečné jak pro památku, tak pro zdraví restaurátora. Jsou většinou značně alkalické (např. uhličitan a hydrogenuhličitan amonný<sup>41</sup>) a do jisté míry mohou být i kyselého charakteru (např. chelatační látky).<sup>42</sup>

Využití laseru se považuje za nejšetrnější metodu odstraňování sádrovcových krust. Je selektivní<sup>43</sup>, bezkontaktní a dobře kontrolovatelné. Je však hůře dostupné a mnohdy časově náročné. V některých případech při něm dochází k lehkému zežloutnutí povrchu.<sup>44</sup> Tento negativní jev lze někdy eliminovat výběrem vhodného laseru, nastavením optimální vlnové délky a jiných parametrů přístroje nebo také pokročilou zkušeností operátora.<sup>45</sup> Ke změně barevnosti může docházet i v případě čištění polychromovaných plastik, v důsledku alterace pigmentů nebo pojiv.

### 13.4 Použití mikroorganismů v restaurování

Při restaurování památek se setkáváme spíše s negativním vlivem mikroorganismů. Mezi známé negativní fenomény lze zařadit především biokorozní procesy, zahrnující tvorbu biofilmů na povrchu převážně exteriérových děl, které způsobují za přítomnosti vlhkosti degradaci materiálů. Existuje však také „pozitivní“, tedy prospěšné uplatnění mikroorganismů v rámci procesu restaurování a konzervace památek. V tomto ohledu se čím dál více využívají živé mikroorganismy nežli produkty jejich látkové přeměny, jako jsou například enzymy.<sup>46</sup>

Škála použití živých mikroorganismů v restaurování je široká. Lze je použít k čištění, zahrnujícího například odstraňování adheziv z papírových artefaktů a textilií, odstraňování graffiti, černých krust či solí ze stavebních a sochařských materiálů. Mikroorganismy se využívají také k biokonsolidaci kamenných uměleckých děl a nástěnných maleb či k inhibici koroze kovových předmětů. Dále mohou

---

<sup>41</sup> Bezpečnostní listy: Hydrogenuhličitan amonný.

<sup>42</sup> KOTLÍK. 1999b. s. 87–88.

RANALLI; ZANARDINI. 2021a.

<sup>43</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.

<sup>44</sup> SALIMBENI; PINI; SIANO. 2003. s. 72.

<sup>45</sup> MROVĚC. 2017. s. 130–131, 139, 150, 156–159, 209–210.

<sup>46</sup> PYZIK; CIUCHCINSKI; DZIURZYNSKI a kol. 2021. s. 5, 7, 8.



mikroorganismy možná paradoxně nacházet uplatnění při kontrole mikrobiologického napadení.<sup>47</sup>

Použití bakterií lze tedy považovat za novou biologickou alternativu k některým tradičním restaurátorským metodám. Jedná se o odvětví, jemuž se v uplynulých dvou desetiletích věnovalo velké množství zahraničních studií, a tudíž prošlo značným vývojem. Na našem území se jedná o zcela neprobádané téma, ke kterému nebyla dohledána žádná literatura v českém jazyce. Velkou výhodou mikrobiologie používané v restaurování je, že se jedná o přístup, který je šetrný nejen k samotnému dílu, ale také k životnímu prostředí a operátorovi. Použití bakterií v restaurování je ekologicky příznivé, na rozdíl od některých tradičních metod čištění, při něm nedochází k použití škodlivých chemikálií. Zároveň pocházejí bakterie z přírodního nevyčerpatelného zdroje, jejich příprava nemusí projít žádným náročným výrobním procesem jako je tomu u běžně používaných metod čištění (výroba přípravků, přístrojů a materiálů). Ohled na životní prostředí je brán i v případě zbytkového odpadu (plastové nádoby, papírové pytle od abraziva), který je u biologického čištění minimální.<sup>48</sup>

Jak bylo uvedeno, kromě bakterií jakožto živých organismů můžeme mezi biologické metody zařadit i použití enzymů, které se v restaurování využívá především k odstranění nežádoucích materiálů. Využití enzymů je však při restaurování kulturního dědictví v současné době omezeno kvůli jeho nízké účinnosti a nízké provozní a environmentální stabilitě. Navíc má použití bakterií v restaurování širší uplatnění, jak bylo naznačeno výše.

### **13.5 Odstraňování sádrovcových krust desulfurikačními bakteriemi**

Bakterie lze získat buď z jejich přirozeného prostředí odběrem nebo v mezinárodních sbírkách mikrobiálních kultur. Druhý uvedený zdroj mikroorganismů je časově výhodnější, jelikož se nemusí bakterie pracně izolovat. Dalším pozitivem je, že lze získat přesně požadovaný druh a použití bakterií je potom bezpečné, například proto, že se lze vyvarovat přítomnosti patogenních druhů. Vždy je však zapotřebí funkčnost bakterií vyzkoušet před celkovou aplikací na umělecká díla, která mají odlišnou materiálovou podstatu a jiné vlastnosti, nežli bylo původní prostředí bakterií.<sup>49</sup>

---

<sup>47</sup> Tamtéž. s. 8–9.

<sup>48</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 583–586.

<sup>49</sup> Tamtéž. s. 585.

K čištění se doposud používaly zejména desulfurikační bakterie, denitrifikační bakterie a bakterie degradující organické látky.<sup>50</sup> Jak bude detailněji diskutováno v dalších kapitolách, k odstraňování síranových krust se prakticky používá aerotolerantní druh desulfurikačních bakterií *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris*.<sup>51</sup> V publikacích řešících problematiku bakteriálního čištění sádrovcových krust se převážně využívá druh *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* ATCC® 29579™<sup>52</sup> (Postgate and Campbell). Bakterie *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* (Postgate and Campbell) jsou skladovány v dalších bakteriálních bankách například s kódy DSM 644<sup>53</sup>, CCUG 34227T<sup>54</sup> nebo VKM B-1760<sup>55</sup>. K dispozici jsou v bakteriálních bankách také bakterie *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* z jiných zdrojů (lokalit).

Biologická metoda odstraňování krust pomocí desulfurikačních bakterií by měla představovat velmi šetrnou variantu čištění. Za největší výhody této metody lze považovat její selektivitu, která teoreticky může přinášet zachování sulfatizovaného povrchu kamene, případně polychromie pod krustami, dále homogenitu čištění nebo možnost opětovného zpevnění očištěného povrchu karbonátových hornin. Přestože nabízí bakteriální čištění sádrovcových krust mnoho pozitiv, je jeho použití spojeno se zásadními úskalími, která jsou v důsledku důvodem jejich zanedbatelného využití v restaurátorské praxi. Patří mezi ně zejména vysoce specializovaná kultivace bakterií a jejich celkem komplikovaná a zdlouhavá aplikace,<sup>56</sup> zejména potom v případě silných a kompaktních krust. Bakteriální čištění sádrovcových krust nenachází široké uplatnění i přesto, že byla v publikovaných studiích testována kombinace s jinými metodami čištění tak, aby byla zkrácena doba čištění a zároveň byly zachovány všechny výhody biologického čištění. Příkladem může být studie<sup>57</sup> od Federica Troiana a jeho kolektivu z roku 2013, kde byla použita kombinace detergentu Tween 20 a SRB bakterie na památky vyrobené z mramoru.

---

<sup>50</sup> Tamtéž.

<sup>51</sup> PYZIK; CIUCHCINSKI; DZIURZYNSKI a kol. 2021. s. 8.

<sup>52</sup> Microbe Products: *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* Postgate and Campbell: 35115.

<sup>53</sup> Collection: *Desulfovibrio vulgaris*: DSM 644.

<sup>54</sup> Collections: CCUG 34227T - *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris*.

<sup>55</sup> VKM Catalogue: *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* Postgate and Campbell 1966.

<sup>56</sup> TROIANO; GULOTTA; BALLOI a kol. 2013. s. 295.

CAPPITELLI; TONIOLO; SANSONETTI a kol. 2007.

GIOVENTÙ; LORENZI; VILLA a kol. 2011.

<sup>57</sup> TROIANO; GULOTTA; BALLOI a kol. 2013.

### 13.5.1 Vývoj použití bakterií při odstraňování síranů a sádrovcových krust

Jak již bylo uvedeno, biologické čištění pomocí bakterií nepatří mezi rozšířené a příliš známé metody v restaurátorské praxi. Navzdory této skutečnosti vzniklo v posledních letech několik souborných článků a monografií věnujících se biotechnologiím, které zahrnují i problematiku čištění pomocí bakterií a jejich použití k odstraňování síranů a sádrovcových krust z kamenných objektů.<sup>58</sup> Asi nejkompexnější a zároveň velmi aktuální zdroje na dané téma, které byly publikovány v roce 2021, pocházejí od autorů Ranalliho a Zanardini, případně jejich kolektivů.<sup>59</sup> Následující odstavce vycházejí zejména z těchto publikací. Práce zároveň rozvíjí rozšířenou část bakalářské práce<sup>60</sup> autorky textu Stelly Burkhardtové, která se zde zabývala odstraňováním sádrovcových krust z vápence. Možnost bakteriálního čištění však byla v práci uvedena stručněji pouze v teoretické rovině.

Podle autorů Ranalliho a Zanardini se v restaurátorské praxi s bakteriemi poprvé setkáváme v roce 1970, kdy Mocrieff a Hampel použili biologický obklad k odstraňování síranových krust a dusičnanů z povrchu kamene.<sup>61</sup> K odstraňování síranů a sádrovcových krust byly z počátku spíše využívány anaerobní desulfurikační bakterie *Desulfovibrio desulfuricans*. V prvních studiích bylo čištění realizováno převážně metodou ponoření díla do vodného média s bakteriemi.<sup>62</sup> Bakteriální čištění pomocí ponoru má však výrazné nevýhody. Největším omezením je, že tuto metodu lze použít pouze u předmětů menší velikosti, které je možné zcela ponořit do vodného

---

<sup>58</sup> BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014.  
SOFFRITTI; D'ACCOLTI; LANZONI a kol. 2019.  
MARTINO; BALLOI; PALLA. 2022.  
CHANDRA, ENESPA; KUMAR a kol. 2020.  
ORTEGA-MORALES; GAYLARDE. 2021.  
PYZIK; CIUCHCINSKI; DZIURZYNSKI a kol. 2021.  
LOMBARDI. 2013/2014.

<sup>59</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a.

RANALLI; ZANARDINI. 2021b.

<sup>60</sup> BURKHARDTOVÁ. 2019.

Na tomto místě je nejprve vhodné zopakovat, že se k odstranění síranů, včetně sádrovcových krust, používají desulfurikační bakterie. Zároveň bývá obecným výsledkem aplikace těchto bakterií určitý, zpravidla žádoucí, zpevňovací efekt díky současnému vzniku uhličitanu vápenatého. Tento efekt nebude v následujícím textu více diskutován.

<sup>61</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.

<sup>62</sup> GAURI. 1992.

ATLAS; CHOWDHURY; GAURI. 1988.

RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.



systému. Zároveň se jedná o rizikovou metodu ohrožující dílo z důvodu nadměrného zavlhčení. I proto byla ve většině případů nutná prekonsolidace materiálu.<sup>63</sup>

Postupem času byly dále zkoušeny vhodnější a šetrnější metody aplikace bakteriálních systémů. Byly jimi především aplikace v zábalech a gelech. Dále se začaly využívat bakterie schopné působit při nízkém obsahu kyslíku namísto druhů vyžadujících zcela anaerobní prostředí. Tato skutečnost značně zjednodušila jejich použití při čištění reálných děl. Do této skupiny patří právě bakterie *Desulfovibrio vulgaris*, které se k těmto účelům používají dodnes.<sup>64</sup>

Jak již bylo uvedeno, způsob aplikace bakterií prošel značným vývojem, kdy metoda ponoru byla nejprve nahrazena zábalou bakteriálních systémů v sepiolitu. Sepiolit byl vybrán kvůli schopnosti udržet bakterie v anaerobním a vodném prostředí, zároveň se jedná o materiál běžně používaný v restaurování. Zábaly ze sepiolitu a obou druhů bakterií, tedy *Desulfovibrio vulgaris* a *Desulfovibrio desulfuricans*, byly například použity k odstranění síranů a sádrovcových krust z reálných mramorových objektů nebo jejich částí.<sup>65</sup> Lze konstatovat, že v tomto případě bylo aplikací bakteriálních systémů docíleno uspokojivé míry očištění povrchu mramoru, avšak po zásahu došlo reakcí vzniklého sirovodíku a sloučenin železa obsažených v sepiolitu ke vzniku nežádoucích tmavých skvrn sulfidu železnatého.<sup>66</sup> Na základě těchto zkušeností byl posléze sepiolit před aplikací upraven tak, aby neobsahoval žádné sloučeniny železa.<sup>67</sup>

Přesto bylo od jeho použití k biologickému čištění odstoupeno, jelikož se ukázalo, že pro tyto účely nemusí být příliš vhodný i z dalších důvodů. Mezi ně patří zejména

---

<sup>63</sup> BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014. s. 1230.

<sup>64</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 588.

BURKHARDTOVÁ. 2019.

RANALLI; ZANARDINI. 2021b. s. 270–271.

Nutno podotknout, že spíše ojediněle mladší studie zmiňují použití druhu *Desulfovibrio desulfuricans* např.:

ELHAGRASSY; HAKEEM. 2018.

<sup>65</sup> RANALLI; CHIAVARINI; GUIDETTI a kol. 1997.

Konkrétně byly využity následující typy bakterií: *Desulfovibrio desulfuricans* 1 ATCC 13541, *Desulfovibrio desulfuricans* 2 ATCC 29577, *Desulfovibrio vulgaris* subs. *vulgaris* ATCC 29579. Zároveň byly testovány mikroorganismy kultivované z omítky reálné budovy, které obsahovaly také desulfurikační bakterie.

<sup>66</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.

BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014.

<sup>67</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587.

rychlý úbytek vody v průběhu aplikace, čímž dochází ke snížení aktivity bakterií.<sup>68</sup> Také se jedná o časově náročnější metodu, jelikož před aplikací bylo zapotřebí kolonizovat sepiolit bakteriemi přibližně dva týdny.<sup>69</sup> Zde je zapotřebí uvést, že Cappitelli ve svém článku<sup>70</sup> z roku 2006 uvádí, že sepiolit může být kolonizován bakteriálním systémem i kratší dobu, nejméně však dva dny.

Kvůli negativním vlastnostem sepiolitu byla pozornost dále věnována organickým nosičům jako jsou Hydrobiogel-97, Carbogel a drcená celulóza Arbocel. V rámci dalších studií byly zkoušeny různé metody aplikace, které byly mezi sebou porovnávány, stejně tak jako byla srovnávána účinnost bakteriálního čištění s jinými metodami čištění. V některých studiích se můžeme setkat také s kombinacemi různých bakterií, například denitrifikačních a desulfurikačních.<sup>71</sup>

Hydrobiogel-97 kolonizovaný bakteriálním druhem *Desulfovibrio vulgaris* například použil Ranalli na kamenné fasádě Taverny Nuova v Popoli.<sup>72</sup> Čištění probíhalo po dobu sedmi dnů, během kterých byl biologický systém překryt fólií pro udržení vlhkosti a anaerobních podmínek potřebných pro funkci bakterií. Proces čištění byl v tomto případě málo účinný. Avšak při následujících zkouškách, provedených v další studii, se podařilo jeho účinnost zvýšit opakovanou aplikací bakteriálního systému.<sup>73</sup> Hydrobiogel-97 se však vyznačoval i dalšími nevýhodami jako jsou vysoká adheze k podkladu, což znesnadňuje jeho úplné odstranění, a zároveň nadměrná tekutost, díky které bylo obtížné jej aplikovat na svislé povrchy.<sup>74</sup> Jiné studie byly zaměřeny na použití bakterií v gelovém systému produktu Carbogel.<sup>75</sup> Tento systém byl použit na odstranění krust například z katedrály v Miláně<sup>76</sup>, Mateře<sup>77</sup> a Florencii<sup>78</sup> nebo

---

<sup>68</sup>RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 587–588.

BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014.

<sup>69</sup>BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014.

<sup>70</sup>CAPPITELLI; ZANARDINI; RANALLI a kol. 2006.

Stále se však jedná o mnohem delší dobu, nežli například zabere příprava gelů a zábalů, které jsou zmíněny v následujícím textu.

<sup>71</sup>RANALLI; ZANARDINI. 2021b. s. 270–271.

<sup>72</sup>RANALLI; MATTEINI; TOSINI a kol. 2000.

<sup>73</sup>CAPPITELLI; TONIOLO; SANSONETTI a kol. 2007.

<sup>74</sup>BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014. s. 1232.

<sup>75</sup>MARTINO; SCHIAVONE; PALLA a kol. 2015.

<sup>76</sup>CAPPITELLI; ZANARDINI; RANALLI a kol. 2006.

CAPPITELLI; TONIOLO; SANSONETTI a kol. 2007.

<sup>77</sup>MAY; WEBSTER; INKPEN a kol. 2008.

ALFANO; LUSTRATO; BELLI a kol. 2011.

<sup>78</sup>GIOVENTÙ; LORENZI; VILLA a kol. 2011.

ze sochařských děl z hradu v Trentu<sup>79</sup> či z podstavce nedokončeného sousoší Pietà Rondanini od Michelangela Buonarrotiho ze zámku Sforzesco v Miláně<sup>80</sup>. V těchto případech se ukázalo, že je Carbogel vhodnějším nosičem pro bakterie než Hydrobiogel-97 nebo sepiolit. Zároveň bylo bakteriální čištění vyhodnoceno jako dostatečně účinné a optimálnější než některé mechanické i chemické metody čištění nebo použití laseru, a to zejména z hlediska homogenity odstranění krust i citlivosti k podkladu. Na druhou stranu je potřeba zmínit, že se v mnohých případech jednalo o velmi časově náročnou metodu.<sup>81</sup>

Dalším úspěšným použitím bakterií *Desulfovibrio vulgaris* ATCC 29579 v Carbogelu je například studie od Ethagrassy z roku 2018,<sup>82</sup> která bakterie použila k čištění sádrovcové krusty na dolomitickém vápenci paláce Mohameda Aliho<sup>83</sup> v Káhíře. Zde bylo bakteriální čištění provedeno nejprve zkušebně ve dvou cyklech po 12 hodinách. Poté bylo přistoupeno k jednomu cyklu probíhajícímu 24 hodin. Gel byl aplikován na povrch kamene přes japonský papír a během procesu čištění byl překryt polyuretanovou fólií. Po odstranění gelu byl povrch dočištěn vlhkým bavlněným tamponem.

Různé metody čištění i aplikací byly zkoumány při odstraňování sádrovcových krust z milánské a florentské katedrál. V případě milánské katedrály byly desulfurikační bakterie použity na odstranění krusty z mramorového reliéfu a fragmentu mramoru s názvem Candoglia.<sup>84</sup> Na mramorový reliéf byly bakterie aplikovány ve dvou cyklech po 24 hodinách. Výsledky bakteriálního čištění byly porovnávány s chemickou metodou čištění, kterou bylo použití směsi uhličitanu amonného, kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA) a povrchově aktivní látky Contrad 2000.<sup>85</sup> Účinek obou metod byl srovnatelný, avšak použitím bakterií bylo docíleno homogennějšího očištění a zároveň byla zachována ušlechtilá patina pod krustou. Přeměnou sádrovce na

---

<sup>79</sup> POLO; CAPPITELLI; BRUSETTI a kol. 2010.

<sup>80</sup> CAPPITELLI; ZANARDINI; TONIOLO a kol. 2005.

<sup>81</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021b. s. 270–271.

<sup>82</sup> ELHAGRASSY; HAMAD. 2018.

<sup>83</sup> Palác se nachází ve čtvrti Al Manial, podle které je možné dohledat památku pod druhotným názvem Manial Palác.

<sup>84</sup> Byly testovány zejména bakterie *Desulfovibrio vulgaris subs. vulgaris* ATCC 29579, ale v některých zkouškách také *Desulfovibrio desulfuricans* ATCC 13541 a ATCC 29577.

CAPPITELLI; ZANARDINI; RANALLI a kol. 2006.

CAPPITELLI; TONIOLO; SANSONETTI a kol. 2007.

<sup>85</sup> Přesnější informace o metodě lze nalézt v citovaných publikacích.



kalcit došlo u obou metod čištění ke konsolidaci povrchu kamene, ale u chemického čištění byl navíc vytvořen nežádoucí síran sodný.<sup>86</sup> U fragmentu mramoru byly bakterie aplikovány na povrch kamene ve třech cyklech po patnácti hodinách, kdy došlo k odstranění krusty z 98 %. V případě fragmentu kamene Candoglia bylo čištění bakteriemi v Carbogelu porovnáváno s dalšími aplikačními systémy jako jsou sepiolit a produkt Hydrobiogel-97. Nejlepšího výsledku bylo docíleno při použití Carbogelu, který se vyznačoval snadnou aplikací, na konci experimentu u něho byla zaznamenána největší bakteriální aktivita a po zásahu jej bylo možné lehce odstranit.<sup>87</sup>

Na vnějších stěnách florentské katedrály byly bakterie *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* ATCC 29579 v Carbogelu aplikovány na povrch zeleného serpentinu, červeného slínu/opuky a carrarského bílého mramoru, kde bylo bakteriální čištění porovnáno s chemickým čištěním pomocí 10% uhličitanu amonného<sup>88</sup> a s použitím Nd:YAG laseru s vlnovou délkou 1064 nm.<sup>89</sup> Z provedené studie vyplynulo, že biologickým čištěním bylo dosaženo optimálnějšího odstranění sádrovcových krust než při použití ostatních metod. Avšak bakteriální čištění bylo časově mnohem náročnější. Stejní autoři se v další studii spojili s Opificio delle Pietre Dure, se kterými vyzkoušeli obdobný experiment jak na vzorcích v laboratoři, tak na pozměněném povrchu kamene z katedrály ve Florencii nebo ze sochy Allegoria della Morte od Gregoria Lazzariniho.<sup>90</sup> I v tomto případě z provedených testů vyplynulo, že biologické čištění poskytlo lepší výsledky oproti chemickému čištění.

Kombinaci různých bakteriálních kmenů a jejich vzájemné porovnání je možné zaznamenat ve studii provedené na katedrále v italské Materě.<sup>91</sup> Katedrála byla postavena ve třináctém století z pískovcového tufu. Bakterie byly odzkoušeny na vnější stěně katedrály, kde vlivem prosakování podzemní vody docházelo k výkvětu solí a následné degradaci kamenného zdiva. Podzemní vody obsahovaly převážně dusičnany, ale i další vodorozpustné soli jako například sírany. Z těchto důvodů byly

---

<sup>86</sup> CAPPITELLI; ZANARDINI; RANALLI a kol. 2006.

<sup>87</sup> CAPPITELLI; TONIOLO; SANSONETTI a kol. 2007.

<sup>88</sup> Chemická metoda zahrnovala kromě 10% uhličitanu amonného také anionaktivní detergent Tween 20. Aplikace byla provedena v Carbogelu.

<sup>89</sup> GIOVENTÙ; LORENZI; VILLA a kol. 2011.

<sup>90</sup> ALFANO; LUSTRATO; BELLI a kol. 2011.

<sup>91</sup> Katedrálu můžeme najít také pod italským názvem: Duomo di Matera nebo Cattedrale di Santa Maria della Bruna e di Sant'Eustachio. Informace z: Matera Cathedral. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 27 August 2021 [cit. 24. 2. 2022]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Matera\\_Cathedral](https://en.wikipedia.org/wiki/Matera_Cathedral).

vyzkoušeny denitrifikační bakterie *Pseudomonas pseudoalcaligenes* KF707 i desulfurikační bakterie *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* ATCC 29579, které byly aplikovány v Carbogelu na povrch kamene separátně i společně. Již po uplynutí 24 hodin bylo dosaženo odstranění až 55 % dusičnanů a až 85 % síranů. Separátní aplikace jednotlivých druhů bakterií se ukázaly jako účinnější v porovnání s kombinovanou aplikací. Na druhou stranu bylo zapotřebí u separátních čištění provést dva cykly aplikace. Po šesti letech od provedení biologického čištění byla na katedrále Matera provedena monitorovací studie, která potvrdila, že přítomné dusičnany jsou stabilizovány a u ošetřeného povrchu nedošlo ke změně barevnosti a nenachází se na něm biologické napadení.

Kromě Carbogelu se osvědčilo také použití zábalu z drcené celulózy (Arbocelu), což dokládá mnoho úspěšných realizací. Zároveň byly vyzkoušeny kombinace biologického čištění s aplikací povrchově aktivních látek, případně jinými metodami čištění. Těmito kombinacemi lze do jisté míry předejít časové náročnosti při použití bakterií nebo nedostatečné redukci silných a kompaktních krust.<sup>92</sup>

Za všechny lze jmenovat studii<sup>93</sup> zaměřenou na použití Arbocelu v kombinaci s aplikací neionogenního detergentu Tween 20. V tomto případě byla odstraňována sádrovcová křusta z mramorového sloupu a sochy *in situ*. Nakultivované bakterie *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* ATCC 29579 byly aplikované v Arbocelu na povrch kamene, který byl předem navlhčen fosfátovým pufrům. Před aplikací čistícího systému byla na povrch kamene dána separační vrstva hedvábného papíru. Následně se bakteriální systém v Arbocelu překryl fólií tak, aby došlo ke snížení odpařování a nechal se na díle působit 22 hodin. Aplikace se opakovala do té doby, než došlo k úplnému očištění kamene. Po dokončení procesu čištění byl biologický systém odstraněn sejmutím hedvábného papíru a omytím povrchu destilovanou vodou. Pro snížení počtu aplikací bakteriálního čistícího systému byl povrch na jiném místě chemicky předčištěn 1,5% vodným roztokem detergentu Tween 20 v Arbocelu. Zábal byl překryt fólií a nechal se působit 2 hodiny. Po sejmutí zábalu byl povrch omyt destilovanou vodou a kartáčkem, následně byl aplikován čistící systém. Díky kombinaci předčištění vodou s detergentem a biologického čištění došlo k dosažení stejného výsledku, avšak

---

<sup>92</sup> BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014.

<sup>93</sup> TROIANO; GULOTTA; BALLOI a kol. 2013.

v případě kombinace došlo u mramorového sloupu k snížení množství aplikací a zkrácení doby čištění na 68 hodin (38% zkrácení doby čištění) ze 110 h, které byly zapotřebí u samotného biologického čištění. Kombinovaný způsob čištění přinesl obdobné výsledky také na mramorové soše, kde došlo ke zkrácení doby čištění ze sedmi aplikací (po 22 hodinách) na dvě (70% zkrácení doby čištění). K časové úspoře pravděpodobně došlo tím, že krusta byla nejdříve změkčena detergentem Tween 20 a až poté bylo přistoupeno k použití bakterií. Dále se zde uvádí, že bakteriální čištění bylo vysoce účinné, kamenný podklad zůstal obnažený a nijak nedošlo ke zvýšení dezintegrace povrchu, respektive zrn kamene.

### 13.5.2 Shrnutí aplikačních metod

Studie zabývající se odstraňováním krust bakteriemi se převážně věnují správnému výběru bakteriálního druhu, optimalizacím aplikace, časové a finanční náročnosti a výsledku restaurátorského zásahu a jeho vyhodnocení. Co se týče aplikační metody, je důležité vzít v úvahu, že pro udržení živých a funkčních bakterií je podstatná přítomnost vody, která však představuje určitá rizika pro restaurované dílo. Z těchto důvodů se bakterie aplikují ve vodných systémech, které umožňují kontrolu nad množstvím použité vody a zároveň snižují difúzi a absorpci vody do porézního systému materiálu. Dalším kritériem pro čistící systém je jeho vhodná viskozita, která by měla zajistit dostatečnou přilnavost k podkladu, adekvátní přísun vody a možnost aplikace bakteriálního systému na svislé plochy. Aplikační systém by zároveň neměl zanechávat na povrchu rezidua a nijak měnit barevnost díla, či ho poškozovat.<sup>94</sup>

Na základě těchto kritérií se v odborné literatuře, zaměřené na čistící systémy a metody aplikace desulfurikačních bakterií, setkáváme s použitím ponoru, obkladů (zábalů) nebo gelů. Konkrétně byly použity k odstraňování sádrovcových krust a síranů z kamene zejména obklady ze sepiolitu a Arbocelu nebo gely připravené z Carbogelu či Hydrobiogelu-97.<sup>95</sup> Jedná se o materiály běžně využívané v restaurátorské praxi, které se vyznačují vhodným pH pro aplikaci bakterií. Z předchozí kapitoly vyplývá, že nejvhodnějšími aplikačními systémy jsou pro daný účel zřejmě gely z Carbogelu a obklady využívající Arbocel. Dalším teoreticky schůdným aplikačním systémem by

---

<sup>94</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 584–585.

<sup>95</sup> V jiných případech, například při odstraňování síranů z nástěnných maleb, mohou být vhodné i jiné aplikační metody, například rigidní gely jako agar nebo gellan. PANELLA; GIOVANNONE; BARTOLINI a kol. 2019.



mohly být gely z derivátů celulózy. V souvisejících studiích je však uvedeno, že tento typ gelů nemá při vyšších koncentracích dostatečné adhezní vlastnosti<sup>96</sup>, a proto zřejmě nebyl k danému účelu využíván.

### 13.5.3 Kultivace bakterií *Desulfovibrio vulgaris*

V relativně nedávné minulosti bylo možné zakoupit komerční přípravek na bázi bakteriálního druhu *Desulfovibrio vulgaris*. Produkt byl vyráběn firmou Micro4yoU s.r.l. a distribuován firmou Bresciani s.r.l. pod názvem Micro4Art sulfate. V současnosti již není tento produkt a zřejmě ani žádný jiný na obdobné bázi dostupný. Kapitola je proto zaměřena na možnosti, optimální postupy a způsoby kultivace bakteriálního systému s druhem *Desulfovibrio vulgaris*.

Nejzásadnějšími specifiky kultivace bakteriálního systému jsou odstranění černého produktu metabolismu bakterií z kultivační suspenze, případná nutnost kultivace i přípravy čistícího systému pro aplikaci v anaerobních podmínkách a v neposlední řadě to jsou vhodné podmínky samotné aplikace. Většina prací zaměřených na odstraňování sádrovcových krust desulfurikačními bakteriemi<sup>97</sup> vychází při kultivaci i aplikaci čistícího systému z publikace<sup>98</sup> od Cappitelli a jejího kolektivu, kde jsou uvedeny dva možné postupy jeho přípravy.

Stručně lze shrnout, že v uvedené práci je využit druh *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* ATCC 29579.<sup>99</sup> Bakterie jsou kultivovány v médiu DSMZ 63 a inkubovány při 30 °C po dobu 4 dnů v anaerobních podmínkách. Aby nedošlo k nežádoucí změně barevnosti ošetřovaného materiálu, je nutné z bakteriální suspenze eliminovat tmavý sulfid železitý, který vzniká reakcí vznikajícího sirovodíku se sloučeninami železa z kultivačního média. Studie uvádí dvě možnosti, jak tento problém řešit. Černý produkt metabolismu bakterií (sulfid železitý) z kultivačního systému lze eliminovat buď jeho filtrací nebo modifikací kultivačního roztoku vysazením síranu železnatého (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O). V rámci první uvedené varianty byla filtrace nakultivovaného

---

<sup>96</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a. s. 585.

<sup>97</sup> ALFANO; LUSTRATO; BELLI a kol. 2011.

Bakteriální systém byl v případě transportu pro aplikaci v terénu udržován při teplotě 4 °C. GIOVENTÙ; LORENZI. 2013.

GIOVENTÙ; LORENZI; IMPROTA a kol. 2012.

GIOVENTÙ; LORENZI; VILLA a kol. 2011. s. 833.

TROIANO; GULOTTA; BALLOI a kol. 2013.

<sup>98</sup> CAPPITELLI; ZANARDINI; RANALLI a kol. 2006.

<sup>99</sup> Tamtéž.

bakteriálního systému provedena na celulózovém filtru Rapida A Perfecte (Cartiera di Cordenons, Vicenza, Itálie) s rozsahem velikosti pórů do 8  $\mu\text{m}$ , který umožnil projít bakteriím, ale zachytil vysrážený sulfid železitý.

V obou případech byla realizována závěrečná centrifugace buněk a promývací krok k odstranění vedlejších produktů, které by mohly způsobit korozi a nežádoucí skvrny na povrchu kamene v důsledku bakteriálních metabolitů. Bakteriální směs byla dále resuspendována v odvzdušněném fosfátovém pufru při pH 7,0, který obsahoval 0,408 g/l  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  a 0,522 g/l  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , do kterého byl přidán mléčnan sodný tak aby byla dosažena jeho koncentrace 0,599 g/l. Tímto způsobem byla dosažena hustota populace  $10^8$  mikroorganismů (buněk) v jednom mililitru suspenze.

### 13.6 Receptury na vytvoření umělé krusty

Bakteriální systémy byly podle dostupné literatury zkoušeny na reálných objektech nebo vzorcích odebraných z nich, které obsahují přirozené sádrovcové krusty či sírany. Aby bylo možné výsledky čištění porovnat a objektivně vyhodnotit, bylo by vhodné bakteriální čištění odzkoušet nejen na přirozených sádrovcových krustách, ale i na modelových (standardizovaných) vzorcích s umělou krustou. Následující text je proto zaměřen na možnosti vytvoření umělé sádrovcové krusty. Čerpáno bylo z literatury zabývající se jinými metodami čištění a jejich testováním na umělých vzorcích.

Z hlediska struktury sádrovce lze předpokládat, že přírodní sádrovcové krustě je nejpodobnější pravděpodobně umělá krusta založená na přeměně povrchu karbonátové horniny působením vhodných sloučenin síry, kterými jsou zpravidla oxidy<sup>100</sup> nebo zředěná kyselina sírová<sup>101</sup>. Zjednodušeně lze shrnout, že tímto způsobem dochází k přeměně karbonátového materiálu na sádrovec (viz kapitola 13.6.4 Expozice karbonátového kamene sloučeninám síry). Principiálně stejně je tomu v reálných podmínkách. Další metody přípravy umělých sádrovcových krust jsou potom založeny na využití sádry, která má krustu simulovat. Nejčastěji je tento způsob přípravy umělé sádrovcové krusty zmiňován v publikacích, které se zabývají čištěním pomocí laseru.

Pro vytvoření umělé krusty lze dohledat mnoho receptur, které budou níže blíže popsány a v závěru bude přistoupeno k vybrání či kombinaci jedné či více metod pro

---

<sup>100</sup> GAURI; CHOWDHURY; KULSHRESHTHA a kol. 1989.

LIU; DONG; ZHANG a kol. 2021. s. 4.

<sup>101</sup> MOLINA; RUEDA-QUERO; BENAVENTE a kol. 2017.

účely experimentu. V úvodu můžeme uvést, že dohledané možnosti přípravy sádrovcových krust lze rámcově rozdělit do následujících okruhů:

- 1) Pigment (umělá nečistota) aplikovaný na sádro, suchá aplikace
- 2) Pigment (umělá nečistota) ve směsi se sádrou aplikovaný na sádrový podklad, mokrá aplikace
- 3) Směs drcené přírodní krusty se sádrou aplikovaná na vlhkou sádro
- 4) Expozice karbonátového kamene sloučeninám síry

Zároveň je nutné podotknout, že některé postupy přípravy se mohou do jisté míry překrývat a některé receptury výroby umělé krusty uvedené v okruhu 2 a 3 by bylo možné realizovat i na jiných podkladech než na sádře, například na povrchu kamene.

### **13.6.1 Pigment (nečistota) na sádře, suchá aplikace**

Studie Oliveiry z roku 2015<sup>102</sup> a Berthonneau z roku 2019<sup>103</sup> s kolektivy se věnují žloutnutí povrchů při čištění laserem. V rámci experimentů proto byly vytvořeny sádrové destičky s tenkou vrstvou lampové černi (viz Obr. 102). Vzorky byly připraveny tak, že sádra (97% čistý hemihydrát, Acros organics) ve směsi s vodou v poměru 1 : 1 (hm.) byla nalita do pěnové formy o velikosti okének 7,2 × 2,6 cm<sup>2</sup> s laboratorním sklíčkem na dně.<sup>104</sup> V experimentu Berthonneau byl následně povrch vzorků upraven pomocí špachtle. Po 24 hodinách tuhnutí sádry bylo přistoupeno k nanesení tenké vrstvy suché lampové černi (*noir de fumée*© od společnosti Artech) pomocí štětce.<sup>105</sup>

---

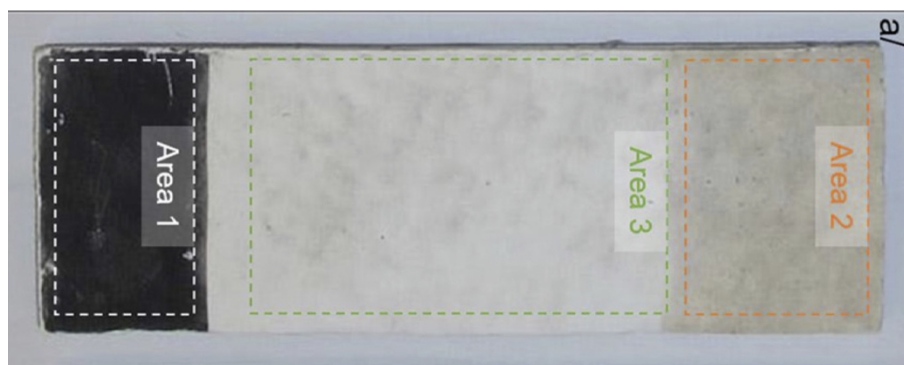
<sup>102</sup> OLIVEIRA; BROMBLET; COLOMBINI a kol. 2015.

<sup>103</sup> BERTHONNEAU; PARENT; GRAUBY a kol. 2019.

<sup>104</sup> Tento rozměr okének je uveden ve studii Oliveiry a jejího kolektivu z roku 2015. V práci od Berthonneau z roku 2019 je uveden rozměr 7,6 × 2,6 cm<sup>2</sup>.

<sup>105</sup> OLIVEIRA; BROMBLET; COLOMBINI a kol. 2015. s. 35.  
BERTHONNEAU; PARENT; GRAUBY a kol. 2019. s. 58.





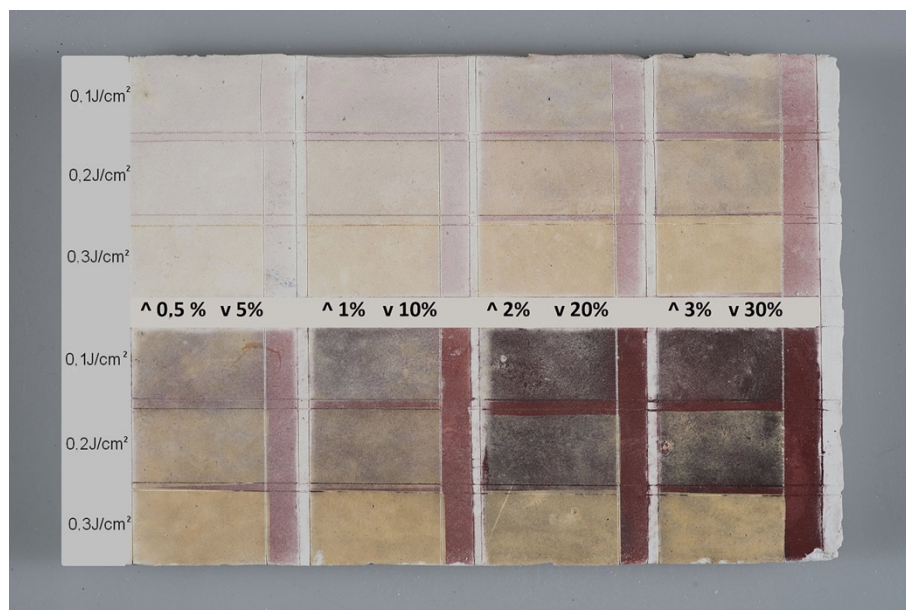
Obr. 102 Makroskopické změny barevnosti sádrové destičky s lampovou černí (Area 1) po čištění Q-Switched laserem (Area 2) a expozici UV-B záření (Area 3)<sup>106</sup>

V jiné studii Oliveiry a kolektivu z roku 2016<sup>107</sup> byla na sádrové destičky nanесena stejným postupem suchá směs sádry a hematitu (viz Obr. 103) či sádry a lampové černi (viz Obr. 104). Avšak před čištěním laserem byla suchá vrstva pigmentů se sádrou navlhčena vodou. Cílem těchto zkoušek bylo zjistit, jaký vliv má koncentrace pigmentů na vizuální výsledek laserového čištění při použití různých intenzit laseru. K výběru hematitu a lampové černi bylo přistoupeno, protože se jedná o pigmenty podobné složkám obsažených v krustách. Tyto složky jsou citlivé na laserovou ablací, a tudíž jsou nestabilní při čištění laserem. Sádrové desky o velikosti 7,5 × 11,5 cm<sup>2</sup> byly připraveny ze směsi modelovací sádry (Molda 3 normal) a demineralizované vody v poměru 3 : 2 (hm.). Poté bylo přistoupeno k aplikaci směsí simulujících nečistoty, tedy sádry s hematitem (99 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Carlo Erba) a sádry s lampovou černí (uhlíkatý pigment *noir de suie*©, Artech), které byly rozprostřeny na plochy o velikosti 4,5 × 5 cm<sup>2</sup> pomocí prstu. V rámci zkoušek byly testovány různé koncentrace pigmentů ve směsi nečistot (0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 (hm.) %).<sup>108</sup>

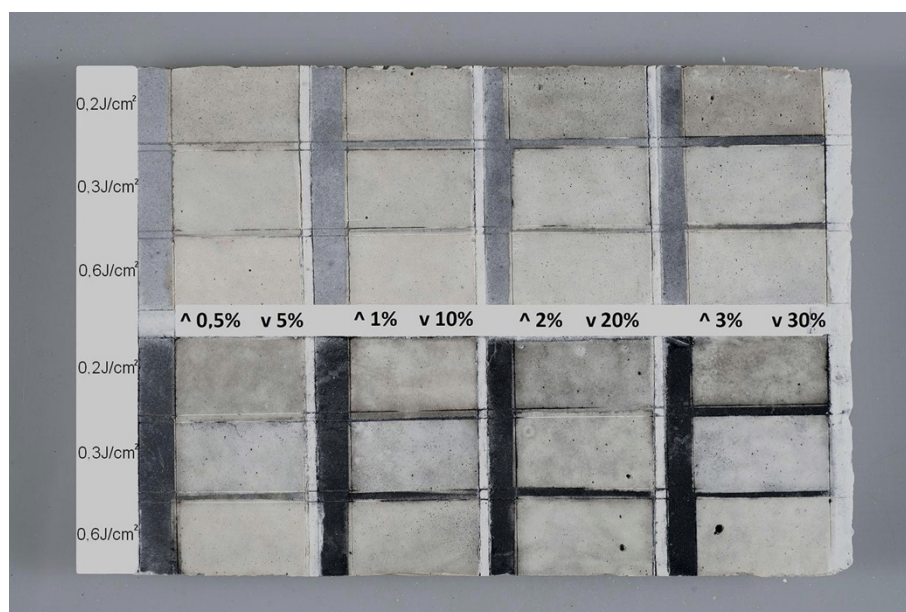
<sup>106</sup> BERTHONNEAU; PARENT; GRAUBY a kol. 2019. s. 58.

<sup>107</sup> OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.

<sup>108</sup> Tamtéž. s. 137–138.



Obr. 103 Sádřová deska s hematitem. Čísla vlevo (0,1, 0,2 a 0,3 J/cm<sup>2</sup>) představují různé intenzity Nd: YAG Q-Switched laseru NL00. Svislé řady odpovídají koncentracím hematitu ve směsi, které jsou napsány horizontálně uprostřed. Referenční barvy před ozářením jsou viditelné po pravé straně každého očištěného pole<sup>109</sup>

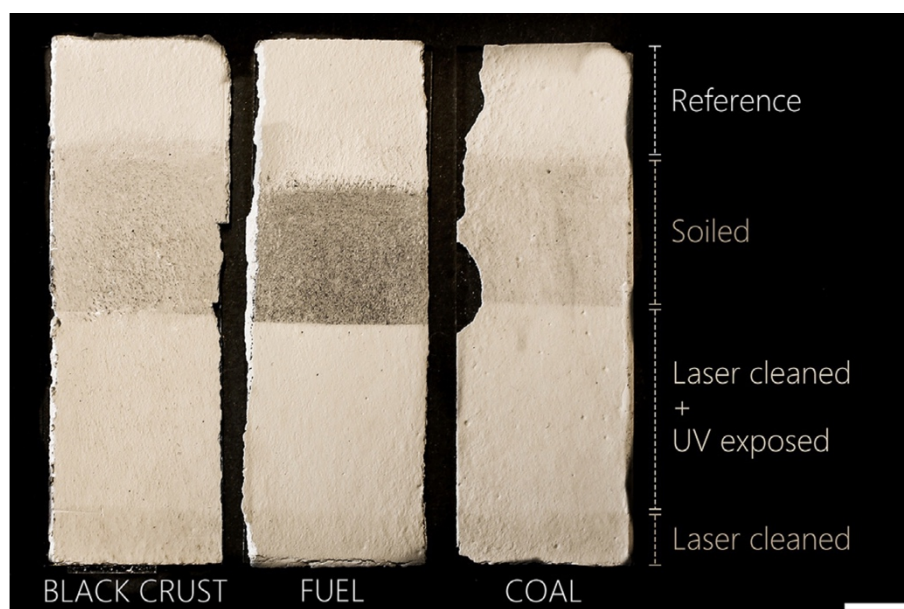


Obr. 104 Sádřová deska s lampovou černí. Čísla vlevo (0,2, 0,3 a 0,6 J/cm<sup>2</sup>) představují různé intenzity Nd: YAG Q-Switched laseru NL00. Svislé řady odpovídají koncentracím lampové černě ve směsi, které jsou napsány horizontálně uprostřed. Referenční barvy před ozářením jsou viditelné po pravé straně každého očištěného pole<sup>110</sup>

<sup>109</sup> Tamtéž. s. 137.

<sup>110</sup> Tamtéž. s. 138.

Další práce<sup>111</sup> využívají vzorky sádry s krustou vyrobené pomocí pigmentu naneseného v suchém stavu je založena na studii Oliveiry a jejího kolektivu z roku 2015<sup>112</sup>. V článku se uvádí, že podkladem pro krustu byla sádrová deska vyrobená z hemihydrátu síranu vápenatého (ALDRICH, 97% čistota), na kterou byly místo lampové černi aplikovány tři druhy nečistot, každá na jednu zkušební plochu (viz Obr. 105). Znečištění bylo provedeno pomocí uhelného popílku, palivového popílku a rozdrčené krusty (viz Tab. 6). Krusta byla získána z oblouku terasy západního průčelí baziliky Saint-Denis a následně byla rozdrčena v achátovém hmoždíři. Suché směsi byly ručně vetřeny pomocí rukavice do povrchu sádrové desky. Před čištěním laserem byly zkušební plochy s uměle znečištěným povrchem zvlhčeny vodou.<sup>113</sup>



Obr. 105 Pohled na tři znečištěné sádrové desky se čtyřmi odlišnými oblastmi – referenční bílá sádra (Reference), znečištěný povrch (Soiled) rozdrčenou krustou (BLACK CRUST), palivovým popílkem (FUEL) a uhelným popílkem (COAL), očištěný povrch laserem a vystavený UV záření (Laser cleaned + UV exposed) a povrch očištěný pouze laserem (Laser cleaned). Měřítko je 1 cm<sup>114</sup>

<sup>111</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; BROMBLET a kol. 2018.

<sup>112</sup> OLIVEIRA; BROMBLET; COLOMBINI a kol. 2015.

<sup>113</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; BROMBLET a kol. 2018. s. 37.

<sup>114</sup> Tamtéž. s. 39.



Elements (wt%)	Si	Al	Fe	Ca	S	Ti	K	P	Na
Coal fly-ash	23-26	11-13	6	1.8	0.1-1	0.6	1-3	0.1	0.4
Fuel fly-ash	3.7	1.4	3.5	1.26	6.42	0.05	0.06	0.43	1.46
Black crust	N.D.	0.81	0.73	22.1	16.8		0.25	0.05	0.16

Elements (wt%)	C	V	Ni	N	Cd	Zn	Pb	Co	Cu	Cl
Coal fly-ash	2-7									0.04
Fuel fly-ash	61.13	4.66	1.28	0.85	0.17	0.08	0.05	0.03	0.02	
Black crust	2.96			<0.01						

*Tab. 6 Chemické složení nečistot – uhelného popílku (Coal fly-ash), palivového popílku (Fuel fly-ash) a rozdrčené černé krusty (Black crust)<sup>115</sup>*

### 13.6.2 Směs pigmentu (nečistoty) a sádry na sádře, mokrá aplikace

Ve studii z roku 2015<sup>116</sup> je kromě suché metody pro vytvoření krusty uvedena i možnost výroby krusty pomocí pigmentů, sádry, methylcelulózy a vody (viz Obr. 106). V textu se lze dočíst, že podkladové desky z čistého hemihydrátu (97% hemihydrát, Acros organics) a vody byly odlity ve velikosti 7,2 × 2,6 cm<sup>2</sup> na mikroskopická sklíčka. Po 24 hodinách se na dvě experimentální plochy ze sádry natřely pomocí štětce směsí složené ze 2 g lampové černi, 10 g čistého hemihydrátu, 8 g methylcelulózy a 90 ml vody. Mokrá směs obsahovala 1,8 % (hm.) lampové černi, po zaschnutí vrstvy byl její podíl navýšen na 10 hm. %.<sup>117</sup>

<sup>115</sup> Tamtéž.

<sup>116</sup> OLIVEIRA; BROMBLET; COLOMBINI a kol. 2015.

<sup>117</sup> Tamtéž. s. 35.



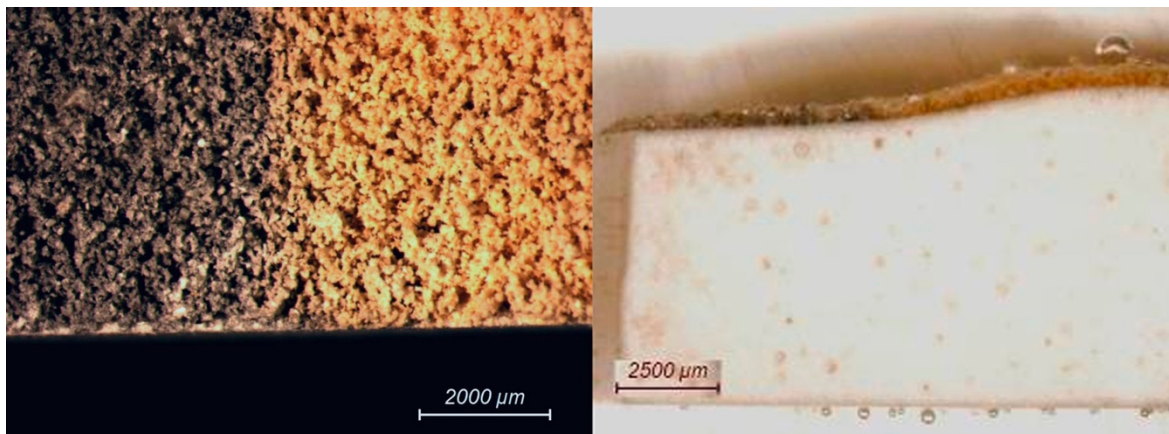
*Obr. 106 Celkový pohled na dvě experimentální sádrové desky s lampovou černí aplikované za sucha (vpravo a vlevo) a na referenční desku bez znečištění (uprostřed). U experimentálních desek ve spodní části znečištěný povrch, který nebyl čištěn a byl vystaven UV-B záření, uprostřed povrch vyčištěný Nd:YAG laserem a vystavený UV-B záření a ve vrchní části desek plochy čištěné Nd:YAG laserem, avšak nevystavené UV-B záření<sup>118</sup>*

Oliveira s kolektivem ve své studii z roku 201<sup>119</sup> uvádí další postup přípravy umělé krusty na sádre. V tomto případě byla krusta simulována směsí hematitu, lampové černi a sádry (modelovací sádra Molda 3) v poměru 1 : 0,5 : 98,5 hm. % (viz Obr. 107). Tímto poměrem bylo docíleno podobné barevnosti a obsahu železitých složek jako má přírodní krusta. Pro dosažení půl milimetrové krusty byla směs nasypána na čerstvou ještě vlhkou sádru pomocí “síta“ vyrobeného z plechovky přelepené gázou. Hydratací hemihydrátu došlo k vytvoření pevné adhezivní mezivrstvy. Lepších výsledků bylo docíleno pouhým smícháním jednotlivých složek suché směsi, avšak ne jejím drcením. Před zkouškou čištění pomocí laseru byl vzorek navlhčen vodou. Další vzorky sádry s umělou krustou byly v rámci této studie připraveny obdobným způsobem. Modelovací sádra Molda 3 byla nahrazena čistým hemihydrátem síranu vápenatého (Acros organics s vyšší než 97% čistotou). Ten byl tedy použit jak do směsi simulující nečistoty, tak jako podklad (vzorek) pro umělou krustu. První směs nečistot obsahovala lampovou

<sup>118</sup> Tamtéž. s. 36.

<sup>119</sup> OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.

čern (0,5 hm. %) a hemihydrát (99,5 hm. %), druhá směs potom hematit (1 hm. %) a hemihydrát (99 hm. %). Před použitím laseru byl povrch vzorků znovu zvlhčen.<sup>120</sup>



*Obr. 107 Pohled shora (obrázek vlevo) na umělou krustu ze směsi hematitu, lampové černi a sádry v poměru 1 : 0,5 : 98,5 hm. %, stav před (levá polovina) a po (pravá polovina) ozáření laserem; Pohled na příčný řez stejné krusty (obrázek vpravo)<sup>121</sup>*

Ze studie Oliveiry a jejího kolektivu z roku 2016<sup>122</sup> vychází další dvě práce<sup>123</sup>, ve kterých byla k vytvoření krusty použita směs hemihydrátu síranu vápenatého (ALDRICH, 97% čistota) a červeného hematitu (ALDRICH, 99% čistota) v hmotnostním poměru 70 : 30 (viz Obr. 108). Směs byla aplikována zasucha přesátím přes síto s velikostí ok asi 1 mm na nezaschlý povrch sádrového podkladu. Následně se připravený vzorek nechal 24 hodin vytvrdnout a před provedením zkoušky čištění laserem se povrch namočil vodou.

<sup>120</sup> Tamtéž. s. 138–139.

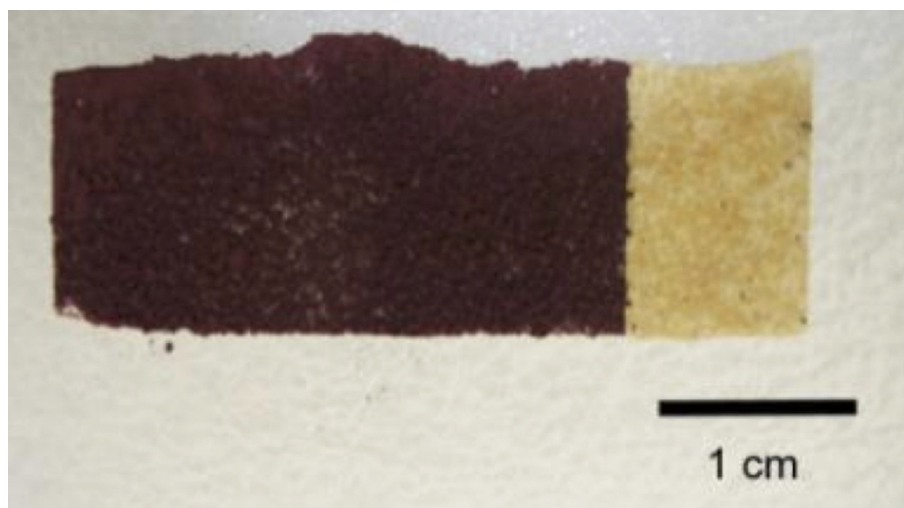
<sup>121</sup> Tamtéž. s. 142.

<sup>122</sup> OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.

<sup>123</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; ANDRAUD a kol. 2016. s. 786–787.

GODET; VERGÈS-BELMIN; GAUQUELIN a kol. 2018. s. 26.





*Obr. 108 Vzorek sádrového podkladu s vrstvou směsi sádry a červeného hematitu – stav před (červené pole) a po ozáření laserem (žluté pole)<sup>124</sup>*

Výrobou umělé krusty se zabývá i článek stejných autorů z roku 2019.<sup>125</sup> Jako podklad pod modelové vzorky krust byly vyrobeny tři desky z hemihydrátu síranu vápenatého (ALDRICH, 97% čistota) a destilované vody v hmotnostním poměru 1 : 1. Po vyschnutí desek byly odzkoušeny dva typy směsí s různým poměrem hematitu (viz Obr. 109). Na první z nich byla aplikována suchá směs sádry (ALDRICH, 97% čistota) a hematitu v hmotnostním poměru 99 : 1 a na druhou desku byla vyzkoušena směs sádry a hematitu v hmotnostním poměru 70 : 30. Poměr sádry a hematitu byl zvolen na základě poznatků z literatury.<sup>126</sup> Zde bylo zjištěno, že 1 % (hm.) hematitu ve směsi odpovídá množství železa v přírodní krustě. K navýšení poměru hematitu ku sádře došlo pro kvantitativní navýšení sloučenin železa a pro její vizuální zvýraznění. Směs byla na podklad nanášena pomocí prstů ruky v rukavici tak, aby vznikla tenká vrstva o tloušťce menší než 20  $\mu\text{m}$ . Následně byly sádrové desky se směsí navlhčeny vodou, čímž došlo k vytvoření hladkých částečně tvrdých krust. Namočený znečištěný povrch se nechal 24 hodin vyschnout a před čištěním laserem došlo k jeho opětovnému namočení. Třetí deska byla ponechána bez nečistot a sloužila jako referenční vzorek.<sup>127</sup>

<sup>124</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; ANDRAUD a kol. 2016. s. 788.

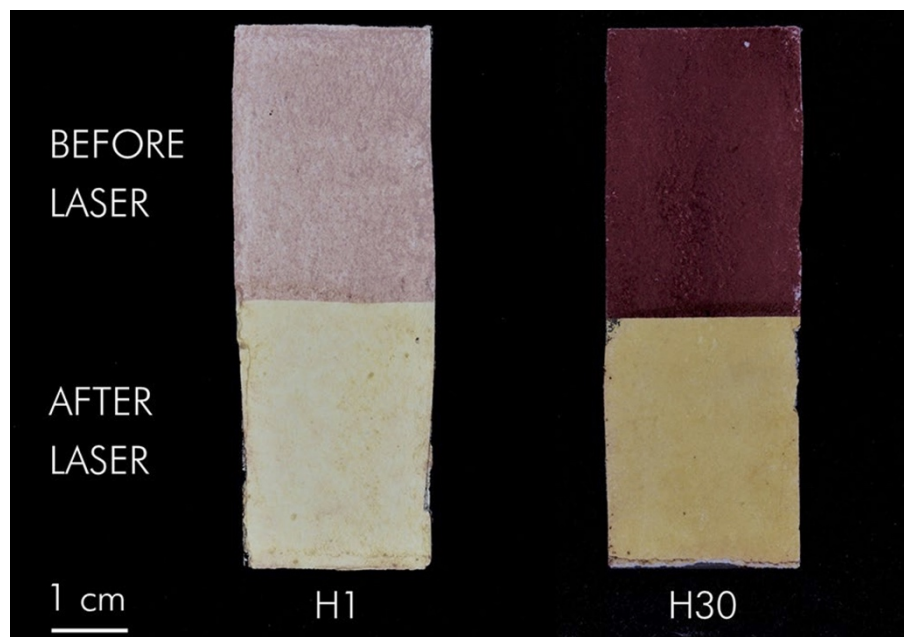
<sup>125</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; SAHEB a kol. 2019.

<sup>126</sup> FASSINA. 1988.

TÖRÖK; LICHA; SIMON a kol. 2011.

RUFFOLO; COMITE; LA RUSSA a kol. 2015.

<sup>127</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; SAHEB a kol. 2019.



Obr. 109 Modelové krusty ze směsi sádry a červeného hematitu (vzorek H1 1 % hematitu ve směsi, vzorek H30 30 % hematitu ve směsi) – stav před (BEFORE LASER) a po (AFTER LASER) laserovém ozáření<sup>128</sup>

### 13.6.3 Drcená přírodní krusta se sádrou aplikovaná na vlhkou sádro

Použitím přírodní krusty (přírodního depozitu) při přípravě umělé krusty na sádře se zabývá článek Oliveiry s kolektivem z roku 2016.<sup>129</sup> K vytvoření nečistot byl v práci použit depozit ze západního portálu pláště baziliky Saint-Denis. Před použitím byl práškový depozit upraven tak, aby neobsahoval sádrovec. Toho bylo docíleno popsanou procedurou založenou na rozpouštění sádrovce ve vodě. Takto upravený depozit byl v práškovém stavu zasucha smíchán v poměru 1 : 1 (hm.) s hemihydrátem síranu vápenatého. Poté byla provedena aplikace této suché směsi na čerstvý, neztvrdlý sádrový podklad (viz Obr. 110).<sup>130</sup>

<sup>128</sup> Tamtéž.

<sup>129</sup> OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; LAFAIT. 2016.

<sup>130</sup> Tamtéž. s. 3.



Obr. 110 Vzorek s umělou krustou připravenou z drcené přírodní krusty a sádry –stav před (vlevo) a po (vpravo) laserovém ozáření. Velikost mřížky 5 × 5 mm<sup>2131</sup>

Další příklad vytvoření umělé krusty s použitím reálné krusty uvádí Godet a její kolektiv ve studii z roku 2016.<sup>132</sup> Ta vychází z postupu použitého v práci Oliveiry a jejího kolektivu.<sup>133</sup> Umělá krusta zde byla vytvořena ze směsi práškové přírodní krusty a hemihydrátu síranu vápenatého o hmotnostním poměru 80 : 20. Prášek přírodní krusty byl získán drcením krusty z baziliky Saint-Denis a jejím následným přesátím přes síto o průměru ok 100 µm. Následně byla suchá směs práškové krusty se sádrou nasypána přes síto o velikosti ok 1 mm na čerstvou ještě vlhkou sádrovou destičku o velikosti povrchu 76 × 26 mm<sup>2</sup>. Před přistoupením k dalším krokům experimentu se nechaly vzorky s umělou krustou 24 hodin schnout.<sup>134</sup>

#### 13.6.4 Expozice karbonátového kamene sloučeninám síry

V dohledané literatuře, která je detailněji zmíněna níže, jsou karbonátové horniny exponovány vhodným sloučeninám síry tak, aby vznikl zejména na jejich povrchu sádrovec simulující sádrovcovou krustu. Prvním způsobem je řízená expozice vzorků kamene ve vlhké atmosféře sycené oxidem siřičitým (SO<sub>2</sub>)<sup>135</sup> nebo sírovým (SO<sub>3</sub>)<sup>136</sup>. Dochází tak k sulfatizaci exponovaných částí kamene. Tento způsob vzniku umělé

---

<sup>131</sup> Tamtéž.

<sup>132</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; ANDRAUD a kol. 2016

<sup>133</sup> OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.

<sup>134</sup> GODET; VERGÈS-BELMIN; ANDRAUD a kol. 2016. s. 65.

<sup>135</sup> GAURI; CHOWDHURY; KULSHRESHTHA a kol. 1989.

LIU; DONG; ZHANG a kol. 2021. s. 3, 4.

<sup>136</sup> GOMEZ-HERAS; SMITH; VILES. 2008.



krusty bývá celkem náročný na vybavení, ale i čas. Druhou v literatuře dohledanou možností je ponor karbonátových vzorků horniny do zředěné kyseliny sírové.<sup>137</sup>

V článku z roku 2008 se M. Gomez-Heras s kolektivem<sup>138</sup> věnují vzniku sádrovcových krust na dvou druzích jurského vápence v simulované atmosféře oxidu sírového s částicemi uhelného popílku a bez nich. Autoři článku v prvním experimentu vzorky vápence vlhčily vodou a vložily je na 72 hodin do uzavřené komory s kádinkou kyseliny siřičité (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>). Při pokojové teplotě následně docházelo k odpařování kyseliny a k expozici vzorků oxidu sírovému (SO<sub>3</sub>) v atmosféře. Ve druhém experimentu byly použity vzorky vápence ve tvaru válce, které byly vloženy do komory a podrobeny proudění vzduchu s SO<sub>3</sub>, jež byl přiváděn pomocí ventilátoru z vedlejší komory. Vzorky byly po celou dobu vlhčeny deionizovanou vodou pomocí kapilárního vztlínání. Proces vzniku krusty probíhal ve třech cyklech tak, že vzorky kamene byly na 18 hodin vystaveny kapilárnímu vztlínání a poté 72 hodin proudění SO<sub>3</sub>. U části vzorků bylo přistoupeno k použití částic popílku z uhelné elektrárny, které byly přidány do proudícího SO<sub>3</sub>.<sup>139</sup> Výsledky poukázaly na to, že v případě prvního experimentu došlo k vytvoření krystalů sádrovce na vápencových vzorcích o velikosti několika mikrometrů až desetin milimetru a k částečnému rozpuštění povrchu kamene. Ve druhém experimentu s prouděním vzduchu obsahujícím SO<sub>3</sub> bez přidaného popílku se na povrchu kamenných vzorků nerovnoměrně vyskytoval sádrovec a na některých místech docházelo k naleptání částic kamene, což vedlo k lehké heterogenitě povrchu. V případě vzorků, na kterých bylo testováno přidání částic popílku z uhelné elektrárny do proudu vzduchu s SO<sub>3</sub> výsledky ukázaly, že docházelo k menšímu naleptání povrchu a k vytvoření mikronové, homogennější vrstvy sádry, jež měla šedou barevnost.<sup>140</sup>

Studie Liu a kolektivu z roku 2021<sup>141</sup> se zabývá vytvořením umělé krusty na vzorcích mramoru, který byl exponován oxidu siřičitému v klimatické komoře. „*Po 60 dnech sulfatizace byly vzorky vyndány z komory, opláchnuty vodou a přirozeně vysušeny. Výsledkem byla sádrovcová vrstva o tloušťce 50 μm*“<sup>142</sup>, která měla hrubou pórovitou mikrostrukturu podobající se reálné krustě.

---

<sup>137</sup> MOLINA; RUEDA-QUERO; BENAVENTE a kol. 2017. s. 299.

<sup>138</sup> GOMEZ-HERAS; SMITH; VILES. 2008.

<sup>139</sup> Tamtéž. s. 3–4.

<sup>140</sup> Tamtéž. s. 4–5.

<sup>141</sup> LIU; DONG; ZHANG a kol. 2021.

<sup>142</sup> Tamtéž. s. 2.

Ponorem do zředěné kyseliny sírové byla vytvořena sádrovcová krusta v rámci experimentu publikovaném Molinou a kolektivem.<sup>143</sup> Konkrétně byly vzorky karbonátové horniny ponořeny do 1 M vodného roztoku kyseliny sírové po dobu 2 h. Po vyjmutí z roztoku byly vzorky ponechány 48 h ve stabilní atmosféře při 25 °C a 40 % relativní vlhkosti.

---

<sup>143</sup> MOLINA; RUEDA-QUERO; BENAVENTE a kol. 2017. s. 299.

## 14 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část se věnuje použití bakterií druhu *Desulfovibrio vulgaris subs. vulgaris* k odstranění reálných a uměle vytvořených sádrovcových krust. Tento kmen bakterií se na rozdíl od některých jiných desulfurikačních bakterií vyznačuje jistou mírou tolerance na určitý obsah kyslíku v okolní atmosféře, což je zásadní aspekt pro jeho aplikaci a účinnost. Na základě dohledané literatury bylo přistoupeno ke kultivaci bakterií a k přípravě čistících systémů. Z dohledaných studií vyplývá, že jako nejvhodnější a nejúčinnější nosič bakterií se jeví Carbogel (CTS), tedy gel na bázi neutralizované kyseliny polyakrylové. Zkoušky čištění byly realizovány v laboratoři na vzorcích vápence s přirozenou krustou a na modelových vzorcích se simulovanou sádrovcovou krustou, které byly připraveny v rámci experimentu. Cílem experimentální části bylo vyzkoušet a seznámit se s možnostmi bakteriálního čištění sádrovcových krust, případně výsledky porovnat s čištěním laserem.

### 14.1 Seznam použitých materiálů, metod a přístrojů

#### 14.1.1 Materiály

- organodetritický vápenec z lokality Pińczów (Polsko)
- sádra Almond LC (Saint-Gobain Formula)
- pigmenty: červený železitý pigment Iron Oxide Red light 1705 (Deffner & Johann), černý železitý pigment Iron Oxide Black, neutral (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG), černý uhlíkatý pigment (sazová čern) Furnace Black (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG)
- reálné vzorky: prvky z katedrály sv. Štěpána, Vídeň, Rakousko
- kultivační medium: Sulphate Reducing Medium (Triple pack), M803 (HiMedia Laboratories)
- bakterie: *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* DSM 644
- generátor anaerobní atmosféry: OXOID AnaeroGen Compact Pufr
- fosfátový pufr: 0,204 g/l  $K_2HPO_4$ , 0,536 g/l  $NaHPO_4$ , 0,299 g/l laktát sodný, pH 7, sterilní – čistota všech použitých chemikálií p.a. a výrobcem PENTA s.r.o.
- filtrace bakterií: filtr SCWP04700 MF-Millipore Membrane Filter (Merck Life Science), velikost pórů 8  $\mu m$ , průměr 47 mm, membrána ze směsi esterů celulózy (MCE)



- Carbogel (CTS, Benátky, Itálie), neutralizovaná kyselina polyakrylová
- netkaná textilie
- potravinářská fólie
- demineralizovaná voda
- polyesterová pryskyřice GPE100S k přípravě nábrusů vzorků

#### **14.1.2 Metody a přístroje**

- aparatura na membránovou filtraci bakterií (Nalgene)
- termostat (SalvisLab Biocentre)
- měření koncentrace bakterií: McFarland Densitometer (bioSan)
- mikroskop (Carl Zeiss)
- centrifugace bakteriální suspenze: 4200 rpm 3 × 10 min., odstředivka LMC-4200R (bioSan), vývěva (Verkon)
- laser EOS 1000 SFR s vlnovou délkou 1064 nm
- laser QS Laser Thunder Art s možností nastavení vlnové délky 1064 nebo 532 nm
- fotografická dokumentace: Canon EOS 50D (Canon), Canon EOS 60 D (Canon)
- fotografická dokumentace v UV fluorescenci: dva zářiče UVA SPOT 400 T/BL (Hönle UV Technology), Canon EOS 60 D (Canon)
- světelná mikroskopie: Nikon Eclipse LV100D-U (Nikon) polarizační mikroskop (světelná a fluorescenční mikroskopie), záznam fotoaparátem Canon 1100D (Canon)
- světelná mikroskopie: Leica S6D (Leica) stereoskopický mikroskop na pohyblivém stolním ramenu, záznam fotoaparátem Canon EOS 600D (Canon) SLR
- světelná mikroskopie: SZM800 (Nikon) stereoskopický stacionární mikroskop, záznam fotoaparátem Canon 1000D SLR (Canon)
- skenovací elektronová mikroskopie s energiově-disperzní analýzou (SEM-EDX): skenovací elektronový mikroskop Tescan Mira3 LMU (Tescan) opatřený detektory SE, BSE a LVSTD, Quantax 200 with XFlash detektor (Bruker) pro energiově-disperzní analýzu, systém Quorum Technologies Q150R ES (Quorum) pro zvodivění vzorků
- Multifunkční akumulátorové nářadí Dremel 8220 s diamantovým kotoučem od firmy Dremel k odběru vzorků

## 14.2 Výběr čištěných podkladů

Zkoušky odstraňování sádrovcových krust pomocí vybraných metod čištění byly provedeny jak na reálných vzorcích organodetrického vápence s přirozenou sádrovcovou krustou, tak na modelových vzorcích se simulovanou krustou na sádrovém a vápencovém podkladu.

Reálné vzorky vápence pocházely z nevyhovujících architektonických zdobných prvků katedrály sv. Štěpána ve Vídni (Rakousko). Vzorky s přírodní krustou byly poskytnuty od archiváře MMag. Franze Zehetnera z archivu stavební huti dómu sv. Štěpána. Celkem byly poskytnuty čtyři prvky se sádrovcovými krustami, které byly podrobeny materiálovému průzkumu, který je součástí Přílohy P.II (viz kapitola 21 Seznam textových příloh). Na základě výsledků byly k aplikaci čistících metod vybrány vápencové prvky 3 a 4, jenž jsou až na výše zmíněný materiálový průzkum v experimentální části dále vedeny pod označením A a B (viz Obr. 111–113).

Jako podklad modelových vzorků byla zvolena bílá sádra Almond LC (Saint-Gobain Formula) a organodetrický vápenec z lokality Pińczów (Polsko). Výběr sádry jako podkladu pod umělou krustu byl podmíněn několika aspekty, kterými byly snadná dostupnost, nízká finanční náročnost, dobrá zpracovatelnost tohoto materiálu nebo také rychlá příprava vzorků a jejich snadná reprodukovatelnost či případná možnost je snadno rozlomit či řezat. Hlavním důvodem využití sádry však byla schopnost simulovat sulfatizovaný povrch vápence pod krustou, který není žádoucí odstranit během čištění. Sádrové podklady s tmavou vrstvou sádry (směs sádry a pigmentu) simulující krustu tak mohly teoreticky poskytnout věrohodnější vzorky z hlediska selektivity čištění než vápencový podklad opatřený simulovanou krustou. Dalším teoretickým aspektem použití sádry jako podkladu modelových vzorků byl potenciál sledovat předpokládané zpevnění povrchu kamene rekonverzí sádrovce na uhličitan vápenatý během bakteriálního čištění.



*Obr. 111 Vápencový prvek s reálnou krustou A, v Materiálovém průřezu vzorek č. 3*



*Obr. 112 Vápencový prvek s reálnou krustou A z jiného pohledu, v Materiálovém průřezu vzorek č. 3*





*Obr. 113 Vápencový prvek s reálnou krustou B, v Materiálovém průřezu vzorek č. 4*

### **14.3 Příprava umělých krust na sádrovém a vápencovém podkladu**

Postup přípravy modelových vzorků se simulovanou krustou vycházel z rešerše literatury, zabývající se především nežádoucími změnami povrchu při čištění krusty/nečistot pomocí laseru. Jak již bylo uvedeno, v dohledané literatuře zaměřené na biologické čištění nebyla tato problematika na modelových vzorcích řešena. Principiálně lze předpokládat, že bude reálné krustě nejvíce podobná umělá krusta připravená působením vhodných sloučenin síry na povrch karbonátové horniny (viz kapitola 13.6.4 Expozice karbonátového kamene sloučeninám síry). Příprava krusty tímto způsobem je však zdoluhavá, tloušťka sulfatizované vrstvy nemusí být dostatečná a kvůli absenci nečistot nemusí vrstva dostatečně simulovat případnou změnu barevnosti povrchu při čištění. Proto nebylo k tomuto způsobu přípravy krusty přistoupeno.

Na plochu podkladů umělých vzorků o velikosti  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  (sádrové a vápencové modelové vzorky o výšce cca 1 a 2 cm) byla aplikována umělá krusta nalitím směsi bílé sádry Almond LC (Saint-Gobain Formula) s vhodnými pigmenty ve vodě. V rámci experimentu byla použita sazová černá Furnace Black (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG), železitá černá Iron Oxide Black, neutral (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG) a železitá červená Iron Oxide Red light 1705 (Deffner & Johann). Pigmenty byly použity

jednotlivě nikoliv ve směsi. Sádrové vzorky byly připraveny v rozebíratelných plastových formách.

Sádrové podklady byly připraveny ze sádry s demineralizovanou vodou v hmotnostním poměru 2 : 3. Postup přípravy vzorků byl následující. Nejprve bylo do kádinky nalito 100 g vody, do které bylo postupně vsypáno zvážené množství sádry (66,6 g). Směs byla asi 1 minutu intenzivně míchána a poté byla nalita do formy. Zbytek, který se nepodařilo vylít, byl ponechán v kádince. Po 7 až 11 dnech byla na povrch sádrových podkladů nalita směs sádrové krusty. Ta byla připravena z 10g suché směsi sádry a pigmentu a 30g demineralizované vody. Koncentrace pigmentu v suché směsi se sádrou byla po několika zkouškách i na základě odborné literatury zvolena 1% (hm.). Po vytvrdnutí krusty byly vzorky vyndány z forem.

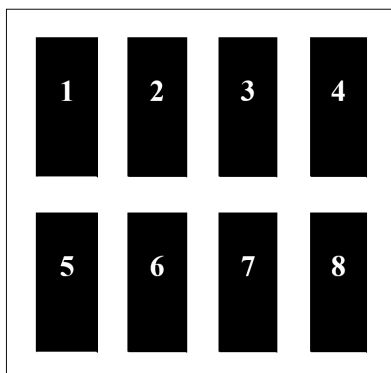
Obdobným způsobem byla krusta připravena a aplikována na modelové vzorky vápence. Na horní část vzorků vápence bylo po stranách vytvořeno ohraničení plastickou hmotou pro možnost nalití sádrové krusty na plochu kamene. Vzorky byly před aplikací hmoty vyváženy pomocí vodováhy tak, aby byl jejich povrch vodorovný a bylo možné předpokládat, že bude mít vzniklá (nalitá) umělá krusta v ploše stejnou tloušťku. U sádrových vzorků bylo toto zajištěno tak, že nebylo s podklady od jejich nalití po zaschnutí umělé krusty manipulováno.

## **14.4 Zkoušky čištění**

### **14.4.1 Zkoušky čištění pomocí laserů**

K testování byly použity dva typy pevnolátkových Nd: YAG laserů. Byly jimi Q-switched laser Thunder Art a EOS 1000 SFR laser. V rámci předběžných experimentů bylo u laserů zkoušeno použití různých energetických hustot paprsku (kombinace různých energií a plochy bodu), frekvence, časů laserování a vliv předvlhčení povrchu vodou. Hraniční nastavení laserů při testování bylo zvoleno tak, aby byly vidět maximální změny na čištěných plochách při dané velikosti bodu a na druhou stranu tak, aby bylo použito nastavení, kdy už k žádným změnám při dané velikosti bodu nedochází. Zkoušky byly systematicky provedeny na plochách o velikosti  $2 \times 1 \text{ cm}^2$  na podkladech s umělou krustou přes šablonu vyrobenou z pevného papíru (čtvrtky). Vzniklo tak 8 testovacích ploch na vzorek (viz Obr. 114). Na základě těchto zkoušek byly zvoleny vhodné podmínky laserování pro umělou krustu na

vápencovém podkladu a pro vápencové prvky s reálnou sádrovcovou krustou. Nastavení experimentu bylo inspirováno experimentální částí diplomové práce Pavla Mrověce<sup>144</sup> z roku 2017 a dalšími odbornými publikacemi.<sup>145</sup>



*Obr. 114 Čištění umělé krusty pomocí laserů – schéma čištěných polí s jejich očíslováním, plocha vzorku je  $10 \times 10 \text{ cm}^2$*

Kvůli standardizaci zkoušek byla zvolena stejná plocha bodu (paprsku dopadajícího na čištěnou plochu), respektive stejný průměr bodu pro oba lasery. Zvolen byl průměr asi 0,5 cm. Ze stejného důvodu bylo pracováno s frekvencí pulzů 10 Hz. V případech, kdy nedocházelo při testování na modelových vzorcích ke změnám barevnosti byla volena frekvence pulzu 20 Hz. Snahou bylo také testované plochy laserovat po určitou dobu, většinou 1 min. V některých případech byly použity časy 0,5, 2 a 3 min. Zkoušky byly provedeny na suchých i vodou vlhčených vzorcích.

Q-switched laser Thunder art byl použit při vlnových délkách ( $\lambda$ ) 1064 nm (viz Obr. 119) a 532 nm (viz Obr. 120). Vlnová délka 1064 nm byla zkombinována s energiemi 220, 200, 180 a 160 mJ. Laserování s vlnovou délkou paprsku 532 nm bylo nejprve provedeno při energiích 220 a 200 mJ. Kvůli zanedbatelnému účinku byla následně frekvence laseru zvýšena ze standardních 10 Hz na 20 Hz. Na QS laseru Thunder Art byla dále nastavena frekvence pulzu paprsku 10 Hz.

Laser EOS 1000 SFR pracuje pouze s vlnovou délkou 1064 nm. Použité energie byly 1000, 800, 600 a 350 mJ. Čištění krust s železitou červení bylo provedeno v delších časech (3 min) kvůli malé účinnosti laseru po dobu 1 min (viz Obr. 116 a 118). Nastavení laserů při čištění zkušebních vzorků jsou blíže uvedena na Obr. 115–118.

---

<sup>144</sup> MROVĚC. 2017.

<sup>145</sup> RANALLI; ZANARDINI. 2021a.

OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.

Na základě výsledků čištění umělých krust na sádrových podkladech byla vybrána škála zkoušek, které se realizovaly na umělé krustě na kamenném podkladu (viz Obr. 121). K provedení zkoušek byly použity oba typy laserů, jenž byly nastaveny na nejrazantnější možné nastavení, tedy na vysokou energii paprsku (220 mJ, 200 mJ a 1000 mJ) a standardní frekvenci 10 Hz. U QS laseru Thunder Art byla k vysoká energie (220 mJ) vyzkoušena vyšší frekvence (20 Hz). Všechny nastavení laserů byly aplikovány nejprve na suchý povrch krusty a následně na vlhčenou krustu.

Podobné parametry laserů byly aplikovány na reálných krustách (viz Obr. 122 a 123; viz Tab. 7), kdy byly lasery opět použity při nejintenzivnějších energiích paprsků (1000 mJ, 220 mJ, 200 mJ), aby bylo docíleno alespoň částečného odstranění krust. Laser EOS 1000 SFR byl použit k očištění pouze jednoho zkušebního pole (B5), a to na vápencovém prvku s označením B s tenčí krustou. Laser byl v tomto případě nastaven na nejvyšší energii paprsku 1000 mJ a frekvenci pulzu 10 Hz. Před čištěním byla krusta navlhčena vodou pro docílení většího očištění, a to i přesto, že k čištění umělých krust byla zvolena suchá aplikace. Dále byly realizovány zkoušky pomocí QS laseru Thunder Art. Z velké části se jednalo o zkoušky laseru při vlnové délce 1064 nm v kombinaci s frekvencí 10 nebo 20 Hz. Nižší frekvence 10 Hz byla zkoušena za sucha i za mokra. Vyšší frekvence 20 Hz byla nejprve aplikována na suchou krustu. Protože bylo čištění dostatečné, nebyla již tato zkouška provedena na vlhčený povrch. Dále byl testován QS laser Thunder Art s vlnovou délkou 532 nm a frekvencí 20 Hz na vlhčený povrch. Všechny tyto zkoušky byly provedeny dvakrát, tedy jak na vápencovém prvku A, tak na vápencovém prvku B. Na kamenném prvku A byla navíc otestována vlnová délka 1064 nm s nižší frekvencí (10 Hz) a energií paprsku (200 mJ, zkušební pole A5).



		EOS 1000 SFR laser $\lambda$ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 0,5 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 0,5 min	1,8 J/cm <sup>2</sup> 350 mJ 0,5 min
	mokrá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 0,5 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 0,5 min	1,8 J/cm <sup>2</sup> 350 mJ 0,5 min
		5	6	7	8

Obr. 115 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (1. série vzorků)

		EOS 1000 SFR laser $\lambda$ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 3 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 3 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 3 min	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min
	mokrá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 3 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 3 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 3 min	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min
		5	6	7	8

Obr. 116 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou křustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 1. série)

		EOS 1000 SFR laser $\lambda$ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 1 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 1 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 1 min	1,8 J/cm <sup>2</sup> 350 mJ 1 min
	suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 2 min	Zkouška č. 5 realizována pouze v jednom případě u vzorku umělé křusty z 1% sazové černě.		
		5			

Obr. 117 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (2. série vzorků)

		EOS 1000 SFR laser $\lambda$ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 3 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 3 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 4 min	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 1 min

Obr. 118 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou křustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 2. série)

		Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 1064 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	220 mJ 10 Hz 1 min	200 mJ 10 Hz 1 min	180 mJ 10 Hz 1 min	160 mJ 10 Hz 1 min
	mokrá aplikace	220 mJ 10 Hz 2 min	200 mJ 10 Hz 2 min	180 mJ 10 Hz 2 min	160 mJ 10 Hz 2 min
		5	6	7	8

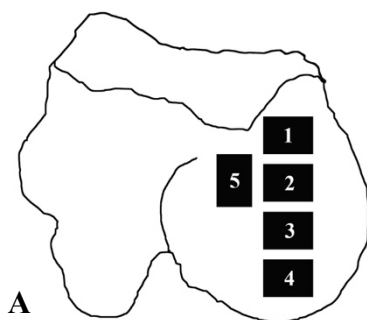
Obr. 119 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder art při nastavení vlnové délky 1064 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech

		Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 532 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	220 mJ 10 Hz 1 min	200 mJ 10 Hz 1 min	220 mJ 20 Hz 1 min	200 mJ 20 Hz 1 min
	mokrá aplikace	220 mJ 10 Hz 2 min	200 mJ 10 Hz 2 min	220 mJ 20 Hz 1 min	200 mJ 20 Hz 1 min
		5	6	7	8

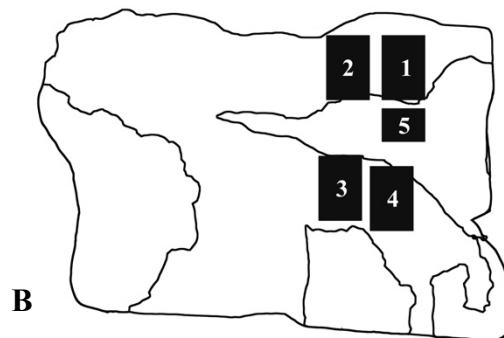
Obr. 120 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder art při nastavení vlnové délky 532 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech

Lasery a jejich nastavení	EOS 1000 SFR laser $\lambda$ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm				
	Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 1064 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm				
	Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 532 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm				
		1	2	3	4
suchá aplikace	suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 1 min	220 mJ 10 Hz 1 min	200 mJ 10 Hz 1 min	220 mJ 20 Hz 1 min
	mokrá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	220 mJ 10 Hz 2 min	200 mJ 10 Hz 2 min	220 mJ 20 Hz 1 min
		5	6	7	8

Obr. 121 Schéma zkoušek čištění umělé sádrovcové krusty ze sazové černi na vápencovém podkladu



Obr. 122 Schéma zkoušek čištění reálné krusty na vápencovém prvku (A) pomocí laserů



Obr. 123 Schéma zkoušek čištění reálné krusty na vápencovém prvku (B) pomocí laserů

<b>Q-switched laser Thunder Art</b> <b>220 mJ, Qdly 175 μs, průměr bodu 5 mm</b>	
1	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, mokrá aplikace
2	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, suchá aplikace
3	$\lambda$ 1064 nm, 20 Hz, suchá aplikace
4	$\lambda$ 532 nm, 20 Hz mokrá aplikace
<b>Q-switched laser Thunder Art</b> <b>200 mJ, Qdly 175 μs, průměr bodu 5 mm</b>	
5A	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, mokrá aplikace
<b>EOS 1000 SFR laser</b> <b>1000 mJ, 3,5 J/cm<sup>2</sup>, průměr bodu 5 mm</b>	
5B	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, mokrá aplikace

Tab. 7 Popis zkoušek čištění pomocí laserů na vápencových prvcích s reálnou krustou

#### 14.4.2 Pilotní kultivace bakteriálního systému

Příprava a kultivace bakteriálního systému byla provedena ve spolupráci s Fakultou chemicko-technologickou Univerzity Pardubice, konkrétně s paní Ing. Květou Koryčanovou Ph.D. z Katedry biologických a biochemických věd. Na tomto pracovišti mají s kultivací desulfurikačních bakterií v požadované koncentraci ( $10^8$  kultur/ml) pro jiné účely dostatečné zkušenosti. Průběh přípravy bakteriálního systému je blíže uveden v chemicko-technologické zprávě od Ing. Květy Koryčanové (viz Příloha P.III).

Pro kultivaci bakterií bylo použito jiné kultivační médium, než která jsou uvedena v odborných publikacích. Jednalo se o médium Sulphate reducing medium (Himedia).

Kultivace bakterií probíhala v anaerobních podmínkách ve třech cyklech po sedmi dnech. Po dvou týdnech byl již patrný nárůst kultury *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* DSM 644, což se projevovalo zčernáním původně žlutého kultivátu (viz Obr. 124). Tato barevná změna je způsobena vznikem tmavého sulfidu železitého, který vzniká reakcí sloučenin železa (síran železnatý ( $\text{FeSO}_4$ )) z kultivačního média s nově vzniklým sirovodíkem. Přítomný sirovodík způsobuje i specifický zápach bakteriální suspenze. Tento produkt metabolismu bakterií je zapotřebí před aplikací odfiltrovat, jelikož podle odborné literatury způsobuje změny barevnosti čištěných podkladů. Další možností je předejít jeho vzniku použitím vlastního kultivačního média, které nebude obsahovat síran železnatý.

Příprava bakteriální kultury zahrnovala opakující se centrifugaci bakterií *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* DSM 644 spojenou s přidáváním fosfátového pufru a již výše zmíněnou filtraci pomocí filtrů s velikostí ok do 8  $\mu\text{m}$ . Filtrace bakteriální suspenze i tvorba gelu probíhala z technických důvodů v aerobních podmínkách. Před aplikací bylo zjištěno denzitometrickým měřením množství přítomných buněk, avšak už nebyla zjišťována jejich životaschopnost.



Obr. 124 Nefiltrovaná bakteriální suspenze



### 14.4.3 Pilotní aplikace bakteriální suspenze v Carbogelu

Aplikace bakterií byla realizována v laboratoři Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice ve spolupráci s paní Ing. Květou Koryčanovou, tedy na stejném pracovišti jako kultivace bakterií. K aplikaci bylo přistoupeno neprodleně po jejich přípravě. Zkoušky byly provedeny na modelových vzorcích s umělou krustou na sádře a vápenci a na fragmentech organodetritického vápence s reálnou krustou. U modelových vzorků bylo bakteriální čištění provedeno na jedné polovině vzorku, tedy na ploše o velikosti  $8 \times 4 \text{ cm}^2$ . U vzorků vápence s reálnou přírodní krustou byla velikost čištěné plochy asi  $2 \times 1,5 \text{ cm}^2$ . Celkem byla provedena vždy jedna aplikace, trvající 24 hodin. Při aplikaci byla teplota vzduchu  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost 24 %.

Bakteriální filtrát byl aplikován v gelu z Carbogelu (CTS), do kterého byl pomalu vmíchán. Tvorba gelu trvala cca 5 minut. V případě filtrované bakteriální suspenze byl použit Carbogel o 1% (hm.) koncentraci a u nefiltrovaného kultivátu bylo v rámci testování zjištěno, že pro získání gelu vyhovující konzistence je zapotřebí navýšit koncentraci gelotvorné látky na 2 % (hm.). Na vzorky s přírodní i umělou krustou byla nanesena rovnoměrná cca 0,5 cm silná vrstva filtrované bakteriální suspenze v Carbogelu (viz Obr. 126). Pro zachování životaschopnosti bakterií byla zkouška během procesu čištění překryta netkanou textilií napuštěnou fosfátovým pufrům a následně ještě polyuretanovou fólií (viz Obr. 127 a 128). Po 24 hodinách byl bakteriální systém odstraněn z povrchu pomocí plastové špachtle, měkkého zubního kartáčku a opláchnutím demineralizovanou vodou ze stříčky. Na dvou místech byla provedena zkouška vatovými smotky a poté zpravidla na jednom místě zkouška skalpelem. Množství aktivních buněk nebylo po aplikaci zjišťováno. Stejný způsob aplikace byl realizován i s nefiltrovanými bakteriemi v 2% Carbogelu s fosfátovým pufrům (vzorky V5, SA5, SB2, SC2; viz Obr. 125) a pro srovnání byl nanesen i fosfátový pufr bez bakteriální suspenze (vzorky V4 a SA4). V těchto případech byl použit pouze fosfátový pufr v 1% (hm.) Carbogelu na umělé krustě (sádra + 1% sazová čern) na vápenci (vzorek V4) a na sádře (vzorek SA4) nebo demineralizovaná voda v 1% (hm.) Carbogelu na fragmentu s reálnou krustou (prvek A, 1 plocha; prvek B, 1 plocha).

Označení prvku a testu	Popis zkoušky	Koncentrace bakterií
A, 1 a 2 (2 plochy)	filtrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 1% (hm.) gel z Carbogelu	1,05.10 <sup>8</sup> buněk/ml
B, 1 a 2 (2 plochy)		
A, 3 (1 plocha)	demineralizovaná voda, 1% (hm.) gel z Carbogelu	bez bakterií
B, 3 (1 plocha)		

*Tab. 8 Zkoušky čištění reálných krust přítomných na zdobných vápencových prvcích pomocí bakterií nebo demineralizované vody*

Modelové zkušební vzorky – umělá krusta s 1 % (hm.) sazové černi na vápenci / vzorky V		
Označení testu	Popis zkoušky	Koncentrace bakterií
V1	filtrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 1% (hm.) gel z Carbogelu	1,05.10 <sup>8</sup> buněk/ml
V4	fosfátový pufr bez bakterií, 1% (hm.) gel z Carbogelu	bez bakterií
V5	nefiltrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 2% (hm.) gel z Carbogelu	není známo

*Tab. 9 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) sazové černi) na vápencovém podkladu pomocí bakterií nebo čistého fosfátového pufru*

Modelové zkušební vzorky – umělá krusta s 1 % (hm.) sazové černi na sádře / vzorky SA		
Označení testu	Popis zkoušky	Koncentrace bakterií
SA1	filtrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 1% (hm.) gel z Carbogelu	1,05.10 <sup>8</sup> buněk/ml
SA2		1,5.10 <sup>8</sup> buněk/ml
SA4	fosfátový pufr bez bakterií, 1% (hm.) gel z Carbogelu	bez bakterií
SA5	nefiltrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 2% (hm.) gel z Carbogelu	není známo

Tab. 10 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) sazové černi) na sádrovém podkladu pomocí bakterií nebo čistého fosfátového pufru

Modelové zkušební vzorky – umělá krusta s 1 % (hm.) železité černi na sádře / vzorky SB		
Označení testu	Popis zkoušky	Koncentrace bakterií
SB1	filtrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 1% (hm.) gel z Carbogelu	1,05.10 <sup>8</sup> buněk/ml
SB2	nefiltrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 2% (hm.) gel z Carbogelu	není známo

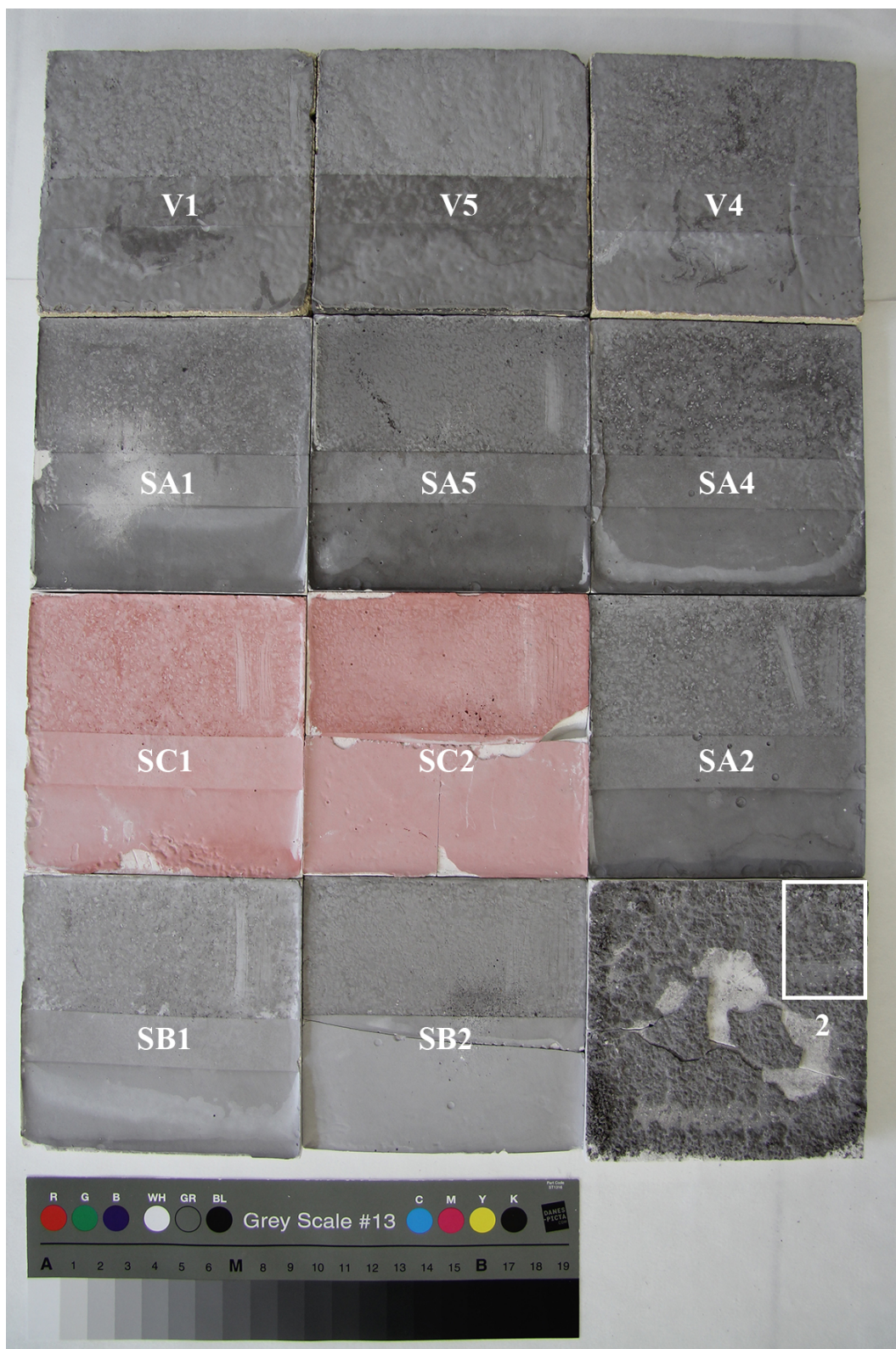
Tab. 11 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) železité černi) na sádrovém podkladu pomocí bakterií

Modelové zkušební vzorky – umělá krusta s 1 % (hm.) železité červeně na sádře / vzorky SB		
Označení testu	Popis zkoušky	Koncentrace bakterií
SC1	filtrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 1% (hm.) gel z Carbogelu	1,05.10 <sup>8</sup> buněk/ml
SC2	nefiltrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 2% (hm.) gel z Carbogelu	není známo

Tab. 12 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) železité červeně) na sádrovém podkladu pomocí bakterií

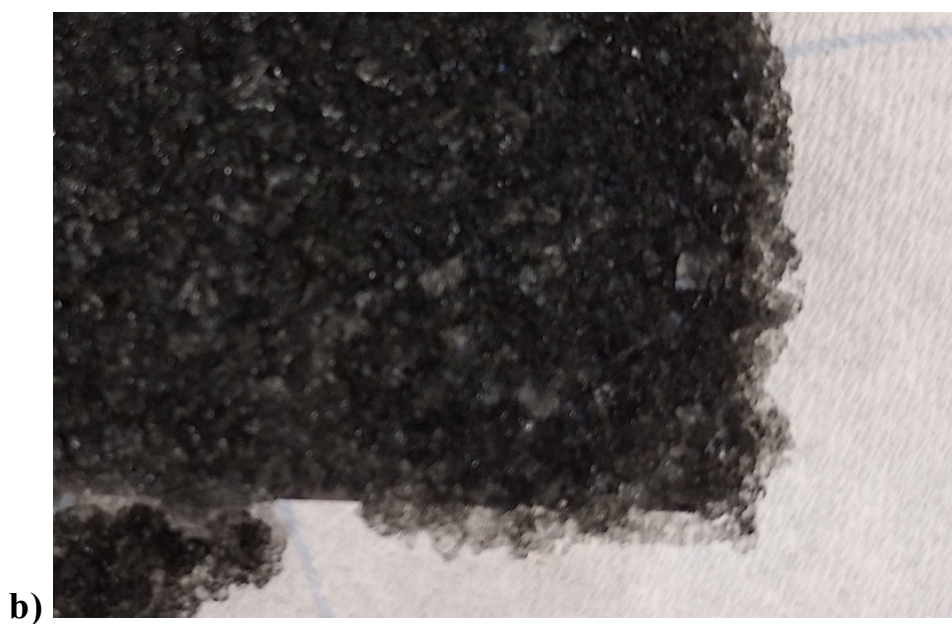
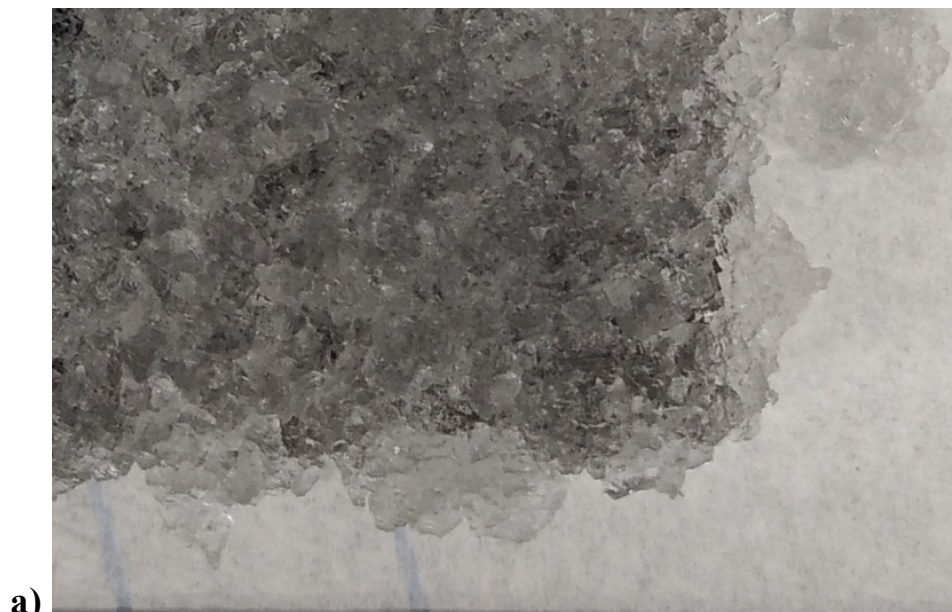
Modelový zkušební vzorek – umělá krusta na sádře, sypaná krusta, 1 % (hm.) sazové černi / vzorek SD		
Označení testu	Popis zkoušky	Koncentrace bakterií
SD2	filtrované bakterie, zakryto textilií navlhčenou fosfátovým pufrem, 1% (hm.) gel z Carbogelu	1,5.10 <sup>8</sup> buněk/ml

Tab. 13 Zkouška čištění sypané umělé krusty (směs sádry a 1 % (hm.) sazové černi) na sádrovém podkladu pomocí bakterií

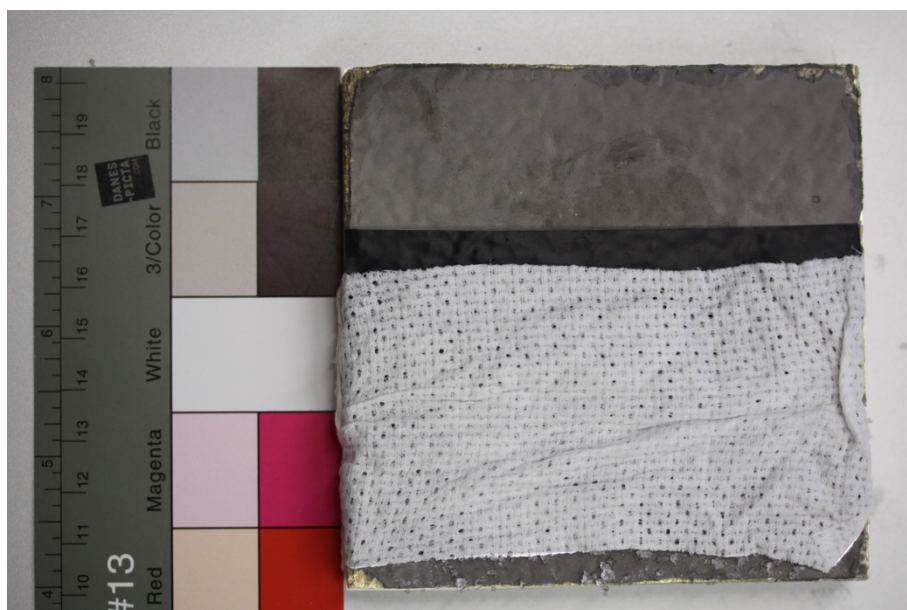


*Obr. 125 Zkoušky čištění umělé krusty na sádrovém a vápencovém podkladu pomocí filtrovaných bakterií, nefiltrovaných bakterií nebo čistého fosfátového pufu*





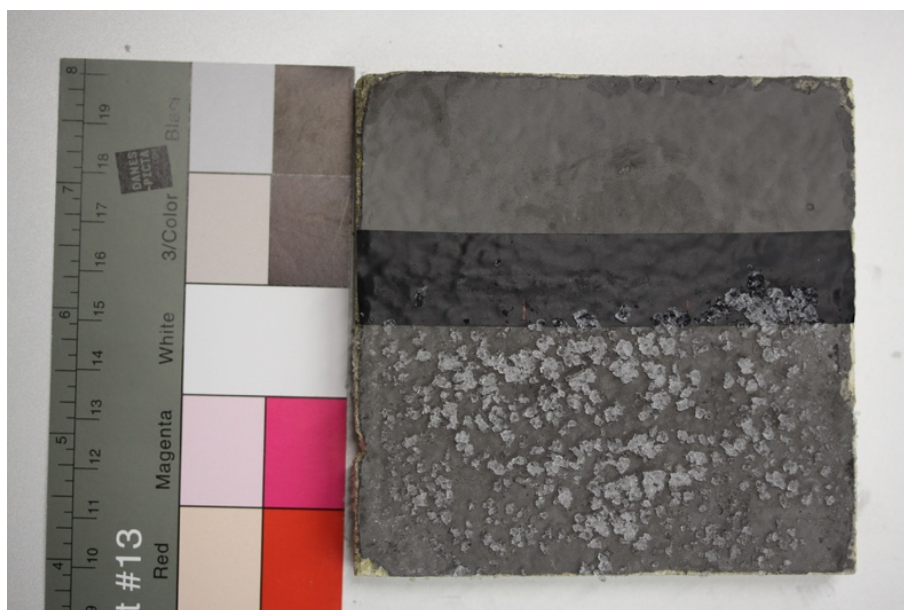
*Obr. 126 Detail filtrované (a) a nefiltrované (b) bakteriální suspenze v Carbogelu aplikované na umělou krustu*



*Obr. 127 Bakteriální suspenze v Carbogelu překrytá netkanou textilií s fosfátovým pufrem (vzorek VI)*



*Obr. 128 Bakteriální suspenze v Carbogelu překrytá netkanou textilií s fosfátovým pufrem a polyuretanovou fólií*



*Obr. 129 Filtrovaná bakteriální suspenze v Carbogelu po 24 h působení na umělé krustě (vzorek VI)*

## **14.5 Metody vyhodnocení**

### **14.5.1 Vizuální posouzení a fotografická dokumentace**

Výsledky odstraňování krusty byly nejprve vizuálně posouzeny a následně zdokumentovány digitálním fotoaparátem EOS 60D (Canon) s objektivem Canon EF-S 18–200 mm f/3,5-5,6 IS, v zářivkovém světle. Zkušební vzorové plochy byly vyfoceny nejprve jednotlivě a poté v různých logických seskupení.

Dále byla provedena dokumentace zkušebních vzorových ploch v UV fluorescenci. K tomuto účelu byly použity dva UV zářiče UVA SPOT 400 T/BL (Hönle UV Technology) s rozsahem záření 315–400 nm. Nastavení fotoaparátu pro pořízení UV fluorescenčních snímků bylo následující: manuální nastavení, clonové číslo 7, ISO 100, čas 3“2, nastavení bílé stín (7000 K). Současně byly pořízeny fotografie, na kterých jsou vzorky nasvíceny dvěma LED zdroji světla. Podmínky fotografování v normálním světle byly následující: manuální nastavení, clonové číslo 7, ISO 100, čas 0“5, nastavení bílé sluneční světlo (5200 K). U snímků v normálním světle bylo v postprodukcí jednotně upraveno vyvážení bílé podle kalibrační tabulky X-Rite ColorChecker Passport Photo 2, bílého pole. UV fluorescenční snímky nebyly dále upravovány.

### **14.5.2 Průzkum testovaných ploch ve větším zvětšení**

Průzkum byl proveden stereoskopickými mikroskopy, podle potřeby ve stacionárním uspořádání nebo na pohyblivém rameni. K tomuto účelu byl použit buď Leica S6D (Leica) stereoskopický mikroskop na mobilním stolním rameni opatřený fotoaparátem Canon EOS 600D (Canon) nebo stacionární stereomikroskop SZM800 (Nikon) s fotoaparátem Canon 1000D SLR (Canon). Snímky byly pořízeny ve tmě při standardizovaném osvětlení LED prstencem.

### **14.5.3 Průzkum odebraných vzorků – světelná mikroskopie**

K průzkumu byl použit Nikon Eclipse LV100D-U (Nikon) polarizační mikroskop opatřený digitálním fotoaparátem Canon 1100D (Canon). K odběru vzorků byla použita mikrobruska Dremel s diamantovým kotoučem, případně skalpel. Z odebraných vzorků byly připraveny nábrusy jejich zalitím do polyesterové pryskyřice GPE100S s následným sbroušením po vytvrnutí pryskyřice. Nábrusy byly zkoumány a dokumentovány v dopadajícím bílém světle, případně UV fluorescenci (viditelná fluorescence buzená UV zářením) a viditelné fluorescenci buzené modrým světlem.

Pomocí optické mikroskopie byly zkoumány nábrusy vzorků neošetřených krust odebraných ze čtyř zdobných kamenných prvků z katedrály sv. Štěpána ve Vídni. Z každého prvku byly průzkumu podrobeny dva vzorky. Jeden vzorek byl odebrán z místa s tenčí krustou, druhý vzorek byl odebrán z míst se silnější krustou v rámci každého prvku. Cílem průzkumu bylo zjistit stratigrafii vrstev na povrchu vápence, popsat vlastnosti krust, případně další jevy.

Dále potom byly zkoumány vzorky odebrané z rozhraní mezi neošetřenými krustami a místy čištěnými bakteriemi, lasery a pro porovnání také pouze demineralizovanou vodou nebo fosfátovým puftrem. Průzkumem byl sledován výsledek čištění neboli úbytek krust, změna bočního profilu na rozhraní čištěné a nečištěné plochy nebo změna barevnosti či topografie povrchu a jiné fenomény. Výsledky technologického průzkumu jsou součástí Přílohy P.IV (viz kapitola 21 Seznam textových příloh), která byla vypracována na Katedře chemické technologie Fakulty restaurování. Do průzkumu bylo zahrnuto celkem 21 vzorků odebraných z modelových vzorků s umělými krustami. Z toho 11 vzorků bylo odebráno z polí očištěných bakteriemi nebo fosfátovým puftrem. Ze zkušebních polí očištěných lasery bylo celkem odebráno zbylých 10 vzorků. Ze zkoušek čištění pomocí laserů byly vzorky odebrány



ze zkušebních polí s nejintenzivnějším nastavením laserů, respektive z polí s nejintenzivnějšími změnami. Z vápencových architektonických prvků s reálnou krustou byl odebrán jeden vzorek z místa rozhraní neočištěné a očištěné plochy pomocí QS laseru Thunder Art při nejintenzivnějším nastavení, kterým bylo dle vizuálního posouzení dosaženo kompletního odstranění krusty.

#### **14.5.4 Průzkum odebraných vzorků - skenovací elektronová mikroskopie**

Připravené nábrusy reálných krust byly dále studovány pomocí skenovací elektronové mikroskopie s energiově disperzní analýzou (SEM-EDX). Nejprve byly nábrusy pouhličeny pomocí systému Q15 (Quorum). Průzkum byl proveden skenovacím elektronovým mikroskopem Mira 3 LMU (Tescan) s analytickým systémem Bruker Quantax 2000 (Bruker, XFlash 5010 detektor) ve vysokém vakuu, v režimu obnažených elektronů (BSE), při urychlovacím napětí 25 kV a pracovní vzdálenosti 15 mm.

Na základě průzkumu měla být upřesněna stratigrafie vrstev na povrchu kamenných prvků, ale především mělo být odvozeno základní materiálové složení krust, jejich tloušťka, míra sulfatizace povrchu vápence a možnost čištění pomocí bakterií. Výsledky jsou součástí Přílohy P.II (viz kapitola 21 Seznam textových příloh).

### **14.6 Výsledky**

#### **Příprava zkušebních vzorků**

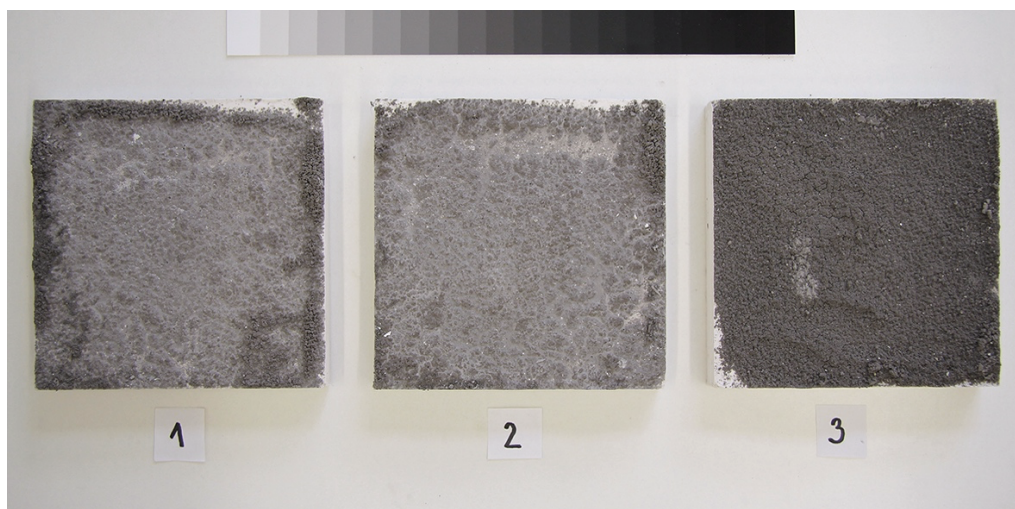
Finální příprava modelových vzorků zahrnovala aplikaci umělé sádrovcové krusty zhotovené ze směsi sádry a vybraných pigmentů simulujících nečistoty. Suchá směs pigmentu a sádry byla po rozmíchání v demineralizované vodě nalita na suchý sádrový podklad. Konečný postup přípravy modelových vzorků s umělou krustou byl založen na předběžných experimentech vycházejících z odborné literatury. Cílem bylo zhotovit reprodukovatelné vzorky se stejnou tloušťkou umělé krusty s dostatečnou adhezí, jejichž příprava bude snadná a časově nenáročná. Celkem bylo postupně připraveno 61 vzorků, na kterých byly zkoušeny různé poměry sádry a vody v podkladu, způsoby aplikace krusty, časy aplikace nebo různá množství a druhy pigmentů ve směsi (viz Tab. 14).

Pedběžné zkoušky přípravy umělé sádrovcové krusty byly nejprve realizovány tak, že na čerstvý vlhký sádrový podklad byla přesáta suchá směs sádry s 2 % (hm.) sazové černi. K přesátí bylo použito síto s velikostí ok 1 mm, kdy se do síta nasypalo odvážené množství suché směsi. Pomocí pěnové fólie byla vyhrazena oblast ve velikosti plochy podkladu, ve které byla směs přesáta. Během přesévání nebylo se sítem manipulováno, pouze docházelo pomocí ruky k otřesům síta. Vzorky jsou blíže popsány v Tab. č. 14 (vzorky č. 1–6 a 39–42) a zachyceny na Obr. 130. Od tohoto způsobu přípravy sádrovcové krusty bylo nakonec ustoupeno, protože krustu nebylo možné aplikovat rovnoměrně a výsledek byl nereprodukovatelný. Zároveň byla krusta v mnohých případech nevyhovující z hlediska pevnosti či nedostatečné adheze k podkladu.

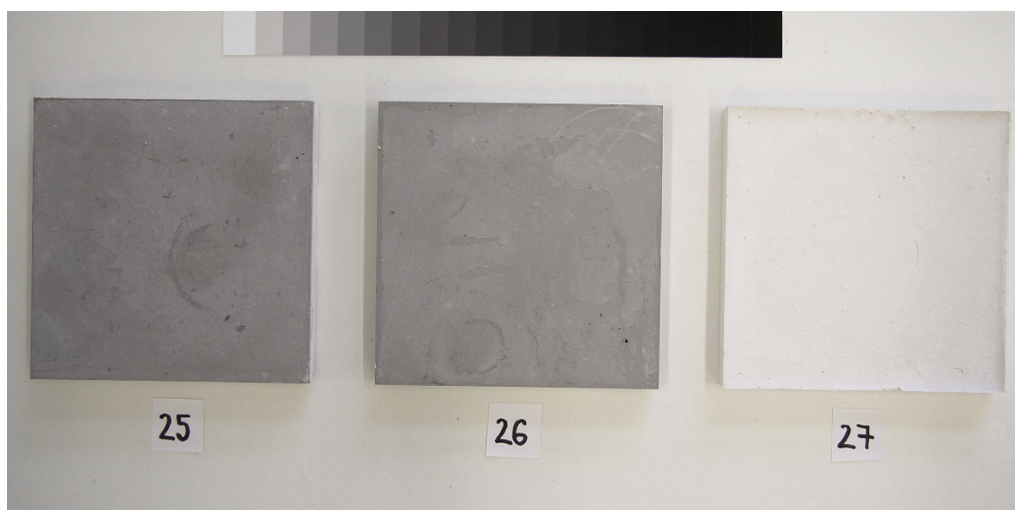
Následující způsob přípravy sádrových modelových vzorků spočíval v nalití směsi sádry a pigmentu v demineralizované vodě na čerstvě připravený sádrový podklad. Cílem bylo získat nejen homogenní krustu stejné tloušťky, ale také krustu dobře přilnutou k podkladu případně s podkladem propojenou. Nejprve byly v rámci zkušebních vzorků testovány rozdílné poměry sádry a vody (1 : 1; 3 : 2 nebo 2 : 1 hm.) v podkladu, různé časy aplikace umělé krusty na sádrový podklad, množství aplikované krusty (10 nebo 15 g suché směsi krusty na 10 nebo 15 g demineralizované vody) a podíl pigmentu v ní (1 nebo 2 % hm.). Byl vyzkoušen také obrácený postup přípravy vzorků, kdy byla do formy nejprve nalita sádra a až poté byl za různé časy do formy nalit sádrový podklad (vzorky č. 25–27 a 31–34, viz Obr. 131). Obrácené vzorky byly nakonec vyřazeny z důvodu špatné adheze krusty k sádrovému podkladu, i jejímu občasnému přichycení ke dnu formy (viz Obr. 132). Způsoby přípravy jednotlivých vzorků jsou detailněji popsány v Tab. 14.

V neposlední řadě byly krusty připravovány jejich nalitím v tekutém stavu na suché sádrové podklady (vzorky č. 27–30 a 59–61). Ukázalo se, že tato příprava byla nejpraktičtější a nejspolehlivější z hlediska reprodukovatelnosti vzorků, krusty navíc vykazovaly dobrou adhezi k podkladu. Jak bylo uvedeno v kapitole 14.3 Příprava umělých krust na sádrovém a vápencovém podkladu, sádrová krusta byla na podklady ze sádry nalita po uplynutí 7 až 11 dnů. Po tuto dobu nebylo s formami manipulováno s cílem získání vodorovných povrchů zaručujících stejnoměrné tloušťky krust. Krusty byly připraveny buď z 5 nebo 10 g suché směsi s 1 % pigmentu smíchané s 30g demineralizované vody. Stejně směsi byly nality také na vzorky vápence. V pozdějších

sadách testování byla na základě výsledků zkoušek čištění použita tenčí varianta krusty připravené z 5 g suché směsi a 30 g demineralizované vody.



Obr. 130 Předběžné zkoušky přípravy umělých sádrovcových krust – aplikace suché směsi sádry a pigmentu na vlhký sádrový podklad před síto



Obr. 131 Předběžné zkoušky přípravy umělých sádrovcových krust – obrácený postup, nalití sádry (podkladu) na nalitou umělou krustu ve formě



Obr. 132 Předběžné zkoušky přípravy umělých sádrovcových krust – poškození tenčí krusty vlivem přichycení k formě při obráceném postupu aplikace

#NÁZEV?	PODKLAD		KRUSTA			
	ČÍSLO VZORKU	poměr sádry a vody	setřeseno přístrojem	množství pig. (%)	poměr suché směsi a vody	množství aplikované krusty (suchá směs + H <sub>2</sub> O) (g)
1	1:1	ano (7x je moc)	2	— (suchá směs)	7	45 (voda z pod. na povrchu)
2	1:1	ne	2	— (suchá směs)	10	40 (voda z pod. na povrchu)
3	3:2	ne	2	— (suchá směs)	10	36 (na povrchu dlouho nebyla voda)
4	1:1	ne	2	— (suchá směs)	15	30 (voda z pod. na povrchu)
5	1:1	ne	2	— (suchá směs)	15	45
6	1:1	ne	2	— (suchá směs)	15	60
7	3:2	ano (5x)	2	1:1	10+10	27
8	1:1	ne	2	1:1	10+10	20
9	1:1	ne	2	2:3	10+15	55
10	1:1	ano (5x)	1	1:1	10+10	162 (až se vsákla voda)
11	1:1	ano (5x)	1	1:1	15+15	285 (až se vsákla voda)
12	3:2	ne	1	1:1	15+15	30
13	3:2	ne	1	1:1	15+15	26 (až se vsákla voda)
14	3:2	ne	1	1:1	10+10	36 (až se vsákla voda)
15	1:1	ne	1	1:1	15+15	130 (až se vsákla voda)
16	2:1	ne	1	1:1	10+10	5
17	3:2	ne	1	1:1	10+10	10
18	3:2	ne	1	1:1	10+10	20 min
19	1:1	ne	1	1:1	10+10	5 (nalito do hodně tekutého)
20	1:1	ne	1	1:1	10+10	10 (nalito do hodně tekutého)
21	1:1	ne	1	1:1	10+10	15
22	2:1	ne	1	1:1	10+10	10
23	1:1	ne	1	1:1	10+10	20
24	3:2	ne	0	1:1	10+10	25
25	3:2	ne	1	1:1	15+15	16 (až se vsákla voda), obrácený postup
26	3:2	ne	1	1:1	15+15	33 (až se vsákla voda), obrácený postup
27	3:2	ne	0,5	1:1	10+10	po vyschnutí (přes týden), obrácený postup
28	3:2	ne	0,5	1:1	10+10	po vyschnutí (přes týden), před aplikací krusty vzorek namočen 70 ml vody
29	3:2	ne	0,5	1:8	10+83	po vyschnutí (přes týden)
30	3:2	ne	0,5	1:3	10+30	po vyschnutí (přes týden), aplikace na zhruběný podklad brusným papírem (40)
31	3:2	ne	0,5	1:2	5+10	15, obrácený postup
32	3:2	ne	0,5	1:3	5+15	15, obrácený postup
33	3:2	ne	0,5	1:2	5+10 (použita 2% jarová voda)	15 - na podkladu voda, obrácený postup
34	3:2	ne	0,5	1:2	5+10 (použita 2% jarová voda)	30 (až se vsákla voda), obrácený postup
35	3:2	ne	0,5	1:2	5+10	10 - na povrchu lehce voda (lesklý povrch)
36	3:2	ne	0,5	1:3	5+15	10 - na povrchu lehce voda (lesklý povrch)
37	3:2	ne	0,5	1:2	5+10 (použita 2% jarová voda)	10 - na povrchu lehce voda
38	3:2	ne	0,5	1:2	5+10 (použita 2% jarová voda)	25 - na povrchu není voda
39	1:1	ne	0,5	— (suchá směs)	12	30 - povrch mokvý, ale není na něm kaluž vody
40	1:1	ne	0,5	— (suchá směs)	12	30 - povrch mokvý, ale není na něm kaluž vody
41	1:1	ne	0,5	— (suchá směs)	12	15 - na povrchu voda, ale bylo jí tam méně než u vz. 42 z důvodu částečného vytečení podkladu z formy. Nebylo tedy docíleno stejného výsledku jako u vz. 42.
42	1:1	ne	0,5	— (suchá směs)	12	15 - na povrchu dost vody, podklad vytekl méně než u vz. 41. došlo k zatopení krusty.
43	3:2	ne	0,5	1:4	2,5+10	10 - na povrchu trochu vody
44	3:2	ne	0,5	1:4	2,5+10	25 - na povrchu žádná voda
45	2:1	ne	0,5	1:1	10+10	5 - na povrchu velká kaluž
46	3:2	ne	0,5	1:1	10+10	10 - na povrchu lehce voda
47	2:1	ne	2	1:1	10+10	5 - na povrchu není voda (lesklý povrch)
48	2:1	ne	4	1:1	10+10	5 - na povrchu není voda (lesklý povrch)
49	2:1	ne	2	2:3	10+15	5 - na povrchu není voda (lesklý povrch)
50	2:1	ne	2	1:4	2,5+10	5 - na povrchu není voda (lesklý povrch), krusta lehce vytekla
51	2:1	ne	2	1:2	5+10	5 - na povrchu není voda (lesklý povrch)
52	2:1	ne	2	1:3	5+15	5 - na povrchu není voda (lesklý povrch), krusta lehce vytekla z formy
53	3:2	ne	2	1:4	2,5+10	10 - na povrchu lehce voda
54	3:2	ne	2	1:2	5+10	10 - na povrchu lehce voda
55	3:2	ne	2	1:3	5+15	10 - na povrchu lehce voda, krusta trochu vytekla z formy
56	3:2	ne	2	1:1	10+10	10 - na povrchu lehce voda
57	3:2	ne	2	2:3	10+15	10 - na povrchu lehce voda, krusta lehce vytekla z formy
58	3:2	ne	2	1:1	10+10	10 - na povrchu lehce voda
59	3:2	ne	2	1:3	10+30	po vyschnutí (přes týden), aplikace na zhruběný podklad brusným papírem (40)
60	3:2	ne	4	1:3	10+30	po vyschnutí (přes týden), aplikace na zhruběný podklad brusným papírem (40)
61	3:2	ne	2	1:3	10+30	po vyschnutí (přes týden)

Tab. 14 Předběžné zkoušky přípravy umělé sádrovcové krusty



### 14.6.1 Vizuální vyhodnocení zkoušek čištění pomocí laserů

Podle předpokladů docházelo k nejintenzivnějším vizuálním změnám při základním nastavení<sup>146</sup> laserů v kombinaci s použitím nejvyšší energie paprsků. Pokud byly změny i v těchto případech nepatrné či nezaznamatelné, byla zvýšena frekvence nebo čas laserování. Obecně lze konstatovat, že čím rasantnější byly podmínky laserování, méně vyšší energie, čas a frekvence, tím intenzivnější změny na zkušebních polích nastaly.

Případné změny umělých krust způsobené laserováním spočívaly ve změně odstínu, barevnosti (žloutnutí nebo šednutí) nebo zviditelnění stop po paprsku laseru. Výsledný vzhled byl více či méně nehomogenní. Úbytky hmoty umělých krust nebyly vizuálně zaznamenány. A to ani u polí s optickými změnami, kde byla provedena zkouška seškrábnutí povrchu pomocí skalpelu. Ukázalo se, že umělá krusta je vizuálně změněna pouze v povrchové vrstvě, pod kterou se vyskytuje zbytek barevně nezměněné krusty.

Modelové krusty byly lasery ošetřeny za sucha nebo po zvlhčení povrchu vodou. Při použití QS laseru Thunder Art bylo lepších výsledků dosaženo po předvlhčení povrchu umělých krust, zatímco v případě laseru EOS 1000 SFR byly uspokojivější výsledky získány při suché aplikaci. Čištění bylo testováno nejprve na silnějších modelových krustách. Na základě pilotních zkoušek bylo přistoupeno také k testování na tenčích umělých krustách. Výsledek ošetření byl v obou případech tloušťek krust stejný, a proto není v následujícím textu více diskutován.

Na reálných krustách na vápencových prvcích byly odzkoušeny oba typy laserů, avšak v případě laseru EOS 1000 SFR byla realizována pouze jedna zkouška, jelikož míra očištění byla minimální. U všech zkoušek na reálných krustách bylo možné zaznamenat její úbytek či kompletní odstranění. Lepších výsledků bylo docíleno použitím QS laseru Thunder Art. Nejintenzivnější nastavení laseru bylo vzhledem k uspokojivým výsledkům aplikováno pouze na suchý povrch krusty. Při použití nižší frekvence laseru bylo zapotřebí pro dosažení srovnatelného výsledku krustu předvlhčit.

Výsledky aplikace laserů na modelových vzorcích a vzorcích reálných krust podrobně uvádějí následující odstavce.

---

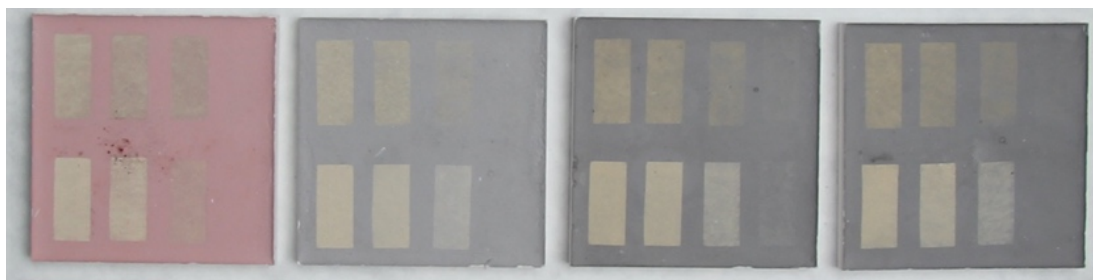
<sup>146</sup> Základní nastavení bylo následující: průměr spotu asi 0,5 cm, frekvence 10 Hz, čas čištění 1 nebo 0,5 min.

### Umělé krusty na sádře: Q-switched laser Thunder Art, 1064 nm

Při použití QS laseru Thunder Art s vlnovou délkou 1064 nm docházelo k obdobným jevům na všech typech umělých krust (viz Obr. 133 a 134). Zásadním pozorovaným jevem byla změna barevnosti ošetřených polí na odstíny okrové až žluté barvy, kterou lze považovat za negativní aspekt čištění. U zkoušek provedených na sucho se povrch zbarvil do tmavě okrového odstínu, při vlhčení byla výsledná barevnost světlejší, spíše žlutá. Změny byly celkově celkem homogenní, avšak při vyšších energiích byl výsledný vizuál polí homogennější. Nejintenzivnější změnu barevnosti lze zaznamenat při použití vyšších energií (220 a 200 mJ), zejména pak u mokrého čištění bylo docíleno velmi světlého povrchu. Výraznější změnu barevnosti bylo možné sledovat ještě při použití energie 180 mJ, avšak při použití energie 160 mJ nebyl výsledek téměř patrný. Vizuálně nebyly pozorovány úbytky krusty.

		Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 1064 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	220 mJ 10 Hz 1 min	200 mJ 10 Hz 1 min	180 mJ 10 Hz 1 min	160 mJ 10 Hz 1 min	
	mokrý aplikace	220 mJ 10 Hz 2 min	200 mJ 10 Hz 2 min	180 mJ 10 Hz 2 min	160 mJ 10 Hz 2 min
		5	6	7	8

Obr. 133 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder Art při nastavení vlnové délky 1064 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech



Obr. 134 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole mokrá varianta čištění)

## Umělé krusty na sádře: Q-switched laser Thunder Art, 532 nm

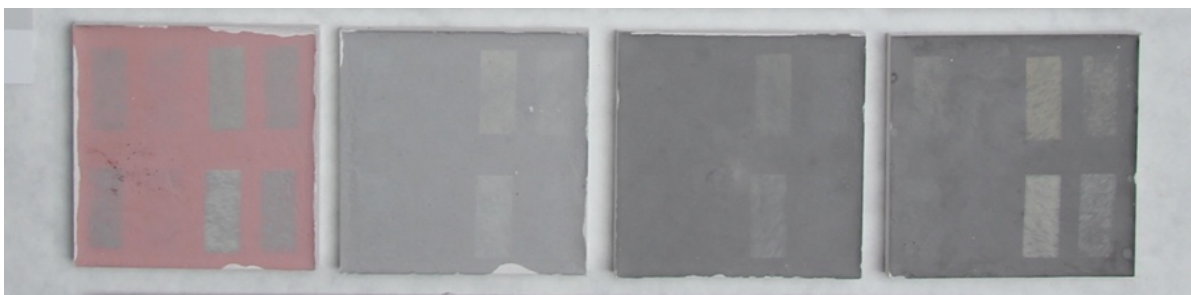
Při nastavení QS laseru Thunder Art na vlnovou délku 532 nm byly zkoušeny pouze nejvyšší energie laseru 220 mJ a 200 mJ. Pouze při těchto energiích byly v základním nastavení v některých případech patrné změny po čištění. Jednalo se zejména o pole s železitou červení. V ostatních případech, tedy při čištění krust se sazovou a železitou černí, se změny po laserování neprojevily nebo se projevily velmi nepatrně (viz Obr. 135 a 136 – levá polovina jednotlivých vzorků). Proto byla zvýšena frekvence z 10 Hz na 20 Hz a aplikována na všechny typy krust. Při frekvenci 20 Hz byly obecně změny vždy výraznější než při nižší frekvenci laseru (viz Obr. 135 a 136 – pravá polovina jednotlivých vzorků). Vizuálně nebyly pozorovány úbytky krusty.

Dále lze konstatovat, že v případě změn bylo možné vidět stopy od laserového paprsku, což způsobuje výsledný nehomogenní vizuální efekt. Zkoušky provedené na suchých krustách mají lehce žlutý odstín. Ten lze eliminovat namočením podkladu, čímž dojde také k navýšení efektivity, tedy intenzivnějšímu zesvětlení krusty, ale zřejmě také k zintenzivnění viditelnosti stopy po laserování.

U vzorku krusty připravené z železité červeně došlo k viditelnému ztmavnutí povrchu do šeda.

		Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 532 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	220 mJ 10 Hz 1 min	200 mJ 10 Hz 1 min	220 mJ 20 Hz 1 min	200 mJ 20 Hz 1 min	
	mokrý aplikace	220 mJ 10 Hz 2 min	200 mJ 10 Hz 2 min	220 mJ 20 Hz 1 min	200 mJ 20 Hz 1 min
		5	6	7	8

Obr. 135 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder art při nastavení vlnové délky 532 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech



*Obr. 136 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole mokrá varianta čištění)*

### **Umělé krusty na sádře: EOS 1000 SFR laser**

Nejprve lze shrnout, že byly zaznamenány obdobné tendence změn na krustách se sazovou a železitou černí. Změny povrchů krust se sazovou černí však byly mírně intenzivnější při stejných podmínkách laserování. Na základě předběžných zkoušek byly sestupně aplikovány energie laseru od nejvyšších hodnot (1000, 800, 600 mJ), kdy byly zaznamenány největší změny po ošetření krust se sazovou a železitou černí, po energii, kdy nebyly změny patrné nebo byly zanedbatelné (350 mJ). Kvůli zanedbatelným změnám při nižších energiích a krátkých dobách ošetření byly krusty s železitou červení zpravidla čištěny nejvyššími energiemi laseru (1000, 800 a 600 mJ) při delších časech.

Změny u všech druhů krust spočívaly převážně v dosažení světlejšího odstínu po očištění. V některých případech byla změna barevnosti doprovázena viditelnou stopou po laserovém paprsku. Se vzrůstající energií bylo zesvětlení čištěných ploch zpravidla intenzivnější. Žloutnutí ošetřených ploch bylo možné pozorovat také u krust z železité červeně. Vizually nebyly pozorovány úbytky krust. Čištěny byly dvě sady vzorků lišící se zejména ve způsobu aplikace a použitých časech.

Základem první sady zkoušek bylo suché a mokré čištění zkušebních polí po dobu 0,5 min (viz Obr. 137 a 139). U krust se sazovou a železitou černí bylo za tuto dobu možné ošetřit celé plochy zkušebních polí s viditelnými změnami za sucha při vyšších energiích laseru. V případě krusty s železitou červení byla doba čištění navýšena z 0,5 na 3 min, jelikož při použití stejných podmínek laserování s nejvyšší energií 1000 mJ nebyly na krustě patrné žádné změny (viz Obr. 138 a 139). U vlhčených polí téměř všech vzorků nebylo dosaženo žádného výsledku. Pouze u vzorků se sazovou černí bylo možné při nastavení energie na 1000 mJ a 800 mJ pozorovat lokální zesvětlení povrchu.



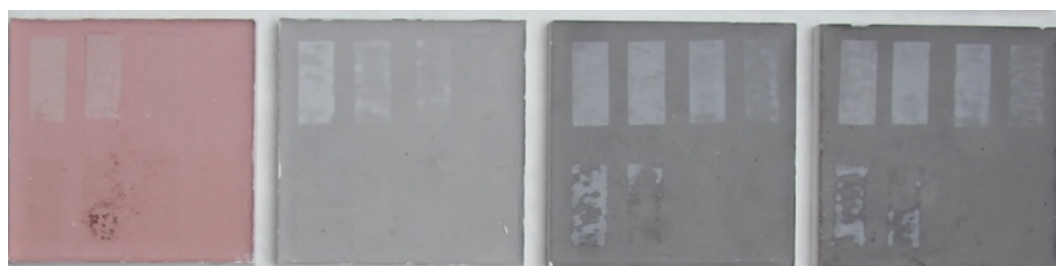
Avšak na těchto zkušebních polích byly vidět stopy od laserového paprsku s vizuálně nehomogenním výsledkem. Proces čištění při navlhčení povrchu nebylo možné kontrolovat kvůli ztmavnutí krusty v důsledku jejího navlhčení. Změny se projeví až po vyschnutí povrchu po ošetření.

		EOS 1000 SFR laser λ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 0,5 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 0,5 min	1,8 J/cm <sup>2</sup> 350 mJ 0,5 min	
	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 0,5 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 0,5 min	1,8 J/cm <sup>2</sup> 350 mJ 0,5 min	
		5	6	7	8

Obr. 137 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (1. série vzorků)

		EOS 1000 SFR laser λ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
		1	2	3	4
suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 3 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 3 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 3 min	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	
	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 3 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 3 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 3 min	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	
		5	6	7	8

Obr. 138 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou krustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 1. série)



Obr. 139 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole mokrá varianta čištění)

Na základě výše uvedeného byly mokré zkoušky vyhodnoceny jako nevyhovující a bylo přistoupeno k druhé sadě čištění, a to pouze suchého povrchu krust (viz Obr. 140–142). Kvůli dosažení homogenních změn a srovnatelnosti s čištěním laserem QS Thunder Art byla dále v rámci druhého testování navýšena doba čištění. Krusty se sazovou a železitou černí byly namísto 0,5 min čištěny 1 min (viz. viz Obr. 140 a 142) a krusta s železitou červení byla v jednom případě namísto 3 min čištěna 4 min (viz Obr. 141 a 142). V případě jednoho zkušebního pole u vzorku se sazovou černí byl

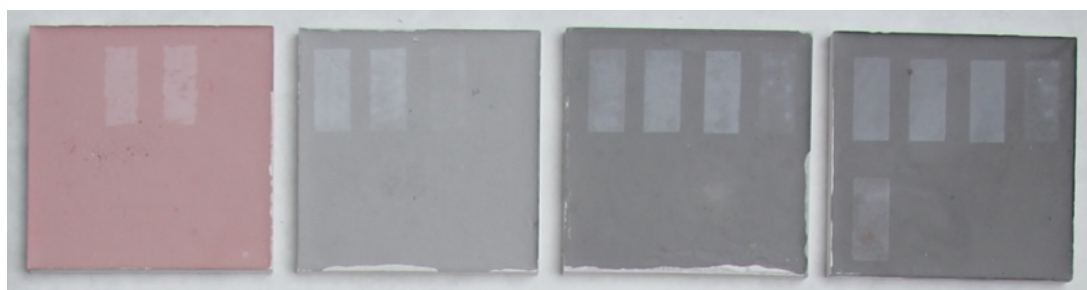
prezentován vliv ještě delšího času (2 min). Při těchto podmínkách došlo nejen k zesvětlení, ale také částečnému zhnědnutí povrchu krusty (viz Obr. 140 a 142, spodní vzorek).

EOS 1000 SFR laser λ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm				
	1	2	3	4
suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 1 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 1 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 1 min	1,8 J/cm <sup>2</sup> 350 mJ 1 min
suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 2 min	Zkouška č. 5 realizována pouze v jednom případě u vzorku umělé krusty z 1% sazové černě.		
	5			

Obr. 140 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (2. série vzorků)

EOS 1000 SFR laser λ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm				
	1	2	3	4
suchá aplikace	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 3 min	4,1 J/cm <sup>2</sup> 800 mJ 3 min	3,1 J/cm <sup>2</sup> 600 mJ 4 min	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 1 min

Obr. 141 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou krustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 2. série)



Obr. 142 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole pouze jedna zkoušku u vzorku vpravo)

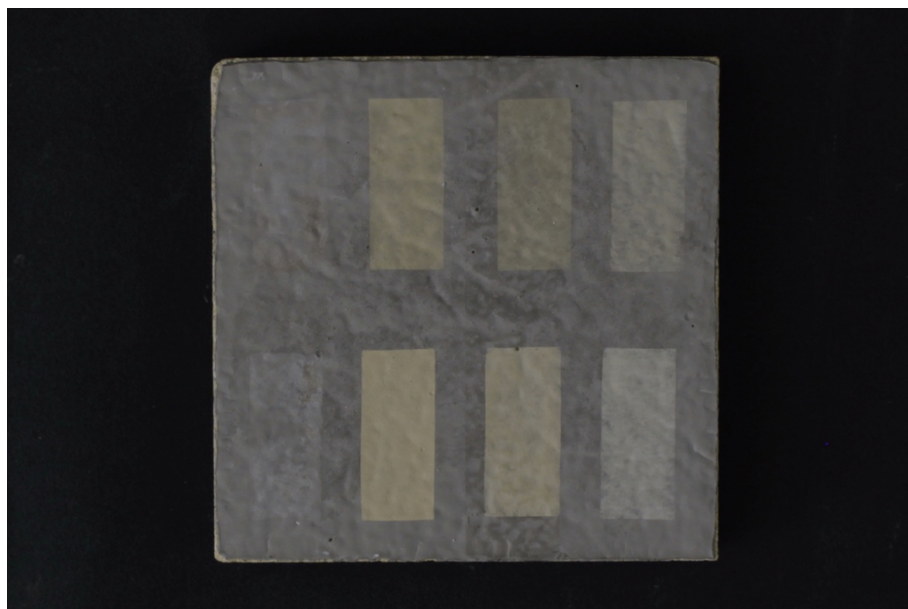
### Umělá krusta na vápenci: EOS 1000 SFR laser a QS laser Thunder Art

Výsledek čištění umělé krusty se sazovou černí na vápencovém podkladu (viz Obr. 143 a 144) byl totožný jako při použití laserů při stejných nastavení na umělé krusty se sazovou černí na sádrovém podkladu. Pouze u EOS 1000 SFR laseru byl výsledek čištění umělé krusty na vápenci méně výrazný a bylo možné pozorovat lokální zhnědnutí povrchu na rozdíl od stejné aplikace na sádrovém vzorku. Tento rozdíl byl v kontextu práce zanedbatelný. Použitím QS laseru Thunder Art při vlnové délce 1064 nm byl povrch krusty více zesvětlen při mokré aplikaci, zatímco u suché krusty bylo

čištěním docíleno tmavšího okrového zbarvení. U vlnové délky 532 nm v kombinaci s vyšší frekvencí (20 Hz) bylo zkušební pole zbarveno do světlého odstínu okrové. Tento barevný posun nenastal po namočení povrchu před použitím laseru, kdy došlo k zesvětlení povrchu, nikoliv změně jeho barvy. U této vlnové délky bylo možné pozorovat málo znatelné stopy po laserovém paprsku.

Lasery a jejich nastavení	EOS 1000 SFR laser $\lambda$ 1064 nm, frekvence 10 Hz, průměr bodu 5 mm			
	Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 1064 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm			
	Q-switched laser Thunder Art $\lambda$ 532 nm, Qdly 175 $\mu$ s, průměr bodu 5 mm			
suchá aplikace	1	2	3	4
	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 1 min	220 mJ 10 Hz 1 min	200 mJ 10 Hz 1 min	220 mJ 20 Hz 1 min
mokrú aplikace	5	6	7	8
	5,1 J/cm <sup>2</sup> 1000 mJ 0,5 min	220 mJ 10 Hz 2 min	200 mJ 10 Hz 2 min	220 mJ 20 Hz 1 min

Obr. 143 Schéma zkoušek čištění umělé sádrovcové krusty ze sazové černi na vápencovém podkladu



Obr. 144 Zkoušky laserů na umělé krustě ze sazové černi na vápencovém podkladu

## **Reálné krusty na vápenci: EOS 1000 SFR laser a QS laser Thunder Art**

Na základě zkoušek laserování umělých krust byly zvoleny podmínky použití laserů na reálných krustách (viz Tab. 15). Testy byly provedeny na totožných prvcích, které byly podrobeny aplikaci bakteriálních čistících systémů (viz Obr. 145 a 146).

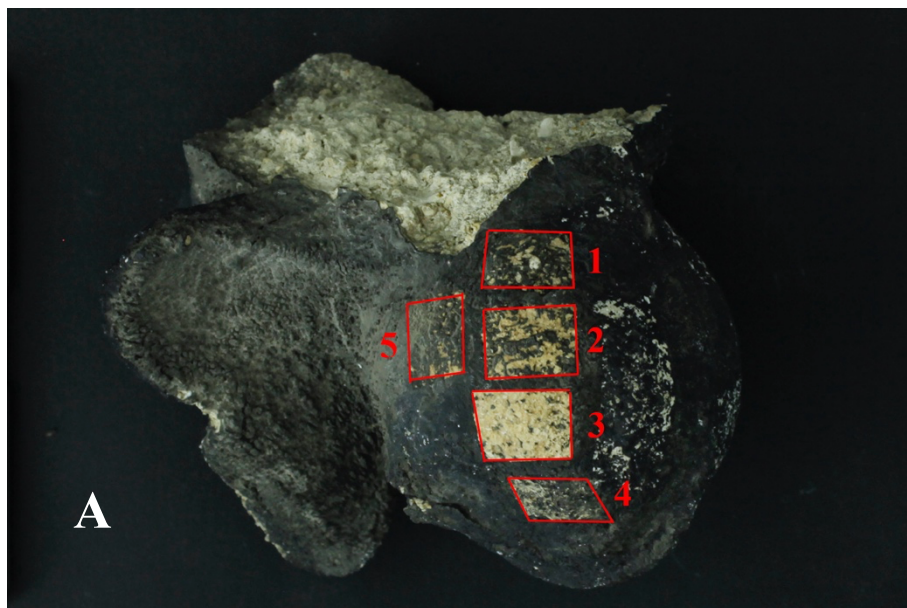
Ve všech případech došlo k úplnému nebo částečnému odstranění krust. Až na zkoušku č. 3 u prvku A nebylo u žádného pole dosaženo homogenního odstranění krust. K nejmenším změnám došlo při použití EOS 1000 SFR laseru, který byl vyzkoušen na vápencovém prvku B. V tomto případě byla krusta lehce zesvětlena a docházelo k jejímu sprašování (zkouška č. B5).

Nejintenzivnějšího odstranění krust na jednotlivých prvcích bylo podle očekávání docíleno s laserem QS Thunder Art s vlnovou délkou 1064 nm, nejvyšší energií (220 mJ) a frekvencí 20 Hz (zkoušky č. 3). U zkoušky č. 3 měl odhalený povrch kamene více či méně okrový odstín. Krusty byly v těchto případech čištěny zasucha. Světlejší krusta přítomná na prvku B (zkouška č. 3) se obecně vyznačovala méně výraznými změnami. Protože byly při uvedených podmínkách krusty odstraněny ve velké míře až zcela, nebyly již provedeny zkoušky s tímto nastavením laseru na zvlhčeném povrchu.

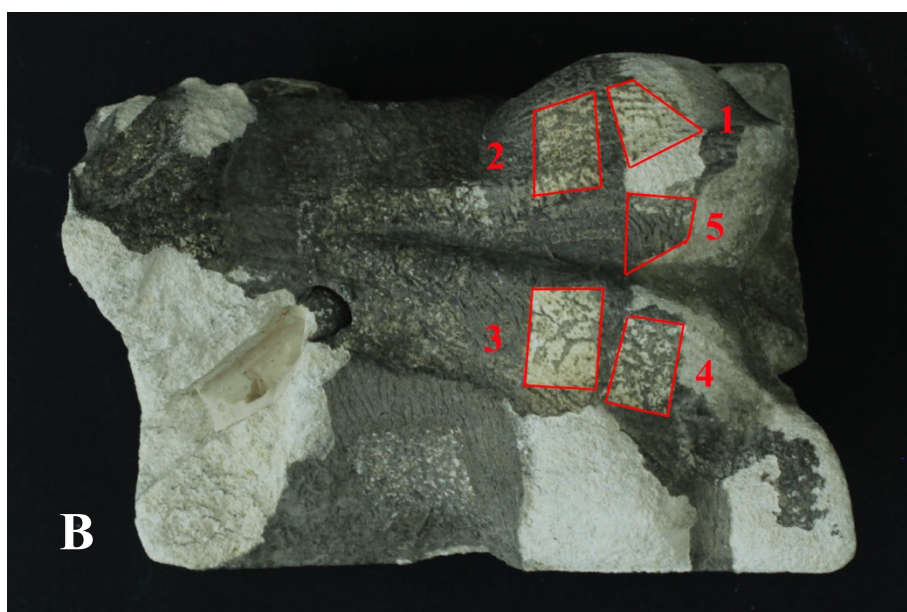
U prvku B byl výsledek čištění tohoto pole (zkouška č. 3) srovnatelný se zkouškou č. 1, která byla očištěna stejným laserem, tedy QS laserem Thunder Art s totožnou vlnovou délkou (1064 nm) a energií paprsku (220 mJ), avšak s nižší frekvencí (10 Hz) za mokra. Při stejném nastavení laseru, ale při suché aplikaci byl povrch zbarven do okrova (zkouška č. 2) a výsledek čištění nebyl podle očekávání tak intenzivní jako u zkoušek č. 3 a 1. Nejméně intenzivní redukce krust QS laserem Thunder Art potom na prvku B nastala při použití vlnové délky 532 nm, nejvyšší energie svazku (220 mJ) i frekvence 20 Hz (zkouška č. 4).

Na prvku A bylo při použití QS laseru Thunder Art s energií 220 mJ a frekvencí 10 Hz čištění intenzivnější na suchém poli (zkouška č. 2) nežli na předem vlhčené ploše (zkouška č. 1). Tento jev nebyl předpokládán. Očekávalo se, že tomu bude naopak. Při použití vlnové délky 532 nm a nejintenzivnějších podmínkách čištění (220 mJ, 20 Hz) za mokra došlo podle očekávání k menším změnám (zkouška č. 4). Výsledný efekt očištění byl na prvku A nejméně intenzivní při použití vlnové délky 1064 nm s nižší energií laseru (200 mJ) než u ostatních zkoušek (zkouška č. A5).





Obr. 145 Zkoušky laserového čištění na vápencových prvcích s reálnou krustou, prvek  
A



Obr. 146 Zkoušky laserového čištění na vápencových prvcích s reálnou krustou, prvek  
B

<b>Q-switched laser Thunder Art 220 mJ, Qdly 175 <math>\mu</math>s, průměr bodu 5 mm</b>	
1	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, mokrá aplikace
2	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, suchá aplikace
3	$\lambda$ 1064 nm, 20 Hz, suchá aplikace
4	$\lambda$ 532 nm, 20 Hz mokrá aplikace
<b>Q-switched laser Thunder Art 200 mJ, Qdly 175 <math>\mu</math>s, průměr bodu 5 mm</b>	
A5	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, mokrá aplikace
<b>EOS 1000 SFR laser 1000 mJ, 3,5 J/cm<sup>2</sup>, průměr bodu 5 mm</b>	
B5	$\lambda$ 1064 nm, 10 Hz, mokrá aplikace

*Tab. 15 Popis zkoušek čištění pomocí laserů na vápencových prvcích s reálnou krustou*

#### **14.6.2 Vizualní vyhodnocení pilotních zkoušek čištění pomocí bakterií**

Po pilotní aplikaci bakterií nebyly na vzorcích pozorovány úbytky modelových sádrovcových krust nebo byly případné úbytky tak malé, že nemohly být okem rozpoznatelné. Vizualně byly vyhodnocovány i fotograficky dokumentovány také čistící gelové zábaly po jejich odstranění ze vzorků. Nebyly zaznamenány rozdíly mezi odstraněnými gelovými zábaly s pufrů a zábaly s čistícími bakteriálními systémy.

Zjednodušeně lze shrnout že výsledek biologického čištění pomocí filtrovaných bakterií v Carbogelu byl vizualně srovnatelný s výsledkem aplikace samotného fosfátového pufru v gelu z Carbogelu (viz Obr. 147 a 148). V obou případech bylo možné na povrchu zaznamenat světlejší místa v podobě malých bodů (viz Obr. 151, fotografie nalevo a napravo). V případě použití nefiltrovaných bakterií se povrch po očištění jevil vizualně světlejší a homogennější (viz. Obr. 147–151, vzorek uprostřed, v případě dvou vzorků fotografie napravo).

Dále byla filtrovaná bakteriální suspenze aplikována na fragmenty vápence s reálnou krustou. Pro srovnání byla na architektonických prvcích také vyzkoušena aplikace demineralizované vody v 1% Carbogelu se stejnou dobou působení, tedy 24 h.

Na základě vizuálního posouzení lze konstatovat, že oběma čistícími systémy bylo docíleno obdobného výsledku v podobě srovnatelného ztenčení reálných sádrovcových krust (viz Obr. 152).

Z výše uvedených poznatků nelze stanovit jasné závěry a pilotní aplikaci bakteriální suspenze adekvátně vyhodnotit. Výsledky byly následně zhodnoceny podrobněji pomocí instrumentálních metod na fragmentech odebraných z vybraných čištěných ploch. Vyhodnocení bylo provedeno optickou mikroskopií na připravených nábrusech odebraných vzorků.



*Obr. 147 Horní polovina vápencových vzorků s umělou krustou (sádra + sazová čern) očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo), nefiltrovaných bakterií (uprostřed) a samotného fosfátového pufru (vpravo)*



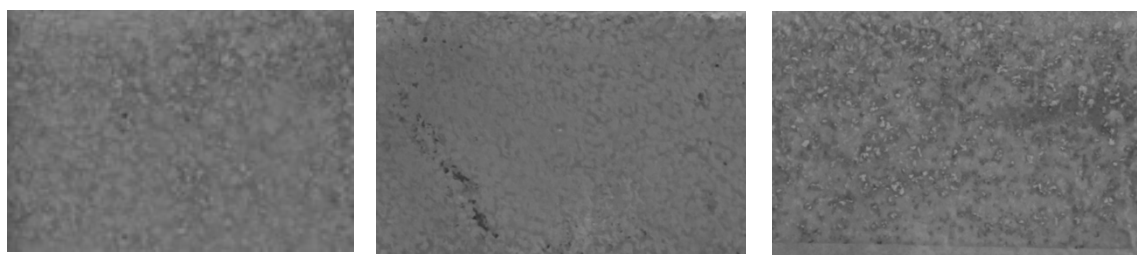
*Obr. 148 Horní polovina sádrových vzorků s umělou krustou (sádra + sazová čern) očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo), nefiltrovaných bakterií (uprostřed) a samotného fosfátového pufru (vpravo)*



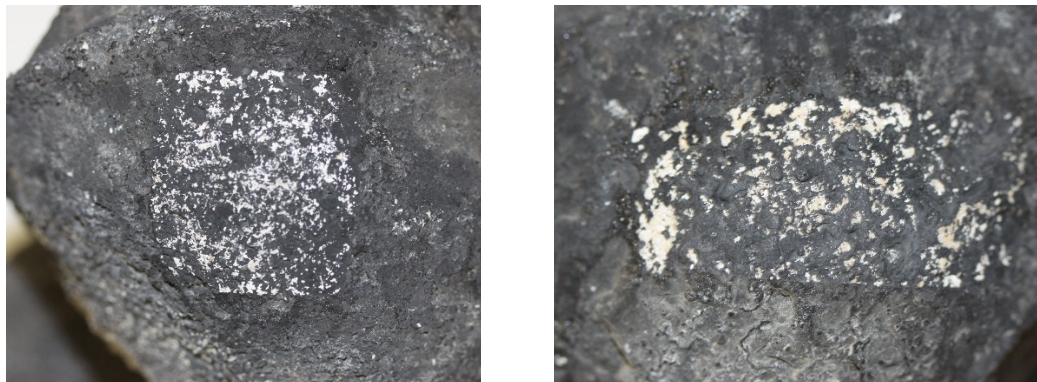
*Obr. 149 Horní polovina sádrových vzorků s umělou krustou (sádra + železitá čern) očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo) a nefiltrovaných bakterií (uprostřed)*



*Obr. 150 Horní polovina sádrových vzorků s umělou krustou (sádra + železitá červeň) očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo) a nefiltrovaných bakterií (uprostřed)*



*Obr. 151 Detaily očištěných umělých krust (sádra + sazová čerň) na sádrovém podkladu pomocí filtrovaných bakterií (nalevo), nefiltrovaných bakterií (uprostřed) a samotného fosfátového pufry (vpravo). Možné pozorovat homogenitu očištění u prostředního vzorku a světlejší body u postranních vzorků*



*Obr. 152 Detaily vyčištěných ploch reálné krusty na vápenci: čištěné pole bakteriálním systémem (nalevo), pole čištěné vodou po 24h aplikaci v Carbogelu (vpravo). Obě pole byla dočištěna plastovým kartáčkem s demineralizovanou vodou*

### **14.6.3 Výsledky mikroskopického průzkumu**

Do mikroskopického průzkumu bylo zahrnuto 21 vzorků umělých krust na modelových podkladech (sádra, vápenec) a 1 vzorek z reálné krusty na vápenci z kamenného prvku. V případě modelových krust byly odběry vzorků provedeny prakticky na všech plochách čištěných bakteriemi nebo pufry. U laserového čištění byla k odběru vzorků vybrána pole s největšími změnami po laserování. Z přírodní krusty



byl odebrán 1 vzorek z nejvíce očištěného povrchu laserem, čehož bylo docíleno při nesilnějším nastavení laseru. Z přírodních krust čištěných bakteriemi nebyly vzorky odebrány. Mimo jiné proto, že již z vizuálního pozorování bylo zřejmé, že jsou krusty redukovány ve srovnatelné míře jako při použití demineralizované vody a případná redukce krust není průkazná.

#### **Vzorky umělých krust čištěných pomocí bakterií**

K průzkumu bylo odebráno 11 vzorků. Z průzkumu vyplynulo, že použitím bakterií nebo samotného pufru nebylo docíleno odstranění nebo ztenčení krust. Míra očištění byla žádná nebo neprůkazná. Výsledky obou aplikací byly srovnatelné. Avšak charakter povrchu umělé krusty byl lehce pozměněn, jelikož u všech odebraných vzorků bylo možné pozorovat, že povrch čištěných ploch je méně hladký.

#### **Vzorky umělých krust čištěných pomocí laserů**

K průzkumu bylo odebráno 10 vzorků z vybraných ploch ošetřených lasery. Níže uvedené výsledky jsou shodné pro čištění umělých krust aplikovaných na sádře i na vápenci.

Z provedených zkoušek laserem EOS 1000 SFR byl odebrán jeden vzorek z plochy čištěné za sucha pomocí nejvyšší energie laseru (1000 mJ). Mikroskopickým pozorováním povrchu vzorku bylo potvrzeno, že po čištění je povrch světlejší. Na snímcích nábrusu nebyla změna odstínu v průřezu zaznamenána. U krusty nebyl pozorovatelný žádný úbytek krusty, avšak očištěný povrch byl méně hladký. Podobně tomu bylo v případě použití QS laseru Thunder Art.

U odebraných vzorků krust po ošetření QS laserem Thunder Art s vlnovou délkou 1064 nm bylo možné pozorovat změnu barevnosti povrchu krust, konkrétně zežloutnutí. Podle předpokladů se na nábrusech potvrdilo, že změna barevnosti nastala pouze na povrchu krust a zbytek krust (spodní část) zůstal nezměněn. U vzorků odebraných z krust se sazovou černí bylo navíc možné na povrchu kusových vzorků sledovat stopy po laseru. Avšak ztenčení krusty nebylo u žádného ze vzorků průkazně zaznamenáno.

Stejně fenomény bylo možné sledovat i při použití QS laseru Thunder Art při nastavení vlnové délky 532 nm, kdy došlo ke změně barevnosti pouze v povrchové vrstvě a u odebraných vzorků nebylo možné pozorovat žádný úbytek krusty. Na vzorcích

s železitou červení bylo pozorováno šednutí povrchu krusty, v ostatních případech došlo ke žloutnutí.

#### **Vzorek reálné krusty očištěný pomocí laseru**

Ze škály provedených zkoušek byl odebrán pouze 1 vzorek, a to z rozhraní neočištěné a očištěné plochy QS laserem Thunder Art při nastavení vlnové délky 1064 nm a nejvyšší energie paprsku 220 mJ. Z mikroskopického průzkumu vzorku je patrné, že došlo k odstranění krusty v celé tloušťce a pravděpodobně s krustou nebyl odstraněn původní materiál (vápenec).

## 15 DISKUZE A SHRNU TÍ

### 15.1 Teoretické předpoklady vyplývající z rešerše literatury

Bakteriálním čištěním se zabývá mnoho zahraničních studií, které prezentují bakterie jako novou velice šetrnou alternativu k zavedeným metodám odstraňování sádrovcových krust z kamenných objektů. Již z rešerše literatury bylo patrné, že se jedná o vysoce specializovanou problematiku, vyžadující přesahy do oboru mikrobiologie i úzkou spolupráci s biochemickým/mikrobiologickým pracovištěm. Pro provedení experimentů bylo navíc zapotřebí vhodný druh desulfurikačních bakterií *Desulfovibrio vulgaris* nejen efektivně kultivovat, ale běžný postup kultivace také vhodných způsobem na základě publikovaných prací modifikovat. Přestože byla v této souvislosti navázána spolupráce s Katedrou biologických a biochemických věd Univerzity Pardubice, která má s kultivací uvedeného druhu bakterií zkušenosti, ukázalo se, že je toto téma velice náročné a přesahuje zamýšleným rozsahem kapacitu diplomové práce. Z tohoto důvodu lze práci považovat za počáteční vstup do nastíněné problematiky a zároveň za cenný podklad pro plánované experimenty, které bude zapotřebí v budoucnu nadále rozvíjet.

Pro možnost objektivního vyhodnocení účinnosti biologického čištění sádrovcových krust bylo rozhodnuto bakteriální systém vyzkoušet nejen na prvcích s reálnými sádrovcovými krustami, ale i na reprodukovatelných modelových vzorcích s umělými krustami. Současně záměrem práce bylo porovnat výsledky aplikace bakteriálního systému s čištěním pomocí dostupných laserů. Jiné běžně používané metody čištění nebyly testovány. Na základě odborné literatury, zkušeností z restaurátorské praxe a jiných prací provedených na Fakultě restaurování se totiž použití laserů ukazuje jako nejlepší varianta z hlediska kombinace šetrnosti, selektivity i efektivity odstraňování černých krust.

### 15.2 Příprava modelových vzorků s umělou krustou, vhodnost vzorků

Aplikace bakterií na modelové vzorky, tedy uměle vytvořené krusty není v odborné literatuře popsána. Bakteriálními systémy byly v publikovaných pracích čištěny pouze reálné krusty. V tomto směru se tedy jedná o inovativní přístup v této problematice. Jedním z cílů testování na umělých krustách bylo získat systematický přehled o aktivitě bakterií a oba čisticí systémy standardizovaným způsobem vyzkoušet i porovnat, před

tím, než budou vybraným neoptimálnějším způsobem aplikovány na reálné krusty, které lze považovat za poměrně heterogenní materiály. Podklady k výrobě umělých krust byly čerpány ze studií zabývajících se čištěním sádrovcových krust pomocí laserů, kde je však problematika modelových vzorků řešena v jiném kontextu. Z této literatury jako nejvhodnější postup přípravy byla zpočátku zvolena aplikace umělé krusty ze směsi sádry a pigmentu v sypkém (suchém) stavu na čerstvý ještě vlhký sádrový podklad. Takto připravená krusta byla vizuálně podobná přírodní krustě, avšak nebylo možné docílit rovnoměrné aplikace krusty na podklad, což bylo pro první experimenty zásadní kritérium výběru. Výsledkem byla nehomogenní krusta, kterou nebylo možné reprodukovat. Pro porovnatelnost vzorků tedy bylo přistoupeno k přidání vody do směsi, tak aby bylo možné umělou krustu aplikovat nalitím na vlhký sádrový podklad. V rámci experimentu bylo zjištěno, že u vlhkých sádrových podkladů nelze zaručit jejich identické vlastnosti při aplikaci umělé krusty, jelikož na vytvrnutí sádry má vliv mnoho faktorů jako například rychlost a doba míchání směsi. Z těchto důvodů bylo ve finální fázi experimentu přistoupeno k nalití umělé krusty na suchý sádrový nebo vápencový podklad. Do směsi umělé krusty bylo přidáno více vody než při její aplikaci na vlhké podklady sádry tak, aby došlo k jejímu rozlití po celém povrchu vzorků. K docílení stejné tloušťky umělých krust v ploše bylo zapotřebí kamenné podklady před nalitím krusty vyrovnat pomocí vodováhy a při přípravě sádrových podkladů nemanipulovat s formami na jejich odlití.

Na základě studia literatury a teoretické přípravy se nepředpokládalo, že bude proces nalezení optimálního postupu přípravy vyhovujících modelových vzorků velmi časově náročný, jak se ukázalo v praxi. Získané poznatky lze velmi stručně shrnout do následujících bodů:

- Modelové vzorky splnily jisté předpoklady, kvůli kterým byly zhotoveny, zejména tedy snadnost přípravy a získání vyššího počtu reprodukovatelných vzorků s rovnoměrnou krustou u níž lze měnit její tloušťku definovaným způsobem.
- Modelové vzorky byly dobře dostupné, snadno a rychle zhotovitelné, bylo možné docílit rovnoměrné, reprodukovatelné a v ploše stejnoměrné tloušťky krust a tloušťku variovat množstvím výchozích materiálů (směsi sádry a pigmentu); snadný odběr vzorků; z uvedených hledisek se lépe pracovalo se sádrovým podkladem.



- Sádrové modelové vzorky byly vhodnější z výše uvedených důvodů zejména pro čištění lasery, pro jejich snadnou výrobu zaručující rychlé získání mnoha reprodukovatelných vzorků, oba typy modelových vzorků při čištění lasery vykazovaly stejné/obdobné výsledky a tendence.
- Z praktické aplikace bakteriálního systému vyplynulo, že je z hlediska praxe i optimálních podmínek pro bakteriální systém zřejmě vhodnější využít vápencové vzorky s umělou krustou nežli sádrové; sádra může být pro tento účel příliš nasákavým materiálem.
- Reálné vzorky určené k testování v laboratoři nebyly překvapivě snadno získatelné, zároveň nebude snadné vyhodnotit výsledky kvůli heterogenitě krust; je ale samozřejmé, že bez testů na reálných krustách nemá práce smysl, jelikož umělé krusty nemohou autenticky nahradit přírodní sádrovcovou krustu.

### 15.3 Kultivace a aplikace bakteriální suspenze

Jelikož měla Katedra biologických a biochemických věd Univerzity Pardubice s druhem bakterií *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* zkušenosti, nebylo zapotřebí optimalizovat postup jejich kultivace k získání požadované koncentrace řádově  $10^8$  buněk/ml. Bylo tedy postačující pro zkušební kultivaci následovat postup zavedený tímto pracovištěm. K dispozici byl na oddělení druh *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* DSM 644 pocházející ze stejné lokality, jako druh v uvedených publikacích<sup>147</sup>. Odstranění černého sulfidu z bakteriální suspenze bylo provedeno filtrací. Oproti publikovaným pracím nemohla být filtrace provedena v anaerobní atmosféře. I proto byly aplikovány také nefiltrované bakterie, jak bude uvedeno níže, jejichž aktivita není ovlivněna filtrací. Také příprava gelu byla na rozdíl od některých doporučení provedena na vzduchu, zejména kvůli reálnosti použití v restaurátorské praxi. V případě zkušebních testů se nepředpokládala aerobní příprava za problematickou, jelikož byl gel připravován a aplikován bezprostředně po kultivaci bakterií a dosažení jejich vysoké koncentrace a zřejmě i aktivity. Na základě první zkušenosti s kultivací bakterií lze konstatovat, že využití bakteriálního čistícího systému při praktickém restaurování

---

<sup>147</sup> Ve studovaných publikacích se pracuje s druhem *Desulfovibrio vulgaris subsp. Vulgaris* ATCC® 29579™, na pracovišti Univerzity Pardubice byl k dispozici druh *Desulfovibrio vulgaris subsp. Vulgaris* DSM 644, jedná se o druh ze stejné lokality (totožný druh), dodaný různými bakteriálními bankami.

památek je vzhledem k její vysoké specializaci, ale také nutnosti využití biologického/biochemického pracoviště a jeho odborníků velmi limitující.

Bakteriální systém byl v publikovaných pracích aplikován v různých nosičích. Postupem doby se bakterie ve většině případů aplikují v gelu Carbogel, který byl v rámci rešerše vyhodnocen jako nejlepší aplikační systém. Proto byly bakteriální suspenze aplikovány v gelu z Carbogelu i během prováděných experimentů. Na základě technického listu produktu a předběžných zkoušek s demineralizovanou vodou byla použita 1% (hm.) koncentrace gelu Carbogel, která byla svou konzistencí vyhovující i v kombinaci s bakteriální suspenzí. V rámci experimentu byla vyzkoušena aplikace nejen filtrovaných, ale i nefiltrovaných bakterií a pro srovnání byla aplikována také samotná demineralizovaná voda nebo jen fosfátový pufr v Carbogelu. Během experimentu bylo zjištěno, že v případě nefiltrovaných bakterií je potřeba navýšit hmotnostní koncentraci Carbogelu z 1 % na 2 %, aby nebyla konzistence vzniklého gelu příliš tekutá. Nefiltrované bakterie byly do experimentu zahrnuty i přesto, že jejich použití není v literatuře doporučováno, protože obsahují tmavý produkt jejich metabolismu (černý sulfid železitý). Ten podle odborné literatury může způsobovat nežádoucí tmavé zbarvení čištěného povrchu. Tento fenomén však nebylo možné při zkušební kultivaci potvrdit nebo vyvrátit, protože při aplikaci černé nefiltrované bakteriální suspenze nedošlo k odstranění umělých krust, a tudíž nebyl odhalen světlý odstín podkladu, na kterém by byla tato případná změna vidět. Nefiltrované bakterie byly pro porovnání aplikovány kvůli jejich předpokládané dostatečné aktivitě, která mohla být teoreticky snížena u filtrované bakteriální suspenze filtrací v aerobních podmínkách.

Bakteriální systém byl při první zkušební kultivaci aplikován pouze v jednom cyklu trvajícím 24 hodin, s předpokladem, že se k opakovanému a rozšířenému testování přistoupí až v rámci dalších kultivací a zkoušek. První kultivace byly provedeny zejména kvůli vyzkoušení schůdnosti postupu kultivace na daném pracovišti. Dále měly být na jejich základě získány základní zkušenosti s přípravou gelů i případnými úskalími spojenými s aplikací čistících systémů a postupem naplánovaných testů. K jejich realizaci však již z časových a praktických důvodů v rámci diplomové práce nedošlo. Bakteriální systém byl při první zkušební kultivaci aplikován pouze v jednom cyklu trvajícím 24 hodin s předpokladem, že se k opakovanému a rozšířenému testování přistoupí až v rámci dalších kultivací a zkoušek. V odborné literatuře se uvádí, že

bakteriální systém je běžně aplikován ve dvou až třech cyklech. Na základě výsledků zkušební aplikace lze konstatovat, že výsledný efekt nebyl žádný nebo špatně prokazatelný, jelikož byl srovnatelný s aplikací demineralizované vody v gelu nebo s čistým fosfátovým puforem ve stejném nosiči. Nejpravděpodobnějším důvodem nefunkčnosti bakteriálního systému byla nízká relativní vlhkost prostředí při jeho aplikaci, případně relativně krátká doba působení na čištěný povrch, která neumožnila jejich dostatečnou adaptaci na nové prostředí. První aplikace byla provedena v zimním období, ve kterém byla relativní vlhkost prostředí laboratoře pouhých 24 % a teplota 24 °C. Přestože byly vzorky s aplikovanými gely velmi pečlivě několikrát zabaleny do polyuretanové fólie, mohlo dojít při takto suchých podmínkách vzduchu k urychlenému vysychání gelu a snížení aktivity bakterií.

Druhým důvodem mohl být nedostatečný počet aplikačních cyklů, jejichž navýšení, jak již bylo uvedeno, je plánováno v následujících testech. Z uvedeného a na základě konzultací s autorkou mnohých stěžejních publikací na toto téma, profesorkou mikrobiologie Francescou Cappitelli z Univerzity v Miláně dále vyplynulo, že je zapotřebí zejména u filtrovaného systému mikroskopicky zkontrolovat aktivitu bakterií. Na druhou stranu lze ale dodat, že minimálně v případě aplikace nefiltrovaných bakterií byly mikroorganismy s největší pravděpodobností aktivní dostatečně. Bakterie byly totiž aplikovány v momentě dosažení kulminace jejich koncentrace ( $10^8$  buněk/ml) a zároveň při jejich dostatečné aktivitě vzhledem k vyvíjenému černému produktu jejich metabolismu. Bude dále konzultováno, zda v příštích aplikačních testech bakteriální suspenzi připravit stejným způsobem zahrnujícím filtraci černého sulfidu v aerobních podmínkách nebo přistoupit k použití anaerobního prostředí. Nebo zda bude použit druhý způsob přípravy, v jehož rámci jsou z kultivačního média nejprve eliminovány sírany a nemůže proto nežádoucí černý sulfid, který je produktem metabolismu bakterií, vznikat.

## **15.4 Použití laserů**

Jak bylo uvedeno, jedním ze záměrů práce bylo bakteriální čištění porovnat s použitím dvou typů pevnolátkových laserů. Tato metoda odstraňování sádrovcových krust byla vybrána na základě odborné literatury a zkušeností z restaurátorské praxe. Jedná se o nejcitlivější způsob odstranění krusty, který má však své limity jako jsou finanční nákladnost, změna barevnosti čištěného povrchu a komplikovanější logistika

v exteriérových podmínkách. Konkrétně se jednalo o QS laser Thunder Art a laser EOS 1000 SFR. K odstraňování sádrovcových krust je v restaurátorské praxi více používán QS laser Thunder Art. Laser EOS 1000 SFR je spíše v Ateliéru restaurování kamene Fakulty restaurování využíván k čištění slabších znečištění artefaktů ze sádry, jelikož k odstraňování sádrovcových krust nebývá příliš účinný. V rámci prováděných experimentů byly nejprve systematicky zkoušeny aspekty, mající vliv na výsledný efekt čištění. Patří mezi ně zejména typ laseru, nastavení vlnové délky, energie a podmínek čištění nebo vlhčení čištěného povrchu. V neposlední řadě je podstatná zkušenost operátora s přístrojem, materiálová podstata nečistot či barevný rozdíl mezi podkladem a čištěnou krustou. Bohužel nemohly být z technických důvodů u QS laseru Thunder Art testovány všechny vlnové délky, kterými tento laser disponuje. Vyzkoušeny byly vlnové délky 1064 nm a 532 nm, nefunkční byla vlnová délka laseru 355 nm.

Cílem zkušebních aplikací obou laserů bylo nejprve na modelových vzorcích s umělými krustami vytvořit škálu zkoušek zahrnující nejvyšší energetickou hustotu paprsku a spodní hranici energetické hustoty, při níž bude změna po čištění ještě patrná. Mohly tak být systematicky vysledovány tendence změn po aplikaci různých nastavení laserů a také jejich případná účinnost. K tomuto účelu se ukázaly jako velmi vhodné modelové vzorky umělých krust na sádrovém podkladu, kvůli jejich snadné a reprodukovatelné přípravě. Z experimentu vyplynulo, že se při stejných podmínkách čištění docílí vizuálně i mikroskopicky srovnatelného výsledku u umělých krust na modelových vzorcích z vápence jako ze sádry. Na základě testů provedených na umělých krustách byly vybrány podmínky pro laserové čištění reálných krust přítomných na vápencových prvcích odstraněných z katedrály sv. Štěpána ve Vídni.

#### **15.4.1 Čištění umělých krust pomocí laserů**

Obecně lze konstatovat, že největších změn bylo dle předpokladů docíleno při nastavení vyšších energetických hustot svazku obou laserů. Na modelových vzorcích s umělými krustami změny nejčastěji spočívaly v zesvětlení čištěných povrchů či změně jejich barevnosti. Větší změny byly často doprovázeny viditelnými stopami po laserovém paprsku. Odstranění krusty nebylo možné vizuálně ani mikroskopicky pozorovat. Je možné, že případné úbytky krust byly tak malé, že nebyly průkazné.

Zjednodušeně lze shrnout, že při čištění pomocí QS laseru Thunder Art s oběma použitými vlnovými délkami docházelo ke žloutnutí povrchu umělých krust. Při aplikaci



vlnové délky 532 nm na krusty s železitou červení se projevovaly změny v podobě zžednutí povrchu. Tyto negativní efekty jsou v odborné literatuře mnohokrát popsány.<sup>148</sup> Je zde uvedeno, že žloutnutí lze částečně potlačit snížením energetické hustoty nebo zvlhčením čištěného povrchu, což se v rámci experimentu potvrdilo. Nižší energetická hustota paprsku je sice šetrnější, avšak ve většině případů málo účinná, anebo úplně neúčinná. Po zvlhčení povrchu byla čištěná plocha nejen méně zežloutlá, ale docházelo také k intenzivnějšímu zesvětlení povrchu, což by mělo být způsobeno vyšší účinností laserů při větším barevném rozdílu mezi podkladem a černou krustou. V restaurátorské praxi lze efekt žloutnutí eliminovat následných jemným mikropískováním nebo zábaly s destilovanou vodou.

Při použití laseru EOS 1000 SFR spočívaly změny v zesvětlení čištěných polí. Lepších výsledků bylo dosaženo u suché aplikace, jelikož u mokré varianty nebylo možné proces čištění vizuálně kontrolovat z důvodu ztmavnutí povrchu vlivem namočení. Což způsobilo, že u mokrých zkoušek, na kterých bylo možné pozorovat zesvětlení odstínu krusty, se vyskytovaly nežádoucí stopy po laserovém paprsku a výsledek čištění byl neheterogenní. U jednoho očištěného pole byl prezentován vliv vysoké energetické hustoty a delšího času působení na výsledný efekt, kterým bylo zhnědnutí povrchu. Podle nepublikovaných předběžných zkoušek i literatury může být tento negativní účinek umocněn tmavší barvou krusty nebo nedostatečnou zkušeností operátora.

#### **15.4.2 Čištění reálných krust vápencových prvků pomocí laserů**

Na základě zkušeností s lasery v restaurátorské praxi a výsledků zkoušek provedených v experimentální části lze předpokládat, že pro odstranění sádrovcových krust je vhodnější použít QS laser Thunder Art při nastavení vlnové délky 1064 nm a nejvyšších energiích svazku. Účinnost tohoto laseru při tomto nastavení byla potvrzena i při aplikaci na reálných krustách přítomných na vápencových prvcích z katedrály sv. Štěpána ve Vídni, kde laserováním došlo k úbytku krusty. To se nedá říct o zkouškách provedených na vzorcích s umělou krustou, protože u nich nastala pouze změna odstínu krusty, ale viditelné odstranění nebylo možné pozorovat. Na základě

---

<sup>148</sup> OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.  
GRACIA; GRAVIÑO; VERGÈS-BELMIN a kol. 2005.  
POULI; EMMONY. 2000.  
MROVĚC. 2017.

poznatků o laserovém čištění a vyhodnocení experimentální části lze konstatovat, že použití laserů k odstranění krust je velmi selektivní a při správném nastavení i dostatečné zkušenosti obsluhy nedochází k úbytku hmoty kamene.

## IV. ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena na praktickou a teoretickou část. Praktická část se zabývá komplexním restaurátorským zásahem provedeným na pískovcovém sousoší Nejsvětější Trojice z Oseckého údolí, zatímco teoretická část se zaměřuje na bakteriální čištění sádrovcových krust na kameni.

Hlavním předmětem diplomové práce je restaurování sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí. Součástí památky je i podstavec, který restauroval jiný student Fakulty restaurování Samuel Schreiber. Na základě nápisu na podstavci lze konstatovat, že památku nechal vytvořit litomyšlský měšťan Václav Svoboda v roce 1873. Socha se před restaurováním nacházela ve stavu, kdy Nejsvětější Trojici chyběly hlavy, Ježíši Kristovi pravá ruka a částečně i levá, jelikož ta v ruce držela kříž, který byl ulomen. Dalším atributem, který zaniknul bylo žezlo v levé ruce Boha Otce. Z těchto důvodů byl před zahájením samotného restaurování proveden rozsáhlý umělecko-historický průzkum, v rámci kterého byla dohledána kresba od Quida Šimka zachycující sousoší mezi lety 1921–1933 a historická fotografie z roku 1961. U kresby se uvádí, že k ulomení kříže došlo v roce 1919 a z historické fotografie je patrné, že k ulomení hlav a žezla došlo až po vzniku snímku. Pro správné doplnění chybějících částí byly dohledány sochařské analogie. Dále byl proveden chemicko-technologický a restaurátorský průzkum, jejichž cílem bylo zjistit materiálový stav památky. Na základě získaných poznatků a nastavené koncepce bylo přistoupeno k samotnému restaurátorskému zásahu. Nejprve došlo párou a kartáčky k očištění povrchu sochy od biologického napadení a následně k laserovému odstranění nebo alespoň částečnému ztenčení přítomných sádrovcových krust. Poté bylo přistoupeno k odsolení objektu pomocí buničínového zábalu ve třech cyklech. V další fázi byla provedena konsolidace povrchu díla pomocí zpevňovače na bázi esteru kyseliny křemičité a injektáž přítomných prasklin. V závěru restaurování byla chybějící modelace skulptury doplněna plastickou retuší a větší části byly doplněny v umělém kameni podle předloh uvedených výše. Výdusky byly osazeny na kovové armatury a všechny plastické doplňky byly sjednoceny barevnou retuší. Poté byla socha osazena nazpět do Oseckého údolí, kde byl povrch skulptury hydrofobizován. Postup restaurování a použité materiály byly zvoleny na základě provedených zkoušek. Všechny restaurátorské kroky byly konzultovány s vedením Atelieru restaurování kamene na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

Teoretická část diplomové práce je vstupním výzkumem do problematiky odstraňování sádrovcových krust z kamene pomocí bakterií. Její realizace byla financována z projektu studentské grantové soutěže (SGS, registrační číslo projektu: SGS\_2022\_018) probíhající na Univerzitě Pardubice v roce 2022. V úvodu práce byla provedena literární rešerše na dané téma, která byla rozšířena o publikované možnosti přípravy umělé sádrovcové krusty. Z rešerše vyplynul vhodný druh bakterií na daný účel, postup i úskalí jeho kultivace, optimální aplikační podmínky i způsoby aplikace. Na základě získaných poznatků bylo přistoupeno k experimentům, které zahrnovaly několik dílčích úkolů. V první řadě došlo k odborné kultivaci desulfurikačních bakterií *Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris* DSM 644 na Katedře biologických a biochemických věd Univerzity Pardubice.<sup>149</sup> Na stejném pracovišti bylo přistoupeno k jejich aplikaci v Carbogelu na sádrové a vápencové podklady s litou umělou krustou a na vápencové prvky s reálnou krustou, které byly získány z katedrály sv. Štěpána ve Vídni. Kromě filtrovaných bakterií byly do experimentu zahrnuty nefiltrované bakterie a aplikace demineralizované vody v Carbogelu nebo samotného fosfátového pufry ve stejném nosiči. K tomuto účelu byly připraveny reprodukovatelné vzorky umělých sádrovcových krust daných tloušťek s plochou  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  na dvou podkladech, kterými byly sádra a organodetrčitický vápenec.

Kromě bakterií bylo v experimentální části testováno použití dvou typů pevnolátkových laserů (QS laser Thunder Art a EOS 1000 SFR laser), jenž se běžně využívají v restaurování k čištění. Zkoušky laserového čištění byly podobně jako bakteriální čistící systémy nejprve realizovány na modelových vzorcích a po jejich vyhodnocení byl jejich zúžený výběr odzkoušen na vápencích s přírodní sádrovcovou krustou. Výsledky čištění lasery byly v závěru práce mezi sebou zhodnoceny z hlediska změn zkušebních ploch po čištění i možné efektivity v závislosti na podmínkách laserování i použitém druhu laseru. Kromě dalších dílčích fenoménů bylo zjištěno, že lze reálné sádrovcové krusty úspěšně odstranit QS laserem Thunder Art při nastavení nejvyšších energií a větších frekvencích laserového paprsku u obou vlnových délek (1064 a 532 nm). Efektivnější bylo čištění s vlnovou délkou 1064 nm, při které bylo možné dosáhnout šetrně až úplného odstranění sádrovcových krust. A to i přesto, že nebyl povrch krusty před čištěním zvlhčen vodou.

---

<sup>149</sup> Kultivace provedla Ing. Květa Koryčanová Ph.D.



Na základě vyhodnocení experimentální části a provedené rešerše odborné literatury lze konstatovat, že zavedení desulfurikačních bakterií do restaurátorské praxe je poměrně komplikované. Jedná se totiž o rozsáhlou problematiku, která vyžaduje specializované postupy a nadstandartní mezioborovou spolupráci. Rozsah tohoto tématu přesahuje předepsaný objem a časové možnosti diplomové práce. Je proto nutné brát tuto práci jako úvod do této problematiky, který může sloužit jako výchozí bod pro práci, které se v budoucnu tímto tématem budou zabývat. I přesto, že v rámci experimentální části byla realizována pouze vstupní kultivace a následná aplikace bakteriálního systému pouze v jednom cyklu na povrch umělé či reálné krusty, vyplývá z výsledků mnoho doporučení pro následující práce.

Lze doporučit testování bakteriálního systému nejdříve na modelových vzorcích s umělou krustou a následně na vzorcích s reálnou přírodní krustou. Vzorky s umělou krustou nemohou nahradit reálné krusty, ale mohou posloužit pro reprodukovatelnost zkoušek a poskytnout možnost bakteriální systém odzkoušet a porovnat tyto zkoušky s jiným typem čištění nebo alespoň naznačit problematické fenomény, které jsou s čištěním spjaté. V dalších pracích by měla být pozornost věnována přípravě filtrovaných bakterií v anaerobních podmínkách či odstranění sulfidu železitého z kultivátu v úvodu práce, tak aby nemuselo dojít k filtraci bakteriální suspenze v aerobním prostředí, které může mít vliv na funkčnost bakterií. Dalším faktorem ovlivňující aktivitu bakterií může být vysoká teplota a nízká vlhkost vzduchu během aplikace. Tento fakt je potřeba brát v zřetel a přizpůsobit tomu okolní podmínky aplikace bakteriálního systému. Experimentální část by bylo také vhodné rozšířit o průzkum bakterií před aplikací z hlediska jejich aktivity, která by byla potvrzena mikroskopicky. Lze uvažovat o tomto průzkumu i v průběhu aplikace. Lepšího výsledku čištění by mohlo být docíleno také při aplikaci bakteriálního systému ve více cyklech.

## 16 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

### 16.1 Seznam použité literatury

ALFANO; LUSTRATO; BELLI a kol. 2011.

ALFANO, Gabriele; LUSTRATO, Giuseppe; BELLI, Claudia a kol. The bioremoval of nitrate and sulfate alterations on artistic stonework: The case-study of Matera Cathedral after six years from the treatment. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2011, **65**(7), s. 1004–1011 [cit. 12. 1. 2023]. eISSN 1879-0208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.07.010>.

ATLAS; CHOWDHURY; GAURI. 1988.

ATLAS, M. Ronald; CHOWDHURY, Ahad N. a GAURI, K. Lal. Microbial Calcification of Gypsum-Rock and Sulfated Marble. *Studies in Conservation* [online]. 1988, **33**, s. 149–153 [cit. 10. 9. 2022]. eISSN 20470584. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/sic.1988.33.3.149>.

BAYER. 2006.

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: DRDÁCKÝ, Miloš (ed.). *European Research on Cultural Heritage: State of the Art Studies*. Praha: ITAM – Centre of Excellence Academy of Sciences of the Czech Republic, 2006, s. 97–108. ISBN 8086246213.

BERTHONNEAU; PARENT; GRAUBY a kol. 2019.

BERTHONNEAU, Jeremie; PARENT, Philippe; GRAUBY, Olivier a kol. Yellowing of laser-cleaned artworks: Formation of residual hydrocarbon compounds after Nd:YAG laser cleaning of gypsum plates covered by lamp black. *Journal of Cultural Heritage* [online]. 2019, **39**, s. 57–65 [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 1778-3674. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.02.014>.

BOSCH-ROIG; LUSTRATO; ZANARDINI a kol. 2014.

BOSCH-ROIG, Pilar; LUSTRATO, Giuseppe; ZANARDINI, Elisabetta a kol. Biocleaning of Cultural Heritage stone surfaces and frescoes: which delivery system can be the most appropriate? *Annals of Microbiology* [online]. 2014, **65**(3), s. 1227–1241 [cit. 7. 12. 2022]. ISSN 1869-2044. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0938-4>.

Bezpečnostní listy: Hydrogenuhlíčan amonný.

Bezpečnostní listy: Hydrogenuhlíčan amonný. *Penta: chemicals unlimited* [online]. Praha: PENTA, 2023 [cit. 2023-08-06]. Dostupné z: <https://www.pentachemicals.eu/bezpecnostni-listy>.

BOŠTÍK. 2007.

BOŠTÍK, Martin. *Spasitel všednosti Quido Šimek (1857-1933): život a dílo neobyčejného litomyšlského kupce*. Praha Litomyšl: Paseka, 2007. ISBN 978-80-7185-849-2.

BURKHARDOVÁ. 2019.

BURKHARDOVÁ, Stella. *Restaurování vápencové sochy ozbrojence (v památkovém katalogu uváděno jako socha boha Marta) ze státního zámku v Uherčicích*. Bakalářská práce. Litomyšl: 2019. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování kamene. Vedoucí práce MgA. Petr Rejman.

CAPPITELLI; ZANARDINI; TONIOLO a kol. 2005.

CAPPITELLI, Francesca; ZANARDINI, Elisabetta; TONIOLO, Lucia a kol. Bioconservation of the marble base of the Pietà Rondanini by Michelangelo Buonarroti. *Geophysical Research Abstracts* [online]. 2005, **7** [cit. 12. 1. 2023]. ISSN 1607-7962. Dostupné z: ResearchGate, [https://www.researchgate.net/publication/312975290\\_Bioconservation\\_of\\_the\\_marble\\_base\\_of\\_the\\_Pieta\\_Rondanini\\_by\\_Michelangelo\\_Buonarroti](https://www.researchgate.net/publication/312975290_Bioconservation_of_the_marble_base_of_the_Pieta_Rondanini_by_Michelangelo_Buonarroti).

CAPPITELLI; ZANARDINI; RANALLI a kol. 2006.

CAPPITELLI, Francesca; ZANARDINI, Elisabetta; RANALLI, Giancarlo a kol. Improved Methodology for Bioremoval of Black Crusts on Historical Stone Artworks by Use of Sulfate-Reducing Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 2006, **72**(5), s. 3733–3737 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1098-5336. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/AEM.72.5.3733-3737.2006>.

CAPPITELLI; TONIOLO; SANSONETTI a kol. 2007.

CAPPITELLI, Francesca; TONIOLO, Lucia; SANSONETTI, Antonio a kol. Advantages of Using Microbial Technology over Traditional Chemical Technology in Removal of Black Crusts from Stone Surfaces of Historical Monuments. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 2007, **73**(17), s. 5671–5675 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1098-5336. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/AEM.00394-07>.

Collections: CCUG 34227T - *Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris*.

Collections: CCUG 34227T - *Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris*. *CCUG: CULTURE COLLECTION UNIVERSITY OF GOTHENBURG* [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://www.ccug.se/strain?id=34227>.

Collection: *Desulfovibrio vulgaris*: DSM 644.

Collection: *Desulfovibrio vulgaris*: DSM 644. *DSMZ: Leibniz Institute DSMZ-German Collection of Microorganisms and Cell Cultures GmbH* [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://www.dsmz.de/collection/catalogue/details/culture/DSM-644>.

COOPER; EMMONY; LARSON. 1992.

COOPER Martin I.; EMMONY, David C. a LARSON, John H. A Comparative Study of the Laser Cleaning of Limestone. In: RODRIGUES, J. Delgado; HENRIQUES, Fernando M. A. a JEREMIAS, Filipe Telmo (eds.) *Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone Held in Lisbon, Portugal, 15–18 June 1992*. Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1992. s. 1307–1311. ISBN 978-972-4914-831.



COOPER; EMMONY; LARSON. 1995.

COOPER, Marin I.; EMMONY, David C. a LARSON, John H. Characterization of laser cleaning of limestone. *Optics & Laser Technology* [online]. 1995, **27**(1), s. 69–73 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1879-2545. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0030-3992\(95\)93962-Q](https://doi.org/10.1016/0030-3992(95)93962-Q).

DOEHNE; PRICE. 2010a

DOEHNE, Erik Ferguson a PRICE, Clifford A. Active Conservation: Cleaning. In: *Stone Conservation: An Overview of Current Research. 2*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2010. s. 29–33. ISBN 978-1-60606-046-9.

DOEHNE; PRICE. 2010b

DOEHNE, Erik Ferguson a PRICE, Clifford A. *Stone Conservation: An Overview of Current Research. 2*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2010. ISBN 978-1-60606-046-9.

ĎOUBAL. 2015.

ĎOUBAL, Jakub. *Kamenné památky Kutné Hory: Restaurování a péče o sochařská díla*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-906-7.

ELHAGRASSY; HAKEEM. 2018.

ELHAGRASSY, Abeer F. a HAKEEM, Amira. Comparative Study of Biological Cleaning and Laser Techniques for Conservation of Weathered Stone in Failaka Island, Kuwait. *Journal of Applied Science and Technology* [online]. 2018, **4**(2), s. 43–50 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 0855-2215. Dostupné z: DOI: 10.5281/zenodo.1214561.

ELHAGRASSY; HAMAD. 2018.

ELHAGRASSY, Abeer F. a HAMAD, Rasha T. Bio-Cleaning by *Desulfovibrio vulgaris* bacteria for black gypsum crust of archaeological stone. *مجلة مركز حضارات البحر المتوسط* [online]. 2018, s. 5–21 [cit. 7. 12. 2022]. ISBN 2682-3152. Dostupné z: <https://doi.org/10.21608/midcul.2018.225069>.

FASSINA. 1988.

FASSINA, Vasco. Pollution atmosphérique et altération de la pierre. In: LAZZARINI, Lorenzo; PIEPER, Richard (ed.). *La dégradation et la conservation de la pierre: Texte des cours internationaux de Venice sur la restauration de la pierre* [online]. Venice: UNESCO, 1988, s. 91–142 [cit. 22. 3. 2022]. Dostupné z: UNESCO: UNESDOC: Digital Library, <https://unesdoc.unesco.org/about/contacts>.

GAURI; CHOWDHURY; KULSHRESHTHA a kol. 1989.

GAURI, K. Lal.; CHOWDHURY, Ahad N.; KULSHRESHTHA, Niraj P. a kol. The Sulfation of Marble and the Treatment of Gypsum Crusts. *Studies in Conservation* [online], 1989, **34**(4), s. 201–206 [cit. 14. 5. 2022]. ISSN 0039-3630. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/sic.1989.34.4.201>.

GAURI. 1992.

GAURI, K. Lal. Removal of Sulphated-Crust from Marble Using Sulphate-Reducing Bacteria. In: WEBSTER, Robin G. M. (ed.) *Stone cleaning and the nature, soiling and decay mechanisms of stone: proceedings of the International conference held in Edinburgh, UK, 14-16 April 1992*. London: Donhead Publishing, 1992, s. 160–165. ISBN 9781873394090.

GIOVENTÙ; LORENZI; VILLA a kol. 2011.

GIOVENTÙ, Eleonora; LORENZI, Paola Franca; VILLA, Federica a kol. Comparing the bioremoval of black crusts on colored artistic lithotypes of the Cathedral of Florence with chemical and laser treatment. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2011, **65**(6), s. 832–839 [cit. 12. 1. 2023]. eISSN 1879-0208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.06.002>.

GIOVENTÙ; LORENZI; IMPROTA a kol. 2012.

GIOVENTÙ, Eleonora; LORENZI, Paola Franca; IMPROTA, Maria Cristina a kol. Bacterial Cleaning Technology for Marble Surfaces Affected by Black Crust: Comparison with Chemical and Laser Treatments. In: Columbia University (ed.). *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone: Oral Presentations—Methods and Materials of Cleaning, Conservation, Repair and Maintenance*. New York: Columbia University, 2012. [cit. 13. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/s/fLKAYdjuYc0DCFbm>.

GIOVENTÙ; LORENZI. 2013.

GIOVENTÙ, Eleonora a LORENZI, Paola Franca. Bio-Removal of Black Crust from Marble Surface: Comparison with Traditional Methodologies and Application on a Sculpture from the Florence's English Cemetery. *Procedia Chemistry* [online]. 2013, **8**, s. 123–129 [cit. 7. 12. 2022]. ISSN 1876-6196. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2013.03.017>.

GODET; VERGÈS-BELMIN; ANDRAUD a kol. 2016

GODET, Marie; VERGÈS-BELMIN, Véronique; ANDRAUD, Christine a kol. Laser yellowing of hematite-gypsum mixtures: a multi-scale characterization. In: HUGHES, John a HOWIND, Torsten (ed.). *Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone* [online]. Vyd. 2. Paislay: University of the West of Scotland, 2016, s. 785–792 [cit. 22. 3. 2022]. eBook ISBN: 978-1-903978-55-9. Dostupné z: Academia, [https://www.academia.edu/28516454/Science\\_and\\_Art\\_A\\_Future\\_for\\_Stone\\_Proceedings\\_of\\_the\\_13th\\_International\\_Congress\\_on\\_the\\_Deterioration\\_and\\_Conservation\\_of\\_Stone\\_Volume\\_2](https://www.academia.edu/28516454/Science_and_Art_A_Future_for_Stone_Proceedings_of_the_13th_International_Congress_on_the_Deterioration_and_Conservation_of_Stone_Volume_2).

GODET; VERGÈS-BELMIN; BROMBLET a kol. 2018.

GODET, Marie; VERGÈS-BELMIN, Véronique; BROMBLET, Philippe a kol. Fly-ash contribution to Nd:YAG laser yellowing and its mitigation using UV-B light. *Journal of Cultural Heritage* [online]. 2018, **29**, s. 36–42. [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 1778-3674. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.07.005>.

GODET; VERGÈS-BELMIN; GAUQUELIN a kol. 2018.

GODET, Marie; VERGÈS-BELMIN, Véronique; GAUQUELIN, Nicolas a kol. Nanoscale investigation by TEM and STEM-EELS of the laser induced yellowing. *Micron* [online]. 2018, **115**, s. 25–31 [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 1878-4291. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.micron.2018.08.006>.

GODET; VERGÈS-BELMIN; SAHEB a kol. 2019.

GODET, Marie; VERGÈS-BELMIN, Véronique; SAHEB, Mandana a kol. Laser induced yellowing of hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based samples: a XANES and optical spectroscopy investigation. *SN Applied Sciences* [online]. 2019, **1**(8):893 [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 2523-3971. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0947-9>.

GOMEZ-HERAS; SMITH; VILES. 2008.

GOMEZ-HERAS, Miguel; SMITH, Byron J. a VILES, H. A. Laboratory Modelling of Gypsum Crust Growth on Limestone Related to Soot Pollution and Gaseous Sulphur: Implications of 'Cleaner' Environments for Stone Decay. In: ŁUKASZEWICZ, Jadwiga W., NIEMCEWICZ, Piotr (ed.). *Proceedings // 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Toruń: Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2008, s. 105–112. ISBN příspěvku z konference 9788323122364, ISBN tisku 8323122369. Dostupný z: Academia, [https://www.academia.edu/1209669/Laboratory\\_modelling\\_of\\_gypsum\\_crust\\_growth\\_on\\_limestone\\_related\\_to\\_soot\\_pollution\\_and\\_gaseous\\_sulphur\\_implications\\_of\\_cleanerenvironments\\_for\\_stone\\_decay](https://www.academia.edu/1209669/Laboratory_modelling_of_gypsum_crust_growth_on_limestone_related_to_soot_pollution_and_gaseous_sulphur_implications_of_cleanerenvironments_for_stone_decay)

GRACIA; GRAVIÑO; VERGÈS-BELMIN a kol. 2005.

GRACIA, M.; GRAVIÑO, M.; VERGÈS-BELMIN, Véronique a kol. Mössbauer and XRD Study of the Effect of Nd-YAG-1064 nm Laser Irradiation on Hematite Present in Model Samples. In: DICKMANN, Klaus; FOTAKIS, Costas a ASMUS, John F. (eds.). *Lasers in the Conservation of Artworks, Springer Proceedings in Physics* [online]. Berlin: Springer, 2005, s. 341–346 [cit. 18. 4. 2022]. eISSN 1867-4941. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/b138716>.

HALSEY; DEWS; MITCHELL a kol. 1996.

HALSEY, David P.; DEWS, S. John; MITCHELL, D. J. a kol. The Black Soiling of Sandstones Buildings in the West Midlands England: Regional Variations and Decay Mechanism. In: SMITH, Bernard J. a WARKE, Patricia A. (eds.). *Processes of urban stone decay*. London: Routledge, 1996, s. 53–66. ISBN 9781873394205.

CHANDRA, ENESPA; KUMAR a kol. 2020.

CHANDRA, Prem; ENESPA; KUMAR, Rajesh a kol. The Role of Microorganisms in Removal of Sulfates from Artistic Stonework. In: YADAV, Ajar Nath; RASTEGARI, Ali Asghar; GUPTA, Vijai Kumar a kol. (eds.) *Microbial Biotechnology Approaches to Monuments of Cultural Heritage* [online]. Singapore: Springer, 2020, s. 103-135 [cit. 14. 11. 2022]. eBook ISBN 978-981-15-3401-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3401-0>.



CHODURA. 1999.

CHODURA, Radko. *Malý slovník pojmů sakrální architektury: stručný výklad pojmů typologie sakrální architektury a stavebně-historického tvarosloví*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1999. s. 60. ISBN 80-7040-312-8.

KLOUDA. 2008.

KLOUDA, Josef. *Hasiči v Osíku*. Osík: Obecní úřad, 2008.

KLOUDA. 2010.

KLOUDA, Josef a Zdeněk SEDLÁČEK. *Myslivost v Osíku 1902–2009*. Osík: Obecní úřad, 2010. s. 1–15.

KLOUDA. 2012.

KLOUDA, Josef. *Historie školy v Osíku*. Osík: Obecní úřad, 2012. s. 1–49.

KLOUDA. 2014.

KLOUDA, Josef. *Osík a první světová válka*. Osík: Obecní úřad, 2014. s. 1–41. ISBN 9788026078517.

KOLÁŘ. 2016.

KOLÁŘ, Roman. *Restaurování reliéfu sv. Rozálie z morového sloupu v Kutné Hoře a technologie čištění sádrovcových krust na kutnohorském vápenci*.

Diplomová práce. Litomyšl: 2016. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování a konzervace nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury. Vedoucí práce Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

KOTLÍK. 1999a.

KOTLÍK, Petr. Čištění fasád a kamenných povrchů. In: *Stavební materiály historických objektů: materiály, koroze, sanace*. Praha: VŠCHT Praha, 1999. s. 81–89. ISBN 80-7080-347-9.

KOTLÍK. 1999b.

KOTLÍK, Petr. Čištění kamenných povrchů. In: *Stavební materiály historických objektů: materiály, koroze, sanace*. Praha: VŠCHT Praha, 1999. s. 84–89. ISBN 80-7080-347-9.

Lilie: Zpravodaj města Litomyšle. 2006-2020.

*Lilie: Zpravodaj města Litomyšle* [online]. Litomyšl: město Litomyšl, 2006-2020, **16-30**(1-10) [cit. 11. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.litomysl.cz/lilie/download>

LIU; DONG; ZHANG a kol. 2021.

LIU, Yan; DONG, Taoling; ZHANG, Kun a kol. Preliminary Study of the Targeted Cleaning of an Artificial Gypsum Layer on White Marble. *Coatings* [online], 2021, **11**(1) [cit. 4. 5. 2022]. eISSN 2079-6412. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/coatings11010037>.

LOMBARDI. 2013/2014.

LOMBARDI, Emanuela. *Biotechnologies for Restoration of Cultural Heritage*. Philosophy Doctorate Thesis. Milano: 2013/2014. Università degli Studi di Milano, Faculty of Agricultural and Food Science, The Department of Food Environmental and Nutritional Sciences. Supervisor: Professor Daniele Giuseppe Daffonchio.

MARSZALEK; ALEXANDROWICZ; RZEPA. 2014.

MARSZALEK, Mariola; ALEXANDROWICZ, Zofia a RZEPA, Grzegorz. Composition of Weathering Crusts on Sandstones from Natural Outcrops and Architectonic Elements in an Urban Environment. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2014, **21**, s. 14023–14036 [cit. 9. 12. 2022]. eISSN 1614-7499. Dostupné z: DOI 10.1007/s11356-014-3312-y.

MARTINO; SCHIAVONE; PALLA a kol. 2015.

MARTINO, Manuela; SCHIAVONE, Salvo; PALLA, Franco a kol. Bioremoval of Sulphate Layer from a 15th Century Polychrome Marble Artifact. *Conservation Science in Cultural Heritage* [online]. 2015, **15**(1), s. 235–252 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1973-9494. Dostupné z: <https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/6177>.

MARTINO; BALLOI; PALLA. 2022.

MARTINO, Manuela; BALLOI, Annalisa a PALLA, Franco. Biocleaning. In: PALLA, Franco a BARRESI, Giovanna (eds.). *Biotechnology and Conservation of Cultural Heritage* [online]. 2. Cham: Springer, 2022, s. 71–96 [cit. 14. 11. 2022]. eBook ISBN 978-3-030-97585-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-97585-2>.

MATĚJKA; ŠTĚPÁNEK; WIRTH. 1908.

MATĚJKA, Bohumil; ŠTĚPÁNEK, Josef a WIRTH, Zdeněk. *Soupis památek historických a uměleckých v království Českém od pravěku do počátku XIX. století: Politický okres Litomyšlský*. Praha: Archaeologická komise při České Akademii císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, 1908. Dostupné také z: <http://www.ndk.cz/>.

MAY; WEBSTER; INKPEN a kol. 2008.

MAY, Eric; WEBSTER, A. M.; INKPEN, Robert a kol. The Biobrush Project for bioremediation of heritage stone. In: MAY, Eric; JONES, Mark a MITCHELL, Julian (ed.). *Heritage Microbiology and Science: Microbes, Monuments and Maritime Materials*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2008, s. 76–93 [cit. 7. 12. 2022]. ISBN 978-0-85404-141-1.

MŇUKOVÁ. 2020.

MŇUKOVÁ, Dana. Pamětní kříže a pomníky v naší obci: Okolí Lučního rybníka. *OSÍK DNES: Osické noviny* [online]. Osík: Obec Osík, 2020, 27(7-8), s. 9 [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: [https://drive.google.com/drive/folders/1tvKf\\_S-rLPrQ1HIRqKPac\\_82VjNiBRhO](https://drive.google.com/drive/folders/1tvKf_S-rLPrQ1HIRqKPac_82VjNiBRhO).

Microbe Pruducts: Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris Postgate and Campbell: 35115.

Microbe Pruducts: Bacteriology and Archaea: Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris Postgate and Campbell: 35115. *ATCC* [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://www.atcc.org/products/35115>.

MOLINA; RUEDA-QUERO; BENAVENTE a kol. 2017.

MOLINA, Eduardo; RUEDA-QUERO, Lucía; BENAVENTE, David a kol. Gypsum crust as a source of calcium for the consolidation of carbonate stones using a calcium phosphate-based consolidant. *Construction and Building Materials* [online]. 2017, 143, s. 298-311 [cit. 23. 4. 2022]. eISSN 1879-0526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.155>.

MOROPOULOU; BISBIKOU; TORFS a kol. 1998.

MOROPOULOU, A.; BISBIKOU, K.; TORFS, K. a kol. Origin and Growth of Weathering Crusts on Ancient Marbles in Industrial Atmosphere.. *Atmospheric Environment* [online]. 1998, **32**(6), s. 967–982 [cit. 14. 12. 2022]. ISSN 1352-2310. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00129-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00129-5).

MROVĚC. 2017.

MROVĚC, Pavel. *Restaurování sádrového modelu pomníku Jana Husa na Staroměstské náměstí od Stanislava Suchardy: Možnosti využití laseru v kontextu tradičních a současných metod čištění povrchově neupravených sádrových odlitků*. Diplomová práce. Litomyšl: 2017. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování a konzervace nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury. Vedoucí práce Mgr. Art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

NEJEDLÝ. 1934.

NEJEDLÝ, Zdeněk. *Litomyšl: tisíc let života českého města*. Litomyšl: Výstavní výbor města Litomyše, 1934, s. 152.

NĚMEC. 2013.

NĚMEC, Jan. *Sokol Osík: 1883-2013*. Osík: Tělovýchovná jednota Sokol Osík, 2013. s. 83.

NĚMĚC; ROTHSCHHEIN. 2015.

NĚMĚC, J. a ROTHSCHHEIN, K. Odkanalizování obce Osík. *OSÍK DNES: Osecké noviny* [online]. Osík: Obecní úřad, 2015, **22**(3), s. 4 [cit. 2. 11. 2020]. Dostupné z: [https://drive.google.com/drive/folders/1FwdSNqmGAdR\\_q-hHF-kTjqX9AgSGeQJT](https://drive.google.com/drive/folders/1FwdSNqmGAdR_q-hHF-kTjqX9AgSGeQJT).

NORMANDIN; SLATON. 2006.

NORMANDIN, Kyle C. a SLATON, Deborah. Cleaning Techniques. In: HENRY, Alison (ed.). *Stone Conservation: Principles and Practice*. Abingdon, Oxfordshire: Routledge, 2006. s. 127–160. ISBN 1873394780.



OLIVEIRA; BROMBLET; COLOMBINI a kol. 2015.

OLIVEIRA, Cécile de; BROMBLET, Philippe; COLOMBINI, Alain a kol. Medium-wave ultraviolet radiation to eliminate laser-induced yellowing generated by the laser removal of lamp black on gypsum. *Studies in Conservation* [online]. 2015, **60**(1), s. 34–40 [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 2047-0584. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/0039363015Z.000000000205>.

OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; LAFAIT. 2016.

OLIVEIRA, Cécile de; VERGÈS-BELMIN, Véronique; LAFAIT, Jacques a kol. Contribution of goethite to laser-induced stone yellowing. *Applied Physics A: Materials science & processing* [online]. 2016, **122**(4):467, s. 1–8 [cit. 18. 4. 2022]. eISSN 1432-0630. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9818-z>.

OLIVEIRA; VERGÈS-BELMIN; DEMAILLE a kol. 2016.

OLIVEIRA, Cécile de; VERGÈS-BELMIN, Véronique; DEMAILLE, Dominique a kol. Lamp black and hematite contribution to laser yellowing: A study on technical gypsum samples. *Studies in Conservation* [online]. 2016, **61**(3), s. 136–145 [cit. 18. 4. 2022]. eISSN 2047-0584. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/2047058415Y.00000000003>.

ORTEGA-MORALES; GAYLARDE. 2021.

ORTEGA-MORALES, Otto a GAYLARDE, Christine. Bioconservation of Historic Stone Buildings—An Updated Review. *Applied Sciences* [online]. 2021, **1**(12), s. 1–18 [cit. 9. 12. 2022]. eISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app11125695>.

PANELLA; GIOVANNONE; BARTOLINI a kol. 2019.

PANELLA, Eleonora; GIOVANNONE, Carla; BARTOLINI, Marco a kol. Biotechnology in the Conservation Field: Removal of Sulphates Using Bacteria and Bioconsolidation of Paintings and Stuccos. *Conservation Science in Cultural Heritage* [online]. 2019, **19**(1), s. 157–175 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1973-9494. Dostupné z: <https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/10348>.

POLO; CAPPITELLI; BRUSETTI a kol. 2010.

POLO, Andrea; CAPPITELLI, Francesca; BRUSETTI, Lorenzo a kol. Feasibility of Removing Surface Deposits on Stone Using Biological and Chemical Remediation Methods. *Microbial Ecology* [online]. 2010, **60**(1), s. 1–14 [cit. 14. 1. 2022]. eISSN 1432-184X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9633-6>.

POULI; EMMONY. 2000.

POULI, Paraskevi a EMMONY, D. C. The Effect of Nd:YAG Laser Radiation on Medieval Pigments. *Journal of Cultural Heritage* [online]. 2000, **1**(2), s. 181–188 [cit. 18. 4. 2022]. ISSN 1296-2074. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(00\)00143-6](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(00)00143-6).

PYZIK; CIUCHCINSKI; DZIURZYNSKI a kol. 2021.

PYZIK, Adam; CIUCHCINSKI, Karol; DZIURZYNSKI, Mikolaj a kol. The Bad and the Good—Microorganisms in Cultural Heritage Environments—An Update on Biodeterioration and Biotreatment Approaches. *Materials* [online], 2021, **14**(1), s. 177 [cit. 12. 12. 2022]. eISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma14010177>.

RANALLI; CHIAVARINI; GUIDETTI a kol. 1997.

RANALLI, Giancarlo; CHIAVARINI, M.; GUIDETTI, Veronica a kol. The Use of Microorganisms for the Removal of Sulphates on Artistic Stoneworks. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 1997, **40**(1–2), s. 255–261 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1879-0208. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(97\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)00054-1).

RANALLI; MATTEINI; TOSINI a kol. 2000.

RANALLI, Giancarlo; MATTEINI, Mauro; TOSINI, Isetta a kol. Bioremediation of Cultural Heritage: Removal of Sulphates, Nitrates and Organic Substances. In: CIFERRI, Orio; TIANO, Piero; MASTROMEI, Giorgio (eds). *Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage* [online]. New York: Springer, 2000, s. 231–245 [cit. 22. 3. 2022]. eBook ISBN 978-1-4615-4239-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4239-1>.

RANALLI; ZANARDINI. 2021a.

RANALLI, Giancarlo a ZANARDINI, Elisabetta. Biocleaning on Cultural Heritage: New Frontiers of Microbial Biotechnologies. *Journal of applied microbiology* [online]. 2021, **131**(2), s. 583–603 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1365-2672. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jam.14993>.

RANALLI; ZANARDINI. 2021b.

RANALLI, Giancarlo a ZANARDINI, Elisabetta. The Role of Microorganisms in the Removal of Nitrates and Sulfates on Artistic Stoneworks. In: JOSEPH, Edith (ed.). *Microorganismics in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage* [online]. Cham: Springer, 2021, s. 263–279 [cit. 7. 12. 2022]. eBook ISBN 978-3-030-69411-1. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1_12).

REJMAN. 2020.

REJMAN, Petr. *Předběžný restaurátorský záměr 2020 Sousoší Nejsvětější trojice v Oseckém údolí*. Litomyšl, 2020. V držení města Litomyšle (objednavatel).

ROYT; HAMSÍKOVÁ. 2006.

ROYT, Jan a HAMSÍKOVÁ Dagmar. *Slovník biblické ikonografie*. Dotisk 2007. Praha: Karolinum, 2006, s. 170-177. ISBN 978-80-246-0963-8.

RUFFOLO; COMITE; LA RUSSA a kol. 2015.

RUFFOLO, Silvestro Antonio; COMITE, Valeria; LA RUSSA, Mauro Francesco a kol. An analysis of the black crusts from the Seville Cathedral: A challenge to deepen the understanding of the relationships among microstructure, microchemical features and pollution sources. *Science of The Total Environment* [online]. 2015, **502**(1), s. 157–166 [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 1879-1026. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.023>.

RULÍŠEK. 2006.

RULÍŠEK, Hynek. *POSTAVY, ATRIBUTY, SYMBOLY: Slovník křesťanské ikonografie*. Druhé, upravené vydání. České Budějovice: Karmášek, 2006. ISBN 80-239-7434-3.

RUSNÁKOVÁ. 2017.

RUSNÁKOVÁ, Šárka. Osík: Deset studánek i moderní galerie. In: *Východočeské výlety* [rozhlasový pořad dostupný online]. Český rozhlas Pardubice, 15. října 2017 [cit. 11. 2. 2021]. Dostupné z: <https://pardubice.rozhlas.cz/osik-deset-studanek-i-moderni-galerie-6028113>.

RŮŽIČKA. 1981.

RŮŽIČKA, Jindřich. *Litomyšl: 981–1981: sborník statí o dějinách a současnosti českého města k 1000. výročí první zmínky*. Praha: TEPS místního hospodářství, 1981, s. 180.

SALIMBENI; PINI; SIANO. 2003.

SALIMBENI, Renzo; PINI, Roberto a SIANO, Salvatore. A variable pulse width Nd:YAG laser for conservation. *Journal of Cultural Heritage* [online]. 2003, 4(21), s. 72–76 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 1778-3674. Dostupné z: Elsevier, <https://www.researchgate.net/publication/248546130>. s. 72.

Sbírky on-line. Městská galerie Litomyšl, 2015.

Sbírky on-line. *Městská galerie Litomyšl* [online]. Litomyšl: Městská galerie Litomyšl, 2015 [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <http://www.galerie.litomysl.cz/sbirky/sbirky-online>.

SKŘIVÁNEK. 2006.

SKŘIVÁNEK, Milan. *Litomyšl*. Praha Litomyšl: Paseka, 2006, 46 s., 117 obr. příl. ISBN 80-7185-744-0.

SOBOTKA. 2002.

SOBOTKA, Miroslav. *Povodně a záplavy: tisíc let života českého města*. Osík u Litomyšle: Sbor dobrovolných hasičů, 2002.

SOFFRITTI; D'ACCOLTI; LANZONI a kol. 2019.

SOFFRITTI, Irene; D'ACCOLTI, Maria; LANZONI, Luca a kol. The Potential Use of Microorganisms as Restorative Agents: An Update. *Sustainability* [online]. 2019, 11(14), s. 1-17 [cit. 7. 12. 2022]. eISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su11143853>.

TÖRÖK; LICHA; SIMON a kol. 2011.



TÖRÖK, Ákos; LICHA, Tobias; SIMON, Klaus a kol. Urban and rural limestone weathering; the contribution of dust to black crust formation. *Environmental Earth Sciences* [online]. 2011, **63**(4), s. 675–693 [cit. 22. 3. 2022]. eISSN 1866-6299. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0737-6>.

TROIANO; GULOTTA; BALLOI a kol. 2013.

TROIANO, Federica; GULOTTA, Davide; BALLOI, Annalisa a kol. Successful combination of chemical and biological treatments for the cleaning of stone artworks. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2013, **85**, s. 294–304 [cit. 13. 12. 2022]. eISSN 1879-0208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.08.011>.

VKM Catalogue: *Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris* Postgate and Campbell 1966.

VKM Catalogue: *Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris* Postgate and Campbell 1966. *ALL-RUSSIAN COLLECTION OF MICROORGANISMS - VKM* [online]. [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://vkm.ru/Catalogue.htm>.

Zprávy z obce: Fotohádanka. 2013.

Zprávy z obce: Fotohádanka. *OSÍK DNES: Osecké noviny* [online]. Osík: Obecní úřad, 2013, **20**(8), s. 2 [cit. 11. 2. 2020]. Dostupné z: <https://drive.google.com/drive/folders/1dKyESLG68F9J4VQINuUFDYsGQyRb3qSQ>.

Fotografie většiny sochařských předloh z Památkového katalogu Národního památkového ústavu. *Národní památkový ústav: památkový katalog* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/uskp>

## 16.2 Seznam pramenů

Archiv Masarykova základní škola Morašice.

Archiv Masarykova základní škola Morašice. Kronika – PS 1959-63.

Kronika Římskokatolické farnosti

Kronika Římskokatolické farnosti – probošství Litomyšl z 19. století. Kronika v držení Římskokatolické farnosti – probošství Litomyšl.

KUPKA. 1931.

KUPKA, J. A. Přehled článků: „Od Trstenické stezky“. In: Vlastivědný sborník „Od Trstenické stezky“. Litomyšl, 1931. s. 1–20.

SOkA Svitavy. *Kniha pamětní města Litomyšle počínajíc od r. 1848.*

Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli, fond Archiv města Litomyšl, odd. III. *Kniha pamětní města Litomyšle počínajíc od r. 1848*, sign. KR 33. s. 1–290.

SOkA Svitavy. *Kronika školy obecné v Osíku z let 1869-1921.*

Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli, fond Národní škola Osík, inv. č. 1, *Kronika školy obecné v Osíku z let 1869-1921*, sign. KR 67, s. 1–243.

SOkA Svitavy. *Kronika obecné školy v Osíku z let 1921-1934.*

Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli, fond Národní škola Osík, inv. č. 2, *Kronika obecné školy v Osíku z let 1921-1934*, sign. KR 69, s. 1–196.

SOkA Svitavy. *Školní kronika od r. 1940 do r. 1945, z let 1939-1945.*

Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli, fond Národní škola Osík, inv. č. 3, *Školní kronika od r. 1940 do r. 1945, z let 1939-1945*, sign. KR 234, s. 1–33.

SOkA Svitavy. *Pamětní kniha obce Osíka.*

Státní okresní archiv Svitavy se sídlem v Litomyšli. Mezifondový soubor kronik. *Pamětní kniha obce Osíka*, sign. KR 707.

ŠIMEK. 1921–1933.

ŠIMEK, Quido. *Sochy Svaté Trojice*. 1921–1933, papír, kolorovaná perokresba, 22,5×31,5 cm. Litomyšl: Regionální muzeum v Litomyšli, fond Sběrka Q. Šimka, soubor Litomyšl před 50 lety (1870). Inv. č.: 19S-E-1/353.

## 17 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NPÚ	Národní památkový ústav
UV	Ultra violet Light
FR	Fakulta restaurování
UPa	Univerzita Pardubice
EOS	Electro Optical Systems
Nd:YAG	Neodimium Doped Yttrium Aluminum Garnet
SFR	Short free running
EDTA	ethylenediaminetetraacetic acid = kyselina ethylendiamintetraoctová
SRB	Sulfate reducing bacteria
SOkA	Statní okresní archiv

## 18 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Obsah solí před odsolováním získaný z vrtné moučky .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 2 Hodnocení stupně zasolení.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 3 Zkoušky minerálních směsí pro plastickou retuš .....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4 Zkoušky probarvení vybrané tmelící směsi pomocí pigmentů .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 5 Zkoušky minerálních směsí pro vyhotovení výdusků.....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 6 Chemické složení nečistot – uhelného popílku (Coal fly-ash), palivového popílku (Fuel fly-ash) a rozdrčené černé krusty (Black crust) .....</i>	<i>126</i>
<i>Tab. 7 Popis zkoušek čištění pomocí laserů na vápencových prvcích s reálnou krustou .....</i>	<i>144</i>
<i>Tab. 8 Zkoušky čištění reálných krust přítomných na zdobných vápencových prvcích pomocí bakterií nebo demineralizované vody.....</i>	<i>147</i>
<i>Tab. 9 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) sazové černi) na vápencovém podkladu pomocí bakterií nebo čistého fosfátového pufru.....</i>	<i>147</i>
<i>Tab. 10 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) sazové černi) na sádrovém podkladu pomocí bakterií nebo čistého fosfátového pufru.....</i>	<i>148</i>
<i>Tab. 11 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) železité černi) na sádrovém podkladu pomocí bakterií .....</i>	<i>148</i>
<i>Tab. 12 Zkoušky čištění umělých krust (směs sádry a 1 % (hm.) železité červeně) na sádrovém podkladu pomocí bakterií .....</i>	<i>148</i>
<i>Tab. 13 Zkouška čištění sypané umělé krusty (směs sádry a 1 % (hm.) sazové černi) na sádrovém podkladu pomocí bakterií .....</i>	<i>148</i>
<i>Tab. 14 Předběžné zkoušky přípravy umělé sádrovcové krusty .....</i>	<i>157</i>
<i>Tab. 16 Popis zkoušek čištění pomocí laserů na vápencových prvcích s reálnou krustou .....</i>	<i>167</i>



## **19 SEZNAM GRAFŮ**

*Graf. 1 Měření nasákavosti kamene demineralizovanou vodou..... 35*

## 20 SEZNAM VYOBRAZENÍ

### 20.1 Seznam obrazových příloh

Obr. 1 Stav sousoší Nejsvětější Trojice a podstavce před zahájením restaurátorského zásahu s vymezením restaurovaného úseku, vyfoceno v místě osazení památky (autor fotografie – MgA. Petr Rejman, 2020, vyfoceno na FinePix S9600 od firmy FUJIFILM) .....	15
Obr. 2 Sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí v levé polovině kresby, perokresba od Q. Šimka z období mezi lety 1921–1933, Regionální muzeum v Litomyšli.....	20
Obr. 3 Historická fotografie sousoší Nejsvětější Trojice z roku 1961, kronika tehdejší 6. třídy Masarykovy základní školy v Morašicích (autor fotografie: učitel Maleček z Morašic).....	20
Obr. 4 Sousoší Nejsvětější Trojice v zářivkovém světle – frontální pohled.....	31
Obr. 5 Sousoší Nejsvětější Trojice v UV fluorescenci – frontální pohled.....	31
Obr. 6 Sousoší Nejsvětější Trojice v zářivkovém světle – zadní pohled.....	32
Obr. 7 Sousoší Nejsvětější Trojice v UV fluorescenci – zadní pohled.....	32
Obr. 8 Sousoší Nejsvětější Trojice v zářivkovém světle – levý boční pohled.....	33
Obr. 9 Sousoší Nejsvětější Trojice v UV fluorescenci – levý boční pohled.....	33
Obr. 10 Sousoší Nejsvětější Trojice v zářivkovém světle – pravý boční pohled.....	33
Obr. 11 Sousoší Nejsvětější Trojice v UV fluorescenci – pravý boční pohled.....	33
Obr. 12 Grafické znázornění míst měření nasákavosti .....	35
Obr. 13 Detail místa měření nasákavosti pomocí Karstenovy trubice.....	35
Obr. 14 Detail místa odběru vzorku pro stanovení obsahu vodorozpustných solí v kameni.....	36
Obr. 15 Zkoušky čištění kamene od biologického napadení provedené na zadní straně sousoší.....	40
Obr. 16 Zkoušky čištění sádrovcové krusty na zadní straně sousoší.....	41
Obr. 17 Zkoušky minerálních směsí pro plastickou retuš .....	43
Obr. 18 Zkoušky probarvení vybrané tmelící směsi pomocí pigmentů .....	44
Obr. 19 Zkoušky minerálních směsí pro vyhotovení výdusků .....	45
Obr. 20 Sousoší Nejsvětější Trojice z Oseckého údolí, kronika tehdejší 6. třídy Masarykovy základní školy v Morašicích (autor fotografie: učitel Maleček z Morašic) .....	62

Obr. 21 Perokresba od Quida Šimka z období mezi lety 1921– 1933, Regionální muzeum v Litomyšli .....	63
Obr. 22 Výřez levé poloviny perokresby, kde je zachyceno sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí .....	63
Obr. 23 Sousoší Nejsvětější Trojice v Morašicích (1865), okres Svitavy .....	64
Obr. 24 Sousoší Nejsvětější Trojice ve Strakově (1894), okres Svitavy .....	64
Obr. 25 Sousoší Nejsvětější Trojice v Širokém dole (1889), okres Svitavy.....	64
Obr. 26 Sousoší Nejsvětější Trojice v Opatovci, okres Svitavy (autor fotografie Kristýna Bittnerová).....	64
Obr. 27 Sousoší Nejsvětější Trojice v podloubí u probošství v Litomyšli, okres Svitavy .....	65
Obr. 28 Sousoší Nejsvětější Trojice v Čisté u Litomyšle, okres Svitavy (autor fotografie Samuel Schreiber).....	65
Obr. 29 Sousoší Nejsvětější Trojice v Rychnově na Moravě, okres Svitavy (autor fotografie: Petr Arijčuk, NPÚ).....	65
Obr. 30 Sousoší Nejsvětější Trojice v Mladějově na Moravě, okres Svitavy (autor fotografie: Ludmila Nováková, NPÚ).....	65
Obr. 31 Sousoší Nejsvětější Trojice v Třebařově, okres Svitavy (autor fotografie: Petr Arijčuk, NPÚ) .....	66
Obr. 32 Sousoší Nejsvětější Trojice v Rybníku u České Třebové, okres Ústí nad Orlicí (autor fotografie: Jitka Svobodová, NPÚ).....	66
Obr. 33 Sousoší Nejsvětější Trojice v Hnátnici, okres Ústí nad Orlicí (autor fotografie: Milan Křištof, NPÚ) .....	66
Obr. 34 Sousoší Nejsvětější Trojice ve Výprachticích, okres Ústí nad Orlicí (autor fotografie: Václav Paukert, NPÚ).....	66
Obr. 35 Sousoší Nejsvětější Trojice v Semaníně, okres Ústí nad Orlicí, stav před restaurováním (autor fotografie: Jitka Svobodová, NPÚ).....	67
Obr. 36 Sousoší Nejsvětější Trojice v Semaníně, okres Ústí nad Orlicí, stav po restaurování (autor fotografie: Jana Pochmanová, NPÚ).....	67
Obr. 37 Sousoší Nejsvětější Trojice v Proseči, okres Chrudim, (autor fotografie: Jitka Svobodová, NPÚ).....	67

Obr. 38 Stav před restaurováním – frontální pohled na celou památku v místě osazení (autor fotografie: MgA. Petr Rejman, vyfoceno na FinePix S9600 od firmy FUJIFILM)	68
Obr. 39 Stav před restaurováním – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice.....	69
Obr. 40 Stav před restaurováním – zadní pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	70
Obr. 41 Stav před restaurováním – levý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice	71
Obr. 42 Stav před restaurováním – pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice	72
Obr. 43 Stav před restaurováním – detail kříže .....	73
Obr. 44 Stav před restaurováním – detail levé ruky Boha Otce s ulomeným žezlem ..	73
Obr. 45 Stav před restaurováním – detail povrchu s plísní .....	73
Obr. 46 Stav před restaurováním – detail holubice se svatozáří na zeměkouli.....	74
Obr. 47 Stav před restaurováním – detail levé okřídlené hlavy anděla .....	74
Obr. 48 Stav před restaurováním – detail draperie na noze Boha Otce .....	75
Obr. 49 Stav před restaurováním – zadní strana sousoší, detail praskliny a vykrystalizovaných solí na povrchu .....	75
Obr. 50 Stav před restaurováním – detail se zbytky světlé povrchové úpravy a s malým fragmentem červené barvy (v horní polovině uprostřed).....	75
Obr. 51 Stav po očištění od biologického napadení – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice.....	76
Obr. 52 Stav po očištění od biologického napadení – zleva: zadní pohled, levý boční pohled, pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice.....	77
Obr. 53 Stav po celkovém očištění – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice....	78
Obr. 54 Stav po celkovém očištění – zleva: zadní pohled, levý boční pohled, pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	79
Obr. 55 Stav po doplnění chybějících částí – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	80
Obr. 56 Stav po doplnění chybějících částí – zadní pohled na sousoší Nejsvětější Trojice	81
Obr. 57 Stav po doplnění chybějících částí – levý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	82
Obr. 58 Stav po doplnění chybějících částí – pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	83



Obr. 59 Stav po doplnění chybějících částí – detail kříže.....	84
Obr. 60 Stav po doplnění chybějících částí – detail levé ruky Boha Otce s žezlem ....	84
Obr. 61 Stav po doplnění chybějících částí – detail holubice se svatozáří na zeměkouli .....	84
Obr. 62 Stav po doplnění chybějících částí – detail postavy Ježíše Krista.....	85
Obr. 63 Stav po doplnění chybějících částí – detail hlavy Boha Otce.....	85
Obr. 64 Stav po restaurování – přední pohled na sousoší Nejsvětější Trojice.....	86
Obr. 65 Stav po restaurování – zadní pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	87
Obr. 66 Stav po restaurování – levý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice .....	88
Obr. 67 Stav po restaurování – pravý boční pohled na sousoší Nejsvětější Trojice ....	89
Obr. 68 Stav po restaurování– detail kříže .....	90
Obr. 69 Stav po restaurování – detail levé ruky Boha Otce s žezlem.....	90
Obr. 70 Stav po restaurování – detail holubice se svatozáří na zeměkouli.....	90
Obr. 71 Stav po restaurování – detail postavy Ježíše Krista .....	91
Obr. 72 Stav po restaurování – detail hlavy Boha Otce .....	91
Obr. 73 Stav po restaurování – frontální pohled na celou památku v místě osazení ...	92
Obr. 74 Transport sousoší Nejsvětější Trojice do ateliéru .....	93
Obr. 75 Odstraňování biologického napadení pomocí páry .....	93
Obr. 76 Odstraňování biologického napadení pomocí kartáčů .....	94
Obr. 77 Odstraňování sádrovcových krust pomocí laseru.....	94
Obr. 78 Celkové očištění levé poloviny sousoší Nejsvětější Trojice .....	95
Obr. 79 Odsolovací zábal.....	95
Obr. 80 Lokální konsolidace kamene .....	96
Obr. 81 Doplnění chybějících částí v hlíně .....	96
Obr. 82 Stav po doplnění chybějících částí ve hlíně a sádře – čelní pohled.....	97
Obr. 83 Stav po doplnění chybějících částí ve hlíně a sádře – zadní pohled.....	97
Obr. 84 Zaformování doplňků z hlíny a sádry pomocí silikonu.....	98
Obr. 85 Otevřená silikonová forma hlavy Boha Otce.....	98
Obr. 86 Zaformovaná polovina ruky Ježíše Krista do silikonu.....	98
Obr. 87 Proces výroby doplňku z umělého kamene – zaformování kříže z hlíny pomocí silikonu a sádrových kadlubů.....	99
Obr. 88 Proces výroby doplňku z umělého kamene – odlití kříže do sádry pomocí silikonové formy.....	99

Obr. 89 Proces výroby doplňku z umělého kamene – zaformování sádrového kříže do silikonu.....	99
Obr. 90 Proces výroby doplňku z umělého kamene – vydusáná forma kříže .....	99
Obr. 91 Detail nových nerezových armatur v hlavách postav a kříži.....	100
Obr. 92 Detail nových nerezových armatur v ruce Ježíše Krista .....	100
Obr. 93 Detail nové nerezové armatury v mraku.....	100
Obr. 94 Zajištění doplňku z umělého kamene pomocí epoxidového lepidla .....	101
Obr. 95 Osazování výdusků z umělého kamene .....	101
Obr. 96 Injektáž dutin přítomných mezi výdusky z umělého kamene a originálním materiálem.....	101
Obr. 97 Doplnění chybějících částí v minerálním tmelu .....	102
Obr. 98 Barevná retuš pomocí mořské houby .....	102
Obr. 99 Barevná retuš pomocí štětce.....	102
Obr. 100 Transport sousoší Nejsvětější Trojice z ateliéru do Oseckého údolí .....	103
Obr. 101 Osazení sousoší na podstavec pomocí auta s hydraulickou rukou.....	103
Obr. 102 Makroskopické změny barevnosti sádrové destičky s lampovou černí (Area 1) po čištění Q-Switched laserem (Area 2) a expozici UV-B záření (Area 3).....	123
Obr. 103 Sádrová deska s hematitem. Čísla vlevo (0,1, 0,2 a 0,3 J/cm <sup>2</sup> ) představují různé intenzity Nd: YAG Q-Switched laseru NL00. Svislé řady odpovídají koncentracím hematitu ve směsi, které jsou napsány horizontálně uprostřed. Referenční barvy před ozářením jsou viditelné po pravé straně každého očištěného pole .....	124
Obr. 104 Sádrová deska s lampovou černí Čísla vlevo (0,2, 0,3 a 0,6 J/cm <sup>2</sup> ) představují různé intenzity Nd: YAG Q-Switched laseru NL00. Svislé řady odpovídají koncentracím lampové černě ve směsi, které jsou napsány horizontálně uprostřed. Referenční barvy před ozářením jsou viditelné po pravé straně každého očištěného pole .....	124
Obr. 105 Pohled na tři znečištěné sádrové desky se čtyřmi odlišnými oblastmi – referenční bílá sádra (Reference), znečištěný povrch (Soiled) rozdrcenou krustou (BLACK CRUST), palivovým popílkem (FUEL) a uhelným popílkem (COAL), očištěný povrch laserem a vystavený UV záření (Laser cleaned + UV exposed) a povrch očištěný pouze laserem (Laser cleaned). Měřítka je 1 cm .....	125
Obr. 106 Celkový pohled na dvě experimentální sádrové desky s lampovou černí aplikované za sucha (vpravo a vlevo) a na referenční desku bez znečištění (uprostřed).	

U experimentálních desek ve spodní části znečištěný povrch, který nebyl čištěn a byl vystaven UV-B záření, uprostřed povrch vyčištěný Nd:YAG laserem a vystavený UV-B záření a ve vrchní části desek plochy čištěné Nd:YAG laserem, avšak nevystavené UV-B záření .....	127
Obr. 107 Pohled shora (obrázek vlevo) na umělou krustu ze směsi hematitu, lampové černi a sádry v poměru 1 : 0,5 : 98,5 hm. %, stav před (levá polovina) a po (pravá polovina) ozáření laserem; Pohled na příčný řez stejné krusty (obrázek vpravo).....	128
Obr. 108 Vzorek sádrového podkladu s vrstvou směsi sádry a červeného hematitu – stav před (červené pole) a po ozáření laserem (žluté pole) .....	129
Obr. 109 Modelové krusty ze směsi sádry a červeného hematitu (vzorek H1 1 % hematitu ve směsi, vzorek H30 30 % hematitu ve směsi) – stav před (BEFORE LASER) a po (AFTER LASER) laserovém ozáření.....	130
Obr. 110 Vzorek s umělou krustou připravenou z drcené přírodní krusty a sádry –stav před (vlevo) a po (vpravo) laserovém ozáření. Velikost mřížky 5 × 5 mm <sup>2</sup> .....	131
Obr. 111 Vápencový prvek s reálnou krustou A, v Materiálovém průzkumu vzorek č. 3 .....	137
Obr. 112 Vápencový prvek s reálnou krustou A z jiného pohledu, v Materiálovém průzkumu vzorek č. 3 .....	137
Obr. 113 Vápencový prvek s reálnou krustou B, v Materiálovém průzkumu vzorek č. 4 .....	138
Obr. 114 Čištění umělé krusty pomocí laserů – schéma čištěných polí s jejich očíslováním, plocha vzorku je 10 × 10 cm <sup>2</sup> .....	140
Obr. 115 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (1. série vzorků).....	142
Obr. 116 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou krustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 1. série).....	142
Obr. 117 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (2. série vzorků).....	142
Obr. 118 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou krustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 2. série).....	142
Obr. 119 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder art při nastavení vlnové délky 1064 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech .....	143

Obr. 120 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder art při nastavení vlnové délky 532 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech .....	143
Obr. 121 Schéma zkoušek čištění umělé sádrovcové krusty ze sazové černi na vápencovém podkladu .....	143
Obr. 122 Schéma zkoušek čištění reálné krusty na vápencovém prvku (A) pomocí laserů .....	144
Obr. 123 Schéma zkoušek čištění reálné krusty na vápencovém prvku (B) pomocí laserů .....	144
Obr. 124 Nefiltrovaná bakteriální suspenze .....	145
Obr. 125 Zkoušky čištění umělé krusty na sádrovém a vápencovém podkladu pomocí filtrovaných bakterií, nefiltrovaných bakterií nebo čistého fosfátového pufru.....	149
Obr. 126 Detail filtrované (a) a nefiltrované (b) bakteriální suspenze v Carbogelu aplikované na umělou krustu .....	150
Obr. 127 Bakteriální suspenze v Carbogelu překrytá netkanou textilií s fosfátovým pufrem (vzorek V1) .....	151
Obr. 128 Bakteriální suspenze v Carbogelu překrytá netkanou textilií s fosfátovým pufrem a polyuretanovou fólií.....	151
Obr. 129 Filtrovaná bakteriální suspenze v Carbogelu po 24 h působení na umělé krustě (vzorek V1) .....	152
Obr. 130 Předběžné zkoušky přípravy umělých sádrovcových krust – aplikace suché směsi sádry a pigmentu na vlhký sádrový podklad před sítu .....	156
Obr. 131 Předběžné zkoušky přípravy umělých sádrovcových krust – obrácený postup, nalití sádry (podkladu) na nalitou umělou krustu ve formě .....	156
Obr. 132 Předběžné zkoušky přípravy umělých sádrovcových krust – poškození tenčí krusty vlivem přichycení k formě při obráceném postupu aplikace.....	156
Obr. 133 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder Art při nastavení vlnové délky 1064 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech .....	159
Obr. 134 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole mokrá varianta čištění).....	159

Obr. 135 Schéma zkoušek čištění pomocí Q-switched laseru Thunder art při nastavení vlnové délky 532 nm – aplikace na všechny typy umělých krust na sádrových podkladech .....	160
Obr. 136 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole mokrá varianta čištění).....	161
Obr. 137 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (1. série vzorků).....	162
Obr. 138 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou krustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 1. série).....	162
Obr. 139 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole mokrá varianta čištění).....	162
Obr. 140 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělé krusty ze sazové a železité černě na sádrových podkladech (2. série vzorků).....	163
Obr. 141 Schéma zkoušek čištění pomocí EOS 1000 SFR laseru – aplikace na umělou krustu z železité červeně na sádrovém podkladu (vzorek z 2. série).....	163
Obr. 142 Zleva umělá krusta připravená z: železité červeně, železité černě a dvakrát ze sazové černě (nahore suchá varianta čištění, dole pouze jedna zkoušku u vzorku vpravo) .....	163
Obr. 143 Schéma zkoušek čištění umělé sádrovcové krusty ze sazové černi na vápencovém podkladu .....	164
Obr. 144 Zkoušky laserů na umělé krustě ze sazové černi na vápencovém podkladu	164
Obr. 145 Zkoušky laserového čištění na vápencových prvcích s reálnou krustou, prvek A .....	166
Obr. 146 Zkoušky laserového čištění na vápencových prvcích s reálnou krustou, prvek B.....	166
Obr. 147 Horní polovina vápencových vzorků s umělou krustou (sádra + sazová čern) očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo), nefiltrovaných bakterií (uprostřed) a samotného fosfátového pufru (vpravo).....	168
Obr. 148 Horní polovina sádrových vzorků s umělou krustou (sádra + sazová čern) očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo), nefiltrovaných bakterií (uprostřed) a samotného fosfátového pufru (vpravo).....	168



Obr. 149 Horní polovina sádrových vzorků s umělou krustou (sádra + železitá čern)	
očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo) a nefiltrovaných bakterií (uprostřed)	
.....	168
Obr. 150 Horní polovina sádrových vzorků s umělou krustou (sádra + železitá červen)	
očištěna pomocí: filtrovaných bakterií (nalevo) a nefiltrovaných bakterií (uprostřed)	
.....	169
Obr. 151 Detaily očištěných umělých krust (sádra + sazová čern) na sádrovém podkladu	
pomocí filtrovaných bakterií (nalevo), nefiltrovaných bakterií (uprostřed) a samotného	
fosfátového pufru (vpravo). Možné pozorovat homogenitu očištění u prostředního	
vzorku a světlejší body u postranních vzorků.....	169
Obr. 152 Detaily vyčištěných ploch reálné krusty na vápenci: čištěné pole bakteriálním	
systemem (nalevo), pole čištěné vodou po 24h aplikaci v Carbogelu (vpravo). Obě pole	
byla dočištěna plastovým kartáčkem s demineralizovanou vodou .....	169

## 20.2 Seznam grafických příloh

Graf. 2 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, přední pohled.....	56
Graf. 3 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, přední a zadní pohled.....	57
Graf. 4 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, boční pohledy.....	58
Graf. 5 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav před restaurováním, boční pohledy.....	59
Graf. 6 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav po restaurování, přední a zadní pohled.....	60
Graf. 7 Grafické zákresy sousoší Nejsvětější Trojice – stav po restaurování, boční pohledy.....	61

## 21 SEZNAM TEXTOVÝCH PŘÍLOH

1. Příloha P.I: Technologická zpráva k praktické části – Materiálový průzkum vzorků ze sousoší Nejsvětější Trojice, výsledky měření ultrazvukové transmise, rozsah stran 1–24.
2. Příloha P.II: Technologická zpráva k teoretické části – Materiálový průzkum vzorků sádrovcové krusty z vápencových prvků katedrály sv. Štěpána ve Vídni, rozsah stran 1–23.
3. Příloha P.III: Protokol k teoretické části – Kultivace bakterií *Desulfovibrio vulgaris* k biologickému čištění kamene, rozsah stran 1–2.
4. Příloha P.IV: Technologická zpráva k teoretické části – Mikroskopický průzkum vzorků z rozhraní očištěných a neočištěných ploch, rozsah stran 1–17.
5. Příloha P.V: Technické a bezpečnostní listy materiálů a přípravků použitých v experimentální části diplomové práce

Příloha P.I: Technologická zpráva k praktické části – Materiálový průzkum vzorků ze sousoší Nejsvětější Trojice, výsledky měření ultrazvukové transmise



## MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM VZORKŮ SOUSOŠÍ NEJSVĚTĚJŠÍ TROJICE V OSECKÉM ÚDOLÍ

### ZADAVATEL PRŮZKUMU, ZHOTOVITEL RESTAUROVÁNÍ

Ateliér restaurování uměleckých děl z kamene a příbuzných materiálů  
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl  
Vedoucí ateliéru: MgA. Jakub Ďoubal, Ph.D.

### PEDAGOGICKÉ VEDENÍ RESTAUROVÁNÍ / STUDENTI

MgA. Petra Zítková / BcA. Stella Burkhardtová

### SPECIFIKACE OBJEKTU

sousoší Nejsvětější Trojice v Oseckém údolí, sekáný pískovec, původně barevně upravená kamenná socha, není zapsána v seznamu kulturních památek sloh/datace: pseudoslohový, 1873, výška – 130 cm (bez hlav a doplňku kříže), šířka – 90 cm, hloubka – 50 cm, součástí památky je i podstavec, který není předmětem restaurování, ke kterému se váže předkládaný průzkum

### ZADÁNÍ PRŮZKUMU, ODBĚR VZORKŮ

Počet dodaných vzorků: 5 kompaktních vrstevnatých vzorků, 3 vzorky vrtné moučky kamene, 11 vzorků odsolovacích zábalů, odběr provedl restaurátor

Cíle průzkumu:

- posouzení stavu horniny měřením rychlosti ultrazvukové transmise
- stanovení obsahu vodorozpustných solí / 3 vzorky vrtné moučky pískovce z jednoho vrtu
- stratigrafie a materiálové složení povrchových úprav, krust a tmelů metodami optické mikroskopie (OM) a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM-EDX) / 3 vzorky povrchových úprav, 1 kompaktní vzorky tmelů, 1 vzorek s biologickým napadením

**Tab. 1:** Přehled vzorků, označení, popis, lokalizace odběru.

Evidenční číslo	Lokalizace, popis
10274/V1	rozhraní draperie a rukojeti žezla, Bůh Otec, mikrobiologické napadení
10275/V2	krusta s povrchovou úpravou/nátěrem, hloubka draperie, mezi nohama postavy Boha Otce
10276/V3	tmel nebo povrchová úprava/nátěr, zadní strana sousoší, spodní část, záhyb mraku
10277/V4	spodní záhyb mraku, který je pod postavou Ježíše Krista, pohledově nalevo od levé okřídlené hlavy anděla, odběr byl lokalizován na základě výsledků průzkumu UV fluorescence, byla zde žlutá fluorescence naznačující přítomnost organických pojiv
10278/V5	pohledově levý bok sochy, draperie na noze Ježíše Krista, úlomek, který vznikl při čištění krusty, vzorek 5 bude pravděpodobně značně srovnatelný se vzorkem 2

**Tab. 2:** Přehled vzorků ke stanovení obsahu vodorozpustných solí.

Označení	Lokalizace, popis
V1, V2, V3	vrtná moučka, hloubka V1 = 0 až 1 cm, V2 = 1 až 2 cm, V3 = 2 až 3 cm, výška 15 cm
OB1	oblaky 1 cyklus: čistý, ve výšce 15 cm, ve výšce 85 cm
OB2	OB2/0 nepoužitý zábal, OB2/15 levý a OB2/15 pravý, OB2/85 a OB2/85 levý a pravý
OB3	OB3/0 nepoužitý zábal, OB3/15 levý, OB3/85 levý

### AUTOR ZPRÁVY Z MATERIÁLOVÉHO PRŮZKUMU

Počet stran:	24	Datum:	21. 4. 2022
Autor zprávy:	Petra Lesniaková		
Díličí analýzy:	Ing. Eliška Bečková, stanovení množství vodorozpustných solí		
Místo:	Katedra chemické technologie Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, Litomyšl 570 01		

## METODIKA PRŮZKUMU

### STRATIGRAFIE A OPTICKÉ VLASTNOSTI VRSTEV / OPTICKÁ, FLUORESCENČNÍ (OM) A SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE (SEM)

Průzkum byl proveden s využitím optické, fluorescenční mikroskopie a skenovací elektronové mikroskopie (SEM). Vzorky byly nejprve zkoumány optickým mikroskopem Eclipse LV100D-U (Nikon) s digitálním fotoaparátem EOS 1100D (Canon) v dopadajícím bílém světle, viditelné fluorescenci generované modrým světlem a UV fluorescenci. Stejně techniky byly použity k mikroskopickému průzkumu nábrusů připravených z vybraných úlomků vzorků jejich zalitím do polyesterové pryskyřice GPE100S a následným sbroušením. Pouhličené nábrusy byly dále studovány elektronovým mikroskopem Mira 3 LMU (Tescan) ve vysokém vakuu, režimu zpětně odražených elektronů (BSE), urychlovacím napětí 25kV a pracovní vzdálenosti 15 mm.

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

Materiálový průzkum byl proveden na základě určení prvkového složení částí vzorků vybraných pomocí optické mikroskopie a skenovací elektronové mikroskopie metodou energiově-disperzní rentgenové mikroanalýzy (SEM/EDX). K tomuto účelu byly využity optický 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), urychlovacím napětí 25kV 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 ve výsledcích uváděny, pokud to není účelné.

### MNOŽSTVÍ VODOROZPUSTNÝCH SOLÍ (CHLORIDY, SÍRANY, DUSIČNANY) / UV-VIS SPEKTROSKOPIE

Obsah aniontů vodorozpuštěných solí, chloridů a síranů, byl stanoven pomocí UV/VIS spektrofotometrie v extraktech vzorků v destilované vodě. K tomuto účelu byl využit spektrofotometr Beckman Coulter DU© 720, měření bylo provedeno ve viditelném spektru světla v rozsahu vlnových délek 345–515 nm. Obsahy dusičnanů byly stanoveny pomocí indikátorových papírků Quantofix (Macherey-Nagel). Výluhy byly připraveny tak, že na 1 g vzorku bylo použito 50 ml demineralizované vody. Obsah aniontů vodorozpuštěných solí je v tabulkách uveden ve hmotnostních procentech [% hm.].

**Tab. 3:** Hodnocení stupně zasolení dle rakouské normy Önorm 3355-1.

Stupně zasolení	Chloridy [hm. %]	Sířany [hm. %]	Dusičnany [hm. %]
Nejsou nutná žádná opatření	< 0,03	< 0,10	< 0,05
Je nutné zvážit dílčí opatření	0,03–0,10	0,10–0,25	0,05–0,15
<b>Opatření jsou nezbytná</b>	<b>&gt; 0,10</b>	<b>&gt; 0,25</b>	<b>&gt; 0,15</b>

**Tab. 4:** Stupně zasolení dle ČSN P70610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva.

Stupně zasolení	Chloridy [hm. %]	Sířany [hm. %]	Dusičnany [hm. %]
nízký	pod 0,075	pod 0,5	pod 0,1
zvýšený	0,075–0,20	0,5–2,0	0,1–0,25
vysoký	0,20–0,5	2,0–5,0	0,25–0,5
velmi vysoký	<b>nad 0,5</b>	<b>nad 5</b>	<b>nad 0,5</b>

### STAV MATERIÁLU / ULTRAZVUKOVÁ TRANSMISE

Princip metody spočívá v měření rychlosti přechodu ultrazvukového signálu zkoumaným materiálem. Rychlost ultrazvuku, jeho tvar a intenzita jsou pro daný materiál charakteristické, mohou vypovídat o jeho vlastnostech. Na základě měření lze například porovnat různé materiály (horniny, malty), zjistit jejich stav a skryté defekty nebo vyhodnotit některé dílčí kroky restaurátorského zásahu (konsolidace). K měření byl využit přístroj Geotron UKS-14 (Geotron-Elektronik, Rolf Krompholz, Pirna-Neundorf) se sondou UNG 46 a přijímačem SW 40 nebo UPE.



### VÝSLEDKY STANOVENÍ MNOŽSTVÍ VODOROZPUSTNÝCH SOLÍ

**Tab. 5:** Výsledky stanovení obsahu vodorozpuštěných solí (barevnost dle Önorm 3355-1) ve vzorcích vrtné moučky, před odsolováním.

Vzorek	Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		Dusičnany (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	
	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]
V 1/1	1,38	144	0,00	0	0,04	10
V 1/2	0,47	49	0,04	6	0,04	10
V1/3	0,29	31	0,03	6	0,03	9

Z výsledků průzkumu množství vodorozpuštěných solí vyplývá, že je oblast odběru vzorků z vrtné provedené ve výšce 15 cm zatížena vysokým obsahem síranů a zvýšeným množstvím chloridů. Obsah dusičnanů je zanedbatelný.

**Tab. 6:** Výsledky stanovení obsahu vodorozpuštěných solí ve vzorcích zábalů.

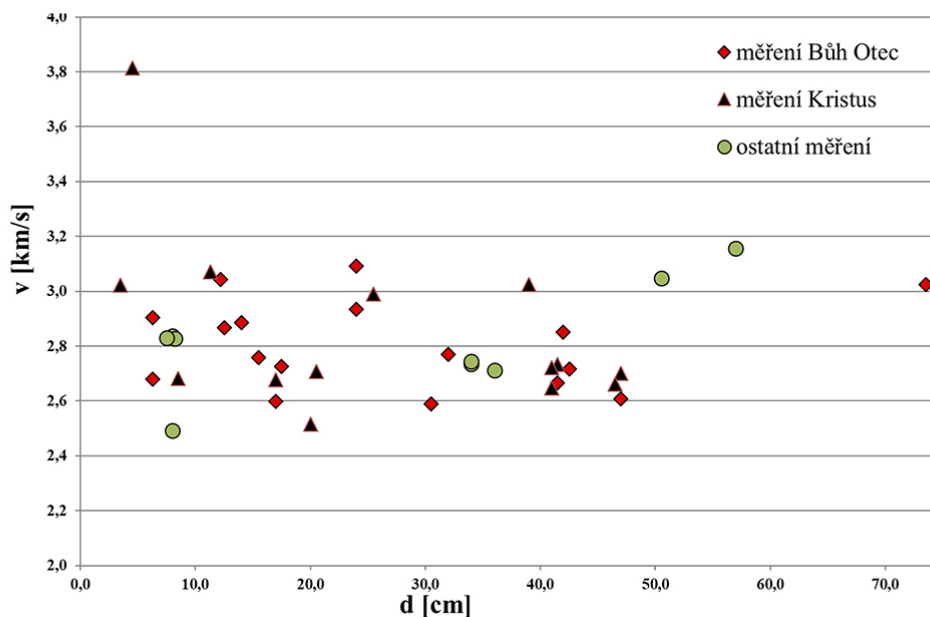
Vzorek	Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		Dusičnany (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	
	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]
OB 1/0	0,41		0,01		0,98	
OB 1/15	5,39		0,51		2,11	
OB 1/85	1,54		0,07		1,27	
OB 2/0 čistý	1,49		0,01		0,58	
OB 2/15 levý	9,48		3,84		2,81	
OB 2/85 levý	0,02		0,01		0,53	
OB 2/15 pravý	11,68		4,84		3,05	
OB 2/85 pravý	0,02		0,01		1,10	
OB 3/0 čistý	0,31		0,00		0,93	
OB 3/15 levý	4,32		0,16		1,87	
OB 3/85 levý	0,08		0,00		1,24	

Z výsledků stanovení obsahu vodorozpuštěných solí v odsolovacích zábalech vyplývá, že dochází k nezanedbatelné extrakci síranů a chloridů zejména ve spodních partiích odběrů zábalů ve všech provedených odsolovacích cyklech (OB1/15, OB2/15 levý, OB2/15 pravý, OB3/15 levý). V rámci druhého odsolovacího cyklu zřejmě došlo v této oblasti také k extrakci dusičnanů. Nelze jednoznačně vyhodnotit odsolování ve vyšších partiích, kde jsou koncentrace vodorozpuštěných solí extrahovaných do zábalů zanedbatelné, případně nízké. Je možné, že v těchto partiích není socha v tak vysoké míře zasolená.

## VÝSLEDKY MĚŘENÍ ULTRAZVUKOVÉ TRANSMISE

Výsledky a vyhodnocení měření jsou zaznamenány v tabulce Tab. 7, kde jsou uvedeny naměřené čas  $t$ , vzdálenost  $d$  pro dané měření a rychlost ultrazvukového signálu  $v$ . V poznámkách jsou uvedeny informace o směru měření, případně intenzitě naměřeného signálu. Silnější písmo je využito k vyznačení vysokých hodnot rychlostí, červeně vyznačeny nízké hodnoty rychlosti průchodu ultrazvuku, zeleně jsou vyznačeny relativně nižší hodnoty průchodu ultrazvuku.

Výsledky měření jsou pro přehlednost dále zaznamenány v následujícím grafu (Graf 1).



Graf 1: Závislost rychlosti průchodu ultrazvukové vlny  $v$  [km/s] na vzdálenosti sond  $d$  [cm].

Průměrné rychlosti průchodu ultrazvukového signálu se pohybují mezi hodnotami 2,5 až 3,2 km/s. Obecně takovéto hodnoty mohou odpovídat zdravému až lehce zvětralému pískovci<sup>1</sup>. O něco nižší rychlosti průchodu ultrazvuku byly zjištěny v subtilnějších částech, což by mohlo vypovídat o vyšší degradaci povrchu v porovnání s vnitřní částí sochy. V místě měření na břevnu kříže s výskytem praskliny je rychlost signálu pomalejší. Měřeními nebyly jednoznačně zaznamenány jiné fenomény. Zákresy lokalizace měření rychlosti ultrazvukové transmise uvádějí následující obrázky. Zároveň jsou zákresy lokalizace měření uvedeny v Příloze I.

<sup>1</sup> BAYER, Karol a Renata, TIŠLOVÁ. využití ultrazvukové transmise při průzkumu a charakterizaci objektů z kamene. In. Neinvazivní metody v péči o kulturní dědictví. Univerzita Pardubice, 2015, s. 12.

**Tab. 7:** Výsledky a vyhodnocení měření ultrazvukové transmise.

číslo měření	lokalizace měření	čas [ $\mu$ s]	d [cm]	v [km/s]	směr
1	levé rameno, Bůh	64,2	17,5	2,7	PZ
2	pravé rameno, Bůh	56,2	15,5	2,8	PZ
3	levá hrud', Bůh	81,8	24,0	2,9	PZ
4	pravá hrud', Bůh	77,6	24,0	3,1	PZ
5	pravé koleno, Bůh	155,7	41,5	2,7	PZ
6	levá ruka, Bůh	115,5	32,0	2,8	PZ
7	levé rameno, Bůh, kontrola	65,4	17,0	2,6	PZ
8	levé koleno Bůh	147,3	42,0	2,9	PZ
9	pravá holeň, Bůh	156,5	42,5	2,7	PZ
10	oblak pod levou nohou Boha	180,2	47,0	2,6	PZ
11	zeměkoule	165,7	50,5	3,0	PZ
12	hrud' holubice	180,6	57,0	3,2	PZ
13	břevno výše, kříž	124,3	34,0	2,7	PZ
14	břevno střed, kříž	123,9	34,0	2,7	PZ
15	břevno dole, kříž	132,7	36,0	2,7	PZ
16	levá hrud', Kristus	79,5	20,0	2,5	PZ
17	pravá hrud', Kristus	63,5	17,0	2,7	PZ
18	pravá hrud' níže, Kristus	75,7	20,5	2,7	PZ
19	břicho, Kristus	85,3	25,5	3,0	PZ
20	levé koleno, Kristus	151,9	41,5	2,7	PZ
21	levá holeň, Kristus	150,7	41,0	2,7	PZ
22	levá noha dole, Kristus	154,9	41,0	2,6	PZ
23	pravé koleno, Kristus	128,9	39,0	3,0	PZ
24	oblak pod nohou Krista	174,1	47,0	2,7	PZ
25	oblak níže pod nohou Krista	174,8	46,5	2,7	PZ
26	břevno nahoře, kříž	28,2	8,0	2,8	PL
27	břevno prasklina, kříž	32,1	8,0	2,5	PL
28	břevno dole, kříž	29,0	8,2	2,8	PL
29	levé koleno, Kristus	31,7	8,5	2,7	PL
30	draperie, levé koleno Krista	11,8	4,5	3,8	PL
31	pravé koleno, Kristus	37,4	11,3	3,0	PL
32	holubice níže	26,5	7,5	2,8	PL
33	levé koleno, Bůh	40,1	12,2	3,0	PL
34	levá holeň, Bůh	23,5	6,3	2,7	PL
35	levá draperie u holeně, Bůh	21,7	6,3	2,9	PL
36	pravé koleno výše, Bůh	48,5	14,0	2,9	PL
37	pravé koleno níže, Bůh	43,6	12,5	2,9	PL
38	draperie vzadu, Kristus	11,4	3,5	3,1	PZ
39	hrud' Kristus napříč k Bohu	243,0	73,5	3,0	PL
40	ramena, Bůh	117,8	30,5	2,6	PL



Obr. 1, 2 Lokalizace míst měření ultrazvukovou transmisí.

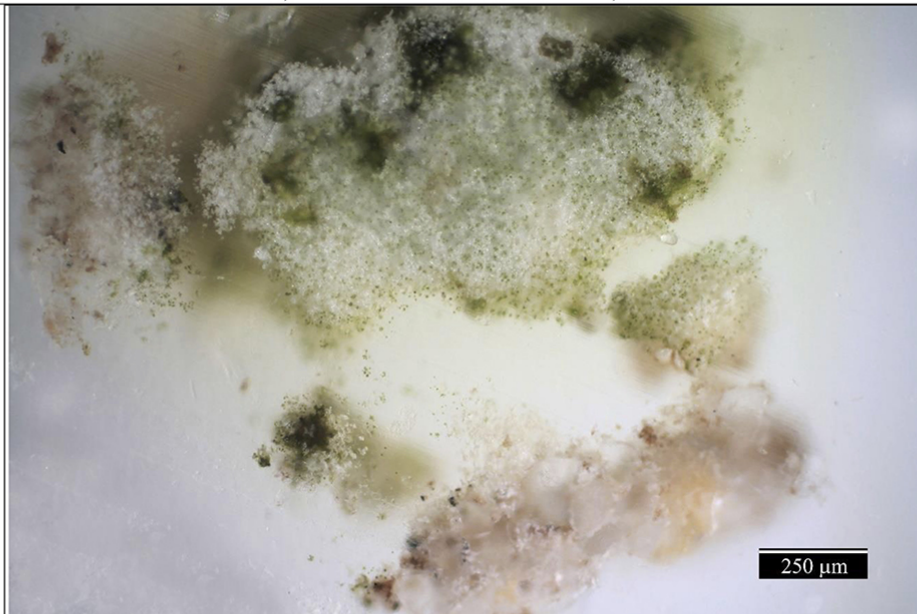


Obr. 3, 4 Lokalizace míst měření ultrazvukovou transmisí.

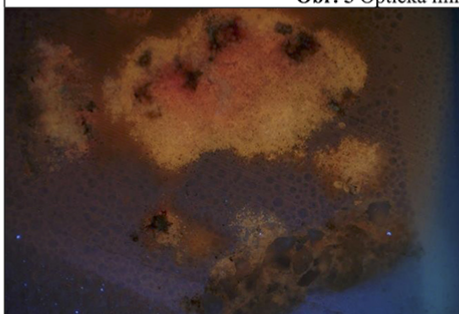


VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ – OM, SEM/EDX

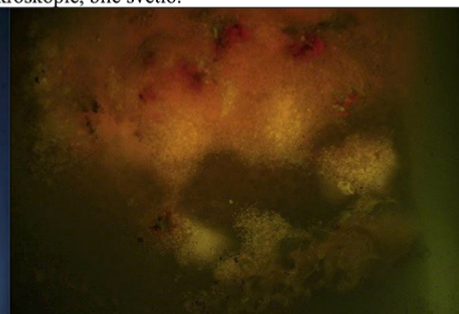
VZOREK 10274/V1 BŮH OTEC, MEZI DRAPERÍÍ A RUKOJETÍ ŽEZLA, MIKROBIOLOGICKÉ NAPADENÍ



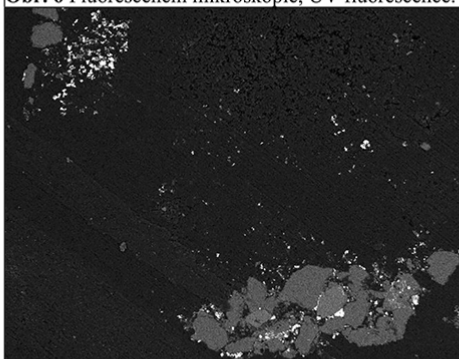
Obr. 5 Optická mikroskopie, bílé světlo.



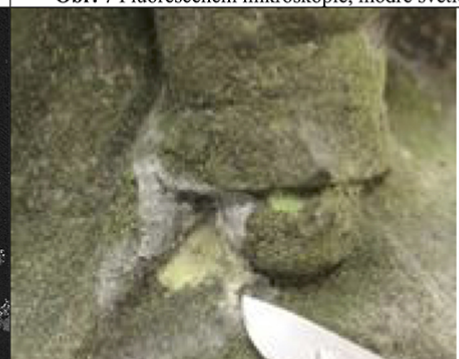
Obr. 6 Fluorescenční mikroskopie, UV fluorescence.



Obr. 7 Fluorescenční mikroskopie, modré světlo.



Obr. 8 Elektronová mikroskopie, BSE.



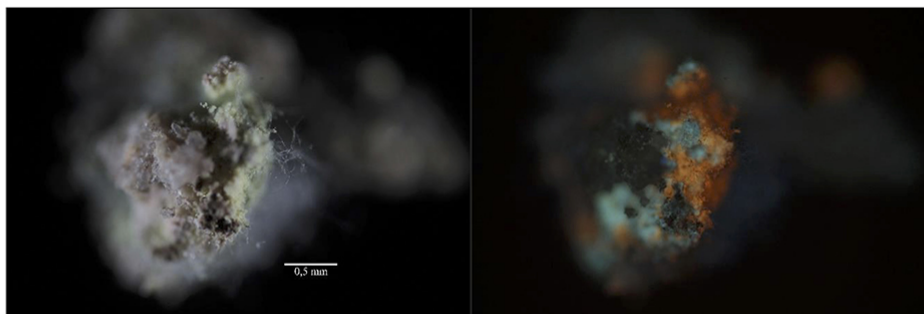
Obr. 9 Místo odběru vzorku, detail.



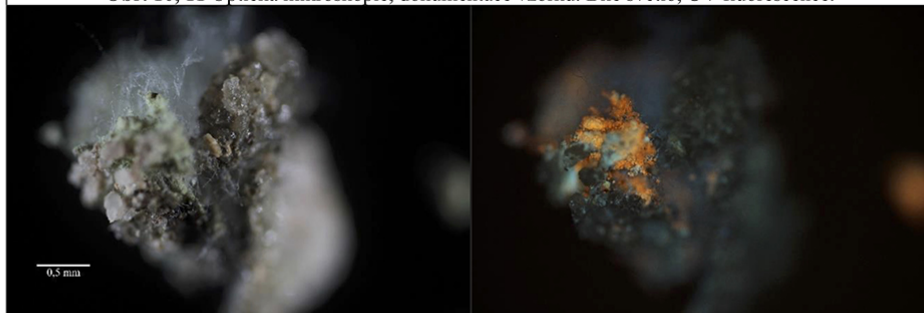
**Tab. 8:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

**Popis a složení vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM/EDX)**

úlolek horniny s křemennými zrny  $Si$  a biologickým napadením (oranžová UV fluorescence), mezizrnná hmota  $Si$  (Pb, S, K) obsahuje sloučeniny olova, může se jednat o pozůstatky olovnatých pigmentů, dále potom obsahuje sírany



**Obr. 10, 11** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.



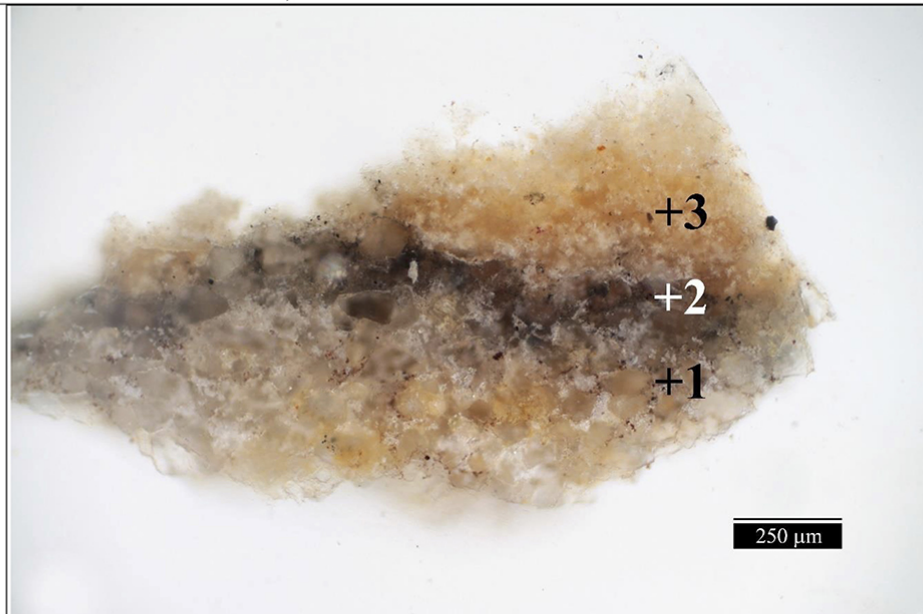
**Obr. 12, 13** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.

**Shrnutí:**

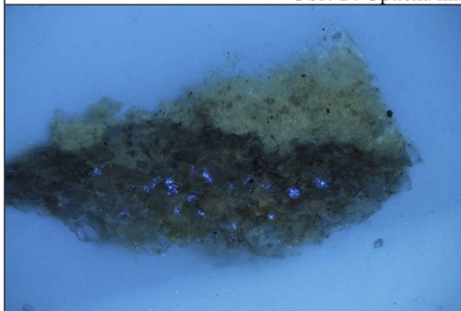
Vzorek je úlomkem pískovce, na jehož povrchu se vyskytuje biologické napadení. Biologický povlak má bílou a zelenou barvu, vyznačuje se oranžovou UV fluorescencí. V mezizrnném prostoru horniny byly zaznamenány sloučeniny olova a síry, zřejmě se jedná o pozůstatky (alterovaných) olovnatých pigmentů a sírany.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ – OM, SEM/EDX

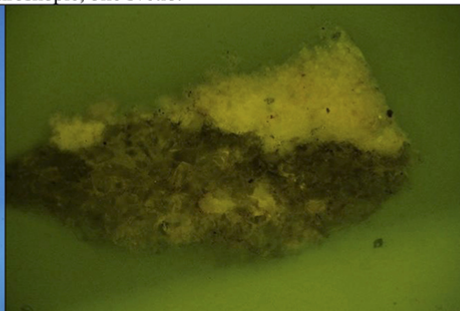
VZOREK 10275/V2 BŮH OTEC, HLOUBKA DRAPERIE



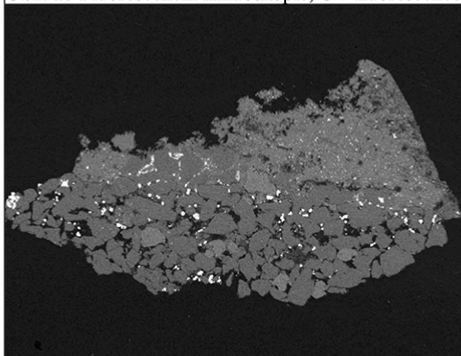
Obr. 14 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 15 Fluorescenční mikroskopie, UV fluorescence.



Obr. 16 Fluorescenční mikroskopie, modré světlo.



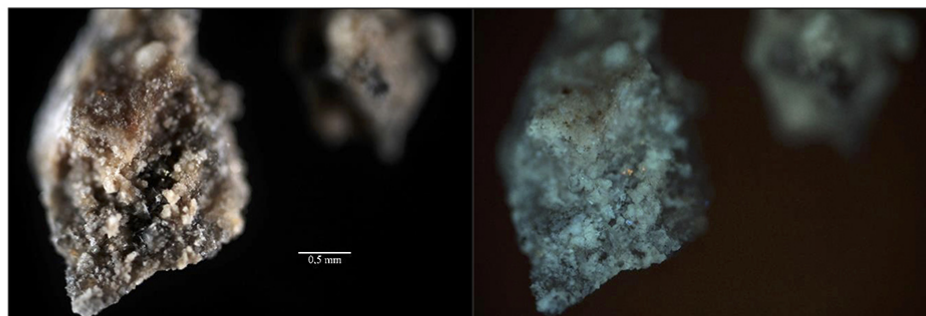
Obr. 17 Elektronová mikroskopie, BSE.  
SEM HV: 25.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCA  
SEM MAG: 238 x WD: 16.49 mm 500 μm



Obr. 18 Místo odběru vzorku, detail.

**Tab. 9:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM/EDX)
<u>3</u>	<b>Oranžovo-okrová vrstva</b> síran vápenatý, obsahuje částice <u>Pb</u> , <u>S</u> , <u>K</u> SEM-EDX plošná analýza: <u>Ca</u> , <u>S</u> (Si, Al, Na, K, P, Fe)
<u>2</u>	<b>Tmavá nesouvislá vrstva</b> zřejmě depozity
<u>1</u>	<b>Fragment pískovce</b> křemenná zrna <u>Si</u> , méně další silikátová zrna <u>Si</u> , <u>Al</u> , <u>K</u> (Na), v prostoru mezi zrny sloučeniny <u>Pb</u> , <u>S</u> , <u>K</u> – blíže nespecifikováno SEM-EDX plošná analýza: <u>Si</u> (Al, K, Na, Mg, Pb)



**Obr. 19, 20** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.



**Obr. 21, 22** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.

**Shrnutí:**

Vzorek je složen z fragmentu pískovce (vrstva 1) a oranžovo-okrové povrchové úpravy (vrstva 3). Na pískovci byla zaznamenána tmavá nesouvislá vrstva 2, zřejmě se jedná o nečistoty. Povrchová úprava obsahuje síran olovnatý, může se jednat o sulfatizovanou povrchovou úpravu, která původně obsahovala uhličitan vápenatý. Vrstva 3 je zřejmě probarvena železitými pigmenty. Ojedinele se ve vrstvě vyskytují částice obsahující Pb, S, K, Které nebyly blíže specifikovány a silikátové částice.

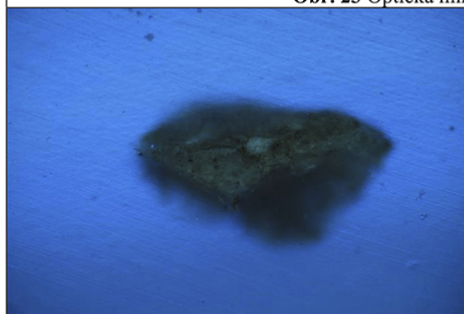


VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ – OM, SEM/EDX

VZOREK 10276/V3 ZADNÍ STRANA, SPODNÍ ZÁHYB MRAKU



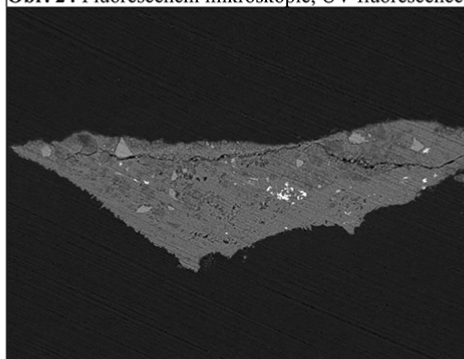
Obr. 23 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 24 Fluorescenční mikroskopie, UV fluorescence.



Obr. 25 Fluorescenční mikroskopie, modré světlo.



Obr. 26 Elektronová mikroskopie, BSE.

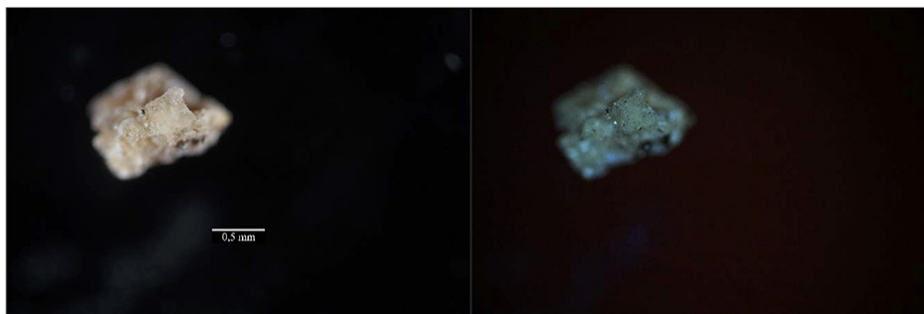


Obr. 27 Místo odběru vzorku, detail.

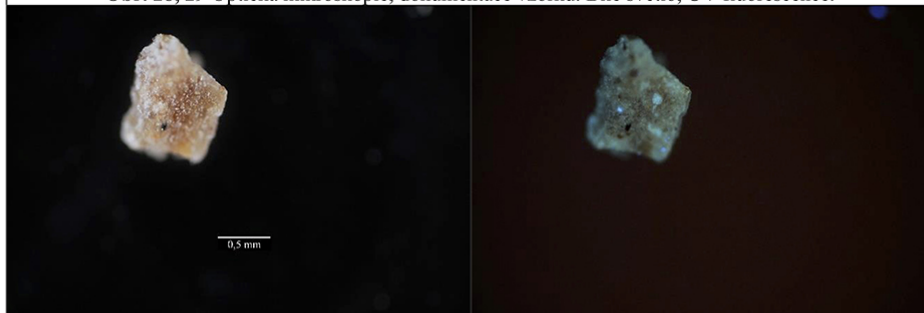
**Tab. 10:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

**Popis a složení vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM/EDX)**

fragment oranžovo-okrové vrstvy, obsahuje prvky Ca, S, Si, Al (Mg, Na, Fe, K, Pb)  
ostrohranné částice Ca, Si (Al, Mg) – zřejmě struska, jedná se pravděpodobně o sulfatizovanou vrstvu se strusko-portlandským cementem



**Obr. 28, 29** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.



**Obr. 30, 31** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.

**Shrnutí:**

Vzorek je fragmentem oranžovo-okrové vrstvy. Zřejmě se jedná o sulfatizovanou vrstvu s pojivem obsahujícím strusko-portlandský cement. Vrstva obsahuje prvky Ca, S, Si, Al (Mg, Na, Fe, K), blíže nebyla specifikována. Povrchová část vrstvy se odděluje.

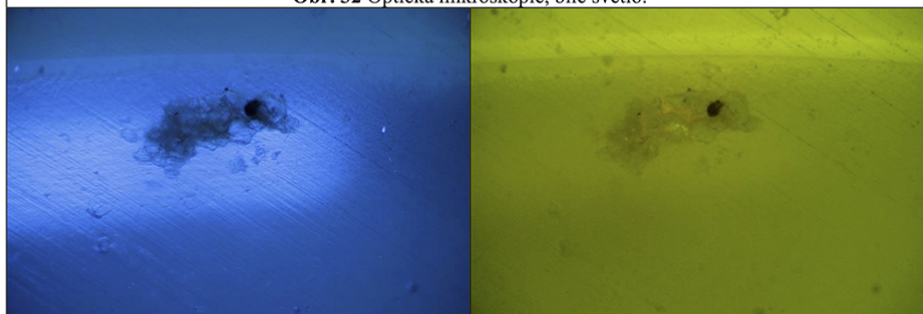


VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ – OM, SEM/EDX

VZOREK 10277/V4 ZADNÍ STRANA, SPODNÍ ZÁHYB MRAKU



Obr. 32 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 33 Fluorescenční mikroskopie, UV fluorescence.

Obr. 34 Fluorescenční mikroskopie, modré světlo.

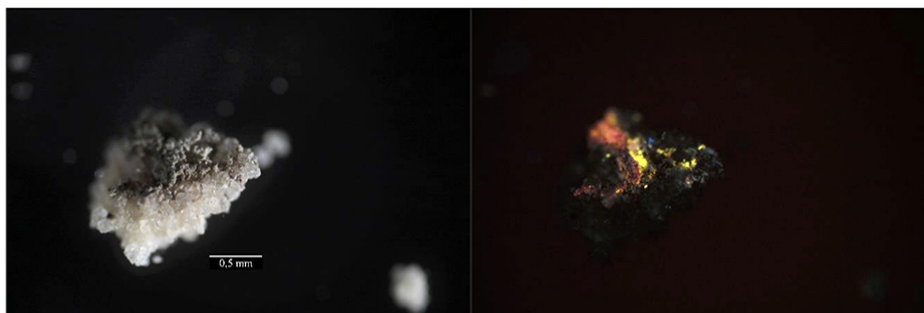


Obr. 35 Místo odběru vzorku, detail.

**Tab. 11:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Popis a složení vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou  
(SEM/EDX)

fragment pískovce



**Obr. 36, 37** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.



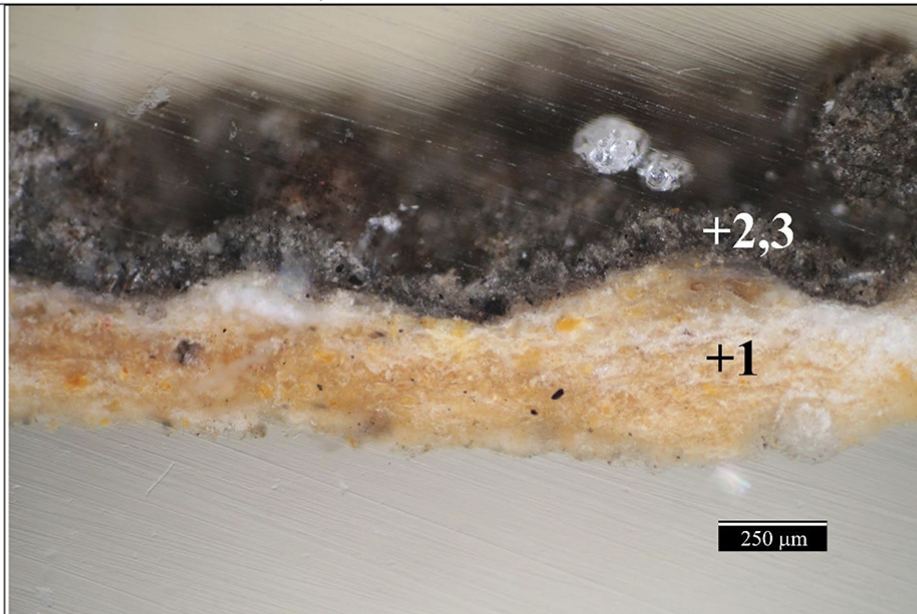
**Obr. 38, 39** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.

**Shrnutí:**

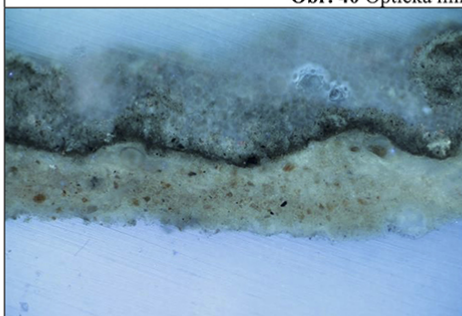
Vzorek je úlomkem pískovce.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ – OM, SEM/EDX

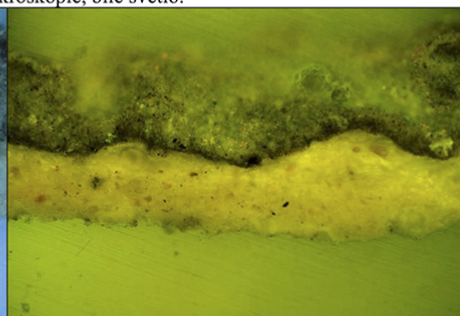
VZOREK 10278/V5 JEŽIŠ KRISTUS, POHLEDOVĚ LEVÁ DRAPERIE



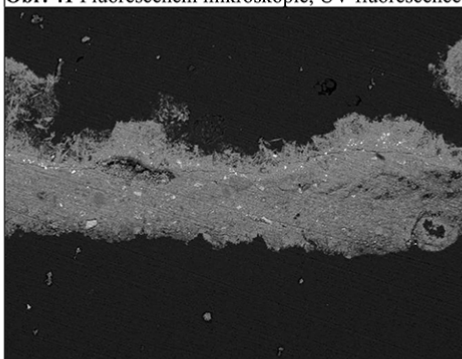
Obr. 40 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 41 Fluorescenční mikroskopie, UV fluorescence.



Obr. 42 Fluorescenční mikroskopie, modré světlo.

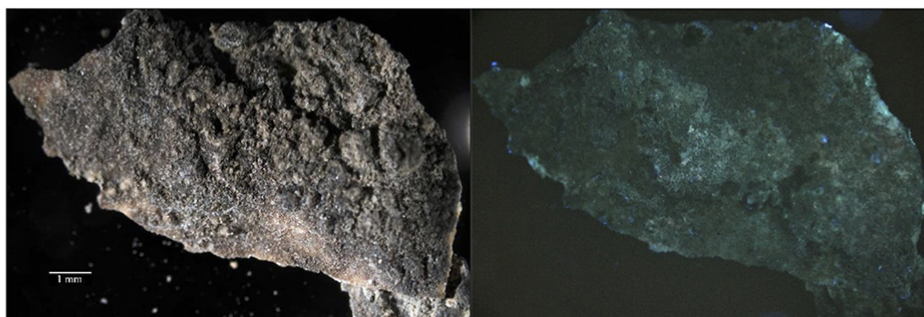


Obr. 43 Elektronová mikroskopie, BSE.

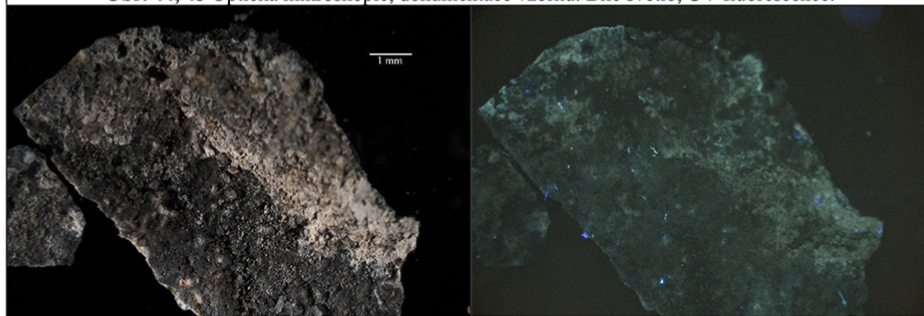


**Tab. 12:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy / optická a skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM/EDX)
<u>3</u>	<b>Šedá</b> vrstva Síran vápenatý SEM-EDX plošná analýza: <u>Ca</u> , <u>S</u> (Si, Al, Fe, K)
<u>2</u>	<b>Tenká černá/velmi tmavá vrstva</b> složení nebylo přesně zjišťováno, splývá s ostatními vrstvami
<u>1</u>	<b>Oranžovo-okrová</b> vrstva síran vápenatý, obsahuje částice <u>Pb</u> , <u>S</u> , <u>K</u> , ostrohranné částice <u>Ca</u> , <u>Si</u> (Al, Mg) – zřejmě struska, slídkové částice s fázemi <u>Si</u> , <u>Al</u> , <u>Ca</u> , <u>Fe</u> / <u>Al</u> , <u>Fe</u> , <u>Si</u> , <u>Ca</u> jedná se pravděpodobně o sulfatizovanou vrstvu se strusko-portlandským cementem, zřejmě železitý pigment SEM-EDX plošná analýza: <u>Ca</u> , <u>S</u> , <u>Si</u> , <u>Al</u> (Mg, Na, Fe, K, Pb)



**Obr. 44, 45** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.



**Obr. 46, 47** Optická mikroskopie, dokumentace vzorku. Bílé světlo, UV fluorescence.

#### **Shrnutí:**

Vzorek nejprve obsahuje oranžovo-žlutou vrstvu 1. Zřejmě se jedná o sulfatizovanou vrstvu s pojivem obsahujícím strusko-portlandský cement bez kameniva (plniva). Vrstva je zřejmě probarvena železitým oranžovým a červeným pigmentem. Následuje černá tenčí vrstva 2, jejíž přesné složení z důvodu splynutí vrstev není zřejmé, vrstva dominantně obsahuje síran vápenatý. Na povrchu vzorku se vyskytuje šedá vrstva 3 se síranem vápenatým, zřejmě sádrovcová krusta.

## ZÁVĚR

Chemicko technologický průzkum byl zaměřen na **materiálové složení**, případně **stratigrafii** vzorků povrchových úprav, tmelů a krust odebraných z **pískovcového sousoší** Svaté trojice pocházející z obce Osík u Litomyšle. Dále byl v rámci průzkumu zjišťován stav kamene měřením **rychlosti ultrazvukové transmise** a stanoveny **obsahy vodorozpustných solí** (dusičnanů, síranů a chloridů) ve vzorcích vrtné moučky získaných z jednoho vrtu provedeného na zadní straně sochy ve výšce 15 cm. Množství vodorozpustných solí bylo dále zjišťováno v odsolovacím zábalu před a po jeho použití.

Výsledky průzkumu **stratigrafie a složení vzorků** metodami optické mikroskopie a elektronové mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX) jsou uvedeny ve výsledcích předkládané zprávy výše (str. 7 až 16).

Z výsledků průzkumu množství vodorozpustných solí ve vrtné moučce kamene (V1, V2, V3, str. 3) vyplývá, že je oblast odběru vzorků z vrtu provedeného ve výšce 15 cm zatížena **vysokým obsahem síranů a zvýšeným množstvím chloridů**. Obsah **dusičnanů je zanedbatelný**. Na základě výsledků stanovení obsahů vodorozpustných solí v použitých odsolovacích zábalech z prvního odsolovacího cyklu (OB1) lze předpokládat, že došlo k extrakci určitého množství síranů i chloridů do zábalů.

Z výsledků stanovení obsahů vodorozpustných solí v odsolovacích zábalech vyplývá, že dochází k **nezanedbatelné extrakci síranů a chloridů zejména ve spodních partiích odběrů zábalů ve všech provedených odsolovacích cyklech (OB1/15, OB2/15 levý, OB2/15 pravý, OB3/15 levý)**. V rámci druhého odsolovacího cyklu zřejmě došlo v této oblasti také k extrakci dusičnanů. Nelze jednoznačně vyhodnotit odsolování ve vyšších partiích, kde jsou koncentrace vodorozpustných solí extrahovaných do zábalů zanedbatelné, případně nízké. Je možné, že v těchto partiích není socha v tak vysoké míře zasolená.

Z měření metodou ultrazvukové transmise (str. 4, 5) celkově vyplývá, že je **hornina v dobrém stavu**, může být lehce zvětřalá. Lze předpokládat, že je povrch degradován o něco více než vnitřní částí sochy. Průměrné rychlosti průchodu ultrazvukového signálu se pohybují mezi hodnotami 2,5 až 3,2 km/s.

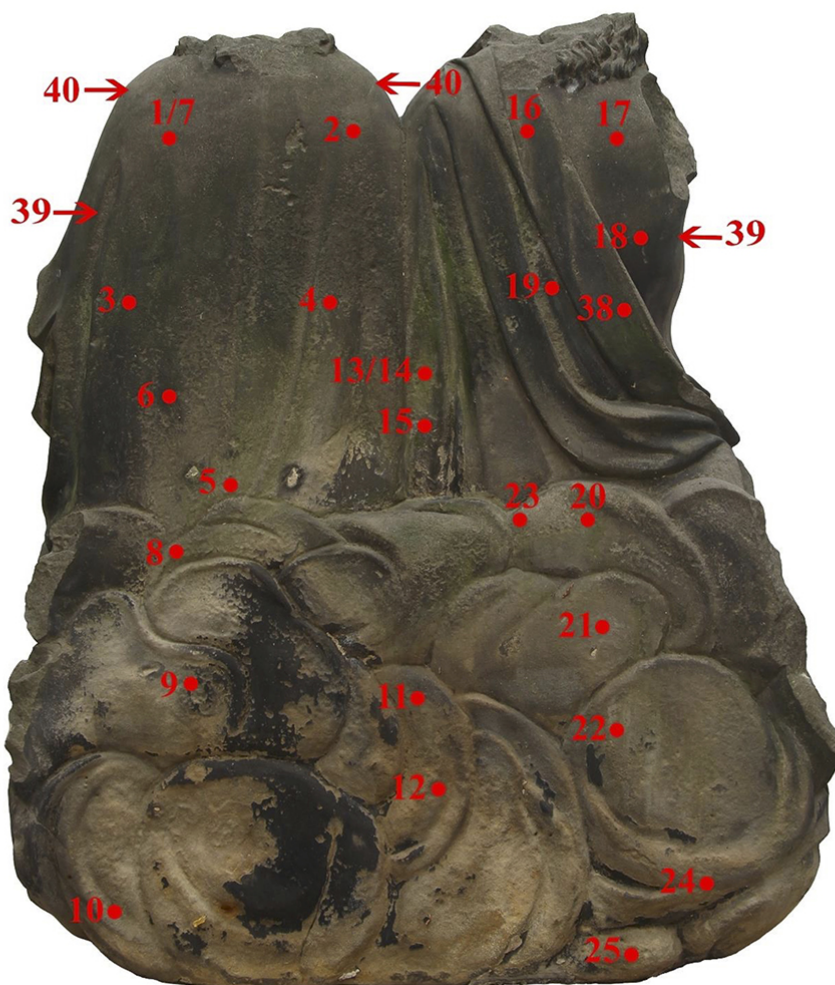


PŘÍLOHA I – FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE MÍST ODBĚRŮ VZORKŮ

Autor fotografií a zákresů: S. Burkhardtová



Obr. 48 Lokalizace míst měření ultrazvukovou transmisí, čelní pohled na sochu.



Obr. 49 Lokalizace míst měření ultrazvukovou transmisí, zadní pohled na sochu.



**Obr. 50** Lokalizace míst měření ultrazvukovou transmisí, boční pohledy na sochu.



**PŘÍLOHA II – FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE MÍST ODBĚRŮ VZORKŮ**

Autor fotografií a zákresu: S. Burkhardtová



**Obr. 51** Lokalizace místa odběru vzorku 10274/V1 na soše.



**Obr. 52** Detail místa odběru vzorku 10274/V1.



**Obr. 53** Lokalizace místa odběru vzorku 10275/V2 na soše.



**Obr. 54** Detail místa odběru vzorku 10275/V2.





**Obr. 55** Lokalizace místa odběru vzorku 10276/V3 na soše.



**Obr. 56** Detail místa odběru vzorku 10276/V3.



**Obr. 57** Lokalizace místa odběru vzorku 10277/V4 na soše.



**Obr. 58** Detail místa odběru vzorku 10277/V4.



Příloha P.II: Technologická zpráva k teoretické části – Materiálový průzkum vzorků sádrovcové krusty z vápencových prvků katedrály sv. Štěpána ve Vídni



UNIVERZITA  
PARDUBICE  
FAKULTA  
RESTAUROVÁNÍ

**MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM VZORKŮ  
SÁDROVCOVÉ KRUSTY  
ZDOBNÉ PRVKY KATEDRÁLY SV. ŠTĚPÁNA VE VÍDNI**

**ZADAVATEL PRŮZKUMU**

Ateliér restaurování uměleckých děl z kamene a příbuzných materiálů  
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl  
Vedoucí ateliéru: MgA. Jakub Ďoubal, Ph.D.

**STUDENT / VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

BcA. Stella Burkhardtová / MgA. Petr Rejman

**SPECIFIKACE**

vzorky zdobných prvků z katedrály sv. Štěpána, Vídeň, Rakousko  
organodetrický vápenc s černými sádrovcovými krustami  
průzkum je součástí diplomové práce zaměřené na možnosti odstraňování sádrovcových krust

**ZADÁNÍ PRŮZKUMU, ODBĚR VZORKŮ**

Počet dodaných vzorků: 8 kompaktních vzorků krust s fragmentem vápence.  
Průzkum bude sloužit jako podklad ke zkouškám odstraňování černých krust, které budou provedeny v rámci diplomové práce

Cíle průzkumu:

- stratigrafie a materiálové složení kompaktních vzorků černých krust s podkladem (vápenc) odebraných ze zdobných prvků metodami optické mikroskopie (OM) a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM-EDX)
- stratigrafie a porovnání čištěných a neočištěných míst metodami optické mikroskopie (OM) a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou (SEM-EDX)

Dokumentace míst odběrů vzorků je uvedena v Příloze I  
Dokumentace sádrovce na prvku č. 3 skenovacím elektronovým mikroskopem je v Příloze II.

**Tab. 1:** Vzorky kompaktních vzorků krust s fragmenty vápence z reálných prvků.

Evidenční číslo	Popis
10981	vz. 1 velmi silná vrstva krusty s krakeláží
10982	vz. 2 podobně silná (tenčí) vrstva krusty s krakeláží jako u vzorku č. 1, prvek č. 1
10983	vz. 3 tenká krusta se silnou vrstvou krusty s krakeláží, prvek č. 1
10984	vz. 4 tenká, velmi černá vrstva krusty, zřejmě velmi tvrdá, prvek č. 2
10985	vz. 5 tenká, velmi černá vrstva krusty, prvek č. 2
10986	vz. 6 tenká velmi černá vrstva krusty se silnou vrstvou krusty s krakeláží, odděluje se od kamenného podkladu, prvek č. 3
10987	vz. 7 velmi tenká, šedá až lehce hnědá vrstva povlaku/krusty, prvek č. 4
10988	vz. 8 tenká, černá až lehce hnědá vrstva krusty, méně černá než vzorek 4 nebo 5, prvek č. 4

**AUTOR ZPRÁVY Z MATERIÁLOVÉHO PRŮZKUMU**

Počet stran:	30	Datum:	14. 5. 2023
Autor zprávy:	Petra Lesniaková		
Místo:	Katedra chemické technologie Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, Litomyšl 570 01		

## METODIKA PRŮZKUMU

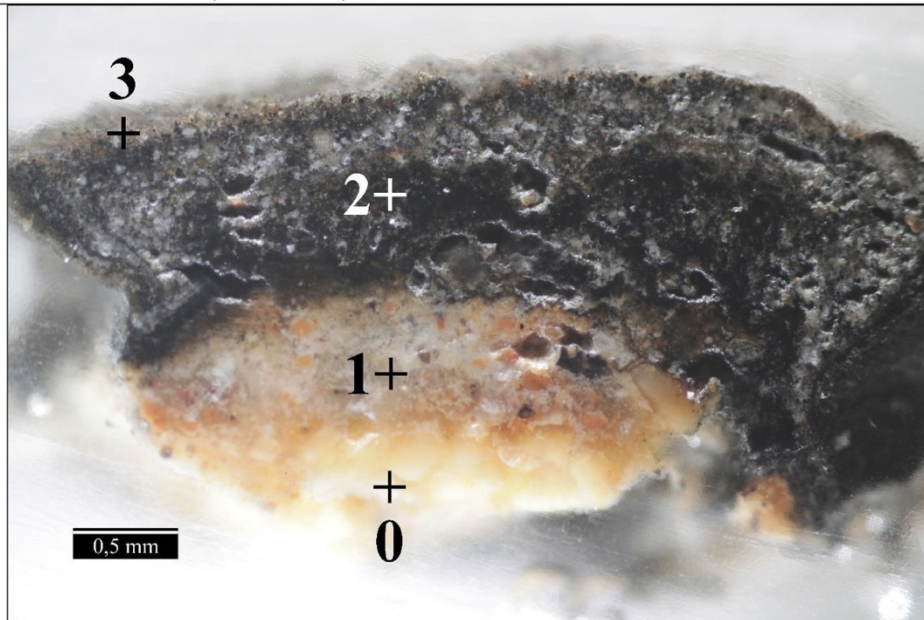
### STRATIGRAFIE A OPTICKÉ VLASTNOSTI VRSTEV / SVĚTELNÁ, LUMINISCENČNÍ A SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE (SEM)

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) a viditelné (VIS) luminiscenci buzené modrým světlem. Stejně techniky byly použity k mikroskopickému průzkumu nábrusů připravených z vybraných úlomků vzorků. Nábrusy byly připraveny zalitím úlomků polyesterové pryskyřice GPE100S a jejich sbroušením po vytvrnutí hmoty. Pouhličené nábrusy byly dále studovány elektronovým mikroskopem Mira 3 LMU (Tescan) ve vysokém vakuu, režimu zpětně odražených elektronů (BSE) při napětí 25 kV.

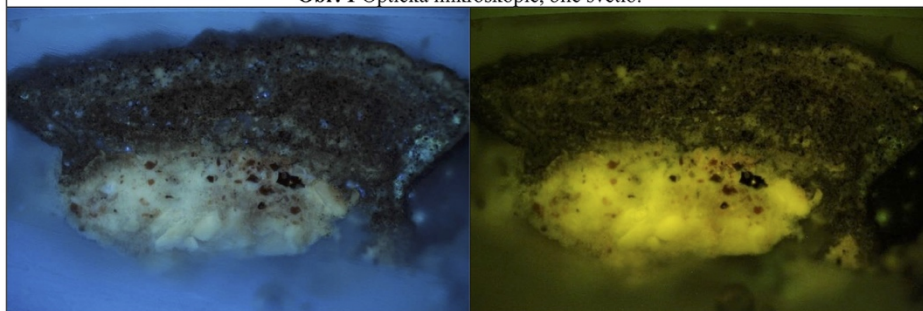
### MATERIÁLOVÝ PRŮZKUM VRSTEV / SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE S ENERGIJĚ-DISPERZNÍ ANALÝZOU (SEM/EDX)

Materiálový průzkum byl proveden skenovací elektronovou mikroskopií s energiově-disperzní rentgenovou analýzou (SEM/EDX), měření bylo realizováno v místech vybraných pomocí optické mikroskopie. 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, 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, v závorkách jsou prvky s minoritním zastoupením. Prvky kyslík a uhlík nejsou uváděny, pokud to není účelné.

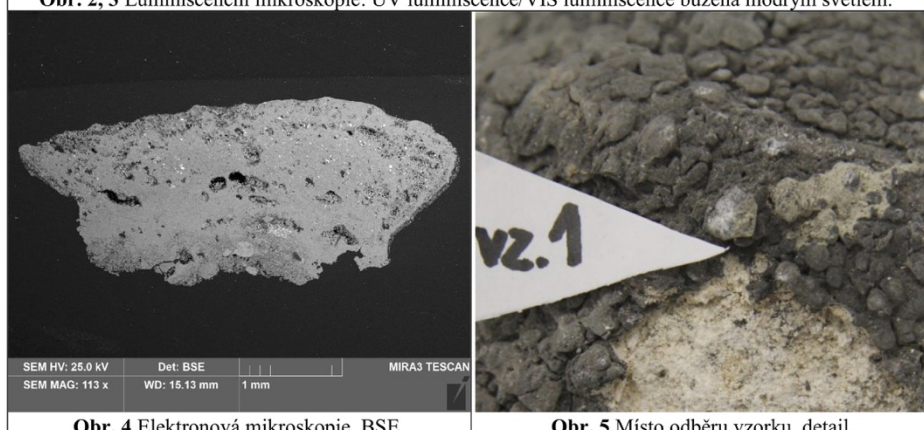
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10981/VZ1, PRVEK Č. 1, VELMI SILNÁ KRUSTA



Obr. 1 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 2, 3 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.



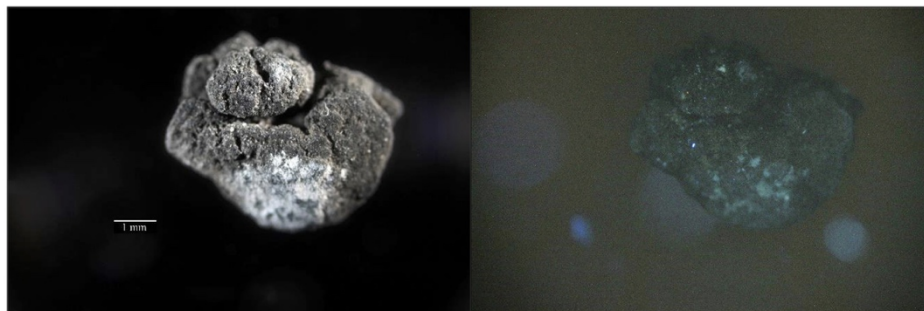
Obr. 4 Elektronová mikroskopie, BSE.

Obr. 5 Místo odběru vzorku, detail.

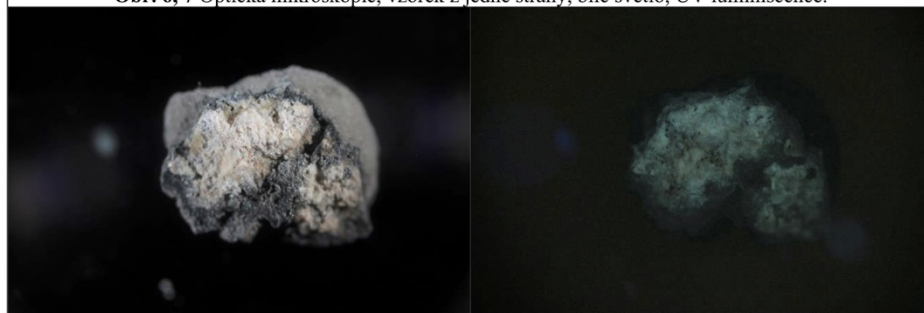


**Tab. 2:** Výsledky průřezu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<b>3</b>	Nesouvislá <b>černá vrstva</b>	Ca, Si, Al, Fe (K, Na, S, P, Mg)
<b>2</b>	Silná <b>černá krusta</b> : síran vápenatý, částice na bázi sloučenin železa, uhlíkaté částice, cca 1,5 mm	Ca, S (Si, Al, Fe, K, Mg, Zn, P, Cl)
<b>1</b>	<b>Světlá okrovo-oranžová vrstva</b> : síran vápenatý, okrové silikátové částice, původně zřejmě vápenné pojivo, ojediněle hydraulické částice, cca 0,5 mm	mezizrnná hmota: Ca, S (Zn, Mg) oranžové částice: Si, Al (Fe, Mg) nebo Fe, Si (Ti)
<b>0</b>	<b>Hornina, fragment</b> : zrna vápence	zrna Ca

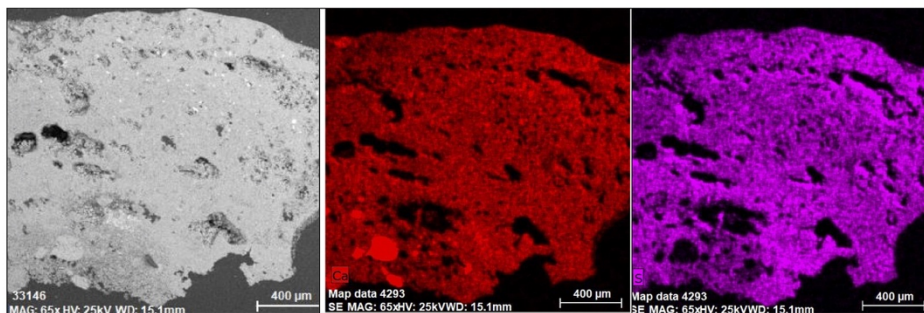


**Obr. 6, 7** Optická mikroskopie, vzorek z jedné strany, bílé světlo, UV luminiscence.



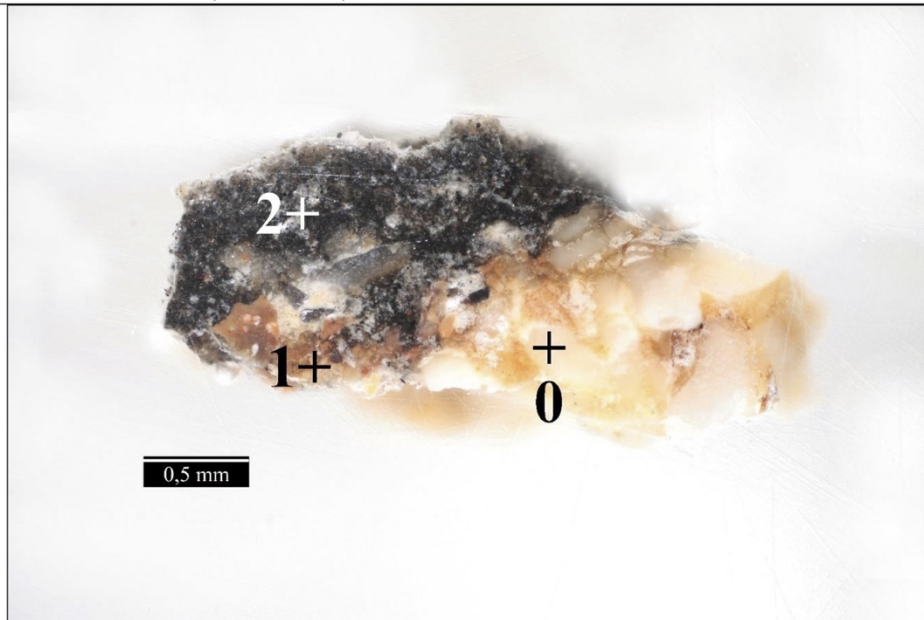
**Obr. 8, 9** Optická mikroskopie, vzorek z druhé strany, bílé světlo, UV luminiscence.

**Shrnutí:** Vzorek nejprve obsahuje **zrna vápence** (vrstva **0**) pocházející z podkladu (horniny). Následuje světlá **oranžovo-okrová vrstva 1**, která je převážně tvořena síranem vápenatým. Fragment obsahuje oranžové silikátové částice. **Silná černá krusta 2** také obsahuje především síran vápenatý. Místy se na povrchu vzorku vyskytuje **tmavá vrstva 3**, která zřejmě obsahuje uhlíkatý vápennatý a silikáty. Její složení nebylo blíže odvozeno.

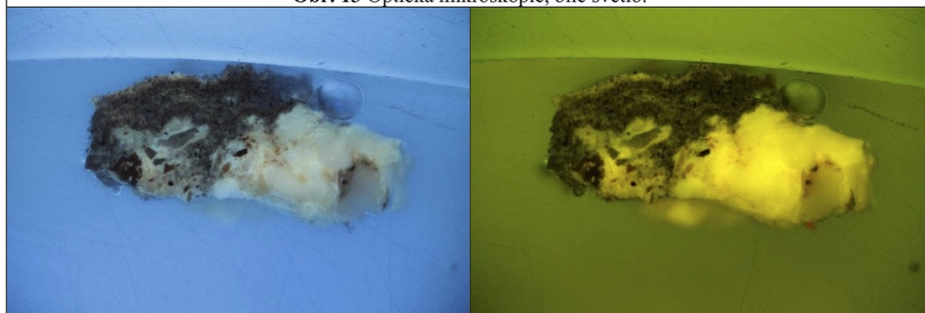


**Obr. 10, 11, 12** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.

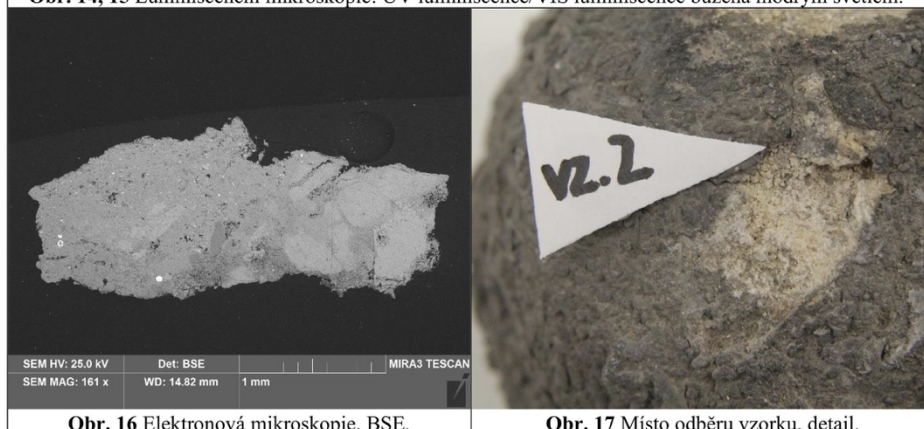
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10982/VZ2, PRVEK Č. 1, SILNÁ KRUSTA



Obr. 13 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 14, 15 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.

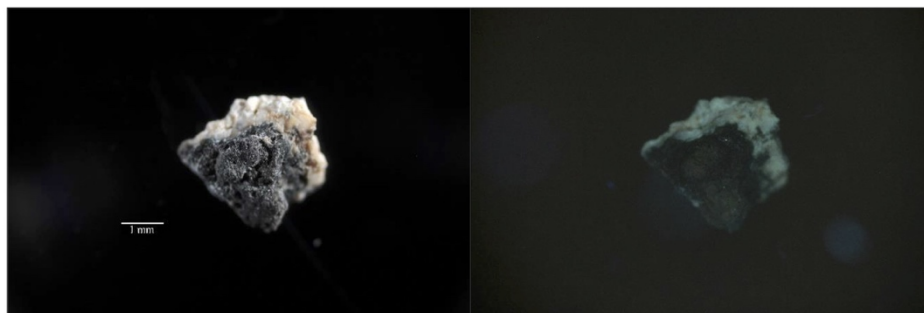


Obr. 16 Elektronová mikroskopie, BSE.

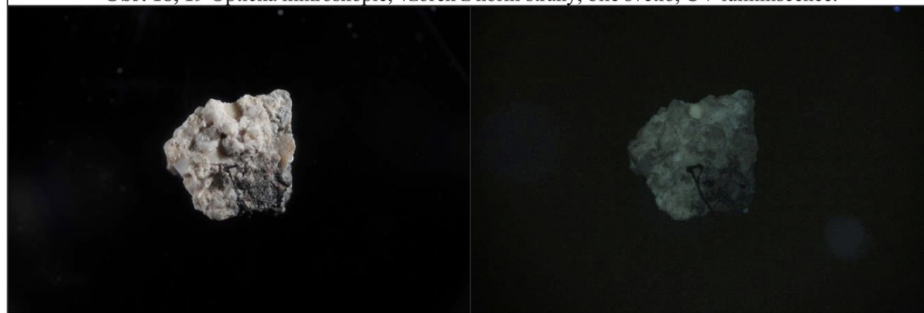
Obr. 17 Místo odběru vzorku, detail.

**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)
<u>2</u>	Silná <b>černá krusta</b> : síran vápenatý, částice na bázi sloučenin železa, uhlíkaté částice, zrna vápence, cca 1,1 mm	Ca, S (Si, Al, Na, Fe, K, Mg, Zn, P, Cl) zrna vápence Ca
<u>1</u>	Fragmenty <b>světlé okrovo-oranžové vrstvy</b> : síran vápenatý, okrové silikátové částice, původně zřejmě vápenné pojivo	mezizrnná hmota: Ca, S (Zn, Mg) oranžové částice: Si, Al (Fe, Mg) a Fe, Si (Ti)
<u>0</u>	<b>Hornina</b> : zrna vápence, povrchová zrna přeměněna částečně na síran vápenatý, mezi zrny síran vápenatý	mezizrnná hmota: Ca, S zrna Ca

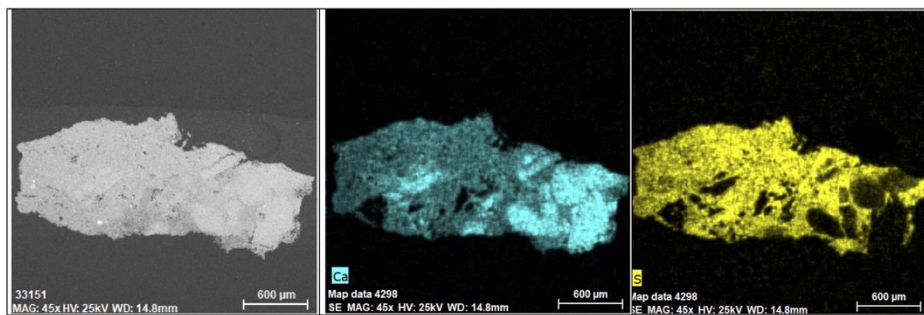


**Obr. 18, 19** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



**Obr. 20, 21** Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

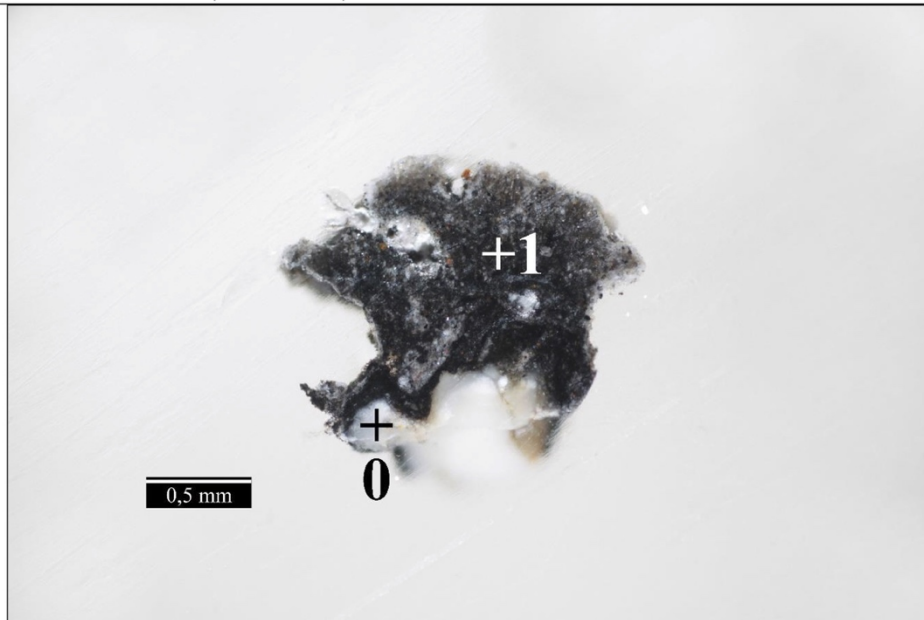
**Shrnutí:** Vzorek nejprve obsahuje fragment **vápence** (vrstva **0**) s vápencovými zrny. Zrna vápence nalézající se spíše na povrchu jsou částečně přeměněna na síran vápenatý. Mezizrnná hmota (pojivo horniny) je sulfatizováno, obsahuje především síran vápenatý. Následují fragmenty světlé **oranžovo-okrové vrstvy 1**, která je převážně tvořena síranem vápenatým. Fragment obsahuje oranžové silikátové částice. **Silná černá krusta 2** také obsahuje především síran vápenatý.



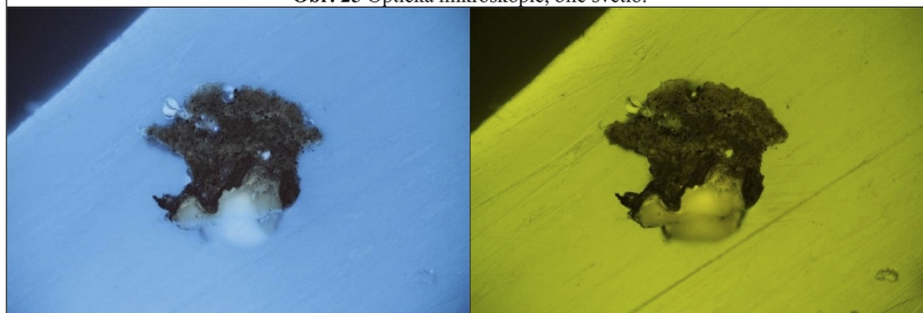
**Obr. 22, 23, 24** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.



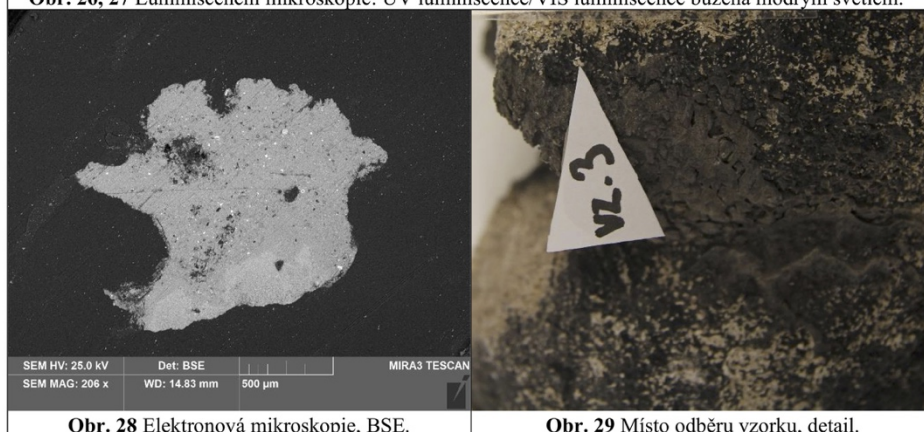
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10983/VZ3, PRVEK Č. 2, SILNĚJŠÍ KRUSTA



Obr. 25 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 26, 27 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.



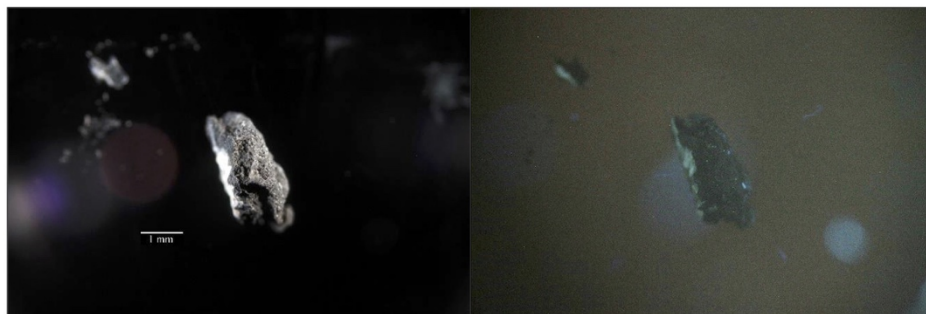
Obr. 28 Elektronová mikroskopie, BSE.

Obr. 29 Místo odběru vzorku, detail.



**Tab. 4:** Výsledky průřezu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<b>1</b>	Silná <b>černá krusta</b> : síran vápenatý, částice na bázi sloučenin železa, silikátové částice, ojediněle dolomitická zrnka, cca 1,1 mm	Ca, S (Si, Al, Na, Fe, Mg, Zn, P, K, Ti, Cl)
<b>0</b>	<b>Fragment horniny</b> : zrna vápence, povrchová zrna přeměněna částečně na síran vápenatý, mezi zrny síran vápenatý	mezizrná hmota: Ca, S zrna Ca a Ca (Mg)

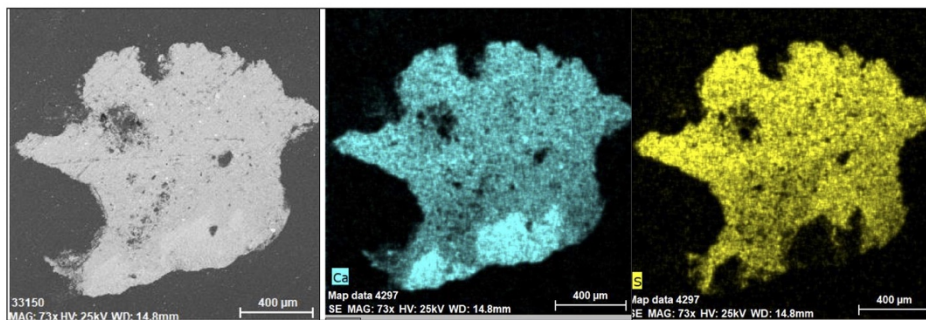


**Obr. 30, 31** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



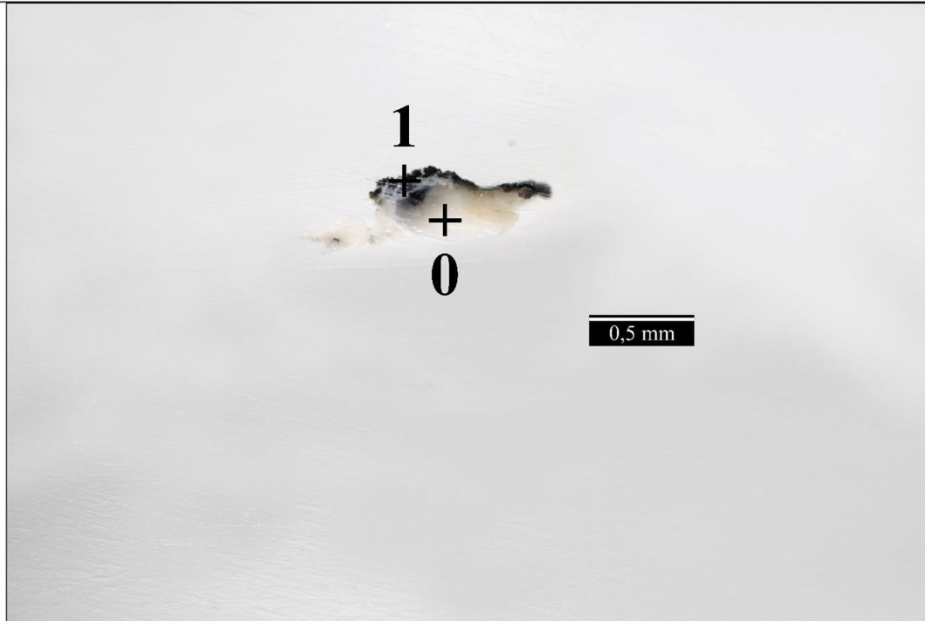
**Obr. 32, 33** Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

**Shrnutí:** Vzorek nejprve obsahuje **zrna vápence 0** (fragment horniny). Následuje **černá silnější krusta 1** tvořená zejména síranem vápenatým.

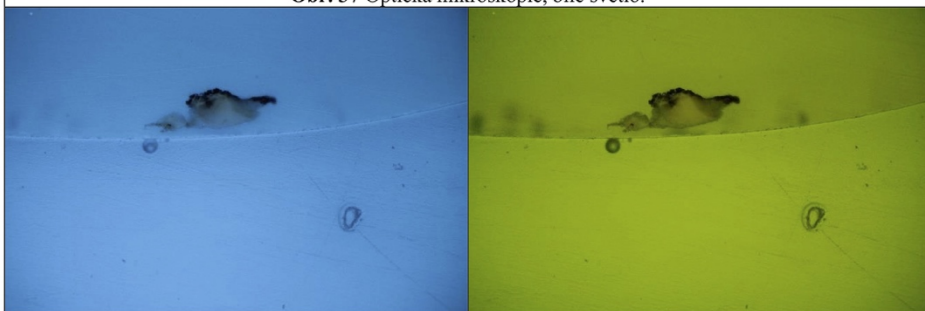


**Obr. 34, 35, 36** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.

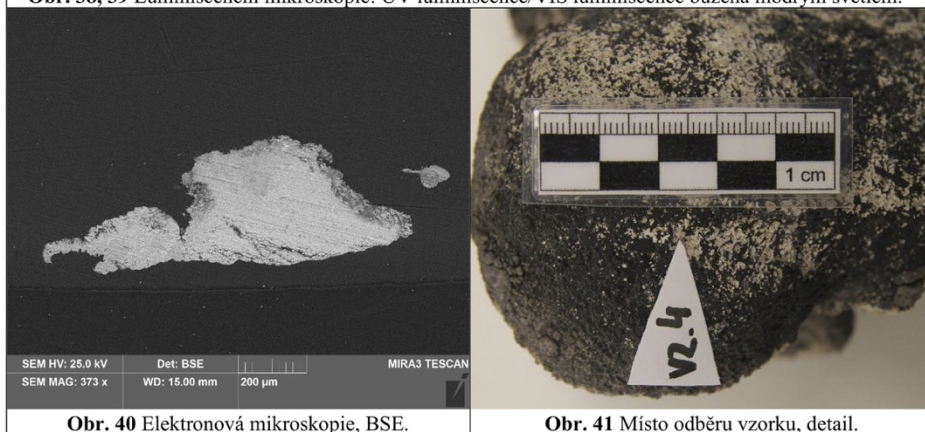
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10984/VZ4, PRVEK Č. 2, TENČÍ KRUSTA



Obr. 37 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 38, 39 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.

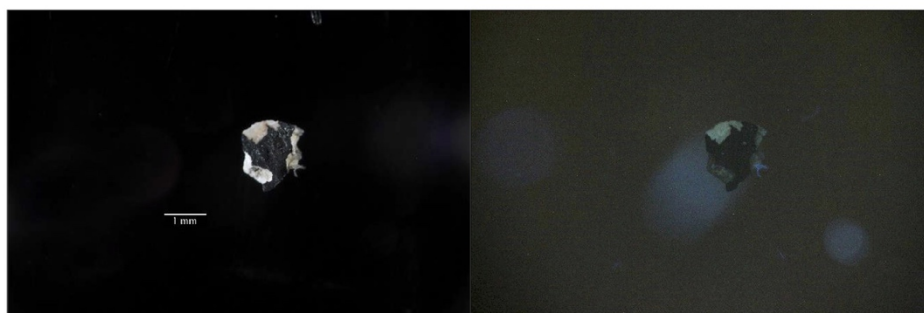


Obr. 40 Elektronová mikroskopie, BSE.

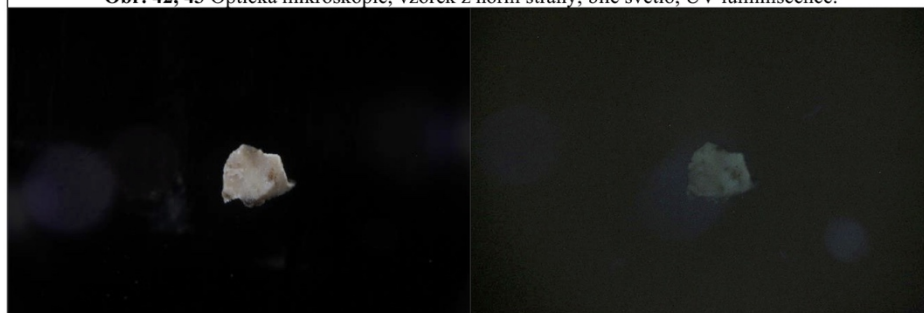
Obr. 41 Místo odběru vzorku, detail.

**Tab. 5:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<u>1</u>	Tenká <b>černá krusta</b> : síran a uhličitán vápenatý, silikáty, cca 0,02 mm	Ca, S (Fe, Al, P, F, K, Mg, Zn, Ti, Cl)
<u>0</u>	<b>Fragment horniny</b> : zrna vápence, mezi zrny síran vápenatý	mezizrnná hmota: Ca, S zrna Ca

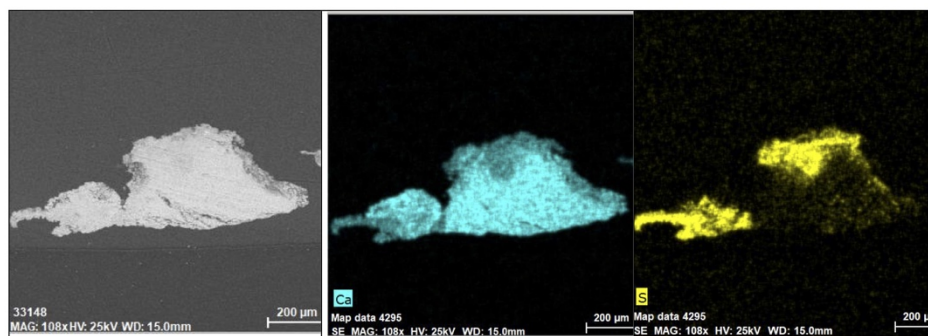


**Obr. 42, 43** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



**Obr. 44, 45** Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

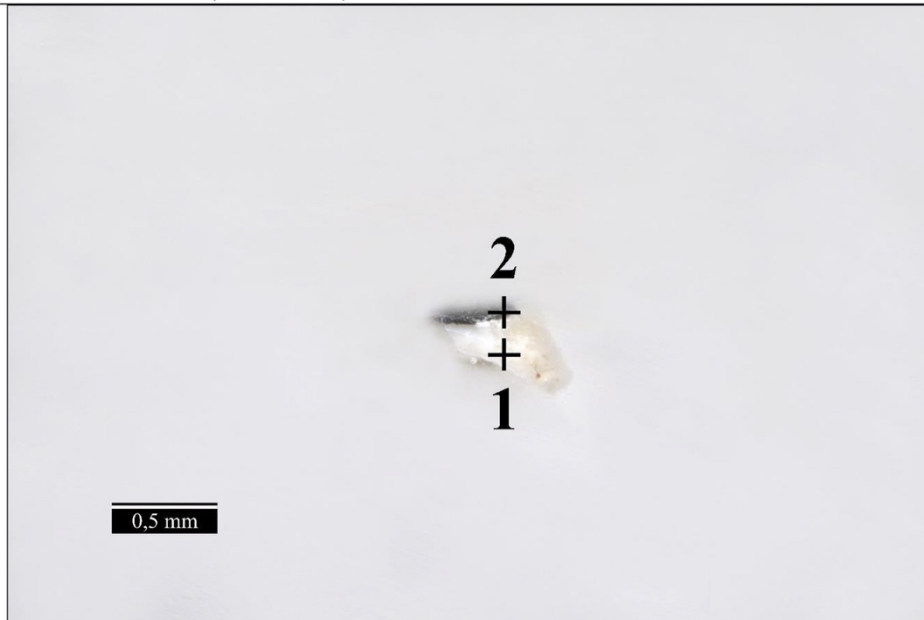
**Shrnutí:** Vzorek nejprve obsahuje **zrna vápence 0** (fragment horniny). Následuje **černá tenká krusta 1** tvořená zejména síranem vápenatým. Krusta obsahuje zvýšený obsah křemíku Si.



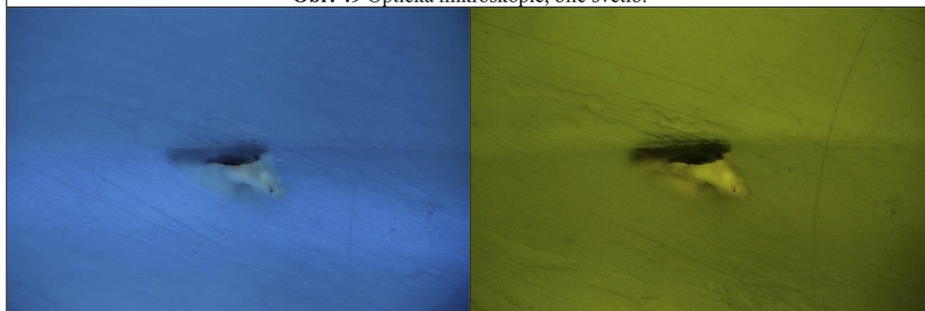
**Obr. 46, 47, 48** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.



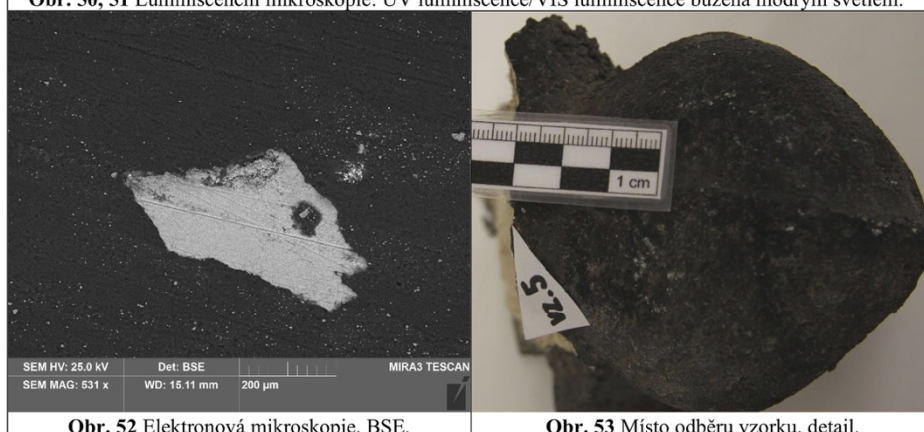
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10985/VZ5, PRVEK Č. 3, KOMPAKTNÍ RELATIVNĚ TENČÍ KRUSTA



Obr. 49 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 50, 51 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.



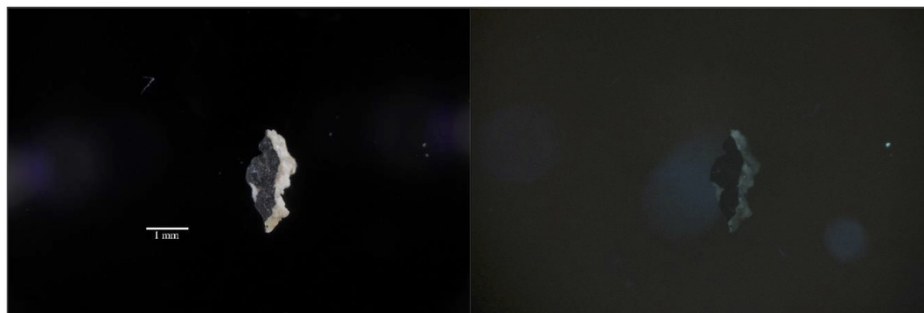
Obr. 52 Elektronová mikroskopie, BSE.

Obr. 53 Místo odběru vzorku, detail.

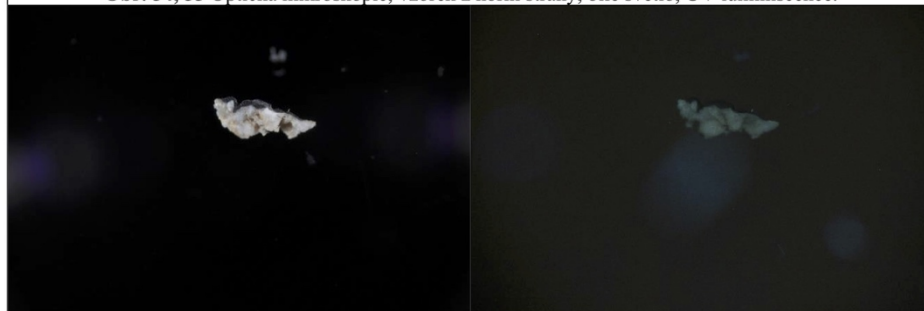


**Tab. 6:** Výsledky průřezu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<b>1</b>	Tenká <b>černá krusta</b> : síran a uhličitán vápenatý, silikáty, sloučeniny fluoru (může se jednat o pozůstatky fluátů), blíže neinterpretováno, cca 0,02 mm	Ca, S, F (Al, Si, Na, K, Fe, Mg, Cl, P)
<b>0</b>	<b>Fragment horniny</b> : zrna vápence, mezi zrna síran vápenatý	mezizrná hmota: Ca, S zrna Ca

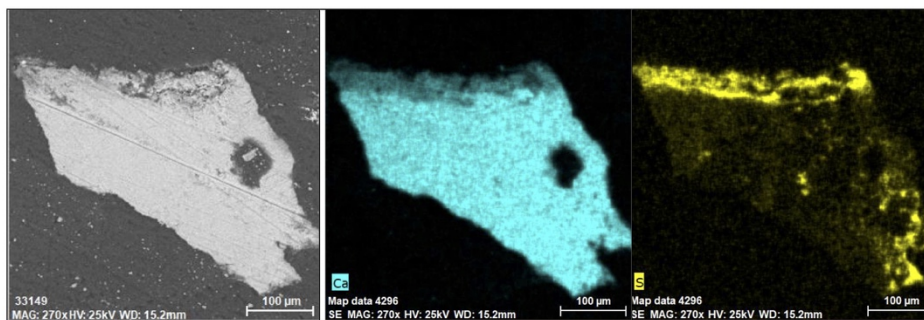


**Obr. 54, 55** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



**Obr. 56, 57** Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

**Shrnutí:** Vzorek nejprve obsahuje **zrna vápence 0** (fragment horniny). Následuje **černá tenká krusta 1** tvořená zejména síranem vápenatým.

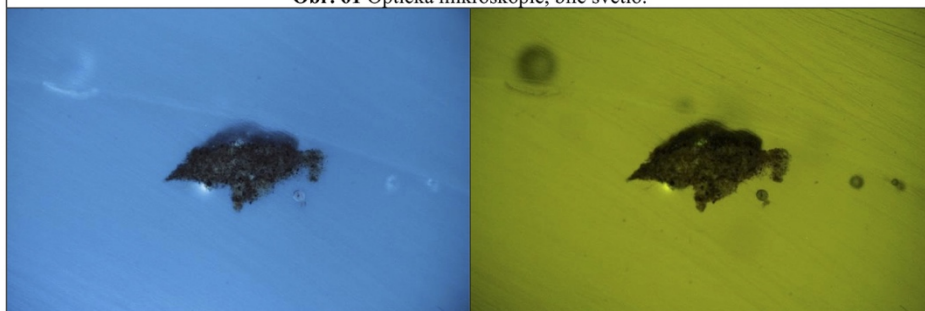


**Obr. 58, 59, 60** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10986/VZ6, PRVEK Č. 3, SILNÁ KRUSTA



Obr. 61 Optická mikroskopie, bílé světlo.



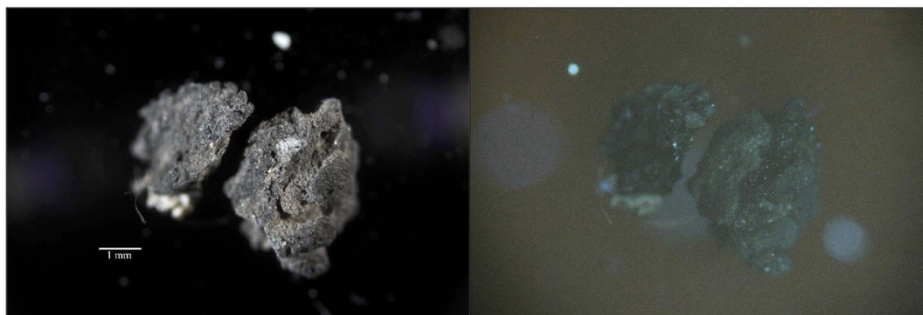
Obr. 62, 63 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.



Obr. 64 Místo odběru vzorku, detail.

**Tab. 7:** Výsledky průzkumu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

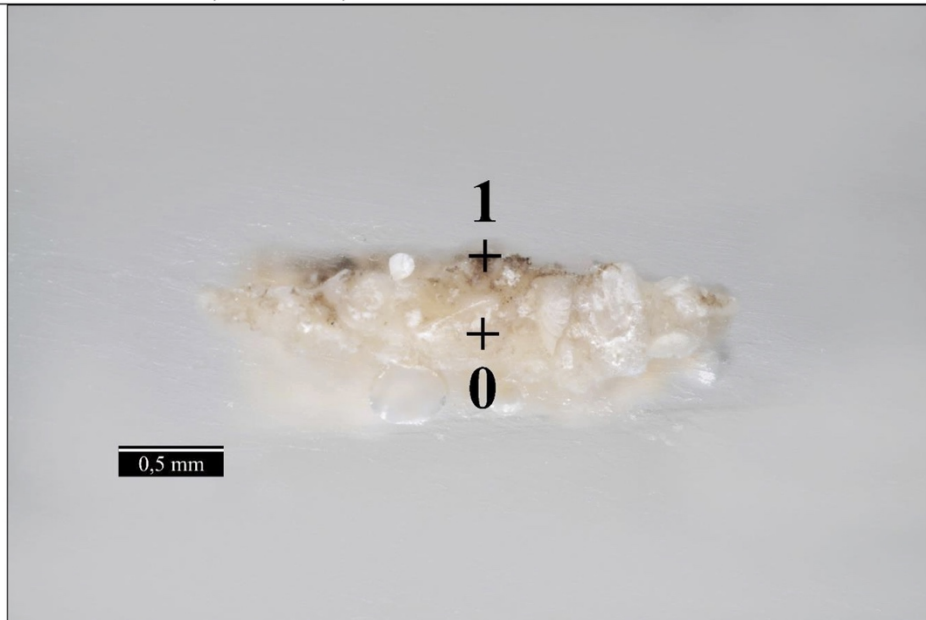
Popis a složení vrstvy (OM)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<b>Černá krusta</b> , cca 1,1 mm, na spodní straně zrna horniny	Vzorek neanalyzován



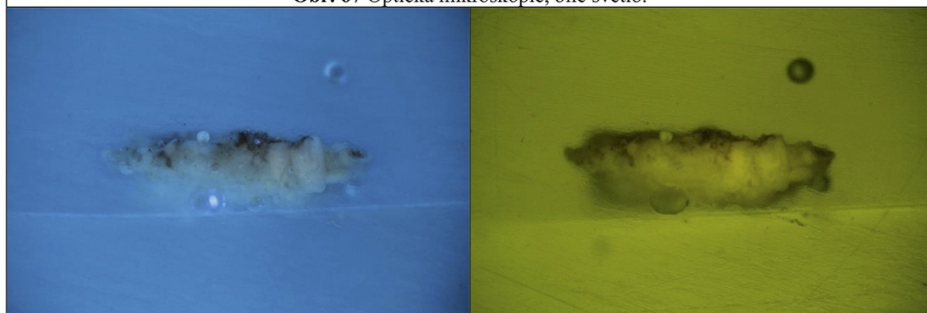
**Obr. 65, 66** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

**Shrnutí:** jedná se o fragment silnější černé krusty. Na spodní straně vzorku se vyskytují ojedinělá zrnka z horniny.

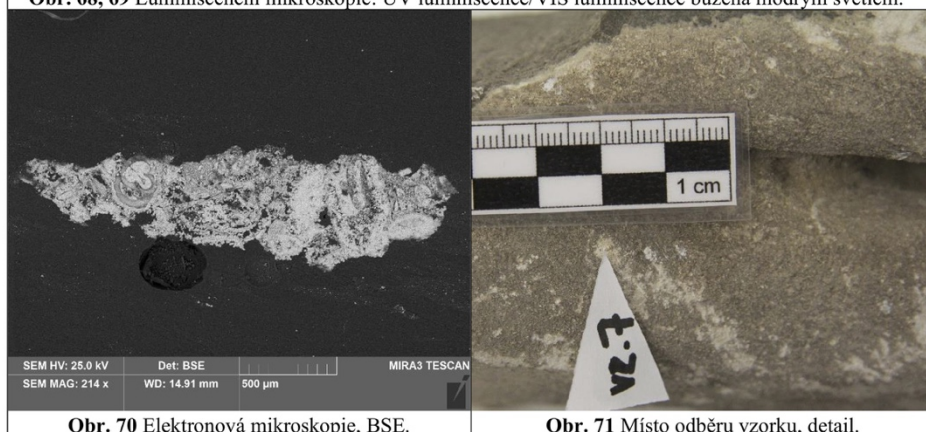
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10987/VZ7, PRVEK Č. 4, VELMI TENKÁ NAHNĚDLÁ KRUSTA/VRSTVA



Obr. 67 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 68, 69 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.



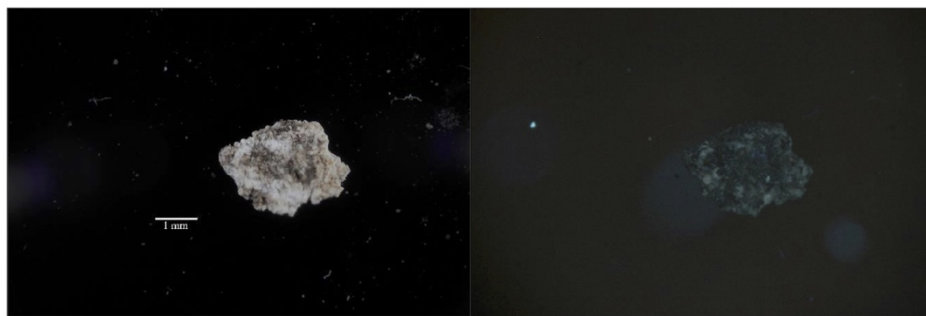
Obr. 70 Elektronová mikroskopie, BSE.

Obr. 71 Místo odběru vzorku, detail.

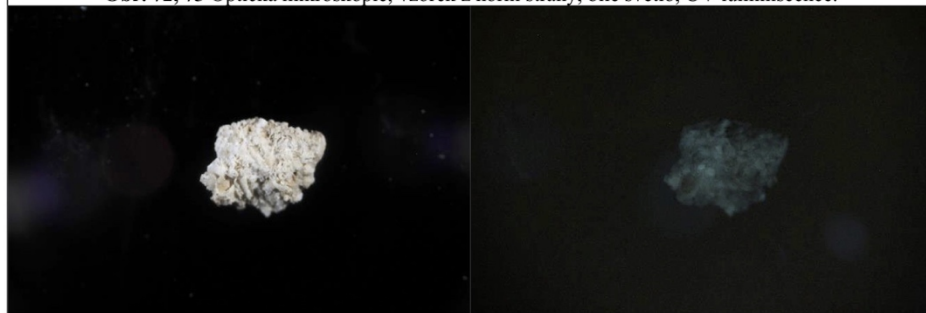


**Tab. 8:** Výsledky průřezu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<u>1</u>	Velmi tenká nesouvislá <b>hnědá vrstva</b> : síran vápenatý, silikáty, 0 až cca 0,02 mm	Ca, Si, Al (S, Fe, Mg, Na, K, Ti, Cl)
<u>0</u>	<b>Fragment horniny</b> : zrna vápence, mezi zrny uhličitán vápenatý	mezizrná hmota: Ca zrna Ca

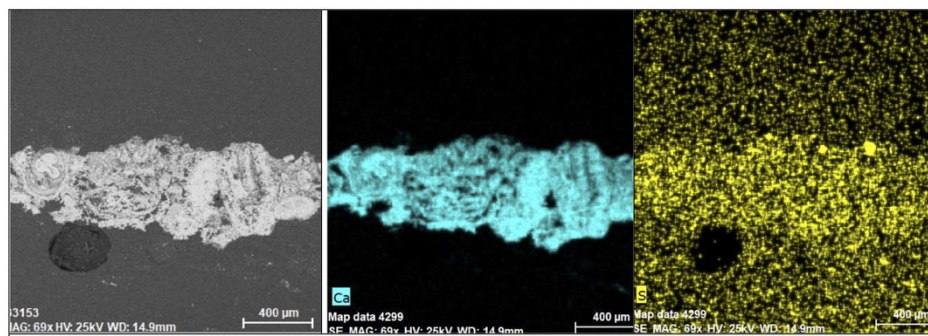


**Obr. 72, 73** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



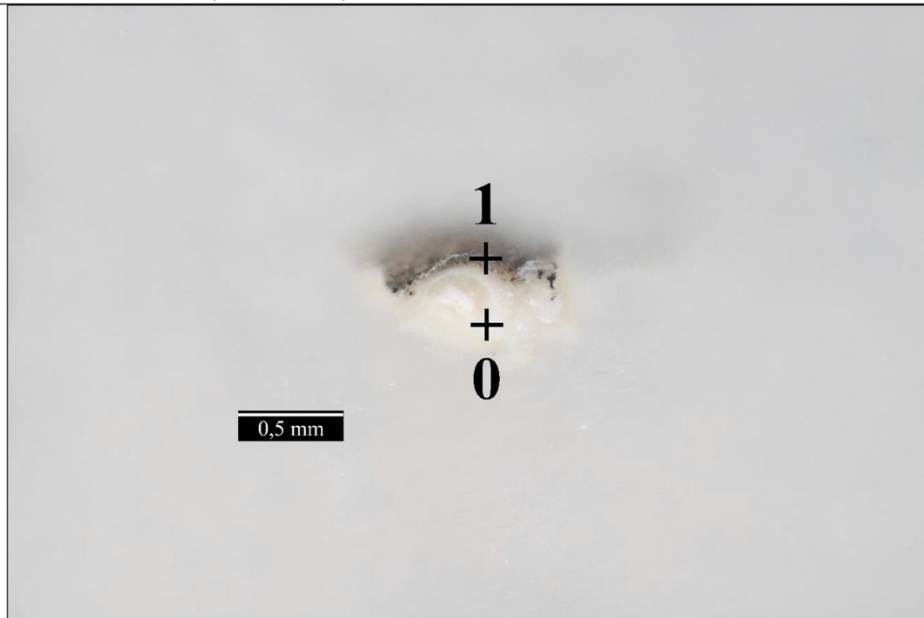
**Obr. 74, 75** Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

**Shrnutí:** Vzorek je **fragmentem organodetrického vápence 0** s velmi **tenkou povrchovou tmavou vrstvou 1**. Vrstva je na bázi uhličitanu vápenatého a silikátů. Vzorek není nijak zásadně sulfatizován – ani fragment horniny ani povrchová vrstva neobsahují převážně síran vápenatý.



**Obr. 76, 77, 78** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.

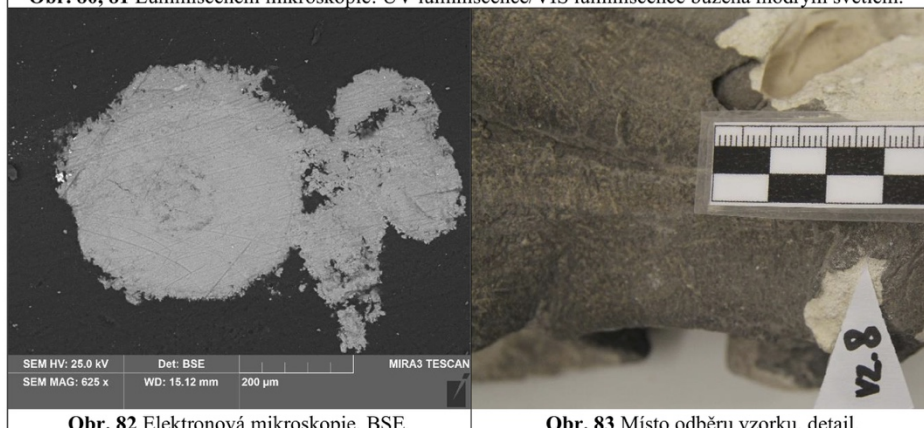
VÝSLEDKY PRŮZKUMU STRATIGRAFIE A SLOŽENÍ VZORKŮ S KRUSTAMI / OM, SEM-EDX  
VZOREK 10988/VZ8, PRVEK Č. 5, TENKÁ NAHNĚDLÁ VRSTVA/KRUSTA



Obr. 79 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 80, 81 Luminiscenční mikroskopie: UV luminiscence/VIS luminiscence buzená modrým světlem.



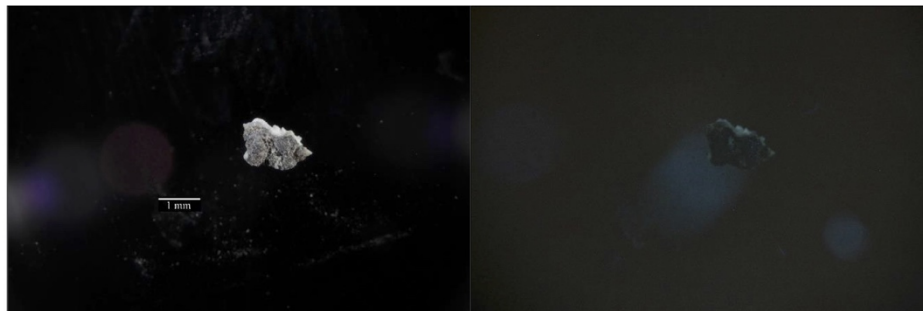
SEM HV: 25.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN  
SEM MAG: 625 x WD: 15.12 mm 200 µm

Obr. 82 Elektronová mikroskopie, BSE.

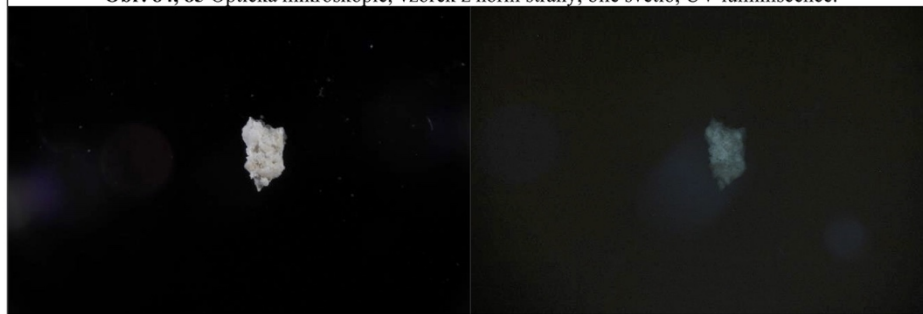
Obr. 83 Místo odběru vzorku, detail.

**Tab. 9:** Výsledky průřezu optickou a elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou.

Číslo vrstvy	Popis a složení vrstvy (OM, SEM-EDX)	Výsledky prvkových analýz (SEM-EDX)
<b>1</b>	Velmi tenká nesouvislá <b>hnědá vrstva</b> : síran vápenatý, méně silikáty, 0 až cca 0,02 mm	Ca, S (Si, Al, Na, Mg, Fe, K, P)
<b>0</b>	<b>Fragment horniny</b> : zrna vápence	zrno Ca

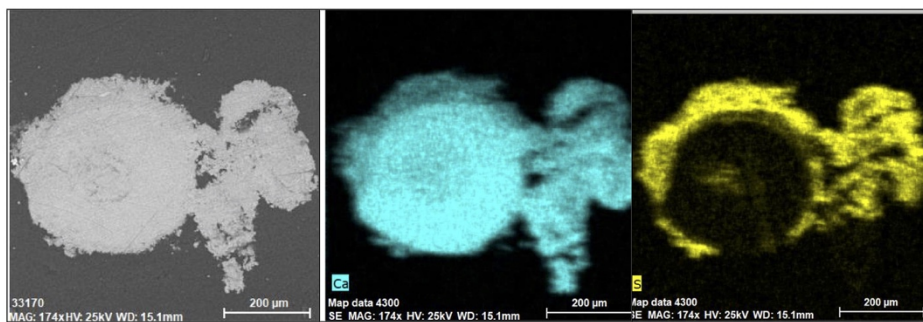


**Obr. 84, 85** Optická mikroskopie, vzorek z horní strany, bílé světlo, UV luminiscence.



**Obr. 86, 87** Optická mikroskopie, vzorek ze spodní strany, bílé světlo, UV luminiscence.

**Shrnutí:** Vzorek obsahuje **zrno vápence 0** s velmi **tenkou povrchovou tmavou vrstvou 1**. Vrstva 1 je tvořena síranem vápenatým, v menší míře obsahuje silikáty.



**Obr. 88, 89, 90** Elektronová mikroskopie: snímek v BSE, prvková mapa vápníku Ca a síry S vypovídající o distribuci síranu vápenatého.

## ZÁVĚR

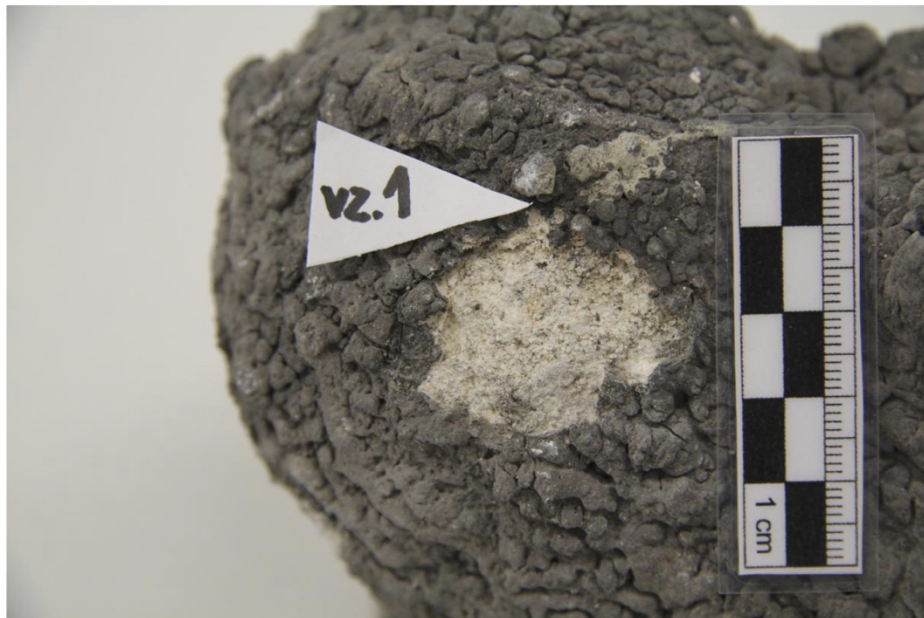
K materiálovému průzkumu byly poskytnuty **vzorky tmavých (černých) krust s fragmenty horniny** (vápenec). Vzorky byly odebrány z fragmentů **zdobných prvků katedrály sv. Štěpána ve Vídni**, které již nebyly vyhovující a musely být v rámci restaurování odstraněny. Vzorky byly odebrány u každého prvku z míst, kde byla křusta vizuálně vyhodnocena jako tenká nebo naopak jako velmi silná vrstva. Celkem bylo odebráno **8 vzorků** ze čtyř kamenných fragmentů. Z těchto úlomků byly připraveny nábrusy, které byly dále zkoumány **optickou mikroskopií** a **skenovací elektronovou mikroskopií s energiově-disperzní analýzou (SEM/EDX)**. Byla sledována tloušťka krust, jejich mikroskopická podoba a prvkové složení.

Bylo zjištěno, že se **tloušťka** studovaných přirozených krust pohybuje zhruba od 0,01 mm do 1,5 mm, což odpovídá také údajům převzatým z odborné literatury. Zjednodušeně lze shrnout, že **složení krust**, odvozené z prvkového zastoupení, zahrnuje kromě sádrovce, jako hlavní složky, případně uhličitany vápenatého, zejména křemenná zrnka, uhlikaté částice, sloučeniny železa, silikáty a další. Hornina (vápenec) obsahuje vápencová zrna, mezizrnny tmel (pojivo) horniny je alespoň na povrchu, kde byly odebrány vzorky, sulfatizovaný (předpokládaná přeměněna na dihydrát síranu vápenatého, respektive sádrovec). Podrobné výsledky z průzkumu spolu s mikrofotografiemi jsou uvedeny výše.

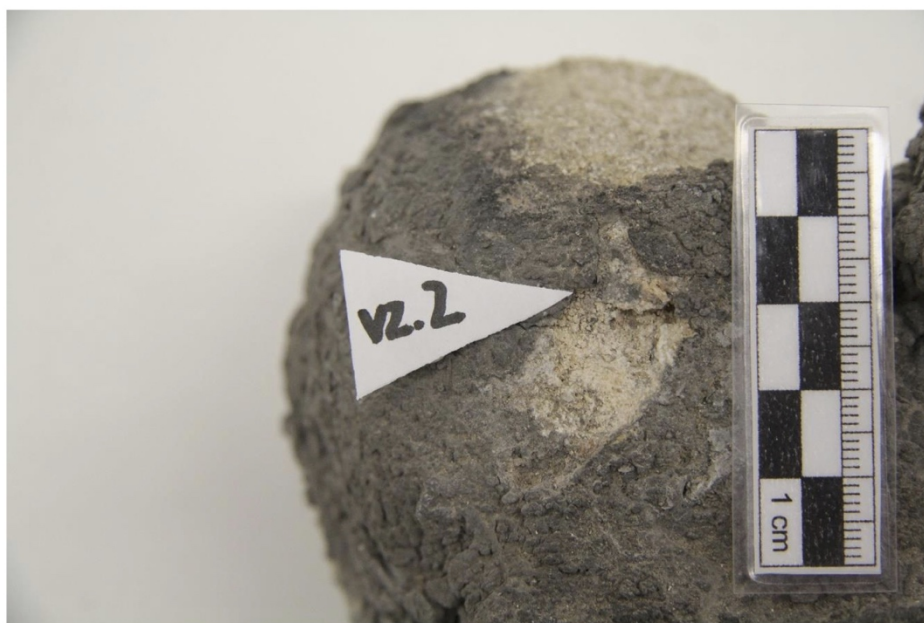


**PŘÍLOHA I – FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE MÍST ODBĚRŮ VZORKŮ**

Foto: Stella Burkhardtová



**Obr. 91** Dokumentace místa odběru vzorku 1.



**Obr. 92** Dokumentace místa odběru vzorku 2.



**Obr. 93** Dokumentace místa odběru vzorku 3.



**Obr. 94** Dokumentace místa odběru vzorku 4.



**Obr. 95** Dokumentace místa odběru vzorku 5.



**Obr. 96** Dokumentace místa odběru vzorku 6.



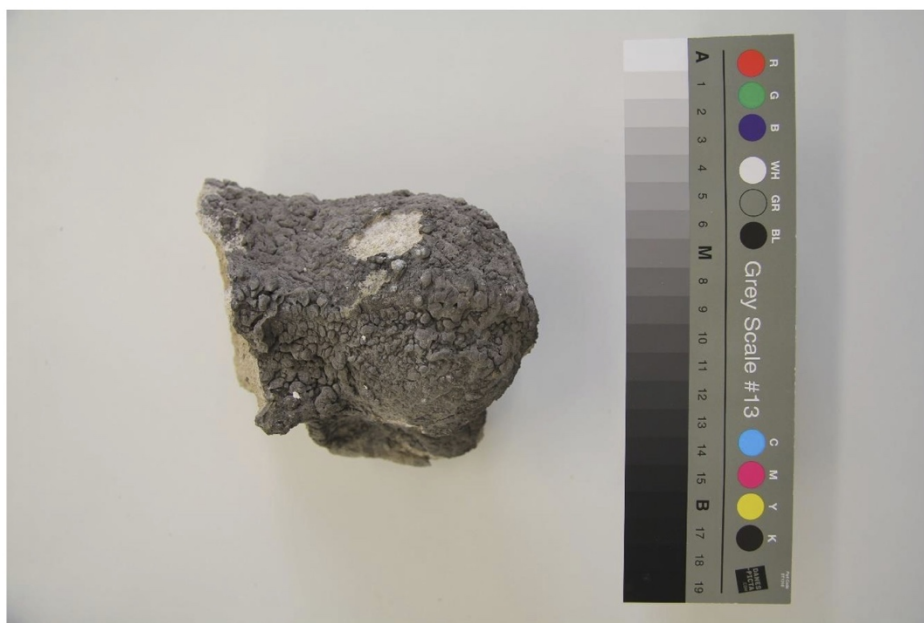


**Obr. 97** Dokumentace místa odběru vzorku 7.

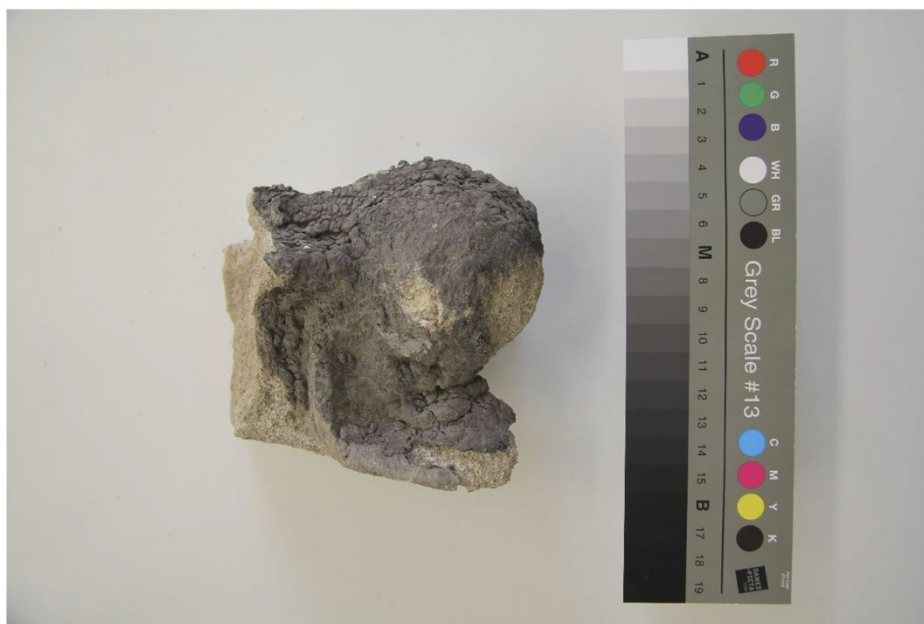


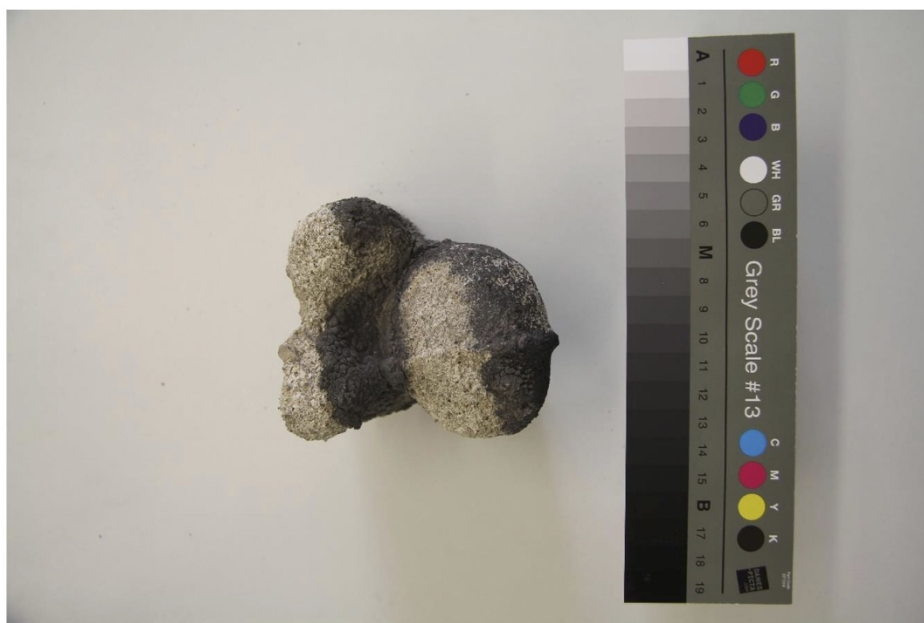
**Obr. 98** Dokumentace místa odběru vzorku 8.



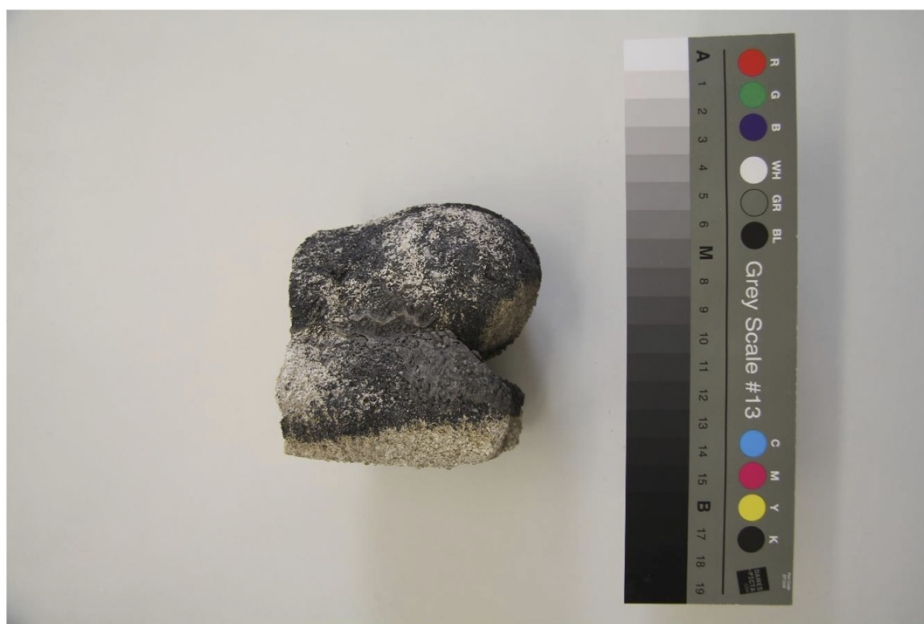


Obr. 99 Dokumentace prvku 2.

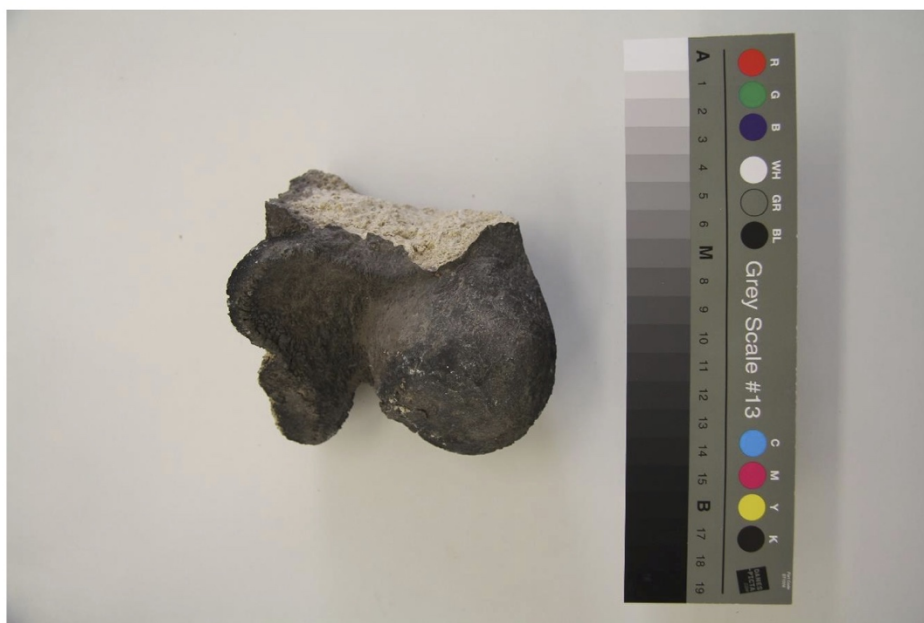




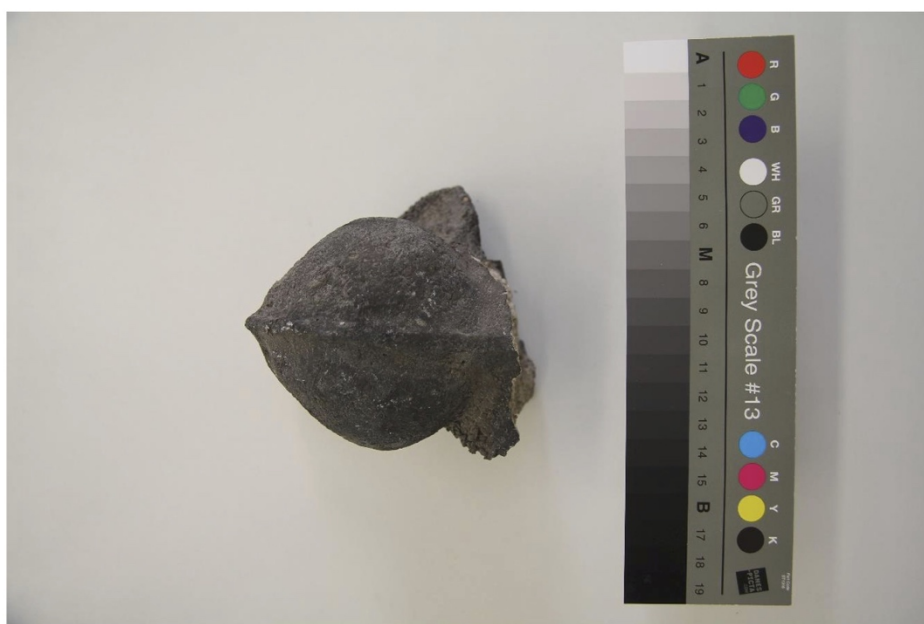
Obr. 100 Dokumentace prvku 2.



Obr. 101 Dokumentace prvku 2.



Obr. 102 Dokumentace prvku 3.



Obr. 103 Dokumentace prvku 3.



Obr. 104 Dokumentace prvku 4.

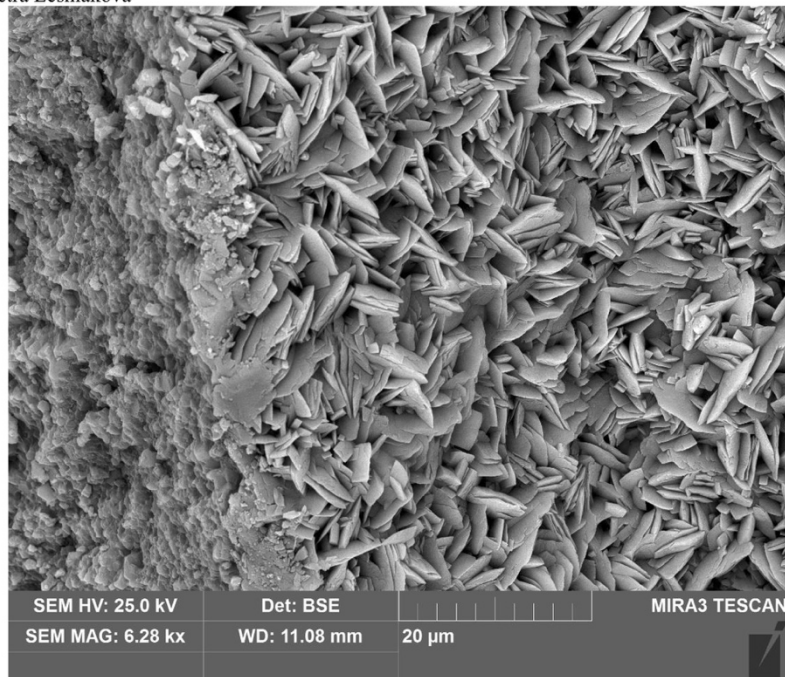


Obr. 105 Dokumentace prvku 4.

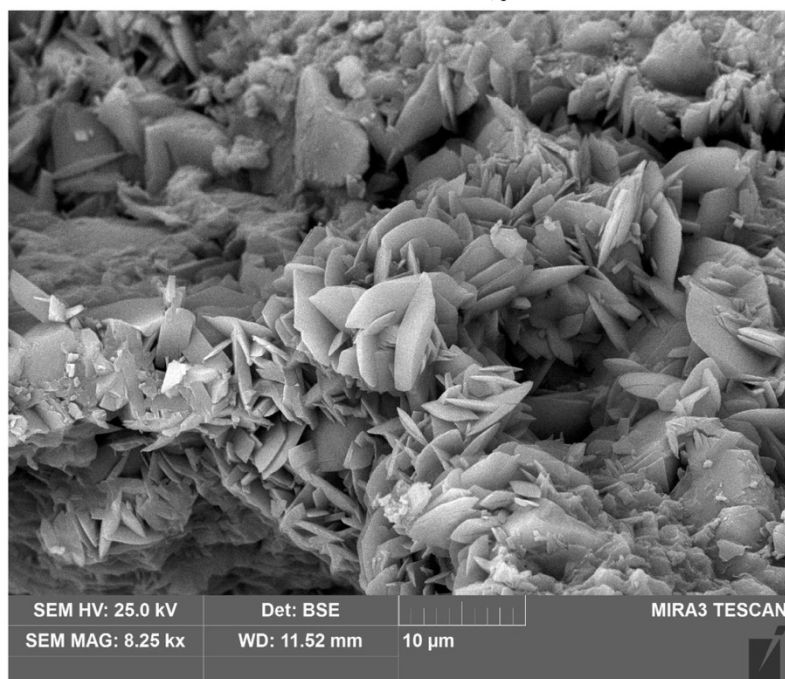


PŘÍLOHA II – SNÍMKY KRYSTALŮ SÁDROVCE, SEM, PRVEK Č. 3

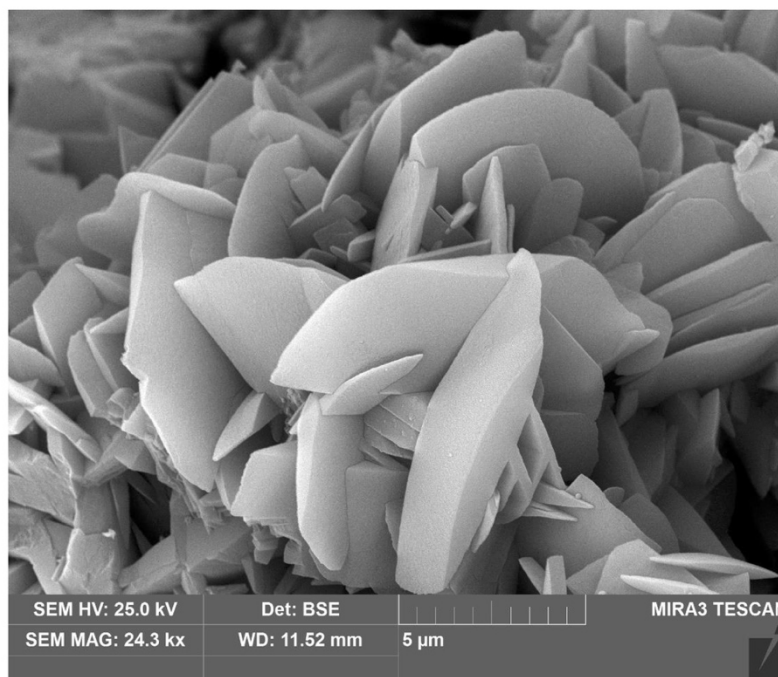
Foto: Petra Lesniaková



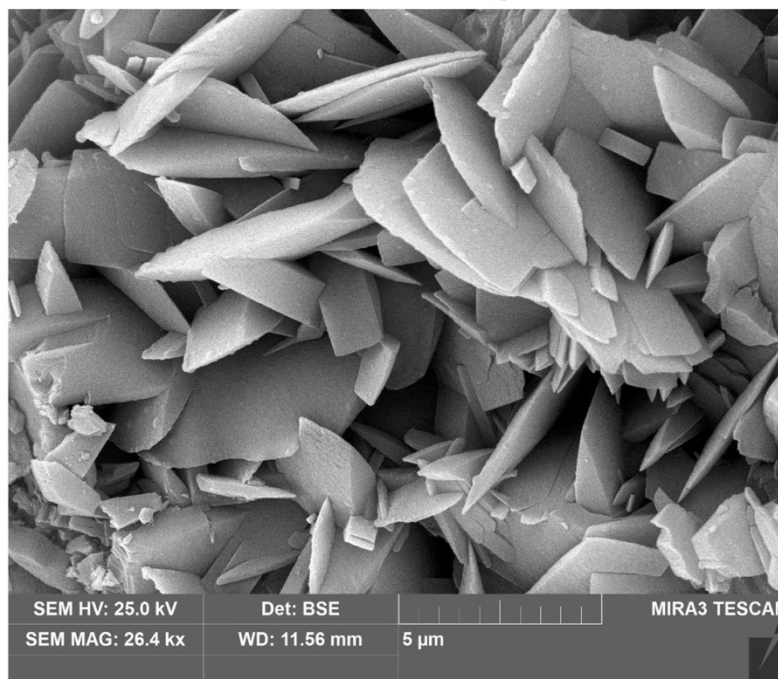
Obr. 106 Dokumentace sádrovce, prvek č. 3.



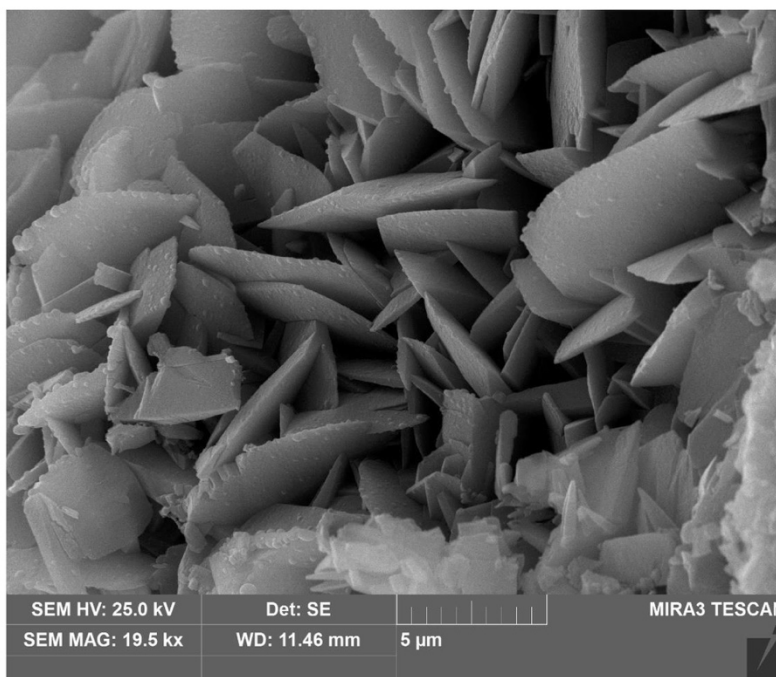
Obr. 107 Dokumentace sádrovce, prvek č. 3.



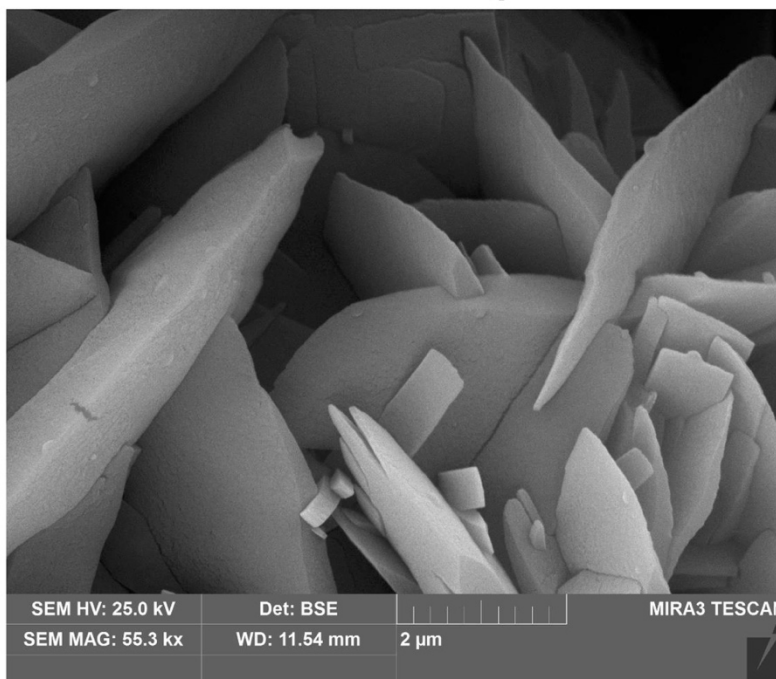
Obr. 108 Dokumentace sádrovce, prvek č. 3.



Obr. 109 Dokumentace sádrovce, prvek č. 3.



Obr. 110 Dokumentace sádrovce, prvek č. 3.



Obr. 111 Dokumentace sádrovce, prvek č. 3.



## Příloha P.III: Protokol k teoretické části – Kultivace bakterií *Desulfovibrio vulgaris* k biologickému čištění kamene



### Kultivace *Desulfovibrio vulgaris* k biologickému čištění kamene

**Zpracoval:** Ing. Květa Koryčanová, Ph.D.

**Dne:** 18.1.2023

*Desulfovibrio vulgaris* je obligátně anaerobní nesporulující gram negativní tyčinka zahnutého tvaru s jedním polárním bičíkem, který ji umožňuje aktivní pohyb. Je to mezofilní bakterie s optimální teplotou růstu mezi 30 °C až 37 °C a pH v rozmezí 6,5 až 7,3. Pro svůj metabolismus jako zdroj uhlíku využívá laktát, síran či další zdroje jako je pyruvát, formiát a některé primární alkoholy. V prostředí se vyskytuje v anoxických podpovrchových plochách, jako jsou sedimenty a spodní vody nebo v oblastech ropných polí. Účastní se mikrobiálního rozkladu organických i anorganických materiálů.

#### Laboratorní pomůcky:

Sulphate reducing medium	Himedia
AnaeroGen Compact	Oxoid
Aparatura na membránovou filtraci	Nalgene
MCE membránové filtry vel. pórů 8 µm	Merck Millipore

#### Přístroje:

Termostat	SalvisLab Biocentre
McFarland densitometr	Biosan
Mikroskop	Carl Zeiss
Odstředivka LMC-4200R	bioSan
Vývěva	Verkon

#### Bakteriální kultury:

*Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris* DSM 644, Německo

#### Postup:

##### 1. Oživení a kultivace *Desulfovibrio vulgaris*

Kultivace čisté kultury *D. vulgaris* (3 x 0,6 ml alikvot zamražený na -80 °C) 0,5 ml tohoto alikvotu bylo sterilně převedeno do 14,5 ml Sulphate reducing medium (SRM). Kultivace probíhala při 30 °C, 7 dní. Po 7 dnech byla převedena suspenze *D. vulgaris*



do 50 ml zkumavek (45 ml SRM a 5 ml bakteriální suspenze), kultivace opět 30 °C, 7 dní.

Pozn. Zkumavky se plní na maximální objem, aby se eliminovalo množství kyslíku, inkubace v pevně uzavřených zkumavkách se šroubovým uzávěrem v termostatu. Okem pozorovatelný nárůst kultury *D. vulgaris* – obsah zkumavek zčerná (původně žlutý) a silně zapáchá po sirovodíku.

Souběžně bylo provedeno zaočkování pevné agarové plotny se SRM – 0,1 ml čisté kultury, vložení do pytlíku s vyvíječem anaerobní atmosféry (AnaeroGen Compact, Oxoid), kultivace při 30 °C, 7 dní (nárůst černých kolonií).

Kultivace jak do tekutého SRM média, tak na agarové plotny probíhala v triplikátech.

## 2. Příprava bakteriální kultury pro aplikaci do Carbogelu

Centrifugace *D. vulgaris* v SRM při 4200 RPM 10 minut, slítí supernatantu (do biologického odpadu) a doplnění fosfátovým pufrům ( $K_2HPO_4$  0,204 g/l,  $NaHPO_4$  0,536 g/l, laktát sodný 0,299 g/l, pH 7, sterilní), opět centrifugace při 4200 RPM 10 minut, slítí supernatantu a doplnění fosfátovým pufrům.

Vakuová filtrace sedimentu bakteriální kultury ve fosfátovém pufru přes MCE membránový filtr o velikosti pórů 8,0 µm. Poté bylo provedeno orientační měření množství buněk denzitometricky ( $1,05 \times 10^8$  CFU/ml).

Takto připravená bakteriální kultura byla předána pracovníkům Fakulty restaurování k aplikaci do Carbogelu.

## **Výsledky a závěr:**

Byla připravena suspenze čisté bakteriální kultury *Desulfovibrio vulgaris* ve fosfátovém pufru o koncentraci buněk  $1,05 \times 10^8$  CFU/ml. Tato suspenze byla neprodleně pracovníky Fakulty restaurování Univerzity Pardubice zapracována do Carbogelu aplikována na vzorky kamene.

Příloha P.IV: Technologická zpráva k teoretické části – Mikroskopický průzkum vzorků z rozhraní očištěných a neočištěných ploch



## MIKROSKOPICKÝ PRŮZKUM VZORKŮ VZORKY SÁDROVCOVÝCH REÁLNÝCH ČI UMĚLÝCH KRUST Z ROZHRANÍ PLOCH ČIŠTĚNÝCH LASEREM NEBO BAKTERIEMI

### ZADAVATEL PRŮZKUMU

Ateliér restaurování uměleckých děl z kamene a příbuzných materiálů  
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl  
Vedoucí ateliéru: MgA. Jakub Ďoubal, Ph.D.

### STUDENT / VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

BcA. Stella Burkhardtová / MgA. Petr Rejman

### SPECIFIKACE

vzorky umělých a reálných krust s podkladem (sádra, organodetrický vápenec), vzorky byly odebrány z modelových zkušebních vzorků či z reálných kamenných prvků – z ploch čištěných lasery a bakteriemi  
průzkum je součástí diplomové práce zaměřené na možnosti odstraňování sádrovcových krust

### ZADÁNÍ PRŮZKUMU, CÍLE

Počet dodaných vzorků:

- 21 kompaktních vzorků umělých krust s fragmentem podkladů (organodetrický vápenec nebo sádra), odběr z rozhraní čištěných ploch
- 1 vzorek reálné krusty ze nevyhovujícího vápencového (organodetrický vápenec) prvku z katedrály sv. Štěpána ve Vídni (Rakousko), odběr z rozhraní čištěných ploch

Cíle průzkumu, informace o vzorcích:

- cíle: stratigrafie vzorků, tloušťka krusty, změny po použití laserů či bakteriálním čištění – barevné změny či změny v tloušťce a charakteru krusty
- podložky pod umělou krustou, modelové vzorky: sádra nebo organodetrický vápenec
- typy umělých krust: sádra s pigmenty – sazovou černí, železitou černí nebo železitou červení, dvě původní tloušťky – cca 0,70 až 0,8 mm (průměrně tedy 0,75 mm) a cca 0,35 mm
- umělé krusty byly připraveny smísením suché směsi (sádra + 1 % hm. pigmentu) s demineralizovanou (demi) vodou v poměru 10 g suché směsi a 30 g demineralizované vody nebo 5 g suché směsi a 30 g demineralizované vody, tekutá umělá krusta byla bezprostředně po smísení a zamíchání nalita na podklad (sádra nebo vápenec) o rozměrech plochy 10 × 10 cm<sup>2</sup>
- vzorky byly čištěny bakteriálními zábaly v gelu z Carbogelu nebo lasery
- reálné krusty: z čištěných ploch vápencových prvků katedrály sv. Štěpána ve Vídni (Rakousko), prvky byly odstraněny ze stavby kvůli nevyhovujícímu stavu, organodetrický vápenec
- typy laserů a vlnové délky laserů: EOS 1000 ŠFR s vlnovou délkou 1064 nm, QS laser Thunder Art s vlnovými délkami 1064 nm nebo 532 nm
- z testů čištění byly zpravidla vybrány k odběru vzorků plochy s největší vizuální změnou

### AUTOR ZPRÁVY Z MATERIÁLOVÉHO PRŮZKUMU

Počet stran:	17	Datum:	30. 4. 2023
Autor zprávy:	Petra Lesniaková		
Místo:	Katedra chemické technologie Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, Litomyšl 570 01		

**PŘEHLED VZORKŮ ODEBRANÝCH Z MODELOVÝCH PLOCH / Z UMĚLÝCH KRUST**

**Tab. 1:** Přehled vzorků odebraných z modelových vzorků čištěných bakteriemi.

KRUSTA NA VÁPENCI: 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 1% sazová čern	
11186/V1	Bakterie, zakryté textilií s pufrem, 1% gel
11187/V4	Pufř bez bakterií, 1% gel
11188/V5	Nefiltrované bakterie, zakryté textilií s pufrem, 2% gel
KRUSTA NA SÁDŘE: 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 1% sazová čern	
11189/SA1	Bakterie, zakryté textilií s pufrem, 1% gel
11190/SA2	Bakterie, zakryté textilií s pufrem, 1% gel
11191/SA4	Pufř bez bakterií, 1% gel
11192/SA5	Nefiltrované bakterie, zakryté textilií s pufrem, 2% gel
KRUSTA NA SÁDŘE: 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 1% železitá čern	
11193/SB1	Bakterie, zakryté textilií s pufrem, 1% gel
11194/SB2	Nefiltrované bakterie, zakryté textilií s pufrem, 2% gel
KRUSTA NA SÁDŘE: 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 1% železitá červen	
11195/SC1	Bakterie, zakryté textilií s pufrem, 1% gel
11196/SC2	Nefiltrované bakterie, zakryté textilií s pufrem, 2% gel

**Tab. 2:** Přehled vzorků odebraných z modelových vzorků čištěných lasery.

UMĚLÁ KRUSTA NA SÁDŘE		složení krusty při aplikaci
Laser EOS 1000 SFR, 10 Hz, bod 5 mm		
11197/EOS1	1% sazová čern, 1000 mJ, 1 min, suché čištění	10 g suchá směs + 30 g demi voda
QS laser Thunder Art, 1064 nm, 10 Hz		
11198/TA1	1% sazová čern, 220mJ, 1 min, suché čištění	10 g suchá směs + 30 g demi voda
11199/TA5	1% sazová čern, 220mJ, 2 min, mokré čištění	
11200	1% železitá čern, 220mJ, 2 min, mokré čištění	5 g suchá směs + 30 g demi voda
11201	1% železitá červen, 220mJ, 2 min, mokré čištění	
QS laser Thunder Art, 532 nm, 20 Hz		
11202/TA7	1% sazová čern (10+30), 220mJ, 1 min, mokré čištění	10 g suchá směs + 30 g demi voda
11203	1% železitá čern (5+30), 220mJ, 1 min, mokré čištění	
11204	1% železitá červen (5+30), 220mJ, 1 min, mokré čištění	
UMĚLÁ KRUSTA NA KAMENI, 1% sazová čern		
11205/V2	QS laser Thunder Art, 1064 nm, 10 Hz, 220mJ, 1 min, suché čištění	10 g suchá směs + 30 g demi voda
11206/V6	QS laser Thunder Art, 1064 nm, 10 Hz, 220mJ, 2 min mokré čištění	

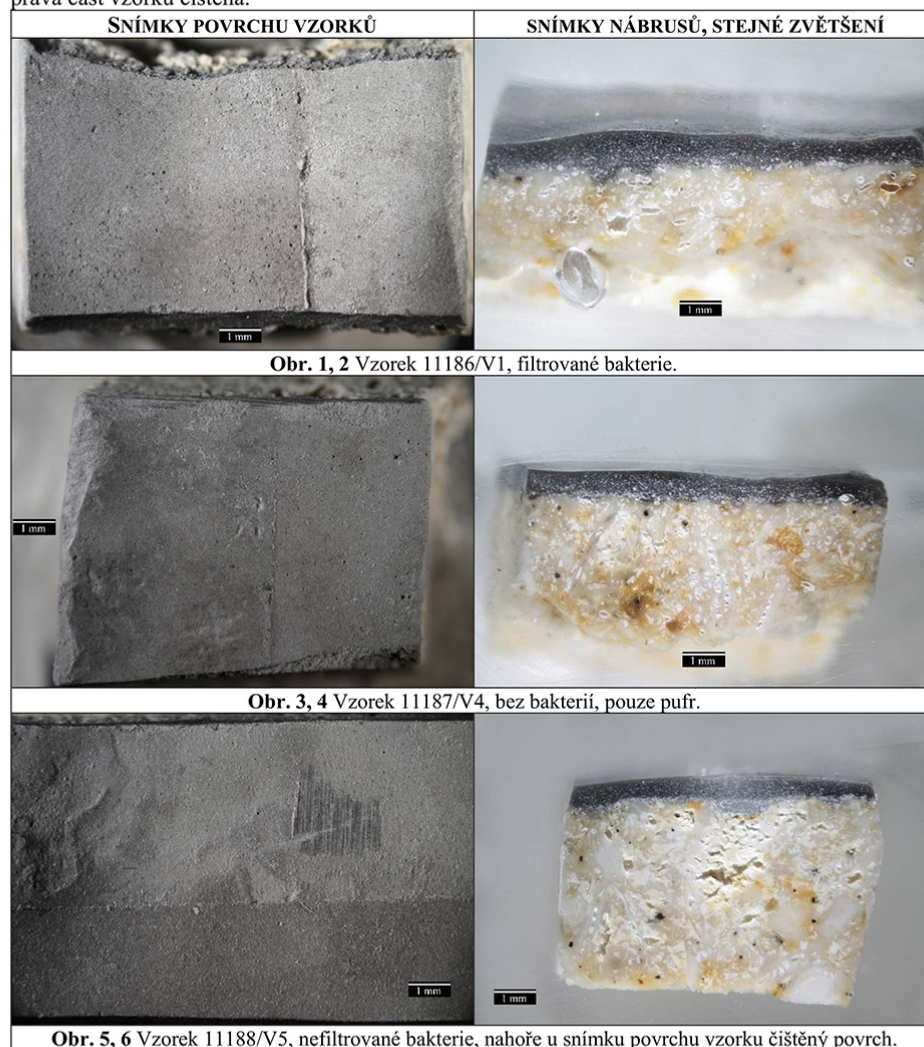
**METODIKA PRŮZKUMU**

STRATIGRAFIE A OPTICKÉ VLASTNOSTI VRSTEV / SVĚTELNÁ MIKROSKOPIE

Studium stratigrafie a optických vlastností vzorků bylo provedeno s využitím světelné mikroskopie. Vzorky byly nejprve zkoumány a zdokumentovány optickým mikroskopem Eclipse LV100D-U (Nikon) s digitálním fotoaparátem EOS 1100D (Canon) v dopadajícím bílém světle. Stejná technika byla použita k mikroskopickému průzkumu nábrusů připravených ze vzorků. Nábrusy byly připraveny zalitím vzorků do polyesterové pryskyřice GPE100S a jejich sbroušením po vytvrnutí hmoty.




VÝSLEDKY MIKROSKOPICKÉHO PRŮZKUMU VZORKŮ UMĚLÝCH KRUST, BAKTERIÁLNÍ ČIŠTĚNÍ

**Tab. 1:** Umělá krusta (10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda) na vápenci, sazová čerň, pravá část vzorků čištěna.

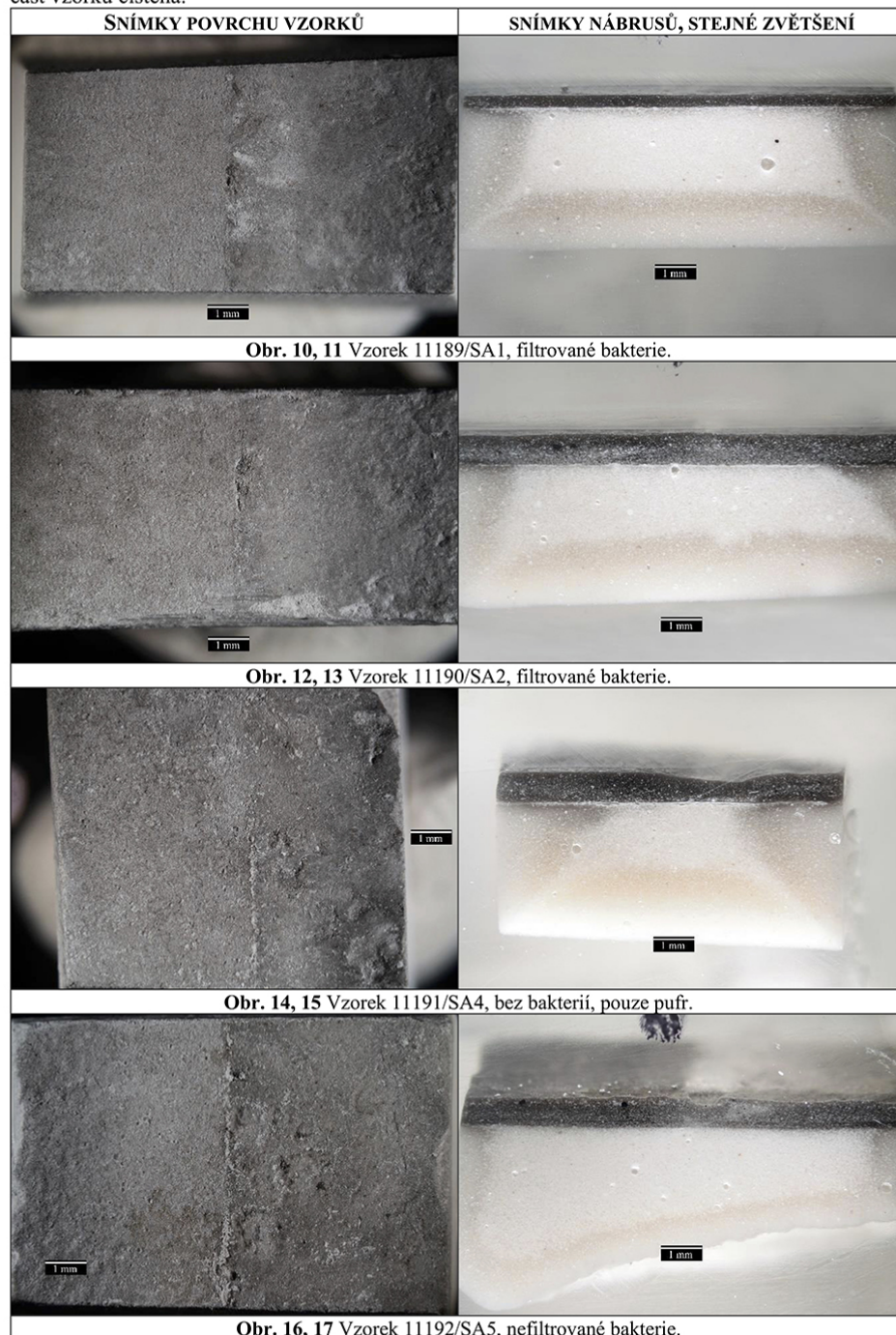





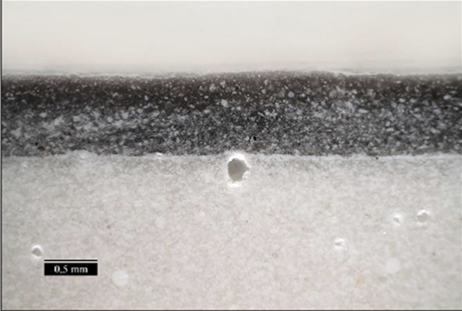
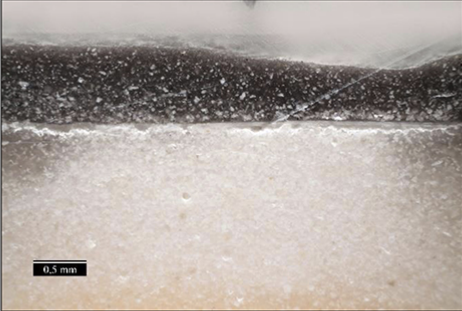
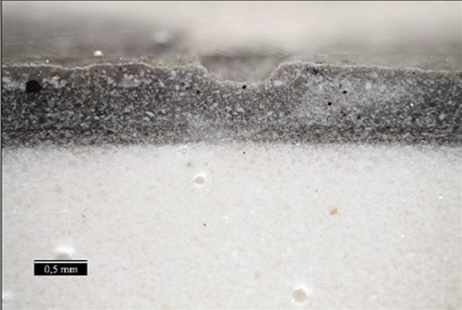
**Tab. 2:** Umělá krusta (10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda) na vápenci, sazová čern, pravá část vzorků čištěna.

SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚTŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm            Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná            Změna povrchu na vzorku: lehce světlejší povrch            Změna barevnosti v průřezu: žádná            Další: povrch krusty na čištěné části méně hladký         </p>
<p><b>Obr. 7</b> Vzorek 11186/V1, filtrované bakterie.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm            Míra odstranění krusty: žádná nebo velmi malá            Změna povrchu na vzorku: beze změny            Změna barevnosti v průřezu: žádná            Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký         </p>
<p><b>Obr. 8</b> Vzorek 11187/V4, bez bakterií, pouze pufr.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm            Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná            Změna povrchu na vzorku: světlejší povrch            Změna barevnosti v průřezu: žádná            Další: povrch krusty na čištěné části méně hladký         </p>
<p><b>Obr. 9</b> Vzorek 11188/V5, nefiltrované bakterie, nahore u snímku povrchu vzorku čištěný povrch.</p>	

**Tab. 3:** Umělá krusta (10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda) na sádře, sazová čerň, pravá část vzorků čištěna.

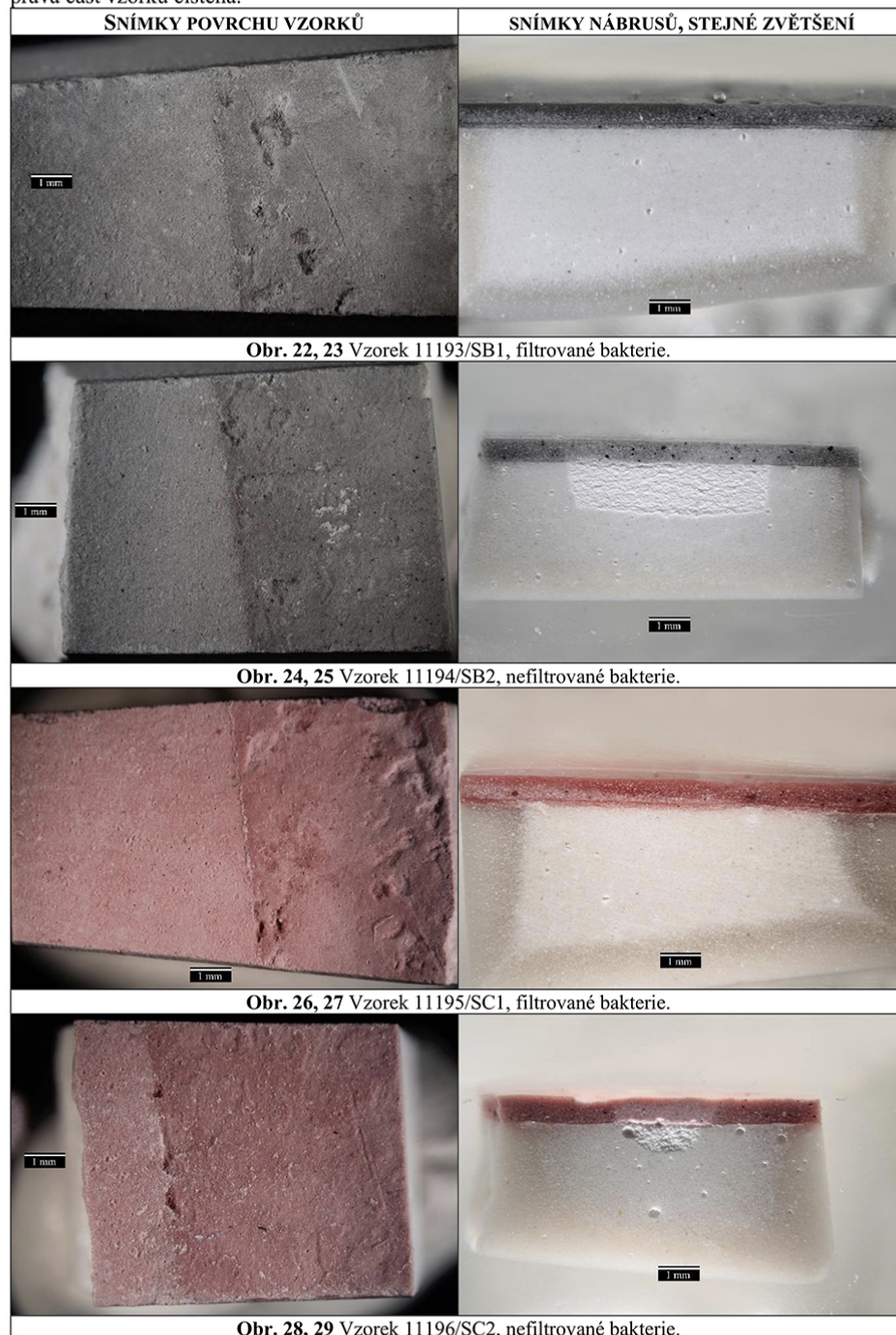


**Tab. 4:** Umělá krusta (10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda) na sádře, sazová čerň, pravá část vzorků čištěna.

SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚTŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,35 mm Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 18</b> Vzorek 11189/SA1, filtrované bakterie.	
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 19</b> Vzorek 11190/SA2, filtrované bakterie.	
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 20</b> Vzorek 11191/SA4, bez bakterií, pouze pufr.	
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 21</b> Vzorek 11192/SA5, nefiltrované bakterie.	

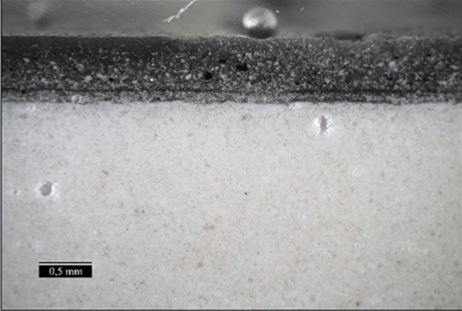
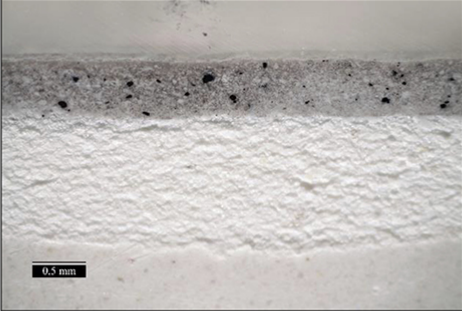
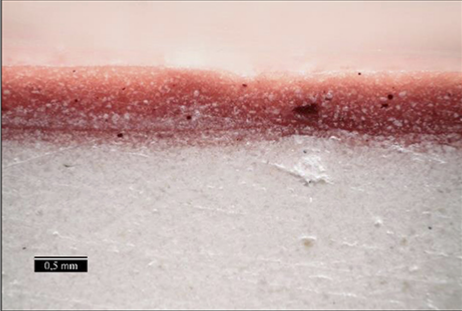
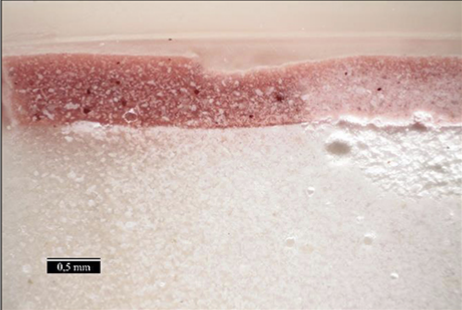


**Tab. 5:** Umělá krusta (10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda) na sádře, železité pigmenty, pravá část vzorků čištěna.



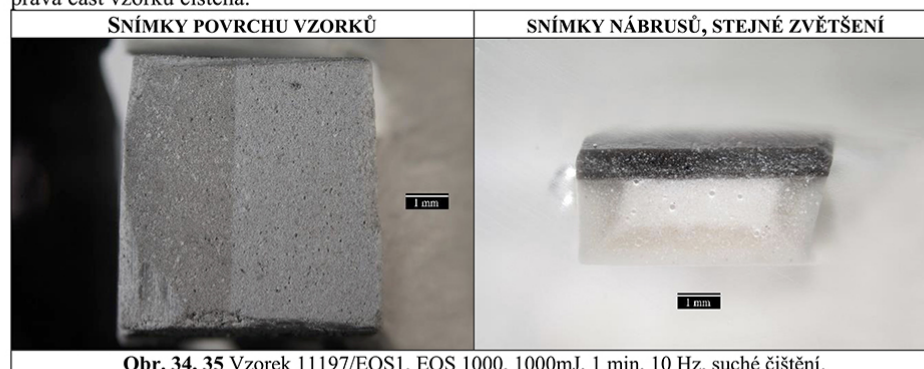


**Tab. 6:** Umělá krusta (10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda) na sádře, železité pigmenty, pravá část vzorků čištěna.

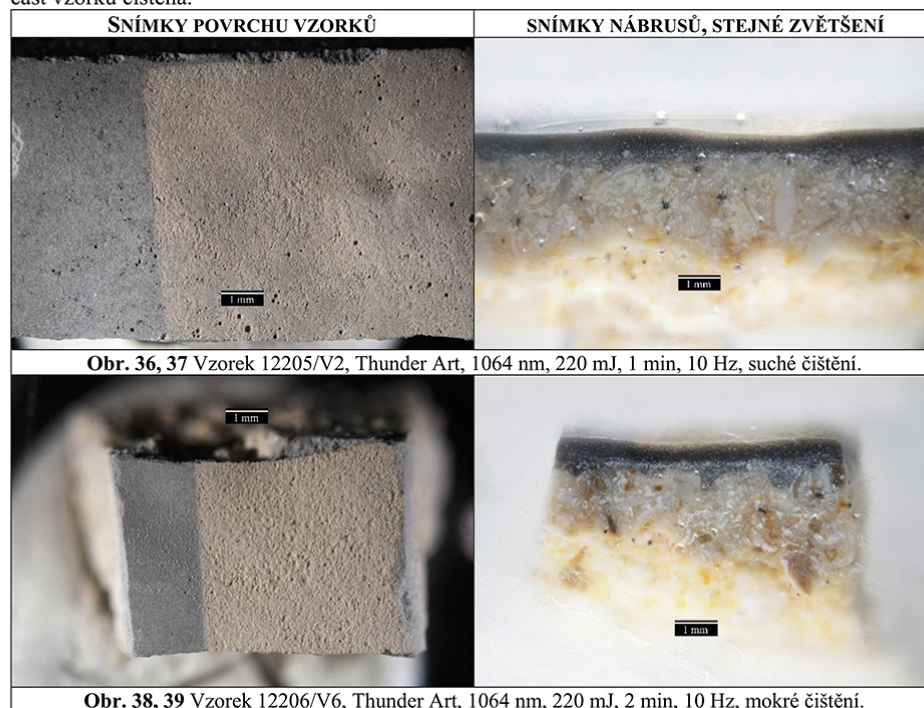
SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚTŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 30</b> Vzorek 11193/SB1, filtrované bakterie.	
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 31</b> Vzorek 11194/SB2, nefiltrované bakterie.	
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 32</b> Vzorek 11195/SC1, filtrované bakterie.	
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm Míra odstranění krusty: zanedbatelná Změna povrchu na vzorku: odstínově heterogenní Změna barevnosti v průřezu: žádná Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>
<b>Obr. 33</b> Vzorek 11196/SC2, nefiltrované bakterie.	

VÝSLEDKY MIKROSKOPICKÉHO PRŮZKUMU VZORKŮ UMĚLÝCH KRUST ČIŠTĚNÝCH LASERY

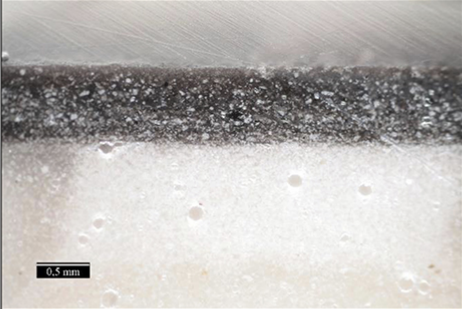
**Tab. 7:** Umělá krusta 10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, sádra, sazová čerň, EOS 1000, pravá část vzorků čištěna.



**Tab. 8:** Umělá krusta 10 g suchá směs/30 voda, vápenec, sazová čerň, Thunder Art, 1064 nm, pravá část vzorků čištěna.

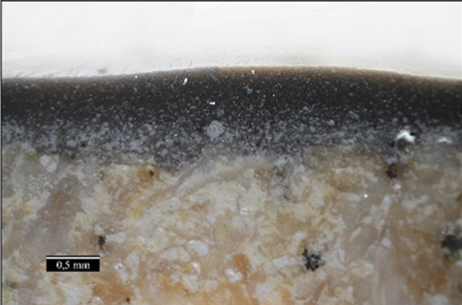


**Tab. 9:** Umělá krusta 10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, sádra, sazová čerň, EOS 1000, pravá část vzorků čištěna.

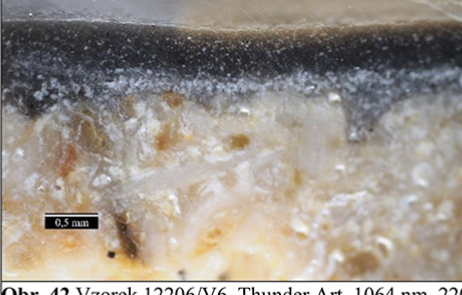
SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚTŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm  Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná  Změna povrchu na vzorku: čištěná plocha světlejší  Změna barevnosti v průřezu: žádná  Další: povrch krusty na ošetřené části méně hladký</p>

**Obr. 40** Vzorek 11197/EOS1, EOS 1000, 1000mJ, 1 min, 10 Hz, suché čištění.

**Tab. 10:** Umělá krusta 10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, vápenec, sazová čerň, Thunder Art, 1064 nm, pravá část vzorků čištěna.

SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚTŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm  Míra odstranění krusty: velmi malá  Změna povrchu na vzorku: zežloutlý povrch  Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch jinak žádná  Další: -</p>


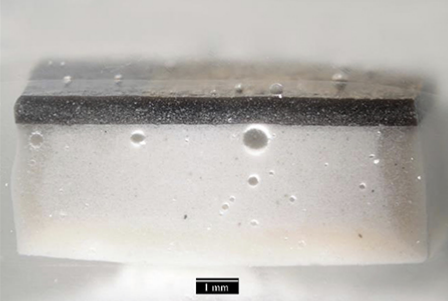





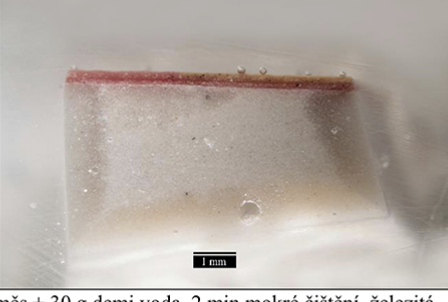
**Obr. 41** Vzorek 12205/V2, Thunder Art, 1064 nm, 220 mJ, 1 min, 10 Hz, suché čištění.

	<p>Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm  Míra odstranění krusty: zanedbatelná  Změna povrchu na vzorku: zežloutlý povrch  Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch jinak žádná  Další: -</p>
---	--

**Obr. 42** Vzorek 12206/V6, Thunder Art, 1064 nm, 220 mJ, 2 min, 10 Hz, mokré čištění.

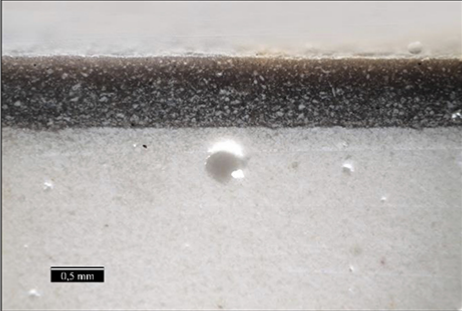

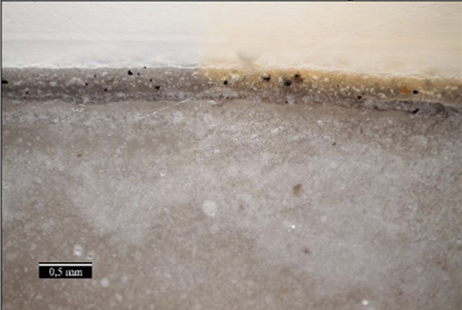
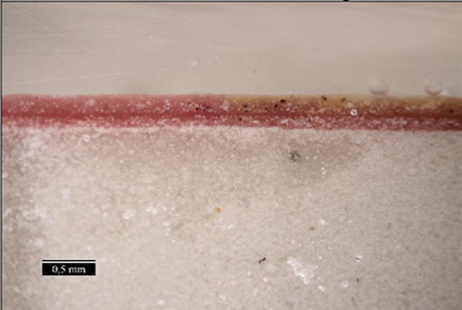


**Tab. 11:** Umělá krusta, sádra, Thunder Art 1064 nm, 10 Hz, 220 mJ, pravá část vzorků čištěna.





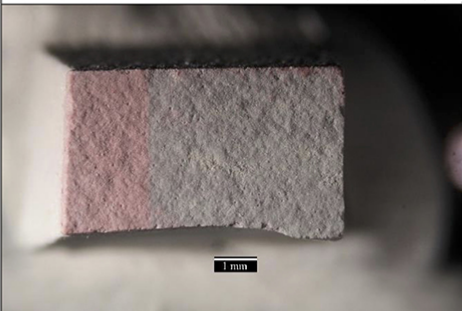
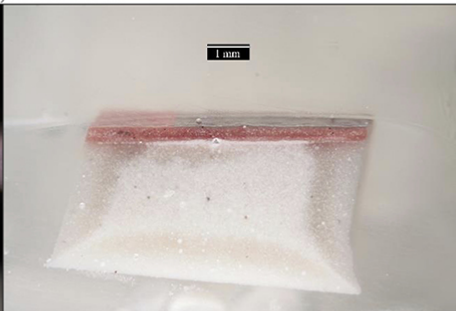
SNÍMKY POVRCHU VZORKŮ	SNÍMKY NÁBRUSŮ, STEJNÉ ZVĚTŠENÍ
	
<p><b>Obr. 43, 44</b> Vzorek 11198/TA1, krusta 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 1 min suché čištění, sazová čerň.</p>	
	
<p><b>Obr. 45, 46</b> Vzorek 11199/TA5, krusta 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 2 min mokré čištění, sazová čerň.</p>	
	
<p><b>Obr. 47, 48</b> Vzorek 11200/TA5, krusta 5 g suchá směs + 30 g demi voda, 2 min mokré čištění, železitá čerň.</p>	
	
<p><b>Obr. 49, 50</b> Vzorek 11200/TA5, krusta 5 g suchá směs + 30 g demi voda, 2 min mokré čištění, železitá červeň.</p>	



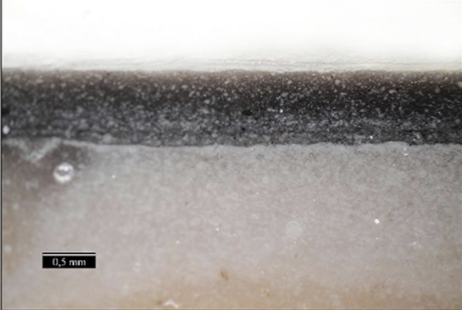
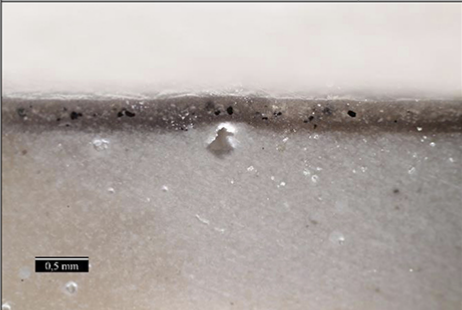
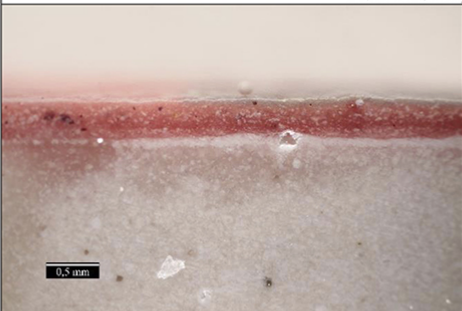
**Tab. 12:** Umělá krusta, sádra, Thunder Art 1064 nm, 10 Hz, 220 mJ, pravá část vzorků čištěna.

SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm            Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná            Změna povrchu na vzorku: zežloutlý povrch            Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch jinak žádná            Další: viditelné stopy po laseru         </p>
<p><b>Obr. 51</b> Vzorek 11198/TA1, krusta 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 1 min suché čištění, sazová čerň.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm            Míra odstranění krusty: zanedbatelná            Změna povrchu na vzorku: zežloutlý povrch            Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch jinak žádná            Další: viditelné stopy po laseru         </p>
<p><b>Obr. 52</b> Vzorek 11199/TA5, krusta 10 g suchá směs + 30 g demi voda, 2 min mokré čištění, sazová čerň.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,35 mm            Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná            Změna povrchu na vzorku: zežloutlý povrch            Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch cca do poloviny tloušťky, jinak žádná            Další: -         </p>
<p><b>Obr. 53</b> Vzorek 11200/TA5, krusta 5 g suchá směs + 30 g demi voda, 2 min mokré čištění, železitá čerň.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,35 mm            Míra odstranění krusty: žádná nebo zanedbatelná            Změna povrchu na vzorku: zežloutlý povrch            Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch cca do poloviny tloušťky, jinak žádná            Další: -         </p>
<p><b>Obr. 54</b> Vzorek 11200/TA5, krusta 5 g suchá směs + 30 g demi voda, 2 min mokré čištění, železitá červeň.</p>	

**Tab. 13:** Umělá krusta, sádra, Thunder Art 532 nm, pravá část vzorků čištěna.

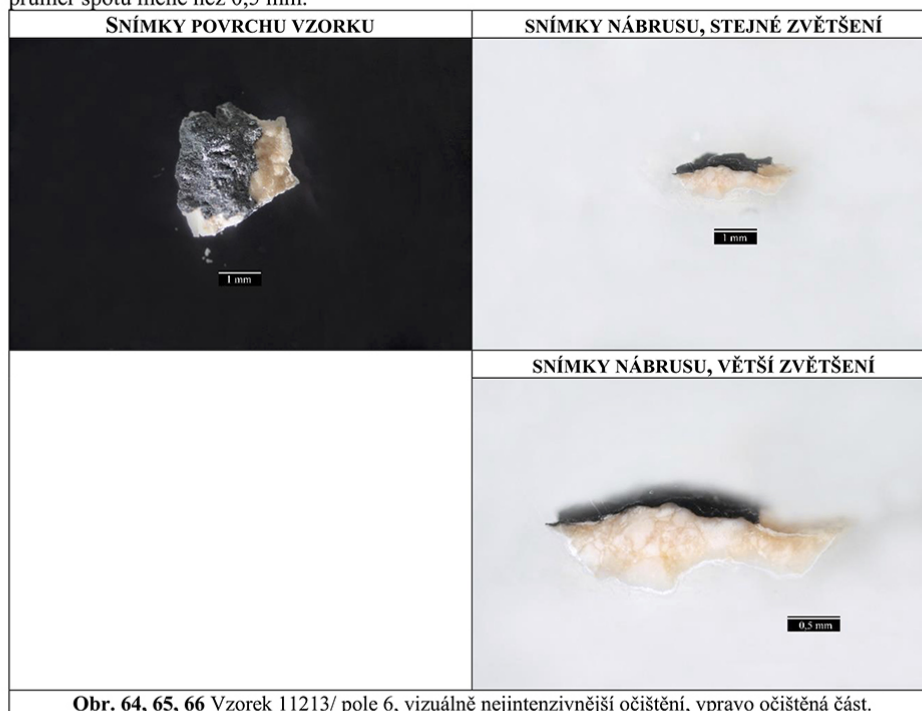
SNÍMKY POVRCHU VZORKŮ	SNÍMKY NÁBRUSŮ, STEJNÉ ZVĚTŠENÍ
	
<p><b>Obr. 55, 56</b> Vzorek 11198/TA1, krusta 10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, 220 mJ, 1 min, 20 Hz, mokré čištění, sazová čern.</p>	
	
<p><b>Obr. 57, 58</b> Vzorek 11198/TA1, krusta 5 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, 220 mJ, 1 min, 20 Hz, mokré čištění, železitá čern.</p>	
	
<p><b>Obr. 59, 60</b> Vzorek 11198/TA1, krusta 5 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, 220 mJ, 1 min, 20 Hz, mokré čištění, železitá červen.</p>	

**Tab. 14:** Umělá krusta, sádra, Thunder Art 532 nm, pravá část vzorků čištěna.

SNÍMKY NÁBRUSŮ, VĚTŠÍ ZVĚTŠENÍ	KOMENTÁŘ
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,75 mm            Míra odstranění krusty: žádná            Změna povrchu na vzorku: lehce zežloutlý povrch            Změna barevnosti v průřezu: zežloutlý povrch ve velmi tenké vrstvě, jinak žádná            Další: viditelné stopy po laseru         </p>
<p><b>Obr. 61</b> Vzorek 11202/TA7, krusta 10 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, 220 mJ, 1 min, 20 Hz, mokré čištění, sazová čerň.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,35 mm            Míra odstranění krusty: žádná            Změna povrchu na vzorku: žádná            Změna barevnosti v průřezu: žádná            Další: -         </p>
<p><b>Obr. 62</b> Vzorek 11203/TA7, krusta 5 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, 220 mJ, 1 min, 20 Hz, mokré čištění, železitá čerň.</p>	
	<p>           Přibližná původní tloušťka krusty: 0,35 mm            Míra odstranění krusty: žádná            Změna povrchu na vzorku: povrch šedý            Změna barevnosti v průřezu: šedý povrch jinak žádná            Další: -         </p>
<p><b>Obr. 63</b> Vzorek 11204/TA7, krusta 5 g suchá směs + 30 g demineralizovaná voda, 220 mJ, 1 min, 20 Hz, mokré čištění, železitá červen.</p>	

**VÝSLEDKY MIKROSKOPICKÉHO PRŮZKUMU REÁLNÉHO VZORKU KRUSTY PO ČIŠTĚNÍ LASEREM**

**17:** Reálná krusta odstraňovaná QS laserem Thunder Art, 1063 nm, 220 mJ, předvlhčeno, 20 Hz, průměr spotu méně než 0,5 mm.





## ZÁVĚR

Mikroskopickému průzkumu byly podrobeny vzorky odebrané ze **zkušebních ploch umělých krust** s materiálem podkladu (sádra nebo organodetrický vápenec – modelové vzorky). Celkem bylo zkoumáno 21 vzorků umělých krust odebraných z modelových polí. Dále byl studován vzorek **přirozené černé krusty** z vápencového zdobného prvku katedrály sv. Štěpána ve Vídni. Plochy, ze kterých byly vzorky odebrány, byly před odběrem podrobeny **bakteriálnímu čištění** nebo **čištění lasery**. Vzorky byly záměrně odebrány z okraje čištěných ploch, aby mohlo být mikroskopicky zkoumáno rozhraní mezi ošetřenou a neošetřenou plochou (krustou). Podrobné výsledky průzkumu spolu s mikrofotografiemi vzorků a jejich nábrusů v odraženém světle jsou uvedeny výše. Velmi zjednodušeně lze na základě provedeného mikroskopického průzkumu odebraných vzorků i vizuálního posouzení všech čištěných ploch shrnout následující.

### Bakteriální čištění

Testované plochy byly 24 h čištěny **filtrovanými a nefiltrovanými bakteriemi** v gelu z Carbogelu. Pro srovnání byl aplikován také fosfátový pufr či demineralizovaná voda v gelu z Carbogelu po dobu 24 h. Původní tloušťka umělých krust byla asi 0,8 mm. Mikroskopicky nebyly zjištěny rozdíly mezi bakteriálním čištěním a aplikací pouhého pufru. Jinak řečeno, nebyly zaznamenány zásadnější či prokazatelné úbytky krust způsobené aktivitou bakterií. Povrch krust byl po odstranění gelů s filtrovanými bakteriemi a pufrům odstínově heterogenní v porovnání s neošetřenou plochou. Po aplikaci nefiltrovaných bakterií byl povrch vizuálně homogenní a světlejší. Případně změny odstínu nebyly pozorovatelné na nábrusech.

### Čištění lasery

Při čištění lasery byl sledován **vliv dvou druhů laserů, podmínek laserování** (nastavení laserů) i **druhu pigmentu v umělých krustách**, který měl simulovat nečistoty obsažené v krustách. Čištění bylo provedeno na **umělých krustách** se dvěma tloušťkami, které byly asi 0,75 mm a 0,35 mm. K testům byly použity QS laser Thunder Art při vlnových délkách 1064 a 532 nm a laser EOS 1000 SFR s vlnovou délkou 1064 nm. Kvůli standardizaci zkoušek bylo snahou pracovat se stejným průměrem bodu (plochy laseru – 0,5 cm), frekvencí 10 Hz a při stejných časech (zejména 1 min). V případě, že nedocházelo ke změnám, byly některé uvedené podmínky variovány (frekvence, čas). Zkoumán byl vliv zvyšující se energie laserů na efektivitu čištění, respektive na změny vzniklé na **umělých krustách** po aplikaci laserů. Nebyl zaznamenán vliv tlouštěk umělých krust na výsledky čištění. Vzorky podrobené mikroskopickému průzkumu byly odebrány z vybraných ploch s nejintenzivnějšími změnami po aplikaci laserů. Na základě testů na modelových vzorcích byly lasery dále použity na **reálné krusty** vápencových prvků. Původní tloušťka reálných krust byla do asi 0,1 mm. K průzkumu byl vybrán vzorek z vizuálně nejintenzivněji očištěné, respektive odstraněné reálné krusty.

Při použití laseru **EOS 1000 SFR** docházelo při ošetření umělých krust se sazovou černí k zesvětlení čištěných ploch. Zesvětlení bylo intenzivnější s použitím vyšší energie laseru. U umělých krust s železitou červení a černí byly sledovány obdobné tendence, zesvětlení však nebylo tolik intenzivní jako na polích se sazovou černí při stejných podmínkách nastavení laseru. Proto byla v některých případech aplikována vyšší frekvence laseru (20 Hz), při které byly změny (zesvětlení povrchu, změna barevnosti) intenzivnější. V takových (krajních) případech bylo pozorováno nejen zesvětlení, ale také částečné žloutnutí povrchu umělých krust. Suché čištění bylo vyhodnoceno za optimálnější nežli aplikace laseru na předem zvlhčený povrch krust. Při mokřím čištění nebylo laserování příliš kontrolovatelné – změny byly viditelné až po uschnutí ošetřených polí. Po uschnutí vzorků byla pozorována na čištěných plochách stopa po laseru. K mikroskopickému průzkumu byl odebrán jeden **vzorek** ze zkušební plochy s **vizuálně nejintenzivnější změnou** (zesvětlením) povrchu krusty se sazovou černí. Světlejší povrch po čištění byl zaznamenán také na mikrofotografii odebraného vzorku. V průřezu nebyl zaznamenán úbytek krusty.

Jak bylo uvedeno, **QS laser Thunder Art** byl využit při dvou vlnových délkách – **1062 nm** a **532 nm**. Tento laser disponuje i možností použití vlnové délky 355 nm. V době provádění testů však nebyla tato vlnová délka funkční, a proto nebyla využita. Výsledky průzkumu ukazují, že při použití vlnové délky 1064 byly změny čištěných ploch intenzivnější při stejných podmínkách čištění než při použití vlnové délky 532 nm. Ve všech případech použitých pigmentů docházelo čištěním laseru s vlnovou délkou 1064 nm ke žloutnutí povrchu umělých krust. Změny byly intenzivnější se vzrůstající energií laseru. Žloutnutí se projevilo jen v povrchové vrstvě umělých krust, zbytek krust zůstával vizuálně v průřezu nezměněn. Zároveň **nebyly zaznamenány úbytky hmoty umělých krust** nebo nebyly tyto úbytky průkazné. Při mokřím čištění byl výsledný odstín ošetřené plochy světlejší než laserováním suchých ploch za stejných podmínek. Při aplikaci vlnové délky 532 nm byla kvůli malým změnám při frekvenci 10 Hz a maximální energii použita také frekvence 20 Hz. Při „nejasantnějších“ podmínkách laserování docházelo v těchto případech ke žloutnutí čištěných ploch, dále byla viditelná stopa laseru v ploše. Aplikace na umělé krusty pigmentované železitou červení způsobovala při nízkých energiích změnu barevnosti z červené na šedou, při nejvyšších energiích potom na žluté zbarvení testované plochy. Pokud byly umělé krusty barevně změněny, tyto změny nastávaly jen v povrchové vrstvě, zbytek průřezu krust byl beze změn. Nebyly zaznamenány úbytky hmoty umělých krust nebo byly tyto úbytky minimální či neprůkazné.

Vzorek z **reálné krusty** byl odebrán z okraje nejvíce očištěného pole vápencového prvku. Toto pole bylo čištěno **QS laserem Thunder Art** při nejasantnějších podmínkách čištění, které ještě postačovaly k odstranění veškeré krusty. Bylo potvrzeno odstranění úplné krusty na mikrosnímčích příčného řezu rozhraní čištěné a nečištěné části (str. 15, Obr. 65, 66 a 67). Zároveň zřejmě nedošlo k úbytku hmoty vápence.

Příloha P.V: Technické a bezpečnostní listy materiálů a přípravků použitých  
v experimentální části diplomové práce

# ALMOD LC

Construction Materials

## PRODUCT DESCRIPTION

Almod LC is a formulated hemihydrate plaster. This product is used for the manufacturing of stucco figurines or pieces. It can be also used to produce school chalks and as an ingredient in proprietary formulations

## PRODUCT BENEFITS

- + Beta moulding plaster
- + Fine PSD
- + High Purity

## OTHER MARKETS

Fibrous and Decorative Plaster

## APPLICATIONS

Fibrous plaster, Wall

## TECHNICAL INFORMATION

Plaster to Water Ratio	
Plaster to Water Ratio (by weight)	1.67:1
Water to plaster ratio (by weight)	60%
Plaster to water mix ratio (by weight)	100/60
Chemical Properties	
Chemical Name	Calcium sulphate hemihydrate
Chemical Composition	CaSO <sub>4</sub> .1/2H <sub>2</sub> O
Colour	White
Setting Parameters	
Vicat Ring Fluidity (cm)	15-23
Initial setting time (minutes)	8-25
Physical Properties	
Particle Size (% weight retained)	< 0.04% at 200 µm 4% at 90 µm
Loose bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	800

The technical data outlined represents typical figures only. For further details, please contact Saint-Gobain Formula directly.

## INSTRUCTIONS FOR USE

Please use with the recommended plaster water ratio, with a mixing time of approx. 2 to 4 minutes. The precise consistency to use will need to be adjusted to suit the individual application. Changes to plaster to water ratio will influence product performance particularly setting time and strength.



## PACKAGING AND SHELF LIFE

	Packaging Available	Shelf Life (Month)
Bag	25 kg, 40 kg, 50 kg	6
Bulk Bag	1 T	6
Bulk Tanker	25 T	Technical properties noted are at receipt of goods

When stored under dry conditions and in its original packaging, the product will have a specified shelf life that commences from the date of manufacture that is displayed on each sack. Shelf life depends on the packaging type. For those products where a defined 'best before' date is applicable, BBE (Best Before End) followed by the date will be displayed on each sack.

## CERTIFICATION



DOP N° 01213279A10613

## ENVIRONMENT, HEALTH AND SAFETY

Material Safety Data Sheets of Saint-Gobain Formula plasters and gypsum minerals are available for all products and may be obtained directly on our website in the product and documentation sections. No liability is accepted by Saint-Gobain Formula for injury to any person or loss or damage to property by improper use of the product.

## NOTIFICATION

The plaster to water ratios quoted are those used in Saint-Gobain Formula's standard test methods and are not necessarily those used in practice. The precise consistency to use will need to be adjusted to suit the individual application. Changes to plaster to water ratio will influence product performance, particularly setting time and strength. Unless otherwise stated, Saint-Gobain Formula's standard test methods apply. To obtain a copy of the test method, please contact Saint-Gobain Formula directly. This literature cancels and replaces any previous document. All information given is provided in good faith and may be subject to change. It's advisable to contact Saint-Gobain Formula in case of any doubt arising from the content of such information.

## CONTACT

For any information, please visit our website  
[www.saintgobainformula.com](http://www.saintgobainformula.com)



Sales contact



Documentation



Technical information



Global information



## 48401 Iron Oxide Black, neutral

Type:	Black pigment
Delivery form:	Powder
Chemical class:	Synthetic iron oxide, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Color Index:	Pigment Black 11 (77499)
CAS No.:	1317-61-9

### Specification

Content Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90 – 95 %	DIN ISO 1248
Volatile compound at 105°C	≤ 0.5 %	DIN ISO 787-2
Water-soluble content	≤ 0.5 %	DIN ISO 787-3
Loss on ignition	≤ 1.0 %	DIN ISO 4621
pH-Value	5 – 8	DIN ISO 787-9
Sieve residue (46 µm sieve)	≤ 0.1 %	DIN ISO 787-7

### Transport and storage

Protect against weathering. Store in a dry place and avoid extreme fluctuations in temperature. Special conditions for opened packaging: Close bags after use to prevent the absorption of moisture and contamination.

### Safety

The product is not classified as dangerous under the relevant EC Directives and corresponding national regulations valid in the individual EU member states. It is not dangerous according to transport regulations.



## 47250 Furnace Black, Lamp Black

The preparation for Lamp black has been known since classical times. Lamp black is nearly pure amorphous carbon. It is collected in brick chambers from the condensed smoke of a luminous flame, burning mineral oil, tar, pitch or resin.

It is slightly bluish in color, thus making good neutral greys when mixed with white. Microscopically, it is finely divided, uniform and homogeneous. It does not wet well with water, because it still contains a slight amount of unburnt oil.

Chemical name: Carbon Black, amorphous  
CAS No.: 1333-86-4  
Color Index: Pigment Black 7, C.I. 77266  
INCI Name: Carbon Black

### Product Specification

Characteristics	Reference values	Actual values	Method
Rel. Color Strength IRB=100 %	27 (24-30) %	27.1 %	ISO 787/16,24
Sieve residue 45 $\mu\text{m}$	$\leq 300$ ppm	2 ppm	Mocker, ISO 787/18
Extractable matter	$\leq 0.1$ %	0.01 %	Toluene Extract (8h) DIN 53553
Residue on ignition 650°C	$\leq 0.3$ %	0.0 %	DIN 53586 A

**Sulphate Reducing Medium (Triple Pack)****M803**

Sulphate Reducing Medium is recommended for enumeration of sulphate reducing bacteria in water samples.

**Composition\*\***

Ingredients	Gms / Litre
Part A	-
Dipotassium phosphate	0.500
Peptic digest of animal tissue	2.000
Beef extract	1.000
Sodium sulphate	1.500
Magnesium sulphate heptahydrate	2.000
Calcium chloride	0.100
Part B	-
Ferric ammonium sulphate	0.392
Sodium ascorbate	0.100
Part C	-
Sodium lactate	3.500
Final pH ( at 25°C)	7.5±0.3

\*\*Formula adjusted, standardized to suit performance parameters

**Directions**

Suspend 7.1 grams of Part A in 900 ml distilled water. Sterilize by autoclaving at 15 lbs pressure (121°C) for 15 minutes. On the day of use prepare solution of Part B by suspending 0.492 grams of Part B in 100 ml distilled water. Sterilize by filtration through a 0.45 µm membrane filter and aseptically add this 100 ml solution to 900 ml Part A medium. Then separately sterilize the 3.50 grams Part C by autoclaving at 15 lbs pressure (121°C) for 15 minutes and aseptically add to the mixture of Part A and B. Mix well and aseptically transfer the complete medium to sterile screw capped tubes filling them completely.

**Principle And Interpretation**

Sulphate Reducing Medium is formulated in accordance with APHA (1) for enumeration of sulphate reducing bacteria. Sulphate reducing bacteria such as *Desulfovibrio* converts sulphate to sulphide which reacts with ferrous ions to give a black colour within 4 to 21 days at 20 - 30°C.

Peptic digest of animal tissue and beef extract in the medium provide nitrogen and other nutrients necessary to support bacterial growth. Potassium phosphates buffer the medium. Sodium chloride and the sulphate salts provide essential ions.

The tubes are filled completely to create anaerobic conditions. When sample volume is greater than 10 ml, sample is passed through a 0.45 µm membrane filter and the filter is transferred to screw-capped test tubes containing medium.

**Quality Control****Appearance**

Part A : Cream to yellow homogeneous free flowing powder Part B : White to cream homogeneous free flowing powder Part C : Colourless solution

**Colour and Clarity of prepared medium**

Light yellow coloured clear to slightly opalescent solution in tubes

**Reaction**

Reaction of 0.71% w/v Part A + 0.05% w/v Part B + 0.35% v/v Part C aqueous solution at 25°C. pH : 7.5±0.3

**Cultural Response**

M803: Cultural characteristics observed after an incubation at 20-30°C for upto 4-21 days .

Organism	Growth					
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> ATCC 13541	luxuriant					
<i>Thiobacillus thiooxidans</i> ATCC 19377	good-luxuriant					

**Reference**

1. Eaton A. D., Clesceri L. S. and Greenberg A. W., (Eds.), 2005, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Ed., APHA, Washington, D.C.



**Storage and Shelf Life**

Store below 30°C and the prepared medium at 2 - 8°C. Use before expiry date on the label.



# Desulfovibrio vulgaris

DSM 644

## BACTERIA

 How to read the following data (Example)

---

### Name:

***Desulfovibrio vulgaris*** Postgate and Campbell 1966

---

### Synonym(s):

*Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris* Postgate and Campbell  
1966

---

### DSM No.:

**644, Type strain**

---

### Strain

designation:

Hildenborough

---

### Other collection

no.

or WDCM no.:

ATCC 29579, NCIMB 8303, VKM B-1760

---

### Isolated from:

wealden clay

---

### Country:

United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland  
Kent, Hildenborough

---

Date of  
sampling:  
before 1947

---

**Nagoya  
Protocol**

**Restrictions:**

There are NO known Nagoya Protocol restrictions for this strain.

---

**History:**

<- G. Gottschalk, Universität Göttingen, Germany  
(*Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris*) <- NCIB <- M. E.  
Adams and K. R. Butlin, National Chemical Laboratory,  
Teddington, Middlesex, U.K.; Hildenborough {1946}

---

Genbank  
accession  
numbers:  
chromosome: NC\_002937  
16S rRNA gene: AF418179  
plasmid pDV: NC\_005863

---

Cultivation  
conditions:  
Medium 63 , 37°C

Please follow special instructions: 'Cultivation of Anaerobes'

Complete DSMZ Media List

---

**Summary and  
additional  
information:**

<- G. Gottschalk, Universität Göttingen, Germany  
(*Desulfovibrio vulgaris subsp. vulgaris*) <- NCIB <- M. E.  
Adams and K. R. Butlin, National Chemical Laboratory,  
Teddington, Middlesex, U.K.; Hildenborough {1946}. Wealden  
clay; United Kingdom, Kent, Hildenborough (732, 733). **Type  
strain.** Taxonomy/description (1300). Sequence accession  
no. chromosome: NC\_002937, plasmid pDV: NC\_005863, 16S

rRNA gene: AF418179. Strain-specific literature (734, 735).  
(Medium 63, 37°C, anaerobic).

---

Literature:

732, 733, 734, 735, 1300, 1666

---

Risk group:

1 (classification according to German TRBA)

---

Supplied as:

Delivery form	Prices
Freeze Dried	100,- €
Active culture on request	240,- €
DNA	150,- €

Price Category for this culture: **1**

Freight and handling charges will be added. See price list.

---

Other cultures:

All DSMZ cultures of the species

---

[Print data sheet](#)

---

[Add to Cart](#)

[Open Pricelist](#)

## Help Topics

[FAQ →](#)

[Order &  
Delivery →](#)

[Safety →](#)



**Quality  
assurance →**

**Phenotypic  
information**  
about  
*Desulfovibrio  
vulgaris* DSM  
644



**Nomenclatural  
information**  
about  
*Desulfovibrio  
vulgaris*





**C.T.S. S.R.L.**  
 VIA PIAVE, 20/22 - 36077 **ALTAVILLA VICENTINA (VICENZA)**  
 TEL. +39 0444 349088 (4 linee r.a.) - FAX +39 0444 349039  
 www.ctseurope.com - E-mail: cts.italia@ctseurope.com - P. IVA IT02443840240



**FILIALI:**  
 VIA G. FANTOLI, 26 - 00149 **ROMA** - TEL. 06 55301779 (2 linee r.a.) - FAX 06 5592891  
 VIA L. GORDIGIANI, 54 int. A1-A2 - 50127 **FIRENZE** - TEL. 055 3245014 (2 linee r.a.) - FAX 055 3245078  
 VIA B. CROCE, 129 - 80026 **CASORIA (NA)** - TEL. 081 5846604 (2 linee r.a.) - FAX 081 5844805  
 VIA POPOLI, 15 - 06039 S. MARIA IN VALLE - **TREVI (PG)** - TEL. 0742 381027 - FAX 0742 386413  
 VIA A. F. STELLA, 5 - 20125 **MILANO** - TEL. 02 67493225 (2 linee r.a.) - FAX 02 67493233  
 VIA A. GRAMSCI, 3/A - 95030 **GRAVINA DI CATANIA (CT)** - TEL. 095 7441565 - FAX 095 7442954

## ADDENSANTI

### (CARBOPOL ULTREZ 21 / ETHOMEEN, ETILCELLULOSA N300, KLUCEL G, VANZAN NF-C, CARBOGEL, PEMULEN TR2)

Nella pratica del restauro vengono sempre più frequentemente utilizzati **gel acquosi** contenenti vari tipi di reattivi (enzimi, chelanti, tensioattivi, tamponi acidi ed alcalini), **solventi in forma addensata**, tramite aggiunta diretta di cellulose modificate, oppure **"solvent gels"**, sistemi più complessi dove il solvente viene gelificato in strutture con capacità tensioattive. Questi sistemi permettono di ottenere puliture più controllabili, minor penetrazione dei reattivi negli strati pittorici, e nel caso dei solventi, minor rilascio dei vapori nell'ambiente e quindi una riduzione del rischio per l'operatore.

**CTS** fornisce oggi una gamma completa di addensanti, permettendo nuove soluzioni fino ad ieri precluse.

Si riassumono le caratteristiche dei prodotti che possiamo utilizzare come addensanti, rimandando alle pagine successive per ulteriori informazioni sui singoli prodotti.

	Fd	Carbopol Ultrez 21	Etilcellulosa N300	Klucel G	Vanzan NF-C	Carbogel
Acqua	18	con TEA	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>
Solventi <b>molto polari</b> (alcool etilico e isopropilico, DMSO)	25-45	con Ethomeen C/25	<b>SI</b> (eccetto il DMSO)	<b>NO</b>	Non ancora studiati	<b>NO</b>
Solventi <b>media polarità</b> (acetone, etilacetato)	45-60	con Ethomeen C/25 e C/12				
Solventi a <b>bassa polarità</b> (aromatici e terpenici)	60-90	con Ethomeen C/12				
Solventi <b>apolari</b> (white spirit, ligroina, essenza di petrolio)	>90		<b>NO</b>			

Nel caso si desideri approfondire l'argomento si rimanda alla seguente bibliografia:

- Cremonesi P., Curti A., Fallarini S., Raio S.; "Preparazione e utilizzo di solvent-gels, reagenti per la pulitura di opere policrome", Progetto Restauro, 15 (2000), 25-33.
- Kermes n. 44 (Ottobre - Dicembre 2001).
- Materiali tradizionali ed innovativi nella pulitura dei dipinti e delle opere policrome mobili (atti del Convegno di Piazzola sul Brenta (PD) - (25-26 Ottobre 2002).
- Un approccio acquoso alla pulitura dei dipinti\_ Richard Wolbers - Edizioni Il Prato, Padova.

Nella tabella sottostante sono elencate le caratteristiche dei 4 addensanti normalmente utilizzati per le **soluzioni acquose**.

I gel acquosi sono anche una valida alternativa alla Carbosimetilcellulosa per effettuare impacchi di pulitura, presentando minori problemi in fase di rimozione (in particolare il Carbogel). Possono essere utilizzate soluzioni contenenti i tradizionali reattivi come Ammonio Carbonato o Ammonio Bicarbonato, come pure i complessanti EDTA bisodico o tetrasodico.

	KLUCEL G	VANZAN NF-C	CARBOPOL ULTREZ 21	CARBOGEL
Perchè utilizzarlo?	Stabile nell'intervallo di pH 2-12, permette quindi di addensare tutti gli acidi e le basi utilizzabili nel settore restauro. E' poco soggetto al biodeterioramento.	Essendo <u>stabile fino a 60°C</u> permette di applicare <u>gel caldi</u> , che facilitano in molti casi la dissoluzione dei materiali. Come il Klucel G è stabile nell'intervallo di pH 2-12. Trattiene fortemente l'acqua.	Forma gel ad <b>alta viscosità</b> , con un contenuto <u>bassissimo di addensante</u> , quindi una maggiore semplicità nella rimozione del gel. Facile applicazione in verticale e su soffitti.	Trattiene fortemente l'acqua e quindi può essere applicato su supporti <b>sensibili</b> . Nessun potere adesivo. <u>Facile rimozione, anche in presenza di cretti</u> .
Quando <b>non</b> utilizzarlo	Quando la porosità del supporto non permette la perfetta rimozione dei residui. Se vogliamo lavorare sopra i 40°C.	Se c'è un rischio di biodeterioramento.	Se vogliamo lavorare con gel acidi.	Non può essere applicato sui soffitti o in contropendenza, ed in presenza di molti sali solubili. No acidi.
Compatibilità con i solventi	Si, ma <u>solo i polari</u> come l'Alcool etilico, le ammine, il DMSO.	Si, fino al 40% di alcoli e glicoli.	Si, <b>tutti</b> (si veda la scheda relativa alla preparazione di solvent gel).	<b>NO</b> . Solo alcool etilico fino ad un massimo del 30%.
Altre proprietà	Sopra i 40°C il gel <u>collassa</u> e si forma una soluzione biancastra, fluida. Raffreddando si riforma il gel trasparente.	<b>Pseudo-plasticità</b> . Neutralità del gel.	Nel caso si voglia impartire al gel un'azione tensioattiva si aggiunga l'1-2% di Tween 20.	<u>Nel caso di elevate concentrazioni di soluto possono esserci difficoltà di addensamento</u> .



**C.T.S. S.R.L.**  
 VIA PIAVE, 20/22 - 36077 **ALTAVILLA VICENTINA (VICENZA)**  
 TEL. +39 0444 349088 (4 linee r.a.) - FAX +39 0444 349039  
 www.ctseurope.com - E-mail: cts.italia@ctseurope.com - P. IVA IT02443840240



**FILIALI:**  
 VIA G. FANTOLI, 26 - 00149 **ROMA** - TEL. 06 55301779 (2 linee r.a.) - FAX 06 5592891  
 VIA L. GORDIGIANI, 54 int. A1-A2 - 50127 **FIRENZE** - TEL. 055 3245014 (2 linee r.a.) - FAX 055 3245078  
 VIA B. CROCE, 129 - 80026 **CASORIA (NA)** - TEL. 081 5848604 (2 linee r.a.) - FAX 081 5844805  
 VIA POPOLI, 15 - 06039 S. MARIA IN VALLE - **TREVI (PG)** - TEL. 0742 381027 - FAX 0742 386413  
 VIA A. F. STELLA, 5 - 20125 **MILANO** - TEL. 02 67493225 (2 linee r.a.) - FAX 02 67493233  
 VIA A. GRAMSCI, 3/A - 95030 **GRAVINA DI CATANIA (CT)** - TEL. 095 7441565 - FAX 095 7442954

	<b>KLUCEL G</b>	<b>VANZAN NF-C</b>	<b>CARBOPOL ULTREZ 21</b>	<b>CARBOGEL</b>
Preparazione	<b>Diretta.</b> Agitare molto bene per evitare la formazione di grumi. Per preparare gel molto viscosi si scalda sopra i 40°C; e si miscela la polvere nel liquido, lasciandolo poi raffreddare: si forma il gel trasparente.	<b>Diretta.</b> Più semplice rispetto a quella del Klucel G. La polvere viene aggiunta alla soluzione acquosa da addensare, tenendo il tutto sotto agitazione.	Versare il Carbopol in polvere sulla superficie dell'acqua, senza mescolamento: nel giro di 3-4 minuti la polvere si idrata passando all'interno della fase acquosa. Si aggiunge poi una qualsiasi base (ammoniaca, TEA...), mescolando fino alla gelificazione.	<b>Diretta.</b> Il Carbogel si idrata spontaneamente una volta aggiunto alla soluzione da addensare.

Riassumiamo nella tabella sottostante le caratteristiche che ci permettono di selezionare l'addensante ottimale per i solventi.

	<b>CARBOPOL ULTREZ 21</b>	<b>KLUCEL G</b>	<b>ETILCELLULOSA N300</b>
Perché utilizzarlo?	Permette di ottenere "solvent gels" con ottime proprietà solubilizzanti (grazie all'azione alcalina e tensioattiva dell'Ethomeen).	Permette di addensare <b>direttamente</b> solventi polari (fd 25-45).	Permette di addensare <b>direttamente</b> anche solventi a polarità media e bassa (fd 45-90).
Quando non utilizzarlo	Quando la porosità del supporto non permette la perfetta rimozione dei residui. Se vogliamo lavorare a pH neutro.		
Viscosità	Dipende sia dal tipo di solvente che dalla quantità di addensante		
	<b>Altissima</b> , con un contenuto minimo di addensante (dallo 0,5 al 2%).	<b>Media</b>	<b>Bassa</b> (Esempio: al 5% in Toluene/Etanolo. 80/20 dà 250-350 mPa.s a 25°C).
Preparazione	Miscelare Carbopol ed Ethomeen in proporzione 1:10. Aggiungere sotto continua agitazione da 50 a 100 parti di solvente. In alcuni casi si formerà il gel, in altri (solventi apolari), sarà necessaria l'aggiunta di piccole quantità di acqua.	<b>Diretta.</b> Agitare molto bene per evitare la formazione di grumi. Per preparare gel molto viscosi si scalda sopra i 40°C; e si miscela la polvere nel liquido, lasciandolo poi raffreddare: si forma il gel trasparente.	<b>Diretta.</b> Agitare molto bene per evitare la formazione di grumi.

## CARBOPOL ULTREZ 21

Polimero acrilico reticolato idrofilo e acido, che in acqua rigonfia ma non si scioglie, dato che le sue notevoli dimensioni non permettono di andare oltre una dispersione. Inoltre, le molecole sono "agglomerate" e per questo la dispersione non neutralizzata, che ha un pH di circa 3, è solo poco viscosa. Solo dopo l'aggiunta di una base, che va a salificare i gruppi acidi -COOH presenti lungo la catena, queste si distendono dando un enorme aumento di viscosità, e andando quindi a formare il gel. Il gel ottenuto è quindi alcalino, ma la quantità di base può essere dosata in modo da ottenere un pH vicino alla neutralità.

L'acido poliaccrilico **CARBOPOL® ULTREZ 21**, in combinazione con le ammine **ETHOMEEN®**, permette la preparazione di gel (*solvent-gels*) con tutti i solventi utilizzati per le operazioni di restauro, anche quelli più apolari come White Spirit D 40 ed Essenza di Petrolio.

**CARBOPOL® ULTREZ 21** permette la preparazione di gel ad alta viscosità, con un contenuto bassissimo di addensante (circa l'1%), quindi una maggiore semplicità nell'operazione di rimozione del gel stesso, e minori rischi di lasciare residui sulle superfici.

### PREPARAZIONE DEL " SOLVENT GEL "

La prima operazione consiste nel miscelare al **CARBOPOL® ULTREZ 21** l'ammina **ETHOMEEN®** (si veda più sotto per la scelta tra i tipi di **ETHOMEEN®**). Una volta ottenuto una miscela omogenea si può procedere all'aggiunta del solvente che si intende gelificare. A questo punto non si è ancora sviluppato il fenomeno della gelificazione: la soluzione dovrebbe risultare omogenea ma non necessariamente trasparente, e solo leggermente viscosa. Solo dopo l'aggiunta di una piccola quantità di acqua (1-5%) si formerà il gel. Per queste procedure di preparazione può essere estremamente utile l'utilizzo di un "agitatore meccanico". Sebbene non sia strettamente necessario, il suo uso può prevenire la formazione di grumi, che sono poi fastidiosi da rimuovere.

La presenza della piccola quantità di acqua non significa che non si possa utilizzare questo gel anche su supporti sensibili all'acqua. Infatti, l'acqua è in questo caso fortemente legata al **CARBOPOL®** (la sua funzione è proprio quella di permettere lo "srotolamento" delle catene dell'acido, che altrimenti rimarrebbe avvolto su se stesso), e non viene quindi rilasciata sul supporto.

Per la determinazione delle quantità delle sostanze si osservi in linea di massima un rapporto in peso tra **CARBOPOL® ULTREZ 21/ETHOMEEN®/solvente** di **1/10/50**. Questa indicazione deve essere valutata a seconda dei tipi di solvente, in quanto la stessa quantità di addensante può dare diversi livelli di viscosità a seconda del tipo di solvente.

Si consiglia di partire da gel più viscosi ed eventualmente diluire con progressive aggiunte di solvente. Risulta pressoché impossibile l'operazione inversa, dato che l'aggiunta di una polvere in una soluzione viscosa non permette una buona dispersione, e porta alla formazione di grumi.





**C.T.S. S.R.L.**

VIA PIAVE, 20/22 - 36077 **ALTAVILLA VICENTINA (VICENZA)**  
TEL. +39 0444 349088 (4 linee r.a.) - FAX +39 0444 349039  
[www.ctseurope.com](http://www.ctseurope.com) - E-mail: [cts.italia@ctseurope.com](mailto:cts.italia@ctseurope.com) - P. IVA IT02443840240

FILIALI:

VIA G. FANTOLI, 26 - 00149 **ROMA** - TEL. 06 55301779 (2 linee r.a.) - FAX 06 5592891  
VIA L. GORDIGIANI, 54 int. A1-A2 - 50127 **FIRENZE** - TEL. 055 3245014 (2 linee r.a.) - FAX 055 3245078  
VIA B. CROCE, 129 - 80026 **CASORIA (NA)** - TEL. 081 5846604 (2 linee r.a.) - FAX 081 5844805  
VIA POPOLI, 15 - 06039 S. MARIA IN VALLE - **TREVI (PG)** - TEL. 0742 381027 - FAX 0742 386413  
VIA A. F. STELLA, 5 - 20125 **MILANO** - TEL. 02 67493225 (2 linee r.a.) - FAX 02 67493233  
VIA A. GRAMSCI, 3/A - 95030 **GRAVINA DI CATANIA (CT)** - TEL. 095 7441565 - FAX 095 7442954

**SINCERT**



### SCelta DEL TIPO DI ETHOMEEN®

**ETHOMEEN® C/12** – Solventi apolari (Citrosolv, Xilene, Toluene, Diluente Nitro, Essenza di Petrolio, Essenza di Trementina ed in generale gli idrocarburi aromatici ed alifatici).

**Nota:** per l'Etile Acetato e il Butile Acetato è necessario aggiungere, nella fase finale:  
**per l'Etile Acetato** - invece della sola acqua, una miscela acqua/alcool etilico 1/1.  
**per il Butile Acetato** - nella fase finale, acqua e alcool butilico in rapporto 1/1.

**ETHOMEEN® C/25** – Solventi polari (alcoli, Acetone, Dimetilsolfossido, ammine organiche)

### APPLICAZIONE DEL "SOLVENT GEL"

Applicare per mezzo di un tampone o di un pennello sulla superficie da pulire, lasciandolo agire per tempi che possono essere di alcuni secondi fino a qualche minuto. La trasparenza del gel permette di osservare i fenomeni in atto sulla superficie. Procedere quindi alla rimozione.

### RIMOZIONE DEL "SOLVENT GEL"

Rimuovere con tampone asciutto, e quindi con un tampone bagnato con un solvente. La scelta del solvente deve rispettare il tipo di polarità dell'**ETHOMEEN®** utilizzato, senza però che il solvente abbia conseguenze sullo strato pittorico. Per esempio, se è stato effettuata una pulitura con un gel di Xilene, addensato con **ETHOMEEN® C/12**, posso rimuoverlo con un solvente apolare come l'Essenza di Petrolio. i Solvent Gels preparati con Ethomeen C-25 richiedono invece un solvente di una certa polarità per la rimozione, ad esempio 20-30% Acetone in Essenza di Petrolio.

Una ricerca presso il Getty Institute of Conservation ha permesso di determinare con precisione l'entità dei residui rimanenti dopo i trattamenti con sistemi supportati, come *solvent-gels*, o anche quelli enzimatici. Tali prove, hanno evidenziato una rimozione attorno al 99% ed oltre, a seconda del tipo di lavaggio. Il residuo che può rimanere sulla superficie è poi costituito da una molecola non reattiva nei confronti del substrato, in quanto l'Acido Poliaccrilico è stato neutralizzato con la base **ETHOMEEN**, ovvero abbiamo ottenuto un sale, seppur di enormi dimensioni. Sarà comunque necessario evitare questo tipo di materiali nei casi di presenza di craquelers, specie se profondi, per non incontrare eccessive difficoltà nella rimozione.

### CARBOPOL® ULTREZ 21 ED I GEL ACQUOSI

La preparazione di gel acquosi ad alta viscosità (già >50.000 mPa.s allo 0,5% di solido) con **CARBOPOL® ULTREZ 21** è estremamente semplice, dato che per semplice aggiunta all'acqua si idrata rapidamente (3-5 minuti). Si aggiunge poi una qualsiasi base (ammoniacca, TEA...), mescolando fino alla gelificazione. La quantità di base può essere dosata in modo da ottenere un pH vicino alla neutralità.

## ETILCELLULOSA N 300

L'**ETILCELLULOSA N 300** appartiene alla famiglia delle cellulose modificate, una classe di sostanze risultanti dal trattamento delle fibrille di cellulosa con svariati reagenti. Si effettua un innesto, sui gruppi idrossili della catena cellulosica, di terminali di vario tipo, e perciò queste sostanze sono anche dette *Eteri di Cellulosa*.

Tra le sostanze più note di questo gruppo la **Carbossimetilcellulosa** (dove alcuni gruppi terminali sono acidi carbossilici) e l'idrossipropilcellulosa (il già menzionato **Klucel G**). Queste molecole, nonostante siano idrofile, sono troppo grandi per parlare di una vera e propria solubilizzazione, e si parla quindi di rigonfiamento in acqua, ed anche in solventi molto polari.

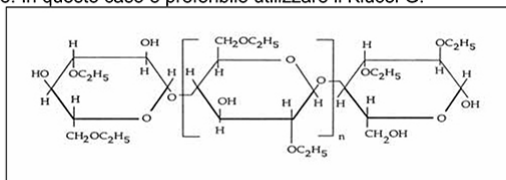
Grazie all'elevatissimo grado di sostituzione (2,5 su un massimo teorico di 3), l'**ETILCELLULOSA N 300** risulta essere un materiale lipofilo insolubile in acqua, che rigonfia nei solventi organici a polarità media e bassa formando con la maggior parte di loro dei gel.

Rispetto ad altre sostanze utilizzate finora, l'**ETILCELLULOSA N 300** presenta il vantaggio di addensare anche alcuni solventi apolari (Essenza di Trementina, aromatici), mentre per altri ancora (quelli estremamente apolari come il White Spirit D 40) il rigonfiamento non porta ad una gelificazione. Inoltre, grazie al suo elevato peso molecolare e la sua elevata purezza, si riducono notevolmente le quantità necessarie rispetto alle altre etilcellulose.

Rispetto al Carbopol Ultrez 21, l'**ETILCELLULOSA N 300** ha un maggior potere adesivo, caratteristica che deve essere sempre tenuta in conto per la rimozione dei residui, che risulta quindi più difficoltosa.

Presenta d'altro canto il vantaggio di una preparazione molto più semplice. Infatti l'**ETILCELLULOSA N 300** deve essere aggiunta al solvente, o miscela di solventi, senza alcuna aggiunta di altri componenti, tenendo il tutto sotto agitazione.

Se lasciata asciugare l'**ETILCELLULOSA N 300** forma un film con indice di rifrazione 1,47 e indice di durezza Sward 52-61, calcolato su di un film di 75 micrometri. Normalmente non si utilizza questo prodotto come sostanza filmogena o come adesivo, perché sussistono dubbi sulla sua stabilità all'ossidazione. In questo caso è preferibile utilizzare il Klucel G.



Struttura dell'etilcellulosa





**C.T.S. S.R.L.**

VIA PIAVE, 20/22 - 36077 **ALTAVILLA VICENTINA (VICENZA)**  
TEL. +39 0444 349088 (4 linee r.a.) - FAX +39 0444 349039  
www.ctseurope.com - E-mail: cts.italia@ctseurope.com - P. IVA IT02443840240

FILIALI:

VIA G. FANTOLI, 26 - 00149 **ROMA** - TEL. 06 55301779 (2 linee r.a.) - FAX 06 5592891  
VIA L. GORDIGIANI, 54 int. A1-A2 - 50127 **FIRENZE** - TEL. 055 3245014 (2 linee r.a.) - FAX 055 3245078  
VIA B. CROCE, 129 - 80026 **CASORIA (NA)** - TEL. 081 5846604 (2 linee r.a.) - FAX 081 5844805  
VIA POPOLI, 15 - 06039 S. MARIA IN VALLE - **TREVI (PG)** - TEL. 0742 381027 - FAX 0742 386413  
VIA A. F. STELLA, 5 - 20125 **MILANO** - TEL. 02 67493225 (2 linee r.a.) - FAX 02 67493233  
VIA A. GRAMSCI, 3/A - 95030 **GRAVINA DI CATANIA (CT)** - TEL. 095 7441565 - FAX 095 7442954

SINCERT



## KLUCEL G

Si tratta di una cellulosa modificata, una idrossipropilcellulosa, che permette di addensare sia soluzioni acquose che solventi organici polari con  $\text{fd}$  compresa tra 25 e 45, come l'Alcool etilico, le ammine, il Dimetilsolfossido.

In un gel acquoso a base di **Klucel G** possono essere aggiunte solo piccole quantità di solventi apolari, che variano da solvente a solvente.

Ha un potere adesivo medio, ed è utilizzato come adesivo per carta e cartoni.

Sopra i 40°C il gel collassa e si forma una soluzione biancastra, fluida. Questa proprietà può risultare utile per preparare gel molto viscosi: si scalda e si miscela la polvere nel liquido, poi si lascia raffreddare, e si forma il gel trasparente.

È stabile nell'intervallo di pH 2-12, e permette quindi di addensare tutti gli acidi e le basi utilizzabili nel settore restauro.

## VANZAN NF-C

Il Vanzan è un addensante per sistemi acquosi costituito da un polimero naturale, la gomma xantano, estratta dal batterio *Xanthomonas Campestris*. La sua struttura è molto simile a quella della cellulosa, con la presenza di catene laterali acide.

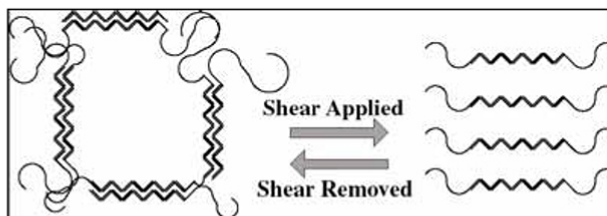
La sua principale caratteristica è quella di passare da una conformazione delle catene a "gomitolo casuale", ad una ordinata, in cui le catene si dispongono ad elica, formando delle strutture responsabili della tixotropicità del gel.

L'azione meccanica (movimento con pennello o tamponcino) su queste strutture comporta la loro parziale rottura, con diminuzione della viscosità. Quando la soluzione è lasciata a riposo le strutture si riformano, con aumento della viscosità (proprietà **pseudoplastica**).

Inoltre la stabilità fino a 60°C fa sì che si possa utilizzare per applicare **gel caldi** (cosa non realizzabile con le soluzioni di Klucel G, che perdono viscosità sopra i 30°C).

Infine è possibile additivare alle soluzioni acquose fino al 40% di alcoli o glicoli, senza che il gel si smischi.

La rimozione di eventuali residui rimasti in superficie può essere effettuata usando batuffoli di cotone asciutti o leggermente bagnati in acqua demineralizzata.



### CARATTERISTICHE CHIMICO FISICHE DEL VANZAN NF-C

Aspetto	Polvere bianca finissima
pH di una soluzione all'1%	6,0-8,0
Viscosità Brookfield di una soluzione all'1% (mPa.s)	1300-1700*
Viscosità Brookfield di una soluzione allo 0,5% (mPa.s)	500-550*

\*Nota\_ il Vanzan permette di ottenere viscosità più alte del Klucel G, che al 2% ha una viscosità di soli 150-400 mPa.s,

## CARBOGEL

Basandosi sull'esperienza della gelificazione dei solventi con acido poliaccrilico salificato **CTS** ha sviluppato un nuovo supportante per il settore affreschi, denominato **CARBOGEL**, che presenta caratteristiche peculiari.

Punto di forza del **CARBOGEL** è la sua **alta capacità di ritenzione dell'acqua**, che evapora così in tempi molto lunghi. Può essere quindi addizionato agli impacchi di polpa di cellulosa per allungare i tempi di asciugamento in ambienti asciutti o con elevata temperatura e ventilazione.

Sempre per questo motivo è possibile utilizzare questo gel anche su **supporti sensibili all'acqua**. Infatti l'acqua è in questo caso fortemente legata al **CARBOGEL**, e viene quindi rilasciata in minima parte sul supporto. Questo lo rende ideale per la pulitura di supporti lignei decorati o murature e affreschi contenenti sali solubili, oppure per il **rigonfiamento di residui di colle pasta** dal retro di tele, senza rischio di cessioni di liquido agli strati pittorici.

### PREPARAZIONE DEL GEL ACQUOSO

La preparazione è molto semplice: una volta preparata la soluzione acquosa dei reagenti (Ammonio Carbonato, Ammonio Bicarbonato, EDTA, etc...) nella concentrazione voluta, si aggiunge dallo 0,5% al 4% in peso di **CARBOGEL**, quindi si mescola il tutto. Nel caso l'aggiunta sia stata eccessiva (quindi si sia ottenuto un gel troppo viscoso), si può facilmente compensare con l'aggiunta di altra soluzione, mentre un gel troppo fluido può essere reso più viscoso per aggiunta di altro **CARBOGEL**.

Nel caso di elevate concentrazioni di soluto possono esserci difficoltà di addensamento.

Una soluzione allo 0,3% (fluido viscoso) ha un pH = 7,5 circa, ossia debolmente alcalino.

Non si possono addensare solventi (con l'eccezione di alcool etilico in miscela con acqua, con rapporti inferiori a 1:2), per i quali si ricorre ai già citati **CARBOPOL® ULTREZ 21/ETHOMEEN®**.



**C.T.S. S.R.L.**  
VIA PIAVE, 20/22 - 36077 **ALTAVILLA VICENTINA (VICENZA)**  
TEL. +39 0444 349088 (4 linee r.a.) - FAX +39 0444 349039  
[www.ctseurope.com](http://www.ctseurope.com) - E-mail: [cts.italia@ctseurope.com](mailto:cts.italia@ctseurope.com) - P. IVA IT02443840240



**FILIALI:**  
VIA G. FANTOLI, 26 - 00149 **ROMA** - TEL. 06 55301779 (2 linee r.a.) - FAX 06 5592891  
VIA L. GORDIGIANI, 54 int. A1-A2 - 50127 **FIRENZE** - TEL. 055 3245014 (2 linee r.a.) - FAX 055 3245078  
VIA B. CROCE, 129 - 80026 **CASORIA (NA)** - TEL. 081 5848604 (2 linee r.a.) - FAX 081 5844805  
VIA POPOLI, 15 - 06039 S. MARIA IN VALLE - **TREVI (PG)** - TEL. 0742 381027 - FAX 0742 386413  
VIA A. F. STELLA, 5 - 20125 **MILANO** - TEL. 02 67493225 (2 linee r.a.) - FAX 02 67493233  
VIA A. GRAMSCI, 3/A - 95030 **GRAVINA DI CATANIA (CT)** - TEL. 095 7441565 - FAX 095 7442954

## APPLICAZIONE E RIMOZIONE DEL GEL

Il gel può essere applicato per mezzo di una spatola o di un pennello sulla superficie previamente protetta con carta giapponese, lasciandolo agire per tempi che devono essere determinati dall'operatore, come per i tradizionali impacchi. La trasparenza del gel permette di osservare i fenomeni in atto sulla superficie. Procedere quindi alla rimozione della carta giapponese (e con essa del gel), e successivamente si pulisce con piccole spugne naturali o tamponi sempre imbevuti con acqua demineralizzata. Dato che il **CARBOGEL** ha **scarsissime capacità adesive** su qualsiasi tipo di intonaco, sia liscio sia ruvido, è semplice ottenere la **completa rimozione dei residui**.

Si ricorda che gli addensanti utilizzati in passato come la Carbosimetilcellulosa, oltre a richiedere notevoli quantità di prodotto (tra il 4% ed il 10% in peso) per dare gel ad alta viscosità, presentavano anche forti proprietà adesive, tanto da rendere pressoché impossibile la loro completa rimozione.

Elevate quantità di sali possono comportare lo smiscelamento del gel. Questo fenomeno deve essere considerato sia per l'applicazione su supporti ricchi di sali, che per la gelificazione di soluzioni ad elevata concentrazione.

## PEMULEN TR2

Pemulen TR2 è un polimero acrilico reticolato, con capacità addensanti nei confronti di soluzioni acquose.

Come per il Carbopol può essere gelificato utilizzando trietanolanmina o Ethomeen.

Non contiene antiossidanti o conservanti.

### CARATTERISTICHE CHIMICO FISICHE DEL PEMULEN TR2

Aspetto	Polvere bianca finissima
pH di una soluzione all'1%	2.5-3.0
Viscosità Brookfield di una soluzione allo 0,2% (mPa.s), a 25°C	1700-4500

### Tossicità:

Tutti i prodotti descritti (**CARBOPOL® ULTREZ 21**, il **KLUCEL G**; l'**ETILCELLULOSA**, il **VANZAN NF-C**, il **CARBOGEL**, il **PEMULEN TR2**) sono prodotti a bassa tossicità, e possono essere maneggiati rispettando le normali procedure, ossia evitando l'inalazione dei prodotti in polvere. Per le ammine **ETHOMEEN®** evitare il contatto cutaneo: è sufficiente lavorare con guanti monouso in lattice.

### Confezioni:

<b>Carbopol Ultrez 21:</b>	conf. 1 kg.
<b>Ethomeen C/12 e C/25:</b>	conf. 1 lt.
<b>Etilcellulosa N 300:</b>	conf. 500 gr.
<b>Klucel G:</b>	conf. 500 gr. e 2,5 kg.
<b>Vanzan NF-C:</b>	conf. 500 gr.
<b>Carbogel:</b>	conf. 1 kg.
<b>Pemulen TR2:</b>	conf. 500 gr.

Le indicazioni ed i dati riportati nel presente opuscolo sono basati sulle nostre attuali esperienze, su prove di laboratorio e su corretta applicazione. Queste informazioni non devono in alcun caso sostituirsi alle prove preliminari che è indispensabile effettuare per accertarsi dell'idoneità del prodotto ad ogni caso determinato.

La C.T.S. S.r.l. garantisce la qualità costante del prodotto ma non risponde di eventuali danni causati da un uso non corretto del materiale. Inoltre, può variare in qualsiasi momento i componenti e le confezioni senza obbligo di comunicazione alcuna.