Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

Ateliér restaurování kamene

Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl

Restaurování části renesančního štukového epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci

Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků

BcA. Kateřina Šibravová

Vedoucí práce: Ing. Renata Tišlová, Ph.D.

Konzultanti praktické části: doc. Mgr. Art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

MgA. Lucie Bartůňková, Ph.D.

Oponent: MgA. Josef Červinka

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**BcA. Kateřina Šibravová**
Osobní číslo:	**R18024**
Studijní program:	**N8206 Výtvarná umění**
Studijní obor:	**Restaurování a konzervace nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury: Kámen**
Téma práce:	**Restaurování části renesančního štukového epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci. Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků.**
Zadávající katedra:	**Ateliér restaurování kamene**

Zásady pro vypracování

Praktická část práce bude představovat restaurátorský zásah na renesančním polychromovaném štukovém reliéfu rodiny Hodějovských z Hodějova, který se nachází v kostele Narození svatého Jana Křtitele v Českém Rudolci. Bude se jednat o komplexní restaurátorský zásah, včetně zpracování a vyhodnocení výsledků restaurátorského průzkumu, na jehož základě bude vypracována koncepce vlastního restaurování. Všechny postupy budou průběžně dokumentovány podle standardů stanovených pro restaurátorské dokumentace.
Teoretická část práce se bude zabývat problematikou čištění (redukce) korozních produktů kovů (slitin železa) z povrchu sádrových odlitků. Cílem práce bude nejprve popsat mechanismus degradace v sádrových odlitcích průzkumem literatury i shromážděním dříve zjištěných dat (zdrojem budou dříve restaurované sádrové odlitky s korodovanými armaturami). V druhé etapě budou připraveny laboratorní vzorky sádry se zalitou korodovanou armaturou, na kterých budou testovány možnosti odstranění korozních produktů z povrchu odlitků s využitím chemických látek aplikovaných postupem, který bude nejúčinnější a zároveň vůči sádře nejšetrnější. Na základě vyhodnocení účinku materiálů a postupů bude provedeno modelové restaurování sádrového odlitku s rozsáhlým poškozením korozními produkty.
Obě práce budou průběžně konzultovány s vedoucím práce a konzultanty z oblasti dějin umění i technologie a korozního inženýrství. Veškeré práce budou probíhat pod dohledem pedagogů restaurátorů. Použité postupy a technologie budou voleny na základě důkladných zkoušek.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BRANDI, Cesare a Jiří ŠPAČEK. *Teorie restaurování*. Kutná Hora: Tichá Byzanc, 2000.
KUBIČKA, Roman a Jiří ZELINGER. *Výkladový slovník: malířství, grafika, restaurátorství*. Praha: Grada, 2004.
KOTLÍK, Petr. *Stavební materiály historických objektů: materiály, koroze, sanace*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999.
KOPECKÁ, Ivana a Eva SVOBODOVÁ. *Metody průzkumu historických materiálů*. Praha: Grada Publishing, 2019
MORA Laura. ? MORA Paolo., *Conservation of wall paintings,* London; Boston: Butterworths, 1984.
ŠIMŮNKOVÁ, Eva a Tatjana BAYEROVÁ. *Pigmenty*. Praha: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, 1999..
VANĚČEK, Ivan. *Nástěnné malby*. Praha: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, 2000.
MUNOZ VINAS, Salvador. *Současná teorie konzervování*. Přeložil Martina POLÁKOVÁ, přeložil Jaroslav ALT. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015.
ZELINGER, Jiří. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. 2. vyd., přeprac. a dopl. Praha: Academia, 1987.
KOPECKÁ, Veronika a Vratislav NEJEDLÝ. *Retuš uměleckých děl na papíře (teorie retuše): KA1 – studijní materiály*. Litomyšl: Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, [2012].
ŠTULC, Josef, Ivana MAXOVÁ a Miloš SUCHOMEL. *Péče o kamenné sochařské a stavební památky*. Praha: Státní ústav památkové péče, 1998. Odborné a metodické publikace, sv. 16.
SUCHOMEL, Miloš. *Záchrana kamenných soch*. Díl 1 a 2. Praha: Státní ústav památkové péče a ochrany přírody, 1988 a 1990. Odborné a metodické publikace, sv. 13.
Péče o architektonické dědictví I. II. III, kolektiv autorů, IDEA Servis, Praha 2008.
RIEGL, Alois, HLOBIL, Ivo a Ivan KRUIS, ed. *Moderní památková péče*. Přeložil Tomáš HLOBIL, přeložil Jürgen OSTMEYER. Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, 2003.
WAGNER, Václav. *Umělecké dílo minulosti a jeho ochrana*. Praha: Národní památkový ústav, 2005.
DVOŘÁK, Max. *Katechismus památkové péče*. 2. české vyd., rozš. o obrazovou přílohu. Praha: Národní památkový ústav, 2004.
ECO, Umberto a Ivan SEIDL. *Jak napsat diplomovou práci*. Olomouc: Votobia, 1997. Velká řada, sv. 27.
FILKA, Jaroslav. *Metodika tvorby diplomové práce: praktická pomůcka pro studenty vysokých škol*. Brno: Knihař, c2002.
SLÁNSKÝ, Bohuslav. *Technika malby*. Díl 1, Malířský a konzervační materiál. 2. vyd. Praha: Paseka, 2003.
BENEŠOVÁ, Jaroslava. *Konzervování a restaurování kovů: ochrana předmětů kulturního dědictví z kovů a jejich slitin*. V Brně: Technické muzeum, 2011.
KOTLÍKOVÁ, Olga. *Sádra v památkové péči: odborný seminář, 21. března 2002, Národní muzeum*. S.l.: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, c2002.
Sádra pro památkovou péči: Praha, 30. června 2001. Praha: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, 2001.
PAROBEK, Martin. *Dva případy restaurování sochařských děl ze sádry. Restaurování děl ze sádry, typická poškození a možnosti jejich řešení*. Litomyšl, 2011. Diplomová práce. Univerzita Pardubice
STUDENÍK, Bronislav. *Restaurování polychromované štukové plastiky Adama z kaple sv. Isidora v obci Křenov.* Litomyšl, 2014. Diplomová práce. Univerzita Pardubice
HELMUT, Kaesche. *Corrosion of Metals: Physicochemical Principles and Current Problems*, Springer Science &Bussines Media, 2003, s. 594.
SELUCKÁ, Alena - MAZÍK, Michal - PELÍŠKOVÁ, Renata Stabilizace rzi prostředky na bázi taninů Fórum pro konzervátory-restaurátory, Brno 2011, s. 65-72.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Renata Tišlová, Ph.D.**
Katedra chemické technologie FR

Datum zadání diplomové práce: **15. listopadu 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **8. září 2021**

L.S.

Mgr. BcA. Radomír Slovik	**doc. Jakub Ďoubal, Ph.D.**
děkan	vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 13. srpna 2021

Prohlašuji:

Práci **Restaurování části renesančního štukového epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci a Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků** 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 ……

……..

Kateřina Šibravová

PODĚKOVÁNÍ

V prvé řadě bych ráda poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Renatě Tišlové, Ph.D., za vedení a pomoc při vzniku a psaní této práce. Dále bych ráda poděkovala celému vedení Ateliéru restaurování kamene, především doc. Mgr. art. Jakubu Ďoubalovi, Ph.D., za podnětné rady po celou dobu studia. MgA. Lucii Bartůňkové děkuji za odborné vedení, pravidelné konzultace a trpělivost u praktické části.

Mé velké poděkování patří rovněž všem konzultantům obou částí diplomové práce. Za praktickou část děkuji především MgA. Zdeňku Kováříkovi, Mgr. Zdeňce Míchalové, Ph.D., a Mgr. Vlaďce Říhové, Ph.D. Za konzultace k teoretické části děkuji Ing. Ivaně Kopecké a Ing. Jiřímu Kmoškovi.

Dále děkuji všem spolužákům a kolegům, především BcA. Radce Zůfalé, DiS., BcA. Mariánu Grančákovi, BcA. Romaně Čivrné a BcA. Stelle Burkhardtové za spolupráci při restaurování epitafu v Českém Rudolci.

Za průběžnou fotodokumentaci během restaurování děkuji Vojtovi Krajíčkovi, DiS., a Ing. Lukáši Krajíčkovi.

Ráda bych také poděkovala všem bratřím v klášteře v Kostelním Vydří (nevyjímaje personál) za poskytnutí zázemí a péči o nás během práce na praktické části. Poděkování patří rovněž obecnímu úřadu Český Rudolec za poskytnutí zázemí.

Za pomoc a podporu během zpracování teoretické práce děkuji MgA. Zuzaně Auské.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a partnerovi za podporu během celého studia.

NÁZEV

Restaurování části renesančního štukového epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci.

Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků.

ANOTACE

Diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části, praktickou a teoretickou.

Praktická část prezentuje komplexní restaurátorský zásah na renesančním štukovém epitafu Jana Hodějovského z Hodějova a jeho rodiny umístěnému na severní zdi v kostele sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci. Toto dílo bylo vytvořeno neznámým autorem roku 1582. Práce dokumentuje celý restaurátorský průzkum, na jehož základě byla zvolena koncepce restaurátorského zásahu. Dokument mapuje veškeré postupy a provedené zásahy během restaurátorského zásahu.

Teoretická část se v úvodu zabývá seznámením se s materiály a problematikou koroze kovů. V úvodu je zaměřena na možnosti čištění korozních produktů ze sádrového povrchu. Pozornost byla zaměřena na shromáždění všech možných způsobů čištění za pomoci chemických látek, zatímco druhá, experimentální část, představuje zkoušky čištění ze zkušebních vzorků. Výsledky byly ověřeny na skutečném sádrovém díle se znečištěním korozními produkty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Restaurování, renesanční štuk, vápno, odkryv, polychromie, Hodějovský z Hodějova, Český Rudolec, sádrový odlitek, sádra, koroze kovu, čištění, korozní produkty kovu, čištění, chelatační činidla, chemické čištění

TITLE

Restoration of a part of a renaissance stucco epitaph of the Hodějovský family from Hodějov in the Church of the Birth of St. John the Baptist, Český Rudolec.

Options of cleaning corrosion products of iron alloys from the surface of plaster casts.

ANNOTATION

The diploma thesis is divided into two main parts, practical and theoretical.

The practical part presents a comprehensive restoration intervention on the Renaissance stucco epitaph of Jan Hodějovský of Hodějov and his family located on the north wall in the Church of St. John the Baptist, Český Rudolec. This work was created by an unknown artist in 1582. The paper documents the entire restoration survey, which laid the basis for the restoration treatment concept. Besides, this part maps all the procedures and interventions performed during the restoration intervention.

The theoretical part deals with the introduction to materials and corrosion of metals. The introduction focuses on the options of cleaning corrosion products from gypsum surfaces. The aim was to collect all possible cleaning methods with the help of chemicals. The second experimental part presents cleaning tests performed on plaster specimens; the data gained in the testing were verified on a real plaster artwork affected by corrosion of iron reinforcement.

KEYWORDS

Restoration, renaissance stucco, lime, excavation, polychromy, Hodějovský of Hoděj, Český Rudolec, plaster cast, gypsum, corrosion of fittings, cleaning, corrosion products of fittings, cleaning, cleaning agents, chemical cleaning

OBSAH

I Úvod **14**

II PRAKTICKÁ ČÁST **15**

1 Základní údaje o památce **16**

1.1 Lokalizace památky 16

1.2 Údaje o objektu 16

1.3 Údaje o díle 17

1.4 Údaje o akci 17

1.5 Údaje o dokumentaci 18

2 Průzkum díla **19**

2.1 Umělecko-historický průzkum 19

2.1.1 Souhrnný popis a historie kostela 19

2.1.2 Historie vzniku díla 20

2.1.3 Popis památky 22

2.1.4 Popis restaurovaného úseku 23

2.1.5 Předlohy a analogie díla 24

2.2 Shrnutí všech dosavadních poznatků 28

2.2.1 Shrnutí vstupních restaurátorských průzkumů 28

2.2.2 Vstupní rozšířený sondážní průzkum 29

2.3 Restaurátorský průzkum 32

2.3.1 Vizuální průzkum v denním světle 32

2.3.2 Vizuální průzkum v UVF, UVR a UVRFC 35

2.3.3 Vizuální průzkum technikou RTI 36

2.3.4 Další multispektrální neinvazivní metody 37

2.3.5 Termografie 37

2.3.6 Perkusní průzkum (poklepem) 37

2.3.7 Původní technika díla 38

2.3.8 Originální opravy 39

2.3.9 Měření mikroklimatu 40

2.4 Přírodovědný (chemicko-technologický) průzkum 41

2.4.1 Analýza vodorozpustných solí 41

2.4.2 Rozšířená stratigrafie povrchových úprav 42
2.4.3 Materiálová skladba štuku 42
2.4.4 Materiálová analýza originálních a sekundárních doplňků 43
2.4.5 Materiálová analýza vláken vlasů 44
3 Vyhodnocení průzkumu 45
4 Zkoušky technologií a materiálů 48
4.1 Zkoušky snímání a naměkčování druhotné vápenné vrstvy 48
4.2 Zkoušky konsolidačních prostředků 49
4.3 Zkoušky injektáže 50
4.4 Zkoušky odsolování 51
4.5 Zkoušky materiálů pro plastickou retuš 51
Zkoušky barevné retuše 53
5 Koncepce restaurátorského zásahu 54
6 Postup prací 55
6.1 Snímání sekundárních vrstev 55
6.2 Konsolidace 55
6.3 Konsolidace barevné vrstvy 56
6.4 Zajištění štukové hmoty ochrannými přelepy 56
6.5 Injektáž trhlin a dutin 56
6.6 Lepení uvolněných částí 57
6.7 Dočišťování reziduí 58
6.8 Biocidní ošetření 58
6.9 Čištění a ochrana kovových prvků 58
6.10 Plastická retuš 58
6.11 Barevná retuš 59
6.12 Fotogrammetrie 60
7 Použité materiály a technologie 61
8 Doporučený režim památky 64

9 Seznam použité literatury 65

10 Fotografická dokumentace 68

11 Grafická dokumentace 82

12 Seznam příloh 86

III TEORETICKÁ ČÁST 129

1 Úvod do problematiky 130

1.1 Sádra a její vlastnosti ve vztahu k řešené problematice 132

1.2 Armatury v sádře a jejich koroze 134

1.2.1 Příčiny a prostředí koroze 136

1.2.2 Principy koroze slitin železa 137

1.2.3 Činitelé atmosférické koroze 139

1.2.4 Formy koroze 140

1.2.5 Korozní praskání 141

1.2.6 Korozní únava 141

1.2.7 Projevy poškození koroze kovů na sádrových odlitcích 141

1.3 Způsoby čištění korozních produktů na základě literárních zdrojů 142

1.3.1 Látky s chelatačním účinkem 151

1.4 Preventivní opatření vzniku korozních produktů v sádře 152

1.4.1 Úprava podmínek uložení 152

1.4.2 Opatření v rámci konzervačního zásahu 153

2 Experimentální část 155

2.1 Příprava zkušebních vzorků 155

2.1.1 Příprava sádrových podkladů 155

2.1.2 Vlastnosti sádrových vzorků 156

2.1.3 Depozice vzorků korozními produkty 157

2.2 Výběr a charakteristika čisticích látek 159

2.2.1 Příprava roztoků, nastavení koncentrace a pH z předběžných zkoušek. 160

2.3 Obkladové systémy pro aplikaci chemických látek 164

2.3.1 Předvlhčení před aplikací obkladů s čisticí látkou 168

2.4 Metody hodnocení zkoušek čištění 169

2.4.1 Vizuální subjektivní hodnocení 169
2.4.2 Měření barvového odstínu vzorků před a po čištění 170
2.4.3 Optická a skenovací elektronová mikroskopie 171
2.5 Výsledky a diskuse 171
2.5.1 Vlastnosti sádrového podkladu 171
2.5.2 Vyhodnocení aplikačních podmínek 173
2.5.2.1 Vyhodnocení nosičů čisticích látek 173
2.5.2.2 Předvlhčení před aplikací nosiče s čisticí látkou 176
2.5.2.3 Koncentrace a vliv pH čisticího roztoku na účinek 178
2.5.3 Vyhodnocení čisticích látek 181
3 Ověření čisticích látek a aplikace na reálném objektu 192
3.1 Aplikace a úprava aplikačního postupu čisticích systémů 193
3.2 Zhodnocení výsledků čištění 197
3.3 Použité látky a materiály 198
4 Shrnutí 199
IV ZÁVĚR 201
5 Použitá literatura 202
6 Seznam obrazových příloh 210
7 Seznam tabulek 214
8 Seznam grafů 215

I Úvod

Diplomová práce se skládá ze dvou hlavních částí. Jsou jimi praktická a teoretická část. Praktická část diplomové práce je věnována komplexnímu restaurátorskému zásahu na renesančním, polychromovaném štukovém epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci. Epitaf se nachází na severní stěně (evangelní straně) hlavní lodi a byl vyhotoven kolem roku 1582. Jedná se o velice významné štukové dílo se zachovanou původní polychromií, které se dochovalo ve velmi dobrém stavu. Dokumentace detailně sleduje a zaznamenává celý proces restaurátorského zásahu včetně všech rozhodnutí.

Předmětem restaurování je pravá polovina centrálního motivu epitafu rodiny Jana Hodějovského z Hodějova, kterou tvoří ženské osazenstvo rodiny. Součástí dokumentace je rovněž shrnutí vstupního průzkumu, který byl proveden v roce 2019 a jehož součástí byl umělecko-historický, restaurátorský a přírodovědný (chemicko-technologický) průzkum. V průběhu restaurování byl tento průzkum doplněn a rozšířen.

Teoretická část diplomové práce se zaměřuje na možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových plastik. Nejprve popisuje nashromážděné poznatky o způsobech čištění korozních produktů a následně postup při výběru jednotlivých čisticích látek. Práce následně dokumentuje vývoj celého experimentu od příprav vzorků přes průběh testování až k vyhodnocení výsledků. Hodnocení se zaměřuje především na míru čištění a změny s tím spojené (především barevné). Výsledky pak byly ověřeny na reálném objektu, který se potýkal se znečištěním od korozních produktů.

II PRAKTICKÁ ČÁST

Restaurování části renesančního štukového epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci

Obr. 1 Stav epitafu před zahájením průzkumu a následně restaurátorského zásahu s vymezením restaurovaného úseku
(autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS., 2018)

1 Základní údaje o památce

1.1 Lokalizace památky

Kraj:	Jihočeský
Okres:	Jindřichův Hradec
Město:	Český Rudolec
Adresa:	Kostel Narození sv. Jana Křtitele, 378, 83, Český Rudolec
GPS souřadnice:	49°4'5.885"N, 15°19'29.488"E
Název díla a část objektu:	Epitaf Hodějovských z Hodějova v kostele na severní stěně v lodi narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci

1.2 Údaje o objektu

Název objektu:	Kostel Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci
Klasifikace památky:	Kulturní památka
Rejstříkové číslo objektu v ÚSKP:	25352/3–1796
Sloh/datace:	Raně gotická kaple sv. Barbory Pozdně gotická přestavba kostela
Předchozí známé průzkumy a zásahy:	1988 sondážní průzkum a restaurování. fresek v kapli sv. Barbory 2008–2011 odvětrání kostela 2013 průzkum interiérových omítek
Bližší určení místa popisem:	Kostel se nachází v centru obce Český Rudolec

1.3 Údaje o díle

Název památky:	Epitaf Jana Hodějovského z Hodějova
Umístění:	vnitřní severní stěna kostela
Předmět restaurování:	Pohledově pravá část centrálního motivu, kterou tvoří ženské postavy
Autor:	Neznámý
Sloh/datace:	Renesance, 1582
Materiál/technika:	Vápenný štuk = figurální výjevy Žula = architektonické prvky
Rozměry epitafu:	Výška 6,2 m × šířka 2,8 m
Rozměry restaurovaného úseku:	Výška 2,3 m × šířka 1,2 m
Předchozí známé zásahy na díle:	Opakované přetírání vápennými nátěry
Předchozí známé restaurátorské zásahy:	Vstupní restaurátorský průzkum, koncepce restaurátorského zásahu 2019 Rozšířený sondážní průzkum a restaurátorský záměr 2019

1.4 Údaje o akci

Vlastník památky:	Římskokatolická farnost Český Rudolec
Památkový dohled:	PhDr. Roman Lavička, Ph.D. MgA. Lucie Bartůňková MgA. Zdeněk Kovářík Mgr. Zdeňka Míchalová, Ph.D.
Návrh na restaurování:	12. 2. 2019, MgA. Zdeněk Kovářík
Závazné stanovisko:	MÚ Dačice, čj. OKC/4046-19, čj. NPÚ-331/15036/2019 spis. zn. 2631-2005/URBP platné od 22. 3. 2019
Zhotovitel:	Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, Jiráskova 3, 57001 Litomyšl

Epitaf restaurovali:	Studenti Fakulty restaurování UPa:
	BcA. Kateřina Šibravová
	BcA. Radka Zůfalá, DiS.
	BcA. Marián Grančák
	BcA. Romana Čivrná
	BcA. Stella Burkhardtová
Pedagogické vedení:	doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
	MgA. Lucie Bartůňková, Ph.D.
	MgA. Petra Zítková
Konzultanti KCHT:	Ing. Renata Tišlová, Ph.D.
	Ing. Alena Hurtová
Konzultanti KHV:	Mgr. Vladislava Říhová, Ph.D.
	Mgr. Jiří Kaše
Termín započetí a ukončení prací:	Červen 2019–červenec 2021

1.5 Údaje o dokumentaci

Autor dokumentace:	Kateřina Šibravová
Autor fotografií:	Kateřina Šibravová
Použitá snímací technika:	Canon PoverShot G3X
Počet stran textu dokumentace:	62
Počet vyobrazení ve fotografické a grafické dokumentaci:	59
Místo uložení dokumentu:	UPCE

2 Průzkum díla

2.1 Umělecko-historický průzkum

Umělecko-historický průzkum vychází z podrobného vstupního restaurátorského průzkumu z roku 2019[1], v němž Mgr. Zdeňka Míchalová, Ph.D., poskytla podrobný popis díla i objektu a rozebrala jejich historii a analogie.

2.1.1 Souhrnný popis a historie kostela

Existence farního kostela sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci se dokládá již od roku 1343.[2] Patrně z této doby je zachována dnešní kaple sv. Barbory, která je raně gotická. V druhé polovině 15. století (1450–1480) došlo k pozdně gotické přestavbě kostela.[3] Průčelí kostela tvoří hranolová věž, která dnes slouží jako vstupní předsíň kostela. Střešní krytinou je šindel.

Jedná se o dvoulodní obdélníkový kostel zakončený pětibokým presbytářem, který je zaklenutý hvězdicovou žebrovou klenbou. Dvoulodí je zaklenuto třemi dvojicemi polí křížové klenby, které podpírají dva osmiboké pilíře spolu s opěráky. Na jižní straně v presbytáři je ve stěně umístěna dvoudílná sedile s dvěma trojlistými lípanými kružbami. Dále je na jižní straně u presbytáře přistavena barokní plochostropá oratoř spojená segmentovým oknem s prostorem kostela. Kolem okna je dekorativní štuková výzdoba a nad jeho vrcholem je vyobrazen znak vlastníků panství, jenž je tvořen erby tehdejších majitelů panství (Jana Leopolda Donáta Trautsohna z Falkensteinu a Marie Terezie z Wiessenwolfu).[4] Na severní straně presbytáře je již zmíněná kaple sv. Barbory s dochovanými nástěnnými malbami zřejmě z druhé poloviny 14. století. Malby zjevně z druhé poloviny 15. století se nacházejí rovněž v presbytáři. Ve dvoulodí na severní straně se nachází renesanční epitaf rodiny Hodějovských z Hodějova. Právě za stěnou epitafu je přistavená místnost, která dnes slouží jako skladiště. Vchod do krypty je v této místnosti, kde jsou uloženy kosterní pozůstatky ze zrušeného hřbitova. V jihozápadním sektoru je točené kamenné schodiště vedoucí na kruchtu.

[1] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – KOVÁŘÍK 2019
[2] NEKUDA 1977, s. 555.
[3] TIRAY 1926, s. 206.
[4] POCHE 1977, s. 229.

Předlohou pro výstavbu kostela byl pravděpodobně kostel sv. Jakuba v Telči. Rudolecký kostel tvoří spolu s kostely v Lidéřovicích, v Cizkrajově a Kostelem Božího těla ve Slavonicích skupinu dvojlodních chrámů, které mají mnoho společných prvků. K jižní straně presbytáře byla v první polovině 18. století přistavená oratoř. Dnešní sakristie byla přistavena k jižní straně lodi v roce 1856.[5]

Vzácností je také kamenná gotická křtitelnice s letopočtem 1488. Nalezena byla během některých z oprav kostela pod kamennou dlažbou. Důvodem ukrytí byla pravděpodobně náboženské netolerance.[6]

Po celém kostele je v podlaze umístěno několik žulových náhrobků, velmi významné jsou například náhrobek Kateřiny ze Sedlce z roku 1470, náhrobek Václava z Maříže z roku 1480 nebo také Václava Hodického z Hodic z roku 1599. Avšak nejvýznamnějším je epitaf rodiny Hodějovských z Hodějova, který pochází z roku 1582.

Kolem roku 1756 byla provedena blíže neznámá oprava kostela.[7] Z novějších oprav můžeme zmínit především odvětrání základového a soklového zdiva kostela, které proběhlo v letech 2008–2011. Posledním zásahem bylo malování interiéru kostela v roce 2013.

2.1.2 Historie vzniku díla[8]

Vznik epitafu popisuje ve dvou sloupcích samotná nápisová deska umístěná v jeho soklové části. Náhrobek dal vyhotovit Jan (VII) Hodějovský z Hodějova v roce 1582 na památku své zesnulé manželky Rosiny z Vartemberka. Epitaf má být také vzpomínkou na jeho rodiče Arkleba Hodějovského z Hodějova a Johanku z Osečan i jeho budoucí potomky.

Transliterace nápisu:

„Letha 1582. Tento pohrzeb dal gt udielati urozeny pan Jan ho / diegowsky z hodiegowa a na Markwartcy Mustrher a Colmistr Mark / Mor. w kralo uherske. Na pamat. do / bre pamie pa Arkleba z Ho diegowa / pana Otce sveo a pany Johanky Ho / degowske z Wosecan pa Materze swe // Tez pa Eufrozyne z Wartenberka / manzelky swe kteraz usnula w pa / leta too 1582 v podiely před hromnice / wtoto mistie Tiela jichz odpociwagi / tudiz pan Jan z hodego sobe ypotok.u / swy kdyby kere pa Buh pola racil ab / tu tiela gegich w pao Bohu ospociw aly.“

[5] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – KOVÁŘÍK 2019
[6] MĚRTLOVÁ 2009, s. 70.
[7] HANUŠ 1994, s. 26.
[8] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – TIŠLOVÁ – KOVÁŘÍK 2020, s. 67–82.

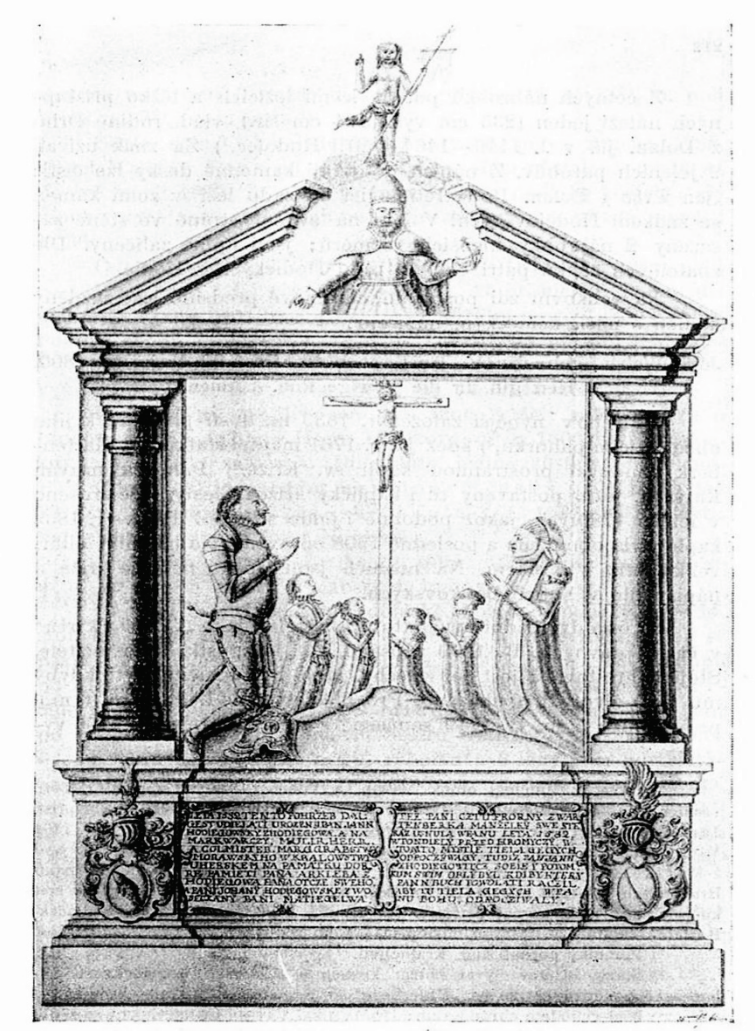
Transkripce nápisu

„Léta 1582 tento pohřeb dal jest udělati urozený pán Jan Hodějovský z Hodějova a na Markvarci, mustrher a colmistr Markrabství moravského a království Uherského. Na památku dobré paměti pana Arkleba z Hodějova, otce svého, a paní Johanky Hodějovské z Osečan, mateře své. Též paní Eufrozině z Vartenberka, manželky své, kteráž usnula v pánu léta toho 1582 v pondělí před Hromnicemi. V tomto místě těla jejich odpočívají, tudíž pan Jan Hodějovský sobě i potomkům svým, kdyby které pán Bůh povolati ráčil, aby tu těla jejich v pánu Bohu odpočívaly.“

Jedinou historickou obrazovou dokumentací epitafu je reprodukce kresby uložená v moravském zemském archivu, která je rovněž použita v knize Vlastivědy moravské[9] (viz obr. 2), kde byla v druhém díle publikována zmínka spolu s jeho podobou. Údajně se mělo jednat o dílo ze sádry.

Jak je vidět, kresba je značně idealizovaná, zcela chybí andělé po stranách tympanonu. Vrchol tympanonu, na kterém stojí vzkříšený Kristus, je rovněž upravený a nesouhlasí s reálnou podobou díla. Na tuto kresbu lze tedy pohlížet pouze jako na autorův ideál spíše než jako na záznam, který by nám přinesl nějaké vypovídající informace o tehdejším stavu díla.

[9] TIRAY 1926, s. 211.



Obr. 2 Idealizovaná grafika epitafu Jana Hodějovského z Hodějova v kostele sv. Křtitele

2.1.3 Popis památky

Renesanční epitaf je očividně vytvořen po vzoru římské edikuly, jelikož je stejně tak členěn do tří partií – spodní soklové části, centrálního výjevu a tympanonu.

Dolní soklová část je složena ze zděného (konstrukčního) segmentu, na který navazuje kamenný (dekorativní) úsek. Po stranách kamenného soklu jsou zasazeny zdvojené pilastry, které lemují ústřední, taktéž kamennou nápisovou desku. Na pilastrech jsou v kartuši vyobrazeny rodové erby, pohledově vlevo je vyobrazen kapr, který je rodovým erbem Jana Hodějovského z Hodějova. Naopak vpravo je na pilastru vyobrazen půlený erb, který patří jeho manželce Rosině z Vartemberka. Kamenná nápisová deska je orámována dekorativními zavilými volutami, provedenými v nízkém reliéfu.

Centrální část je po stranách lemována zdvojenými polosloupy – jedním plochým a jedním vypouklým, jež jsou společně zakončené jednoduchou profilovanou patkou

a hlavicí. Plocha ústředního motivu je mírně zapuštěná, a tím je toto pole plasticky výraznější. Figurální výjev je naopak reliéfně vystouplý a vyobrazuje rodinu Jana Hodějovského z Hodějova klečící na úpatí pahorku při modlitbě k ukřižovanému Ježíši Kristu. Ústřední motiv je pomyslně dělen na dvě poloviny – na tzv. mužskou a ženskou část. Dělicí rovinu tvoří po celé výšce kříž s ukřižovaným Kristem, ke kterému se celá rodina modlí. Mužská část pohledově zleva doprava sestává z otce Jana, staršího syna Oldřicha a mladšího syna Tomáše Dětřicha. Ženskou část zprava doleva tvoří matka Rosina z Vartemberka, starší a mladší dcera. Z dohledaných literárních pramenů nám je známa jen dcera Anna, jméno druhé dcery je neznámé. Jan Hodějovský je jako jediný oděn ve zbroji, zatímco chlapci na sobě mají dobovou košili s okružím, kalhoty a dlouhý kabátec. Matka s dcerami jsou oblečeny do dlouhých šatů s vertikálním řasením a rukávci zdobenými perlami. Nad centrálním motivem je profilované kladí.

Tympanonu vévodí postava žehnajícího Boha Otce. Po stranách jsou dva andělé, kteří vzhlížejí k vítěznému Ježíši Kristu, který je na vrcholu tympanonu.

2.1.4 Popis restaurovaného úseku

Předmětem restaurování je pohledově pravá část centrálního motivu, kterou tvoří klečící ženy zachycené v modlícím se gestu k ukřižovanému Ježíši Kristu, který se nachází na vrcholu stupňovitého pahorku a tvoří tak pomyslný střed celého motivu. Tuto ženskou linii tvoří matka Rosina a dvě malé dcery, jež jsou seřazené podle výšky na stupňovitém pahorku (= od nejmenší a asi nejmladší dcery po nejvyšší matku).

Po odstranění druhotných nátěrů byla odhalena vysoce kvalitní a detailní modelace spolu s celoplošně bohatou polychromií. Matka Rosina s dcerami mají na sobě totožné dlouhé dobové splývající šaty s pravidelným řasením, perlami zdobené balonové rukávy a dekorativně zakončené rukávy s řasenými volány spodní košile. Dívky mají decentní jemně nařasené okruží kolem krku, kdežto matka má pouze hladkou bílou roušku. Vlasy mají dívky stažené z obličeje a učesané v týlu hlavy do stočeného copu, zatímco matka, coby vdaná žena, má vlasy stažené pod síťkovaným čepcem, ke kterému má v oblasti uší upevněné dlouhé bílé fáchy (znak smutečního oděvu). Rozhraní mezi čelem a vlasy dívek tvoří perlový diadém (čelenka) zabíhající do účesu.

Na téměř celém epitafu je dochovaná původní barevná úprava, jež měla patrně technikou mramorování imitovat drahé kameny (například onyx či alabastr), které v té době byly málo dostupné a velmi drahé. Tváře a ruce jsou pojednány v inkarnátu. U oděvu převládá černá

barevnost, místy se však vyskytují světle okrové až červeně amorfní struktury podobající se kresbě kamene. Pouze postava Jana Hodějovského je vyobrazena ve světle šedé zbroji. Pozadí je velice pestré a barvy se zde různě prolínají.

Zajímavé je rozdělení mužské a ženské části v barevném pojednání oděvu. Zatímco na oděvu žen převládá černo-okrové zbarvení a velmi ojediněle se vyskytuje červená, oděv chlapců je tvořen převážně černo-červenou barvou a velmi sporadicky okrovým mramorováním. Způsob rozdělení mužské a ženské části je také viditelný na pahorku, v jeho středové ose je ostrý kontrastní barevný přechod.

2.1.5 Předlohy a analogie díla

Renesanční epitaf rodiny Hodějovských je vyhotoven podle často užívaného schématu sepulkrálních památek, rodina je v centrálním motivu rozdělena na mužskou a ženskou část. Celá rodina je vyobrazena v pokleku s modlícím se gestem k centrálnímu krucifixu, což je také velice často užívané schéma.[10]

Ačkoliv je epitaf rodiny Hodějovských vyhotoven podle obvyklých kompozic, přesto představuje výjimečné dílo z hlediska kombinace materiálů. Kamennou edikulu tvoří žula a figurální výjevy jsou vyhotoveny v jemném modelačním štuku. V renesanci byly epitafy vyhotoveny většinou ze dřeva, kamene či plechu a následně omalovány. Použití štukového materiálu je tedy ojedinělé, jen v některých případech je kamenný epitaf doplněn o štukové prvky, jako je například supraporta epitafu Václava Morkovského ze Zástřizl a Kunky z Korotína v kostele sv. Jakuba v Boskovicích (viz obr. 3).[11]

Podobné schéma epitafu, ale odlišného materiálu, má několik málo srovnatelných objektů ze stejné doby. Jedná se například o epitaf Jiřího mladšího Popela z Lobkovic datovaný kolem roku 1590 a umístěný v katedrále sv. Víta v Praze, který je vyhotoven z mramoru (viz obr. 4).

V kostele sv. Václava ve Valtířově je několik epitafů, které jsou svým vyobrazením podobné epitafu Jana Hodějovského v Českém Rudolci. Výrazná podobnost je patrná u epitafu rodiny Bocků z polychromovaného pískovce z roku 1615, a to především svým schématem centrálního motivu, kde šest členů rodiny Bocků rozdělených na mužskou a ženskou část je vyobrazeno v klečícím a modlícím se gestu k ukřižovanému Kristu.

[10] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – KOVÁŘÍK 2019
[11] ODEHNALOVÁ 2007, s. 47–62.

Dalším náhrobkem, který je obdobný, je renesanční epitaf Jana Jindřicha Salhausena z roku 1588.[12]

V kostele sv. Gotharda v Brozanech nad Ohří se nacházejí dva pískovcové epitafy Zikmunda Brozanského z Vřesovic a jeho dvou žen, Markéty Smiřické ze Smiřic a Lidmily Myškové ze Žlunic, datováno před rokem 1598.[13]

Epitaf Georga Thallera z roku 1572, který se od roku 1940 nachází pod varhanním kůrem v kostele sv. Mořice v Olomouci, je svou koncepcí rovněž velice blízký epitafu Hodějovských v Českém Rudolci. Toto dílo je obohaceno o reliéf pod centrálním výjevem vyobrazující poslední večeři a nápisové desky jsou umístěny do pozadí po obou stranách ukřižovaného Krista.[14]

Hlavní analogií pro sochařskou modelaci nacházíme v nedaleké kapli Všech svatých a sousoší Adama a Evy na nádvoří zámku v Telči. Dokonce je podložen písemný a vzájemný kontakt mezi Zachariášem z Hradce a Janem Hodějovským z Hodějova. Mezi kaplí Všech svatých, sousoším Adama a rudoleckým epitafem je možné pozorovat zřetelnou podobnost sochařského projevu. Paralela modelace byla pozorována na mnoha místech; především se jednalo o detaily andělů, vzkříšeného Krista nebo podobiznu Jana Hodějovského.[15] Některé příklady dokumentují obrázky 6–11.

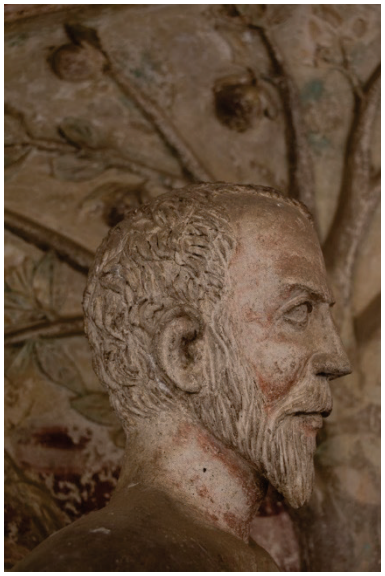
[12] JAKUBEC 2015, s. 36–49.
[13] Ibidem, s. 141, 184.
[14] JAKUBEC 2007
[15] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – TIŠLOVÁ – KOVÁŘÍK 2020, s. 67–82.

Obr. 3 Epitaf Václava Morkovského ze Zástřizl a Kunky z Korotína v kostele sv. Jakuba v Boskovicích, autor fotografie Vojtěch Krajíček, DiS.

Obr. 4 Epitaf Popela mladšího z Lobkovic, kolem roku 1590 v katedrále sv. Víta v Praze

Obr. 5 Epitafy Zikmunda Brozanského z Vřesovic a jeho dvou žen, Markéty Smiřické ze Smiřic a Lidmily Myškové ze Žlunic, v kostele sv. Gotharda v Brozanech nad Ohří, před rokem 1598 (foto z knihy „Kde jest, ó smrti, osten tvůj?“)

Obr. 6 Detail výjevu, kaple Všech svatých v Telči



Obr. 7 Detail sochy Adama, nádvoří zámku v Telči

Obr. 8 Detail podobizny Jana Hodějovského

Obr. 9 Detail anděla, kaple Všech svatých v Telči

Obr. 10 Detail (pohledově) levého anděla v Českém Rudolci

Obr. 11 Detail hlavy (pohledově) levého anděla

2.2 Shrnutí všech dosavadních poznatků

2.2.1 Shrnutí vstupních restaurátorských průzkumů

V samotném kostele bylo v minulosti provedeno několik restaurátorských zásahů a průzkumů, nicméně žádný z nich se netýkal samotného epitafu. Až v říjnu roku 2018 byl započat vstupní restaurátorský průzkum, který probíhal do února roku 2019[16], se zaměřením jak na neinvazivní, tak na invazivní formy zkoumání. Cílem bylo poznat celkový stav památky a identifikovat stratigrafii povrchových vrstev a jejich složení.

Vizuální průzkum byl v tomto případě značně znesnadněn mnohonásobnými a poměrně silnými vrstvami nátěrů přes originální povrch epitafu. Tato souvrství lokálně tvoří až jeden centimetr silnou vrstvu, která zaslepuje jemnou, ale i vyšší modelaci, a epitaf se tak stává nečitelným. Viditelné je jen architektonické členění, obrysy postav a jejich gesta. Nebylo tedy možné blíže pozorovat a definovat poškození. Pouze nápisová deska byla odhalena a čitelná.

Sondážním průzkumem byla odhalena původní technika, zejména to, jak byl epitaf vyhotoven. Ze sondy u levého žulového pilíře je patrné probourání zdiva a vsazení žulové architektury do zdi a následné dozdění. Souběžně se sondážním průzkumem byl proveden chemicko-technologický průzkum, kterým bylo určeno materiálové složení jak barevných vrstev, tak i samotného štuku. Modelace tvořená štukem byla nanášena patrně ve více vrstvách, od jádrové omítky s hrubší frakcí plniva až po jemnou modelační vrstvu s jemnou frakcí a pojenou středně dolomitickým vápnem. Dalšími sondami byla potvrzena renesanční barevnost na různých místech epitafu. Cílem bylo zmapování souslednosti jak druhotných barevných nátěrů, tak i originální polychromie. Stratigrafické sondy odhalily velké množství nejčastěji bílých, šedých a okrových monochromních nátěrů, a proto byly další sondy provedeny přímo na originální vrstvu. Celkem bylo na epitafu provedeno sedmnáct sond, z toho deset na centrálním motivu. Odebraným vzorkem na inkarnátu starší dcery bylo potvrzeno, že technika barevné úpravy je fresco-secco. V první vrstvě, tedy v technice fresco, byla nanášena základní barevnost podkladu a v druhé vrstvě secco byla nanášena lazurní vrstva stínů, která dotvářela modelaci.[17]

Speciální dokumentační techniky UVF, UVR a UVRFC napomohly v místě sond odhalit díky různým fluorescencím přibližné určení použitých materiálů. Ultrafialová fluorescenční

[16] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – KOVÁŘÍK 2019
[17] TIŠLOVÁ – HURTOVÁ 2019

fotografie (UVF) odhalila na povrchu modrou fluorescenci, pravděpodobně pocházející z nátěru, a další světle modrou až bílou fluorescenci nacházející se jak v sekundárních vrstvách, tak i na originálním povrchu. Místy se na původní originální vrstvě vyskytuje intenzivně žlutá fluorescence, která je patrně organického původu. Tato vrstva mohla sloužit jako separace před nanesením sekundárních nátěrů. Ultrafialová reflektografie (UVR) a ultrafialová reflektografie ve falešných barvách (UVRFC) prokázaly, že se na povrchu nenachází zinková ani titanová běloba (mohou se však vyskytovat ve vrstvách, které jsou překryté dalšími vrstvami). Tím vyvracejí teorii, že světle modrá až žlutá fluorescence není zinková běloba. Dokumentační metody využívající infračervené záření IRR a IRRFC fotografie v komparaci s chemicko-technologickým průzkumem odhalily přítomnost červeného a žlutého okru.

Obsah vodorozpustných solí dosahuje poměrně nízkých hodnot. Pouze dusičnany zde byly naměřeny ve středně zvýšeném množství. Vlhkost v místě, kde reliéf a obvodové zdivo nejsou úplně v kontaktu, se pohybuje v relativně nízkých hodnotách a nepřesahuje 2 hm. %. Nejvyšší hodnota zavlhčení byla naměřena v 50 cm nad podlahou, kde dosahuje téměř 10 hm. %.[18]

2.2.2 Vstupní rozšířený sondážní průzkum

Na základě provedeného vstupního restaurátorského průzkumu byl proveden doplňující rozšířený sondážní průzkum, který zčásti potvrzuje vyvozené výsledky. Vzhledem k lepší orientaci v barevných vrstvách byly již existující sondy rozšířeny. Pro zjištění originální barevné souslednosti bylo vyhotoveno několik nových sond, vytvořených převážně na originální renesanční povrch.

Architektonické žulové členění je opatřeno červenou povrchovou úpravou, která lokálně (v tympanonu) imituje mramorování. Červená vrstva architektonických článků se střídá s přírodním vzhledem žuly. Červená vrstva je velice citlivá na otěr a místy je zpráškovatělá. Mramorová imitace se rovněž projevuje na centrálním motivu. Šaty jsou ve větší míře černé, ojediněle se objevuje červené až okrové žilkování. Na pozadí centrálního výjevu se imitace mramorování projevuje v kombinaci červené, oranžové, šedé a černé barvy. Tato originální renesanční povrchová úprava má velice zachovalou a stabilní adhezi k podkladu.

[18] TIŠLOVÁ – HURTOVÁ 2019

Při sondážním průzkumu byl u starší dívky pod rukávcem detekován druhotný tmel, který má světle okrovou barvu a není nijak povrchově upraven. Podle stratigrafie bylo místo doplněno před nanesením sekundárních nátěrů, jelikož se na doplňku nachází stejné barevné úpravy jako na originálním povrchu.

Sekundární vrstvy nacházející se na originálním renesančním povrchu jsou pouze monochromního charakteru. Pořadí jednotlivých vrstev bylo definováno jak na štukové modelaci, tak i na žulové architektuře (viz tab. 1). První dochovaná sekundární barevná vrstva na renesančním povrchu je tmavě šedá, použitá na pozadí centrálního motivu, zatímco figury jsou opatřeny světle šedým nátěrem. Jedná se o vápennou vrstvu, která má místy velice silnou adhezi k původnímu originálnímu podkladu. Podle vstupního restaurátorského průzkumu tato druhotná vrstva navazuje na cihlově červenou, která je na žulové architektuře. Avšak rozšířený sondážní průzkum tuto informaci vyvrátil a prokázal, že na šedou vrstvu navazuje hnědo-okrová barva na žulové architektuře. Uvedenou cihlovou červení je pravděpodobně myšlena mladší druhotná vrstva (č. 4 v tab. 1). Na štukové modelaci bylo nalezeno přibližně 10–13 sekundárních vápenných a hlinkových nátěrů pojednaných v bílé, modrošedé, šedé a světle hnědé barvě. Na architektonickém členění bylo nalezeno o něco méně úprav, přibližně 12 sekundárních vápenných a hlinkových vrstev v červené, okrové, tmavě červené, bílé a modrošedé barevnosti. Přesné pořadí a popis jednotlivých vrstev je uveden v tabulce č. 1. Podle provedených sond jsou nátěry synchronní s výmalbou kostela.

Tab. 1 Stratigrafie barevných vrstev

<table>
<tr><th colspan="3">STRATIGRAFIE BAREVNÝCH VRSTEV</th></tr>
<tr><th>Číslo vrstvy</th><th>Štukové výjevy
Popis vrstvy</th><th>Žulová architektura
Popis vrstvy</th></tr>
<tr><td>0</td><td>Štuk</td><td>Žula</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">Renesanční polychromie</td><td>Renesanční – červená</td></tr>
<tr><td>Přírodní žula</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>Tmavě šedý (figury)</td><td rowspan="2">Světlý okrový nátěr
(zřejmě hlinkový)</td></tr>
<tr><td>Světle šedý vápenný nátěr (pozadí)</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Šedookrový nátěr, plněný, vápenný</td><td>Tmavý okrový nátěr (hlinkový)</td></tr>
<tr><td>4</td><td rowspan="5">Souvrství bílých vápenných
a hlinkových nátěrů (velmi tenké)</td><td>Cihlově růžovočervený nátěr
(hlinkový)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>Tmavě červený nátěr (hlinkový?)</td></tr>
<tr><td>6</td><td rowspan="3">Souvrství bílých vápenných
nátěrů (cca 2–3 velmi tenké vrstvy)</td></tr>
<tr><td>7</td></tr>
<tr><td>8</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Modrošedý vápenný nátěr
(zřetelně plněný, středně silný)</td><td>Modrošedý vápenný nátěr
(patrně plněný, středně silný)</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Světle šedohnědý vápenný nátěr
(tenký)</td><td rowspan="2">Souvrství bílých vápenných
nátěrů (velmi tenké)</td></tr>
<tr><td>11</td><td rowspan="3">Souvrství bílých vápenných nátěrů</td></tr>
<tr><td>12</td></tr>
<tr><td>13</td><td>X</td></tr>
</table>

2.3 Restaurátorský průzkum

Restaurátorský průzkum si kladl za cíl zdokumentovat současný stav díla, zjistit příčiny poškození a následně vyhodnotit výsledky, na základě kterých bude stanovena koncepce restaurování. Průzkum vychází ze vstupního restaurátorského průzkumu provedeného v roce 2019 a zároveň na něj navazuje.[19]

Vzhledem k tomu, že epitaf byl celoplošně masivně pokryt druhotnými nátěry, které výrazně zaslepovaly modelaci, nebylo možné více popsat a vyhodnotit jeho stav. Lokálně se jednalo o vrstvu silnou až jeden centimetr, přes kterou bylo možné pozorovat jen několik málo defektů. Jednalo se například o předloktí nejmladší dcery, kde byla patrná chybějící modelace, nebo zcela odlomené prsty Jana Hodějovského. V horní části epitafu bylo možné rovněž pozorovat pouze ztrátu modelace prstů a dlaní andělů a deformovanou ruku vítězného Krista.

Kvůli vyhodnocení celkového stavu byly následující průzkumy provedeny po komplexním odkryvu všech sekundárních vrstev.

2.3.1 Vizuální průzkum v denním světle

Poté, co byly druhotné nátěry sejmuty, došlo ke zviditelnění většího množství defektů na štukové výzdobě. Významné jsou trhliny v pozadí centrálního motivu, které jsou ve větší míře na ženské polovině. Lokálně jsou zde vypouklá, na poklep dutá místa, která byla narušena a došlo k odpadnutí štukové hmoty. Místy se vyskytuje ztráta barevné povrchové úpravy, ke které došlo částečně již v minulosti.

Nejvýraznější ztráta plasticity je patrná na pahorku, na kterém rodina klečí. Zde došlo ke ztrátě obou vrstev štuku (modelační i jádrové malty) a je zde viditelná výstavba vyzdívky z cihel. Další výrazná ztráta tvarosloví je na pažích obou dcer a lokti matky, kde došlo ke ztrátě modelační vrstvy. Rovněž na šatech všech žen je výrazná ztráta plastické hmoty štuku na řasení. O něco menší defekty jsou pak na ploše pozadí, kříži ukřižovaného Krista, prstech na rukou modlících se žen, na několika místech chybí perly na šatech a čelenkách. Obdobný rozsah poškození je i na mužské části; jde o výraznější poškození v podobě chybějících dlaní nejmladšího chlapce, odlomené prsty Jana Hodějovského nebo nosy obou chlapců. Mnoho drobných defektů je zde taktéž na oděvech, výrazné je poškození kolem nohy Jana

[19] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – KOVÁŘÍK 2019

Hodějovského, kde zřejmě v minulosti docházelo k poškození vlivem spolupůsobení vlhkosti a vodorozpustných solí.

Obr. 12 Detail sekundárních tmelů na šatech dívek

Během odkryvu bylo odhaleno několik druhů sekundárních tmelů, které se liší svým vzhledem i složením (viz obr. 12). Doplňky pravděpodobně na bázi sádry a vápna se vyskytují zejména na šatech dívek, paži starší dcery a matčině konci šálu. Tmely místy překrývají originální povrch až o pár centimetrů. Prokazují se jemnou strukturou, světlé bíložluté barvy (bez povrchové úpravy) a poměrně špatnou adhezí k podkladu (někde dokonce odpadávají – například na paži starší dcery). Odlišný druh tmelu byl nalezen na žulové architektuře, svým složením je hrubší a vysoce podobný originální spárovací maltě. Tyto doplňky budou očividně originální od autorů epitafu, kdy při zpracování žuly nebo následně při transportu již hotových prvků došlo k odlomení hran. Tmely jsou tvarově, ale především barevně sjednoceny zřejmě stejnou povrchovou polychromií jako originální dílo.

Napodobení mramorování se projevuje zejména na architektuře, pozadí centrálního motivu a oděvu rodiny vyjma Jana Hodějovského, který je zobrazen ve zbroji.

Zajímavým úkazem jsou výrazné a nesystematické tahy nějakého úzkého nástroje v pozadí centrálního výjevu, jež vznikly evidentně při hlazení finální štukové vrstvy. Během vysychání štukové hmoty docházelo k tvorbě trhlin a tímto nástrojem byly drobné trhliny zatlačovány. V kombinaci s polychromií, která je v těchto mírně prohloubených stopách výraznější, vypadají tahy spíše jako nezdařilé imitování mramoru.

Pozoruhodným jevem tohoto epitafu jsou vlasy ukřižovaného a vítězného Krista, které jsou patrně z koudele. V případě ukřižovaného Krista se jedná o šedohnědou koudel, kdežto u vítězného Krista se jedná o kombinaci koudele šedohnědé s bílou. Na bílých vláknech se nacházejí zbytky štuku s lokálně dochovanou polychromií.

Přehled poškození

Obr. 13 Rezidua sekundárních vrstev společně s defekty v pozadí

Obr. 14 Odlomená modelace prstů s vyčnívajícími armaturami

Obr. 15 Ztráta veškeré modelace na pahorku s viditelnou cihlovou výstavbou

2.3.2 Vizuální průzkum v UVF, UVR a UVRFC

Průzkum byl realizován s cílem mapovat různé materiály, úpravy povrchu, sekundární doplňky, biologické napadení a případně jiné fenomény na základě jejich odlišné a zároveň charakteristické UV fluorescence. Pro úspěšnou charakteristiku jednotlivých luminiscencí byly výsledky komparovány s výsledky chemické analýzy pojiv.

Metodou ultrafialové fluorescenční fotografie (UVF) byl objekt nasvícen dvěma UV světly UVAHAND 250 Blacklight (Dr.Hönle) a UVA SPOT 400 T (Dr.Hönle). Během fotodokumentování byly na objektivu nasazeny dvě soustavy filtrů – XniteCC167:XNite Color Correction #1 Filter a Tiffen UV 2E Pale Yellow. Snímky byly pořízeny fotoaparátem Canon EF 50 mm F/1,8 STM. Výsledné snímky pak byly kalibrovány podle tabulky Target-UV[IM].

Jako první je dobře viditelné rozhraní použití vápenného štuku, vyzrálé vápno je charakteristické svou bílou až modrou fluorescencí. Žlutá až bílá fluorescence je typická pro proteinová pojiva (kolagenní proteiny nebo kasein). V závislosti na převažujícím proteinu (kaseinu nebo kolagenu) se mění výsledná fluorescence (viditelné spíše v horních partiích epitafu). Tmavé černé stopy jsou zase příznačné pro železité pigmenty. Na spodní žulové římse se lokálně vyskytovaly stopy oranžové fluorescence, jež jsou charakteristické pro šelak. Nelze však definovat jejich původ. V oblasti nápisové desky se vyskytuje tmavě hnědá až černá fluorescence typická pro pryskyřice. Vzhledem k tomu, že sole mají téměř shodnou fluorescenci jako vyzrálé vápno, nebylo možné zcela jasně jejich přítomnost touto technikou průzkumu mapovat. Nebylo zřetelné ani rozhraní nebo koncentrované linie související s kumulací solí. Dále se již nenacházela žádná výrazná fluorescence, která by byla svou luminiscencí typická pro další druh pojiva nebo pigmentu a měla tak nějakou vypovídající hodnotu.

Obr. 16 UV fotografie – detail centrální části v průběhu odkryvu

2.3.3 Vizuální průzkum technikou RTI

Technika RTI (Reflectance Transformation Imaging) neboli technika výpočetního fotografování spočívá v sekvenčním statickém digitálním fotografování objektu. Fotoaparát je umístěn v jednom neměnném bodě v ideální vzdálenosti, která je tvořena trojnásobnou délkou objektu, zatímco je dílo nasvěcováno z různých stran a úhlů. V bezprostřední blízkosti díla je umístěna lesklá koule, díky které je možné identifikovat pozici světla pro každý jednotlivý snímek. Ze sekvenčních snímků je poté možné pozorovat úkazy, které se odhalují během interakce světla s povrchem díla. Pomocí softwaru (RTI Viewer) je možné pořízené snímky prohlížet a různě filtrovat, díky čemuž lze například zvýšit kontrast v hloubkách reliéfu. Během snímkování epitafu Jana Hodějovského z Hodějova byla použita digitální zrcadlovka Canon EOS 70D, světelný zdroj LED světla a černá reflexní koule umístěná na snímkované ploše.

Cílem této techniky průzkumu bylo především detailní zkoumání povrchu a jeho zpracování jak na figurách, tak i pozadí, které již na první pohled vykazuje místy odlišný charakter. Touto technikou bylo možné trasovat stopy použitých nástrojů, kterými byl kletován a uhlazován povrch štuku. Touto technikou bylo možné pozorovat rozhraní mezi lazurní a krycí barevnou vrstvou a potvrdit tak pravost originálních oprav.

Obr. 17 Fotografie upravené v programu RTI Viewer – se změnou působení světla

2.3.4 Další multispektrální neinvazivní metody

V rámci průzkumu byly použity i další techniky, jako jsou infračervená reflektografie (IRR) a reflektografie ve falešných barvách (IRRFC). Nicméně tyto techniky nepřinesly žádné vypovídající výsledky.

2.3.5 Termografie[20]

Pro detailnější poznání výstavby a struktury díla byla provedena termografie, jejímž cílem bylo odkrýt dosud nepozorované defekty, neoriginální materiály a již zmíněné podpovrchové struktury pomocí teplotního rozdílu.

K zaznamenávání teplotní oblasti byla použita termokamera FLIRSC7600, která provádí záznam s rozlišením 640*512 (přibližně je to 320 tisíc pixelů jednotlivého měření povrchové teploty). Rozlišení měřené teploty v dílčím obrazovém bodě je přibližně 20Mk.

Základním principem při zpracování bylo porovnávání teplotní plochy na začátku a na konci měření, převážně popis dynamiky změn v teplotních bodech v ploše měření. Dopad na dynamiku má především prostorovost díla; tenké a vyčnívající prvky budou předávat teplo rychleji do okolních částí. Materiálová skladba má vliv na tepelnou vodivost, a tím je možné odhalit její složení.

Vyhodnocení bylo zaměřeno na centrální motiv, jelikož okraje epitafu, které jsou tvořeny žulovými sloupy, nebylo možné nahřát dostatečně, tak aby mohlo být pozorováno postupné ochlazování. Výrazný kontrast byl detekován mezi místy s vyšší a zároveň subtilní plastickou modelací (prsty, nosy, okraje límců), které se ochlazují rychleji. V horní úrovni centrálního motivu, kde je po stranách ukřižovaného Krista nejtenčí štuková vrstva, byla viditelná bloková struktura zdiva. Naopak kolem postav Jana a Rosiny je silnější vrstva štukové hmoty, než je tomu kolem dětských postav.

2.3.6 Perkusní průzkum (poklepem)

Během perkusního průzkumu byl zjišťován stav a nehomogenity v podkladu. Průzkumem bylo zjištěno, že největší výduť se nachází mezi modelační a jádrovou vrstvou v horní úrovni pozadí centrálního výjevu. Tato dutina je velice rozsáhlá, jelikož z plochy přechází přes ruku, dolní končetiny a kříž ukřižovaného Krista dál na druhou polovinu

[20] VALACH – EISLER 2021

centrálního motivu (mužskou část). Dutina je doprovázena mnoha trhlinami a otevřenými prasklinami. Povrch modelační vrstvy je zdeformován vydutím od stěny do prostoru, místy až o 2 cm. Při mírném poklepu je cítit, jak se celá plocha hýbe a přenáší vibrace. Další o něco menší dutiny byly nalezeny v ploše mezi hlavami dívek a na šatech starší dcery, kde byla dutina po celé délce jednoho vertikálního řasení. Na šatech starší dcery byl viditelný pohyb po celé délce řasení. Několik menších dutin bylo objeveno v pozadí nad hlavou matky. Veškeré praskliny a dutiny jsou grafiky zaznamenány v grafické příloze.

2.3.7 Původní technika díla

Na první pohled je viditelné zasazení epitafu, především kamenných prvků, do severní zdi kostela. Pohledově na pravé straně (ženská část) lze pozorovat menší (mělčí) zasazení žulové římsy a pilastru, než je u ostatních kamenných elementů. Důvod tohoto odlišného zasazení není zcela zřejmý, mohlo vzniknout například kvůli velkému kamennému bloku ve zdi, který nebylo možné odstranit, a tím vznikl tento odskok. Avšak jedná se pouze o jedno z možných vysvětlení. Tento úkos je nejvíce znatelný na římse nad centrálním výjevem, jenž je možné pozorovat při pohledu zespod.

Centrální štuková výzdoba je v nejvyšších bodech vyzděná. Tato vyzdívka je tvořená půdovými cihlami a je viditelná v místě defektu na pahorku, který je nejvíce prostorovým prvkem. Samotnou štukovou hmotu tvoří dvě omítkové vrstvy – jádrová a modelační. Jádrová vrstva je středně hrubozrnná a světle okrové barevnosti, plnivem byl patrně lokální říční písek s hrubostí do 2,5 mm. Modelační vrstva je bílá, velice jemná. Plnivem modelační vrstvy je mramorová drť do 500 µm. Detailní průzkum štukových vrstev je uveden v kapitole 2.4.3. Detektorem kovů bylo odhaleno mnoho kovových armatur, které byly použity při výstavbě figur. Tyto kovové armatury jsou viditelné na rukou v místech, kde byly odlomeny prsty.

Původní barevná polychromie centrálního motivu je tvořena převážně technikou fresco-secco. Polychromie tvořená ve fresce je charakteristická svou různorodou barevností a zejména prolínáním barev. Síla této barevné vrstvy je velmi proměnlivá a pohybuje se v rozmezí 0–20 µm. Rozdílnost tloušťky je dána kletováním povrchu, na některých místech došlo k prokletování barevné vrstvy až na modelační vrstvu. Technika fresco-secco byla

použita převážně na figurách, zatímco horní úsek epitafu, kterou tvoří Bůh Otec, andělé a vítězný Kristus, je tvořena převážně technikou secco.[21]

2.3.8 Originální opravy

Poté, co bylo dílo očištěno od všech svrchních sekundárních nátěrů, bylo možné na povrchu díla pozorovat opravy pocházející z doby vzniku díla. Tyto originální vysprávky je možné pozorovat nejvíce na žulové architektuře, ale i na oděvu figur centrálního motivu.

Defekty na žulových prvcích byly způsobeny pravděpodobně již při zhotovování těchto segmentů nebo následně během jejich transportu či vsazování do zdi kostela. Chybějící tvarosloví bylo po osazení patrně vyplněno vápennou maltou a sjednoceno barevnou vrstvou. Tento jev je možné pozorovat i na spárovací maltě, která byla obdobně zapojena do celku během lazurování žuly.

Opravy v podobě barevných retuší byly pozorovány především na šatech dívek v centrálním motivu. Původ těchto defektů je s nejvyšší pravděpodobností z doby vzniku díla. Převážně se jedná o odražené části štukové hmoty, které již nebyly znovu doplněny, ale pouze barevně sjednoceny.

Obr. 18 Detail originální opravy na žulové architektuře

Obr. 19 Detail originálního barevného sjednocení v místě odlomení lemu a perly

[21] TIŠLOVÁ 2021

2.3.9 Měření mikroklimatu[22]

V interiéru kostela bylo možné sledovat vysokou vlhkost, která se historicky projevovala jak na mobiliáři[23], tak i na některých částech zdiva, kde je patrná vzlínající a srážející se vlhkost. Vysoká vlhkost byla v letech 2010 až 2011 již řešena formou odvětrávání vnějšího pláště kostela, ale zásah se setkal jen s částečným úspěchem, poněvadž tímto zásahem byla snížena pouze dotace vlhkosti základů kostela.

S cílem ochránit tak jedinečné renesanční dílo, jako je epitaf rodiny Hodějovských, bylo nezbytně nutné řešit i nadále vysokou relativní vlhkost zejména v hlavní lodi kostela. Aby mohlo být dílo chráněno, bylo zapotřebí zjistit, ve kterém ročním období, časových intervalech a místech stavby dochází k výrazným výkyvům teplot a relativní vlhkosti. Na základě tohoto měření pak najít přijatelné opatření, které by epitaf chránilo.

Měření teplot a vlhkosti pomocí dataloggerů bylo započato dne 11. 6. 2020. Použity byly dataloggery řady R3121od firmy Comet. Interval snímání záznamu byl nastaven na každých 15 minut. Celkem jich bylo po celé stavbě kostela rozmístěno 13, aby se zjistila distribuce teplotních a vlhkostních poměrů v různých částech kostela.

Z hodnocení vyplývá, že problém klimatu v kostele nastává zejména v zimních měsících v souvislosti s mrazovými cykly a v jarních měsících, kdy vyvstává riziko kondenzace vodních par na zdech kostela s nižší teplotou. Naměřené hodnoty v interiéru kostela tak korelují s venkovním prostředím, což je způsobeno převážně nízkou izolací kostela a netěsnostmi v plášti kostela. Relativní vlhkost se v kostele pohybuje až na krátkodobé výkyvy v rozmezí 50–80 %.

Měření bylo ukončeno společně s restaurátorským zásahem, z toho důvodu je návrh řešení vyhodnocen v doporučeném režimu památky.

[22] SLÁDEK – SLÁDEK 2021
[23] Například zkroucené a plísní napadené dřevěné rámy křížové cesty.

2.4 Přírodovědný (chemicko-technologický) průzkum

2.4.1 Analýza vodorozpustných solí[24]

Výsledky ze vstupního průzkumu v roce 2019 prokázaly zvýšenou přítomnost chloridů a vyšší obsah dusičnanových solí. Poškození štukové vrstvy vlivem dlouhodobého zavlhčení zdiva spolu s působením vodorozpustných solí bylo pozorováno při odkryvu sekundárních vrstev ve spodní části centrálního výjevu.

Na jednom z viditelných doplňků (přilbici) byly pozorovány výrazné solné výkvěty, proto byl vzorek odebrán seškrabem povrchu, druhý vzorek byl odebrán taktéž na přilbici, ale formou hloubkového vrtu (hl. 0–1 cm).

Vyhodnocení množství vodorozpustných solí (síranů, dusičnanů a chloridů) bylo provedeno UV/VIS spektrofotometricky na extraktech vzorků v demineralizované vodě. Klasifikace obsahu vodorozpustných solí byla provedena podle rakouské normy Onorm B3355-1.

Solný výkvět obsahuje směs solí, kdy v nejvyšší koncentraci jsou zastoupeny sírany a v nižší pak chloridy a dusičnany (viz tab. 3). V případě hloubkového vrtu je zastoupeno stejné spektrum solí, ale v rozdílné výši jejich množství. Nejvyšší koncentrace dosahují chloridy a v menší míře jsou zastoupeny dusičnany a sírany (viz tab. 4).

Tab. 2 Přehled koncentrace vodorozpustných solí povrchového seškrabu

vzorek, lokalizace místa odběru	výška/hloubka odběru vzorku (cm)	sírany (SO_4^{2-})		dusičnany (NO_3^-)		chloridy (Cl^-)	
		hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg
V14 (S1)	povrchový výkvět, přilba	4,14	431	0,15	24	0,05	15

Tab. 3 Přehled koncentrace vodorozpustných solí hloubkové vrtu

vzorek, lokalizace místa odběru	výška/hloubka odběru vzorku (cm)	sírany (SO_4^{2-})		dusičnany (NO_3^-)		chloridy (Cl^-)	
		hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg
V24 (S2)	hloubkový vrt, přilba, doplněk	0,15	16	0,15	24	0,23	66

Přítomnost síranu pochází zřejmě z podkladu – tedy druhotného tmelu, který je na bázi vápna a sádry (viz podkapitola Materiálová analýza sekundárních doplňků). Patrně vlivem vzlínající vlhkosti se do epitafu dostávají dusičnany a chloridy.

[24] TIŠLOVÁ 2021, s. 35, 62.

2.4.2 Rozšířená stratigrafie povrchových úprav[25]

Pro bližší určení byl průzkum stratigrafie povrchových vrstev a jejich složení rozšířen. Z centrálního výjevu bylo odebráno devět vzorků s cílem poznat a následně popsat originální souvrství stejně tak jako vrstvy druhotné. Průzkum byl rovněž zaměřen na analyzování použitých pigmentů v těchto barevných úpravách. Určení použitých pigmentů může vést k charakterizaci jednotlivých úprav. Veškeré odebrané vzorky byly zality do epoxidové pryskyřice a připraveny jako nábrusy pro zkoumání pomocí optické mikroskopie a elektronové mikroskopie (SEM).

Převážnou část celé původní pestré polychromie tvoří jemné hlinky v různých odstínech. Vyjma hlinek je zde drobné zastoupení dalších látek, například černé šaty jsou tvořeny uhlíkatou černí, obsah dotváří fosfor (P), jehož původem je patrně kostní čerň. Bohatší zastoupení pigmentů je v horní části epitafu, na andělech, kde je doložen smalt, azurit, malachit. Pojivem pigmentů bylo vzdušné vápno modifikované proteinem (kasein/klih).

Výsledky stratigrafie sekundárních vrstev byly téměř shodné se sondážním průzkumem. Nově byla objevena bílá, velmi pevná první vrstva na pozadí a figurách, pojená silně dolomitickým vápnem bez plniva. Nelze přesně definovat přesné množství nátěrových vrstev, poněvadž došlo ke karbonataci dolomitického vápna. Na základě drobných rozhraní se jedná o čtyři vrstvy. Nadcházející vrstvu tvoří rovněž bílá vrstva, ovšem pojená vzdušným silně dolomitickým vápnem.

2.4.3 Materiálová skladba štuku[26]

Jádrová vrstva

Jedná se o okrovou maltu s dobrou kohezí, kterou lokálně narušují společně s trhlinami i závalky plniva. **Pojivo** jádrové malty se liší od modelační vrstvy převážně tím, že obsahuje slabě až středně hydraulické vápno. Jedná se buď o bílé vzdušné, nebo slabě dolomitické vápno. Hořčík (Mg) tvoří v podkladu kolem 9 %. Rovněž vyskytující se závalky pojiva obsahují podíl hořčíku v rozmezí 6,5–8,5 %. Velikost těchto závalků se pohybuje okolo 1 mm. **Plnivo** je tvořeno různorodou směsí písků, jedná se patrně o říční nebo kopaný písek s příměsí mramorové moučky a dalších minerálů a hornin. Největší část tvoří převážně křemičitý písek, z minerálů je zde zastoupen křemen, živce – plagioklas, alkalické živce –

[25] TIŠLOVÁ 2021, s. 64.
[26] TIŠLOVÁ 2021, s.65–78.

mikroklin (jehož fragmenty jsou výrazně veliké), slídy – biotit, dále klasty mramorové moučky, rutil a apatit. Horninové klasty jsou tvořeny granitoidní horninou a rulou. V maltě se rovněž nachází vysoké množství závalků pojiva i nedopálených částí. Plnivo je poměrně hrubozrnné s velikostí zrn do 2,5 mm a středně vytříděné. Tvar zrn je převážně zaoblený až subangulární. V jádrové vrstvě převažuje plnivo nad pojivem, z analýzy je **poměr** stanoven na 1,5–2 (plnivo) : 1 (pojivo).

Povrchová modelační vrstva

Bílá středně až jemnozrnná malta je obohacená o bílé plnivo. Vrstva je homogenní a minimálně porézní s občasnými makrotrhlinami. **Pojivo** modelační vrstvy je na bázi středně až silně dolomitického vzdušného vápna. Na základě petrografické analýzy bylo zjištěno, že pro výpal byl použit mramor. V pojivu je kromě karbonátů identifikován i pyroxen a zřejmě i olivín. V pojivové vrstvě se vyskytují vápenné hrudky o velikosti do 0,5 mm. Jen ojediněle se v pojivu nacházejí reaktivní částice obsahující křemík, který má slinutou až sklovitou podobu. Proteinovou analýzou byl detekován v modelační vrstvě kolagenní protein (klih nebo želatina) na zpomalení tuhnutí. **Plnivo** obsahuje vysoký podíl kalcitu, jedná se tedy o drcený vápenec nebo mramor. Zrna mají ostrohranný tvar v rozmezí 0,05–1 mm, avšak nejčetnější je frakce 200–500 μm s prachovými částicemi menšími než 50 μm. V modelační vrstvě převažuje pojivová složka, z analýzy vychází tedy **poměr** 1 (plnivo) : 1,5 (pojivo).

2.4.4 Materiálová analýza originálních a sekundárních doplňků[27]

Jak bylo zmíněno již výše, po odkryvu byly na povrchu detekovány nejen originální opravy, ale i sekundární. Cílem bylo tyto doplňky důkladně prozkoumat a určit jejich materiálové složení pro případ zvažování jejich ponechání.

Chemicko-technologickou analýzou bylo potvrzeno, že doplňky na žulových prvcích jsou originální opravy. Pojivem bylo bílé vzdušné vápno s plnivem křemičitého písku o frakci do 2 mm. Tmely byly barevně sjednoceny podle charakteru okolí. Povrch tmelu na přírodní žule je opatřen bílým nátěrem (patrně intonacem) ze středně dolomitického vápna, zatímco na barvené žule byly vmíchány do stejného nátěru červené hlinky.

[27] TIŠLOVÁ 2021, s. 65–66.

Sekundární doplňky, pocházející z doby před započetím pravidelného natírání, jsou všechny stejného složení. Na porovnání byly odebrány celkem tři vzorky. Tyto doplňky jsou světlé barvy, bez povrchové úpravy. Struktura doplňků je poměrně jemná s hladkým povrchem a vyskytují se především v centrálním motivu na oděvu dívek, paži starší dcery, šálu matky, pahorku, přilbici (která byla celá z tohoto tmelu) a drobný tmel se nacházel v pravém rohu tympanonu. Chemicko-technologickým průzkumem se potvrdilo, že se jedná o vápenné pojivo se sádrovou příměsí. Pojivo je s velkou pravděpodobností bílé vzdušné vápno. Plnivo je složené z bohaté směsi jemnozrnných plniv; zastoupena je zde směsice křemene, klasty minerálů a hornin, ale i částice nezhydratované sádry. Maximální velikost plniva je 0,5 mm.

2.4.5 Materiálová analýza vláken vlasů[28]

Pro případ, že by došlo k doplnění chybějících vlasů ukřižovaného Krista, bylo zapotřebí zjistit, z jakého materiálu vlasy sestávají. Byl tedy odebrán jeden vzorek vlasů, který byl podroben optické mikroskopii. Pomocí Herzbergova činidla se vlákno zbarvilo do vínově červené a bylo možné pozorovat kolénka. Síla vláken se pohybuje v rozmezí mezi 12–18 µm. Tyto vlastnosti jsou charakteristické pro vlákna konopí a lnu.

[28] TIŠLOVÁ 2021, s. 66.

3 Vyhodnocení průzkumu

Vstupní restaurátorský průzkum, který probíhal v letech 2018–2019[29], byl zaměřen na komplexní vyhodnocení aktuálního stavu epitafu (viz kapitola 2. 2). Na všechny výsledky a poznatky z tohoto vstupního a rozšířeného sondážního průzkumu bylo navázáno po dokončení odkryvu díla.

Po odkryvu byl průzkum zaměřen na umělecko-historický průzkum, který se zaobíral popisem, analogiemi, vznikem a dalším vývojem díla. Následný restaurátorský průzkum byl zaměřen především na vizuální průzkum v denním a UV světle a další neinvazivní techniky. V přírodovědném neboli chemicko-technologickém průzkumu byla zkoumána stratigrafie povrchových vrstev, míra salinity a vlhkosti.

Epitaf rodiny Hodějovských z Hodějova, jenž se nachází v kostele sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci, vznikl rukou neznámého autora roku 1582. Je vyhotoven podle častého dobového schématu, ačkoliv použití štukového materiálu je ojedinělé.

V rámci vstupního vizuálního průzkumu bylo možné posoudit pouze masivní převrstvení sekundárních nátěrů, které znemožňují čitelnost díla, a několik málo defektů, jež jsou patrné i přes druhotné vrstvy.

Vizuální průzkum po sejmutí všech sekundárních vrstev prokázal lokálně chybějící tvarosloví. Především se jedná o pahorek, kde je viditelná cihlová výstavba, dále předloktí dívek a defekty v drapérii. Výrazné poškození je také na pozadí, kde jsou viditelná vypouklá místa tvořící dutiny. Dále byly objeveny sekundární i originální opravy, které se od sebe liší svou strukturou, adhezí a zpracováním. Originální doplňky jsou tvarově i barevně zapojené s dobrou adhezí k podkladu, zatímco ty druhotné překrývají z velké části originální tvarosloví, mají špatnou adhezi a kvalita jejich zpracování je nízká. Výrazná polychromie připomíná imitaci mramoru či drahých dřevin. Viditelné a výrazně barevné tahy na pozadí kolem ukřižovaného mají patrně původ v zatahování prasklin štuku. Unikátním objevem jsou koudelové vlasy ukřižovaného Krista. Tento fenomén se objevuje i na vzkříšeném Kristu.

Průzkum v ultrafialovém světle (UVF) a jeho vyhodnocení bylo komparováno spolu s výsledky chemicko-technologického průzkumu. Výrazné je materiálové rozhraní použití štuku a kamene, štuk má výraznou bílou až modrou fluorescenci. Žlutá až bílá fluorescence patří proteinovému pojivu (kaseinu), kdežto černé stopy jsou charakteristické pro železité

[29] BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – KOVÁŘÍK 2019

pigmenty. Lokálně se vyskytující stopy oranžové fluorescence, jsou typické pro šelak, ale není možné definovat jeho původ. Tmavě hnědá až černá fluorescence na nápisové desce je charakteristická pro pryskyřice.

Technikou RTI byla zkoumána úprava povrchu, zejména jeho zpracování. Ostatní speciální dokumentační techniky – ultrafialová reflektografie (UVR), ultrafialová reflektografie ve falešných barvách (UVRFC), metoda využívající infračervené záření (IRR) a (IRRFC) fotografie neprokázaly již žádné nové poznatky.

Pomocí termografie byla lépe viditelná skladba zdiva pod štukem a bylo tak možné lépe poznat výstavbu epitafu. Například kolem ukřižovaného je hmota štuku velmi tenká, kdežto kolem postav rodičů je vrstva mnohonásobně silnější.

Perkusní průzkum byl zaměřen na již zmíněné dutiny v pozadí, kde se nachází jedna rozsáhlá a pár drobných výdutí mezi modelační a jádrovou vrstvou. Poslední dutina je na šatech starší dcery.

Původní technika vzniku díla byla blíže poznána až po dokončeném odkryvu. Viditelné je probourání zdiva a zasazení žulové architektury do zdi. Modelace je tvořená štukem, který byl nanášen ve více vrstvách, od jádrové omítky s hrubší frakcí plniva až po jemnou modelační vrstvu s jemnou frakcí. Obě tyto vrstvy byly nanášeny na cihlami vyzděný orientační tvar. Za pomoci detektoru kovů byly odhaleny kovové armatury, které se nachází téměř po celých figurách. Originální polychromie vykazovala velmi dobrou adhezi k podkladu vyhotovenou technikou fresco-secco, zatímco stíny v následující vrstvě technikou secco.

Pozorované solné výkvěty na přilbici byly analyzovány a vysokou hodnotu vykazují sírany, v menší míře pak dusičnany a chloridy. U hloubkového vrtu byly naopak vysoké hodnoty chloridů a menší množství síranů a dusičnanů.

Rozšířenou stratigrafií se prokázalo, že centrální výjev je tvořen převážně hlinkami v rozličných odstínech. Tmavé prvky polychromie sestávají z uhlíkaté černé, kterou doplňuje fosfor. Značně bohatší, ale zato fragmentární barevnost je detekována v horní části epitafu. Pojivo pestré polychromie je tvořené vzdušným vápnem modifikovaným proteinovým aditivem (kasein/klih).

Chemicko-technologickým průzkumem byla rovněž určena materiálová skladba štuku. Jádrová vrstva je pojena slabě až středně hydraulickým vápnem, které je buď vzdušné, nebo slabě dolomitické. Plnivo tvoří různorodá směs písků s příměsí mramorové moučky a jiných minerálních hornin. Poměr byl stanoven na 1,5–2 díly plniva a 1 díl pojiva. Modelační vrstva

je pojena silně dolomitickým vápnem modifikovaným proteinem (kasein/klih) a plnivem je vápencová nebo mramorová moučka. Poměr byl stanoven na 1 díl plniva a 1,5 dílu pojiva.

Originální doplňky na žulových prvcích jsou pojeny bílým vzdušným vápnem s křemičitým plnivem. Povrch je barevně sjednocen červenými hlinkami pojenými středně hydraulickým dolomitickým vápnem. Tato povrchová úprava navazuje na originální barevné vrstvy. Sekundární tmely jsou na bázi vápenného, patrně vzdušného pojiva a plnivo je tvořené směsí, ve které převažují částice sádry. V případě druhotných doplňků je doporučeno jejich sejmutí z důvodu zanášení síranových solí, ale i jejich nekvalitní modelaci.

Vzácností jsou vlasy ukřižovaného Krista, jež jsou pojednány vláknitým materiálem, s nejvyšší pravděpodobností se jedná o konopnou koudel.

V kostele bylo na počátku restaurování zahájeno měření klimatu, které probíhalo až do jeho ukončení. Z průběžného vyhodnocení dat vyplývá, že klima v kostele je nejvíce problematické v zimních a jarních měsících. Relativní vlhkost se v kostele pohybuje převážně v rozmezí 50–80 %. Návrhy na vhodné řešení této problematiky jsou v kapitole doporučeného režimu památky.

4 Zkoušky technologií a materiálů

V rámci rozdělování restaurovaných úseků byly přiřazeny dílčí úkoly, které sestávaly ze zkoušek materiálů a technologií. Z toho důvodu jsou v následujících kapitolách uvedeny jen základní informace ke zkouškám a jejich vyhodnocení.

4.1 Zkoušky snímání a naměkčování druhotné vápenné vrstvy[30]

Na pozadí centrálního motivu se nacházela proměnlivá a místy velmi tvrdá sekundární vrstva, která měla silnou adhezi k podkladu originálu. Ztvrdlé vrstvy jsou způsobené karbonatací vápenného a středně až vysoce dolomitického pojiva pocházejícího ze štuku.

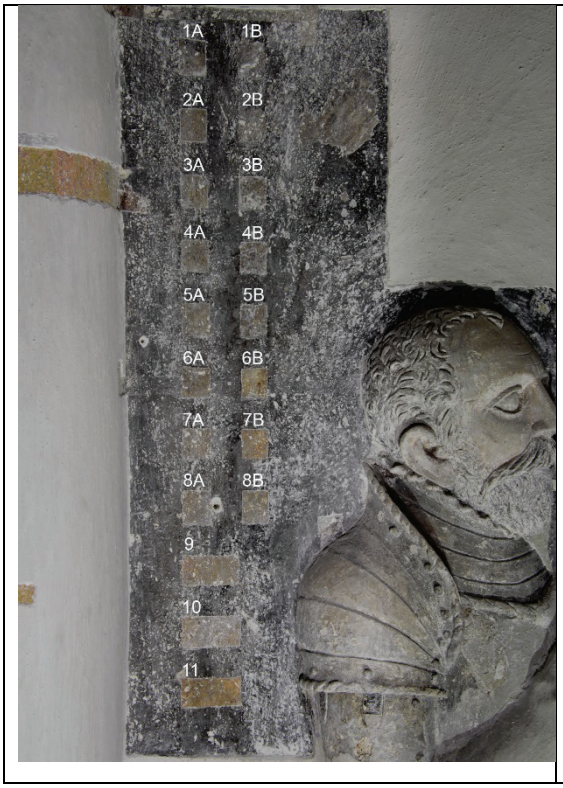
Pro snazší čištění byly provedeny zkoušky snímání této vrstvy. Zkušební plocha byla zvolena vlevo od hlavy Jana Hodějovského. Nejdříve byly zkoušeny suché mechanické metody, jako je skalpel, pneumatické gravírovací pero, mikrobruska, abrazivní metoda mikropískování. Z mechanických metod dosahoval vyhovujících výsledků pouze skalpel. Zkoušeny byly i iontoměniče, nicméně ani ty neprokázaly dobrý účinek.

Z časové náročnosti procesu snímání byly provedeny i chemické zkoušky naměkčování pomocí komplexotvorných látek společně s demineralizovanou vodou. Komplexotvorné látky (*Komplexon III*) byly zkoušeny v koncentraci 8 % a s různou úpravou pH. Roztoky byly míchány s *Klucelem G*, který sloužil jako gelový nosič. Vzhledem k proměnlivé adhezi sekundární vrstvy k podkladu byly tyto zkoušky provedeny na dvou místech. Pozorován byl rovněž vliv samotného zábalu připraveného s vodou, který ale neprokázal zásadní účinek. Proto aplikace probíhala zábalem přes japonský papír. Důležité bylo provlhčení povrchu po dobu 10 minut, která vycházela jako nejkratší možná doba aplikace. Poté byl povrch neutralizován demineralizovanou vodou.

Z výsledků vyplynulo, že ke změkčení druhotné vrstvy stačí pouze provlhčení a po vyschnutí se stává opět těžko snímatelnou. Jako nejlepší a nejšetrnější byla vyhodnocena metoda snímání skalpelem v kombinaci s předvlhčením demineralizovanou vodou, která dosahovala stejných výsledků jako komplexotvorné látky.

[30] ZŮFALÁ 2020

Tab. 4 Přehled zkoušek snímání a naměkčování



Působení roztoku 10 min	Působení roztoku 20 min
1A – suché mechanické čištění	1B – suché mechanické čištění
2A – studená voda (DEMI)	2B – studená voda (DEMI)
3A – horká voda (DEMI)	3B – horká voda (DEMI)
4A – 8 % kyselina citronová	4B – 8 % kyselina citronová
5A – 6-7 % citrát triamonný, pH 6-7	5B – 6-7 % citrát triamonný, pH 6-7
6A – 8 % EDTA, pH 4,5	6B – 8 % EDTA, pH 4,5
7A – 8 % EDTA, pH 6,4	7B – 8 % EDTA, pH 6,4
8A – 8 % EDTA, pH 8,1	8B – 8 % EDTA, pH 8,1
9 – 8 % EDTA, pH 4,5 (s mechanickým narušením tmavé vrstvy)	
10 – 8 % citrát triamonný (s mechanickým narušením tmavé vrstvy)	
11 – studená voda (DEMI) (s mechanickým narušením tmavé vrstvy)	

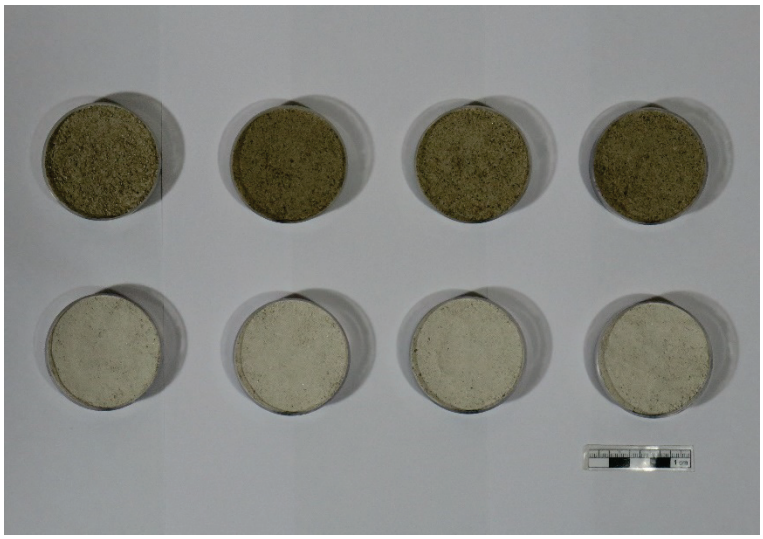
Autor přehledu – BcA. Radka Zůfalá, DiS.

4.2 Zkoušky konsolidačních prostředků[31]

Při odkryvu byla pozorována degradovaná místa projevující se narušenou kohezí štukové hmoty, a tím docházelo lokálně ke ztrátě její originální hmoty. Cílem bylo obnovit soudržnost štukové hmoty. Podle složení štuku byly zkoušeny prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité *KSE 300, KSE 300HV* a *KSE 100 HV*[32] od firmy Remmers. Z vápenných prostředků byla testována vápenná nanosuspenze *CaLoSiL E25*.

Vyhovující konsolidační prostředek byl zvolen na základě laboratorních zkoušek. Sypká směs rozdrcené vápenné omítky imitující degradovaný štuk (navážka stejná u všech vzorků) byla vložena do Petriho misek a zakapávána konstantním objemem konsolidantu. Na základě vyhodnocení aplikačního postupu, zpevňujícího účinku, pozorování hydrofobity a optických změn se jako nejúčinnější ukázala postupná aplikace organokřemičitého prostředku *KSE 100 HV* a vápenné suspenze *CaLoSiL E25.* Nakonec byla pro aplikaci zvolena směs *KSE 100 HV* a *CaLoSiL IP25*, která vykazovala stejný efekt zpevnění.

[31] ČIVRNÁ 2021
[32] KSE 100 HV není oficiální produkt, k jeho vzniku došlo ředěním KSE 300 HV isopropanolem v poměru 1 : 2.



Obr. 20 Petriho misky se sypkou směsí a konsolidačním prostředkem (nahoře) pro pozorování změny barevnosti

Řešena byla i konsolidace barevné vrstvy na architektonických prvcích z kamene, která výrazně práškovatěla. Cílem bylo obnovení zhoršené adheze barevné vrstvy k podkladu i koheze barevné vrstvy. Ze zkoušek se jevila jako nejvhodnější směs organokřemičitého prostředku *KSE 100 HV* a vápenné suspenze *CaLoSiL IP25* (naředěné isopropanolem na 10g/l). Poměr obou konsolidantů byl 1 : 1. Aplikace bude provedena jemným rozprašovačem a v případě nedostatečného zpevnění bude konsolidace provedena znovu dle potřeby.

4.3 Zkoušky injektáže[33]

Nejzávažnějším poškozením epitafu byly četné skryté dutiny a trhliny, které bylo nutné zajistit vhodnou injektážní směsí. V rámci zkoušek byly testovány komerčně dostupné směsi určené pro vápenné omítky. Jednalo se především o *LEDAN® TA1, TB1, TC1, CalXnova, CaloXiL Classic, CaloXiL EXtrafein, PLM – A*, a *Vapo Injekt*. Kromě *CalXnovy* byly injektážní směsi zkoušeny nejen samostatně, ale i s přimíchanou mramorovou moučkou.

Nejlepší výsledky opírající se o laboratorní zkoušky vykazovaly tři směsi, jednalo se o *PLM-A, CalXnova* a *CaloXiL Classic.* Takto zúžený výběr látek byl dále zkoušen přímo na epitafu v místě pahorku. Bylo zjištěno, že pro potřebnou penetraci injektážní směsi je nutné, aby byla dostatečně řídká. Z toho vyplynula jako nejvhodnější směs *PLM-A* (4,5 dílu) s mramorovou moučkou (1 díl), která umožňuje dle technického listu řiditelnost do 80 (hm.%).

[33] BURKHARDTOVÁ 2021

Obr. 21 Hodnocení průniku zatékavosti injektážních směsí v laboratorních podmínkách. Uprostřed je prostředek PLM-A s nejlepší penetrací, autor fotografie – Stella Burkhardtová

4.4 Zkoušky odsolování[34]

Z analýz vodorozpustných solí vyplynulo, že se v epitafu nachází jejich zvýšené množství. Přítomnost vodorozpustných solí se váže k celkové problematice dlouhodobého zavlhčení zdiva v rámci celého kostela, kdy je možné pozorovat i na kamenné podlaze. Na epitafu byla tímto mechanismem nejvíce poškozena spodní část centrálního výjevu (v místě pahorku a kolem figury Jana Hodějovského), kde se soli odpařovaly (kamenná nápisová deska zde patrně funguje jako clona).

Metoda odsolování byla nakonec vyhodnocena jako nevhodná, poněvadž by mohlo dojít jen k nízké a krátkodobé míře odsolení. Větším rizikem odsolovacího zásahu je zvýšení migrace solí a s tím spojená další degradace originálního materiálu. K trvalému snížení koncentrace vodorozpustných solí by byl nejprve nutný (časově i finančně) náročný stavební zásah, který by izoloval epitaf od zdroje vlhkosti. Optimálním řešením bude upravení klimatu, které povede ke stabilizaci a omezení rekrystalizačních a hydratačních cyklů vodorozpustných solí.

4.5 Zkoušky materiálů pro plastickou retuš[35]

[34] ZŮFALÁ 2021
[35] ŠIBRAVOVÁ 2021

Plastickou retuší je možné docílit zpomalení nebo úplného zastavení poškození díla, jež by mohlo nastat vlivem špatného stavu. V poslední době se při doplňování uměleckých sochařských děl ustupuje od používání syntetických materiálů, a naopak se používají materiály na bázi minerálních pojiv, která jsou svými chemickými a mineralogickými vlastnostmi nejvíce podobná originální hmotě.[36]

Vývoj koncepce plastické retuše byl velmi dlouhý a byla pro něj nakonec zvolena forma rekonstrukčního doplnění. Výběr tmelu podléhal mnohým kritériím, jako je pevnost, modelační vlastnost, tažnost, kompatibilita s podkladem, možná povrchová úprava, praskání ve hmotě či praskání okrajů a v neposlední řadě i vizuální vlastnosti. Pro plastickou retuš přicházelo v úvahu několik možností, jak řešit odlišitelnost tmelů:

1. Jako první se nabízelo optické odlišení pomocí jiné barvy plniva. Vzhledem k tomu, že plnivo originální jádrové vrstvy má hnědočervenou barvu, pro odlišení se nabízelo použití světlého až bílého písku z lokality Střeleč. Modelační vrstva byla v originále tvořena mramorovou drtí, i v případě zkoušek byla použita mramorová drť z lokality Carrara, která byla pro odlišení použita v mírně hrubší frakci.
2. V úvahu přicházelo použití zinkové běloby jako markeru, který v UV záření vykazuje fluorescenci, která by doplňky neinvazivně odlišila. Zinková běloba byla v malém množství přimíchána do směsi tmelu (zpravidla je dostačující 1 %), kde nikterak zásadně nenarušuje barvu ani vlastnosti tmelu, ale při pozorování v ultrafialovém světle má výraznou a pro ni charakteristickou zelenožlutou luminiscenci. Nicméně ve směsi s vápnem došlo při kletování povrchu k pohlcení pigmentu a luminiscence se téměř vůbec neprojevovala, nebo velmi sporadicky.
3. Další eventualitou rozlišení přicházející v úvahu byl pačok složený pouze z vápenné kaše a zinkové běloby, který by byl aplikován na finální tmel. Luminiscence tak byla mnohonásobně vyšší a především celistvá. Od použití pačoku bylo taktéž upuštěno z důvodu finální úpravy povrchu tmelu, který je potřeba vykletovat do hladkého povrchu, a v místech s jemnou modelací by došlo k zaslepení.
4. V neposlední řadě byla řešena i probarvenost modelační vrstvy, která by sloužila zároveň sjednocujícím účinkem, a proto by již nebylo potřeba tolik barevné retuše. Avšak v průběhu zrání zkušebních tmelů byly na povrchu patrné nesourodé mapy, které vznikaly při hlazení špachtlemi během zatahování jemných prasklin.

[36] TIŠLOVÁ 2016, s. 20.

Nakonec bylo rozhodnuto, že odlišení obou vrstev bude spočívat v odlišení pojiva, a to hašeného vápna na bázi bílého vzdušného vápna z lokality Mokrá (oproti originálu, kde bylo v pojivu identifikováno středně až silně dolomitické vápno). Jádrová vrstva bude dále odlišena barevností plniva – světlým kamenivem z lokality Střeleč a hrubší frakcí (do 2,5 mm). Odlišnost modelační vrstvy bude spočívat ve vytvoření mírně hrubší struktury tmelu použitím hrubší frakce mramorové drtě (do 0,6 mm).

Zkoušky barevné retuše[37]

Řešen byl také vhodný přístup k barevnému sjednocení nových doplňků s originálem. Ve zkouškách se řešila převážně metoda a intenzita barevné retuše.

Z pojiv byly zkoušeny látky s možnou reverzibilitou, dobrou biologickou stálostí a matným a polomatným charakterem filmu. Z pojiv retuší byly testovány polysacharidy (arabská guma, funori ethery celulózy – *Klucel E*), proteiny (vyzina) a vodorozpustné akrylátové disperze (*LASCAUX Medium for Consolidation, Dispersion K9*). Forma odlišení byla řešena jak v provedení retuše, tak i pomocí zinkové běloby, která má v UV světle svou specifickou zelenožlutou luminiscenci.

Jako nejvhodnější byl vyhodnocen 1% roztok arabské gumy ve vodě, který byl smíchán se zinkovou bělobou, jež bude tvořit 1 % z objemu. Technika retuše a její míra bude zvolena tak, aby dílo působilo celistvě, ale nedocházelo k vytváření falzifikátu. Retuš bude provedena metodou nápodobivé lokální retuše formou teček, případně lazurními nátěry. Intenzita barev bude značně nižší (světlejší) oproti okolnímu originálu.

[37] GRANČÁK 2021

5 Koncepce restaurátorského zásahu

Tato koncepce vychází především z vyhodnocení provedených průzkumů a vyhodnocení zkoušek materiálů a postupů. Průběžně s těmito pracemi byla upřesňována i koncepce restaurátorského zásahu, která byla pro celé dílo stanovena jednotně.

Na základě výsledků sondážního průzkumu bylo rozhodnuto o odkryvu všech sekundárních vrstev na originální renesanční polychromovanou modelaci. Vzhledem ke stavu po odkryvu bylo především řešeno, zda odstranit veškeré druhotné tmely, či poškozená místa nově doplňovat, případně do jaké míry. S ohledem na výsledky průzkumu a následné konzultace bylo společně se zástupci Národního památkového ústavu rozhodnuto o sejmutí veškerých druhotných doplňků. Míra plastické retuše byla díky dostatečnému množství analogií zvolena rekonstrukčně tak, aby byla dílu navrácena jeho celistvost. Pro sjednocení nových tmelů bylo na základě zkoušek rozhodnuto o lazurní akvarelové retuši, která bude pojata lokální barevností s nižší intenzitou a přidáním zinkové běloby pro odlišení. Způsob této reverzibilní retuše umožnuje zapojení defektů v originále. Veškeré restaurátorské zásahy by měly být vůči originálu reverzibilní a vizuálně nerušivé.

6 Postup prací

6.1 Snímání sekundárních vrstev

Druhotné vrstvy vápenných nátěrů, jež zaslepovaly jemnou modelaci celého epitafu, bylo nutné odstranit. Odkryv byl proveden v několika krocích. Nejprve byly silné nátěry ztenčeny pomocí nástěnného kladívka a poté bylo použito pneumatické gravírovací pero, díky kterému mohl být povrch očištěn od zbytků masivních nátěrů. V místech trhlin a dutin na pozadí nebylo možné vrstvy nátěrů odkrýt pneumatickým nástrojem, jelikož by vibrace ohrozily dílo do té míry, že by mohlo dojít ke ztrátě originálu. Z toho důvodu byla tato místa vynechána a dočištěna po příslušných krocích, zajišťujících originál.

Během odkryvu byly odstraněny veškeré druhotné tmely, jež nevyhovovaly nejen svou strukturou a zpracováním, ale ani složením.

Obr. 22 Ilustrační obrázek snímacího pneumatického pera

6.2 Konsolidace

Souběžně se snímáním druhotných vrstev probíhalo konsolidování narušeného štukového podkladu, který se projevoval zejména na pozadí a částech oděvů.

Konsolidační prostředek byl vybrán na základě zkoušek, ze kterých se jako nejefektivnější a nejvhodnější ukázala směs organokřemičitého prostředku *KSE 100 HV* (ředěného z *KSE 300 HV* isopropanolem v poměru 2:1) a vápenné nanosuspenze *CaLoSiLu IP25* v poměru 1 : 1.

Aplikace konsolidantů probíhala postupně a podle potřeby byla opakována. Nejprve byl aplikován organokřemičitan a po uplynutí stanoveného časového odstupu dvaceti minut byla ve stejném množství aplikována vápenná nanosuspenze. Konsolidační účinek byl vyhodnocován pravidelně po dvou týdnech. Oblasti, které vykazovaly stále malou kohezi, byly konsolidovány opakovaně. Na nejvíce poškozených místech (pozadí epitafu) bylo opakování provedeno 2-3×.

Obr. 23 Aplikace konsolidačního prostředku KSE 100 HV

Obr. 24 Aplikace konsolidačního prostředku CaLoSiL IP25

6.3 Konsolidace barevné vrstvy

Narušenou adhezi původní červené barevné vrstvy k žulovému podkladu bylo nutné rovněž obnovit zpevněním. Jednalo se o barevnou vrstvu na pilastru a římse nad centrálním motivem. Z provedených zkoušek se jako nejefektivnější fixační prostředek jevila opět směs vápenné nanosuspenze *Calosilu IP25* (naředěná isopropanolem na 10 g/l) a organokřemičitého prostředku *KSE 100HV*. Oba konsolidanty byly smíchány v poměru 1 : 1 a aplikovány pomocí jemného rozprašovače, který produkoval jemnou mlhovinu. Dostatečného zpevnění bylo docíleno jedním cyklem konsolidační směsi. Kontrola byla provedena stěrem vatovými tyčinkami.

6.4 Zajištění štukové hmoty ochrannými přelepy

Při odkryvu během zimy byla odhalena místa s nízkou kompaktností a adhezí k podkladu, a hrozilo proto jejich odchýlení. Jednalo se o předloktí starší dcery a její šat, kde byla rovněž dutina. Vzhledem k nízkým teplotám nebylo možné přistoupit ke konsolidaci, injektáži ani případnému lepení fragmentů. Zajištění těchto defektů bylo provedeno ochrannými přelepy sestávajícími z roztoku 5% *Tylosy NH300* a japonského papíru. Ochranné přelepy byly pro zajištění poškozených míst snadno odstranitelné vodou.

6.5 Injektáž trhlin a dutin

Trhliny a dutiny bylo nutné vyplnit injektážní směsí a zamezit tak jejich nekontrolovatelnému rozšíření, kdy by hrozila další ztráta originální hmoty. Ze zkoušek materiálů byla vyhodnocena jako nejvhodnější injektážní směs *PLM-A,* která je svými

vlastnostmi a složením zcela vyhovující pro injektáž štuku. *PLM-A* je injektážní malta z neutrálního vápna a vybraných inertních přísad určená pro zpevnění fresek a nástěnných maleb. Velice dobře obstará paropropustnost zdiva a má obdobné mechanické a fyzikální vlastnosti jako ošetřený podklad. Směs *PLM-A* byla míchána s mramorovou moučkou v poměru 4,5 : 1.

Pro snadnou aplikaci byly navrtány drobné otvory v místech defektu, kterými byl opatrně vyklepán nesoudržný materiál. Následně byla dutina provlhčena vodou a lihem v poměru 1 : 1 a po vyčkání (deset minut) byla aplikována injektážní směs injekčními stříkačkami nebo infuzemi (katetrem).

Obr. 25 Proces injektáže na pozadí centrálního motivu

Obr. 26 Zajištění injektované plochy proti vydutí a jiné deformaci

6.6 Lepení uvolněných částí

Během odkryvu bylo odhaleno mnoho defektů, které sestávaly z uvolněné modelace, jež bylo nezbytně nutné připevnit zpět. Například některé perly na oděvech držely jen díky sekundárním nátěrům, při jejichž očištění došlo k uvolnění perel.

Lepení bylo provedeno směsí *PLM-A*, která byla použita i při injektáži dutin. Použita byla čistá směs bez dalších přísad, pouze rozmíchána s demineralizovanou vodou do požadované husté a lepivé konzistence. Lepené spoje byly nejprve předvlhčeny vodou a následně spojeny lepicí směsí.

6.7 Dočišťování reziduí

Dočišťování ztvrdlé karbonatované vrstvy společně se zbytky sekundárních nátěrů bylo možné dočistit až po stabilizování některých partií konsolidačními a injektážními prostředky. Pro snazší dočišťování bylo provedeno nejdříve naměkčení buničinovým zábalem s demineralizovanou vodou a následně byl povrch za pomoci skalpelu dočišťován.

Obr. 27 Dočišťování reziduí

6.8 Biocidní ošetření

Chemicko-technologickým průzkumem byla zjištěna přítomnost biologické kolonizace (plísní) na díle, z toho důvodu byla nezbytně nutná dezinfekce. Epitaf byl nejprve důkladně zakryt mikrotenovou fólií a následně byly na rovné plochy po celé výšce umístěny nádoby s *n-butylalkoholem*, které byly ponechány 3 dny těkat. Po ukončení dezinfekce byl prostor kostela intenzivně větrán.

Celkem byly provedeny 2 cykly dezinfekce. První byl proveden po dokončení odkryvu a dočištění, druhý pak těsně před dalšími restaurátorskými úkony.

6.9 Čištění a ochrana kovových prvků

Vyčnívající kovové prvky, tedy hřeby na pozadí pod římsou a armatury v místech defektu, bylo nutné očistit od volných korozních produktů. Zásah byl proveden malými ocelovými kartáčky. V případě armatur byl po očištění proveden ošetřující nátěr antikorozní barvou *Alkyton ral 7001*. Vyčnívající hřebíčky byly opatřeny 5% roztokem *Paraloidu B72* a acetonu.

6.10 Plastická retuš

V místě defektů, kde v minulosti došlo ke ztrátě originální hmoty, bylo provedeno nově doplnění vápenným a snadno rozpoznatelným tmelem. Rozsah plastické retuše byl volen tak, aby dílo působilo celistvě, nicméně některé drobné defekty byly ponechány bez retuše.

Tmelení chybějících částí bylo provedeno především na rukou a šatech, kde byly nejvýraznější ztráty modelace. Dále na pozadí centrálního motivu, kde bylo mnoho větších oděrek a trhlin. Na ukřižovaném Kristu byly doplněny pouze chybějící prsty rukou, nos a trnová koruna. K plastické retuši bylo přistoupeno na základě dostatečné okolní modelace, která sloužila jako hlavní analogie (případně byla použita jiná vhodná analogie). V místech, kde byla větší, především hlubší ztráta modelace, byla nejprve nanesena jádrová malta složená z vápenného pojiva, které tvořilo hašené vápno na bázi bílého vzdušného vápna z lokality Mokrá. Použitý poměr byl 1 díl pojiva a 1,5 dílu plniva tvořeného písky z lokality Střeleč o frakci v rozmezí od 0,063 do 2,5 mm. Finální modelační vrstva byla složená stejným pojivem jako jádrová vrstva s odlišným poměrem (1,5 dílu) pojiva a (1 díl) bílé mramorové drti z lokality Carrara o frakci v rozmezí 0,2–0,6 mm.

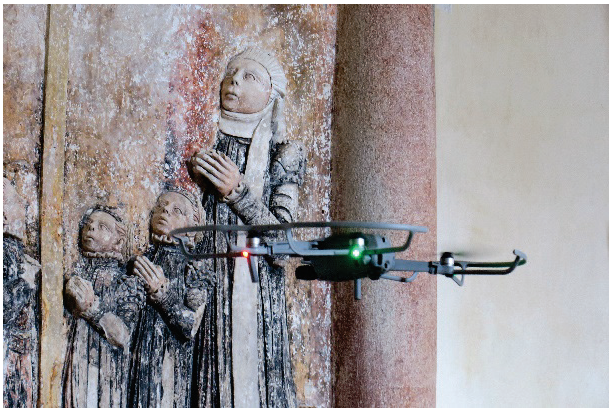
6.11 Barevná retuš

Nově vytvořené bílé tmely bylo nutné barevně sjednotit se stávajícím dílem. Zapojení nových doplňků bylo prováděno o tón světlejší lazurní barevnou vrstvou s cílem scelit celé dílo, avšak při bližším pohledu umožnit divákovi rozlišení nových tmelů od originálu.

Barevná retuš byla provedena pomocí světlostálých pigmentů pojených 1% roztokem arabské gumy (vodný roztok), jež byla doplněna o 1 % zinkové běloby. Přidáním zinkové běloby do pojiva barevné retuše bylo docíleno snadného odlišení tohoto zásahu, které je rozeznatelné v UV světle. Míra barevné retuše byla průběžně konzultována s pedagogy, památkáři i investorem. Technika pro barevnou retuš byla volena formou sjednocující lokální retuše, která byla provedena v nižší intenzitě, než je samotný originál. Množství provedené barevné retuše je možné pozorovat na UV fluorescenční fotografii (viz obr. 52 a 53).

6.12 Fotogrammetrie

Vzhledem k tomu, že se po odkryvu dílo nacházelo ve svém dochovaném originálním stavu (leč poškozeném), bylo potřeba jej řádně zdokumentovat. Z toho důvodu byla provedena fotogrammetrická dokumentace epitafu dronem DJI Mavic Air 2. V přirozeném denním světle bylo provedeno snímkování tzv. dlaždicovým posunem, kdy bylo pořízeno celkem 147 DNG snímků. Pořízené snímky byly dále upraveny v programu Abode Camera RAW a následně generovány do formátu JPEG. V programu Agisoft Metashape Professional Version 1.6.2 build 10247 (2020) byl díky těmto snímkům vytvořen ortofoto snímek. Výsledné fotografie byly následně použity pro grafické zákresy. Fotogrammetrické zaměření bylo provedeno i po ukončení restaurátorských prací v srpnu 2021.



Obr. 28 Průběh fotogrammetrie

7 Použité materiály a technologie

Snímání sekundárních vrstev

- restaurátorské snímací kladívko
- skalpely a čepelky č. 15, 10
- pneumatická gravírovací tužka (mikrosbíječka)
- demineralizovaná voda
- buničina – 100% celulózové utěrky

Konsolidace

- *vápenná nanosuspenze v isopropanolu– CaLoSiL IP25* (v poměru 1 : 1 s *KSE 100 HV*)

  výrobce IBZ Salzchemie GmbH & Co. KG
- *organokřemičitý prostředek KSE 100 HV*

  od firmy Remmers (= ředěno isopropanolem z *KSE 300 HV*)
- injekční stříkačky a jehly

Konsolidace barevné vrstvy

- *vápenná nanosuspenze – CaLoSiL IP25* (v poměru 1 : 1)

  výrobce IBZ Salzchemie GmbH & Co. KG
- *organokřemičitý prostředek KSE 100 HV* od firmy Remmers s. r. o.

  (= ředěno isopropanolem z *KSE 300 HV*)
- rozprašovač

Zajišťující přelepy

- 5% roztok *Tylose NH300* v demineralizované vodě
- japonský papír
- štětce

Injektáž dutin

- minerální směs *PLM-A* (4,5 dílu) – distributor: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
- demineralizovaná voda
- voda s lihem 1 : 1

- mramorová moučka (1 díl) – distributor: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
- injektážní stříkačky, jehly a katetr

Lepení uvolněných částí

- směs *PLM-A* – distributor: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
- injekční stříkačka
- demineralizovaná voda

Dočišťování reziduí

- skalpely
- dočišťovací štětce
- houba *Wallmaster*
- demineralizovaná voda

Dezinfekce biologického napadení

- *n-Butylalkohol*
- misky
- mikrotenová fólie
- páska

Čištění a ochrana korozních prvků

- ocelové kartáčky
- *Alkyton ral 7001*
- *5%* roztok *Paraloid B72* v acetonu
  distribuovaný firmou Kremer Pigmente GmbH & Co. KG

Plastická retuš

Jádrová vrstva

- 1 díl vápna z lokality Mokrá (hašené v květnu 2019 ve Slavonicích)
- 1,5 dílu písku z lokality Střeleč – frakce v rozmezí od 0,063 do 2,5 mm

Modelační vrstva

- 1 díl mramorové drtě z lokality Carrara 0,2–0,6 mm

- 1,5 dílu vápna z lokality Mokrá (hašené v květnu 2019 ve Slavonicích)
- italské nerezové špachtle

Barevná retuš

- práškové pigmenty – distribuované firmou Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
- 1% vodný roztok arabské gumy
- 1% (hm.) zinková běloba od firmy Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
- syntetické štětce *Gold Line* velikost 0, 2, 6, 8

8 Doporučený režim památky

Ačkoliv se stav památky po restaurování jeví jako velmi dobrý, je důležitá pravidelná kontrola díla. První by měla být provedena tři roky po restaurování a následně v pětiletých intervalech. Kontrolován by měl být především stav štuku a bohaté polychromie, zda nedochází k jejich degradaci, a provádět by ji měl odborný restaurátor. Nutností je kontrola míst s výskytem výkvětů vodorozpustných solí (v centrální části, úroveň pahorku a přilbice).

Vzhledem ke krátkému časovému úseku měření v interiéru kostela je nutné dál měřit a vyhodnocovat klimatologická data. V případě dlouhodobé vysoké relativní vlhkosti provést opatření doporučené klimatologickým průzkumem, který doporučuje jako nejvhodnější variantu úpravu teploty zdiva za epitafem, kam by byly instalovány samoregulační topné kabely nebo by byl upravován vzduch na vyšší teplotu a nižší vlhkost. Tento systém by zajišťoval převážně v zimním období stálé klimatické podmínky epitafu a nedocházelo by k promrzání zdiva a s tím spojenými degradačními procesy. Současně by tento způsob ochrany omezil rekrystalizační a hydratační cykly vodorozpustných solí, které jsou spojené s degradačními procesy.

V neposlední řadě je nutné kontrolovat potenciální výskyt biologického napadení v podobě plísní, případně provést biocidní ošetření díla.

Jakýkoliv konzervační nebo restaurátorský zásah by měl provádět kvalifikovaný odborník. Pravidelnou preventivní péčí a případnými opatřeními je možné prodloužit životnost památky.

9 Seznam použité literatury

BARTŮŇKOVÁ – KOVÁŘÍK – MÍCHALOVÁ 2019

BARTŮŇKOVÁ, Lucie, KOVÁŘÍK Zdeněk a Zdeňka MÍCHALOVÁ. Epitaf Hodějovských z Hodějova, kostel Narození Jana Křtitele v Českém Rudolci: *Vstupní restaurátorský průzkum. Koncepce restaurátorského zásahu*. Nepublikovaný dokument, 2019.

BARTŮŇKOVÁ – MÍCHALOVÁ – TIŠLOVÁ – KOVÁŘÍK 2020

BARTŮŇKOVÁ, Lucie, MÍCHALOVÁ, Zdeňka, TIŠLOVÁ, Renata a Zdeněk KOVÁŘÍK. Interdisciplinární průzkum a restaurování epitafu rodiny Jana Hodějovského z Hodějova ve farním chrámu Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci. *Průzkumy památek*. 2020, **XXVII** (2), s. 67–82.

BURKHARDTOVÁ 2021

BURKHARDTOVÁ, Stella. *Zkoušky injektáže*. Litomyšl, 2021. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování kamene. Nepublikovaný dokument. Místo uložení: Katedra chemické technologie UPa.

ČIVRNÁ 2021

ČIVRNÁ, Romana. *Zkoušky strukturální konsolidace štuků a povrchová konsolidace barevné vrstvy*. Litomyšl, 2021. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování nástěnné malby a sgrafita. Nepublikovaný dokument. Místo uložení: katedra chemické technologie UPa.

GRANČÁK 2021

GRANČÁK, Marián. *Skúšky retuší a konsolidácie písma*. Litomyšl, 2021. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování nástěnné malby a sgrafita. Nepublikovaný dokument. Místo uložení: katedra chemické technologie UPa.

HANUŠ 1994

HANUŠ, Zdeněk. *Historie Českého Rudolce*. Brno, 1994. str. 26. ISBN neuvedeno.

JAKUBEC 2007

JAKUBEC, Ondřej. *Ku věčné památce: malované renesanční epitafy v českých zemích: [Muzeum umění Olomouc – Arcidiecézní muzeum Olomouc, Galerie, 17. května – 26. srpna 2007: katalog]*. Olomouc: Muzeum umění Olomouc, 2007. ISBN 978-80-85227-88-8.

JAKUBEC 2015

JAKUBEC, Ondřej. *Kde jest, ó smrti, osten tvůj?: renesanční epitafy v kultuře umírání a vzpomínání raného novověku*. Praha: Nakladatelství Lidové noviny, 2015. ISBN 978-80-7422-509-3.

MĚRTLOVÁ 2009

MĚRTLOVÁ, Lucie. Český Rudolec ve 20. století [online]. České Budějovice, 2009 [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: http://ceskakanadavypravuje.cz/wp-content/uploads/2019/03/%C4%8Cesk%C3%BD-Rudolec-ve-20.stolet%C3%AD-Lucie-M%C4%9Brtlov%C3%A1.pdf. Diplomová práce. Katedra společenských věd PF JU. Vedoucí práce PhDr. Jan Podlešák. s. 70.

NEKUDA 1977

NEKUDA, Vladimír, ed. *Moravskobudějovicko: Jesenicko*. Brno: Muzejní a vlastivědná společnost, 1977. Vlastivěda moravská. ISBN 80-85048-75-2, s. 555.

ODEHNALOVÁ 2007

ODEHNALOVÁ, Eva. *Figurální náhrobníky Morkovských ze Zástřizl v kostele sv. Jakuba Většího v Boskovicích*. Památková péče na Moravě = Monumentorum Moraviae tutela. Brno: Národní památkový ústav (13), 2007, s. 47–62.

POCHE 1977

POCHE, Emanuel. *Umělecké památky Čech I*. Praha: Academia, 1977. ISBN neuvedeno.

SLÁDEK – SLÁDEK 2021

SLÁDEK Oto a Aleš SLÁDEK. *Vyhodnocení klimatu – kostel Český Rudolec*; technická zpráva, Chrudim, 2021. Nepublikovaný dokument. Místo uložení: katedra chemické technologie UPa.

ŠIBRAVOVÁ 2021

ŠIBRAVOVÁ, Kateřina. *Zkoušky plastické retuše*. Litomyšl, 2021. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování kamene. Nepublikovaný dokument. Místo uložení: Katedra chemické technologie UPa.

TIRAY 1926

TIRAY, Jan. *Vlastivěda moravská II. Slavonický okres*. Brno: Musejní spolek v Brně, 1926. s. 206, 211. ISBN neuvedeno.

TIŠLOVÁ 2016

TIŠLOVÁ, Renata. *Metodika pro určení mezí a intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah*. 2016, s. 20.

TIŠLOVÁ 2021

TIŠLOVÁ, Renata. Chemicko-technologický průzkum: kostel Narození sv. Jana Křtitele, Český Rudolec. *Průzkum a restaurování štukového epitafu*. Katedra chemické technologie, FR UPa., 2021. Místo uložení: Katedra chemické technologie UPa.

VALACH – EISLER 2021

VALACH, Jaroslav a Marek EISLER. *Shrnutí termografické dokumentace epitafu v kostele Narození sv. Jana křtitele v Českém Rudolci.* 2021. Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR. Praha, 2021. Nepublikovaný dokument.

ZŮFALÁ 2020

ZŮFALÁ, Radka. *Zkoušky naměkčování druhotné vápenné vrstvy*. Litomyšl, 2020. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Ateliér restaurování kamene. Nepublikovaný dokument. Místo uložení: katedra chemické technologie UPa.

10 Fotografická dokumentace

Obr. 29 Stav epitafu po vstupním restaurátorském průzkumu 2019

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, Dis.

Obr. 30 Průběh snímání sekundárních vrstev centrálního motivu

Obr. 31 Průběh snímání sekundárních vrstev – detail dívek

Obr. 32 Stav epitafu po odkryvu a dočištění všech sekundárních vrstev, zpevnění a injektáži

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS., a Ing. Lukáš Krajíček

Obr. 33 UV fluorescenční fotografie – celkový pohled na epitaf

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS.

Obr. 34 Detail centrálního motivu – stav po odkryvu a dočištění všech sekundárních vrstev

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS.

Obr. 35 UV fluorescenční fotografie – Detail centrálního motivu

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS.

Obr. 36 Detail matky Rosiny a dívek po dokončení odkryvu a dočištění

Obr. 37 Detail dětí po dokončení odkryvu a dočištění

Autor fotografií – Vojtěch Krajíček, DiS

Obr. 38 Centrální motiv po plastické retuši

Obr. 39 Stav restaurovaného úseku před restaurováním

Obr. 40 Stav restaurovaného úseku po odkryvu a dočištění

Obr. 41 Stav restaurovaného úseku po restaurování

Autoři fotografií – Vojtěch Krajíček, DiS., a Ing. Lukáš Krajíček

Průběh prací zaznamenaných na detailu matky Rosiny a dcer

Obr. 42 Stav před restaurováním

Obr. 43 Stav před restaurováním

Obr. 44 Stav po odkryvu a dočištění

Obr. 45 Stav po odkryvu a dočištění

Obr. 46 Stav po plastické retuši

Obr. 47 Stav po plastické retuši

Obr. 48 Stav po restaurování

Obr. 49 Stav po plastické retuši

Obr. 50 Stav epitafu po restaurování

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS., a Ing. Lukáš Krajíček

Obr. 51 Detail Rosiny – Stav po restaurování

Obr. 52 UV fluorescenční fotografie – Detail Rosiny – Stav po restaurování – viditelná žlutozelená fluorescence zinkové běloby

Autor fotografií – Vojtěch Krajíček, DiS.

Obr. 53 UV fluorescenční fotografie – celkový pohled na epitaf po restaurování – viditelná žlutozelená fluorescence zinkové běloby

Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS.

Obr. 54 Ukřižovaný Kristus v průběhu odkryvu

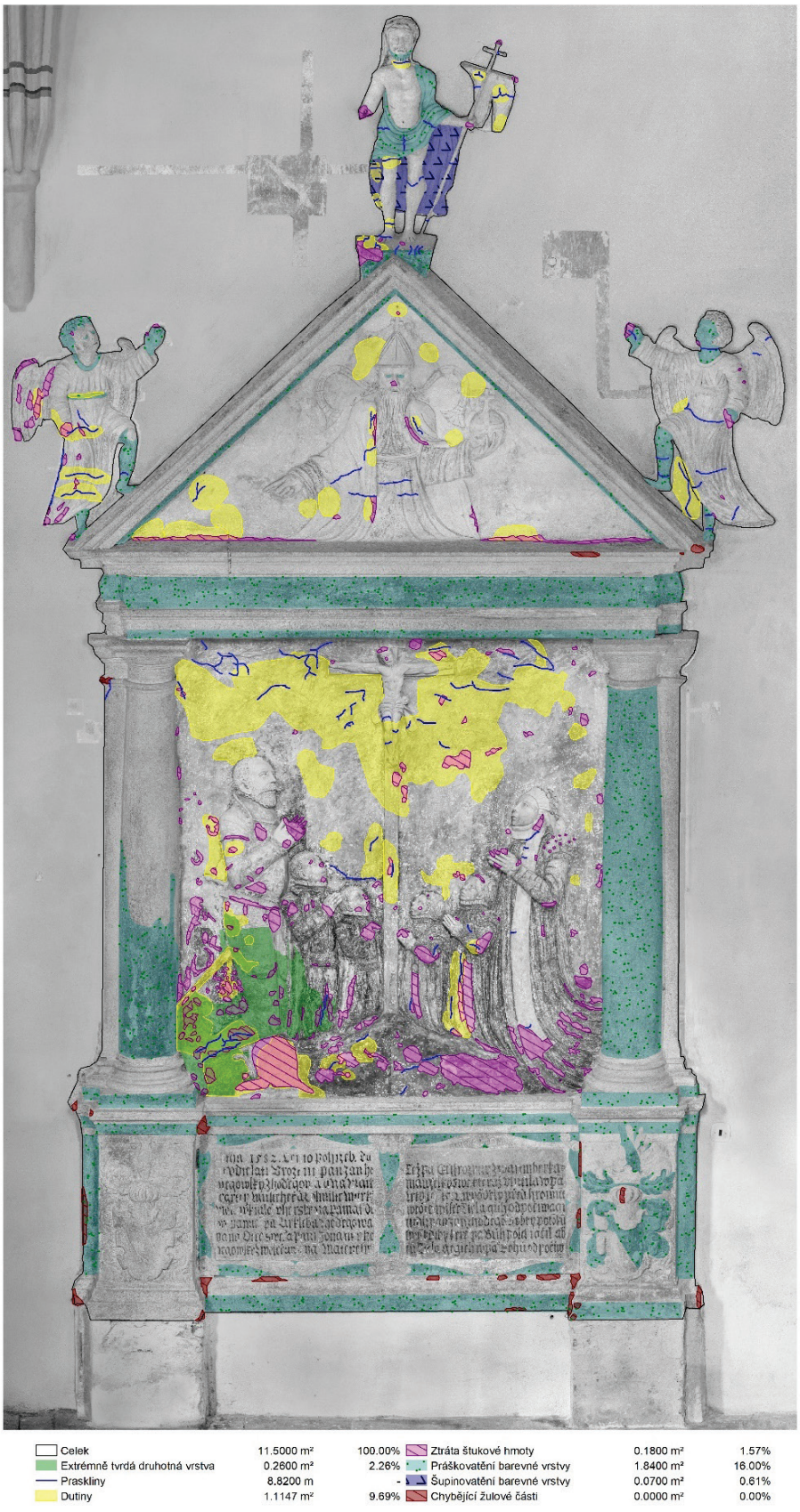
Obr. 55 Ukřižovaný Kristus po odkryvu a dočištění

Obr. 56 Porovnání stavu před restaurováním – po odkryvu – po restaurování

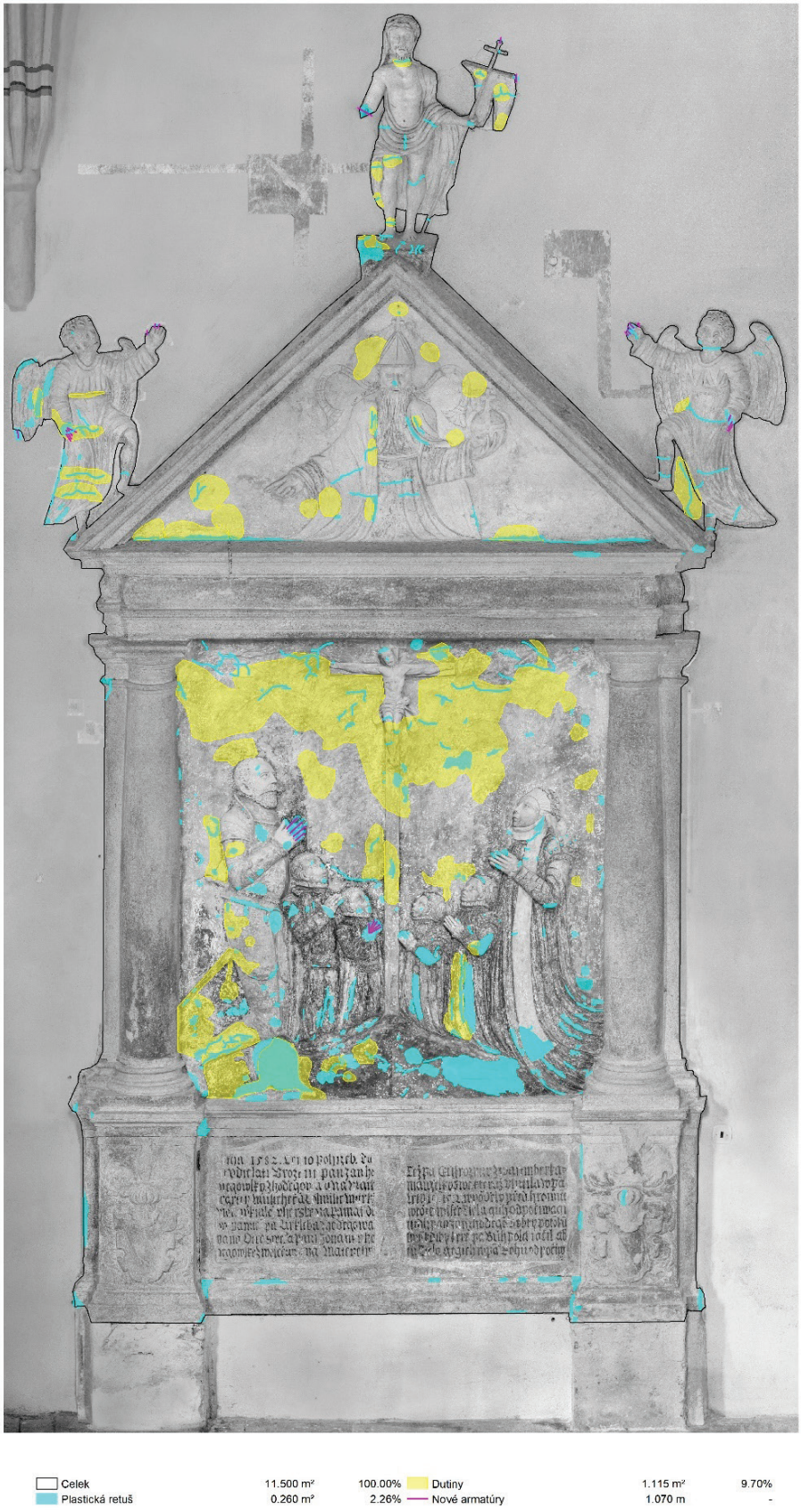
11 Grafická dokumentace[38]

[38] Autor všech grafických zákresů – BcA. Marián Grančák

Obr. 57 Grafické zakreslení materiálové skladby epitafu



Obr. 58 Grafické zakreslení poškození vyskytující se na celém epitafu



Obr. 59 Grafické zakreslení vlastních zásahů na celém epitafu

12 Seznam příloh

Příloha 1 – Závazné stanovisko 87

Příloha 2 – Chemicko-technologický průzkum 89

Příloha 1 – Závazné stanovisko

MĚSTSKÝ ÚŘAD DAČICE

Odbor kultury a cestovního ruchu

KRAJÍŘOVA 27, 380 13 DAČICE I

PV
ŘK farnost Český Rudolec
Český Rudolec čp. 6
378 83 Český Rudolec

v zastoupení:
MgA.Zdeněk Kovářík
Chotěbudice 21
675 31 Chotěbudice

Váš dopis zn.:
Ze dne: 20.02.2019
Naše čj.: OKC/4046-19
Spis. značka: 2631-2005/URBP
Vyřizuje: Mgr. Pavel Urban
Telefon: 384401244
E-mail: kultura2@dacice.cz
V Dačicích dne: 20.03.2019

MĚSTSKÝ ÚŘAD DAČICE
Toto rozhodnutí nabylo právní moci
dne 22. 05. 19
podpis

Věc: závazné stanovisko ve věci:**„Restaurování Epitafu Hodějovských z Hodějova v kostele Narození Jana Křtitele“**, parc.č.st. 57, k.ú. a obec Český Rudolec.

ROZHODNUTÍ

Městský úřad Dačice, Odbor kultury a cestovního ruchu, jako příslušný orgán k výkonu státní správy v oblasti památkové péče podle ust. § 14, odst. (1) zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „památkový zákon“) a ust. § 10 vyhlášky č. 66/1988 Sb., kterou se provádí zákon o státní památkové péči (dále jen „prováděcí vyhláška“) a ust. § 67 zákona č. 500/2004 Sb., o správním řízení, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „správní řád“), vydává na žádost zmocněnce vlastníka, MgA. Zdeňka Kovářika, IČO 72123231, Chotěbudice čp. 21, 675 31 Jemnice, na základě vyjádření Národního památkového ústavu, ú.o.p. v Českých Budějovicích, čj. NPÚ-331/15036/2019, z 04.03.2019 toto

závazné stanovisko:

Restaurování Epitafu Hodějovských z Hodějova v kostele Narození Jana Křtitele, parc.č.st. 57, k.ú. a obec Český Rudolec, který je uměleckohistorickým dílem jako nedílná součást nemovité kulturní památky - kostela Narození Jana Křtitele, podle dokumentace: „Epitaf Hodějovských z Hodějova, kostel Narození Jana Křtitele v Českém Rudolci, vstupní restaurátorský průzkum, koncepce restaurátorského zásahu“, z 12.02.2019, vypracoval MgA. Zdeněk Kovářík, IČO 72123231, č.lic. 6739/2004 a 31140/2017, Chotěbudice čp. 21, 675 31 Jemnice je z hlediska zájmů státní památkové péče, podle ust. § 14 odst. (3) památkového zákona

přípustné,

za dodržení následujících podmínek:

Jednotlivé etapy prací budou provedena kvalifikovaným restaurátorem, držitelem příslušného oprávnění Ministerstva kultury ČR, postup prací bude průběžně konzultován s odborným pracovníkem NPÚ, ú.o.p v Českých Budějovicích.

Odůvodnění:

Žádost vlastníka předmětné nemovité kulturní památky o vydání rozhodnutí k jejímu restaurování splňuje předepsané náležitosti podle ust. § 10 odst. (2) vyhl. č. 66/1988 Sb., v platném znění. Toto rozhodnutí bylo

Spojovatelka	Fax	E-mail	Bankovní spojení	IČO / DIČ	Úřed. hodiny
384 401 211	384 401 236	meu@dacice.cz	ČS, a. s., Jindřichův Hradec	00246476	Po,St 8^{00}-17^{00}
384 401 210	384 401 235	e-podatelna@dacice.cz	č. ú. 0603143369/0800	CZ00246476	Pá 8^{00}-14^{00}

vydáno na základě prohlídky předmětného objektu a odborného vyjádření Národního památkového ústavu, územního odborného pracoviště v Českých Budějovicích.

Odborná organizace vzhledem ke stavu a zjištěným poškozením uvedené kaple vyslovila souhlas s její obnovou a s restaurováním podle předloženého záměru a stanovila podmínky, za kterých lze záměr realizovat.

Účastník řízení byl s tímto vyjádřením seznámen a neuplatnil vůči němu žádné námitky ani připomínky.

Památkové hodnoty: Objekt je štukový polychromovaný epitaf rodiny Jana Hodějovského z Hodějova zhotovený roku 1582. Objekt je umístěný na severní straně dvoulodí, blízko bočního oltáře. Památník edikulobého typu stojí na nízkém soklu do kterého jsou vloženy dvě nápisoví žulové desky s textem. Při vnějších okrajích jsou připojeny erbovní štíty, ve střením poli je reliéf zobrazení rodiny Jan Hodějovského. Klečící před ukřižovaným Ježíšem na kříži. Epitaf je unikátně dochovaným příkladem renesančního štukatérského umění ze šlechtického prostředí na jihu Čech.

Stávající stav: Epitaf je pokrytý vrstvou mladších vápenných nátěrů. Dvě nápisové desky byly v minulosti očištěny a text zvýrazněn pryskyřicí. Architektura štuků je ve spodní části poškozena vzlínající vlhkostí. Došlo k poškození jemné modelace, která se odděluje od štukové vrstvy. Na několika místech jsou patrné drobné mechanické defekty.

Restaurátorský záměr: koncepce restaurátorského zásahu přepokládá sejmutí mladších vápenných vrstev a následné restaurování renesančního štukového polychromovaného epitafu z roku 1582 na severní straně lodi Bude provedeno snímání sekundárních vrstev, konsolidace, odsolení a odvlhčení, dočištění barevných vrstev, ošetření kovových prvků, doplnění chybějících míst a závěreční dokumentace.

Správní orgán prověřil, podanou žádost, prověřil místo samé, vyhodnotil návrh na restaurování a odborné vyjádření konstatuje, že uvedené podklady poskytují dostatečnou oporu pro vydání rozhodnutí ve věci.

V souladu s odborným vyjádřením je nutné konstatovat, že průběžné konzultace s uměleckohistorickým oddělením Národního památkového ústavu, ú.o.p v Českých Budějovicích, jsou základním předpokladem, ke zdárnému provedení díla (viz podmínka výroku).

Ostatní podmínky uplatněné odbornou organizací vyplývají přímo ze znění památkového zákona a jeho prováděcí vyhlášky. Z uvedených důvodů je správní orgán nevčlenil do výroku.

Správní orgán konstatuje, že vlastník movité kulturní památky v předložené žádosti a návrhu na restaurování uplatňuje souhrn specifických výtvarných, uměleckořemeslných a technických postupů, které respektují technickou a výtvarnou strukturu originálu, přičemž restaurování směřuje k celkové rehabilitaci výše uvedené kulturní památky.

Na základě uvedených skutečností bylo rozhodnuto tak, jak je uvedeno ve výroku tohoto rozhodnutí.

P o u č e n í:

Dle ustanovení § 81, odst. (1) zákona číslo 500/2004 Sb., správní řád, se proti tomuto rozhodnutí **lze do patnácti dnů od jeho oznámení odvolat** ke Krajskému úřadu Jihočeského Kraje prostřednictvím správního orgánu, který toto rozhodnutí vydal (Městský úřad Dačice). Podané odvolání musí splňovat náležitosti dle ustanovení §§ 81 a 82 správního řádu, dle ustanovení § 82, odst. (2) správního řádu bude podáno s potřebným počtem stejnopisů tak, aby jeden zůstal správnímu orgánu, a aby každý účastník dostal jeden stejnopis.

MĚSTSKÝ ÚŘAD DAČICE -5-

Mgr. Pavel Urban
oprávněná úřední osoba

Mgr. Naděžda Mastná
vedoucí odboru kultury a cestovního ruchu

Obdrží na doručenku: viz adresát

Na vědomí:
Národní památkový ústav, ú.o.p., Č. Budějovice, Senovážné nám. 6, 370 21 České Budějovice
Městský úřad Dačice, stavební úřad, Krajířova 27/I, 380 13 Dačice

Příloha 2 – Chemicko-technologický průzkum

kostel Narození sv. Jana Křtitele, Český Rudolec
Průzkum a restaurování štukového epitafu

Obr. 1: Epitaf Jana Hodějovského z Hodějova, kostel Narození sv. Jana Křtitele, Český Rudolec. Detail z centrální části po částečném odkryvu. Foto: FR, UPa, 2019.

Akce: Chemicko-technologický průzkum štukového epitafu Jana Hodějovského z Hodějova

Objekt/zkoumaná část památky: kostel Narození sv. Jana Křtitele, Český Rudolec/renesanční štukový epitaf umístěný na severní chrámové zdi

Realizace restaurování: květen 2019 - srpen 2021

Lokalizace památky: Jihočeský kraj, okres: Jindřichův Hradec

Objednatel/zadavatel restaurování: Římskokatolická farnost Kostelní Vydří, Kostelní Vydří 58, Dačice, 380 01

Památkový dozor: NPÚ, ÚOP v Českých Budějovicích, zastoupené PhDr. Romanem Lavičkou, PhD.

Restaurování: Fakulta restaurování (FR), Univerzita Pardubice (UPa), obor: Restaurování a konzervace nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury, adresa: Jiráskova 3, Litomyšl, 570 01. Odborné vedení: MgA. Lucie Bartůňková, Ph.D., Doc. Jakub Ďoubal, Ph.D., studenti 6. ročníku: Bc. Radka Zůfalá, Bc. Kateřina Šibravová, Bc. Romana Čivrná, Bc. Marián Grančák, Bc. Stella Burkhardtová.

Chemicko-technologický průzkum: Ing. Renata Tišlová, Ph.D., technolog, Katedra chemické technologie, FR UPa

I. ZADÁNÍ A CÍLE PRŮZKUMU

ad1) *Průzkum barevných vrstev polychromie* - průzkum byl zaměřen na vrstvy polychromie. Primárním cílem byla charakterizace vrstev originálu a přemaleb, popis vrstev a jejich dokumentace. Na základě stratigrafie lze vyvodit základní informace k technice polychromie štuku i kamenných částí. Výsledky průzkumu byly doplněny o informaci ke složení použitých materiálů, tj. pojiva vrstev, barvících složek. Výsledky chemicko-technologického průzkumu budou porovnávány se sondážním průzkumem provedeným na objektu *in-situ*.

ad2) *Materiálová skladba konstrukčních materiálů* - součástí průzkumu je identifikace materiálových složek štukových vrstev, ze kterých je dílo zhotoveno. U odebraných vzorků jsou patrné dvě odlišné vrstvy hrubšího jádrového štuku a svrchní jemné bílé modelační vrstvy, která tvoří finální modelaci štukového výjevu. U odebraných vzorků byly identifikovány jednotlivé složky pojiva, plniva a přísad. Kamenné části epitafu nebyly podrobeny podrobnější analýze, makroskopicky se prokazatelně jedná o granitoidní horninu.

ad3) *Analýza materiálů druhotných oprav* - na epitafu byly identifikovány lokální druhotné zásahy. Pro objekt nejvýznamnější jsou druhotné úpravy, které bezprostředně navazují na originální vrstvy, opravují modelaci a lokální mechanická poškození originálu. Tmely použité pro opravy byly podrobeny materiálové analýze. Další druhotné vrstvy identifikované na objektu tvoří překryvné nátěry provedené bez reflexe barevnosti a výtvarné kvality originálu. Ty nebudou předmětem bližšího zkoumání ani podrobnějších analýz.

ad4) *Analýza dalších materiálů použitých na epitafu* - spíše zajímavostí je doplnění průzkumu o výzkum materiálů, které byly v průběhu odkryvu na epitafu nalezeny. Jedná se zejména o nález vlasů Krista na kříži, které byly vytvořeny z vláknitého materiálu. Vzorky odebrané z výplně písma nápisové desky nebo vzorek výkvětu na druhotném tmelu. Předmětem analýzy byly také ztvrdlé vrstvy bílého nátěru/nánosu překrývající polychromii, kterou nelze odstranit běžnými čistícími metodami.

II. ÚDAJE O OBJEKTU

Materiál/technika: polychromovaný vápenný štuk rámovaný v žulové architektuře

Popis objektu a jeho stavu (zkráceně): Epitaf Jana Hodějovského z Hodějova je umístěn na severní stěně chrámové lodi. Zpodobňuje rodinu Jana Hodějovského z Hodějova, šlechtickou rodinu žijící v nedalekém Markvarci. Epitaf se skládá z nápisové desky a figurálního výjevu zpodobňujícího rodinu Jana Hodějovského zpodobněnou v modlitbě k ukřižovanému Ježíši Kristu. V horní části je epitaf ukončen edikulou, v níž je vyobrazena polopostava Boha Otce. Zdrojem informací o vzniku epitafu i osobě Jana Hodějovského je nápisová deska v dolní části epitafu.

Epitaf byl při objevu překrytý silnou vrstvou překryvných nátěrů, díky kterým se epitaf dochoval v poměrně dobrém stavu včetně bohatě pojednané polychromie. Stav objektu i polychromie je poměrně dobrý, hlavním problémem a poškozením jsou chybějící části štukové výzdoby a dále značný úbytek polychromie, který se liší v různých částech epitafu. V dolní části centrálního výjevu je patrná hloubková degradace štukové modelace patrně v důsledku působení vodorozpustných solí a vzlínající vlhkosti.

Sloh, datace: 2. pol. 16. století, datace na nápisové desce 1582

Průzkum a návaznosti: Restaurování díla je prováděno v rámci diplomových a ročníkových prací studentů Fakulty restaurování Univerzity Pardubice v návaznosti na výzkumný projekt Ministerstva kultury ČR programu NAKI II *„Renesanční a manýristické štukatérství v Čechách a na Moravě.“*

III. METODY PRŮZKUMU, INSTRUMENTACE

a) **Optická mikroskopie (OM) nábrusů v odraženém bílém světle a fluorescenci (UV a modrém světle)**
Popis analýzy: metoda slouží pro dokumentaci a charakterizaci barevných úprav (stratigrafii), podkladu a jiných povrchových úprav, příp. depozitů.
Instrumentace a podmínky měření: optický mikroskop Nikon Eclipse LV-100, pozorování bylo prováděno na příčných řezech vzorky (nábrusech) v odraženém bílém světle, UV a modrém světle. Mikroskop je vybaven fluorescenční jednotkou Nikon s UV 365 nm fluorescencí.

b) **Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s mikrosondou (EDX) - prvková analýza barevných vrstev**
Popis analýzy: při analýze se zjišťuje stratigrafie a prvkové složení vybraných vrstev, na základě níž lze určit složení vrstvy (pigmenty, plniva, příp. pojiva).
Instrumentace a podmínky měření: skenovací elektronový mikroskop MIRA3-LMU (TESCAN) s EDX analyzátorem v režimu zpětně odražených elektronů (BSE). Vzorky byly analyzovány ve vysokém napětí 20kV, před analýzou pouhličeny. Vzorky byly analyzovány ve formě nábrusů.

c) **UV/VIS spektrofotometrie - analýza obsahu anionů vodorozpustných solí**
Popis analýzy: při analýze se zjišťuje absorbance (pohltivost) po průchodu světla vzorkem. Vlnová délka paprsku je 360-525 nm. Absorbance se přepočítává na molární koncentraci v mmol/kg a tzv. hmotnostní procento (hm.%). Pro vyhodnocení se využívá rakouská norma Onorm B3355-1 (Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk - Teil 1: Bauwerksdiagnose und Planungsgrundlagen), která klasifikuje koncentrace jednotlivých anionů výsledky a diskutuje je z hlediska možných rizik a následných opatření.
Instrumentace a podmínky měření: UV/VIS spektrofotometr Beckmann-Coulter DU-40 (Beckmann), 360-525 nm. Analýza byla provedena na odebraných vzorcích omítky a zdiva v různých výškových a hloubkových profilech východní a severozápadní stěny kaple. Vzorky byly analyzovány ve formě extraktů v destilované vodě.

d) **Vlákninové složení - identifikace vláken vlasů Krista**
Popis analýzy: Identifikace vláken se provádí několika analýzami. Vlákninové složení se provádí pomocí Herzbergovy vybarvovací zkoušky. Vzorky jsou rozvlákněny v destilované vodě a po vysušení zakápnuty Herzbergovým činidlem, zakryty krycím sklíčkem a pozorovány v optickém mikroskopu v procházejícím bílém světle. Identifikace složení vláken se provádí pomocí roztoku fluoroglucínu. Zkouška slouží pro identifikaci lnu, konopí a juty. Provádí se pomocí 2 % roztoku fluoroglucínu v etanolu, výsledky barevná změny jsou pozorovány pomocí stereomikroskopu. Stáčecí test je určen pro rozlišení lnu a konopí a je založen na jejich opačné orientaci vnitřní struktury vlákna. Vzorky vláken jsou ponořeny do destilované vody a sleduje se směr otáčení vlákna během vysoušení nad topným tělesem o teplotě 80°C. Po směru hodinových ručiček se otáčí len, proti směru hodinových ručiček se otáčí konopí.
Instrumentace a podmínky měření: Herzbergovo činidlo (roztok chloridu zinečnatého $ZnCl_2$, roztok I_2 v KI), roztok fluoroglucinu (2 % v ethanolu).

e) **Infračervená spektrometrie a mikroskopie s Fourierovou transformací (FT-IR) - analýza organických látek**
Popis analýzy: analýza slouží pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin, které jsou přítomny ve vrstvách např. v jeho pojivu. V menší míře se metoda používá pro analýzu anorganických látek nebo jiných materiálů. Měření je možné provádět na separovaných vrstvách/materiálech, FT-IR mikroskopie se provádí na nábrusech vzorky.
Instrumentace a podmínky měření: infračervený spektroskop Nicolet 380, Měření bylo provedeno technikou zeslabeného úplného odrazu (attenuated total reflection - ATR). K tomuto účelu je přístroj vybaven Zn-Se krystalem. Spektra byla naměřena v intervalu vlnočtů 400-4000 cm^{-1}, při rozlišení 4 cm^{-1}. Analytickým výstupem měření je infračervené spektrum.

f) **Petrografická analýza - rozbor vzorků štukových malt**
Popis analýzy: analýza slouží pro popis a charakterizaci štukových malt na základě petrografických charakteristik vzorku. Provádí se na výbrusovém preparátu připraveném zalitím do modré (kontrastní) epoxidové pryskyřice, který je studován v procházejícím světle polarizačním mikroskopem.
Instrumentace a podmínky měření: výbrusové preparáty byly připraveny ze vzorků štukových malt broušením a leštěním na sílu 30 µm. Výbrus byl studován v procházejícím světle pomocí polarizačního mikroskopu Olympus BX 51. Mikrofotodokumentace byla provedena fotoaparátem Canon EOS 40D. Fotografie byly editovány v software Adobe Photoshop CS6.

g) **Proteinová analýza - analýza proteinových přísad štuku a barevných úprav**

Popis analýzy: analýza slouží pro analýzu bílkovinných látek přítomných i ve stopových množstvích v materiálech.

Instrumentace a podmínky měření: Vzorky byly dvě hodiny štěpeny trypsinem, následně přečištěny a zahuštěny na reversní fázi C18 (Zip Tip). Poté byly analyzovány pomocí nanokapalinové chromatografie spojené s hmotnostním spektrometrem ESI-Q-TOF Maxis Impact. Peaklist ze změřených dat byl extrahován programem Data Analysis 4.1. Proteiny byly identifikovány za pomoci softwaru Mascot verze 2.2.04 vyhledáváním v proteinové databázi SwissProt, NCBInr a MS/MS přesností přiřazení hmotností peptidových štěpů 0,05 Da. Měření bylo provedeno Doc. Ing. Mgr. Štěpánkou Kučkovou, Ph.D. z Ústavu Biochemie a mikrobiologie z VŠCHT v Praze. Výsledky analýzy jsou uvedeny v *Příloze 4: Proteinová analýza.*

e) **Rentgenová prášková mikrodifrakce - byla použita pro měření fázového složení ztvrdlé vrstvy u vzorku V6/9886**

Popis analýzy: analýza slouží pro analýzu fázového složení látek v mikroměřítku.

Instrumentace a podmínky měření: Mikrodifrakční experimenty byly provedeny na přístroji PANalytical X'PertPRO vybaveném CoKα rentgenkou (napětí 40 kV, proud 30 mA). Pro zaměření přesného bodu se používá mikroskop, který je namontován na rameno goniometru místo detektoru. Difraktogramy byly snímány v úhlovém oboru 4 až 80 stupňů 2theta s krokem 0.0334° a dobou načítání 2200 sec/krok, což představuje typický měřicí čas 12 hodin. Naměřené difraktogramy byly vyhodnoceny pomocí programu HighScorePlus, verze 4.8.0 (Malvern PANalytical, Almelo, Nizozemí) srovnáním s databázovými údaji obsaženými. Měření bylo provedeno RNDr. Petrem Bezdičkou, Ph.D. z Ústavu Anorganické chemie (ÚANCH), AV ČR, v.v.i. Rentgenová prášková difrakce byla provedena i pro určení fázového složení vzorku V9 a V14 (druhotný tmel, solný výkvět). Analýzy byly provedeny ve spolupráci s Ing. Klárou Melánovou, Ph.D. z Fakulty chemické technologie, UPa. Výsledky rentgenové práškové analýzy jsou uvedeny v *Příloze 2 a 3.*

IV. VZORKY K ANALÝZE

Popis vzorků a míst odběru sumarizuje *Tab. 1*, detaily míst odběru jsou detailně zdokumentovány v *Restaurátorské dokumentaci*, orientačně označeny v *Obr. 2*. Detaily míst odběru jsou uvedeny v části *VII. Příloha - Dokumentace míst odběru vzorků.*

Ozn. vzorku	Popis	Místo odběru	Pozn.
V1/9881	inkarnát/barevné souvrství s červenou vrstvou	levý anděl, holeň levé nohy	doodběr V1A
V2/9882	modrá	levý anděl, levé křídlo	doodběr V2A
V3/9883	modro-zelená (tyrkysová)	pravý anděl, pravé křídlo	-
V4/9884	barevné souvrství s okrovou s hnědou	pravý anděl, drapérie na pravé ruce anděla	-
V5/9885	ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů	pozadí tympanonu	-
V5A/9933	inkarnát se ztmavlým povrchem	pravý anděl, pravá ruka	-
V6/9886	ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů	středový výjev epitafu, druhá figura zleva, kabátec staršího syna	-
V7/10032	opravná malta na cihlovém zdivu	zděný sokl pod erbem Rosiny z Vartemberka	-
V8/10033	štukové souvrství s černou barevnou úpravou	kalhoty staršího chlapce	-
V9/10034	tmel s vrstvami druhotných nátěrů	konec šály (pentle) Rosiny	porovnání s V13
V10/10035	souvrství jádrové a modelační omítky	pravá ruka anděla vlevo (pohledově), v místě defektu	porovnání s V3A
V11/10036	jádrová omítka s druhotnými nátěry	pahorek, v místě defektu	

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
IV. VZORKY K ANALÝZE

V12/10144	tmel na žulovém překladu	nad centrální částí (patrně původní?)	-
V13/10145	tmel	přilba	srovnání s V9
V14 (S1)/10146	výkvět	přilba, seškrab solných výkvětů na sekundárním doplňku	
V15/10171	tmel žuly s červenou barevnou úpravou a druhotný okrovým tmelem	tympanon, pravá část tmel žuly	
V16/10172	tmel žuly	tympanon, pravý roh, druhotný sádrový tmel?	
V17/10173	oranžové pozadí s vrstvou nečistot nebo přemalbou	pozadí Boha otce, levý dolní roh	
V18/10174	zelená	plášť Boha Otce	
V19/10175	červená	plášť/rouška Ježíše Krista	
V20/10176	šedo-oranžová	pozadí epitafu, vpravo od Ježíše Krista	srovnání s V5, V17,V21
V21/10177	oranžová	pozadí Boha Otce, vlevo	
V22/10178	vlákna	vlasy Ježíše Krista, světlá koudel se zbytky štuku s polychromií	
V23/10179	výplň písma	levá část nápisové desky	
V24 (S2)/10180	hloubkový vrt na stanovení obsahu vodorozpustných solí	přilba, doplněk	srovnání s V14
V3A/10037	bílá modelační vrstva štuku	pravá ruka anděla vlevo , v místě defektu	doodběr V10
V4A/10038	jádrová vrstva štuku	pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu	doodběr V10

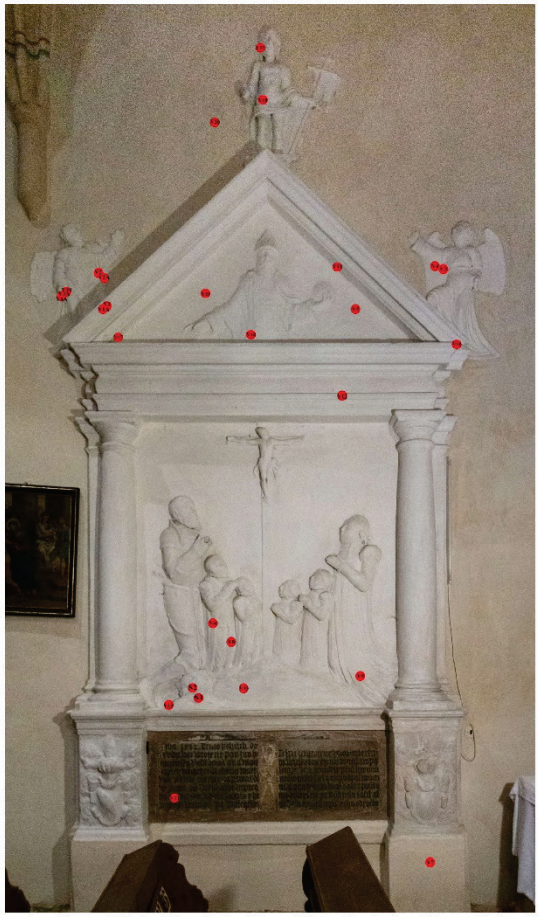
Tab. 1: Vzorky k chemicko-technologickému průzkumu. Popis vzorků a místa odběru. Místa odběru jsou zdokumentována v *Příloze 1 - Dokumentace míst odběru vzorků* umístěné na konci Chemicko-technologického průzkumu. Detail míst odběru a jejich popis je uveden v *Restaurátorské dokumentaci.*

Odběr vzorků: studenti pod odborným vedením pedagoga

Označení: vzorky barevných úprav byly označeny dle zadavatele V1-V24, část vzorků byla odebrána v průběhu odkryvu, část vzorků až v průběhu restaurování. Označení čísly vyplývá ze vzorkového systému Katedry chemické technologie, FR UPa, kde budou vzorky archivovány.

Popis vzorků: Vzorky povrchových úprav byly odebrány jako mikrovzorky souvrství podkladového štuku s barevnými/povrchovými úpravami. Vzorky štuku byly odebrány jako kusové vzorky, vzorky byly odebrány z míst s defektem štukové výzdoby. Pro analýzu vláknitého materiálu (V7) byl odebrán vzorek vlákna z vlasů Krista. Pro analýzu vodorozpustných solí byl odebrán vzorek výkvětu označený V14 (S1) seškrábaný z povrchu přilby Jana Hodějovského z Hodějova a vzorek V24 (S2) odebraný jako hloubkový vrt ze štukové omítky na pahorku pod křížem v centrální části výjevu (hl. 0,7-1 cm).

Popis vzorků, místa odběru poskytl zadavatel. Bližší specifikaci a dokumentaci míst odběru vzorků lze nalézt v *Restaurátorské dokumentaci.*

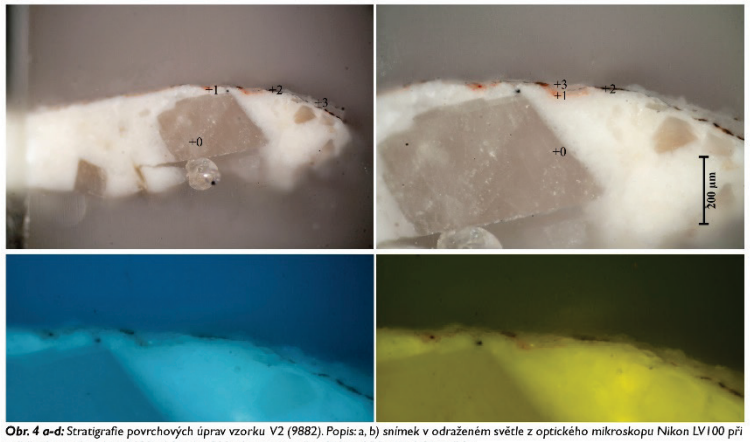


Obr. 2: Lokalizace míst odběru vzorků k chemicko-technologickému průzkumu. Detaily míst odběru vzorků jsou zdokumentovány v *Příloze 1*, detailní popis míst odběru je zdokumentován v *Restaurátorské dokumentaci*. Fotografie: V. Krajíček, grafické zpracování míst odběru vzorků: studenti FR, UPa.

V. VÝSLEDKY CHEMICKO-TECHNOLOGICKÉHO PRŮZKUMU - Analýza povrchových úprav

V1/9881: inkarnát/barevné souvrství s červenou vrstvou
Místo odběru vzorku: levý anděl, holeň levé nohy

Obr. 3 a, b: *Makrosnímek vzorku V1 (9881) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*

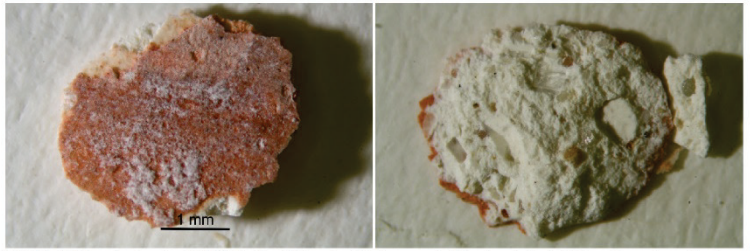


Obr. 4 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V2 (9882). Popis: a, b) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x (vlevo) a 200x (vpravo). c, d) snímky v UV a modrém světle.*

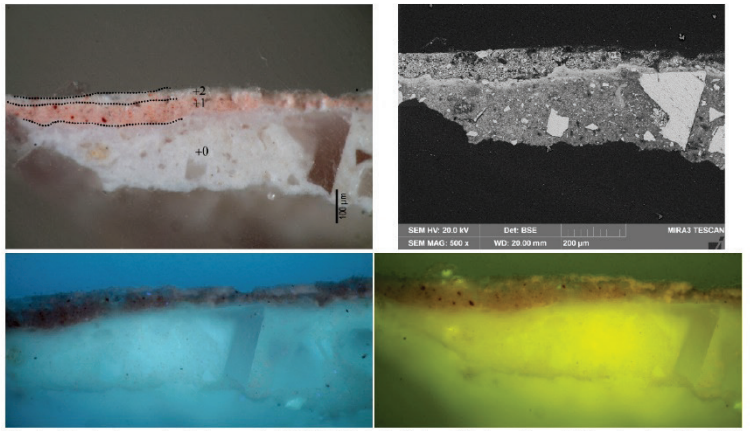
V1/9881: inkarnát/barevné souvrství s červenou vrstvou
Místo odběru vzorku: levý anděl, holeň levé nohy

V1 (9881)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad - vápenná omítka**	**matrice: Ca**, Mg, Na, Al, Si (obsah Mg v pojivu tvoří 23-35 at.%, z celkového podílu pojivových složek), obsah Si v pojivu 2,3-2,6 at.% Plnivo: Ca (Mg)	***podklad***; vápenná omítka s pojivem na bázi silně dolomitického vzdušného vápna. Obsah Mg v pojivu je nerovnoměrně distribuován a tvoří 23-35 % (z celkového podílu pojivových složek). Obsah Si sloučenin je nízký do 3 at.%. Ostrohranné plnivo tvoří patrně drcený mramor složený z kalcitu (nízký obsah Mg fází). Ostatní složky plniva jsou minoritně zastoupené a jsou blíže identifikovány petrografickou analýzou vzorků odebraných z podkladu V3A a V4A. Charakteristickou vlastností podkladové bílé štukové vrstvy je vysoký podíl pojivové složky, který převažuje nad obsahem plniva. Na povrchu omítky se vyskytuje více ztmelená vrstva, která je součástí podkladové omítky a mohla vzniknout úpravou povrchu (hlazením nebo kletováním).
1	**červená**	**Ca**, Mg, Si, Na, Al (S, Cl, K, Fe), obsah Mg v pojivu okolo 23 at.% (podobné složení pojiva jako v podkladu)	***barevná úprava se slabou žluto-zelenou fluorescencí***; velmi tenký nános barevné úpravy, tl. 5-10 μm, s pojivem na bázi vzdušného dolomitického vápna (složení vápenného pojiva přibližně odpovídá vrstvě podkladu). Červené pigmenty tvoří patrně hlinky, jiné barvící složky nebyly jednoznačně prokázány.
2	**černá**	**org., Ca**, Mg, Si, Na, Al (S, Cl, K, Fe), obsah Mg v pojivu okolo 23 at.% (podobné složení pojiva jako v podkladu)	***barevná úprava nebo nános propojený s vrstvou 1***; velmi tenký nesouvislý nános, tl. 5-10 μm, složením odpovídá vrstvě 1. Vrstva je obohacena složkami s obsahem uhlíku, které částečně pochází z černých zrn uhlíkatého pigmentu (ohraničené částice jsou patrné na snímku z optického mikroskopu), nelze však ani vyloučit, že uhlíkaté složky pochází také z organické složky pojiva vrstvy.
3, 4	**bílá**	**matrice: Ca**, Mg, Si (Na, P, S, Cl, K), obsah Mg v pojivu tvoří 23-25 at.%	***vápenný nátěr bez fluorescence***; patrně dva nánosy vápenného překryvného nátěru. Pojivo nátěru je dolomitické vzdušné vápno (obsah Mg v pojivu tvoří okolo 25 at.%).

V1A/9931: inkarnát/barevné souvrství s červenou úpravou (doplňující odběr vzorku V1)
Místo odběru vzorku: levý anděl, holeň levé nohy, v místě V1



Obr. 5 a, b: *Makrosnímek vzorku V1A (9931) z lícové (a) a rubové (b) strany vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x. Na povrchu vzorku se nachází zbytky překryvných bílých nátěrů, které nejsou předmětem analýzy.*

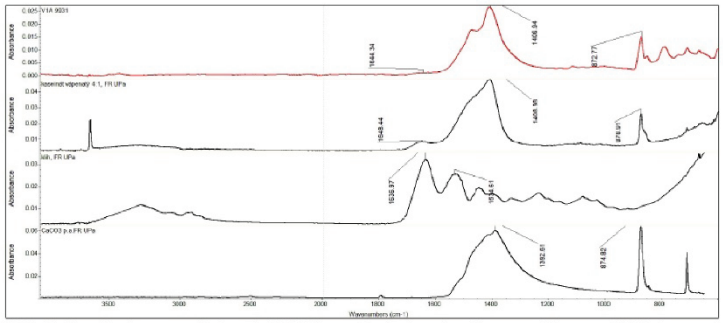


Obr. 6 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V1A (9931). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

V1A/9931: inkarnát/barevné souvrství s červenou úpravou (doplňující odběr vzorku V1)
Místo odběru vzorku: levý anděl, holeň levé nohy, v místě V1

V1A/9931	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad - štuk**	matrice: Ca, Mg, Si (Al), poměr Ca/Mg (4,5/1-2,2/1), obsah Si kolísavý 8-12 % (vztaženo na pojivové složky) plnivo: Ca	***podklad***; vápenná omítka s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Mg v pojivu je kolísavý, 18-26 at. %. Pojivová matrice je středně homogenní; pojivo obsahuje drobné i větší závalky pojiva a nehomogenity. Plnivo tvoří karbonátová hornina (vápenec, spíše mramor), částice se vyznačují výrazně ostrohranným tvarem, který je jasnou indicií pro drcení. Ostatní částice plniva jsou minoritně zastoupené. Zrna plniva jsou vytříděná s maximální velikostí okolo 500 μm, v plnivu jsou dále zastoupeny velmi jemné až prachové částice s velikostí 50-100 μm. U povrchu omítky je patrný světlý lem, který je propojený se spodními vrstvami omítky (viz. snímek SEM), povrch omítky je uhlazený. Vrstva obsahuje drobné částice karbonátového plniva, pojivo se vyznačuje stejným složením jako má vrstva spodní omítky, pouze obsahuje nižší obsah Mg v pojivu (ca 14-18 at. %). Patrně se jedná o zkarbonatovanou vrstvu/povrch omítky. Vzhledem k tloušťce vrstvy i charakteru povrchu mohla vzniknout po povrchové úpravě omítky hlazením štuku nebo jiným zpracováním povrchu. Na povrchu omítky je viditelné výrazné rozhraní a trhlina, bez nečistot.
1	**růžová**	**org., Ca**, Mg, Si (Fe, S)	***barevná úprava s nezřetelnou nažloutlou fluorescencí***; tl. 80-100 μm, provedená *al secco* s pojivem na bázi vzdušného dolomitického vápna (složení vápenného pojiva přibližně odpovídá podkladu). Červené pigmenty tvoří směs červené hlinky a červeného organického barviva neznámého složení (výrazná sytě červená zrna ve vrstvě).
2	**bílá až sv. růžová**	**org., Ca**, Mg, Si (Fe, S) Obsahuje ojedinělé ostrohranné jemnozrnné částice plniva: Ca	***barevná úprava s nažloutlou fluorescencí***; vrstva propojená s růžovou vrstvou se vyznačuje podobným složením. Obsahuje dolomitické vápenné pojivo (s nižším obsahem Mg okolo 9,5 at. %), ale vyšším obsah organických složek (dle fluorescence, která je na povrchu výraznější). Červené pigmenty jsou ve vrstvě zastoupeny ojediněle, z prvkového spektra lze říci, že použité pigmenty odpovídají vrstvě 1. Kromě pojiva obsahuje vrstva jemnozrnné částice Ca, ve vrstvě jsou dále patrné ojedinělé částice fosilií, které pochází z použitého vápna? nebo příměsi křídy (méně pravděpodobná varianta). Analýza organických složek provedená analýzou FT-IR identifikovala příměs proteinů (viz. *FT-IR2*), proteinová analýza (viz. Příloha 1) přítomnost kolagenních proteinů.

FT-IR analýza vrstvy 1, 2: Měření bylo provedeno z povrchu vzorku dle postupu, který uvádí metodická část.



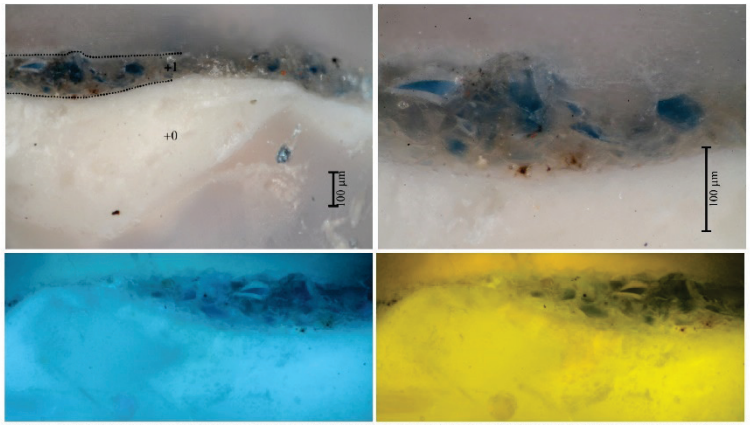
FT-IR 1: Infračervené spektrum vrstvy 1 a 2 vzorku V1A/9931 a srovnávací spektra vybraných anorganických a organických látek.

Vyhodnocení FT-IR analýzy: Nejvýraznější pás vrstvy inkarnátu vzorku V1A/9931 leží v oblasti 1411 cm^{-1}, který je typický pro uhličitany. K nim dále přísluší pásy s maximem v 870 a 715 cm^{-1}. Pro identifikaci organických složek je zásadní pás v oblasti 1648 cm^{-1}, který indikuje přítomnost proteinů s amino skupinou, tzv. amid I. Pás amidu II, který je také přítomen v proteinech, je částečně překryt širokým pásem uhličitanu, který je ale pásem amidu II rozšířen. **Pojivem barevné vrstvy je na základě měření pravděpodobně vápno modifikované proteinem, kterým může být kasein, ale i např. klih nebo méně pravděpodobně vaječný bílek.**

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V2/9882: modrá
Místo odběru vzorku: levý anděl, levé křídlo

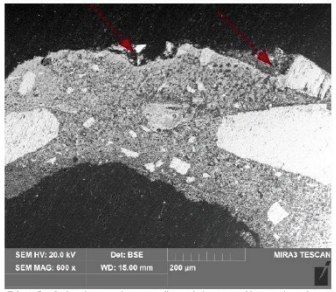
Obr. 7 a, b: *Makrosnímek vzorku V2 (9882) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 3x.*



Obr. 8 a–d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V2 (9882). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x (vlevo) a 500x (vpravo). c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

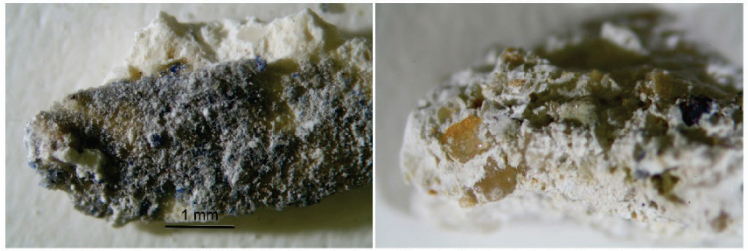
V2/9882: modrá
Místo odběru vzorku: levý anděl, levé křídlo

V2 (9882)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**omítka-podklad**	složení viz. vrstva 1 (vzorek V1), poměr Ca/Mg v pojivu 1,5/1	***podklad***; vápenná omítka s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Mg v pojivu je vysoký. Pojivová matrice je středně homogenní; pojivo obsahuje drobné i větší závalky pojiva a nehomogenity. Plnivo tvoří karbonátová hornina (vápenec, spíše mramor), částice se vyznačují výrazně ostrohranným tvarem částic, který je jasnou indicií pro drcení. Ostatní částice plniva jsou minoritně zastoupené a byly blíže identifikovány petrografickou analýzou vzorků odebraných ze štukového podkladu V3A a V4A.
1	**modro-šedá**	**org., Ca**, Mg, Si, Al, S, Cl, K (Fe, S), poměr Ca/Mg (2/1) zrna smalt: Si, K, Mg, Al, Ca, Fe (Co, Na) poměr Ca/Mg (2/1)	***barevná úprava se slabou nažloutlou fluorescencí***; provedená vápennou technikou *al secco*. Od podkladu je barevná úprava oddělena rozhraním bez přítomnosti jiné mezivrstvy. Pojivo vrstvy obsahuje silně dolomitické vápno, jehož složení přibližně odpovídá podkladu. Modrý pigment je smalt, další minoritně zastoupené příměsi tvoří červená a žlutá hlinka a patrně jemnozrnná uhlíkatá čerň.

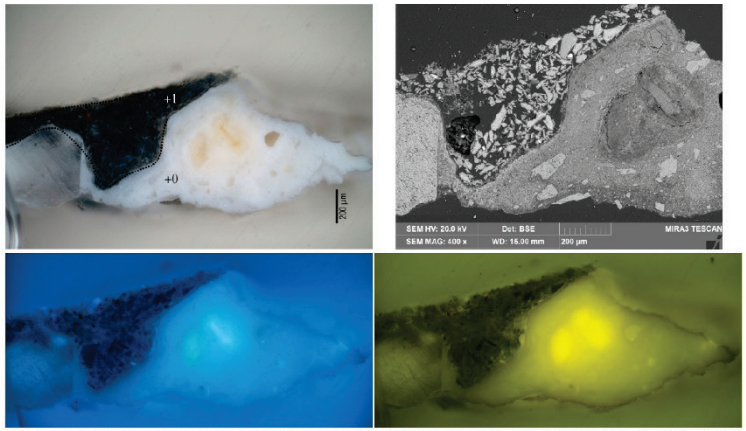


Obr. 9: *Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV. Červeně je označena nesouvisle dochovaná modrá vrstva se smaltem.*

V2A/9932: modro-šedá (doplňující odběr vzorku V2)
Místo odběru vzorku: levý anděl, levé křídlo



Obr. 10 a-b: *Makrosnímek vzorku V2A (9932) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*

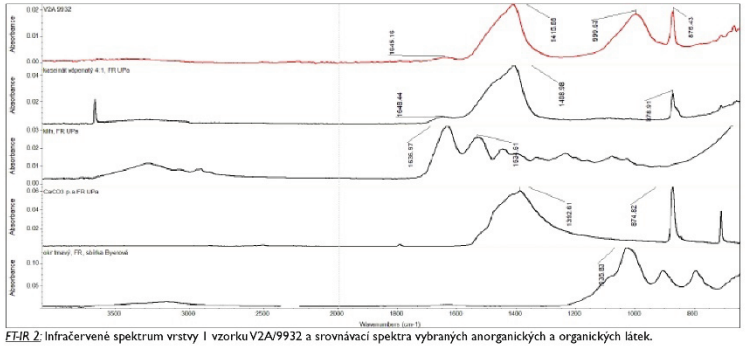


Obr. 11 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V2A (9932). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

V2A/9932: modro-šedá, levý anděl (doplňující odběr vzorku V2)
Místo odběru vzorku: křídlo, tympanon, v místě V2

V2A/9932	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**podklad - štuk**	matrice: Ca, Mg, Si (Al), poměr Ca/Mg (2,5/1), obsah Si zanedbatelně mírně zvýšený 4,1-7,5 % (vztaženo na pojivové složky) plnivo: Ca závalky s obsahem hlinitokřemičitanů: Si, Mg, Ca, Al, Cl (Ti, Fe), uprostřed vměstku: Mg, Ca, Si (Mg/Ca 1/1)	***podklad***: vápenná omítka s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Mg v pojivu dosahuje v matrici okolo 19 at.%. Pojivová matrice je středně homogenní; pojivo obsahuje drobné závalky pojiva, vměstky částic pojiva se zvýšeným obsahem křemičitanů nebo hlinitokřemičitanů. Plnivo tvoří dominantně klasty karbonátů (vápenec, spíše mramor), který se vyznačuje výrazně ostrohranným tvarem částic, který může být indikací pro drcení. Ostatní částice plniva jsou minoritně zastoupené. U povrchu omítky je patrný světlý lem, který je propojený se spodními vrstvami omítky (viz. snímek SEM). Vrstva má stejné složení jako vrstva spodní omítky a patrně se jedná o zkarbonatovanou vrstvu/povrch. Na povrchu omítky je viditelné výrazné rozhraní a trhlina, které oddělují barevnou úpravu od podkladu. Na povrchu nejsou vidět nečistoty.
1	**šedo-modrá**	org., Si, As, Al, K, Ca, Mg, Fe, (Co, Na) zrno smalt: Si, K, As, Al, Ca (Fe, Co, Na)	***barevná se slabou nažloutlou fluorescencí***: vrstva provedená *al secco* na podklad bez jiné mezivrstvy. Modrý pigment tvoří smalt, další barvicí složky tvoří patrně jemnozrnná uhlikatá čerň. Z ostatních minoritně zastoupených složek jsou přítomny uhličitan vápenatý s příměsí uhličitanu hořečnatého (u vzorku je vápenného pojiva velmi málo, pro analýzu pojiva viz. vzorek V2). Analýza organických složek provedená analýzou FT-IR identifikovala příměs proteinů (viz. *FT-IR2*).

FT-IR analýza vrstvy 1: Měření bylo provedeno z povrchu vzorku dle postupu, který uvádí metodická část.



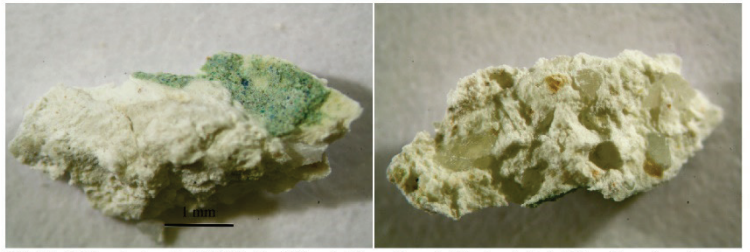
FT-IR 2: Infračervené spektrum vrstvy 1 vzorku V2A/9932 a srovnávací spektra vybraných anorganických a organických látek.

Vyhodnocení FT-IR analýzy: Barevná vrstva vzorku V2A/9932 se vyznačovala identickým složením jako vrstva inkarnátu vzorku V1A (viz. FT-IR 1). Nejvýraznější pás ležící v oblasti 1411 cm^{-1} (870 a 715 cm^{-1}) přísluší uhličitanu vápenatému. Další složky barevné vrstvy tvoří proteiny, pro jejichž identifikaci je zásadní pás s maximem v 1648 cm^{-1} (amid I). Pás amidu II, který je také přítomen v proteinech, je částečně překryt širokým pásem uhličitanu, který je ale pásem amidu II rozšířen. Ve vrstvě je dále přítomen pás s maximem okolo 1005 cm^{-1}, který indikuje přítomnost hlinitokřemičitanů.

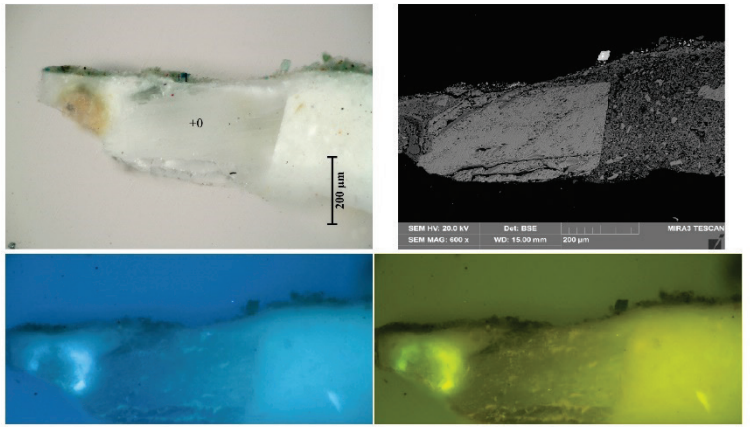
Pojivem barevné je na základě měření pravděpodobně vápno modifikované proteinem, kterým může být kasein, ale i např. klih nebo méně pravděpodobně vaječný bílek. Pojivo barevné vrstvy odpovídá složení inkarnátu vzorku V1A.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V3/9883: zeleno-modrá (tyrkysová)
Místo odběru vzorku: pravý anděl, pravé křídlo



Obr. 12 a, b: *Makrosnímek vzorku V3 (9883) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*

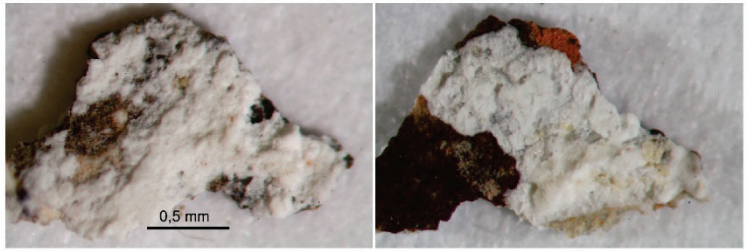


Obr. 13 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V3 (9883). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

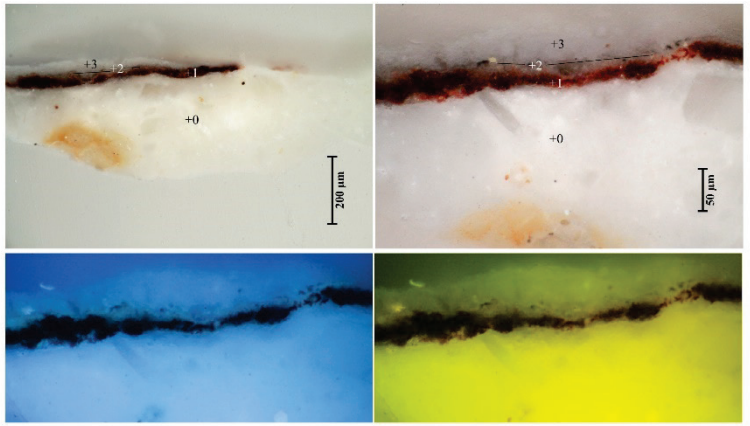
V3/9883: zeleno-modrá (tyrkysová)
Místo odběru vzorku: pravý anděl, pravé křídlo

V3 (9883)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad-štuk**	matrice: Ca, Mg, Si (Al), poměr Ca/Mg (1,5/1-2/1), obsah Si kolísavý (2-7,3 %) (vztaženo na pojivové složky) plnivo: Ca reaktivní částice: Mg, Si (Ca, Al, Na, K), vnitřní část obsahuje více Mg. závalek pojiva nebo nedopal: Ca, Mg (Si), Ca/Mg (1,5/1)	***podklad***: vápenná omítka s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Mg v pojivu je vysoký 30-40 at.%. Plnivo tvoří dominantně klasty karbonátů (vápenec, spíše mramor) s výrazně ostrohranným tvarem částic, který může být indikací pro drcení. Na snímku SEM je patrná přítomnost reaktivních částic s obsahem křemičitanů hořečnatých. U povrchu omítky je patrný světlý lem, který je propojený se spodními vrstvami omítky (viz. snímek SEM). Vrstva má stejné složení jako vrstva spodní omítky a patrně se jedná o zkarbonatovanou vrstvu/povrch. Na povrchu omítky je viditelné výrazné rozhraní, které odděluje barevnou úpravu od podkladu. Na povrchu nejsou vidět nečistoty.
1	**modro-zelená, tyrkysová**	Si, Ca, Mg, Cu, Al, S, K (Cl, Ba), poměr Ca/Mg (1/1) zelené zrno - malachit: Cu, Mg, Ca, Si, S modré zrno - azurit: Cu (Ca, Mg)	***barevná úprava bez viditelné fluorescence***: vrstva nanesená na povrch štukové omítky *al secco* s pojivem na bázi silně dolomitického vápna, poměr Ca/Mg (až 1/1). Hlavní barvicí složky tvoří směs zeleného malachitu s příměsí modrého azuritu. Nelze vyloučit, že byl použit jediný pigment, u kterého došlo k částečné barevné alteraci (zelená zrna obsahují zvýšený obsah síry, která indikuje možnou přeměnu na síran měďnatý). Kromě těchto pigmentů byly jako příměsi použity žlutá hlinka a možná je příměs barytu (přírodní varianta), který by mohl být přirozenou příměsí měďnatých pigmentů.

V4/9884: barevné souvrství s okrovou a hnědou
Místo odběru vzorku: pravý anděl, pravá ruka, drapérie



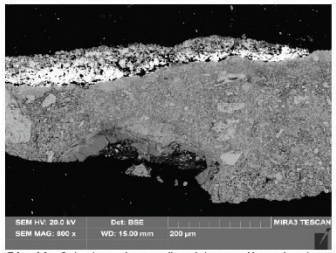
Obr. 14 a, b: *Makrosnímek vzorku V4 (9884) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 5x.*



Obr. 15 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V4 (9884). Popis: a, b) snímky v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x (vlevo) a 200x (vpravo). c, d) snímky v UV a modrém světle.*

V4/9884: barevné souvrství s okrovou a hnědou
Místo odběru vzorku: pravý anděl, pravá ruka, drapérie

V4 (9884)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad - štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, Mg, Si (Na, Cl, Al), poměr Ca/Mg (1,5/1-2/1), obsah Si kolísavý (2-7,3 %) (vztaženo na pojivové složky) plnivo: Ca	***podklad***; složení podkladové vrstvy odpovídá ostatním vzorkům, pojivem je silně dolomitické vápno. Ve vrstvě je ojediněle zastoupeno plnivo, které tvoří převážně karbonátové částice.
1, 2?	**hnědo-červená na povrchu nezřetelná nažloutlá**	celkové spektrum: **Pb**, Ca, Mg (Si, Al) zrno-červené minium: Pb zrno-hlinka: Si, Al, K (Fe, Ca, Mg, Pb - z okolí)	***barevná úprava bez viditelné fluorescence***; parně dva nánosy barevné úpravy (vzájemně propojené). Povrchový nános je velmi tenký, nesouvislý. Oba nánosy se vyskytují podobným složením - pojivem vrstvy je středně dolomitické vápno, hlavní barvicí složkou vrstvy červené minium (nelze vyloučit ani použití olovnaté běloby), červená a hnědo-červená hlinka. Na optickém mikroskopu jsou v povrchovém nánosu viditelná ojedinělá zrna žlutého pigmentu s obsahem olova (patrně masikot) a ojediněle částice jemnozrnného uhlíkatého pigmentu.
3	**bílá**	celkové spektrum: **Ca**, Mg (Si), obsah Mg tvoří okolo 25 at.%, obsah Si je zanedbatelně nízký (vztaženo na pojivové složky)	***vápenný nátěr, s bílo-modrou fluorescencí***; vápenný nátěr bez plniva s pojivem na bázi středně dolomitického vápna.



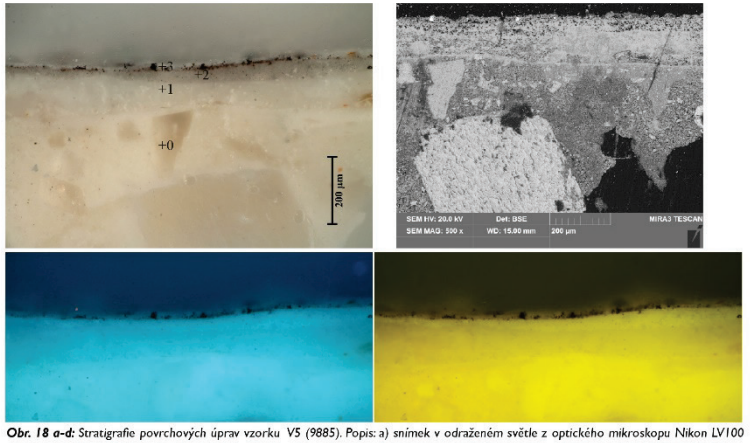
Obr. 16: *Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V5/9885: ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů
Místo odběru vzorku: pozadí tympanonu

Obr. 17 a, b: *Makrosnímek vzorku V5 (9885) z lícové (a) a rubové strany vzorku (b). Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 18 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V5 (9885). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

V5/9885: ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů
Místo odběru vzorku: pozadí tympanonu

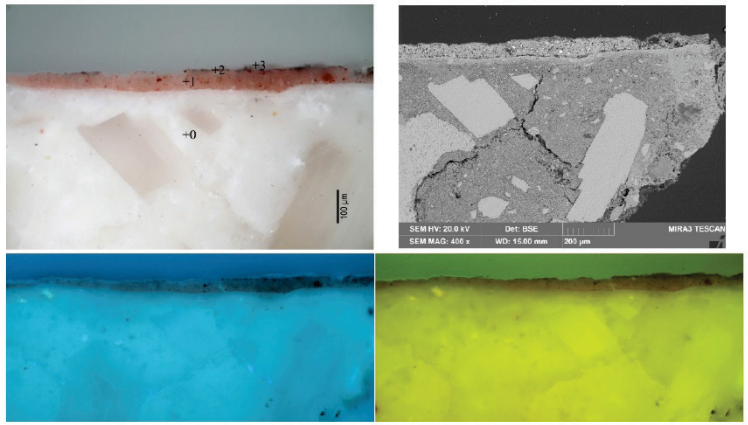
V5 (9885)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad - štuk**	**matrice: Ca**, Mg, Si, Al (Cl, S), obsah Mg v pojivu je nehomogenní 7-20 at.%, Si (1-11 at.%) plnivo: Ca	***podklad***: vápenná omítka s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Si v pojivu je nehomogenní 1-11 % (at., z celkového podílu pojivových složek). Plnivo tvoří ostrohranné částice karbonátové horniny (vápence, spíše mramoru) na bázi kalcitu. Další součásti plniva jsou lépe charakterizovány petrografickou analýzou vzorků maltovin V3A a V4A. Na povrchu podkladu se vyskytuje výrazné rozhraní tvořené zkarbonatovanou méně porézní vrstvou pojiva (viz. snímek SEM).
1	**bílá**	**Ca**, Mg, Si, Al, obsah Mg tvoří okolo 8-9 at.%	***vápenný nátěr, namodralou fluorescencí***: nátěr s pojivem na bázi slabě nebo středně dolomitického vápna. Neobsahuje pigment.
2	**bílá až sv. šedá**	**Ca**, Mg, Si, Al, obsah Mg tvoří okolo 10 at.%	***vápenný nátěr, s namodralou fluorescencí***: nátěr s pojivem na bázi slabě nebo středně dolomitického vápna. Ojedinělou součástí vrstvy jsou drobné částice uhlíkaté černi.
3	**šedo-černá s červenými zrny**	**Ca,** Si, Al, Mg, Fe, (Cl, S), obah Mg tvoří okolo 7-10 at.% zářivá zrna - železitá červeň: Fe, Ca, Si, Al, Mg (S, Cl)	***barevná úprava, bez viditelné fluorescence***; s pojivem na bázi vzdušného slabě dolomitického vápna. Barvící složky tvoří jemnozrnný uhlíkatý pigment a směs červené hlinky s příměsí železité červeně. Ve vrstvě se vyskytují složky s obsahem chloru (Cl) a síry (S), které mohou být příčinou ztvrdnutí povrchové vrstvy. Přesnější vyhodnocení složení ztvrdlé vrstvy byl proveden u vzorku V6.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V5A/9933: inkarnát/barevné souvrství s červenou barevnou úpravou se ztmavlým povrchem
Místo odběru vzorku: pravý anděl, pravá ruka

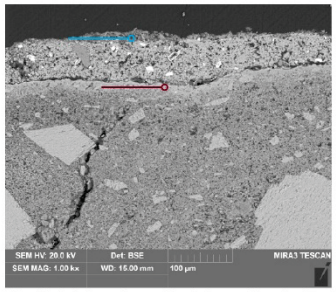
Obr. 19 a, b: *Makrosnímek vzorku V5A (9933) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 20 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V5A (9933). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

V5A/9933: inkarnát/barevné souvrství s červenou barevnou úpravou se ztmavlým povrchem
Místo odběru vzorku: pravý anděl, pravá ruka

V5A/9933	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**podklad - štuk**	matrice: Ca, Mg, Si (Al), poměr Ca/Mg (4,5/1-2,5/1), obsah Si zanedbatelné nízký do 1,9 % (vztaženo na pojivové složky) Plnivo: Ca	***podklad***; vápenná omítka s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Mg v pojivu je kolísavý, 18-28 at. %. Pojivová matrice je středně homogenní; pojivo obsahuje drobné závalky pojiva, na snímku SEM je viditelná přítomnost makrotrhlin. Plnivo tvoří dominantně karbonátové klasty (vápenec, spíše mramor), který se vyznačuje výrazně ostrohranným tvarem částic, který může být indikací pro drcení. Ostatní částice plniva jsou minoritně zastoupené. Zrna plniva jsou vytříděná s maximální velikostí okolo 650 μm, střední velikost částic se pohybuje okolo 250-350 μm, v plnivu jsou dále zastoupeny velmi jemné až prachové částice s velikostí 50-100 μm. U povrchu omítky je patrný světlý lem (viditelný na snímku SEM), který je propojený se spodními vrstvami omítky. Vrstva má stejné složení jako vrstva spodní omítky a patrně se jedná o zkarbonatovanou vrstvu/povrch. Vzhledem k tloušťce vrstvy mohla vzniknout po povrchové úpravě omítky hlazením štuku nebo jinou úpravou povrchu. Na povrchu omítky je viditelně výrazné rozhraní a trhlina, které oddělují barevnou úpravu od podkladu. Na příčném řezu však nejsou vidět nečistoty.
1	**růžová**	**Ca**, Mg, Si, Al, Pb (K, Fe) zrna minium: Pb (Ca, Mg, Si z pojiva) zrno křemen (nečistota): Si Obsah Mg je oproti vrstvě podkladu nízký (3-7 %), ojedinělé závalky pojiva 8 % (Mg)	***barevná úprava se slabou nažloutlou fluorescencí***; tl. 80-100 μm, provedená *al secco* s pojivem na bázi vzdušného dolomitického vápna (složení vápenného pojiva odpovídá vrstvě podkladu) modifikovaného organickou příměsí. Červené pigmenty tvoří směs červené hlinky a minia (minoritní složka). Vrstva obsahuje ojedinělá drobná zrna křemene, která jsou nejspíše znečišťující příměsí.
2	**šedo-černá**	**org., Ca**, Mg, Al (S, Fe, K, stopy Pb) poměr Ca/Mg (3/1)	***barevná úprava nebo alterace povrchu, s nažloutlou fluorescencí***; tenká vrstva tl. okolo 10 μm propojená s růžovou vrstvou. Obsahuje vápenné pojivo a složky obsahující uhlík pocházející z organické složky pojiva (dle fluorescence, která je na povrchu výraznější) a/nebo jiných složek s obsahem uhlíku (jemnozrnná uhlíkatá čerň nebo saze). Vrstva obsahuje malou příměs hlinek, ale neobsahuje olovnaté pigmenty, které by mohly být příčinou černání povrchu. Z těchto důvodů lze usuzovat na barevnou úpravu a nikoliv alteraci povrchu.



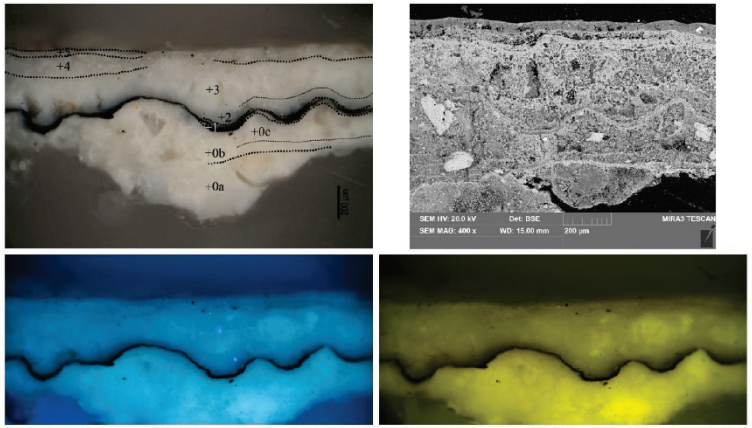
Obr. 21: *Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV, detail povrchu. Na snímku je dobře patrná světlá vrstva zkarbonatovaného povrchu štuku (označeno červeně), i propojení povrchových vrstev 1 a 2 (modře).*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V6/9886: ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů
Místo odběru vzorku: středový výjev epitafu, druhá figura zleva, kabátec staršího syna

Obr. 22 a, b: *Makrosnímek vzorku V6 (9886) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 23 a–d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V6 (9886). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

V6/9886: ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů
Místo odběru vzorku: středový výjev epitafu, druhá figura zleva, kabátec staršího syna

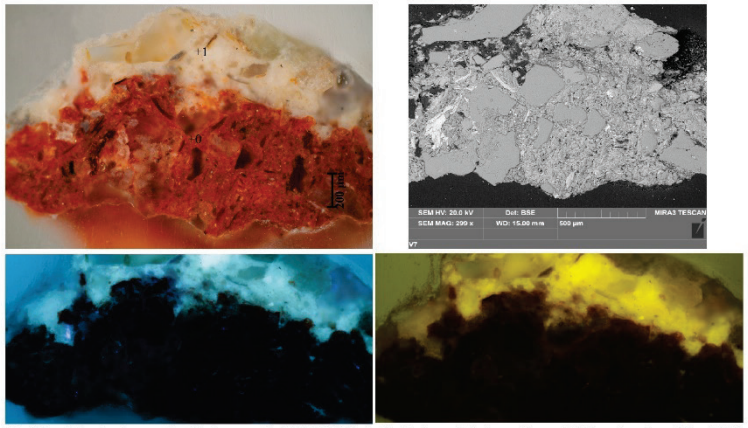
V6 (9886)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0a-c	**podklad - vápenná omítka**	**matrice: Ca**, Mg, Si, Al (Cl, S), poměr Ca/Mg nerovnoměrný (1/1 až 1/1,5) obsah Si (2,5-5,5 %, vztaženo na celkový obsah pojivových složek) plnivo: Ca jiné ohraničené zrno (zá-valek nebo nedopal?): Ca, Mg, Si (Al, S), poměr Ca/Mg ca 1/1	***podklad***: vápenná omítka provedená v několika nánosech nebo úpravách s pojivem na bázi vzdušného silně dolomitického vápna. Obsah Si v pojivu tvoří okolo 2,5-5,5 % (at., z celkového podílu pojivových složek). Plnivo je ve vrstvách podkladu zastoupeno ojediněle; tvoří jej ostrohranné částice karbonátové horniny (vápence, spíše marmoru) na bázi kalcitu. Jiné částice plniva tvoří ojedinělá zrna dolomitického vápence, která mohou být nedopalem karbonátové horniny užité pro přípravu pojiva nebo závalkem nerozmíchaného pojiva. Další součásti plniva jsou lépe charakterizovány petrografickou analýzou vzorků maltovin V3A a V4A. V podkladové vrstvě je patrné vrstvení (slabá rozhraní mezi nánosy), což může indikovat postupné nanášení nebo dotváření vrstvy podkladu v průběhu zpracování. Na povrchu omítky se vyskytuje nevýrazné rozhraní tvořené zkarbonatovanou méně porézní vrstvou pojiva.
1	**hnědo-černá**	**Mg, Ca**, Si, Al, Fe, K (Cl, Na, S, P), obsah Mg (43 %), obsah Ca (28 %), oblasti s vyšším obsahem hlinek: Si, Al, Mg, K, Ca, Fe (Mg a Ca patrně pochází z pojiva)	***barevná úprava bez viditelné fluorescence***; provedená vápennou technikou s pojivem na bázi silně dolomitického vápna s příměsí kolagenních proteinů (analýza pojiva viz *Příloha I - Výsledky proteinové analýzy*). Obsah Mg v pojivu tvoří okolo 43 % (at.), oproti Ca 28 % (at.). Barvící složky tvoří velmi jemnozrnné hlínky bez bližší možnosti dalšího rozlišení (pigment je velmi jemný, bez možnosti odlišení jednotlivých zrn). Součást barvících složek tvoří patrně jemnozrnná uhlíkatá čerň, vzhledem k obsahu P ve vrstvě nelze vyloučit ani užití kostní černě. Na povrchu vrstvy se vyskytuje rozhraní.
2, 3	**bílá** (na základě sdělení restaurátorů vysoce pevná a tvrdá)	**Ca**, Mg, Si, Al (S, Cl), at. poměr Ca/Mg odpovídá ca (2:1)	***vrstva vápenného nátěru***; možná dva nánosy oddělené nezřetelným rozhraním. Pojivem obou vrstev je silně dolomitické vápno. Na povrchu výrazné rozhraní. Souvrství neobsahuje plnivo. Směrem k povrchu se snižuje porozita vrstvy. Práškovou rentgenovou difrakční analýzou byly ve vrstvě prokázány fáze pocházející z karbonatace dolomitického vápna, kalcit $CaCO_3$ a hydromagnesit $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.4(H_2O)$, viz. *Příloha VIII.* - Rentgenová prášková mikrodifrakce
4	**bílá** (na základě sdělení restaurátorů vysoce pevná a tvrdá)	**Ca**, Mg, Si, Al (S, Cl), at. poměr Ca/Mg odpovídá ca (2:1)	***vrstva vápenného nátěru***; nános tl. okolo 50 µm. Pojivem nátěru je silně dolomitické vápno. Vrstva neobsahuje plnivo. Práškovou rentgenovou difrakční analýzou byly ve vrstvě prokázány fáze pocházející z karbonatace dolomitického vápna, kalcit $CaCO_3$ a hydromagnesit $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.4(H_2O)$, viz. *Příloha VIII.* - Rentgenová prášková mikro-difrakce
5	**bílá** (na základě sdělení restaurátorů vysoce pevná a tvrdá)	**Mg**, Ca, (Cl, Si S), obsah Mg v pojivu tvoří ca 65 %, Ca (30 %)	***vrstva vápenného nátěru***; s výrazným obsahem Mg fází. Vrstva je vysoce kompaktní. Vrstva neobsahuje plnivo. Práškovou rentgenovou difrakční analýzou byly ve vrstvě prokázány jen fáze pocházející z karbonatace dolomitického vápna, kalcit $CaCO_3$ a hydromagnesit $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.4(H_2O)$, které mohou ovlivňovat tvrdost povrchu.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V7/10032: opravná malta na cihlovém zdivu
Místo odběru vzorku: zděný sokl pod erbem Rosiny z Vartenberka

Obr. 24 a, b: *Makrosnímek vzorku V7 (10032) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1,5x. Červená vrstva je cihlový podklad.*

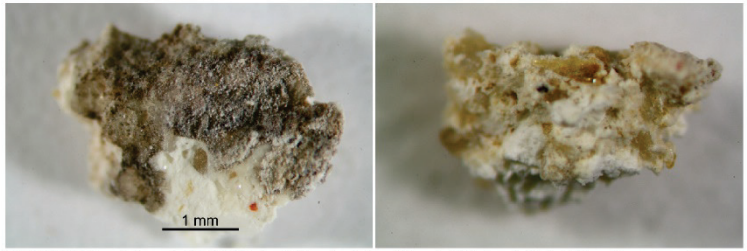


Obr. 25 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V7 (10032). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

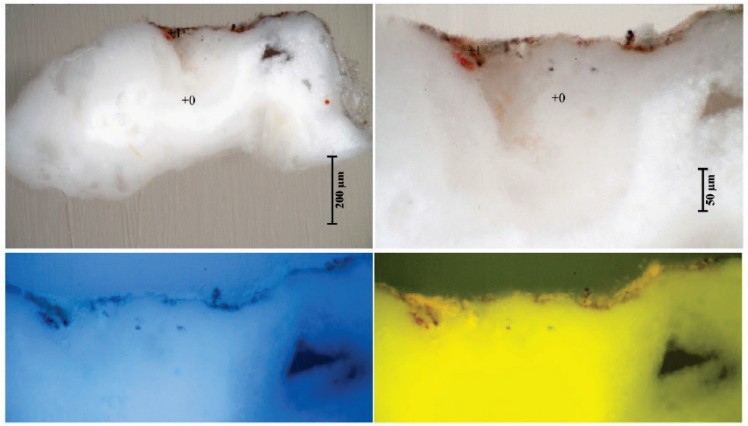
V7/10032: opravná malta na cihlovém zdivu
Místo odběru vzorku: zděný sokl pod erbem Rosiny z Vartenberka

V7 (10032)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad - cihla**	Si, Al, K, Fe, Mg, a (Na), lokálně oblasti s vyšším obsahem Fe, částice ostřiva: Si	***cihlový podklad***: hlavní složky tvoří hlinitokemičitany s obsahem oxidů železa, uhličitan vápenatý. Ostřivo cihel tvoří oxid křemičitý. Cihla je spíše méně porézní.
1	**omítka - novodobá oprava**	**matrice: Ca**, Si, Al, Mg (Fe, K, S, P), obsah Mg je pouze mírně zvýšený a tvoří okolo 5-8 % (at., vztaženo na ostatní složky pojiva), obsah Si tvoří 7-8, místy až 15 %, vztaženo na celkový obsah pojivových složek) zrno plniva - křemen: **Si** zrno plniva - živec: **Si**, Al, K (Na) zrno plniva - slída: Si, Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti	***opravná omítka***: vápenná omítka s pojivem na bázi slabě hydraulického vápna, nelze vyloučit ani směs bílého vzdušného vápna a hydraulické maltoviny (obsah cementu nelze potvrdit, v matrici nebyly nalezeny slínky). Pojivová matrice je značně nehomogenní s přítomností drobných oválných makropórů. Plnivo malty tvoří středně vytříděný písek složený převážně z klastů křemene (transparentní zrna) a hlinitokřemičitanů. Velikost zrn lze ze vzorku určit jen orientačně - ve vrstvě maltoviny dosahuje max. 2 mm. Zrna písku jsou částečně zaoblená až zaoblená.

V8/10033: štukové souvrství s černou barevnou úpravou
Místo odběru vzorku: centrální výjev, kalhoty staršího chlapce



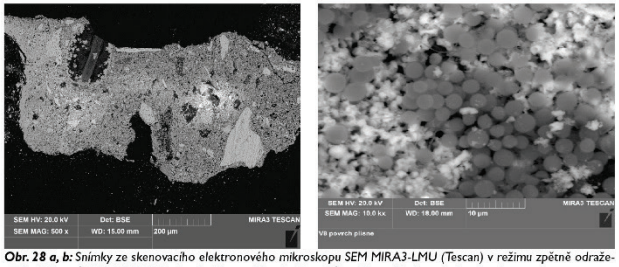
Obr. 26 a-b: *Makrosnímek vzorku V8 (10033) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 27 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V8 (10033). Popis: a, b) snímky v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x (vlevo) a 500x (vpravo). c, d) snímky v UV a modrém světle.*

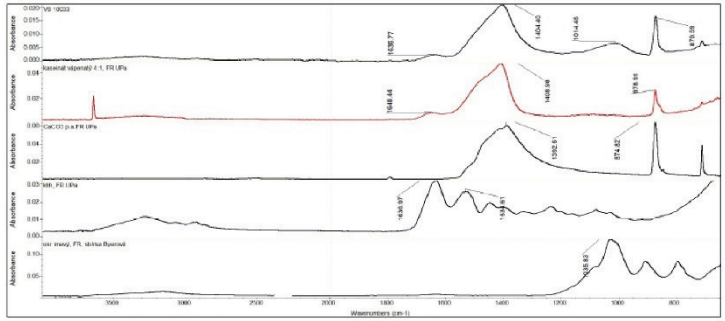
V8/10033: štukové souvrství s černou barevnou úpravou
Místo odběru vzorku: centrální výjev, kalhoty staršího chlapce

V8 (10033)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**podklad - štuková omítka**	**matrice: Ca**, Mg, Si (Al, Na, Cl)	***podklad***; složení podkladové vrstvy odpovídá ostatním vzorkům, pojivem je silně dolomitické vápno. Ve vrstvě je ojediněle zastoupeno plnivo, které tvoří převážně karbonátové částice.
1	**šedo-černá s ojedinělým červenými zrny**	**Ca**, Mg, Si (Al, S, Fe, P, Cl), lokálně více fosforu (P)	***barevná úprava se slabou nažloutlou fluorescencí***; barevná úprava tl. okolo 10-15 µm, provedená v jedné vrstvě technikou *al secco* do vyzrálého štukového podkladu. Pojivem vrstvy je dolomitické vápno, jako pigmenty byly použity uhlíkatá čerň a příměs červené hlinky. Ve vrstvě byla prokázána zvýšená koncentrace fosforu (P), jehož původ není jednoznačný; fosfor může pocházet z organické složky pojiva, nelze ani vyloučit použití příměsi kostní černě do palety použitých pigmentů. Organické složky pojiva byly analyzovány metodou FTIR (viz. *Příloha II*, výsledky poukazují na vápenný kasein) a podrobně metodou proteinové analýzy. Tou byl jednoznačně prokázán výskyt kolagenních proteinů v jinak vápenném pojivu (viz. *Příloha VI*). Na povrchu vzorku byly identifikovány spory plísní (viz. *Obr. 28 b* z povrchu).



Obr. 28 a, b: *Snímky ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV, a) snímek nábrusu, b) snímek sporů a vláken plísní z povrchu úlomku vzorku.*

FT-IR analýza vrstvy 1: Měření bylo provedeno z povrchu vzorku dle postupu, který uvádí metodická část. Výsledky odpovídají analýzám vzorků V1A a V2A (viz. spektra *FT-IR 1* a *FT-IR 2*).



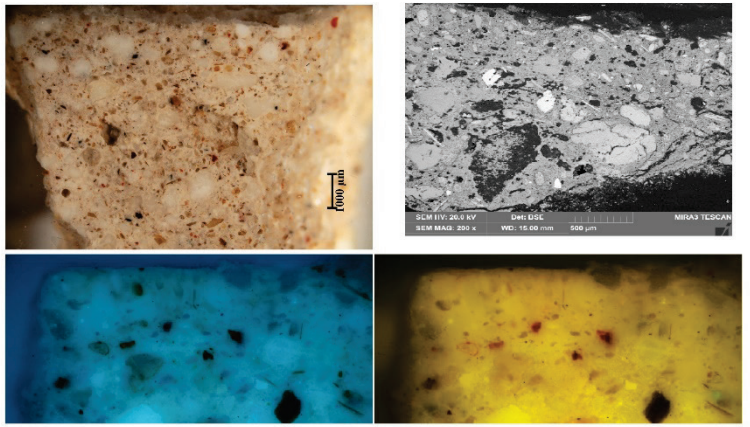
FT-IR 3: Infračervené spektrum vrstvy 1 vzorku V8/10033 a srovnávací spektra vybraných anorganických a organických látek.

Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl, telefon/fax 461 612 565, e-mail dekanat.FR@upce.cz,

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V9/10034: tmel (V9A) s vrstvami druhotných nátěrů (V9B)
Místo odběru vzorku: konec šály (pentle) Rosiny

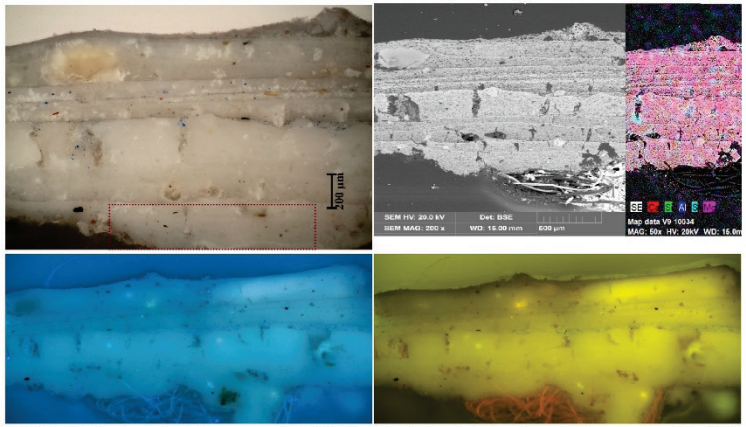
Obr. 29 a, b: *Makrosnímek vzorku V9 (10034) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1x.*



Obr. 30 a-d: *Vzorek V9A (10034), tmel, podklad pro druhotné nátěry Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 20x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl, telefon/fax 461 612 565, e-mail dekanat.FR@upce.cz,

V9/10034: tmel (V9A) s vrstvami druhotných nátěrů (V9B)
Místo odběru vzorku: konec šály (pentle) Rosiny



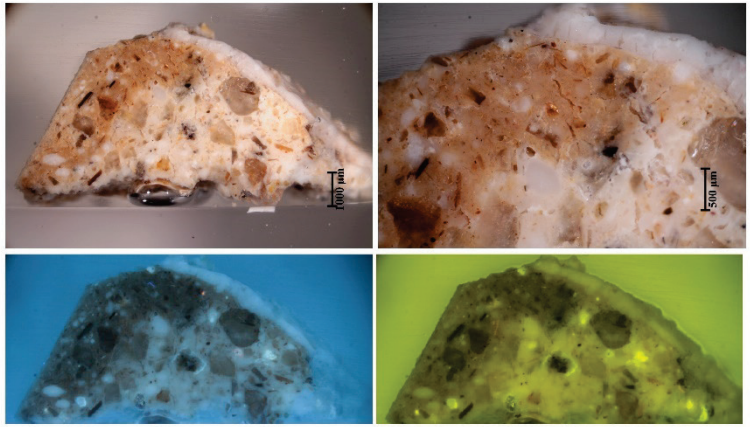
Obr. 31 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V9B (10034). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 100x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV. e) Prvková mapa SEM-EDX vybraných prvků.*

	prvkové složení dle SEM-EDX	pXRD fázová analýza (semikvantitativní analýza)	popis
Pojivová matrice	celkové spektrum (včetně plniva): Ca, Mg, Si, Al, Na, S (Cl, K, P), obsah Mg vysoký 21-38 %, obsah síry je proměnlivý (minimálně 2 %, lokálně jen Ca, S). Samotné pojivo nelze vzhledem k obsahu jemnozrnnému charakteru plniva blíže identifikovat	vzorek V9-N: sádrovec ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 26,9 %, kalcit ($CaCO_3$) 66,3 % křemen (SiO_2) 6,7 %	vápeno-sádrová s převahou vápna, sádra tvoří příměs, vápenné pojivo je nejspíše bílé vzdušné vápno, Mg fáze jsou patrně součástí plniva
Plnivo	plnivo - zrno 1: Si plnivo - zrno 2: Si, Mg, Ca, K (Na, Al) plnivo - zrno 3: Na, Mg, Si, Al (K, Cl, S)	vzorek V9-N-P: sádrovec ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), kalcit ($CaCO_3$), křemen (SiO_2), albit, živce, muskovit, hlinitokřemičitany vápenaty, sodné a hořečnaté	směs jemnozrnného plniva s maximální velikostí zrn do 0,5 mm, z minerálů byly jednoznačně identifikovány křemen, živce, muskovit, kalcit pochází patrně z klastů vápence, červená zrna mohou být klasty cihly
Povrchové vrstvy	vápenné nátěry (viz. prvková mapa *Obr. 31 e*) nejstarší dvě vrstvy nátěrů (označeno červeně): Ca, Si, Mg (Al), obsah Mg okolo 5 at.%. Vrstva nátěrů obsahuje ojedinělá drobná zrna křemene (Si) nebo silikátů (Si, Al, K, Ca (Mg, Na, Fe).	-	vápenné nátěry s proměnlivým obsahem nečistot a mírou sulfatizace

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V12/10144: tmel na žulovém překladu
Místo odběru vzorku: nad centrální částí (patrně původní?)

Obr. 32 a, b: *Makrosnímek vzorku V12 (10144) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1,5x.*



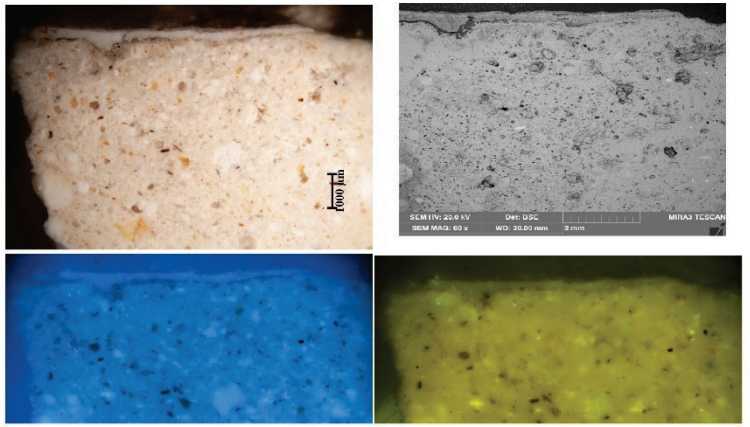
Obr. 33 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V12 (10144). Popis: a, b) snímky v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 20x (vlevo) a 50x (vpravo). c, d) snímky v UV a modrém světle.*

V12/10144: tmel na žulovém překladu
Místo odběru vzorku: nad centrální částí (patrně původní?)

V12 (10144)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
1	**okrový tmel**	**matrice: Ca**, Mg, Si, Al (Mg, Na, S), obsah Mg (8-10 at. % v matrici, v závalcích pojiva okolo 10 %. Obsah Si fází tvoří okolo 10 at.% (v matrici), do 1,5 % v závalcích pojiva a klastech nedopalu. Plnivo - zrno 1 (křemen): **Si** Plnivo - zrno 2 (živec): **Si**, Al, K Plnivo - zrno 3: (hlinitokřemičitan s obsahem železa, dle morfologie slídový minerál): **Si**, Al, Ca, Fe, Mg, K, Ti (Na) Klasty nedopalu: **Ca**, Mg (Si, Al), obsah Mg (10 at.%), obsah Si (okolo 1,5 at.%)	***tmel***: jedná se o vápenný tmel s pojivem na bázi vzdušného nebo slabě hydraulického slabě dolomitického vápna. Plnivo tvoří písek na vzorku s maximální velikostí do 1,2 mm. Klasty plniva tvoří křemen, křemičitany a hlinitokřemičitany, se zvýšeným obsahem oxohydroxidů železa. Bílé částice tvoří klasty nedopalu a závalky nerozmíchaného pojiva, jejichž analýza spíše poukazuje, že pro přípravu vápna bylo použito vzdušné vápno. V matrici tmelu se vyskytují četné trhliny. Vzorek se na základě složení a mikroskopických charakteristik podobá vzorku V15. Na povrchu tmelu se vyskytuje tenká vrstvička podobného složení jako pojivo omítky, bez plniva, pravděpodobně se jedná o zkarbonatovanou vrstvu vápenného pojiva z podkladu.
1	**bílá, intonaco**	**matrice: Ca**, Mg, Si, (Al, (Mg, Na, S), obsah Mg v matrici (15-22 at.%), obsah Si do 3 %	***intonaco nebo vrstva bílého nátěru s bílo-modrou fluorescencí***; pojivo vrstvy tvoří středně dolomitické vápno. Ve vrstvě se nevyskytuje plnivo, jen ojediněle se nachází drobná zrna karbonátů (nelze rozlišit, zda jsou součástí pojiva jako nedopal nebo plniva).

V13/10145: tmel (porovnání se vzorkem V9)
Místo odběru vzorku: přilba

Obr. 34 a, b: *Makrosnímek vzorku V13 (10145) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1x.*



Obr. 35 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V13 (10145). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 20x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

V13/10145: tmel (porovnání se vzorkem V9)
Místo odběru vzorku: přilba

V13 (10145)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**tmel**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, S (Si, Mg, Fe), at. poměr Ca/S činí 2:1 plnivo - zrno 1: Si zrno 2 - sádrovec: Ca, S	***tmel s bílo-modrou fluorescencí***; mikrostruktura vzorku i složení je identické se vzorkem V9 i V16. Jedná se o jemnozrnný vápeno-sádrový tmel, ve kterém je, dle stechiometrie, sádra minoritní příměsí. Vápenné pojivo tvoří pravděpodobně bílé vzdušné vápno. Matrice tmelu je nehomogenní - v tmelu se vyskytují drobné částice nezhydratované sádry s velikostí do 100 μm (na řezu vzorkem bílé klasty), dále ojediněla drobná zrna křemene s velikostí do 400 μm. Matrice je vysoce porézní s rekrystalizovanými oblastmi s různou morfologií krystalů sádrovce. Na povrchu se vyskytuje tmavá vrstvička nečistot a trhlina, nelze vyloučit přítomnost povrchové úpravy organickými látkami.
1	**bílá**	celkové spektrum: Ca, S, Mg (Si, Al, P)	***nátěr s bílo-modrou fluorescencí***; vápenný nátěr s příměs sádry, bez plniva. Hlavní složku pojiva tvoří slabě dolomitické vápno, sádra je minoritní příměsí.
2	**okrová**	celkové spektrum: Ca, S, Mg (Si, Al, P)	***nátěr s bílo-modrou tmavou fluorescencí***; vápenný nátěr s obsahem síranu vápenatého. Barvící složky tvoří jemnozrnná žlutá hlinka a malá příměs černého jemnozrnného uhlíkatého pigmentu.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V14 (S1)/10146: solný výkvět
Místo odběru vzorku: přilba, seškrab solných výkvětů na sekundárním doplňku

Analýza vodorozpustných solí (síranů SO_4^{2-}), dusičnanů (NO_3^-) a chloridů (Cl^-) UV/VIS spektrofotometrií ve vzorku je uvedena v *Tab. 2*. Koncentrace se udává v mmol/kg a hm.% jako množství soli rozpuštěné ve 100 g vzorku. Pro vyhodnocení slouží rakouská norma Onorm B3355-1 (*Tab. 3, 4*). Fázové složení výkvětu bylo analyzováno metodou rentgenové práškové difrakce (pXRD). Měření bylo provedeno externě ve spolupráci s Ing. Klárou Melánovou, Ph.D., KCHT, UPa.

vzorek, lokalizace místa odběru	výška/hloubka odběru vzorku (cm)	sírany (SO_4^{2-})		dusičnany (NO_3^-)		chloridy (Cl^-)	
		hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg
V14 (S1)	povrchový výkvět, přilba	4,14	431	0,15	24	0,05	15

Tab. 2: Obsah anionů vodorozpustných solí ve vzorku výkvětu. Koncentrace vodorozpustných solí je vyjádřena v hm. % a mmol/kg. Klasifikace obsahu vyplývá z rakouské normy Onorm B3355-1 (*Tab. 3*). Pozn.* dle rentgenové práškové difrakce byl zjištěn obsah sádrovce ($CaSO_4.2H_2O$, křemen (SiO_2) a uhličitan vápenato-hořečnatý $CaMg(CO_3)_2$.

PODKLADY PRO VYHODNOCENÍ - KLASIFIKACE OBSAHU VODOROZPUSTNÝCH SOLÍ DLE PLATNÝCH STANDARDŮ

Pro porovnání slouží rakouská norma Onorm B3355-1 (*'Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk - Teil 1: Bauwerksdiagnose und Planungsgrundlagen'*), která klasifikuje obsah vodorozpustných solí a uvádí doporučení na opatření.

***Mezní hodnoty koncentrací (dle** Onorm B3355-1)*	sírany (SO_4^{2-})	dusičnany (NO_3^-)	chloridy (Cl^-)
	hm.%	hm.%	hm.%
nízká	<0,1	<0,05	<0,03
střední	0,1-0,25	0.05-0.15	0.03-0.1
vysoká	>0.25	>0.15	>0.1

Tab. 3: Koncentrace anionů vodorozpustných solí v hm. % dle rakouské normy Onorm B3355-1.

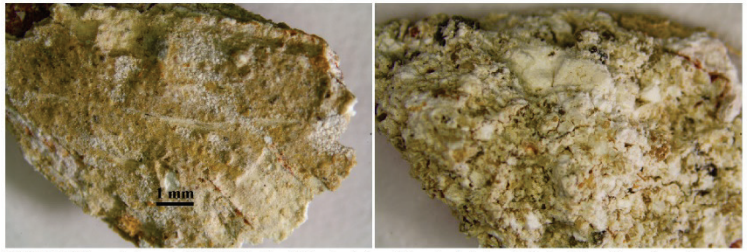
Míra zasolení	***Mezní hodnoty koncentrace (hm.%)***	***Doporučená opatření***
nízká	0.01	mezní koncentrace, nevyžaduje žádná opatření
střední	0.19	mezní koncentrace, vyžaduje dílčí opatření
vysoká	0.8	mezní koncentrace, vyžaduje opatření

Tab. 4: Klasifikace celkového obsahu vorozpustných solí dle rakouské normy Onorm B3355-1. Doručení na opatření.

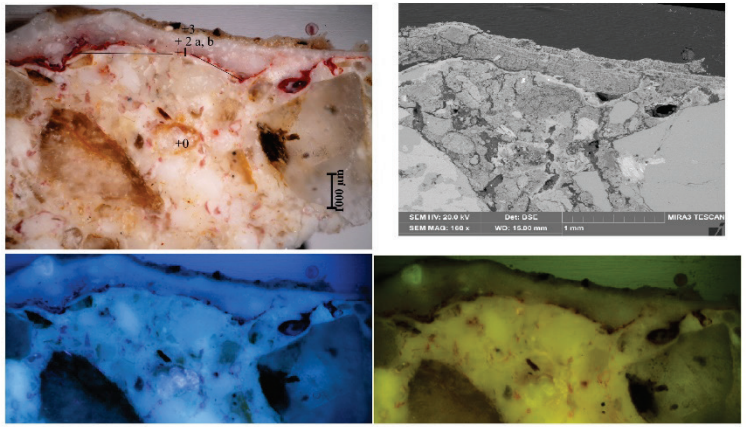
Vyhodnocení: Výkvět obsahuje směs solí; v nejvyšší koncentraci se ve vzorku vyskytují sírany, v nižší koncentraci chloridy a dusičnany. Podobné spektrum solí, ale odlišný poměr jejich zastoupení byl zjištěn u dalšího vzorku V24 (S2), který byl odebrán jako hloubkový vrt ze štukového pahorku pod křížem v centrální části epitafu. Ze síranových fází byl metodou rentgenové práškové difrakce analyzován sádrovec, další soli nebyly zjištěny. Kromě sádrovce vzorek obsahoval křemen a uhličitan vápenato-hořečnatý pocházející z pojiva štuku.

Zdrojem síranů je patrně samotný podklad, který tvoří vápeno-sádrový tmel. Chloridy a dusičnany pochází patrně z konstrukčních materiálů (zdiva), do epitafu byly s největší pravděpodobností zaneseny vzlínající vlhkostí.

V15/10171: tmel žuly s červenou barevnou úpravou a druhotným okrovým nátěrem
Místo odběru vzorku: tympanon, pravá část



Obr. 36 a, b: *Makrosnímek vzorku V15 (10171) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1x.*



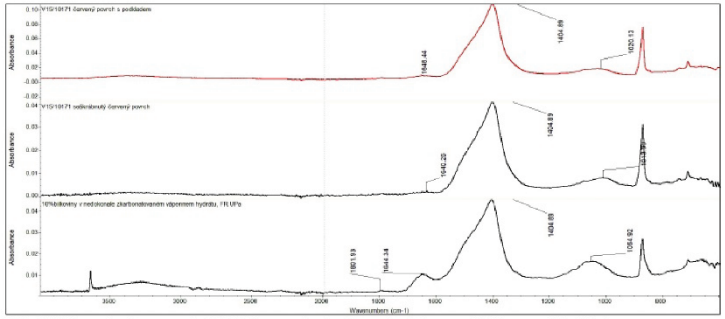
Obr. 37 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V15 (10171). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 20x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

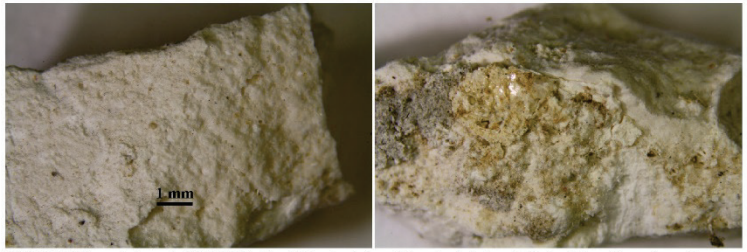
V15/10171: tmel žuly s červenou barevnou úpravou a druhotným okrovým nátěrem
Místo odběru vzorku: tympanon, pravá část

V15 (10171)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**tmel**	celkové spektrum matrice: Ca, (Mg, Si), obsah Mg a Si zanedbatelně nízký do 3 at.% (vztaženo na všechny složky pojiva), závalek pojiva se vyznačuje podobným složením. plnivo - zrno 1: Si plnivo - zrno 2: Si, Mg, Ca, K (Na, Al) plnivo - zrno 3: Na, Mg, Si, Al (K, Cl, S)	***tmel***: jedná se o vápenný tmel s pojivem na bázi bílého vzdušného vápna (bez obsahu sádry). Plnivo tvoří křemičitý písek na vzorku s maximální velikostí do 2 mm. Klasty plniva tvoří křemen, křemičitany a hlinitokřemičitany, se zvýšeným obsahem oxohydroxidů železa. V pórech se vyskytuje červený pigment, který je nejspíše strženou příměsí z vrstvy 1. Na povrchu tmelu se vyskytuje tenká vrstvička podobného složení jako pojivo omítky, bez plniva, pravděpodobně se jedná o zkarbonatovanou vrstvu vápenného pojiva z podkladu.
1	**červená**	celkové spektrum: Ca, Mg, Si, Al, Fe (S, Cl, P, K), obsah Mg tvoří okolo 15 at.% (vztaženo na ostatní složky pojiva). zrno železitá červeň: Fe	***barevná úprava s tmavou fluorescencí***: vápenný nátěr s červenou hlinkou a železitou červení, ojediněle jsou patrná černá zrna střednězrnného pigmentu. Vápenné pojivo je patrně středně dolomitické vápno, v pojivu byl zjištěn zvýšený obsah oxidu hořečnatého (okolo 15 at.%). Vzhledem k obsahu dalších prvků nelze vyloučit obsah dalších sloučenin s obsahem chloru (Cl), síry (S) a fosforu (P), např. nelze vyloučit obsah kostní černě, tzv. apatytu. FTIR analýzou byla identifikována malá příměs proteinových složek (*FTIR 4*).
2 a, b	**bílá**	celkové spektrum: Ca, Mg, (Si, Al, Cl), obsah Mg činí 11-16,5 at.%, místy až 38 %, obsah Si okolo 2 % (vztaženo na ostatní složky pojiva). ohraničená bílá částice v matrici - závalek pojiva: Ca, Mg, (stopy Si, Al), obsah Mg 16,6 %	***vápenný nátěr s bílo-modrou fluorescencí***: vápenný nátěr s pojivem na bázi středně dolomitického vápna. Oba nánosy se vyznačují podobným složením pojiva. Obsah Mg variuje mezi 11-16,5 at.% (vztaženo na ostatní složky karbonátového pojiva), obsah hydraulických složek vyjádřený jako obsah Si a Al je nízký pod 2,5 %. Ve vrstvě se vyskytují ojedinělé bílé ohraničené částice podobného složení jako pojivová matrice.
3	**okrová**	celkové spektrum: Ca, Si, Mg, Al (Cl, Fe) zrno černého pigmentu: C, zrno umbra: Ca, Mg, Si, Al, Fe, Mn	***barevná úprava s tmavou fluorescencí***: vápenný nátěr se žlutou hlinkou s příměsí červené hlinky a černého uhlíkatého pigmentu. Ojedinělá hnědá zrna tvoří umbra.

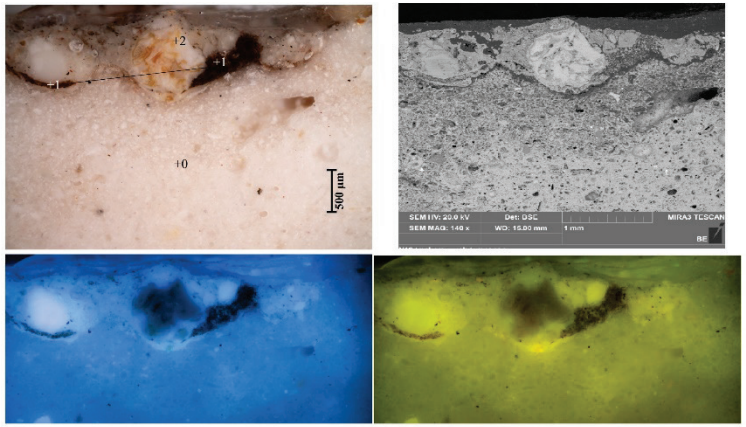


FTIR 4: Infračervené spektrum vzorku V15/10171 a srovnávací spektra vybraných anorganických a organických látek.

V16/10172: tmel žuly
Místo odběru vzorku: tympanon, pravý roh, druhotný sádrový tmel?



Obr. 38 a, b: *Makrosnímek vzorku V16 (10172) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1x.*



Obr. 39 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V16 (10172). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 50x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

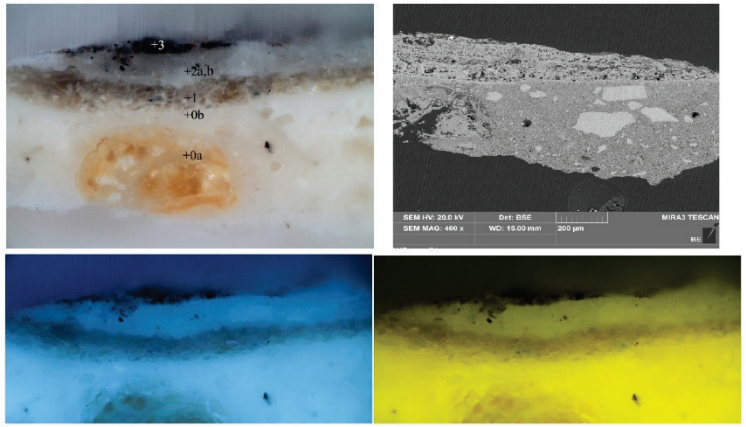
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V16/10172: tmel žuly
Místo odběru vzorku: tympanon, pravý roh, druhotný sádrový tmel?

V16 (10172)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**bílý jemnozrnný tmel**	celkové spektrum matrice: Ca, S (Mg, Si) zrno 1 - nezhydratované částice sádry: Ca, S	***tmel s bílo-modrou fluorescencí***; mikrostruktura vzorku i složení je identické se vzorkem V9 i V13. Jedná se o jemnozrnný vápeno-sádrový tmel, ve kterém je, dle stechiometrie, sádra minoritní příměsí. Vápenné pojivo tvoří pravděpodobně bílé vzdušné vápno. Matrice tmelu je nehomogenní - v tmelu se vyskytují drobné částice nezhydratované sádry s velikostí do 100 µm (na řezu vzorkem bílé klasty), dále ojediněla drobná zrna křemene s velikostí do 400 µm. Matrice je vysoce porézní s rekrystalizovanými oblastmi s různou morfologií krystalů sádrovce. Na povrchu se vyskytuje tmavá vrstvička nečistot a trhlina, nelze vyloučit přítomnost povrchové úpravy organickými látkami.
1	**hnědo-červená**	celkové spektrum: Si, Al, Ca, K, Mg (Fe, S, Cl, Na) zrno železitá červeň: Fe	***barevná úprava s tmavou fluorescencí***; vápenný nátěr s červenou hlinkou a železitou červení, ojediněle jsou patrná černá zrna střednězrnného pigmentu. Vápenné pojivo je patrně středně dolomitické vápno, v pojivu byl zjištěn zvýšený obsah oxidu hořečnatého (okolo 15 at.%). Vzhledem k obsahu dalších prvků nelze vyloučit obsah dalších sloučenin s obsahem chloru (Cl), síry (S) a fosforu (P), např. nelze vyloučit obsah solí nebo kostní černě, tzv. apatytu.
2	**bílá**	celkové spektrum: Ca, Mg, Si, Al, (K) ohraničené bílé částice v matrici - karbonátové částice: Ca, Mg, (stopy Si, Al), obsah Mg vysoký okolo 42 at.%, okrová částice - silikát se zvýšeným obsahem oxohydroxidů železa: Si, Mg, Ca (K, Fe, Al)	***vápenný nátěr nebo přeštukování povrchu s bílo-modrou fluorescencí***; vápenný nátěr, vzhledem k obsah plniva se spíše jedná o štuk. Pojivo vrstvy tvoří patrně silně dolomitické vápno, ve vrstvě byl zjištěn zvýšený obsah oxidu hořečnatého. Vrstva obsahuje plnivo, které tvoří tříděná karbonátová hornina patrně ve směsi s pískem (ve vrstvě se vyskytují ojediněla zrna plniva). Další složky tvoří malá příměs pigmentů - červené hlinky a jemnozrnného černého uhlíkatého pigmentu.

V17/10173: oranžové pozadí s vrstvou nečistot nebo přemalbou
Místo odběru vzorku: pozadí Boha Otce, levý dolní roh

Obr. 40 a, b: *Makrosnímek vzorku V17 (10173) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 41 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V17 (10173). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

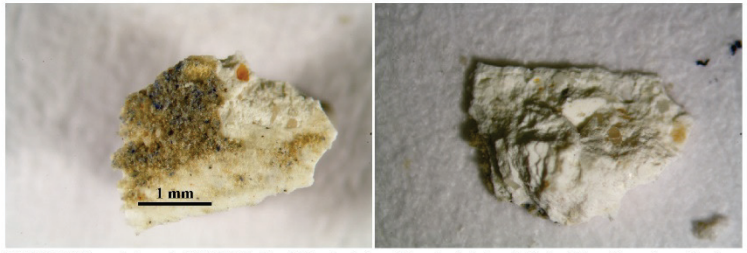
UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

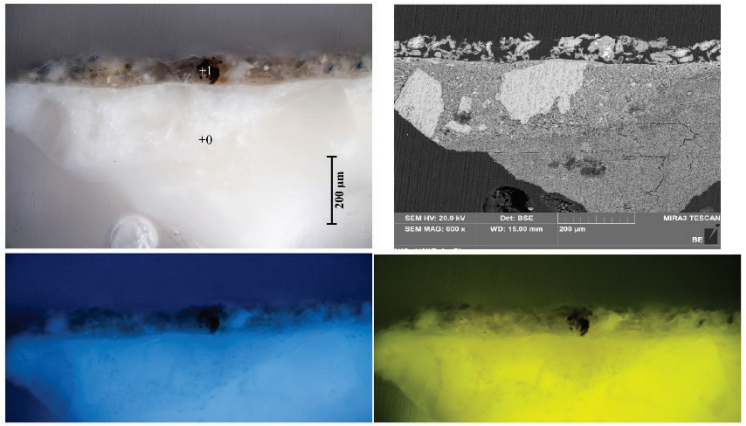
V17/10173: oranžové pozadí s vrstvou nečistot nebo přemalbou
Místo odběru vzorku: pozadí Boha Otce, levý dolní roh

V17 (10173)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0a, b	**štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, Mg, Si (S, Cl), at. poměr Ca/Mg (2,5-3/1), obsah Si (2-2,5 %, vztaženo na pojivové složky), S, Cl - pochází z přítomnosti vodorozpustných solí plnivo: Ca,	***štuková omítka, intonaco***; přesná analýza viz. vzorek V3A. Na povrchu omítky se vyskytuje nezřetelná vrstva/nános podobného složení jako pojivo omítky (na nábrusu označena jako 0b), pouze bez plniva. Od podkladu je vrstvička oddělena nezřetelným rozhraním. Vzhledem k charakteru a složení vrstvy se patrně jedná o úpravu nebo zpracování povrchu štuku.
1	**okrová našedlá**	celkové spektrum: Ca, Si, Mg, Al (K, Fe, Co) zrno smalt - částečně odbarvený: Si, As, K, Al, Na, Ca, Fe (Co, Ni)	***barevná úprava s bílo-modrou fluorescencí***; barevná úprava nanesená na povrch štuku *´al secco´*, nelze vyloučit příměs organické složky. Pojivem barevné úpravy je středně dolomitické vápno, barvící složky tvoří žlutá hlinka a smalt, který je v současnosti částečně odbarvený.
2a, b	**bílá našedlá**	celkové spektrum bílý nános: Ca, Mg, Si (Al, Fe, S, Na) celkové spektrum šedý nános vrstva: Ca, Mg, Si (Al, S, Na)	***vápenný nátěr s bílo-modrou fluorescencí***; vápenný nátěr, patrně dva nánosy, které jsou vzájemně propojené. Složení obou vrstev je téměř identické; spodní bílou vrstvu tvoří bílý vápenný nátěr patrně s příměsí bílé hlinky. Vápenné pojivo je v obou nánosech tvořené středně dolomitickým vápnem. Šv. šedá obsahuje navíc příměs jemnozrnného uhlíkatého pigmentu.
3	**hnědo-červená**	celkové spektrum: org., Ca, Mg, Si, Al, Fe (stopy Na, K, S) zrno železité červeně Fe, Si, Al (K) zrno uhlíkatá černi: C	***barevná úprava s tmavou fluorescencí***; vápenný nátěr s červenou hlinkou, železitou červení a střednězrnným černým uhlíkatým pigmentem. Vápenné pojivo je patrně středně dolomitické vápno, v pojivu byl zjištěn zvýšený obsah oxidu hořečnatého (okolo 15 at.%). Vzhledem k obsahu dalších prvků nelze vyloučit obsah dalších sloučenin s obsahem síry (S), např. nelze vyloučit obsah síranových solí.

V18/10174: zelená
Místo odběru vzorku: plášť Boha Otce



Obr. 42 a, b: *Makrosnímek vzorku V18 (10174) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 43 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V18 (10174). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

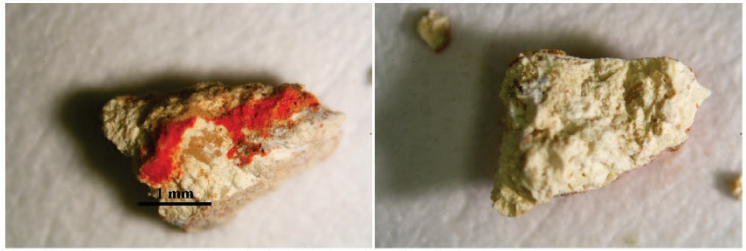
UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

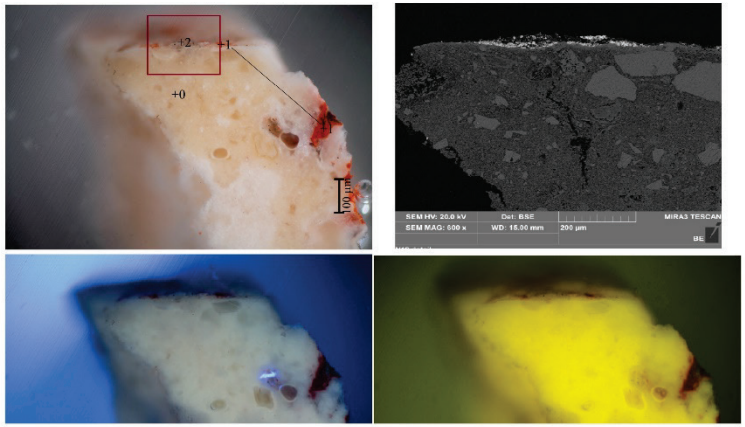
V18/10174: zelená
Místo odběru vzorku: plášť Boha Otce

V18 (10174)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, Mg, Si (S, Cl), at. poměr Ca/Mg (2,5-3/1), obsah Si (2-2,5 %, vztaženo na pojivové složky) plnivo - ostrohranné částic drcené mramorové moučky: Ca.	***štuková omítka, intonaco***: přesná analýza viz. vzorek V3A.
1	**zelená**	celkové spektrum: Si, Ca, Al, Mg, As (Fe, K, Na, Co, v některých zrnech stopy Ni) zrno smalt - částečně odbarvený: Si, As, K, Al, Na, Ca, Fe (Co, Ni) zrno žlutá hlinka: Si, Al, Ca (Fe, K) zrno hnědo-černé uprostřed: patrně hematit: Fe (Ni)	***barevná úprava s bílo-modrou tmavou fluorescencí***; barevná úprava nanesená na povrch štuku *al secco*. Pojivem barevné úpravy je středně dolomitické vápno, barvící složky tvoří žlutá hlinka a smalt a příměs červeného hematitu. Smaltová zrna jsou částečně odbarvená a odstín vrstvy patrně neodpovídá původní barevnosti, která mohla dosahovat větší intenzity a odlišného barevného odstínu.

V19/10175: červená
Místo odběru vzorku: plášť/rouška Ježíše Krista



Obr. 44 a, b: *Makrosnímek vzorku V19 (10175) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x.*



Obr. 45 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V19 (10175). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV. Detail povrchu.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

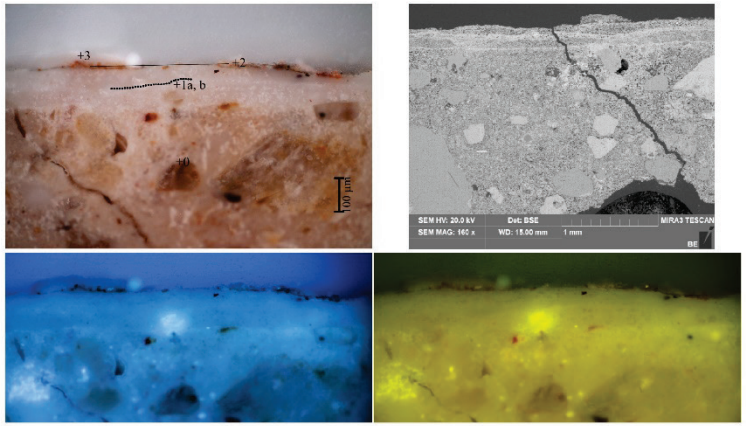
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V19/10175: červená
Místo odběru vzorku: plášť/rouška Ježíše Krista

V19 (10175)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, Mg, Si (S, Cl), at. poměr Ca/Mg (2,5-3/1), obsah Si (2-2,5 %, vztaženo na pojivové složky) plnivo - ostrohranné částic drcené mramorové moučky: Ca.	***štuková omítka, intonako***: přesná analýza viz. vzorek V3A. Na povrchu vrstvy se vyskytuje rozhraní a zkarbonatovaná vrstva vápna,
1	**červená**	celkové spektrum: Pb, Ca, Si, Al, Mg (Fe) zrno minium: Pb	***barevná úprava s tmavou místy nažloutlou fluorescencí***; tenká barevná úprava tl. okolo 10 µm nanesená na povrch štuku *al secco*. Pojivem barevné úpravy je středně dolomitické vápno, barvicí složky tvoří červené minium a malá příměs hlinek. Podle lokální fluorescence obsahuje barevná vrstva příměs organického pojiva.
2	**okrová až sv. oranžová**	celkové spektrum: Pb, Ca, Si (Al, Mg, stopy Fe, Na) světlejší matrice: Mg, Ca zrno minium: Pb	***barevná úprava s tmavou místy nažloutlou fluorescencí***; nesouvislá vrstva propojená s vrstvou 1 zachycená na snímku SEM. Vrstva se vyznačuje podobným složením jako vrstva 1, liší se pouze poměrem složek - obsahuje více vápna a méně červeného minia.

V20/10176: šedo-oranžová
Místo odběru vzorku: pozadí, vpravo od Ježíše Krista

Obr. 46 a, b: *Makrosnímek vzorku V20 (10176) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1x.*



Obr. 47 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V20 (10176). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

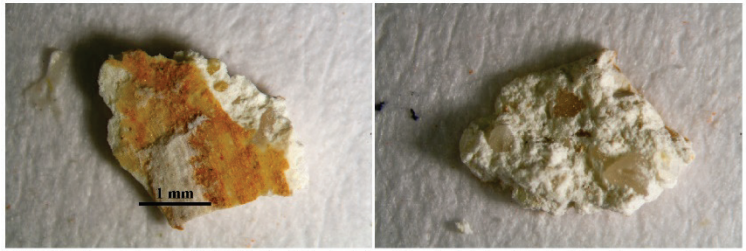
UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

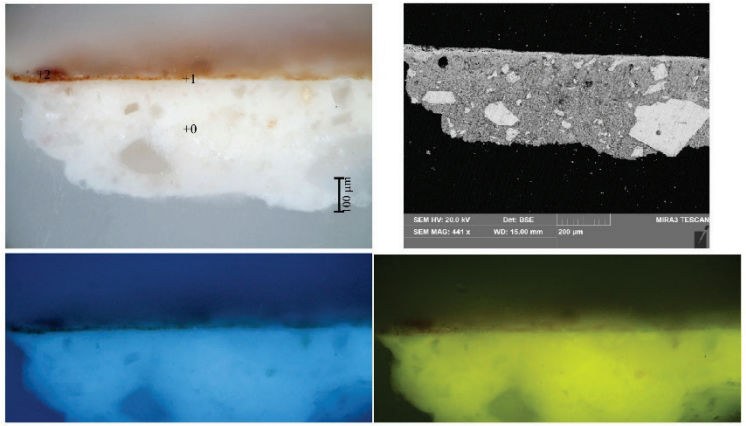
V20/10176: šedo-oranžová
Místo odběru vzorku: pozadí, vpravo od Ježíše Krista

V20 (10176)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**okrová omítka, štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca (Si, Mg), obsah Si do 5 at.%, obsah Mg do 2,5 %, závalek pojiva: Ca (stopy Si, Mg) plnivo - zrno 1 - křemen: Si plnivo - zrno 2 - živec: Si, Al, K (Na)	***štuková omítka***: s pojivem na bázi bílého vzdušného vápna. Optický charakter i složení se odlišují od ostatních mikrovzorků barevné vrstvy. Pojivem omítky je vzdušné vápno s nízkým obsahem příměsi obsahující oxidy křemíku, hořčíku a hliníku. Plnivo tvoří středně vytříděný písek složený z křemene a dalších klastů hornin a minerálů. Velikost částic u vzorku dosahuje max. 1,5 mm. Ve vrstvě se vyskytují závalky pojiva, které mají stejné složení jako pojivová matrice. Na povrchu se vyskytuje tenká nesouvislá vrstva zkarbonatovaného vápna.
1a, b	**bílá**	celkové spektrum: Ca (Si, Mg), obsah Si a Mg je zanedbatelně nízký plnivo - silikát: Si, Al, Mg (Ca) závalek pojiva: Ca (stopy Si, Al, Mg)	***vápenný nátěr s bílo-modrou fluorescencí***: vápenný nátěr provedený ve dvou až třech nánosech. Pojivem nátěru je bílé vzdušné vápno bez obsahu znečišťujících příměsí. Vrstvy obsahují ojedinělé částice plniva složeného z křemene a hlinitokřemičitanů. Ojediněle přítomné závalky pojiva se vyznačují stejným složením jako pojivová matrice. Mezi jednotlivými nánosy nátěru se vyskytují rozhraní tvořené z uhličitanu vápenatého.
2	**červeno-oranžová**	celkové spektrum: Ca, Si, Al, K (Mg, Fe, Cl, S, P), někde více Si, Al, méně Ca zrno červená hlinka: Si, Al, Fe, Mg, Ca (Na, K) zrno uhlíkatá černá: C	***barevná úprava s tmavou nažloutlou fluorescencí***: tenká barevná úprava proměnlivé tloušťky 0-20 µm (někde prokletovaná až na vrstvu bílého nátěru) nanesená na povrch podkladu *'al fresco'*. Vrstva obsahuje uhličitan vápenatý, barvící složky tvoří oranžovo-červené hlinka, nelze vyloučit ani příměs žluté hlinky. Ve vrstvě se vyskytují zrna jemnozrnného až střednězrnného černého patrně uhlíkatého pigmentu. Ve vrstvě byl zjištěn obsah dalších minoritních prvků jako chloru (Cl), síry (S) a fosforu (P), jejichž původ nelze jednoznačně určit. Zdrojem síry a chloru by mohly být vodorozpustné soli, zdrojem fosforu organická příměs pojiva (proteinová složka), sole, nelze vyloučit ani příměs černého apatytu, kostní černě.
2	**bílá**	celkové spektrum: Ca (Si, Mg)	***vápenný nátěr s bílo-modrou fluorescencí***: nesouvisle dochovaný vápenný nátěr. Pojivem nátěru je bílé vzdušné vápno bez obsahu příměsí a plniva.

V21/10177: oranžová
Místo odběru vzorku: pozadí Boha Otce, vlevo



Obr. 48 a, b: *Makrosnímek vzorku V21 (10177) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1x.*



Obr. 49 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V21 (10177). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

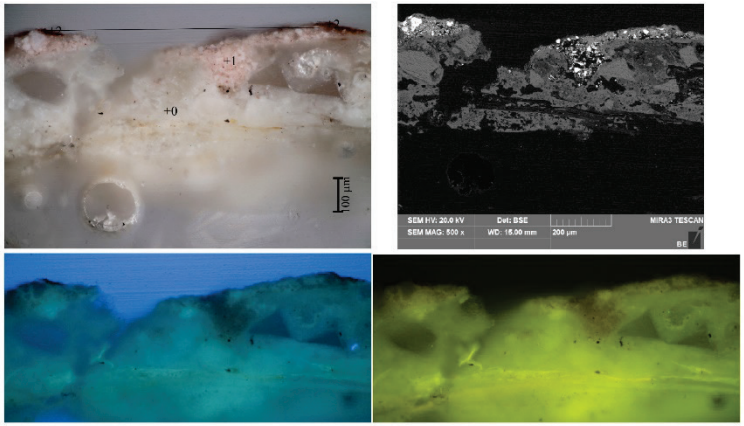
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V21/10177: oranžová
Místo odběru vzorku: pozadí Boha Otce, vlevo

V21 (10177)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, Mg, Si (S, Cl), obsah Mg tvoří u vzorku okolo 25 at.% (vztaženo na všechny složky pojiva), obsah Si je zanedbatelně nízký plnivo - ostrohranné částic drcené mramorové moučky: Ca	***štuková omítka, intonaco***: přesná analýza viz. vzorek V3A.
1	**oranžovo-červená**	celkové spektrum: Ca, Mg, Si, Fe, Al, (Na, K, S) zrno žlutá nebo červená hlinka: Si, Fe, Al, Ca, Mg z matrice (Na, K, S)	***barevná úprava s tmavou mírně nažloutlou fluorescencí***; tenká barevná úprava tl. 10-20 µm nanesená na povrch štuku *'al secco'*. Pojivem barevné úpravy je středně dolomitické vápno, barvící složky tvoří žlutá hlinka s příměsí červené hlinky. Ojediněle se ve vrstvě vyskytují zrna černého patrně uhlíkatého pigmentu.
2	**sv. oranžovo-červená**	celkové spektrum: Ca, Mg, Si (Fe, Al, S) ojedinělé zrno žlutá nebo červená hlinka: Si, Fe, Al, Ca, Mg z matrice (Na, K, S)	***barevná úprava s tmavou mírně nažloutlou fluorescencí***; nesouvisle dochovaná, propojená s vrstvou 1. Vrstva se vyznačuje podobným složením jako vrstva 1, odlišný je pouze obsah jednotlivých složek - vrstva obsahuje více vápna, méně hlinek.

V22/10178: vlákna se zbytky štuku a polychromií
Místo odběru vzorku: vlasy Ježíše Krista

Obr. 50: *Makrosnímek vzorku V22 (10178) z lícové strany vzorku (vlevo) a detail vláken (vpravo). Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x a 5x. Vlevo detail štuku se zbytky dochované polychromie v růžové a hnědo-červené barevnosti.*



Obr. 51 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V22 (10178). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 200x. c, d) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

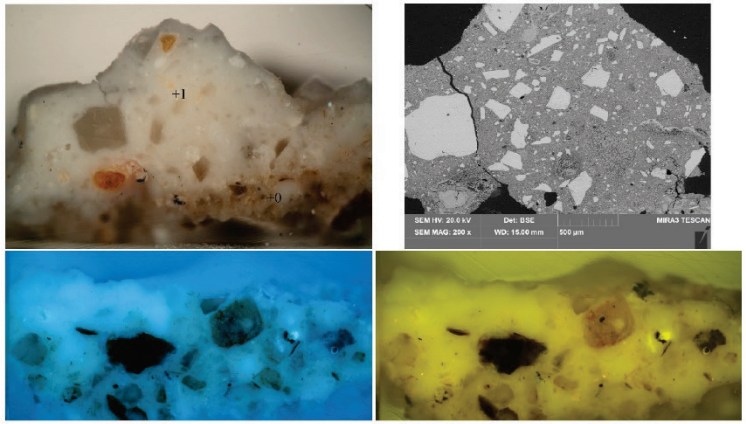
V22/10178: vlákna se zbytky štuku a polychromií
Místo odběru vzorku: vlasy Ježíše Krista

V22 (10178)	Popis	složení dle SEM-EDX	Popis
0	**štuk**	celkové spektrum pojivové matrice: Ca, Mg, (Si, Na, Al, Cl), obsah Mg okolo 7-9,2 at.%, obsah Si (2-2,5 %, vztaženo na pojivové složky) plnivo-drcený mramor: Ca	***štuková omítka, intonaco s nažloutlou fluorescencí***; pojivem vrstvy je slabě dolomitické vápno, ve vrstvě se vyskytují drobná zrna karbonátového plniva ostrohranného tvaru (drcený mramor). Ve vrstvě se vyskytují okrová vlákna (analýza vláken str. 59).
1	**růžová**	celkové spektrum: org., Pb, Ca, Si, (Al, Mg, Na, stopy Fe) zrno olovnatá běloba: Pb (ostatní prvky z matrice)	***barevná úprava s nažloutlou fluorescencí***; barevná úprava s pojivem na bázi slabě dolomitického vápna patrně modifikovaného organickou příměsí (výrazná nažloutlá fluorescence). Hlavní složky tvoří olovnatá běloba (bílé částice ve vrstvě, zářivá zrna na snímku SEM), příměs tvoří jemnozrnný červený pigment patrně červená hlinka. Nelze vyloučit příměs minia.
2	**červeno-hnědá**	celkové spektrum: Ca, Mg, Si, Al, Pb, Fe (P) zrno železitá červeň: Fe	***barevná úprava s tmavou fluorescencí***; barevná úprava s pojivem na bázi slabě dolomitického vápna, ve vrstvě nelze vyloučit příměs organických složek. Hlavní složky tvoří červená hlinka, železitá červeň a malá příměs olovnatých pigmentů, které mohou být strženou příměsí (na snímku SEM se zářivé částice s obsahem olova nevyskytují). Nelze vyloučit příměs černého uhlíkatého pigmentu nebo na základě zvýšené koncentrace fosforu (p) obsah kostní černě (apatytu).

Výsledky chemicko-technologické průzkumu - Analýza štukových vrstev

V10/10035: souvrství jádrové a modelační vrstvy
Místo odběru vzorku: pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu

Obr. 52 a, b: *Makrosnímek vzorku V10 (10035) z lícové (a) a rubové strany (b) vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 1,5x.*



Obr. 53 a-d: *Stratigrafie povrchových úprav vzorku V10 (10035). Popis: a) snímek v odraženém světle z optického mikroskopu Nikon LV100 při zvětšení na mikroskopu 50x. b, c) snímky v UV a modrém světle. b) snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu SEM MIRA3-LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE), 20 kV.*

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V10/10035: souvrství jádrové a modelační vrstvy
Místo odběru vzorku: pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu

V10 (10035)	*Popis*	*složení dle SEM-EDX*	*Popis*
0	**okrová - jádrová omítka**	**matrice: Ca**, Mg, Si, Al (Mg, Na, S), obsah Mg (9 at. % v matrici, v závalcích pojiva 6,5-8 at.%. Obsah Si fází tvoří okolo 4,5 at.% (v matrici), okolo 1,5 % v závalcích pojiva. Plnivo - zrno 1 (křemen): **Si** Plnivo - zrno 2 (živec): **Si**, Al, Na Plnivo - zrno 3: (hlinitokřemičitan s obsahem železa): **Si**, Al, Fe, Mg, K (Ti, Na, Ca) Závalek pojiva: **Ca**, Mg, Si, Al (S, Cl), obsah Mg (6,8-8 at.%), obsah Si (okolo 1,5 at.%)	***podklad, jádrová vrstva štuku***; vápenná omítka s pojivem na bázi bílého vzdušného nebo slabě dolomitického vápna. Obsah Mg sloučenin tvoří okolo 9 % v matrici (at., z celkového podílu pojivových složek). Závalky pojiva se vyznačují obsahem Mg složek od 6,5-8,5 %. Obsah hydraulických složek vyjádřený jako obsah Si je zanedbatelně nízký - v pojivu tvoří okolo 3-4,5 %, v závalcích pojiva jen okolo 1,5 %. Plnivo tvoří patrně písek s převahou klastů křemene a s příměsí jiných klastů minerálů (živce) a hornin. Částice plniva jsou středně vytříděné s maximální velikostí zrn u vzorku do 1 mm. Tvar částic je zaoblený až středně zaoblený. Vrstva jádrového štuku je charakteristická vysokým zastoupení závalků pojiva i nedopalu, které tvoří inertní složky. Vrstva je propojená s vrstvou 1.
1	**bílá - modelační vrstva**	**Ca**, Mg, Si (Al, S. Cl) Plnivo: **Ca** Závalky pojiva: **Ca**, Mg, Si (Al, S, Cl), obsah Mg tvoří 10-12 at.%, obsah Si (2,2-2,5 at.%). Lokálně zrna s vyšším obsahem Mg složek (až okolo 28 %) (zrna s černými tečkami na snímku ze SEM).	***modelační vrstva štuku/intonaco***; pojivem na bázi slabě dolomitického vápna. Přesné složení bylo určeno analýzou závalků pojiva, které se vyznačují podobným složení jako pojivová matrice. Plnivo tvoří drcený vápenec nebo mramor složený z kalcitu. V modelační vrstvě převažuje pojivová složka. Zrna plniva jsou vytříděná, tvarově ostrohranná s maximální velikostí do 500 µm. Podrobnější analýzu uvádí petrografická analýza výbrusu vzorku V3A a V4A.

V3A/10037: bílá modelační vrstva štuku/intonaco
Místo odběru vzorku: pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu

Popis omítky: makroskopicky se jedná o bílou středně až jemnozrnnou maltu s bílým plnivem. Modelační vrstva vykazuje středně homogenní strukturu. V maltě jsou přítomné závalky pojiva, reaktivní částice. Vrstva je píše málo porézní s přítomností makrotrhlin. Malta je charakteristická vysokým podílem pojiva ve směsi.

Pojivo: malty je na bázi silně dolomitické vzdušného vápna s nízkým obsahem složek s obsahem křemíku a hliníku, které mohou ovlivňovat hydraulické chování pojiva. Obsah hořečnatých fází stanovený SEM-EDX analýzou je lokálně značně kolísavý a pohybuje se průměrně mezi 25-30 % hm.% (z celkového podílu pojiva) (*Tab. 5*). Obsah fází s obsahem křemíku (Si) je v pojivové matrici homogenní a tvoří okolo 2,5-5,5 % (z celkového podílu pojivových složek). Z petrografické analýzy vyplývá, že surovinou pro výpal byl mramor. Kromě klastů karbonátů byl v základní surovině pro výpal identifikován pyroxen a pravděpodobně i olivín. Pojivo je až na výjimky relativně homogenní, pojivová matrice obsahuje vápenné hrudky do velikosti 0,5 mm. V pojivu se jen sporadicky vyskytují reaktivní částice se zvýšeným obsahem křemíku, které mají výrazně sklovitý a slinutý charakter. Zdrojem reaktivních částic může být obsah minerálů pocházející přímo z mramoru, které výpalem prochází tepelnou přeměnou. Ve výsledku mohou částečně, i když v celku v nízké míře, ovlivňovat hydraulický charakter vápenného pojiva.

Kromě obsahu fází byla obrazovou analýzou přibližně vyhodnocena receptura přípravy malty, která potvrdila zvýšený obsah pojivové složky v maltě. Poměr výplňové složky ku pojivu (odpovídá přibližně 1:1,5 v obj. d.).

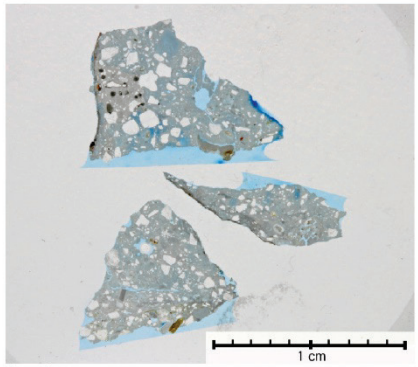
Kamenivo/plnivo: je tvořeno převážně drceným mramorem složeným z kalcitu (plnivo není identického původu jako pojivo). Ve vrstvě se kromě mramoru vyskytují pouze klasty minerálů pocházející z vypáleného mramoru - pyroxen, pravděpodobně i olivín. Plnivo je vytříděné, velikost klastů mramoru se pohybuje v širokém rozmezí 0,05-1 mm (nejčetnější jsou frakce s velikostí 200-500 μm a prachové částice s velikostí menší než 50 μm). Klasty mramoru lze charakterizovat nízkou sféricitou a subangulárním až angulárním tvarem zrn.

Prvková analýza dle SEM-EDX		
	prvkové složení	**Popis**
Pojivová matrice	Ca, Mg, Si (S, Cl), at. poměr Ca/Mg (2,5-3/1), obsah Si (2-2,5 %, vztaženo na pojivové složky), S, Cl - pochází z přítomnosti vodorozpustných solí	Pojivo tvoří vzdušné silně dolomitické vápno, obsah Mg v pojivu tvoří 25-30 % (vztaženo na všechny složky pojiva).
Plnivo	Ca	Plnivo tvoří uhličitan vápenatý, bez obsahu dolomitu
Přibližná receptura malty (obrazová analýza) - poměr pojivo:plnivo	40:60 (ca 1,5:1, obj. d.)	

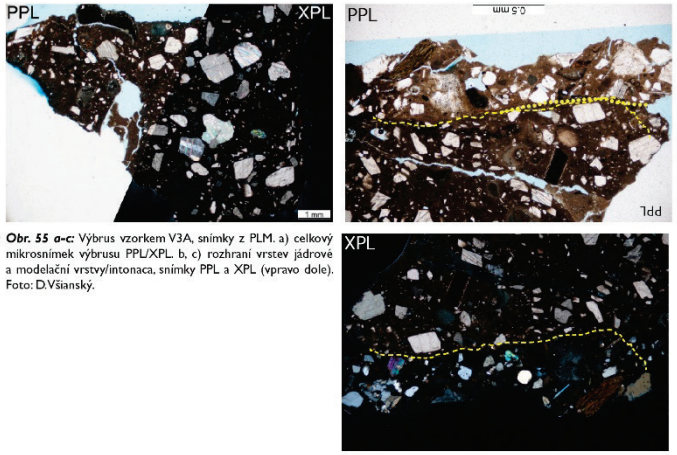
Tab. 5: SEM-EDX analýza vzorku V3A. Přibližný poměr pojiva:plniva z obrazové analýzy SEM.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V3A/10037: bílá modelační vrstva štuku/intonaco
Místo odběru vzorku: pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu

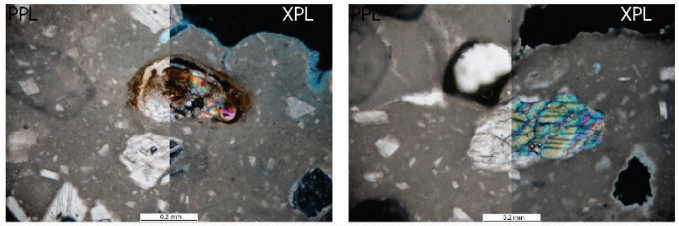


Obr. 54: Makrosnímek výbrusového preparátu vzorku V3A modelační štukové vrstvy. Foto: D.Všianský.



a | b
c

Obr. 55 a-c: Výbrus vzorkem V3A, snímky z PLM. a) celkový mikrosnímek výbrusu PPL/XPL. b, c) rozhraní vrstev jádrové a modelační vrstvy/intonaca, snímky PPL a XPL (vpravo dole). Foto: D.Všianský.



a | b ***Obr. 56:*** Výbrus vzorkem V3A, snímky z PLM. a) Olivín ocházející z mramoru použitého pro výpal pojiva, PPL (vlevo) a XPL (vpravo). b) pyroxen z mramoru použitého pro výpal pojiva, PPL (vlevo) a XPL (vpravo). Foto: D.Všianský.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V4A/10038: jádrová vrstva štuku
Místo odběru vzorku: pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu

Popis omítky V4A: sv. okrová malta středně homogenní až nehomogenní s obsahem trhlin a nehomogenit - lokálních závalků. Oproti modelační vrstvě je více zastoupeno plnivo, které je druhově bohatší, výrazně hrubozrnnější a méně vytříděné.

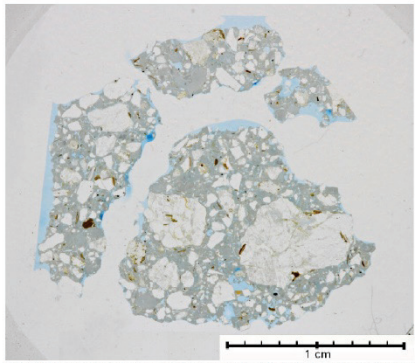
Pojivo: malty je pravděpodobně slabě až středně hydraulické vápno (odlišuje se od pojiva modelační vrstvy). Ze suroviny použité pro výpal patrně pochází sporadicky zastoupený teplotně postižený flogopit - materiálem pro výpal byl mramor. V pojivové matrici jsou zastoupené závalky pojiva o velikosti až 1 mm. Jeho prvková analýza spíše nasvědčuje, že pojivo je slabě hydraulické vápno (*Tab. 6*).
Kromě obsahu fází byla obrazovou analýzou přibližně vyhodnocena receptura přípravy malty, která se liší od modelační vrstvy. Poměr výplňové složky ku pojivu (odpovídá přibližně 1,5-2:1 v obj. d.).

Kamenivo/plnivo je tvořeno směsí plniv - říčního nebo kopaného písku a klasty mramorové moučky. Klasty minerálů převažují nad klasty hornin. Z klastů minerálů jsou zastoupeny křemen, plagioklas, alkalický živec (převážně mikroklin), biotit, sporadicky mramor (pravděpodobně klasty mramorové moučky), rutil, apatit. Klasty hornin tvoří granitoidní hornina, rula. Nápadné jsou velké fragmenty mikroklinu. Součást výplňových složek tvoří lupínky výpalem postiženého flogopitu, který pochází ze suroviny použité pro přípravu pojiva. Klasty plniva se vyznačují nízkou sféricitou, částečně zaobleným až subangulárním tvarem částic. Plnivo je středně vytříděné s maximální velikostí zrn do 2,5 mm.

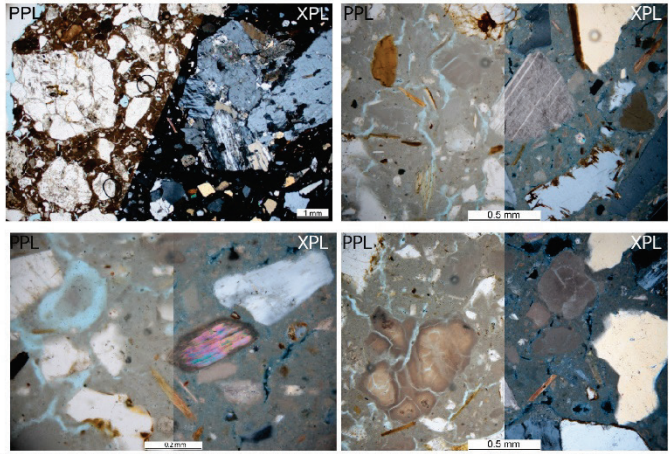
Prvková analýza dle SEM-EDX		
	prvkové složení	**Popis**
Pojivová matrice	Ca, Si, Al, Na, Mg, K, obsah Si kolísavý (6-13 %, vztaženo na pojivové složky), závalek pojiva: Ca (77-89 %), Si (6-11 %), Al (3-6,5 %), Mg (2-4,7 %), (stopy Na, S, Cl, P)	Pojivo tvoří patrně slabě hydraulické vápno, s mírně až středně zvýšeným obsahem složek s obsahem křemíku a hliníku (Si, Al)
Plnivo	směs klastů minerálů a hornin, viz. výsledky petrografické analýzy	
Přibližná receptura malty (obrazová analýza) - poměr pojivo:plnivo	60:40-65:35 (ca 1,5-2:1, obj. d.)	

Tab. 6: SEM-EDX analýza vzorku V4A jádrové štukové malty. Přibližný poměr pojiva:plniva z obrazové analýzy SEM.

V4A/10038: jádrová vrstva štuku
Místo odběru vzorku: pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu



Obr. 57: Makrosnímek výbrusového preparátu vzorku V4A jádrové štukové malty. Foto: D.Všianský.



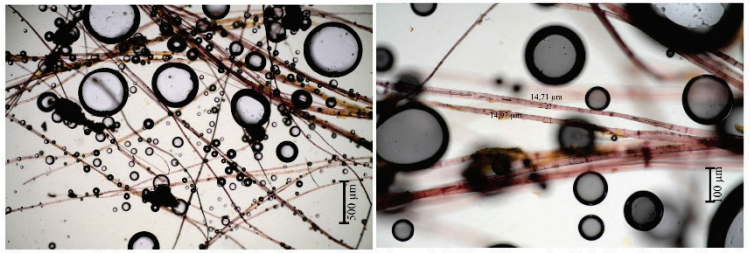
a | b ***Obr. 58 a-d:*** Výbrus vzorkem V4A, snímek z PLM. a) celkový mikosnímek výbrusu PPL/XPL. b) klast mramoru, PPL/XPL, c) tepelc | d ně postižený flogopit, d) závalek pojiva, snímky PPL/XPL. Foto: D.Všianský.

Výsledky chemicko-technologické průzkumu - Analýza jiných materiálů

V22/10178: světlá vlákna
Místo odběru vzorku: vlasy Ježíše Krista, světlá koudel se zbytky štuku s růžovou a červenou polychromií

Obr. 59: Makrosnímek vzorku V22 (10178) z lícové strany vzorku (vlevo) a detail vláken (vpravo). Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 2x a 5x.

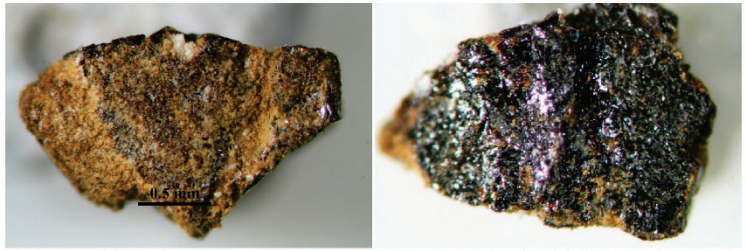
Analýza vláken: Mikroskopie vláken, Herzbergova vybarvovací zkouška, reakce s roztokem fluoroglucinu a stáčecí test jsou popsány v metodické části.



Obr. 60: Mikrosnímek vzorku V22 (10178). Vzorky vláken po styku s Herzbergovým činidlem. Vlákna se zbarvila dorůžova. Tloušťka vláken byla 10-25 µm. Fotografie v procházejícím světle optického mikroskopu, zvětšení na mikroskopu 20x a 200x.

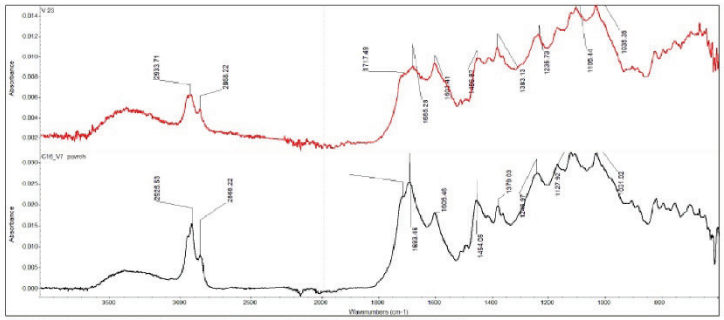
Vyhodnocení: Vzorek V22 tvoří vlákna, která mají strukturu s kolénky, úzký lumen, tloušťku vláken mezi 10 až 25 µm. Po styku s Herzbergovým činidlem došlo k zrůžovění vláken. Tyto znaky jsou typické pro lýková vlákna (například len, konopí, nebo kopřiva). Po reakci s roztokem fluoroglucinu nedošlo k probarvení vzorku do růžova. Může se jednat o len popřípadě konopí. Přítomnost lnu potvrdil tzv. „stáčecí" test, při kterém se vlákna vzorku při vysoušení otáčela po směru hodinových ručiček. Toto chování vykazují vlákna lnu.

V23/10179: výplň písma
Místo odběru vzorku: levá část nápisové desky



Obr. 61: *Makrosnímek vzorku V23 (10179) z lícové (vlevo) a rubové (vpravo) strany vzorku. Snímek v odraženém bílém světle ze stereomikroskopu SMZ800 (Nikon) při zvětšení na mikroskopu 4x.*

FT-IR analýza: Měření bylo provedeno z kusového vzorku výplně (vzorek byl rozmletý na jemný prášek) dle postupu, který uvádí metodická část. Spektra vzorku byly porovnány s výsledky vzorku výplně odebrané v rámci předběžného (vstupního) průzkumu (vzorek C16-V7).[1]



FT-IR 5: Infračervené spektrum vzorku V23/10179 a srovnávací spektrum vzorku C16-V7.

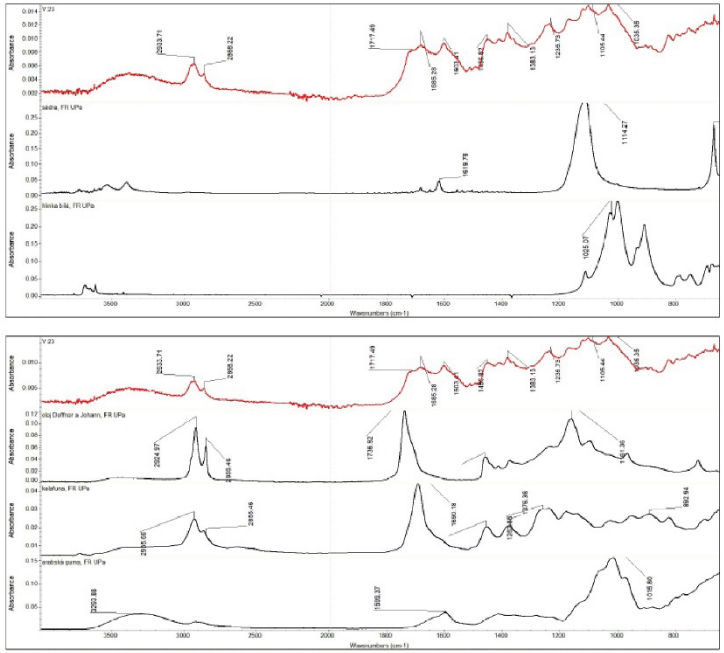
SEM-EDX analýza: org., Si, Al, Mg, Ca, Na, K (Fe, S, Cl, P)
Prvkovou analýzou byly zjištěny převážně organické složky, příměs hlinek. Ve vrstvě byl dále zjištěn obsah sloučenin s obsahem chloru (Cl), síry (S) a fosforu (P), jejichž výskyt nelze podrobněji interpretovat.

Pozn.: [1] Hurtová Alena, Tišlová, Renata, *Chemicko-technologický průzkum. Epitaf Jana Hodějovského z Hodějova*, Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2019, 12 s.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
V.VÝSLEDKY PRŮZKUMU

V23/10179: výplň písma
Místo odběru vzorku: levá část nápisové desky



FT-IR 6, 7: Infračervená spektra vzorku V23/10179 a srovnávací spektra vybraných anorganických a organických látek.

Vyhodnocení FT-IR analýzy: Spektrum vzorku naznačuje komplikovanou směs látek anorganického a organického původu. Pásy 3100-2800 cm^{-1} odpovídají valenčním vibracím C-H vazeb v nepolárních sloučeninách. Další pásy v oblasti 1740 – 1640 cm^{-1} odpovídají vibracím C=O vazby, které pochází z esterové skupiny aldehydu nebo ketonu, které jsou přítomné v pryskyřicích a vysýchavých olejích. Tvar a poloha pásu nejlépe odpovídá kalafuně, nelze však vyloučit ani jiný druh pryskyřice či směs více látek, nelze vyloučit ani případné degradační změny těchto látek.
Ve vzorku byly pomocí SEM – EDS identifikovány pigmenty na bázi hlinitokřemičitanů, jejich přítomnost se projevuje v oblastech okolo pásu 1028 cm^{-1}, tvar pásu ve spektru vzorku neodpovídá v důsledku absorpce dalších látek v této oblasti.
Ve vzorku je několik pásů, které naznačují přítomnost dalších látek, jednoznačně je však potvrdit nelze. Jedná se o pásy s maximem při 3355 cm^{-1}, 1605 cm^{-1}, 1028 cm^{-1}, které naznačují možnou přítomnost sacharidů (dobře tvarem odpovídají arabské gumě). Pás v oblasti 1121 cm^{-1} potvrzuje přítomnost síranu. Zdrojem můžou být černé částice – sazový pigment, nebo jiné látky např. síranové soli.
Spektra vzorků V23/10179 mají stejné polohy absorpčních pásů se vzorkem C16-V7 9570, který byl odebraný z jiné části výplně písma. Jedná se tedy patně o stejné materiály, odchylky ve spektru jsou nejspíše způsobené koncentrací jednotlivých složek.

V24 (S2)/10180: hloubkový vrt na stanovení obsahu vodorozpustných solí
Místo odběru vzorku: přilba, doplněk

Analýza vodorozpustných solí (síranů SO_4^{2-}), dusičnanů (NO_3^-) a chloridů (Cl^-) ve vzorku je uvedena v *Tab. 7*. Koncentrace se udává v mmol/kg a hm.% jako množství soli rozpuštěné ve 100 g vzorku. Pro vyhodnocení slouží rakouská norma Onorm B3355-1 (*Tab. 3, 4*).

vzorek, lokalizace místa odběru	výška/hloubka odběru vzorku (cm)	sírany (SO_4^{2-})		dusičnany (NO_3^-)		chloridy (Cl^-)	
		hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg	hm.%	mmol/kg
V24 (S2)	hloubkový vrt, přilba, doplněk	0,15	16	0,15	24	0,23	66

Tab. 7: Obsah anionů vodorozpustných solí ve vzorku V24 (S2). Koncentrace vodorozpustných solí je vyjádřena v hm. % a mmol/kg. Klasifikace obsahu vyplývá z rakouské normy Onorm B3355-1 (*Tab. 3*). Pozn.* vzorek obsahuje vysoké množství síranu vápenatého (sádrovce).

Vyhodnocení: Ve vzorku V24 (S2) se vyskytuje směs solí; největší zastoupení tvoří chloridy, v menší koncentraci jsou zastoupeny sírany a dusičnany. Sírany patrně pochází z podkladu, který tvoří vápeno-sádrový doplněk (analýza viz. vzorek V13). Chloridy a dusičnany se do epitafu patrně dostávají vzlínající vlhkostí z podkladu/zdiva.

VI. Shrnutí výsledků průzkumu, závěr

Chemicko-technologický průzkum štukového epitafu Jana Hodějovského z Hodějova v kostele sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci je prováděn v rámci mezioborového průzkumu a restaurování památky provedené s podporou projektu MK ČR programu NAKI II (id. č. DG18P02OVV05). Restaurování objektu probíhající v rozmezí let 2019-2021 (ukončení srpen 2021) provádí a odborně garantuje Fakulta restaurování Univerzity Pardubice.
Předmětem průzkumu je renesanční epitaf znázorňující rodinu Jana Hodějovského z Hodějova, který byl vytvořen v 2. pol. 16. století ze štuku (figurální části) a žuly (architektonické části). Celé dílo se dochovalo se zachovanou bohatě provedenou původní polychromií. Dílo se díky zabílení dochovalo ve velmi dobrém stavu, který umožňuje podrobné studium techniky štuku, polychromie a použitých materiálů. Předkládaný přírodovědný průzkum byl zaměřen na tři základní cíle:

ad1) *Průzkum barevných vrstev polychromie* - průzkum byl zaměřen na vrstvy polychromie. Primárním cílem byla charakterizace vrstev originálu a přemaleb, popis vrstev a jejich dokumentace. Na základě stratigrafie lze vyvodit základní informace k technice polychromie štuku i kamenných částí. Výsledky průzkumu byly doplněny o informaci ke složení použitých materiálů, tj. pojiva vrstev, barvících složek. Výsledky chemicko-technologického průzkumu budou porovnávány se sondážním průzkumem provedeným na objektu *in-situ*.

ad2) *Materiálová skladba konstrukčních materiálů* - součástí průzkumu je identifikace materiálových složek štukových vrstev, ze kterých je dílo zhotoveno. U odebraných vzorků jsou patrné dvě odlišné vrstvy hrubšího jádrového štuku a svrchní jemné bílé modelační vrstvy/intonaca, ze které je vytvoená finální modelace štukového výjevu. U odebraných vzorků byly identifikovány jednotlivé složky pojiva, plniva a přísad. Kamenné části epitafu nebyly podrobeny podrobnější analýze, makroskopicky se prokazatelně jedná o granitoidní horninu.

ad3) *Analýza materiálů druhotných oprav* - na epitafu byly identifikovány lokální druhotné zásahy. Pro objekt nejvýznamnější jsou druhotné úpravy, které bezprostředně navazují na originální vrstvy, opravují modelaci a lokální mechanická poškození originálu. Tmely použité pro opravy byly podrobeny materiálové analýze. Další druhotné vrstvy identifikované na objektu tvoří překryvné nátěry provedené bez reflexe barevnosti a výtvarné kvality originálu. Ty nebudou předmětem bližšího zkoumání ani podrobnějších analýz.

ad4) *Analýza dalších materiálů použitých na epitafu* - spíše zajímavostí je doplnění průzkumu o výzkum materiálů, které byly v průběhu odkryvu na epitafu nalezeny. Jedná se zejména o nález vlasů Krista na kříži, které byly vytvořeny z vláknitého materiálu a opatřeny polychromií. Vzorky odebrané z výplně písma nápisové desky nebo vzorek výkvětu na druhotném tmelu. Předmětem analýzy byly také ztvrdlé vrstvy bílého nátěru/nánosu překrývající polychromii, kterou při odkryvu nebylo možné odstranit běžnými čisticími metodami.

Ze štukového epitafu bylo odebráno celkem 24 vzorků označených V1-V24. Vzorky tvoří jednak odběry z polychromie štukových i kamenných částí epitafu, jeden vzorek byl odebrán z pozadí epitafu. Z konstrukčních prvků byly odebrány vzorky jádrové a modelační vrstvy štuku a vzorky druhotných tmelů. Z vlasů Krista byl odebrán vzorek vláken pro identifikaci složení. Další vzorek byl odebrán z výplně nápisové desky v dolní části epitafu. Dva vzorky byly odebrány pro analýzu obsahu vodorozpustných solí. Dva vzorky byly odebrány ze ztvrdlých vrstev překrývající originál v centrální části výjevu. Průzkum vzorků byl proveden v komplexním rozsahu pomocí několika analytických technik. Vzorky povrchových úprav, štukových vrstev i tmelů byly primárně studovány pomocí mikroskopických technik (optické mikroskopie v polarizovaném i nepolarizovaném světle, skenovací elektronové mikroskopie s mikrosondou (SEM-EDX)). Analýza pojiva vybraných vzorků barevných úprav, ale i příměsí štuku, byla provedena s pomocí Infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR) a upřesněna externě provedenou proteinovou analýzou.

Složení druhotných tmelů bylo upřesněno práškovou rentgenovou difrakční analýzou (pXRD). Charakterizace vzorku vláken byla provedena pomocí vybarvovacích zkoušek a optické mikroskopie. Analýza obsahu vodorozpustných solí byla provedena UV/VIS spektrofotometrií a doplněna fázovou analýzou výkvětu metodou pXRD. Ta byla použita i při určení fázového složení ztvrdlé vrstvy na povrchu epitafu v centrální části výjevu. Složení výplně písma bylo stanoveno metodou FT-IR.

Výsledky průzkumu:

ad1) Průzkum povrchových úprav/polychromie (vzorky V1, V1A, V2, V2A, V3, V4, V5A, V8, V17, V18, V19, V20, V21) Podklad všech vzorků odebraných z polychromie tvoří vrstva bílého modelačního štuku, jehož charakteristika je uvedena v bodu *ad2)* předkládaného průzkumu. Barevné úpravy byly vystavěny v jedné nebo dvou vrstvách, převážně technikou *secco* nebo *fresco-secco* do částečně zavadlého podkladu/intonaka. Pojivo barevných vrstev tvoří shodně středně dolomitické vápno (složení pojiva se přibližně shoduje se složením pojiva bílého modelačního štuku) s malou příměsí proteinových složek (dle FT-IR analýzy a proteinové analýzy se jedná buď o látky na bázi kolagenních proteinů a kaseinu, nelze vyloučit ani použití obou těchto látek). Vzhledem k identifikovanému pojivu složek bychom mohli upřesnit techniku polychromie jako *vápenné secco* nebo *secco* s vápenný proteinem modifikovaným pojivem. Určující charakteristikou polychromie je velmi tenký nános barevných vrstev, u vzorku V17 se dokonce setkáváme s opravou polychromie, kdy bylo provedeno přetažení původní polychromie novým podkladem intonaka (identického složení jako vrstva podkladu) a polychromie provedena znovu. Taková práce s polychromií byla viditelná již na vzorku polychromie z předběžného průzkum (vzorek C16-V7) a patrně musela vycházet ze specifického chování použitého typu pojiva polychromie ve vztahu ke specifickému charakteru malby imitující ve střední části epitafu mramorování (vrstvy polychromie jsou více či méně hladké až lesklé, polychromie včetně žilkování jakoby zakletovaná do povrchu štuku). Škála použitých pigmentů odpovídá době vzniku památky; ve vrstvách ústřední části epitafu se vyskytují pouze hlinky, uhlíkatá čerň (patrně dva typy), příp. železitá červeň. V tympanonu a vrcholové části se popsaná paleta pigmentů rozšiřuje o červené minium (vzorky V4, V5A, V19), přírodní modrý azurit a smalt, zelený malachit (V2, V3, V17, V18).

Kromě samotné polychromie figurálního výjevu byla zkoumána i barevná úprava architektonických částí epitafu, které jsou výrazně červeně kolorované (vzorky V9, V13, V15). Studium odebraných vzorků potvrdilo podobné složení barevné vrstvy jako u vzorků z polychromie - pojivo tvoří středně dolomitické vápno s příměsí proteinu, barevné složky červené barevné úpravy tvoří železitá červeň, hlinky a uhlíkatá čerň. Vrstva červené polychromie se nachází i na tmelu V15, který byl s největší pravděpodobností použit jako autorská oprava defektů žulových prvků. Druhotné sádrové tmely však červenou barevnou úpravu stratigraficky překrývají.

Barevné úpravy byly zkoumány i u vzorku vláken Krista (vzorek V22) a na pozadí tympanonu (vzorek V20). U vzorku V22 se na vláknech nacházela vrstvička bílého štuku, jehož složení odpovídá vrstvě intonaca. Na jeho povrchu byly provedeny dvě vrstvy barevné úpravy v růžové a načervenalé až nahnědlé barevnosti. Složení pojiva obou barevných vrstev se shodovalo s pojivem ostatních vrstev polychromie a je možné tudíž uvažovat o přítomnosti polychromie na vlasech Krista, která se do současnosti souvisle nedochovala. Hlavní barvící složky barevných úprav tvořily olovnatá běloba a červená hlinka (nelze vyloučit ani příměs minia). Červeno-hnědá byla vytvořena použitím červeno-hnědých hlinek a železité červeně patrně s příměsí uhlíkaté černě. Pozadí epitafu (vzorek V20) bylo pojednáno šedo-oranžovým monochromním vápenným barevným nátěrem s pojivem na bázi bílého vzdušného vápna (pojivo nátěru pozadí se odlišuje od pojiva polychromie) s obsahem hlinek a černého uhlíkatého pigmentu. Podklad nátěru tvoří souvrství střednězrnné okrové omítky s pojivem na bázi bílého vzdušného vápna a středně vytříděného kopaného písku. Na ní následuje souvrství bílých vápenných nátěrů s pojivem na bázi bílého vzdušného vápna (patrně 3 nánosy), na kterém je teprve provedena barevná úprava a to *al fresco* do čerstvého podkladu. Barevná úprava je velmi tenká, tl. nátěru se pohybuje okolo 20 μm.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
VI. SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ, ZÁVĚR

ad2) Materiálová skladba konstrukčních materiálů - analýza štukových vrstev (vzorky V10, V3A, V4A, modelační vrstva je dále přítomna u všech vzorků odebraných z polychromie) - štukové souvrství, ze kterého je epitaf vymodelován, tvoří dva typy štukových malt. Spodní vrstvu tvoří okrová hrubší vrstva jádrové malty, na kterou navazuje jemnější, v tloušťce vrstvy tenčí vrstva, bílé modelační vrstvy/intonaca.

Jádrovou maltu tvoří sv. okrová středně homogenní až nehomogenní maltovina s obsahem trhlin a nehomogenit tvořených převážně z lokálně přítomných závalků nahloučeného pojiva. Oproti modelační vrstvě je více zastoupeno plnivo, které je druhově bohatší, výrazně hrubozrnnější a méně vytříděné. Pojivo malty vytváří pravděpodobně slabě až středně hydraulické vápno (odlišuje se od pojiva modelační vrstvy). Ze suroviny použité pro výpal patrně pochází v maltě sporadicky zastoupený teplotně postižený flogopit-materiálem pro výpal byl mramor. V pojivové matrici jsou zastoupené závalky pojiva o velikosti až 1 mm. Jejich prvková analýza nasvědčuje, že pojivo tvoří nejspíše slabě hydraulické vápno. Plnivo jádrové malty tvoří směs říčního nebo kopaného písku a mramorové moučky. V písku převažují klasty minerálů nad klasty hornin. Z klastů minerálů jsou zastoupeny křemen, plagioklas, alkalický živec (převážně mikrokin), biotit, sporadicky mramor (pravděpodobně klasty mramorové moučky), rutil, apatit. Klasty hornin tvoří granitoidní hornina, rula. Nápadné jsou velké fragmenty mikroklinu. Součástí výplňových složek jsou lupínky výpalem postiženého flogopitu, který pochází ze suroviny použité pro přípravu pojiva. Klasty plniva se vyznačují nízkou sféricitou, částečně zaobleným až subangulárním tvarem částic. Plnivo je středně vytříděné s maximální velikostí zrn do 2,5 mm. Kromě obsahu fází byla obrazovou analýzou přibližně vyhodnocena receptura přípravy malty, která se liší od modelační vrstvy. Poměr výplňové složky ku pojivu (odpovídá přibližně 1,5-2:1 v obj. d.).

Modelační vrstva/intonaco na rozdíl od jádra se vyznačuje bílou barevností a střední až vysokou jemností. Modelační vrstva vykazuje středně homogenní strukturu. V maltě jsou přítomné závalky pojiva, reaktivní částice a nedopal, který jasně poukazuje na použití mramoru pro výpal vápna. Vrstva je spíše málo porézní s přítomností makrotrhlin. Malta je charakteristická vysokým podílem pojiva ve směsi. Pojivo modelační vrstvy tvoří vápno na bázi středně až silně dolomitické vzdušného vápna s nízkým obsahem složek s obsahem křemíku a hliníku, které mohou ovlivňovat hydraulické chování pojiva. Obsah hořečnatých fází stanovený SEM-EDX analýzou je lokálně značně kolísavý a pohybuje se průměrně mezi 25-30 % hm.% (z celkového podílu pojiva). Z petrografické analýzy v maltě přítomného nedopalu vyplývá, že surovinou pro výpal byl mramor. Kromě klastů karbonátů byl v základní surovině pro výpal identifikován pyroxen a pravděpodobně i olivín. Pojivo je až na výjimky relativně homogenní, pojivová matrice obsahuje vápenné hrudky do velikosti 0,5 mm. V pojivu se jen sporadicky vyskytují reaktivní částice se zvýšeným obsahem křemíku, které mají výrazně sklovitý a slinutý charakter. Zdrojem reaktivních částic může být obsah minerálů pocházející přímo z mramoru, které výpalem prochází tepelnou přeměnou. Plnivo oproti jádrové maltě tvoří převážně drcený mramor složeným z kalcitu (plnivo není identického původu jako pojivo). Ve vrstvě se kromě mramoru vyskytují pouze klasty minerálů pocházející z vypáleného mramoru - pyroxen, pravděpodobně i olivín. Plnivo je vytříděné, velikost klastů mramoru se pohybuje v širokém rozmezí 0,05-1 mm (nejčetnější jsou frakce s velikostí 200-500 μm a prachové částice s velikostí menší než 50 μm). Klasty mramoru lze charakterizovat nízkou sféricitou a subangulárním až angulárním tvarem zrn. Obrazovou analýzou byla vyhodnocena receptura přípravy malty, která potvrdila ´mastný´ charakter malty. Poměr výplňové složky ku pojivu (odpovídá přibližně 1:1,5 v obj. d.).

ad 3) Analýza materiálů druhotných oprav (vzorky V9, V13 - doplňky štukových částí, V15, V16 - tmel na žulové architektuře)

Mechanická poškození štukové modelace byla v minulosti doplněna jediným typem doplňku, který se vyskytuje na několika štukových částech (přilbice, pahorek, pentle Rosiny), ale lokálně i na žulové architektuře rámující epitaf (vzorek V16). Tvoří jej jemnozrnný bílý vápeno-sádrový tmel s převahou vápna v pojivu, sádra tvoří minoritní příměs pojiva. Vápennou složku pojiva tvoří nejspíše bílé vzdušné vápno, Mg fáze jsou patrně součástí jemnozrnného plniva.

V tmelu se vyskytují drobné částice nezhydratované sádry s velikostí do 100 μm (na řezu vzorkem bílé klasty). Matrice je vysoce porézní s rekrystalizovanými oblastmi s různou morfologií krystalů sádrovce. Plnivo tvoří směs jemnozrnného dobře vytříděného písku s maximální velikostí zrn do 0,5 mm. Písek je tvořen klasty minerálů a hornin; z minerálů byly jednoznačně identifikovány křemen, živce, muskovit. Kalcit pochází patrně z klastů vápence, ojediněle přítomná drobná červená zrna mohou být, dle prvkové analýzy, klasty jemně drcené cihly (nevyskytuje se u všech vzorků).
Jiný typ tmelu použitý pro opravu drobných defektů žulové architektury představuje vzorek V15. Složením představuje zcela odlišný typ doplňku a je pravděpodobné, že se jedná o autorskou opravu. Tmel je vápenný s pojivem na bázi bílého vzdušného vápna (bez obsahu sádry). Plnivo tvoří křemičitý písek na vzorku s maximální velikostí do 2 mm. Klasty plniva tvoří křemen, křemičitany a hlinitokřemičitany, se zvýšeným obsahem oxohydroxidů železa. V pórech se vyskytuje červený pigment, který je nejspíše strženou příměsí z vrstvy 1. Červená barevná úprava na povrchu bezprostředně navazující na doplněk a přechází na kamenné části architektury je vápenný nátěr s pojivem na bázi středně dolomitického vápna (srovnej složení modelační vrstvy štuku a pojiva polychromie) modifikovaný příměsí proteinu. Červený pigment tvoří směs železité červeně, červené hlinky, příměs tvoří střednězrnná uhlikatá čerň rostlinného původu.

ad 4) Analýza dalších materiálů použitých na epitafu

Ztvrdlé vrstvy překrývající polychromii v centrální části výjevu (vzorek V5, V6) tvoří fáze pocházející z karbonatace vápenného pojiva štuků a barevných úprav, které tvoří, jak bylo popsáno výše shodně středně až vysoce dolomitické vápno. Hlavní složky ztvrdlých vrstev tvoří kalcit $CaCO_3$ a hydromagnesit $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.4(H_2O)$, které se mohou vyznačovat odlišnými mechanickými vlastnostmi a ovlivňovat pevnost a tvrdost povrchu. Výsledky fázové analýzy jsou uvedeny v *Příloze 2 - Rentgenová prášková mikrodifrakce*.

Ve vzorku výkvětu V14 (S1) odebraného z povrchu druhotného tmelu (přilba Jana Hoděj ovského) se vyskytuje směs solí; největší zastoupení tvoří chloridy, v menší koncentraci jsou zastoupeny sírany a dusičnany. Sírany tvoří sádrovec, který pochází z materiálu podkladu, který tvoří vápeno-sádrový tmel. Podobné spektrum solí bylo prokázáno analýzou hloubkového vzorku V24 (S2).

Vzorek vláken z vlasů Krista (V22) tvoří vlákna lnu. Charakteristiky vláken tvoří struktura s kolénky, úzký lumen, tloušťku vláken mezi 10 až 25 μm. Po styku s Herzbergovým činidlem dohází ke zrůžovění vláken. Také po reakci s roztokem fluoroglucinu nedošlo k probarvení vzorku do růžova. Přítomnost lnu zcela přesně potvrdil tzv. „stáčecí" test, při kterém se vlákna vzorku při vysoušení otáčela po směru hodinových ručiček.

Výplň písma (vzorek V23) tvoří komplikovaná směs látek anorganického a organického původu. V organických složkách se vyskytuje směs pryskyřic a vysýchavých olejů. Z pryskyřic by se mohlo jednat o kalafunu, nelze však vyloučit i obsah jiného druhu pryskyřice či směsi více látek. Z analýzy nelze ani vyloučit degradaci těchto látek. Tvárná směs dále obsahovala anorganické složky, které mohly sloužit pro tónování tvárné směsi; ve vzorku byly identifikovány pigmenty na bázi hlinitokřemičitanů (hlinky), dále patrně obsah černého uhlikatého pigmentu (možná saze). Výplň obsahuje sírany, které mohou pocházet ze zasolení. Minoritní složky detekované v malém množství tvoří příměs sacharidů (možná arabská guma), která mohla sloužit jako změkčovací příměs tvárné směsi.

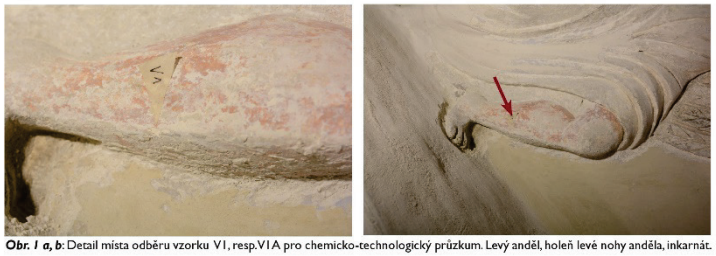
V Litomyšli, 10. 6. 2021

Ing. Renata Tišlová, Ph.D., Katedra chemické technologie
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice

Počet stránek ve zprávě: 66 + 4 Přílohy

VII. PŘÍLOHY

Příloha I: Dokumentace míst odběru vzorků



Obr. 1 a, b: Detail místa odběru vzorku V1, resp. V1A pro chemicko-technologický průzkum. Levý anděl, holeň levé nohy anděla, inkarnát.

Obr. 2 a, b: Detail místa odběru vzorku V2, resp. V2A pro chemicko-technologický průzkum. Levý anděl, levé křídlo anděla, modrá.

Obr. 3 a, b: Detaily míst odběru vzorků V3 (vlevo) a V3 a V4 (vpravo) pro chemicko-technologický průzkum. Pravý anděl, pravé křídlo anděla, modro-zelená (V3), pravý anděl, drapérie na pravé ruce, okrovo-hnědá (V4).

Obr. 4 a, b: Detail místa odběru vzorku V5 pro chemicko-technologický průzkum. Pozadí tympanonu, pravá strana, ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů.

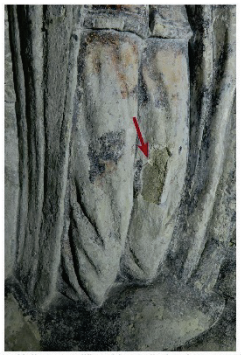
Obr. 5: Detail místa odběru vzorku V5A. Zděný sokl pod erbem Rosiny z Vartenberka. Cementová malta se svrchní omítkou/cementová malta s cihlou.

a
b

Obr. 7: Detail místa odběru vzorku V7. Zděný sokl pod erbem Rosiny z Vartenberka, opravná malta na cihlovém zdivu.

Obr. 6 a, b: Detail místa odběru vzorku V6 pro chemicko-technologický průzkum. Středový výjev epitafu, druhá figura zleva, kabátec staršího syna, ztvrdlá vrstva druhotných nátěrů.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
VII. PŘÍLOHY - Příloha 1: Dokumentace míst odběru vzorků



Obr. 8 a, b: Detail místa odběru vzorku V8 pro chemicko-technologický průzkum. Kalhoty staršího chlapce, štukové souvrství s černou barevnou úpravou.

Obr. 9: Detail místa odběru vzorku V9 pro chemicko-technologický průzkum. Konec šály (pentle) Rosiny, tmel s vrstvami druhotných nátěrů.

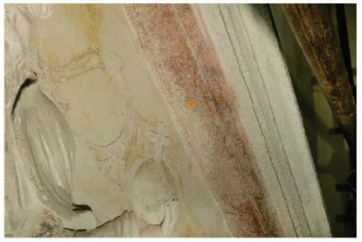
Obr. 10: Detail místa odběru vzorku V10. Pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu, souvrství modelační a jádrové vrstvy štuku.

Obr. 11: Detail místa odběru vzorků V11 a V24 (S2). Pahorek, jádrová omítka s druhotnými nátěry (bez modelační vrstvy).

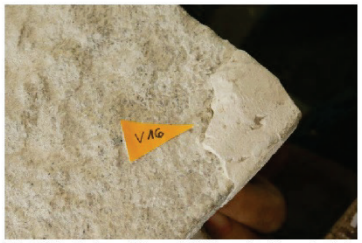
Obr. 12: Detail místa odběru vzorku V9 pro chemicko-technologický průzkum. Konec šály (pentle) Rosiny, tmel s vrstvami druhotných nátěrů.

Obr. 13: Detail místa odběru vzorku V13 pro chemicko-technologický průzkum. Přilba, tmel.

Obr. 14: Detail místa odběru vzorku V14 (S1) pro chemicko-technologický průzkum. Přilba, seškrab solných výkvětu na sekundárním doplňku.



Obr. 15 a, b: Detail místa odběru vzorku V15 pro chemicko-technologický průzkum. Tympanon, pravá část, tmel žuly s červenou barevnou úpravou a druhotným okrovým tmelem.



Obr. 16: Detail místa odběru vzorku V16 pro chemicko-technologický průzkum. Tympanon, pravý roh, druhotný sádrový tmel?

Obr. 17: Detail místa odběru vzorku V17 pro chemicko-technologický průzkum. Tympanon, pozadí Boha Otce, levý dolní roh, oranžové pozadí s vrstvou nečistot nebo přemalbou.

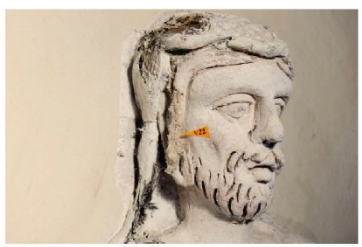
UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ
kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
VII. PŘÍLOHY - Příloha 1: Dokumentace míst odběru vzorků

Obr. 18 a, b: Detail místa odběru vzorku V18 pro chemicko-technologický průzkum. Plášť Bohat Otce, zelená.

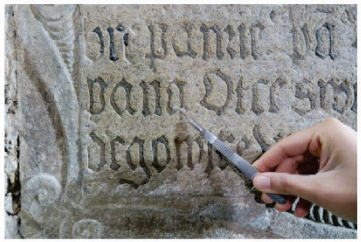
Obr. 19: Detail místa odběru vzorku V19 pro chemicko-technologický průzkum. Plášť/rouška Ježíše Krista, červená.

Obr. 20: Detail místa odběru vzorku V20. Pozadí epitafu, vpravo od Ježíše Krista.

Obr. 21: Detail místa odběru vzorku V21 pro chemicko-technologický průzkum. Pozadí Boha Otce, velvo, oranžová.



Obr. 22: Detail místa odběru vzorku V22. Vlasty Ježíše Krista, světlá koudel se zbytky štuku s polychromií.



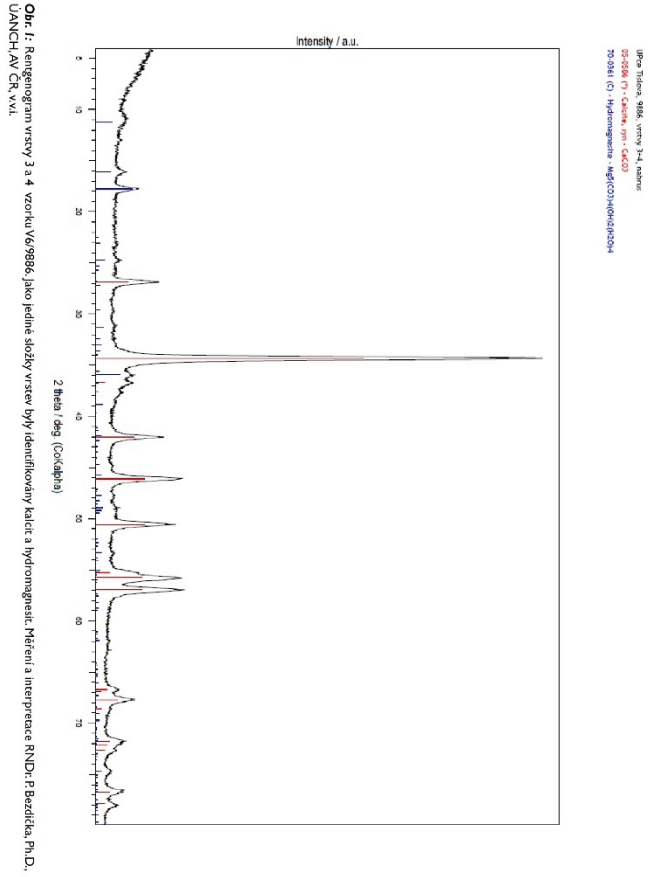
Obr. 23 a, b: Detail místa odběru vzorku V23 pro chemicko-technologický průzkum. Levá část nápisové desky, výplň písma.

Obr. 24: Detail místa odběru vzorku V24 (S2) pro chemicko-technologický průzkum. Helmice, doplněk.

Obr. 25: Detail míst odběru vzorků V3A a V4A. Pravá ruka anděla vlevo, v místě defektu.

Příloha 2: Rentgenová prášková mikrodifrakce vzorku V6/9886

Měření bylo provedeno RNDr. Petrem Bezdičkou, Ph.D. z Ústavu Anorganické chemie (ÚANCH), AV ČR, v.v.i.

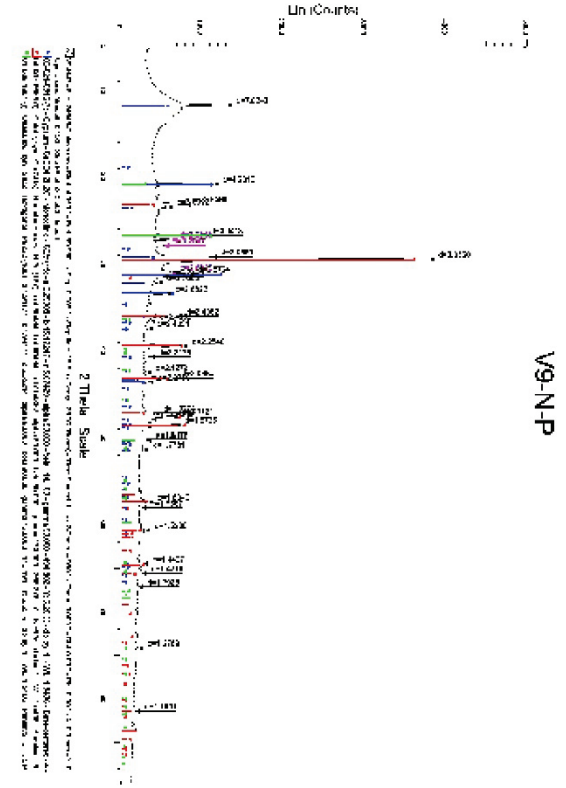


Obr. 1: Rentgenogram vrstev 3 a 4 vzorku V6/9886, jako jediné složky vrstev byly identifikovány kalcit a hydromagnesit. Měření a interpretace RNDr. P. Bezdička Ph.D., ÚANCH, AV ČR, v.v.i.

Příloha 3: Rentgenová prášková difrakce vzorku V9/10036

Měření bylo provedeno a vyhodnoceno Ing. Klárou Melánovou, Ph.D. z Fakulty chemické technologie, Univerzity Pardubice.

V9-N-P: vzorek bez plniva



Obr. 2: Rentgenogram vzorku V9/10036, bez plniva (N-P), jako jedine složky vzorku byly identifikovány: kalcit ($CaCO_3$), sádrovec ($CaSO_4.2H_2O$ a křemen (SiO_2). Měření a interpretace Ing. Klára Melánová, Ph.D. FCHT, UPa.

UNIVERZITA PARDUBICE FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

kostel Narození sv. Jana Křtitele, štukový epitaf
Chemicko-technologický průzkum
VII. PŘÍLOHY - Příloha 3: Rentgenová prášková difrakce

V9-N: vzorek s plnivem

Obr. 2: Rentgenogram vzorku V9/10036, s plnivem (N), jako jedine složky vzorku byly identifikovány: kalcit ($CaCO_3$), sádrovec ($CaSO_4.2H_2O$ a křemen (SiO_2). Měření a interpretace Ing. Klára Melánová, Ph.D. FCHT, UPa.

Příloha 4: Proteinová analýza

Měření bylo provedeno Doc. Ing. Mgr. Štěpánkou Kučkovou, Ph.D. z Ústavu Biochemie a mikrobiologie z VŠCHT v Praze.

vzorek V1A: inkarnát, stanovení proteinu v polychromii
vzorek V6: černá, kabátec staršího syna
vzorek V8: vrstva modelačního štuku

Výsledek proteinové analýzy

štukový epitaf Jana Hodějovského z Hodějova

Vzorky: V1A-RU (Rudolec, **barevná vrstva**), V6-RU červená (**barevná vrstva**), V8-RU (Rudolec, **modelační vrstva štuku**)

Postup: Vzorky byly dvě hodiny štěpeny trypsinem, následně přečištěny a zahuštěny na reversní fázi C18 (Zip Tip). Poté byly analyzovány pomocí nanokapalinové chromatografie spojené s hmotnostním spektrometrem ESI-Q-TOF Maxis Impact. Peaklist ze změřených dat byl extrahován programem Data Analysis 4.1. Proteiny byly identifikovány za pomoci softwaru Mascot verze 2.2.04 vyhledáváním v proteinové databázi SwissProt, NCBInr a MS/MS přesností přiřazení hmotností peptidových štěpů 0,05 Da. Měření bylo provedeno na VŠCHT v Praze.

Výsledky:

Vzorek: V1A-RU

Accession	Protein	Num. of matches
K2C1_HUMAN	Keratin, type II cytoskeletal 1	14
K1C10_HUMAN	Keratin, type I cytoskeletal 10	11
CO1A2_BOVIN	Collagen alpha-2(I) chain	9
K1C9_HUMAN	Keratin, type I cytoskeletal 9	9
K22E_HUMAN	Keratin, type II cytoskeletal 2 epidermal	7
CO1A1_BOVIN	Collagen alpha-1(I) chain	6
TRYP_PIG	Trypsin	2

Vzorek: RU-V6 červená

Accession	Protein	Num. of matches
CO1A1_BOVIN	Collagen alpha-1(I) chain	36
CO1A2_BOVIN	Collagen alpha-2(I) chain	24
K2C1_HUMAN	Keratin, type II cytoskeletal 1	14
K1C10_HUMAN	Keratin, type I cytoskeletal 10	13
CO1A2_CANFA	Collagen alpha-2(I) chain	13
K22E_HUMAN	Keratin, type II cytoskeletal 2 epidermal	12
K1C9_HUMAN	Keratin, type I cytoskeletal 9	7
CO2A1_RAT	Collagen alpha-1(II) chain	5
CO1A2_MOUSE	Collagen alpha-2(I) chain	4
MYH1_CANFA	Myosin-1	2
TRYP_PIG	Trypsin	2

Vzorek: V8-RU

Accession	Protein	Num. of matches
CO1A1_BOVIN	Collagen alpha-1(I) chain	15
CO1A2_BOVIN	Collagen alpha-2(I) chain	10
TRYP_PIG	Trypsin	2

Závěr:

Ve vzorku **V1A-RU inkarnát** byly nalezeny kolagenní proteiny (klih/želatina).

Ve vzorku **V6-RU černo-červená** byly nalezeny kolagenní proteiny (klih/želatina).

Ve vzorku **V8-RU modelační štuk** byly nalezeny kolagenní proteiny (klih/želatina).

Ve vzorcích nebyly nalezeny žádné relevantní rostlinné proteiny.

V Praze 25. 6. 2020

doc. Ing. Mgr. Štěpánka Kučková, Ph.D.

III TEORETICKÁ ČÁST

Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků

1 Úvod do problematiky

V teoretické části je diplomová práce zaměřena na problematiku čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků. Téma této práce bylo zvoleno na základě dřívějších praktických zkušeností diplomantky s restaurováním sádrových odlitků v průběhu studia, při kterých se opakovaně s problematikou konfrontovala.[39] Praktické zkušenosti s čištěním sádrových odlitků znečištěných korozními produkty železných armatur se proto staly předmětem diplomové práce, ve které diplomantka své praktické zkušenosti doplnila o poznatky teoretické a laboratorní.

Znečištění sádrového povrchu korozními produkty kovů jako železa a jeho slitin, mědi pocházející nejčastěji z armatur či konstrukcí odlitků nebo z procesu vlastní tvorby jejich vzniku (například tečkování při reprodukci, aj.) je poměrně častým fenoménem. Kovy přítomné uvnitř sádrových plastik nebo v těsném kontaktu s odlitkem v nestabilních vlhkostních podmínkách korodují a kvůli porézním systému sádry se poté nekontrolovatelně šíří. Dalším typem zanesení korozních produktů na sádrový povrch je stékání vody po zkorodovaném kovovém objektu, který se zvnějšku kontaminuje odlitek rozpuštěnými korozními produkty. Ať v jednom, nebo druhém případě dochází k poškození a znečištění odlitku. Nejzávažnější účinek, často nevratně působící na soudržnost odlitku, je mechanické poškození způsobené vlivem objemových změn vyvolaných nárůstem korozních produktů na kovových armaturách zalitých v sádře. Méně závažné, ale podobně těžko řešitelné, je znečištění odlitku korozními produkty. Změna barevnosti se projevuje buď lokálně v podobě barevných skvrn, jež vznikají v místě styku s kovem nebo blízkém okolí. U dlouhodobě nevhodně uložených odlitků se setkáváme se znečištěním ve větších plochách, které se při dalším nevhodném uložení rozšiřuje a distribuuje odlitkem. V každém případě způsobené barevné změny narušují čitelnost sádrových děl změnou barevnosti a heterogenitou povrchu. Problém se dále komplikuje v případě přítomnosti patiny nebo polychromie na odlitku, která může měnit barevnost, a dochází k celkovému posunu vnímání estetických i výtvarných kvalit díla.

Sádrové odlitky dělíme podle jejich funkce do dvou kategorií, na kopie a faksimile, jejichž cílem je zachovat současný stav památky a výsledná sochařská díla nebo autorské

[39] Téma bylo řešeno v rámci ukončeném projektu MK ČR NAKI *„Stopy tvorby – Dědictví velkých sochařů první poloviny 20. století. Restaurování a péče o sochařské památky ze sádry“*, ID DG16P02B052, 2016–2019/2020.

modely soch, tedy skici bozzeta[40] a modeletta[41] zachycující nápad případně se jedná o návrh/variantu řešení. V sádře jsou uchované i skutečné modely, které později sloužily k reprodukci do jiných materiálů (například bronzu, kamene a dalších). Mnohdy nám jsou sochařské modely zachovány jako jediný důkaz umělcovy tvorby, zejména daného díla, kdy jeho reprodukce ve finálním materiálu nebyla vyhotovena nebo byla nenávratně zničena. Proto je nezbytně důležité dbát a pečovat o jejich zachování, a to i v případech poškození a znečištění (bezesporu mezi ně patří i vliv koroze kovů), jež se v některých krajních případech zdají být svým devastačním účinkem jako neřešitelná.[42]

Předkládaná diplomová práce se snaží o otevření části problematiky, která u sádrových odlitků byla již nedávno částečně řešena, ale ze zcela jiného úhlu pohledu.[43] Tato studie se zaměřuje na výzkum možnosti chemického čištění korozních produktů ze sádry pomocí obkladů s účinnou látkou. Ta dle chemického složení, různým mechanismem, aktivně působí na tyto korozní produkty a účinně je z povrchu odlitku odstraňuje. Vzhledem k šíři problematiky se studie zaměřila pouze na čištění nejčastějšího typu znečištění železem a jeho slitinami, projevujícího se typickým oranžovým zbarvením. V rámci studie byla nejprve systematicky a souhrnně zpracovaná literatura i příklady z praxe, zabývající se čištěním korozních produktů ze sádrových odlitků v uplynulých letech. Kvůli nedostatku studií, které by se přímo vztahovaly jen na sádrové odlitky, byly informace hledány i v literatuře orientované na jiné typy materiálů, zejména mramor a vápenné materiály. Ty se však vyznačují velmi odlišnými vlastnostmi, které výsledný účinek čištění, jak se ukázalo i v této práci, zásadním způsobem ovlivňují. Z literatury (větší důraz byl kladen na recentní studie) byly vytipovány vhodné čisticí látky a postupy. Dále byl prostudován mechanismus působení těchto látek, jež byly oporou při plánování samotného experimentu. Cílem experimentální části pak bylo vyhodnocení účinnosti jednotlivých látek a definování účinného, ale zároveň vůči podkladu šetrného postupu aplikace. V posledním kroku došlo k praktické zkoušce čištění na znečištěném sádrovém odlitku a provázání výsledků laboratorního výzkumu s praxí. Aplikace v reálných podmínkách poskytla zpětnou vazbu a podněty pro finální úpravy a adaptaci aplikačního postupu.

[40] **bozzeto** = malá přípravná sochařská skica vyhotovená z hlíny, vosku, sádry a jiných přípravných materiálů provedená v malém rozměru. Tato skica sloužila později jako předloha v ateliéru pro finální dílo.
[41] **modelletto** = více méně vychází z bozzeta, ale je více propracované, a často se proto předvádělo investorovi jako finální návrh, podle kterého bylo vyhotoveno finální dílo.
[42] ĎOUBAL 2020
[43] AUSKÁ 2017

1.1 Sádra a její vlastnosti ve vztahu k řešené problematice

Vzhledem k řešené problematice je nezbytné popsat jak charakteristické vlastnosti sádry jako samotného pojiva, tak i výsledného produktu, kterým je sádrový odlitek. Pro snazší pochopení degradačních jevů sádry spojených s korozními produkty železa je nutné seznámení se s chemickým složením, fyzikálními a mechanickými vlastnostmi.

Výrobní proces a zpracování

Sádrové pojivo se získává pálením (kalcinací) přírodního sedimentárního minerálu sádrovce, což je dihydrát síranu vápenatého ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Podmínky výpalu ovlivňují chemické a mikrostrukturální vlastnosti sádry a její reaktivnost s vodou.[44]

K tvorbě odlitků se nejčastěji používá tzv. štukatérská sádra, kterou tvoří hemihydrát síranu vápenatého ($CaSO_4 \cdot {}^1/_2H_2O$), jenž vzniká pálením sádrovce při relativně nízké teplotě 100–160 °C, kdy dochází k částečné dehydrataci sádrovce:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot {}^1/_2H_2O + 1\,{}^1/_2\,H_2O.$$

Podle technologického procesu přípravy je možné získat α nebo β hemihydrát. Pro odlévání nebo štukatérství se převážně používá sádra štukatérská též zvaná modelační, jejíž hlavní složkou je β-hemihydrát.[45,46] Jedná se o sádru rychle tuhnoucí, která tuhne v závislosti na podmínkách přípravy v rámci několika minut. Při tuhnutí sádry dochází k opětovné hydrataci hemihydrátu:

$$CaSO_4 \cdot {}^1/_2\,H_2O + 1\,{}^1/_2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2\,H_2O + \text{teplo}$$

Tuhnutí sádry je doprovázeno exotermickou reakcí, tzn. uvolňování poměrně velkého tepla. Vytvrzování sádry můžeme rozdělit do dvou fází; v první fázi tuhnutí dochází k přechodu suspenze do tuhého stavu a směs přestává být zpracovatelná. Navazující je proces tvrdnutí spojený s nabýváním pevnosti společně s mírným zvýšením objemu odlitku.[47] Objem se může navýšit až o 1 %.[48]

[44] TIŠLOVÁ – ĎOUBAL – ZÍTKOVÁ 2020, s. 37–38.
[45] KOTLÍK 1999, s. 20–23.
[46] SCHULZE 1990, s. 65–77.
[47] Ibidem, s. 73–75.
[48] KOTLÍK 1999, s. 23.

Průběh tuhnutí je možné dle potřeby upravit (nejčastěji zpomalit) změnou podmínek nebo pomocí přísad. Inhibitorem (zpomalovačem) tuhnutí sádry je například klih, vápenná voda, kyselina citronová, zatímco jako katalyzátor (urychlovač) tuhnutí je možné použít chloridové soli (NaCl, KCl) nebo příměs pevných látek, jako jsou například mikroplniva.[49,50]

V současné době se v sochařském ateliéru na Fakultě restaurování používá štukatérská sádra *ALMOD LC* od firmy Saint Gobain Formula GmbH, vyhovující svými vlastnostmi zcela potřebám vytváření odlitků. Tato sádra se podle normy ČSN EN 13279-1:2008/2009 řadí do skupiny A1 – Sádrové pojivo pro přímé použití nebo další procesy. Výrobce doporučuje sádru připravovat s vodním součinitelem w = 0,57 až 0,63 (hm. poměr (voda/sádra). U tohoto vodního součinitele se doba zpracovatelnosti pohybuje v rozmezí od 3 do 15 minut. Jedná se o rychle tuhnoucí sádru, jejíž doba tuhnutí se odvíjí od použití vodního součinitele, tedy čím vyšší vodní součinitel, tím pomalejší doba tuhnutí, avšak delší doba zpracovatelnosti.

Vlastnosti sádrového pojiva a odlitků

Charakteristickým znakem sádrového pojiva je bílá barva jemného prášku. Mezi fyzikální vlastnosti patří objemová hmotnost sypné směsi, která je 0,85 g/cm^3. Sypná váha sádrového pojiva se uvádí 800 g/cm³. Důležitou vlastností je také rozpustnost sádry, která je relativně nízká (0,32 g/100 g vody).

Sádrové odlitky se připravují zpravidla ze sádrové suspenze s vodním součinitelem w = 0,57–0,63. Typickou vlastností odlitků je vysoká pevnost, ale zároveň křehkost. Zejména tvrdost a křehkost závisí na podmínkách kvality samotného sádrového pojiva, jeho přípravy během odlévání a v neposlední řadě také okolnostech uložení díla. Pevnost sádry se odvíjí od její vlhkosti; čím je sádra vlhčí, tím se pevnost snižuje. Při nadměrném zavlhčení pevnost sádry klesá až o 45 %.[51] V případě vysušení sádrového díla může být pevnost až třikrát vyšší.[52] Avšak za teploty 60 °C a 10% RH dochází taktéž k poklesu pevnosti až o 35 %.[53]

Odlitky se také vyznačují vysokou pórovitostí, která při použití běžného vodního součinitele w = 0,6–0,8 dosahuje vysokých hodnot (okolo 50 %). Pórovitost materiálů je ovlivněna obsahem vody, se kterou se připravuje sádrová suspenze. Míra pórovitosti má vliv

[49] TIŠLOVÁ – ĎOUBAL – ZÍTKOVÁ 2020, s. 39–42.
[50] SVOBODA 2018, s. 347.
[51] Sádra pro památkovou péči, 2001, s. 2.
[52] SCHULZE – LACH 1990, s. 90.
[53] TIŠLOVÁ – ĎOUBAL – ZÍTKOVÁ 2020, s. 52.

na paropropustnost a nasákavost sádrového materiálu vodou nebo vodnými roztoky, mezi ně patří i ve vodě rozpustné korozní produkty.[54] Výše porozity je rovněž ovlivněna způsobem zpracování. U odlévání do formy nebo nanášení špachtlí dochází na povrchu ke stlačení krystalů dihydrátu, čímž je povrch odlitku oproti jeho jádru hladší a má menší pórovitost. Spolu s porozitou, ale zejména distribucí pórů, úzce souvisí kapilární nasákavost ovlivňující nasákavost a transport kapalin materiálem.[55]

Z hlediska řešené problematiky je velmi důležitá i rozpustnost sádrových odlitků, stejně jako u hemihydrátu (sádrového pojiva) není v běžných podmínkách příliš vysoká (0,25 g ve 100 g vody), ale zvyšuje se v momentu, kdy se voda na povrchu odlitku obměňuje. Při kontaktu sádry s demineralizovanou vodou se rozpustnost oproti kohoutkové vodě zvyšuje. Zajímavým poznatkem je rozpustnost sádry v ethanolu (1,5 g/l), jež se mnohdy používá pro mokré procesy (například čištění) místo vody. Stále se jedná o menší hodnotu oproti vodě.[56] Rozpustnost sádry nastává rovněž při kontaktu s kyselinami a zásadami, které se využívají k čištění korozních produktů.[57,58]

S rozpustností velmi úzce souvisí hodnota pH odlitků, která se v jednotlivých fázích hydratace proměňuje. Čerstvá sádrová suspenze vzniklá smícháním vody a sypké sádry má slabě alkalickou hodnotu pH 7–7,5. Alkalita se mírně zvyšuje po vytvrdnutí licí směsi, kdy se pH pohybuje okolo 7,5–8. Hodnota pH sádrových odlitků je značně proměnlivá, poněvadž závisí na míře jejich provlhčení. Při opětovném zavlhčení sádrových děl jsou hodnoty slabě alkalické s pH okolo 7,5. Informace o pH je nutné reflektovat při restaurátorském zásahu, např. v průběhu čištění, při kterém se nezřídka využívají látky kyselého nebo alkalického charakteru. V případě odstraňování korozních produktů železa se například používají organické kyseliny, jejichž pH je pak nutné upravit podle pH substrátu.

1.2 Armatury v sádře a jejich koroze

Příčinou vzniku korozních produktů slitin železa jsou nejčastěji výztuže používané při odlévání sádrových plastik. Úkolem armatur je především zpevnit buď sádrovou formu, nebo samotný odlitek a zamezit tak jeho poškození nebo rozlomení. Výztuže se nejčastěji

[54] SCHULZE – LACH 1990, s. 83–85.
[55] TIŠLOVÁ – ĎOUBAL – ZÍTKOVÁ 2020, s. 42–44.
[56] Ibidem, s. 50.
[57] Ibidem, s. 50–51.
[58] HALUSKA, s. 32.

aplikují nad druhou vrstvu sádry z toho důvodu, aby nebyla narušena první povrchová modelační vrstva.[59]

Pro sochařské účely se používaly převážně armatury z plávkové oceli[60] patrně s obsahem uhlíku do 0,5 %[61]. Díky své pevnosti a zároveň pružnosti vyhovují daným potřebám. Nespornou výhodou je také nepochybně nízká cenová náročnost oproti jiným materiálům. Nicméně vzhledem ke koeficientu roztažnosti je mnohem blíže k sádrovému materiálu spíše hliník než ocel.[62]

Porovnání koeficientu teplotní délkové roztažnosti α [10^{-6} K^{-1}]

Al – 24×10^{-6}	Al – 24×10^{-6}	Al – 24×10^{-6}	Al – 24×10^{-6}

Korozní proces neošetřených (nepasivovaných) ocelových armatur je v sádře zahájen již při jejich aplikaci do odlitku. Během tuhnutí sádry je armatura vystavena zvýšené teplotě, vysokému obsahu vzduchu a nadměrnému množství vody obsahující rozpuštěné sírany, jež napomáhají koroznímu procesu. Způsob této koroze probíhá do doby, než odlitek zcela vyschne, což je ovlivněno okolními podmínkami. V průběhu tuhnutí a tvrdnutí odlitku dochází k pevnému propojení mezi sádrou a armaturou. Na povrchu armatury se vytvoří korodovaný povlak, který ve stabilních podmínkách slouží jako ochranná pasivační vrstva kovu. Umístěním odlitku v nevhodných podmínkách, tj. s vysokou relativní vlhkostí, nebo ještě hůře, když se okolní podmínky mění, dochází k urychlení korozního procesu.[63,64]

V důsledku vysoké pórovitosti sádry dochází k snadnému zavlhčení, což rychle vede až k železné armatuře, ta vzápětí začíná korodovat. Při dlouhodobém zavlhčení (například atmosférickém) vznikají rozměrné korozní produkty, které se poměrně rychle šíří porézním systémem.[65]

---

[59]JUNDROVSKÝ 1912, s. 413–414.
[60] Ocel se vyrábí zpracováním neboli zkujňováním surového železa, kdy se snižuje obsah uhlíku (pod 2,1 %) a dalších příměsových prvků. Proces výroby dělíme na přímou a nepřímou a následně na ocel svářkovou a plávkovou. Ocel plávková během výrobního procesu dosáhne tekutého stavu. Výroba plávkové oceli se rozšířila až s objevem Bassemerova konvektoru v polovině 19. století, který dokázal produkovat kujnou ocel v kapalném stavu. Následně se tekuté železo nalévá do lázně, kam je dmýchán vzduch (převážně kyslík). Veškeré příměsi včetně uhlíku byly spalovány a tavenina se vlivem oduhličení změnila v ocel. Díky exotermické reakci, kterou doprovázelo vysoké teplo, ocel netuhla a bylo ji možné po ukončení celého procesu vypouštět.
[61] AUSKÁ 2017, s. 167.
[62] FOUCALT 1977, s. 489–505.
[63] TIŠLOVÁ – ĎOUBAL – ZÍTKOVÁ 2020, s.60–61.
[64] FOUCALT 1977, s. 489–505.
[65] SVOBODA 2018, s. 350.

1.2.1 Příčiny a prostředí koroze

Korozi kovů můžeme definovat převážně jako chemicko-fyzikální jev, který znehodnocuje kovový materiál kontinuální fázovou přeměnou. Počátek a proces koroze jsou závislé zejména na vnějších podmínkách korozního prostředí. Mezi faktory ovlivňující korozi a její průběh patří zejména teplota, relativní vlhkost a znečištěné prostředí, ve kterém se korodující objekt nachází. Míra poškození se odvíjí od prostředí, kde je dílo krátkodobě či dlouhodobě uloženo. Podle toho rozlišujeme typy koroze:

- ***Atmosférická koroze***
- ***Půdní koroze***
- ***Koroze ve vodách (v roztocích)***

V případě koroze armatur v sádře se jedná především o korozi atmosférickou v kombinaci s korozí ve vodách (v roztocích), kde na kov účinkují teplota vzduchu, relativní vlhkost a nečistoty obsažené v atmosféře (nejčastěji oxid siřičitý a chloridy).[66] Agresivitu atmosférického prostředí můžeme hodnotit podle normy *ČSN ISO 9223 (038203)*[67] do těchto stupňů:

- C1 – Velmi nízká agresivita
  - prostředí s nízkou relativní vlhkostí a minimálním znečištěním (například pracovna)
- C2 – Nízká agresivita
  - prostředí s proměnlivou teplotou i relativní vlhkostí, nízká frekvence kondenzace a mírné znečištění (například skladové prostory)
- C3 – Střední agresivita
  - prostředí s přechodným množstvím kondenzace a znečištěním vlivem výroby (například potravinářský podnik)
- C4 – Vysoká agresivita
  - prostředí s vysokým množstvím kondenzace a znečištěním způsobeným procesem výroby (například průmyslový podnik)
- C5 – Velmi vysoká agresivita
  - prostředí se značně vysokou kondenzací a znečištěním (například jeskyně)

[66] KOLEKTIV 2011, s. 45–46.
[67] ČSN ISO 9223 (03 8203) Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Klasifikace, stanovení a odhad.

- CX – Extrémní agresivita
    - prostředí skoro s neustálou kondenzací či působení období s rozsáhlou vlhkostí a značným znečištěním průmyslové výroby

V neposlední řadě je důležité zmínit, že na korozi kovových armatur mají zásadní vliv i vlastnosti a stav samotného materiálu, jež jsou např. dány výrobou (nehomogenita hmoty) a způsobem zpracování nebo opracování kovu (např. leštění povrchu, vznik defektů).

1.2.2 Principy koroze slitin železa

Železné armatury, které nejsou stabilizovány (pasivovány nebo jinak ošetřeny), podléhají v nestabilním prostředí samovolné korozi. Během koroze přechází kov do ustálenějšího stavu s neuspořádanou strukturou a s nižším obsahem energie. Narušený kov se postupně (od povrchu) mění na korozní produkty, které jsou svým složením a vzhledem blízké počáteční surovině použité k výrobě kovu, tedy rudě. Občas je koroze označována jako „obrácená metalurgie“[68].

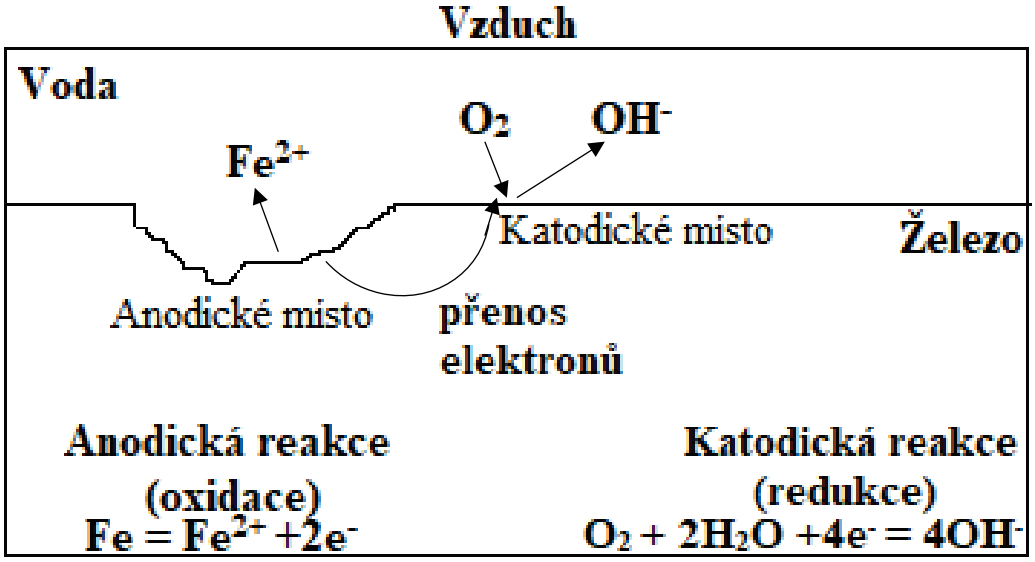
Jak již bylo zmíněno výše, koroze je elektrochemický proces, kdy převážná část kovů koroduje, když je vystavena vodě a kyslíku. Průběh koroze v prostředí znázorňuje obr. 60.

- **anoda** = místo na kovu, kde je akce, respektive na anodě dochází k oxidačním procesům přeměny železa Fe na Fe^{2+} a uvolnění elektronů
- **katoda** = na katodě dochází k redukčním vyrovnávacím procesům, kdy jsou spotřebovány elektrony z uvolněné anody redukcí O_2 na OH^-
- **elektrické propojení** = umožňuje elektronům proudit od anody ke katodě za pomoci elektrolytu
- **iontové spojení** (tj. **elektrolyt**) = vodné prostředí umožňuje iontům protékat mezi anodou a katodou

Kov po zavlhčení vodou, která obsahuje rozpuštěný kyslík, vytváří elektrolyt, který umožňuje tok elektronů mezi anodou a katodou. Kov tedy slouží jako vodič pro elektrony. Heterogenity kovu umožňují vznik anody a katody na jednom kovu, ale na dvou odlišných místech. Povrch kovu se tak postupně pokrývá korozními články, které se neustále mění v průběhu koroze, až časem vznikne na povrchu kompaktní korozní vrstva. K lepšímu vývoji anodických a katodických míst přispívá několik mikroskopických faktorů. Jedná se

[68] KOLEKTIV 2011, s. 136

například o nerovnoměrný povrch kovového předmětu, dále to jsou nečistoty v samotném kovu, které pocházejí z jeho výroby a zpracování. Aby byl umožněn tok elektronů i iontů, musí dojít k procesu spojení mezi anodou a katodou. Toto spojení zajišťuje prostředí elektrolytu, kterým je buď voda, nebo vodný kondenzát vzniklý kondenzací vlhkého vzduchu. Uvádí se, že ke kondenzaci dochází již v atmosféře, jejíž relativní vlhkost přesáhne kritickou hranici 60 %[69]. Na čistém kovovém povrchu se tak objeví dostatek vody, jež následně vyvolá elektrochemické reakce. Zároveň platí, že čím vyšší je vodivost elektrolytu, tím rychlejší je proces koroze. Například destilovaná voda je špatným elektrolytem, naopak voda z vodovodních řadů je lepší kvůli obsahu různých látek jako např. manganu, dusičnanům, amonným iontům a zvláště chloridům výrazně urychlujícím korozi. Kvůli přítomnosti chloridů kovy rychleji korodují v mořské vodě než ve sladké[70].



Obr. 60 Ilustrace průběhu korozního procesu (SELWYN, Lyndsie. Metals and Corrosion)

Na korozi armatur má vliv kromě složení elektrolytu také hodnota pH a podmínky umístění (vlhkost, teplota, střídání podmínek). Na střídání vlhka a sucha závisí složení korozních produktů. Může se jednat o goethit, akaganeit, lepidocrocite nebo další železo obsahující minerály. V sádrovém materiálu, který je kontaminován korozními produkty, se nejprve vyskytuje dvojmocné železo (Fe^{2+}). Při hydrolýze dojde ke kontaktu s kyslíkem a začne se přeměňovat – oxidovat na trojmocné železo (Fe^{3+}), jako je oxid nebo hydroxid železitý charakteristický svou oranžovou až tmavě hnědou barvou.[71] Časem se hydroxid

[69] KOLEKTIV 2011, s. 172.
[70] SELWYN 2004, s. 21–22.
[71] SPILE – SUZUKI – BENDIX 2016, s.2.

železitý přeměňuje na nerozpustný hydrát oxidu železitého (FeOOH, buď jako minerál goethit, nebo lepidokrokit).[72]

U obnažených armatur často dochází během koroze k úbytku kovového materiálu vlivem anodického rozpouštění, kdy rychlost korozního procesu udává množství ztráty. Korozní rychlost kovových armatur není téměř nikdy nulová, probíhá prakticky neustále v závislosti na podmínkách prostředí. Nulová rychlost koroze může být pouze v prostředí s naprosto suchou atmosférou, kde nebude moci docházet k elektrochemickým reakcím.[73]

1.2.3 Činitelé atmosférické koroze[74,75]

V atmosféře se nachází mnoho agresivních látek, které stimulují korozní proces. Mezi ty nejvlivnější řadíme:

- **Sírany**

  Zdrojem síranů, respektive oxidu siřičitého, je průmyslová a městská atmosféra, v níž dochází k jeho oxidaci dalšími látkami, oxidy dusíku (NO_x) a ozonem (O_3) a tím postupně vznikají sírany, jež aktivně podporují rozpouštění železa. Síranové ionty jsou jedním z hlavních urychlovačů důsledkem oxidu siřičitého. U sádry nebyl vliv síranových iontů na rychlost koroze popsán.

- **Chloridy**

  Výskyt chloridů je spojen převážně s průmyslovou a mořskou atmosférou. Jedná se zejména o chlorid sodný (NaCl) a chlorid hořečnatý ($MgCl_2$). Vlivem chloridů vzniká na povrchu kovu nerozpustná vrstva korozních produktů. Během elektrochemické koroze reagují chloridové ionty s kovovými ionty, a tím zabraňují vytváření pasivačních hydroxidů železa. Ke korozi železa působením chloridů může docházet i při relativní vlhkosti, která je za běžných podmínek bezpečná (pod 60 % RH). Dalším šířením chloridů může být aerosol z komunikací, lidský pot atd.

- **Další látky**

  Především v průmyslovém ovzduší se vyskytuje mnoho dalších látek, které zrychlují korozní procesy. Jedná se o chlorovodík (HCl), chlór (Cl), sirovodík (H_2S), již

[72] AUSKÁ 2017, s. 167.
[73] KOLEKTIV 2011, s. 138–148.
[74] Ibidem, s. 172–184.
[75] STAVINOHA 2004, s. 41–42.

zmíněný ozon (O_3) a sloučeniny dusíku (NO_x). Kombinace těchto látek a vysoké vlhkosti vedou k mnohdy větší korozi než důsledkem chloridů.

1.2.4 Formy koroze[76]

Vlivem působení prostředí dochází k nejrůznějším formám koroze. Podle rozsahu a projevů poškození je možné rozeznat, o který druh se jedná. Na základě míry poškození rozlišujeme korozi plošnou (celkovou) a korozi lokalizovanou (místní). Koroze armatur v sádře se nejčastěji projevuje následnými podobami:

- **Plošná koroze**

  Celková koroze probíhající rovnoměrně stejnou rychlostí po celé kovové armatuře. V případě, že se mění působiště anodických a katodický míst, dochází též k rovnoměrnému úbytku kovového materiálu.

- **Bodová koroze**

  Jedná se o lokalizovanou korozi vyznačující se jednotlivými hlubokými důlky na kovovém povrchu, zatímco sousední povrch je bez viditelného poškození. Příčinou je konkurenční účinek mezi chloridovými a hydroxidovými ionty. Zatímco hydroxidové ionty pasivní vrstvu vytvářejí, chloridové ionty tuto vrstvu narušují. Podmínkami pro snadné šíření bodové koroze je vyšší koncentrace agresivního chloridového iontu, přítomnost oxidujících látek, nízká hodnota pH a zvýšená teplota.

- **Mezikrystalová koroze**

  Nerovnoměrná forma koroze představující vliv strukturální změny kovu. Kovový materiál především ztrácí svou mechanickou pevnost. Mezikrystalovou korozi má za následek chemická (nedostatek chromu) a strukturní nehomogenita kovu na hranici zrn, projevující se především u koroziodolných ocelí a během jejich svařování.

- **Štěrbinová koroze**

  Lokalizovaná koroze vznikající v úzkých mezerách a štěrbinách mezi kovem a sádrou (nebo jiným materiálem). Štěrbinová koroze se projevuje především v trhlinách a nesouvislostech kovu (pórech) a doprovází ji celá škála ostatních forem koroze, jako je například korozní únava, korozní praskání, koroze bodová a mezikrystalová.

[76] KOLEKTIV 2004, s. 158–171.

1.2.5 Korozní praskání

Mezi další druhy můžeme rovněž zařadit narušení armatur vzniklé korozním praskáním. To vzniká v důsledku působení napětí v tahu a tlaku na armaturu. Tím dohází k napětí, jež se dále šíří. V případě, že jsou armatury všelijak napojované a svařované, dochází v těchto místech rovněž k narušení a praskání. Trhliny v armatuře se dále šíří ve struktuře kovu, především po hranicích zrn. Koroznímu praskání je mnohem odolnější homogennější materiál, jako jsou čisté kovy, naopak kov s vyšší pevností v tahu je náchylnější. Vznik trhlin často souvisí s bodovou nebo štěrbinovou korozí, šíření trhlin ze štěrbiny či důlku je snadnější.

1.2.6 Korozní únava

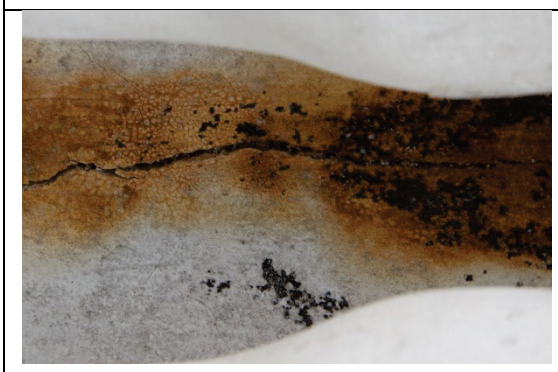
Projevuje se v důsledku působení těchto činitelů – vlivem korozního prostředí a cyklickým mechanickým namáháním spojeným s tahovou složkou. Během cyklické zátěže dochází spolu se zatížením ke krajní únavě a k narušení celistvosti tím, že dochází ke vzniku trhlin. Příznačné pro korozní únavu je, že v průběhu cyklického namáhání v agresivním prostředí není žádná hranice únavy. Vliv na rychlost korozní únavy má především četnost zatížení, čím je totiž nižší, tím je šíření trhlin v jednom cyklu vyšší. Častým pohybem trhliny (zavírání a otevírání) se nestačí projevit korozní produkty, a tím převažuje mechanický vliv. Zabránění korozní únavy je možné eliminací tahové zátěže, agresivního prostředí a ošetřením povrchu.

1.2.7 Projevy poškození koroze kovů na sádrových odlitcích

Mezi charakteristické projevy poškození vyvolané korozními produkty železa patří především změny barevnosti způsobené hydratovaným oxidem železitým (Fe_2O^3). Projevují se zejména vznikem skvrn, jejichž barevnost se pohybuje v rozmezí od světle oranžových až sytě červenohnědých tónů (viz obr. 61). Na povrchu sádrových děl často vznikají různě barevné mapy, které jsou důsledkem nerovnoměrné skladby sádrového materiálu. Během koroze kovových armatur dochází k nárůstu jejich objemu. Vznikající tlaky se přenášejí odlitkem a postupně dochází ke vzniku trhlin, prasklin, následně štěrbin a dutin (viz obr. 63), což může v konečném důsledku vést ke značným tvarovým ztrátám modelace sádrového odlitku.

Obr. 61 Znečištění korozními produkty, jejichž původ je vnitřní zkorodovaná armatura

Obr. 62 Znečištění korozními produkty pocházející z okolního prostředí



Obr. 63 Koroze armatury vedoucí k jejímu pnutí, důsledkem je trhání sádrové hmoty (Autor fotografie – MgA. Petra Zítková)

Obr. 64 Koroze armatury vedoucí ke ztrátě kovového materiálu

1.3 Způsoby čištění korozních produktů na základě literárních zdrojů

Čištěním je v restaurování a konzervování myšleno redukování nebo úplné odstranění nežádoucích materiálů obvykle ulpělých na povrchu uměleckého díla. V případě znečištění korozními produkty se jedná o znečištění povrchové i hloubkové, proto je jejich čištění mnohem komplikovanější.

Čištění či snížení množství korozních produktů se nejčastěji provádí chemickými látkami, které se na povrch plastiky aplikují v zábalech. Dalším možným způsobem je mechanické čištění, které je téměř vždy destruktivní. Během čištění by nemělo dojít k narušení nebo ztrátě originálního podkladu.

K řešené problematice čištění korozních produktů ze sádrových plastik nebo odlitků bylo dohledáno jen několik příkladů a odborné literatury nebo publikovaných příkladů z praxe. V tomto ohledu tvoří výjimku italský článek *Il restauro delle opere ingesso: appunti da*

esperienze di[77], který píše o laboratorních a technických zkušenostech v oblasti restaurování sádrových děl. V jedné kapitole řeší taktéž problematiku čištění korozních produktů kovů. Dobrých výsledků při čištění omítek obsahujících sádru bylo dosaženo roztokem ***kyseliny citronové a citrátu trisodného v demineralizované vodě***. Na jeden litr roztoku použili: 43 g kyseliny citronové a 2,5 g citrátu trisodného (triviálním názvem citronan sodný). Roztok byl aplikován formou zábalu tvořeného sepiolitem přes japonský papír.

Praktické příklady a zkušenosti byly čerpány i z diplomových prací studentů Fakulty restaurování. Teoretická část diplomové práce Martina Parobka (2011) zaměřená na *Restaurování děl ze sádry, typická poškození a možnosti jejich řešení*[78] se částečně zabývala také problematikou koroze kovových armatur a následným čištěním korozních produktů. V experimentální části se Parobek pokoušel o čištění korozních produktů za pomoci vatové tyčinky. Zkoušel pouze ***demineralizovanou vodu, 4% kyselinu citrónovou a 4% kyselinu šťavelovou***. Z výsledků vyplývá, že čištění nebylo příliš účinné. Nicméně je možné, že negativní výsledek čištění ovlivnil způsob aplikace prostředků, které by v zábalu mohly být účinnější.

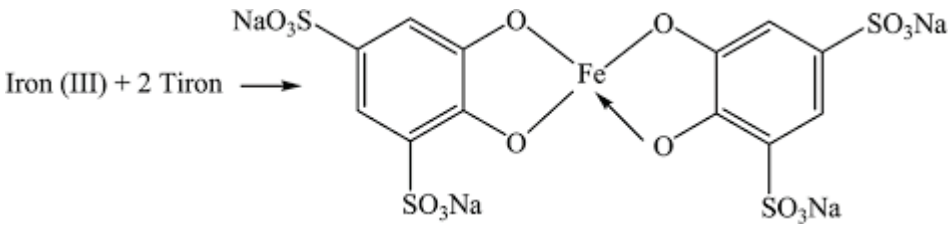
Technologové Národního technického muzea v Praze[79] na základě zkušeností doporučují pro čištění korozních produktů ze sádry ***Tiron***. Jedná se o metalochromní indikátor používaný k chelatometrickému stanovení obsahu železa. Jeho účinek spočívá, stejně jako u jiných látek s chelatačním účinkem (např. *Chelaton III*), ve schopnosti látky vázat ionty kovů do komplexu. Chemicky se jedná o sůl (např. sodnou) kyseliny pyrokatechin 3,5 disulfonové. Na rozdíl od *Chelatonu III*, který váže především ionty mědi a barevných kovů, *Tiron* váže především ionty železa a titanu (odtud pochází název ti-ron). *Tiron* se vyrábí ve formě bílého prášku, který je snadno rozpustný ve vodě. S trojmocným železem vytváří barevné komplexy, které provází intenzivní zabarvení, jež je závislé na složení a pH. Například při pH 2–4 kyselé prostředí se tvoří zelenomodrý komplex, v poměru Fe : *Tiron* 1 : 1, při pH neutrálním až 8 vzniká fialový komplex, v němž jeden atom železa váže dvě molekuly *Tironu*. V alkalických roztocích při pH vyšším než 8 se tvoří intenzivně červený komplex obsahující 3 molekuly *Tironu* na jeden atom železa.

Jelikož nemá kromě této titrace prakticky žádné využití, vyrábí se pouze v čistotě P.A. a je tedy velice drahý.

---

[77] MORADEI 2006, s. 105–112.
[78] PAROBEK 2011, 117–119.
[79] Osobní konzultace s Ing. Ivanou Kopeckou.

Reakce 2 molekul Tironu s železem:



Jak bylo zmíněno v úvodu, osobní zkušenost měla sama diplomatka během restaurování sádrové plastiky od Stanislava Suchardy. Plastika vykazovala znečištění korozními produkty, jejichž původ byl z okolního prostředí, nikoliv z armatur samotného odlitku. Pro zkoušky čištění korozních produktů byl zvolen ***Chelaton III*** o koncentraci 7,5 % a 3,5 %. Roztok byl mísen s Kelzanem® HP-T, přičemž došlo k vytvoření gelu. Zkoušky byly provedeny na sádrové desce, která byla znečištěna obdobně jako odlitek okolními korodujícími prvky. Nejvhodnější se jevila aplikace nižší koncentrace Chelatonu III při použití 20 ml a 5 g *Kelzanu*. Z výsledků vyplývá, že znečištění korozními produkty nelze úplně odstranit, ale pouze výrazně redukovat jejich množství.

Kromě nemnoha studií vztahujících se k čištění sádry je možné vycházet z řešení problematiky na jiných anorganických porézních materiálech. Nejvíce odborné literatury bylo publikováno v souvislosti s čištěním korozních produktů z mramorového podkladu. Přehled a testování látek s chelatačním účinkem, které se využívají i k odstraňování korozních produktů kovů, bylo také provedeno v rámci několika tuzemských studií, z nichž lze taktéž čerpat některé informace k řešené problematice.[80] Vzhledem k podobnému charakteru sádry a mramoru (zejména citlivosti k rozpouštění a narušení povrchu) byla literární rešerše provedena především pro tento typ materiálu.

[80] ŠKRABALOVÁ 2018

Metody čištění korozních produktů převážně z mramorového podkladu

Nejstarším dohledaným literárním pramenem je polská kniha *Konserwacja Kamienia* z roku 1957[81], kde se v kapitole věnované chemickému čištění autoři zabývají i čištěním korozních produktů (skvrn) z kamenného povrchu. V závislosti na intenzitě korozních produktů je možné použít tyto látky: kyselý citrát sodný, ferrokyanid draselný (K_4 [$Fe(CN)_6$]), nebo thiosíran sodný $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$. Na světle žluté skvrny bez jasného obrysu je velice účinný ***citrát sodný (citronan sodný) ($C_6H_6Na_3O_7$)***, který se používá ve formě 15% vodného roztoku. Tento roztok se aplikuje na povrch pomocí napuštěného vatového tampónu složeného ze 3–4 vrstev. Poté se tento obklad nanese na znečištěné místo, které je následně zakryto a zároveň zatíženo sklíčkem z toho důvodu, aby nedocházelo k rychlému odpařování roztoku a bylo také dosaženo lepšího kontaktu mezi obkladem a čištěným povrchem. V případě znečištění na svislé ploše je potřeba sklíčko předtím omýt vodou a pravidelně zábal otáčet o 180°, jelikož roztok stéká dolů a čištění by tak nebylo souměrné. Pro udržení vlhkosti v tomto zábalu se doporučuje přidat do roztoku glycerin v poměru 1 : 1. Takto upravený zábal udrží vlhkost 3–4 dny, poté lze tampón opět navlhčit a znovu aplikovat, dokud není dosaženo uspokojivého očištění. Jelikož je tato metoda zcela neškodná, je vhodná pro všechny typy kamenů, včetně vápenců a mramorů.

Skvrny, které mají intenzivnější barevnost a jasně vyznačený obrys, se odstraňují pomocí práškového ***thiosíranu sodného*** $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$. Před aplikací se musí znečištěný povrch zbavit volných depozitů a promýt vodou. Poté se na čištěné místo na 10–15 minut nanese tampon smočený v 15% citrátu sodném, po kterém je skvrna pokryta vrstvou křídy rozpuštěné ve vodě, zasypána tenkou vrstvou práškového thiosíranu a lehce pokropena vodou. Tento obklad je na povrchu ponechán hodinu a poté se odstraní; pokud nedošlo k odstranění železné skvrny, měl by se tento postup opakovat. Po odstranění korozních produktů je nutné místo několikrát důkladně omýt vodou. Tato metoda je vysoce účinná, nicméně u leštěných povrchů může dojít k mírnému narušení. V neposlední řadě je důležité prodloužit dobu aplikace, jelikož v místě čištěné skvrny se může tvořit černý květ sulfidu železnatého.

V případě silnější skvrny oxidu železa je účinná ***čisticí pasta***, která se připraví následovně: Nejprve se připraví roztok složený z 1 dílu vinanu sodno-draselného ($KNaC_4H_4O_6$. $4H_20$), 6 dílů vody a 7 dílů glycerolu. Následně se tento roztok smíchá s křídou v poměru 4 : 1 a dojde ke vzniku pasty. Čisticí pasta se na znečištěný povrch nanáší

[81] PRZEDPEŁSKI 1957, s. 26–28.

v silné vrstvě (v tloušťce okolo 1 cm) a ponechává se 3–4 dny reagovat. Čištění se opakuje do té doby, dokud není skvrna úplně odstraněna.

Pro čištění tmavých skvrn by se před aplikací čisticí pasty měl povrch navlhčit roztokem citronanu sodného, poté aplikovat čisticí pasta, která bude obohacena o přídavek 2% roztoku ***ferrikyanidu draselného*** K_4 [$Fe(CN)_6$].

Ačkoliv se článek *Note on the removal of rust from old iron with thioglycolic acid* z roku 1968[82] zabývá odstraňováním rzi z kovových předmětů, je možné použít tyto látky i na jiné materiály. Z chemických látek se například uvádí ***glukonát sodný***, avšak v případě silnější vrstvy korozních produktů je jeho účinnost nízká. Rychlejší a vhodnější variantou pro odstranění korozních produktů se ukázaly látky s thiolovými (-SH) skupinami. Pro jejich lepší efekt se doporučuje kombinovat tyto sloučeniny s látkami, jako je hydroxid sodný, hydroxid draselný, amoniak, ethanolamin, pyridin atd., které upravují hodnotu pH během čištění korozních produktů. Mezi nejvhodnější thiolové sloučeniny patří ***kyselina thioglykolová*** $C_2H_4O_2S$, ***kyselina thiolaktová*** $C_3H_6O_2S$, ***thiomalová/thiomová*** (thiomalic acid) $C_4H_6O_4$ nebo jejich soli a estery, ve kterých je skupina -SH. Po zahuštění těchto látek například pektinem dojde k vytvoření pasty, kterou lze následovně lokálně aplikovat. Nevýhodou těchto sloučenin je nepříjemný zápach, je tedy nutná ventilace v průběhu aplikace. Po sejmutí pasty je nutné objekt důkladně opláchnout, nejlépe destilovanou vodou, za pomoci jemného kartáčku.

Podle článku *Notes on the Removal of Iron Stains from Calcareous Stone* z roku 1968[83] se osvědčila ***komplexotvorná činidla***, která vážou železo ke své molekulární struktuře (= chelatace). ***Chelatační komplexy*** se nazývají tzv. maskovací činidla. Pro dobré uvolnění železa jsou účinné alkalické soli organických hydroxykarboxylových kyselin (***kyselina glukonová, citronová a vinná***) nebo ***sodná sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové***. Protože v procesu uvolňování vytlačují kovové ionty vodíkové ionty z molekul sekvestračních činidel (to jsou slabé organické kyseliny), silné kyselé podmínky brání uvolňování blokováním disociace těchto činidel. Ne všechny kovové ionty jsou stejně silně izolovány. Alkalické podmínky a použití destilované vody proto značně pomáhají k odstraňování skvrn. V článku se také uvádí použití silných a vysoce korozivních minerálních kyselin, např. ***kyselina fluorovodíková***, stejně jako ***vodné roztoky amoniaku*** a ***hydrogendifluoridu sodného (sodium bifluoride)***, které rozpouští korozní produkty tím, že s ním tvoří

[82] STAMBOLOV – RHEEDEN 1968, s. 142–144.
[83] STAMBOLOV 1968, s. 45–47.

nerozpustné bezbarvé komplexy. Obdobně účinnou látkou, kterou je nutné odmítnout z důvodu silně korozivních účinků, je ***kyselina ortofosforečná*** (= kyselina fosforečná H_3PO_4), ačkoliv její mechanismus rozpouštění korozních produktů nezahrnuje komplexotvorné reakce.

Ve studii se dále zmiňuje ***kyselina šťavelová***, zejména pro svou redukci korozních produktů, které rozpouští jako bezbarvý oxalát železitý. Pro dosažení lepšího čisticího účinku se doporučuje provést následovné:

- Odmaštění znečištěných míst
- Aplikace horkých roztoků – teplotou se zvyšuje rychlost chemických reakcí při čištění a zesilují difúzi reakčních produktů
- Důležitý je kontakt mezi skvrnou a čisticím roztokem. Proto je nejlépe roztok smíchat s absorpční látkou, jako je například škrob, křída, mastek, bavlněná textilie a podobně. Poté se na povrch nanese jako silná vrstva.
- Opakovaní slabých roztoků po delší čas – je účinnější než aplikování jednoho silného obkladu
- Opláchnutí destilovanou vodou před i po každém očištění

V knize *The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monument*[84] autoři v druhém vydání shrnují dosavadní poznatky, které jsou doplněné o nově používané metody čištění mramoru. Souhrn všech informací je shromážděn z mnoha literárních zdrojů, které jsou v dnešní době těžko dostupné.

V doplněném druhém vydání je pro očištění mramorového povrchu znečištěného korozními produkty doporučováno použití ***chelátových komplexů,*** které jsou údajně dostatečně levné na čištění exteriérů budov. Charakteristickou vlastností pro tyto komplexy je, že se jedná o chemické skupiny, které zachycují kovový ion a udržují jej ve valenci. Chelátové komplexy jsou rozpustné ve vodě za předpokladu, že komplexy splňují řadu požadavků, z nichž nejdůležitější je, že prostředí by mělo být buď mírně kyselé, nebo alkalické. Chelatace jako chemická reakce znamená vytěsnění vodíkových iontů z neutrální organické molekuly.

Vzhledem k tomu, že jsou chelatační činidla velmi slabě kyselá, závisí jejich účinnost jak na disociační konstantě, tak i na hodnotě pH roztoku/prostředí. Silně kyselé prostředí by blokovalo disociaci organického činidla a v důsledku toho by nedocházelo k chelataci. Pro

[84] STAMBOLOV – ASPEREN DE BOER 1984, s. 36.

čištění na bázi chelatačních činidel se v praxi nejčastěji používá sodná sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové, která vyžaduje úpravu pH nad 7. Aplikaci se doporučuje provést zahuštěním čisticího roztoku vhodným plnivem (např. křídou) do formy pasty. U svislých povrchů s modelací je doporučována pasta s chelatačním činidlem, které se smísí s bentonitem. Ta se nanáší na povrch kamene a nechává se asi dva dny působit. Poté se vrstva pasty společně s nečistotami, které se do ní dostaly, omývají vodou a kartáčky.

Studie *Cleaning, iron stain removal, and surface repair of architectural marble and crystalline limestone: the metropolitan club*[85] se rovněž zabývá sumarizací dosavadních teoretických poznatků s čištěním skvrn korozních produktů, které autoři ověřují a následně potvrzují ve svém experimentu. Studie srovnává účinnosti citronanu amonného a sodného při různých hodnotách pH, které je upravováno hydroxidem amonným. V provedených zkouškách se jevil jako nejúčinnější ***citronan amonný s hydroxidem amonným*** s hodnotou pH čisticího roztoku 9*,* který prokázal vysoký čisticí účinek a kontrolovatelnost během čisticího procesu. Čisticí pasta byla aplikována ve vrstvě silné 3 cm stěrkou a následně překryta polyethylenovou fólií, jež měla za cíl prodloužit čisticí dobu a zamezení odpařování rozpouštědla. Obklad byl pod fólií ponechán po dobu 24 hodin, po odstranění fólie byl zábal ponechán až do svého vyschnutí volně na mramorovém podkladu. Zábal byl následně mechanicky odstraněn dřevěnými a plastovými škrabkami a opláchnut vodou. V místech, kde byly stále patrné železné skvrny, byl zábal znovu zopakován.

Článek *Treatment of heavily iron-stained limestone and marble sculpture*[86] se zaměřil na zkoumání vlastností ***pufrované kyseliny thioglykolové*** a jejího použití na objekty z mramoru. Z výsledků vyplývá, že jsou účinnější činidla pufrovaná na pH vyšší než 8 po dobu aplikovaného obkladu. Jako pufrovací látky byly použity hydroxid amonný, uhličitan sodný, hydrogenuhličitan sodný a hydroxid vápenatý ve formě vápenaté vody. K odstranění železných skvrn je zcela dostačující 3% koncentrace kyseliny thioglykolové, nicméně u poklesu koncentrace pod 1 % se čisticí proces značně snižuje. Při kontaktu s korozními produkty železa dochází k dočasné změně barevnosti povrchu na jasně fialovou barvu, která relativně rychle oxiduje. Důsledkem oxidace ztrácí kyselina thioglykolová fialovou barevnost. Podobně se chová tato látka i ve styku s jinými kovy. Například během odstraňování korozních produktů mědi se mění zelené měděné zbarvení na intenzivní černou, snadněji rozpustnou než skvrny od železa. Použití pufrované kyseliny thioglykolové

[85] MATERO – TAGLE 1995, s. 60–64.
[86] THORN 2005, s. 888–894.

se nedoporučuje na polychromovaných uměleckých dílech, pokud nejsou provedeny důkladné zkoušky čištění, na základě kterých se vyhodnotí její účinek.

Studie *A New Approach to Cleaning Iron-Stained Marble Surfaces*[87] rovněž sumarizuje doposud používané prostředky používané k čištění korozních produktů železa z mramorového povrchu. Materiálová škála je zde rozšířena o čištění látkou ***TPEN*** a ***konjugovanými (vodivými) polymery***, zejména o ***polyanilin*** a ***polythiofen***. ***TPEN***, chemicky N, N, N′, N′- tetrakis- (2-pyridylmethyl) ethylendiamin, má na rozdíl od látek na bázi EDTA (kyselina ethylendiamintetraoctová, která je například základem látek s názvem Chelaton II, III) vysokou afinitu k železu a nízkou afinitu k vápníku, čímž se jeví její účinek pro čištění korozních produktů železa jako velmi vhodný. Nevýhodou je její vysoká finanční náročnost, která diskriminuje její širší využití. Uvedené látky se používají samotné nebo v kombinaci s redukčními činidly, jako je thiosulfát, dithioničitan nebo polythiofen. Ve studii zkoušený čisticí roztok byl upraven uhličitanem sodným na pH 10 a celá směs byla pojena Vanzanem[88]. Z výsledků vyplývá, že schopnost odstranit železné skvrny závisí na míře a především hloubce korozních materiálů v materiálu. Pro dosažení požadovaného výsledku je možné manipulovat s koncentrací látek, zvýšit dobu aplikace nebo vystavit slunečnímu svitu. Doporučené složení směsi bylo:

100 ml deionizované vody

1 mg polyanilinu a polythiofenu

1 g TPEN

Přidá se uhličitan sodný pro úpravu pH na 10.

1 g Vanzan (farmaceutická xanthanová guma)

Studie *Cleanin Marble with Ammonium citrate*[89] je zaměřená na použití citronanu amonného a jeho vliv na mramorový povrch, především narušení podkladu. Amonné soli se používaly posledních 20 let jako jemný a účinný prostředek na odstraňování nečistot z lakovaných i nelakovaných obrazů.

V experimentu bylo zkoumáno osm čisticích vzorků s koncentrací od 2 do 5 % a pH roztoku od 7 do 10. Pro porovnání účinků citrátu byla zkoušena i disodná kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA) a amonný thioglykolát, které vykazují rozdílné účinky na mramor. Ze srovnávacích výsledků vyplývá skutečnost, že **EDTA** je agresivnější, zatímco

[87] CUSHMAN – WOLBERS 2007, s. 23–28.
[88] Vanzan = xanthanová guma https://www.vanderbiltminerals.com/markets/ls-pharmaceutical/products/pharma-products-vanzan
[89] GERVAIS – GRISSOM – LITTLE – WACHOVIAK 2010

roztoky **thioglykolátu amonného** měly minimální dopad. Nejméně škodlivý roztok byl citrát **amonný v koncentraci 2 %** a při pH 10.

Článek *Effective cleaning of rust stained marble*[90] přichází s novou chemickou metodou pro účinné a snadné čištění korozních produktů, jež je založeno na použití látek, které se vyznačují vznikem silných komplexů k železu a slabých k mramoru. Účinnou látkou je **dithioničitan sodný (SD $Na_2S_2O_4$)** užívaný v kombinaci s různými ligandy, jako je třeba EDTA nebo TPEN. Mezi komerčními činidly se jedná o redukční činidlo s nízkou cenou a dostupností.

Velice důležité je dbát na správnou aplikaci, poněvadž redukční výkon klesá s nižšími hodnotami pH. Látka sloužila jako bělicí činidlo.[91]

Další dobře účinnou látkou je **aminokyselina cystein (Cys)**, která se v přírodě nachází v proteinech jako L-isomer a je také komerčně dostupná. Cystein tvoří komplexy s Fe^{3+} ionty a Fe^{2+}, zatímco s Ca^{2+} a Mg^{2+} tvoří pouze slabé komplexy. Cystein je také schopen rozpouštění oxyhydroxidů Fe^{3+} a má tak solubilizační účinek korozních produktů (= solubilizace neboli schopnost rozpouštět látky, které jsou v čistém rozpouštědle nerozpustné). Pomocí cysteinu bylo možné redukovat Fe^{3+} na Fe^{2+}, přičemž jeho oxidací vzniká nerozpustný cystein. V experimentální části této studie se ukázala jako nejefektivnější pro čištění směs cysteinu a dithioničitanu sodného. Použití dithioničitanu sodného poskytuje rychlou redukci FeOOH na Fe^{2+}, které pak tvoří silné komplexy s cys. Negativem při použití na vyleštěném mramoru je ztráta vysokého lesku v důsledku naleptání povrchu, jež bylo pozorováno jen v hloubce v řádu několika mikrometrů. Jako nosič čisticích látek byl použit *Laponite® RD*[92], který při smíchání s roztokem čisticí látky o koncentraci 2 % a více vytváří bezbarvý tixotropní gel. Pro lepší vlastnosti, zejména zvýšení pórovitosti a zlepšení absorpčních vlastností, byl *Laponite® RD* míchán spolu s *Arbocelem® BC1000*. Do této směsi bylo dále přidáno malé množství sodné soli CMC (karboxymethylcelulóza sodná sůl) pro lepší mechanické vlastnosti, jako je přilnavost a soudržnost. To vedlo k dobré aplikovatelnosti obkladu a následně, po ukončení, k celistvému odstranění bez drolení. Směs chemických látek byla míchána dle tohoto receptu: 0,52 g L-cysteinu (4,29 mmol) bylo za míchání rozpuštěno ve 43 ml vody a po úplném rozpuštění bylo přidáno 0,75 g dithioničitanu sodného $Na_2S_20_4$ (4,31 mmol). Roztok byl poté za míchání přidán do kádinky o objemu 250 ml obsahující směs 5 g *Laponitu*, 5 g *Arbocel* a 0,5 g *CMC* soli. Před aplikací obkladu

[90] SPILE – SUZUKI – BENDIX 2016
[91] https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24489
[92] http://www.east8west.com/data/BYK_Laponite_RD_EN.pdf

je čištěné místo navlhčeno. Toto smáčení poskytuje lepší přilnavost obkladu. Vlhký obklad je nanášen na mramorový povrch ve vrstvě o síle 1–1,5 cm, potažený polyethylenovou fólií a ponechán 24 hodin působit. Poté se plastová fólie odstraní a obklad se nechá přes noc sušit. Následně se obklad sejme a zlikviduje v souladu s vnitrostátními předpisy. Povrch mramoru je nakonec opláchnut vodou.

Článek *The treatment of iron-stained marble: toward a "green" solution*[93] potvrzuje, že použití ***cysteinu*** spolu s roztokem ***dithioničitanu sodného*** dosahuje nejlepších výsledků na mramoru, a dodává, že tato formulace je navíc nejekologičtějším řešením jak pro restaurování, tak pro životní prostředí. Přidáním ***DL-methioninu*** ($C_5H_{11}NO_2S$) do této směsi se zvyšuje čisticí účinek, poněvadž tvoří stabilní komplexy s železem. Nicméně tato kombinace ještě není řádně prozkoumána. Účinnost použitého komerčního prostředku ***Metal Rescue*** byla obdobná, jen bylo souběžně s korozními produkty odstraněno o něco více vápníku, což mělo negativní vliv na podklad.

Pro přehlednou orientaci všech dohledaných čisticích látek je na konci této práce jejich resumé společně s doporučením k použití (koncentrace, pH, případně obkladový materiál).

1.3.1 Látky s chelatačním účinkem

Z literární rešerše a současné restaurátorské praxe vychází, že pro čištění korozních produktů se nejvíce používají látky s chelatačním účinkem.

Chelatační činidla jsou organické nebo anorganické sloučeniny schopné vázat kovové ionty za vzniku komplexní prstencové struktury zvané „cheláty". Chelatační činidla mají atomy vázající „ligand", které tvoří buď dvě kovalentní vazby, nebo jednu kovalentní a jednu souřadnou, nebo dvě souřadné vazby v případě bidentátních chelátů. Nejúčinnější jsou přípravky obsahující redukční činidla, která mohou oslabit vazby mezi atomy železa v oxidu železa. Toho je dosaženo redukcí povrchových iontů Fe^{3+} na Fe^{2+} a záleží to na pH, teplotě a redoxním potenciálu. Jedním z nejpoužívanějších ligandů je citrátový ion nebo soli jiných karboxylových kyselin, jako je na příklad kyselina šťavelová, askorbová a vinná.[94]

Dobře známá je chelatační schopnost methioninu a cysteinu. Tyto aminokyseliny tvoří komplexy s Fe^{3+} a Fe^{2+} s vysokými stabilními konstantami a pouze velmi slabé komplexy s Ca^{2+} a Mg^{2+}. Cystein reaguje dále jako redukční činidlo v komplexech Fe^{3+}, což vede k tvorbě bezbarvých komplexů, zatímco methionin tvoří komplexy zejména s Fe^{2+}. Cystein

[93] MACCHIA – RUFFOLO – RIVAROLI – LA RUSSA 2016, s. 323–332.
[94] SPILE – SUZUKI – BENDIX 2016

je rovněž náchylný k oxidaci a vytváří disulfidové vazby se sousedními zbytky cysteinu, čímž vytváří ve vodě fialový nerozpustný komplex. Z tohoto důvodu přidání dithioničitanu sodného (SD) spolu s cysteinem brání vysrážení cysteinu.[95]

L-cystein se běžně vyskytuje v přírodních proteinech jako L-isomer a je komerčně dostupný, používá se například k odbourání kovů z těla nebo v přírodním prostředí.

Mezi chelatační činidla je možné zařadit i značně používanou kyselinu citrónovou a její soli, nejvíce sodné a amonné. Zmíněné soli kyseliny citronové (citronany a citráty) mají vetší komplexační schopnost oproti samotné kyselině. Nicméně při hodnotě pH 2–10 mají také schopnost chelatovat Ca^{2+}. EDTA má o něco vyšší schopnost chelatovat Ca^{2+}.[96]

1.4 Preventivní opatření vzniku korozních produktů v sádře

Preventivním opatřením jsou míněny veškeré činnosti směřující k zamezení nebo snížení nejen procesu koroze kovů, ale i korozi samotného materiálu odlitku. Nejprve by měly být vytvořeny vhodné podmínky pro uložení díla, kterými lze předcházet nežádoucím aspektům, jako je již zmíněná koroze kovových částí v sádrových odlitcích. V případě projevů koroze lze přistoupit ke konzervačním zásahům. Při časné prevenci je možné prodloužení životnosti díla.

1.4.1 Úprava podmínek uložení

Korozní proces je možné (po)zastavit v případě, že vyjmeme dílo ze střídavě vlhkého prostředí a umístíme ho do stabilních podmínek, kde relativní vlhkost nepřevyšuje 60 % a nedochází k cyklickému střídání vlhka a sucha. Ochranná opatření v důsledku upravených podmínek lze shrnout do několika bodů:

[95] MACCHIA – RUFFOLO – RIVAROLI – LA RUSSA 2016, s. 323–332
[96] ŠKRABALOVÁ 2018. s.77–79.

Uchování sádrových děl v depozitáři by mělo podléhat těmto kritériím[97,98]:

- udržovat relativní vlhkost do 60 %, Nejméně pak do 45 % RH
- pro snadnější zajištění podmínek nízké relativní vlhkosti je možné dílo umístit do boxu nebo obalu spolu se sorpčními látkami
- odfiltrování a udržování nízké koncentrace látek podporující korozi železa (manganistan draselný, aktivní uhlí, oxid siřičitý, oxidy dusíku, ozon a mnoho dalších látek)
- stabilizování stávajících korozních produktů
- udržování konstantní teploty mezi 10 a 25 °C a zamezení jejímu kolísání (teplota by zároveň neměla klesnout pod bod mrazu)

1.4.2 Opatření v rámci konzervačního zásahu

Obnažené armatury je možné vyčistit a zakonzervovat tak, aby byl jejich proces koroze zpomalen na minimum. Prostřednictvím mechanických (např. mikropískováním) a chemických metod (např. odrezovacích prostředků na bázi taninů a kyseliny hydrogenfosforečné) se na povrchu korodovaných objektů zredukují korozní produkty na minimum. Očištěné výztuže se dočistí technickým lihem pro zbavení se reziduí a mastnoty. Tímto způsobem připravený podklad armatur je teprve možné opatřit antikorozním nátěrem. V současnosti se ukázal jako nejúčinnější ošetřující materiál kovových armatur *Alkyton ral 7001*.[99,100] Dobré ochranné výsledky vykazuje také lak z Paraloidu B72.[101] Dříve se pro ochranu železných armatur v sádře a štuku používal například asfaltový nátěr nebo šelak.[102]

Vzhledem k tomu, že je většina armatur umístěna v sádře mezi vrstvami, není k nim možný přístup a nelze je tedy ošetřit totožně jako obnažené armatury antikorozním ošetřením. Je možné použít inhibitory koroze, které se používají k pasivaci armatur. Aplikují se na povrch sádrového podkladu a porézním systémem penetrují až k povrchu ocelových armatur. (Ačkoliv studie byla provedena na štukové povrchy, je možné vyhodnocené metody vztáhnout k sádrovému podkladu, který je svým složením a vlastnostmi blízký.) Zkoušen byl *Ferrogard -903+, Ebol LMM* a *Indakor LAM*. Z vyhodnocených zkoušek se jako nejlepší jevil *INdakor LAM* a *Ferrogard -903+* při aplikaci zkrápěním, případně infuzí. Pro dosažení

[97] KOLEKTIV 2011, s. 182–183.
[98] KOLEKTIV 2018
[99] Alkyton – nátěrová hmota na bázi alkydových pryskyřic modifikovaných uretany
[100] AUSKÁ 2017, s.194.
[101] Ibidem
[102] JUNDROVSKÝ 1912, s. 417.

dostatečné ochrany je nutné inhibitory aplikovat v několika cyklech, nejlépe 2–3×, a po skončení aplikace umístit dílo na minimálně 14 dní do dobře větratelného prostoru bez srážkové vody. Před provedením této metody pro ochranu armatur by mělo dojít k předběžnému odzkoušení, které vyhodnotí účinek látek, ale i vliv na substrát (např. jeho optické vlastnosti). Optimální koncentrace inhibitorů pro aplikaci by se měla pohybovat mezi 1 a 4 %.[103]

Podle staršího článku *La corrosion des metaux dans le platre 1977*[104] byl z inhibitorů nejlépe hodnocen také dusitan sodný ($NaNO_2$), nicméně účinnost inhibitorů se ukázala jako málo trvanlivá.

[103] STUDENÍK 2014, s. 143.
[104] FOUCAULT 1977. s. 489–507.

2 Experimentální část

Experimentální část teoretické práce se zabývá zkouškami čištění korozních produktů chemickými látkami vybranými na základě literární rešerše. Pozornost byla v první části experimentu soustředěna na zhotovení zkušebních vzorků a postup jejich znečištění korozními produkty železa. Následně byl v rámci předběžných zkoušek řešen výběr čisticích látek a jejich vhodná forma (koncentrace roztoku a výše pH), postup aplikace zahrnující výběr vhodného nosiče a příprava zábalu s čisticí látkou, předvlhčení podkladu, doba aplikace a délka působení, v neposlední řadě stanovení postupu při očištění reziduí čisticích látek). Z těchto vyhodnocení vzešel užší výběr čisticích systémů (obkladů) a finální aplikační postup.

Přípravnými testy byly navržené receptury čisticích systémů aplikovány na zkušební sádrové vzorky, otestovány a jejich účinek posouzen. Hodnocení probíhalo převážně na základě vizuálního pozorování čisticího efektu doplněného měřením barevných změn, které byly hodnoceny pomocí kolorimetrie. Změny na povrchu sádrových vzorků byly sledovány mikroskopickými technikami optické a skenovací elektronové mikroskopie (SEM). Po očištění byla dále sledována hloubka působení jednotlivých látek na příčném řezu vzorků.

2.1 Příprava zkušebních vzorků

Ke zkoumání možností čištění korozních produktů ze sádry byly připraveny sádrové vzorky, které postupem přípravy i znečištěním simulovaly reálnou problematiku.

2.1.1 Příprava sádrových podkladů

Předběžné testy i čištění s finálními recepturami bylo provedeno na sádrových destičkách/odlitcích s plochou 10 × 10 cm a síle nejprve 0,5 a poté 2 cm. K odlévání byla použita štukatérská sádra *Almod LC Formula (Saint Gobain*). Pro zjištění, jaký vliv na čištění korozních produktů hraje porozita sádry, byly destičky odlévány s vodním součinitelem 0,6 (běžná receptura pro odlévání, suspenze se připravuje ze 100 g sádry s 60 ml vody) a 0,8 (suspenze s vyšším obsahem vody simulující degradovanou sádru, na 100 g sádry se přidá 80 ml vody).[105]

[105] Do příslušného množství vody byla postupně vsypávána odměřená sádra, která se ponechala dvě minuty „stát“ a následně byla míchána přibližně 3 minuty, dokud nebyly rozmíchány veškeré hrudky. Poté, co byla sádra takto připravena, byla lita do předem nachystané formy. Lití probíhalo od kraje rohu, s cílem zamezit

Po odlití a zatuhnutí vzorků byly obě skupiny vzorků vyjmuty z formy a ponechány v přirozených laboratorních podmínkách (20 °C a 30–40 % RH) vyschnout po různě dlouhou dobu. Doba schnutí se u jednotlivých sádrových těles lišila v rozmezí od třech dnů až dvou týdnů; vzorky s vyšším vodním součinitelem 0,8 měly mnohonásobně delší dobu schnutí.

Po vyschnutí byly sádrové vzorky ze všech stran obroušeny brusnými houbičkami o zrnitosti 120 (což zhruba odpovídá brusnému papíru hrubosti P320)[106]. Povrch byl po obroušení důkladně odprášen vlasovým štětcem. Cílem této úpravy vzorků bylo tzv. „otevření" povrchu, který je po odlití z formy velmi kompaktní a méně nasákavý. Touto úpravou došlo k přibližnému sjednocení nasákavosti všech vzorků, které mělo zásadní vliv na následné homogenní znečištění a zároveň hraje podstatnou roli v průběhu čištění.

2.1.2 Vlastnosti sádrových vzorků

Pro zjištění, jaký vliv mají příprava a vlastnosti vzorků na čisticí účinek, byly stanoveny základní vlastnosti sádrových vzorků s odlišným vodním součinitelem 0,6 a 0,8, jejichž přípravu popisuje předchozí kapitola (2.1.1). S čisticím účinkem souvisí zejména celková porozita, nasákavost a kapilární nasákavost, které byly stanoveny laboratorně a vyhodnoceny jako průměrné hodnoty ze tří odlišných vzorků s daným vodním součinitelem. Celková porozita byla stanovena rtuťovou porozimetrií, objemová hmotnost dle postupu, který udává norma ČSN EN 1015-18 (722400).[107] Celková nasákavost vodou byla určena dle normy určené pro kámen ČSN EN 13755 (721149).[108] Koeficient kapilární absorpce, který je mírou kapilárních vlastností materiálu, byl stanoven v souladu se standardem ČSN EN 1015-18 (722400).[109]

vzniku přebytečných vzduchových bublin. Po zalití vzorku byla ještě forma ručně střásána pro úplnou eliminaci přítomných bublinek.

[106] http://www.rekordabrasives.cz/brusne-houbicky/

[107] ČSN EN 1015-18 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě

[108] ČSN EN 13755 (721149) Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku.

[109] ČSN EN 1015-18 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě

2.1.3 Depozice vzorků korozními produkty

Aplikování korozních produktů představovalo náročný krok v přípravě zkušebních sádrových vzorků. Cílem bylo najít vhodnou látku a snadný způsob aplikace na sádrový povrch, kterými by bylo možné docílit homogenního nánosu znečištění. Ten je nezbytný pro relevantní hodnocení čisticích látek a možnost objektivního posouzení jejich čisticího účinku.

K depozici laboratorních vzorků byl nakonec vybrán roztok chloridu železitého (postup a), který je ale silně žíravý a práce s ním vyžaduje dodržení bezpečnostních pravidel.[110] S vlhkostí (i vzdušnou) reaguje za vzniku hydroxidu železitého, čímž vytváří na povrchu vzorků vrstvičku s obsahem Fe^{3+}, která je totožná s korozní vrstvou samotných kovů. Dříve než byl zvolen tento způsob depozice, bylo neúspěšně zkoušeno znečištění železným korodujícím plechem aplikovaným mezi sádrové vrstvy, které byly vystavovány cyklování ve vlhkých a suchých podmínkách, čímž docházelo k urychlení jejich koroze. Ačkoliv tento způsob lépe odpovídal skutečné korozi železa v sádře, byl tento postup velmi časově náročný a výsledné vzorky nevykazovaly požadovanou míru homogenního znečištění (viz obr. 66–67).

a) Roztok chloridu železitého ($FeCl_3$)

Vyhotovené sádrové destičky byly napuštěny vzlínáním 10% roztokem chloridu železitého ($FeCl_3$). Ten byl připraven rozpuštěním bezvodého $FeCl_3$ v demineralizované vodě. Vzorky byly při napouštění umístěny do Petriho misky vždy s konstantním objemem roztoku, který se nechal volně vzlínat do vzorku. Objem roztoku byl stanoven tak, aby došlo k prosycení vzorků korozním roztokem, ale nedošlo k přesycení, které se projevovalo vytékáním přebytečného roztoku ze vzorku po jeho vyjmutí z misky. Vzorky s vodním součinitelem 0,6 a tloušťkou 0,5 cm byly napuštěny objemem 19–21 ml $FeCl_3$, zatímco u vzorků silných 2 cm se objem vpravený do vzorků pohyboval kolem od 80 do 85 ml. U vzorků s vodním součinitelem 0,8 bylo v obou případech množství roztoku nepatrně vyšší; u vzorků silných 0,5 cm byly vzorky napuštěny 23 ml, silnější vzorky 2 cm byly napuštěny 90–95 ml roztoku.

[110] Dráždí kůži, způsobuje poškození očí, zdraví škodlivý při požití. Při práci s látkou používat ochranný oděv, rukavice, brýle.

Díky vzlínání došlo k rovnoměrnému znečištění sádrového povrchu korozními produkty, čehož jiným způsobem aplikace, např. kapáním, nebylo možné docílit, poněvadž docházelo k tvorbě nehomogenních map.

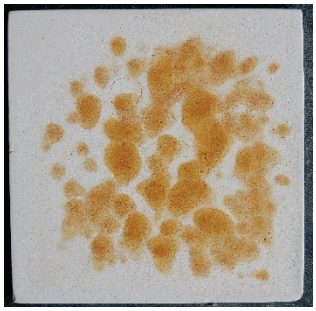
Obr. 65 Průběh napouštění sádrových vzorků chloridem železitým (FeCl3)

Ačkoliv se zdál být tento způsob znečištění optimálním pro dosažení rovnoměrného nánosu korozní vrstvy, u některých vzorků došlo i přesto k vytvoření nesourodých map na povrchu (na straně, která nebyla ponořena do roztoku). Z toho důvodu byla pro zkoušky čištění použita spodní strana (ponořená), která byla homogenní u obou typů sádrových vzorků i s nižším vodním součinitelem.

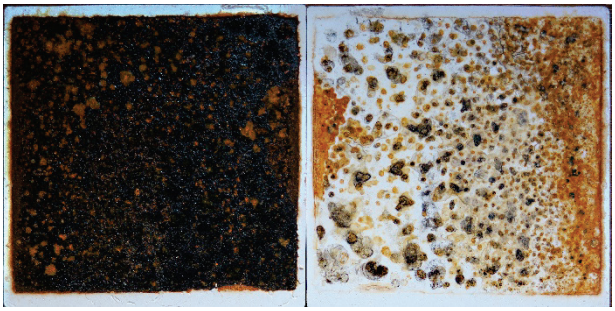
b) Pomocí korodujícího plechu

Primární zkoušky s depozicí korozních produktů, které nakonec nebyly realizovány, spočívaly v použití korodujícího plechu. Do formy o rozměrech 10x10 cm byla odlita spodní část, na kterou byl po zatuhnutí umístěn plech, který byl z každé strany mírně menší (o 0,5 cm). Prostor mezi plechem a spodní sádrovou destičkou vyplňovala probarvená sádra, sloužící pro lokalizaci umístění plechu. Poté byl vzorek zalit druhou vrstvou sádry. Po vytvrdnutí prošly vzorky urychleným stárnutím v klimakomoře, který měl uspíšit/podpořit korozi kovu v sádrových vzorcích. Podmínky stárnutí byly nastaveny dle doporučení normy ČSN EN ISO 6270-1[111] a spočívaly ve střídání vlhkých a suchých epizod během 1 cyklu, který trval 24 hodin. Vlhká perioda spočívala v uložení vzorků v klimakomoře při kontrolované vlhkosti 93% RH a teplotě ca 40 °C (8 hodin), na nějž navazovala suchá perioda 16 hod, při které byl vzorek uložen při normálních laboratorních podmínkách mimo klimakomoru (18-20 °C, relativní vlhkost okolí). Stárnutí vzorků bylo značně zdlouhavé a po 20 cyklech nebylo docíleno nehomogenního znečištění (viz obr. 66 a 67). Z těchto důvodů bylo od tohoto postupu upuštěno.

[111] ČSN EN ISO 6270-1 (673108): Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti proti vlhkosti – Část 1: Kontinuální kondenzace.



Obr. 66 Nehomogenní znečištění na povrchu sádrového vzorku se zalitým železným plechem. Stav po 20 cyklech urychleného stárnutí.



Obr. 67 Nehomogenní znečištění vnitřní strany sádrového vzorku, která byla v kontaktu s korodujícím plechem.

2.2 Výběr a charakteristika čisticích látek

Čisticí látky byly vybrány na základě literární rešerše dle několika kritérií. Hlavním kritériem byla účinnost látek na daný typ nečistot, důležitou roli při výběru hrála i bezpečnost látek a jejich šetrnost k sádrovému podkladu, který má svá specifika. Výrazným faktorem při výběru byla i cena a dostupnost látek; kvůli příliš vysoké ceně byly například vynechány látky Tiron a TPEN, jež jsou v literatuře hodnoceny pro čištění korozních produktů železa velmi kladně.

Ze spektra vybraných látek tvoří největší skupinu látky s chelatačním účinkem; pro zkoušky byl vybrán Komplexon III (tj. disodná sůl kyseliny ethylendiaminotetraoctové), citronan amonný, kyselina citronová. Další látky, jejichž účinek na korozní produkty železa popisuje kapitola (1.3.1), tvořily aminokyselina L-cystein, dithioničitan sodný nebo DL-methionin a jejich směsi. Z méně známých látek byla vybrána kyselina thioglykolová a naopak z dobře známých a běžně používaných kyselina citronová. Látky se často podle literatury používají pufrované pro zvýšení jejich čisticího účinku. K pufrování, neboli úpravě pH, se ve všech případech používala čpavková voda (amoniak, vodný roztok, koncentrace 24 %).

Vlastnosti vybraných látek:

- ***Komplexon III p. a.*** je ve vodě rozpustný dihydrát disodné soli kyseliny ethylendiamintetraoctové $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8.2H_2O$, též zvaný Chelaton III. Jedná se o bílý jemný krystalický prášek. *(Výrobce a distributor*: *Ing. Petr Švec – PENTA s. r. o.)*
- ***Citronan amonný*** neboli triamonná sůl kyseliny citronové, též citrát amonný, se sumárním vzorcem $C_6H_{17}N_3O_7$. Jedná se o bílou krystalickou látku rozpustnou ve vodě. *(Výrobce a distributor: Carl Roth GmbH)*
- ***L-cystein*** je bílá krystalická látka se systematickým názvem α-amino-β-merkapto-propionová kyselina a se sumárním vzorcem $C_3H_7NO_2S$. K čištění se používá jako vodný roztok. *(Výrobce: Carl Roth GmbH a distributor: P-LAB a. s.)*
- ***Dithioničitan sodný čistý*** $Na_2S_2O_4$ je anorganická silně zapáchající sůl rozpustná ve vodě. Jedná se o dvojsodnou sůl kyseliny dithionové. *(Výrobce a distributor: Ing. Petr Švec – PENTA s. r. o.)*
- ***DL-methionin*** $CH_3SCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ je další aminokyselina, jejíž roztoky se připravují rozpuštěním ve vodě. *(Výrobce a distributor: SIGMA-ALDRICH)*
- ***Kyselina thioglykolová*** $C_2H_7NO_2S$ dostupná jako kapalina ve formě ~60% vodného roztoku s nepříjemným zápachem. *(Výrobce a distributor: SIGMA-ALDRICH)*
- ***Kyselina citrónová bezvodá*** $C_6H_8O_7$ je bílá krystalická látka dobře rozpustná ve vodě. *(Výrobce: Carl Roth GmbH a distributor: P-LAB a. s.)*

2.2.1 Příprava roztoků, nastavení koncentrace a pH z předběžných zkoušek

Výběr chemických látek pro zkoušky čištění vycházel částečně z poznatků pro čištění korozních produktů z mramorového podkladu a bylo nutné tyto látky přizpůsobit sádrovému podkladu. Ten se oproti mramoru vyznačuje odlišnými vlastnostmi, zejména chemickým složením, pH, fyzikálními i mechanickými vlastnostmi, z nichž nejdůležitější je ve vztahu k řešené problematice porozita, nasákavost a kapilární nasákavost. Pouze rozpustnost je u obou materiálů podobná (viz kapitola 1.3). Z těchto důvodů byla nejprve hledána vhodná koncentrace čisticího roztoku, u kterého proběhla úpravu pH tak, aby se jeho kyselost, resp. zásaditost co nejvíce blížila sádrovému podkladu při zachování dostatečné čisticí účinnosti.

Stanovení výchozí koncentrace bylo provedeno na základě předběžného testu čištění, ve kterém byl použit pouze *citronan amonný* o koncentraci 2 a 5 (hm.%) použitý ve formě gelu s Kelzanem® HP-T. Z výsledků orientačních zkoušek čištění vyplynulo, že 2% koncentrace

je pro daný typ podkladu a znečištění dostačující, zatímco vyšší koncentrace má příliš razantní vliv na sádrový podklad a způsobuje jeho narušení. Z tohoto důvodu byla pro zkoušky čištění sjednocena koncentrace roztoků všech látek na nižší koncentraci 2 % s tím, že v případě nutnosti dočištění může být čištění zopakováno.

Příprava roztoků spočívala v rozpuštění chemických látek nebo ve zředění kapalin (kys. thioglykolová) v demineralizované vodě. U nových látek, jako je L-cystein, DL-methionin a dithioničitan, byly roztoky namíchány i v koncentraci (hm.%), kterou uváděla literatura. Roztok cysteinu byl namíchán v 1,2% koncentraci, methionin 0,7% a dithioničitan 1,7%. Přehled všech čisticích roztoků a jejich koncentrací uvádí tab. 5 ve které jsou pro porovnání uvedeny doporučené koncentrace z literatury.

Kvůli účinnosti látek i vzhledem k vlastnostem sádry byla u roztoků upravována hodnota pH, která je dle literatury pro čištění korozních produktů nejvhodnější v alkalické oblasti (pH mezi 8–11). Pro vyhodnocení účinnosti čisticích látek v závislosti na změně pH byly čisticí roztoky zkoušeny jak s jejich přirozeným pH, tak s pH upraveným na hodnotu 8 a 10. Cílem bylo zjistit, zda má tento rozdíl v pH vliv na čisticí účinky. U všech zkoušených roztoků bylo zvýšení pH dosaženo přidáním čpavkové vody (amoniak, vodný roztok, 24 %). Přehled testovaných hodnot pH roztoků uvádí tab. 5, testované hodnoty pH porovnává s doporučenou úpravou pH z literatury.

Testování účinku pH bylo zkoušeno na znečištěných sádrových vzorcích s vodním součinitelem 0,6 (vzorky s nižší nasákavostí, u nichž se předpokládá horší čistící efekt). U prvního vzorku byl studován účinek čistícího roztoku bez úpravy pH (Obr. 68), u druhého došlo na porovnání s účinkem pufrovaných roztoku na pH 8 a 10 (Obr. 69). Pro vyhodnocení zkoušek byla na všech vzorcích provedena zkouška (referenční), na které byl aplikován pouze gelový nosič s demineralizovanou vodou. Účinek čistícího roztoku byl dále studován při navýšení počtu aplikací (Obr. 70).

Referenční plocha	
Chemická látka s přirozenou hodnotou pH	Voda

Obr. 68 Schéma rozvržení vzorků pro zkoušky čištění s přirozeným pH

Referenční plocha		
Chemická látka s pH 8	Chemická látka s pH 10	Voda

Obr. 69 Schéma rozvržení vzorků pro zkoušky čištění s upraveným pH

Referenční plocha		
voda	Po první aplikaci čisticí látky	Po druhé aplikaci čisticí látky

Obr. 70 Schéma rozvržení vzorků pro finální zkoušky čištění

Tab. 5 Přehled testovaných čisticích látek s doporučenou a použitou koncentrací a pH látek

Čisticí látka	Vlastnosti čisticích roztoků (doporučených z literatury)			Vlastnosti čisticích roztoků (testované)		
	pH	Úprava pH	Koncentrace (hm.%)	pH	Úprava pH	Koncentrace (hm.%)
Komplexon III $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8.2H_2O$	4–11	-	10 %	8 a 10	NH_4OH	2 %
Citronan amonný $C_6H_{17}N_3O_7$	10	NH_4OH	2–5 %	8 a 10	NH_4OH	2 %
Kyselina thioglykolová $C_2H_7NO_2S$	8–9	NH_4OH	1–5 %	8 a 10	NH_4OH	2 %
Dithioničitan sodný (DS) $Na_2S_2O_4$	-	NH_4OH	1,7 %	8 a 10	NH_4OH	1,7 a 2 %
L-cystein (Cys) $C_3H_7NO_2S$	6,5	-	1,2 %	8 a 10	NH_4OH	1,2 a 2 %
DL-methionine $CH_3SCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$	-	-	0,7 %	8 a 10	NH_4OH	0,7 a 2 %
Směs DS + Cys	8–10	NH_4OH	-	8 a 10	NH_4OH	2 %
Cys + DL + DS	8	NH_4OH	-	8 a 10	NH_4OH	2 %
Kyselina citronová $C_6H_8O_7$	6	-	4 %	8 a 10	NH_4OH	2 %

2.3 Obkladové systémy pro aplikaci chemických látek

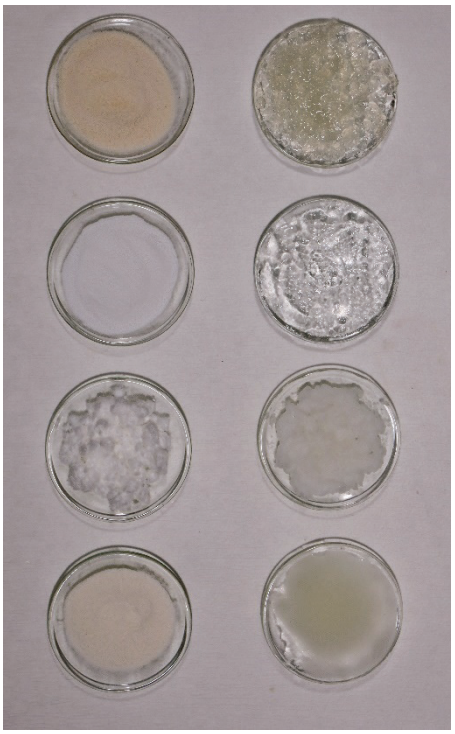
Roztoky čisticích látek je možné aplikovat na čištěný podklad několika způsoby a je jistě nad rámec této práce odzkoušet veškeré možnosti. Selekce nosných systémů vycházela z několika kritérií, která musí nosič splňovat. Primárním požadavkem je snadná příprava samotného obkladu i příprava obkladu z nosiče s čisticí látkou. Ne všechny látky a nosiče je možné spolu použít; například chelatační látky netvoří gelovou konzistenci s Tylose MH 300 a Tylose MH 6000.[112] Na tvorbu gelu může mít také výrazný vliv i hodnota pH roztoku.[113]

Při výběru nosiče je nutné dále vyhodnotit jeho samotný čistící účinek a jeho vliv na podklad. To zahrnuje vyhodnocení optických změn čištěného povrchu (barva, lesk, optický charakter), které mohou být například ovlivněny zanecháváním reziduí na očištěném povrchu. Negativní efekt mohou mít nosiče vytvářející gely, které při vysychání smršťují a zvyšují povrchové napětí na povrchu sádry. Následkem toho pak může dojít k poškození povrchu odlitku. Na druhou stranu může mít samotný obkladový systém pozitivní vliv na míru absorpce korozních produktů, a tím vylepšovat celkový čisticí efekt navrženého systému.

V provedené literární rešerši byla aplikace čisticích látek řešena zpravidla pomocí obkladů, gelů a past. V rámci experimentu byla vybrána zahušťovadla na bázi xanthanové gumy (Kelzan® HP-T), celulózy (Arbocel®), jílu (Laponite® RD) nebo etherů celulózy (Tylose MH 30000 YP4). Přehled těchto nosičů s fotodokumentací jejich formy v pevném a pastovitém stavu uvádí tab. č. 6.

[112] ŠKRABALOVÁ s. 105
[113] Ibidem, 94

Tab. 6 Přehled zkoušených nosičů – orientační složení a vzhled připravených past

Nosné médium	Druh	Ilustrační obrázek	
		Suchá forma	Mokrá forma
Kelzan® HP-T	xanthanová guma		
Laponite® RD	syntetický vrstvený křemičitan (jíl)		
Arbocel® BC 1000	celulózová vlákna		
Tylose® MH 30000 YP4	celulózový prášek		

Nosiče byly připraveny na základě předběžných zkoušek dle receptur a postupu, které uvádí tab. č. 7. Nachystané obkladové systémy byly v předběžných zkouškách otestovány na sádrových vzorcích silných 0,5 cm připravených s oběma vodními součiniteli 0,6 i 0,8 pro zjištění případného rozdílu. Sádrové vzorky byly před aplikací pasty/gelu předvlhčeny stejným množstvím vody (15 ml). Cílem předvlhčení bylo docílení lepšího kapilárního efektu zajišťující lepší čisticí efekt. Vzorky byly rozděleny; vpravo se ponechal tenký proužek jako referenční plocha pro hodnocení stavu před čištěním. Následně byly na zbytek vzorku nanášeny nosiče rozmíchané s vodou v jednotné tloušťce nánosu 5 mm. Síla obkladu 5 mm byla vyhodnocena jako nejvhodnější, poněvadž menší tloušťka některých nosičů by nemusela mít dostatečnou absorpční schopnost, a naopak vyšší vrstva by značně prodlužovala dobu čištění a vysychání.

Po aplikaci na laboratorní vzorky byl povrch každého jednotlivého obkladu překryt polyethylenovou fólií a ponechán 12 hodin účinkovat. Čas působení byl zvolen na základě doporučení z literatury a bylo by na další studii tyto podmínky ověřit a případně upravit,

neboť, jak se ukazuje, doba působení může mít zásadní vliv na jednotlivé obkladové systémy i čisticí látky.

Účinek jednotlivých nosičů byl vyhodnocen na základě porovnání optických vlastností referenční plochy a plochy po očištění. Nepřímo lze čisticí efekt pozorovat na základě změny barevnosti samotného nosiče (viz obr. 73 a 74), který se sám obarvoval korozními produkty. Barevné změny nosiče, resp. čisticí účinky se více projevovaly u vzorků s vodním součinitelem 0,8, které se vyznačují vyšší porozitou a kapilární nasákavostí (viz kapitola 2.1.2).

Obr. 71 Aplikace nosičů s vodou na vzorky s vodním součinitelem 0,8

Obr. 72 Aplikace nosičů s vodou na vzorky s vodním součinitelem 0,6

Obr. 73 12 hodin po aplikaci na vzorcích s vodním součinitelem 0,8

Obr. 74 12 hodin po aplikaci na vzorcích s vodním součinitelem 0,6

Předmětem zkoušky bylo dále stanovení doby odstranění obkladu. Hlavní otázkou bylo, zda nechávat obklad do úplného vyschnutí nebo je odstranit ještě v čerstvém stavu. Čištěné plochy byly proto rozděleny na dvě poloviny, přičemž dolní polovina byla ponechána na povrchu vzorku 12 hodin a v horní polovině byl obklad ponechán do jeho přirozeného vyschnutí, což trvalo přibližně 24 hodin (u buničinových zábalů byla doba vysýchání rychlejší oproti gelům, které vysychaly pomaleji). Moment pro odstranění zábalů nastal v okamžiku, kdy se okraje obkladů začaly odchlipovat od laboratorního vzorku, čímž došlo ke ztrátě adheze a zastavení absorpce korozních produktů. Po odstranění byla čištěná plocha

očištěna oplachem demineralizovanou vodou a dočištěna mechanicky měkkými štětci pro odstranění reziduí obkladu.

Na základě předběžných zkoušek s nosiči byl následně pro zkoušky čištění s čistícími látkami použit Kelzan® HP-T kvůli dobré aplikovatelnosti gelu, který se vyznačuje dobrou adhezí k sádrovému povrchu, čistícím účinkům i optimálnímu průběhu i celkové době vysychání. Obklad se dobře odstraňuje z povrchu, nesmí však přeschnout. Podrobné vyhodnocení účinků obkladů je shrnuto v kapitole výsledky a diskuze.

Tab. 7 Přehled použitých nosičů a jejich příprava

Nosné médium	Množství suché látky V (ml)/m (g)	Množství demi. vody (ml)	Postup při přípravě gelu
Kelzan® HP-T	5 ml / 3 g	35 ml	V odměřeném množství vody byl rozmíchán prášek *Kelzanu* do hustého a lepkavého gelu. Velmi dobře odsychá a snadno se snímá.
Laponite® RD	3 ml / 3 g	50 ml	Ve stanoveném množství vody byl *Laponit* rozmíchán, dokud se nevytvořil řídký gel. Ačkoliv aplikovaná konzistence byla poměrně řídká, při vysychání gel praskal a zanechával rezidua, která byla těžko čistitelná.
Arbocel® BC 1000	70 ml / 7 g	57 ml	Rozptýlením buničiny ve vodě vznikl hrudkovatý obklad, který se nanášel poměrně špatně a tvořil nehomogenní vrstvu.
Tylose® MH 30000 YP4	15 ml / 6,6 g	20 ml	Po smíchání s vodou poměrně rychle reaguje a je tedy nutná okamžitá aplikace gelu, poněvadž poté je to již nemožné. Sundávání je poměrně náročné, spojené s rezidui, která jsou špatně čistitelná.

Laponite® RD + Arbocel® BC 1000	28 ml / 2,5 g	42 ml	Nejprve byl do odměřeného množství vody přidán *Laponit*, který byl mícháním rozptýlen, a následně byl přidán *Arbocel*, pomocí kterého byla vytvořena hustá pasta, která se dobře nanášela. Jeho snímání bylo snadné.
	1 ml / 1 g		
Křída + Arbocel® BC 1000	65 ml = 6,5 g	42 ml	Křída byla rozmíchána s vodou a poté byl přimíchán *Arbocel*. Obklad byl o něco méně hrudkovatý než v případě samotného *Arbocelu*, avšak aplikace byla obdobně nepohodlná a křída navíc zanechávala bílé stopy.
	8 ml / 7,5 g		
Tylose® MH 30000 YP4 + Arbocel® BC 1000	4 ml / 1,7 g	42 ml	Nejdříve byla rozmíchána ve vodě *Tylose* a po úplném rozmíchání byl přidán *Arbocel*, který dotvořil hustou a lepkavou pastu, která se dobře aplikovala.
	40 ml / 4 g		
Tylose® MH 30000 YP4 + Laponite® RD + Arbocel® BC 1000	1 ml / 0,3 g	42 ml	Jako první byl s vodou rozmíchán *Laponit*, po jehož rozptýlení byla přidána *Tylose* a nakonec *Arbocel*. Došlo k vytvoření husté pasty a potlačení všech negativních vlastností, které se projevovaly u jednotlivých látek.
	1 ml / 1 g		
	20 ml / 2 g		

2.3.1 Předvlhčení před aplikací obkladů s čisticí látkou

V průběhu předběžných zkoušek nosičů byla pozorována deformace sádrových vzorků vlivem nadměrného zavlhčení a vysychání. Deformace byly pozorovány u obou skupin vzorků, které se lišily jak svou sílou (0,5 cm a 2 cm), tak i vodním součinitelem. Proto bylo přistoupeno k testování míry a způsobu předvlhčení ethanolem nebo směsi vody a ethanolu (1:1), aby se obsah vody ve vzorcích redukoval .

Kromě úpravy smáčecího média byly úpravy provedeny také v množství kapaliny použité pro předvlhčení, které se redukovalo oproti množství definované v přechozí kapitole (2.3). Pro vzorky s nižší tloušťkou byl objem kapaliny pro předvlhčení 5 ml, u silnějších vzorků

10 ml. Účinky předvlhčení i redukce obsahu vody při předvhlčení jsou diskutovány ve výsledkové části práce.

2.4 Metody hodnocení zkoušek čištění

Efektivita čištění zkoušených látek byla hodnocena především na základě subjektivního vizuálního zhodnocení změny barevnosti před a po očištění. Míru čištění lze exaktně vyjádřit měřením barvového odstínu vzorku před a po očištění pomocí spektrofotometrie (kolorimetrie). Povrchové změny sádrových vzorků byly vyhodnoceny pomocí optické mikroskopie nasvícením vzorku v razantním bočním osvětlení, při kterém se lépe zobrazují nehomogenity nebo mikroskopické změny v důsledku čištění. Skenovací elektronová mikroskopie povrchu (SEM-EDX), byla provedena na odebraných vzorcích z referenčního sádrového odlitku pro ověření případného vlivu čisticích látek. Technika SEM-EDX umožňuje detekovat přítomnost reziduí, případně změny v mikrostruktuře způsobené čištěním.

V poslední řadě byla hodnocena hloubka působení čisticích látek, která byla vyhodnocena na řezech před a po očištění vzorků.

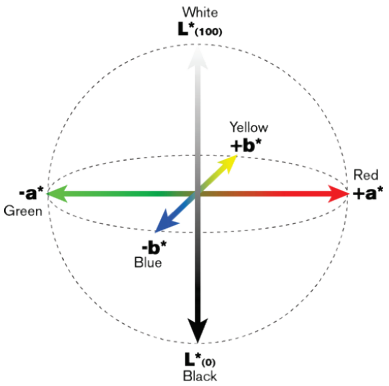
2.4.1 Vizuální subjektivní hodnocení

Metoda vizuálního zkoumání je základním prostředkem pro kontrolu průběhu a výsledků čištění. Dává nám jasnou představu o celkovém účinku čistících látek a míře čistění povrchu a vyhodnocuje kromě změny barevnosti i jiné optické efekty a změny, které čištění doprovází. K vizuálnímu hodnocení lze použít například zvětšovací lupu, výsledky jsou dokumentovány pomocí fotoaparátu. Použitím zvětšovací lupy je možné odhalit optické změny, které zahrnují hodnocení změny barevnosti povrchu, která je mírou očištění, i vznik druhotných optických změn (zákalů, vzniků lesků nebo redistribuce korozních produktů). Kromě nich zaznamenáváme možná poškození sádrového podkladu, které mohlo nastat v průběhu čištění.

Vizuálně byl kromě povrchu vyhodnoceny i příčné řezy vzorků, na kterých je možné zjistit hloubku průniku čisticích látek a jejich působení ve hmotě. Řez byl proveden napříč čištěná pole (referenční plocha, 1 a 2 aplikace) kolmo k povrchu, aby bylo možné sledovat rozdíly mezi jednotlivými poli.

2.4.2 Měření barvového odstínu vzorků před a po čištění

Změny barvového odstínu byly vyhodnoceny pomocí přenosného spektrofotometru (*Minolta Konica CM–2600d*), který umožňuje přesné měření barevnosti. V rámci našeho experimentu byla metoda použita pro vyhodnocení účinnosti čisticích látek a aplikovaných postupů. Měření probíhalo na každém jednotlivém vzorku před a po každém jednotlivém zásahu a byly zaznamenávány souřadnice CIE L*a*b*, kde osy tohoto systému vyjadřují:



Obr. 75 Grafické ztvárnění barevného prostoru CIE L* a* b*

L* světlost (lightness), nabývá hodnot od 0 (černá) do bílé (100)

a* chromatická osa, červená-zelená barevnost (kde hodnoty s a* (+), resp. a* (-) vyjadřují hodnoty pro červenou, resp. zelenou barevnost.

b* chromatická osa, žlutá-modrá barevnost (kde hodnoty s a* (+), resp. a* (-) vyjadřují hodnoty pro žlutou, resp. modrou barevnost.

Výsledkem měření je graf, který graficky vyhodnocuje změnu barvového odstínu dL*da*, resp. db* zvlášť na osách L*a*, resp. b*, ze kterého je patrné, co se se vzorkem po čištění stalo. Výsledkem může být vyhodnocení celkového barvového odstínu (barvová odchylka) dE*, který lze z dílčích hodnot barvových souřadnic L*, a*, b* vypočítat ze vztahu: $dE^*=\sqrt{(dL^*)2}$. Principem metody je detekce viditelného záření odraženého materiálem po jeho ozáření definovaným zdrojem světla

Stanovení barvových souřadnic bylo u každého vzorku a pole provedeno na třech místech. Přesné oblasti byly vymezeny papírovou šablonou, pomocí které se zajistilo vždy stejné místo měření. Rozvržení polí a míst měření na zkušebním vzorku dokumentuje obr. č.76 a 77)

Referenční plocha		
Po aplikaci gelu a vody	Po první aplikaci gelu a čisticí látky	Po druhé aplikaci gelu a čisticí látky

Obr. 76 Schéma rozvržení vzorků pro finální zkoušky čištění

Referenční plocha		
1	1	1
2	2	2
3	3	3

Obr. 77 Schéma rozvržení míst, kde byla provedena měření

2.4.3 Optická a skenovací elektronová mikroskopie

Vyhodnocení čištění v mikroměřítku bylo provedeno na povrchu sádrových vzorků pomocí optické (světelné) mikroskopie v odraženém bílém světle. Pozorování bylo provedeno na povrchu čištěných vzorků před a po očištění s pomocí stereolupy *SMZ800 Nikon*. Povrchu byl sledován při zvětšení 10–20× v rozptýleném a bočním světle, ve kterém je lépe pozorovatelný reliéf povrchu a případné změny na povrchu vzorků i v jejich povrchové struktuře.

Snímky ze skenovacího elektronového mikroskopu MIRA LMU (Tescan) byly pořízeny v režimu sekundárních elektronů (SE). Měření bylo provedeno při urychlovacím napětí 20 kV, WD 15 mm. Analýzy byly provedeny na vzorcích odebraných z povrchu referenčního sádrového odlitku. Kromě studia mikrostruktury bylo u jednotlivých vzorků provedeno mapování obsahu SEM-EDS analýzou (skenovací elektronová mikroskopie s energiově disperzivní systémem) a distribuce železa, který nepřímo poukazuje na čisticí účinek. U některých vzorků byla také provedena celková prvková analýza. Při mikrostrukturním posouzení vzorků byl studován stav povrchu před a po očištění – mikrostruktura, morfologie, reliéf a jiné změny oproti neošetřené ploše odlitku. Vzorky byly před analýzou pozlaceny za účelem znevodivění vzorku.

2.5 Výsledky a diskuse

Laboratorní zkoušky čištění korozních produktů ze sádrových vzorků přinesly mnoho zajímavých výsledků, na jejichž základě je možné vyhodnotit čisticí účinek zkoušených látek. V následujících kapitolách jsou výsledky řazeny podle postupu samotného experimentu.

2.5.1 Vlastnosti sádrového podkladu

Výsledky čištění je nezbytné dát do souvislostí s vlastnostmi sádrových substrátů jako je porozita, nasákavost vodou nebo kapilární nasákavost, které mohou ovlivňovat účinek čisticích látek. Výsledky jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Výsledky nasákavosti a porozity připravených vzorků

Vodní součinitel w/s	Průměrná nasákavost [hm.%]	Celková průměrná porozita [%]	Objemová hmotnost	Koeficient kapilární nasákavosti vody ($kg.m^{-2}.min^{-1/2}$)
0,6	54,4	49,9	1,2	10,2
0,8	56,1	54,5	0,95	9,5

Z výsledků je patrné, že vzorky připravené s nižším množstvím vody (s nižším vodním součinitelem 0,6) mají oproti vzorkům s vodním součinitelem 0,8 značně nižší porozitu a s ní související objemovou hmotnost a nižší nasákavost vodou. Zajímavý je minimální rozdíl v kapilaritě, kterou ovlivňují v materiálech jen tzv. kapilární póry. Podobné hodnoty kapilární nasákavosti naznačují podobnou skladbu pórů v obou typech vzorků i podíl/objem kapilární pórů.

Přestože byly obě skupiny vzorků odlévány stejným způsobem, který byl pokaždé dodržen, u některých vzorků docházelo ke vzniku nehomogenit ve struktuře vzorku, která se propisovala i do povrchu v podobě odlišné mikrostruktury, převážně v centrální části vzorku. Příčinou jsou patrně fyzikální změny v průběhu tuhnutí a následného procesu vytvrzování. Tyto projevy byly pozorovány zejména po depozici chloridem železitým $FeCl_3$.

2.5.2 Vyhodnocení aplikačních podmínek

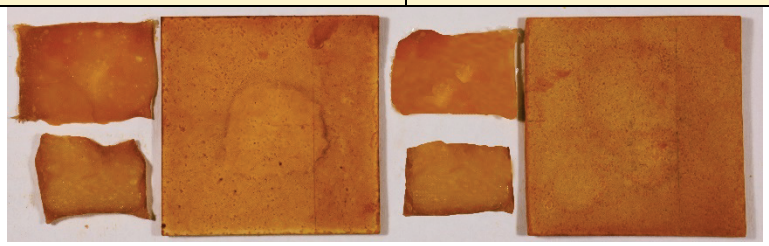
2.5.2.1 Vyhodnocení nosičů čisticích látek

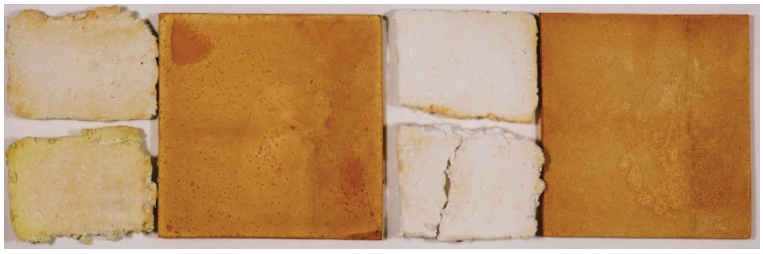
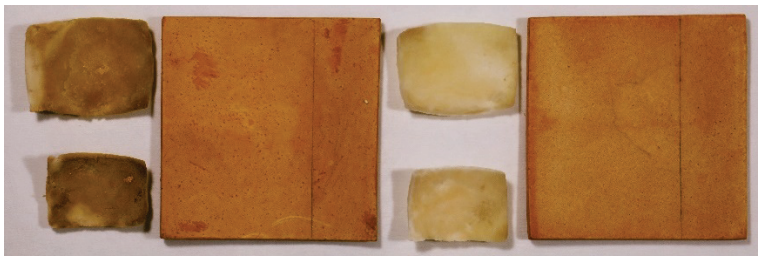
Experimentem se ukázalo, že kromě samotné čisticí látky a vlastností substrátu má výrazný vliv na čištění i nosič, ve kterém je látka aplikována na znečištěný povrch. Výsledky uvedené v tab. 9 vyhodnocují zpracovatelnost, aplikační vlastnosti nosič, adhezi k povrchu i možnost kontroly čištění. Zkoušky nosičů byly provedeny pouze s demineralizovanou vodou a jejich aplikovaná vrstva byla 5 mm.

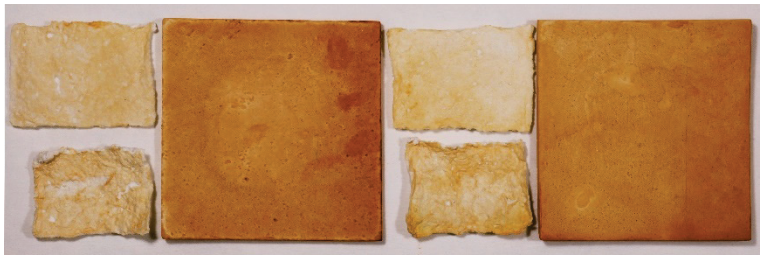
Obklad ponechán do jeho přirozeného vyschnutí.	Ref. plocha
Obklad očištěn po uplynutí dvanácti hodin.	

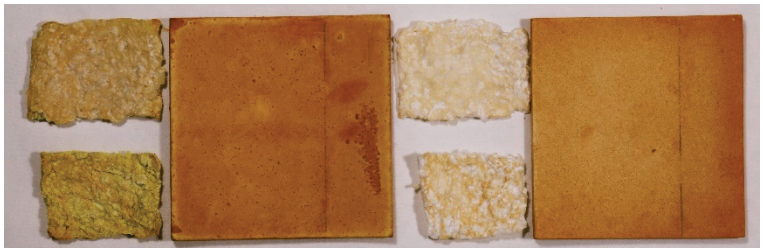
Obr. 78 Schéma rozvržení vzorku

Tab. 9 Porovnání účinků jednotlivých nosičů s demineralizovanou vodou

Pomocné označení vzorků	Vyhodnocení	
	sádrové vzorky 0,8	sádrové vzorky 0,6
IR		
	Kelzan® HP-T S gelem se velmi dobře pracovalo při zpracování i nanášení. U obou typů vzorků byla viditelná podobně vysoká absorpce $FeCl_3$. Lepší čistící výsledky prokázaly obklady ponechané až do úplného vyschnutí, které se z povrchu vzorků zároveň lépe odstraňovaly. Díky průhlednosti gelu je možná průběžná kontrolovatelnost čistícího procesu. Jedná se o jeden z nejlepších nosičů.	
IIR		
	Laponite® RD	

	Práce s tímto gelem byla rovněž dobrá, nicméně po odkrytí fólie gel velmi rychle vysychal a praskal. Absorpce FeCl3 je více patrná u vzorku 0,8. U tohoto obkladu není pozorován rozdíl mezi ponecháním obkladu, či jeho okamžitém sejmutí a omytí. Nevýhodou je také dočišťování reziduí gelu, které je obtížné. I po omytí vodou rezidua ulpívají na povrchu a po zaschnutí je jejich odstranitelnost náročná. Výhodou je pouze snadná kontrolovatelnost.
IIIR	
	Arbocel® BC 1000 Nejběžnější typ nosiče se vyznačoval několika negativy; hlavním problémem je nehomogenita částic (hrudky), která způsobuje nerovnoměrný kontakt s podkladem, což má vliv na následné čištění. Horší je také adheze obkladu k podkladu. Čisticí účinek obkladu se projevil jeho změnou barevnosti, které jsou opět lépe viditelé na vzorku 0,8.
IVR	
	Tylose® MH 30000 YP4 Přestože jsou patrné změny barevnosti u nosiče dokládající čištění, na samotném vzorku čistící efekt viditelný není. Gel se dobře připravuje a dobře se s ním pracuje při nanášení. Nevýhoda tohoto systému spočívá v rychlém tuhnutí, při kterém nastává výrazné smrštění obkladu. Doba zpracovatelnosti této směsi je tedy poměrně krátká. Nelze kontrolovat průběh čištění, gel je bělavý.

VR	
	Laponite® RD + Arbocel® BC 1000 Směs látek vytváří po zpracování tuhou pastu/gel s dobrou přilnavostí k podkladu a viditelným čistícím efektem u obou typů vzorků. Bělavé zbarvení gelu znemožňuje kontrolu průběhu čištění. Jedná se o jeden z nejlepších nosičů.
VIR	
	Křída + Arbocel® BC 1000 Tento obklad se vyznačoval horší kohezí a špatnou adhezí k podkladu. Obklad se překvapivě vyznačoval dobrým čistícím účinkem u více porézního typu podkladu (0,8). Z neznámých důvodů je čistící efekt u vzorku 0,6 téměř nulový. Průběh čištění nelze kontrolovat kvůli bílé barvě obkladu.
VIIR	
	Tylose® MH 30000 YP4 + Arbocel® BC 1000 Směs látek po rozmíchání s vodou vytváří hustou gelovitou hmotu s dobrou adhezí k povrchu sádry. Stejně jako u předchozího typu nosiče dochází k částečnému čištění pouze u vzorku 0,8, zatímco u 0,6 téměř k žádným změnám nedochází. Nevýhodou je nekontrolovatelnost během čištění a špatná odstranitelnost mokrého gelu.

VIIIR	
	Tylose MH 30000 YP4 + Laponite® RD + Arbocel BC 1000 S touto směsí husté gelovité konzistence se nepracovalo příliš dobře, je nehomogenní a lepkavá, díky čemuž se sní špatně pracuje. Čisticí účinek je nevýrazný, nelze vidět rozdíly mezi oběma typy sádrových vzorku. Průběh čištění nelzekonrolovat.

Z výsledků se jako nejlepší jevil nosič Kelzan® HP-T, který má po smíchání s vodou gelovitou konzistenci, díky které se dobře nanáší na sádrový povrch. Samotný gel prokazoval dobré čisticí výsledky u obou skupin vzorků s rozdílným vodním součinitelem. Díky transparentnosti gelu je možné provádět kontrolu účinku během čištění. Podobně lze doporučit i směs Laponite® RD + Arbocel® BC 1000, jejichž směs po smíchání s vodou vytváří tuhou bílou a neprůhlednou pastu s dobrou přilnavostí k podkladu a s dobrou absorpcí korozních produktů. Oba systémy lze po vyschnutí dobře odstranit bez pozůstatku reziduí – Kelzan® HP-T lze po částečném zavadnutí odloupnout, obklad z Laponitu® RD + Arbocelu® BC 1000 se odstraňuje skalpelem nebo špachtlí seškrábnutím z povrchu.

2.5.2.2 Předvlhčení před aplikací nosiče s čisticí látkou

Způsoby předvlhčení před nanesením čisticích obkladů představuje tab. 10. Pro vyhodnocení navrhovaných postupů aplikace byly provedeny zkoušky obkladu složené z gelu Kelzanu® HP-T a 2% roztoku Komplexonu III. Výsledky zkoušek předvlhčení spolu s čisticím účinkem shrnuje tab. 10.

Tab. 10 Postup při zkouškách předvlhčení a vyhodnocení jeho účinku na čištění obkladem připraveným z Kelzanu® HP-T a Komplexonu III (2 %).

Kapalina	Množství / Poměr mísení	Popis
voda	15 ml = 0,5 cm 30 ml = 2 cm	Množství vody způsobovalo důkladné provlhčení vzorků, avšak po jejich vyschnutí byly pozorovatelné tvarové deformace destiček v obou tloušťkách 0,5 i 2 cm (vzorky se ohýbají, což bylo více patrné u vzorků silných 0,5 cm). Míra čištění čistícím zábalem je dobrá, provlhčení vodou podporuje čisticí efekt zábalu.
voda v redukovaném množství	5 ml = 0,5 cm 15 ml = 2 cm	Po redukci množství vody, které je dostatečné k navlhčení, nebyly pozorovány tvarové změny vzorků. Míra čištění byla výrazná a srovnatelná s předchozí zkouškou, ve které bylo použito vyšší množství vody.
Líh (bezvodý) + voda	1 : 1	Míra čištění byla srovnatelná s mírou při použití samotné vody a nedošlo k žádným viditelným změnám, které by se týkali jak deformace, tak změny čisticího účinku.
Líh (bezvodý) + voda	2 : 1	Čištění bylo opět srovnatelné s mírou při použití samotné vody a směsi uvedené výše.
Líh (bezvodý)	5 ml = 0,5 cm 15 ml = 2 cm	Nebyly pozorovány sice tvarové změny, ale byl zaznamenán nepatrně nižší účinek čištění.

Během hodnocení zkoušek předvlhčení byly pozorovány tvarové deformace pouze u sádrový vzorků, které byly nadměrně zavlhčeny vodou. Při redukci obsahu vody nebo použití směsi lihu a vody (1:1/2:1) nedocházelo k výrazným změnám čisticího účinku ani k tvarovým přeměnám. Pouze u vzorku, kde byl použit samotný ethanol byla míra čištění nižší. Směsi demineralizované vody a ethanolu dosahovaly stejných výsledků jako samotná voda.

Ze zkoušek se však stále jako nejvhodnější pro předvlhčení jeví použití demineralizované vody. Avšak její množství bude redukováno oproti předběžným zkouškám, kde množství vody způsobovalo tvarové deformace podkladu. Na sádrové vzorky 10x10 cm a síle 2 cm bylo pro finální zkoušky čistění použito 15 ml vody. Při použití na reálných objektech je potřeba množství vody pro předvlhčení vždy předem odzkoušet. Nelze ani vyloučit provedení předvlhčení směsí vody a ethanolu.

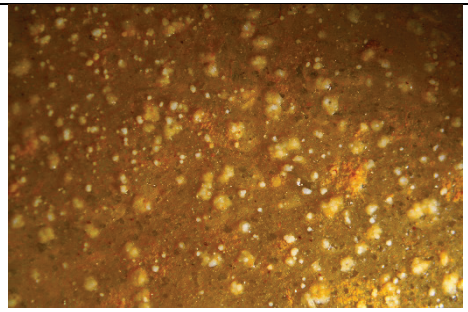
2.5.2.3 Koncentrace a vliv pH čisticího roztoku na účinek

Čisticí látky byly, jak vyplynulo z předběžných zkoušek (kapitola 2.2.1) použity v 2% koncentraci. Zkoušená nižší koncentrace u látek L-cystein (1,2%), DL-methionin (0,7%) a dithioničitan sodný (1,7%) se neprokázala téměř žádným čisticím účinkem. Pouze kyselina thioglykolová, která byla zkoušena i v 1% koncentraci, ukázala, že i při tomto snížení je možné docílit značného čisticí efektu, který byl na laboratorních vzorcích téměř srovnatelný s 2% koncentrací čisticího roztoku. Při aplikaci zábalu kyseliny thioglykolové v 1% a 2% koncentraci se rozdíly projevují pouze u fialového zabarvení gelu, které vzniká po jeho nanesení na povrch a dobře indikuje probíhající reakci. Tato reakce je výraznější u zábalu s 2% roztokem kyseliny než u 1% koncentrace, kde dochází k nevýraznému zbarvení do světle fialova.

Ačkoli bylo v literárních pramenech doporučováno vždy upravovat hodnotu pH na alkalickou 8–10, laboratorními testy se toto tvrzení nepotvrdilo (viz tab. 11). Naopak se ukázalo, že nejlepších výsledků dosahují čisticí látky při hodnotě pH, kterou mají po připravení jejich roztoku. Hodnota se téměř u všech roztoků čisticích látek pohybovala v rozmezí 6,5–7, což plně vyhovuje i pH samotného sádrového podkladu (viz kapitola 1.1). Pouze u kyseliny citrónové byla naměřena hodnota pH 1 a účinky byly pozorovány až při zvýšení hodnoty pH čpavkovou vodou na 8 a 10. Přesto jsou po této úpravě čisticí účinky nedostačující, navíc dochází k narušení sádrového podkladu, kdy v gelu zůstávají kousky sádrového podkladu což je nežádoucí (viz tab. 11). Vyhodnocení čisticích účinků je v následující kapitole.

Tab. 11 Porovnání čisticích účinků látek v různých hodnotách pH, čisticí účinek po první aplikaci

Použitá látka	Přirozené pH	voda	pH 8	pH 10	voda	Použitá látka	Přirozené pH	voda	pH 8	pH 10	voda
Komplexon III 2%						Dithioničitan sodný (DS) 2%					
Citronan amonný 2%						L-cystein (Cys) 2%					
Kyselina thioglykolová 2%						DL-methionine 2%					

Směs **DS + Cys** **2%**		**Cys + DL +** **DS** **2%**	
Kyselina **citronová** **2%**		**Gel** **kyseliny** **citronové**	

2.5.3 Vyhodnocení čisticích látek

Vizuální hodnocení

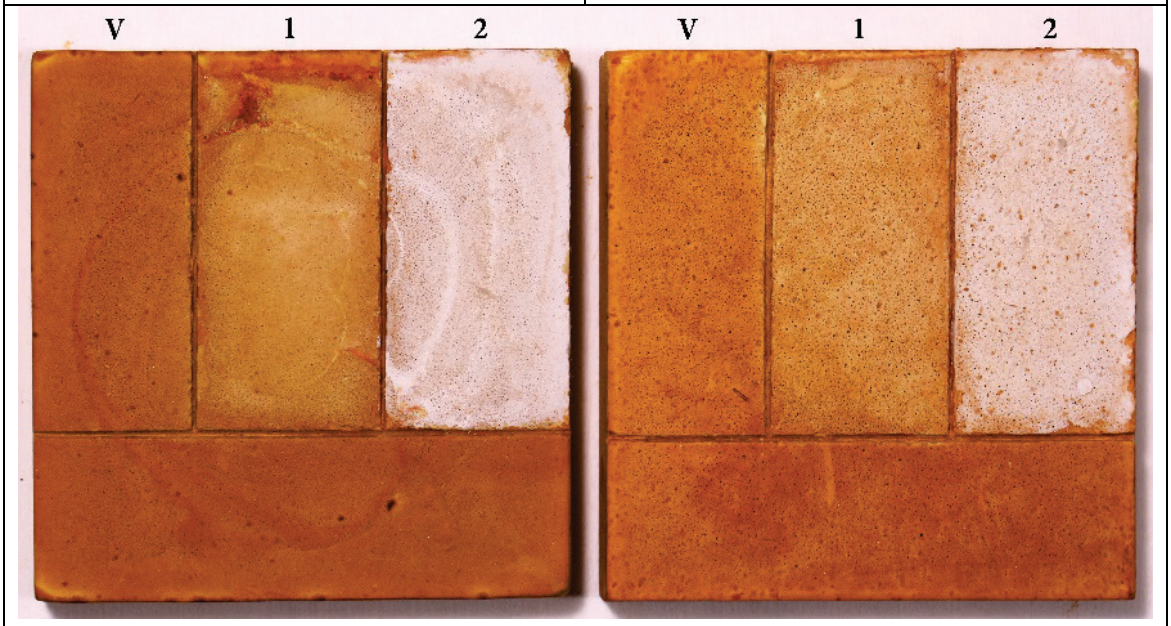
Nejefektivnějších výsledků čištění na obou typech vzorků (0,6 a 0,8) dosahovaly látky Komplexon III, kyselina thioglykolová a směs L-cysteinu a dithioničitanu sodného (viz tab. 11). Ostatní látky neprokázaly žádný čisticí efekt nebo byl zcela minimální. Například u kyseliny citronové se projevil negativní úkaz po sejmutí gelového nosiče, ve kterém byly pozorovány kousky sádrového podkladu (viz tab. 11 poslední obrázek).

V průběhu dalšího testování se ukázalo, že se směs L-cysteinu a dithioničitanu sodného projevila jako málo efektivní. U některých laboratorních vzorků se dokonce vyskytoval nafialovělý zákal, který by bylo nutné opětovně čistit. Z těchto důvodů byla tato směs z dalších zkoušek a hodnocení vyřazena. Na základě všech zjištění byly pro finální testy na laboratorních zkouškách i reálném díle zkoušeny a vyhodnocovány pouze 2% roztoky Komplexonu III a kyseliny thioglykolové. Roztoky těchto čisticích látek byly aplikovány opět formou gelu s Kelzanem® HP-T. Během zkoušek čištění na reálném objektu byly dále zkoušeny i modifikované varianty nosiče (viz kapitola 3.1).

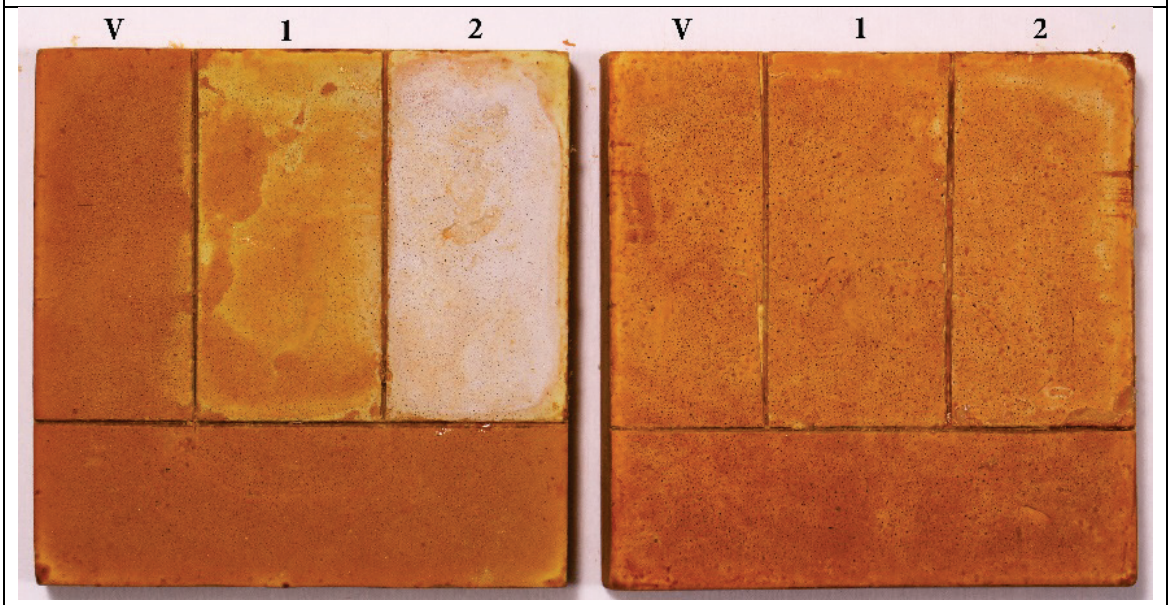
Zkouškami bylo potvrzeno, že je možné čištění opakovat. Lepší variantou z hlediska možnosti kontroly čisticího procesu je čištění s nižší koncentrací roztoku, který lze vícekrát opakovat, dokud se nedocílí požadovaného výsledku. V rámci laboratorních zkoušek byly provedeny dva čisticí cykly a pro ověření i třetí, přičemž největší rozdíl lze pozorovat hned po prvním a následně po druhém cyklu (viz ob. 79 a 80). Při dalším třetím cyklu již nebyly pozorovány změny v míře čištění.

Počet aplikací byl rovněž zkoušen i na reálném objektu, kde byly provedeny tři čisticí cykly, mezi kterými však nebyl téměř žádný rozdíl (viz kapitola 3.3).

0,8	0,6



Obr. 79 Čisticí účinek 2% kyselinou thioglykolovou v Kelzanu® HP-T, po 1 a 2 aplikačním cyklu.



Obr. 80 Opakovaná aplikace 2% Komplexonem III v Kelzanu® HP-T, po 1 a 2 aplikačním cyklu.

Legenda:

V = pole po aplikaci demineralizované vody v gelu

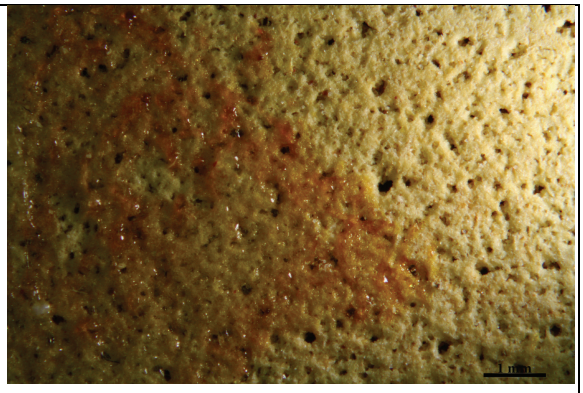
1 = pole po první aplikaci čisticí látky v gelu

2 = pole po druhé aplikaci čisticí látky v gelu

Na základě zkoušek bylo možné diskutovat rozdíly intenzity čištění dosažených u vzorků s odlišným vodním součinitelem 0,6 a 0,8. Vyšší míra čištění chemickými látkami byla pozorována u vzorků s vodním součinitelem 0,8, které se vyznačují vyšší porozitou a mírně vyšší kapilaritou (viz kapitola 2.5.1). Jen nepatrně menší efekt byl pozorován na vzorcích s vodním součinitelem 0,6.

Z výsledků je zřejmé, že kyselina thioglykolová dosahuje značně vyššího čisticího účinku oproti Komplexonu III (viz obr. 79 a 80). V průběhu testování se ukázalo, že obě chemické látky s *Kelzanem* sice tvoří hustý pastovitý gel, nicméně při jeho sundávání místy zanechával ztvrdlá rezidua gelu, která nebylo možné odstranit bez narušení podkladu. Rezidua byla viditelná jak pouhým okem, tak i při použití optické mikroskopie (viz obr. 81 a 82).

Obr. 81 Rezidua gelu Kelzanu® HP-T ve směsi s kyselinou thioglykolovou, snímek z optické mikroskopie při bílém bočním světle a zvětšení na mikroskopu 10×

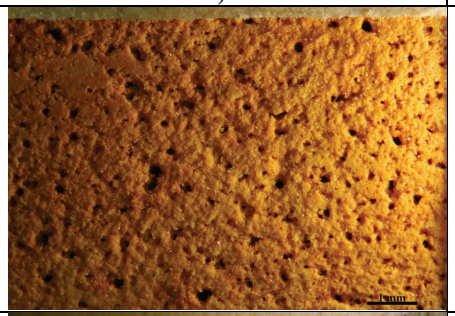
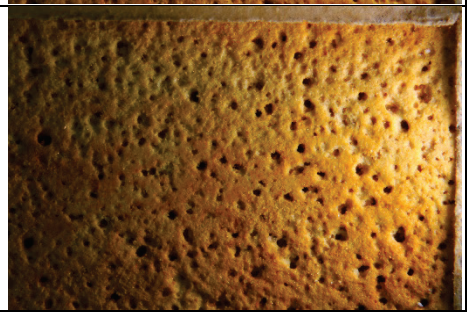


Obr. 82 Rezidua gelu Kelzanu® HP-T a Komplexonu III snímek z optické mikroskopie při bílém bočním světle a zvětšení na mikroskopu 10×

Optická mikroskopie

Pozornost byla zaměřena na povrchové změny vzorků, které se projevovaly změnou barevnosti a struktury. Výrazné změny barevnosti v důsledku vyššího čisticího účinku prokazovala kyselina thioglykolová po druhé aplikaci u obou skupin vzorků, zatímco u Komplexonu III byla změna barevnosti značně nižší. Pozorováno bylo narušení povrchu při snaze očistit rezidua gelu skalpelem (u vzorku 0,8 po druhé aplikaci, kde byla použita kyselina, viz tab. 12). Zaznamenána byla také mírně zvýšená porozita po druhé aplikaci obou čisticích látek.

Tab. 12 Snímky povrchu vzorků před a po očištění (1 a 2 aplikace). Snímky v razantním bočním osvětlení stereomikroskopu *SMZZ800 Nikon*, při zvětšení 10×

	Kyselina thioglykolová		Komplexon III	
	0,8	0,6	0,8	0,6
				
1				
2				

Spektrofotometrické hodnocení

Výsledky měření barvových změn po očištění vyjádřené jako dL^*, da^* a db^* jsou uvedeny v tab. 13 a graf 1 a 2. V tab. 13 jsou uvedeny hodnoty barvového odstínu vyvolané obkladem s vodou, které slouží pro porovnání účinku samotné vody, resp. obkladu s vodou a obkladu s čistící látkou.

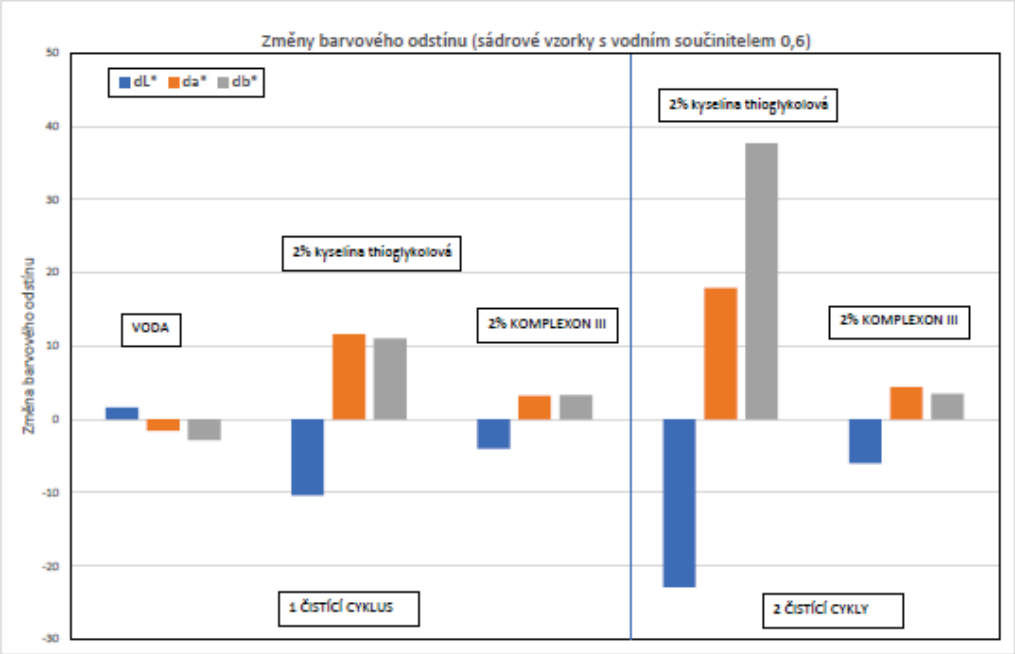
Měřením bylo prokázáno, že čisticí účinek obkladu s vodou je minimální bez rozdílu vlastností substrátu (tab. 13). U obou čistících látek došlo k výraznému zesvětlání povrchu v důsledku odstranění korozních látek, což je patrné na změně dL^*, která udává světlost. Z porovnání hodnot dL^* dále vyplývá, že čisticí efekt kyseliny thioglykolové je vyšší než Komplexonu III, což koreluje s výsledky vizuálního hodnocení. Čištění oběma látkami doprovází změna barevnosti vyjádřená jako da^* a db^*, která je opět více markantní u vzorků čištěných kyselinou thioglykolovou a prohlubuje se u obou látek po druhém cyklu čištění (viz tab. 14). Z nárůstu hodnot barevnosti da^* a db^* do kladných hodnot vyplývá, že se zintenzivňuje červená a po druhém cyklu zvlášť žlutá barevnost (ve výsledku oranžová), což může naznačovat možnou redistribuci korozních produktů, nelze vyloučit ani možné chemické změny. V ohledu změn barevnosti vychází výrazně lépe Komplexon III, vzorky čištěné touto látkou jsou barevně stabilnější, větší změny barevnosti byly zaznamenány u sádrových vzorků s vyšší porozitou a nasákavostí (0,8) po 2. čistícím cyklu (graf 2)

Tab. 13 Změny barvového odstínu dL^*, da^*, db^* po 1 zábalu s vodou a nosičem Kelzanu® HP-T

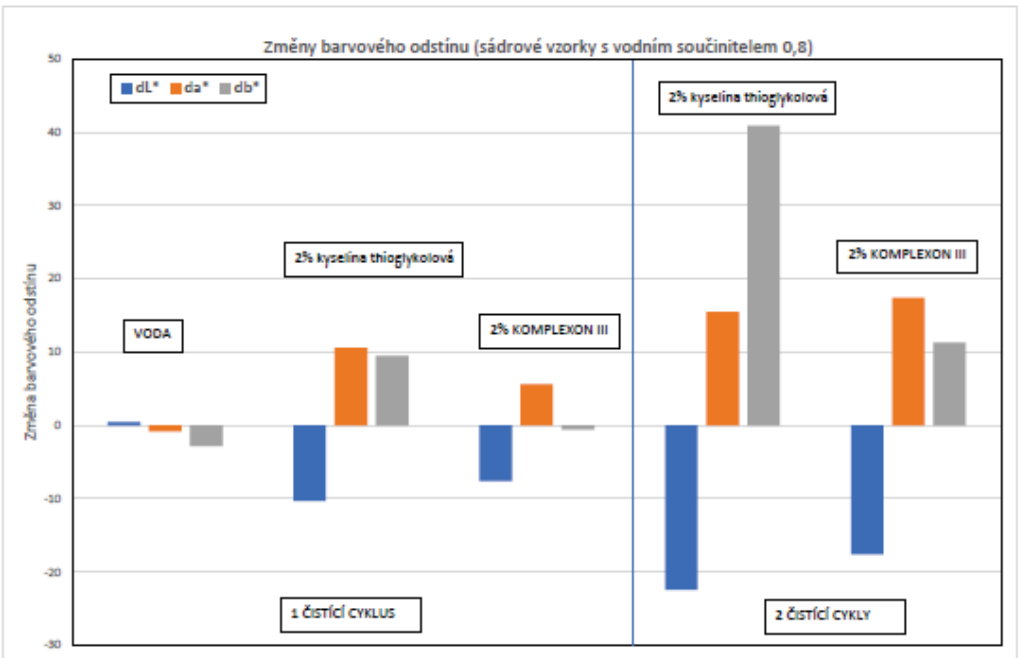
Čistící látka	**sádrové vzorky 0,6**			**sádrové vzorky 0,8**		
voda	dL^*	da^*	db^*	dL^*	da^*	db^*
	+1,6	-1,5	-2,8	0,5	-0,8	-1,8

Tab. 14 Změny barvového odstínu dL^*, da^*, db^* po 1 a 2 cyklu čištění kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III v Kelzanu® HP-T

Čistící látka	**Počet čistících cyklů**	**sádrové vzorky 0,6**			**sádrové vzorky 0,8**		
2 % kyselina thioglykolová		**dL^***	**da^***	**db^***	**dL^***	**da^***	**db^***
	1	-10,4	11,6	11,0	-10,3	10,6	9,5
	2	-22,9	17,9	37,7	-22,4	15,5	40,9
2 % Komplexon III	1	-4,0	3,2	3,3	-7,6	5,6	-0,6
	2	-6,0	4,4	3,5	-17,6	17,4	11,3



Graf 1 Výsledky kolorimetrie po očištění sádrových vzorků připravených s vodním součinitelem 0,6 kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III v Kelzanu® HP-T. Změny jsou vyjádřené jako změny barvového odstínu dL*, da*, db*. Jako referenční byl změřen účinek obkladu s vodou

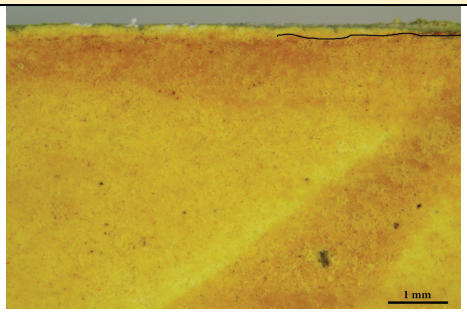
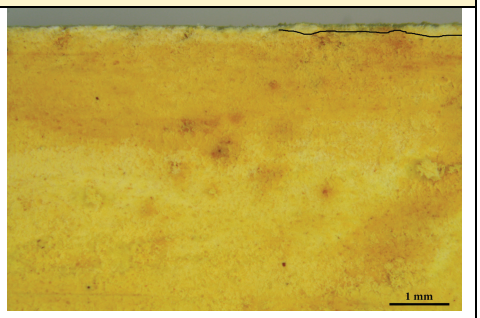
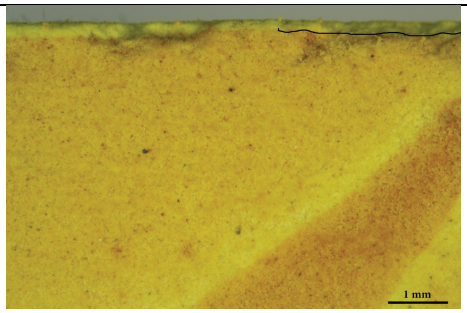
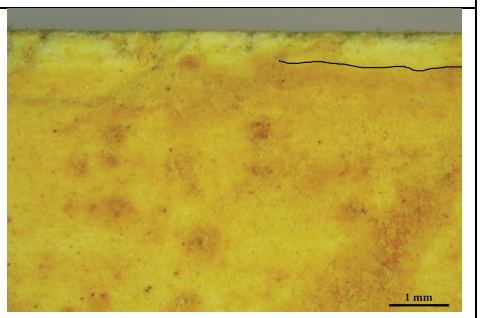


Graf 2 Výsledky kolorimetrie po očištění sádrových vzorků připravených s vodním součinitelem 0,8 kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III v Kelzanu® HP-T. Změny jsou vyjádřené jako změny barvového odstínu dL*, da*, db*. Jako referenční byl změřen účinek obkladu s vodou.

Hloubka čištění

Pozorováním řezu jednotlivých vzorků bylo zjištěno, že čisticí účinek obou látek čistí pouze na povrchu (viz tab. 15). U kyseliny thioglykolové byla maximální hloubka 0,5 mm a u Komlexonu III největší hloubka dosahovala 1 mm.

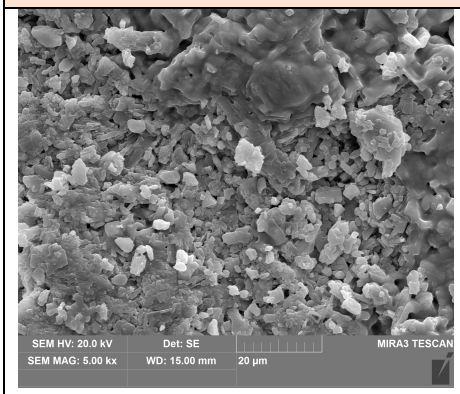
Tab. 15 Snímky řezů po dvou čisticích cyklech

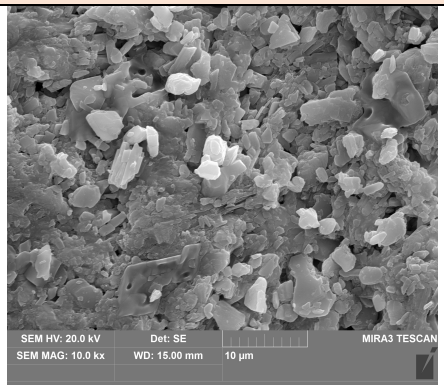
Čisticí látka	0,8	0,6
Kyselina thioglykolová		
Komplexon III		

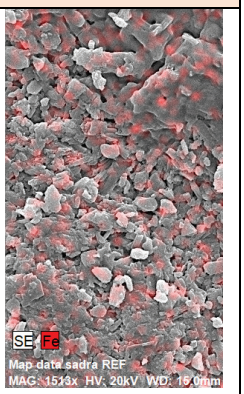
2.5.4.4 SEM-EDX

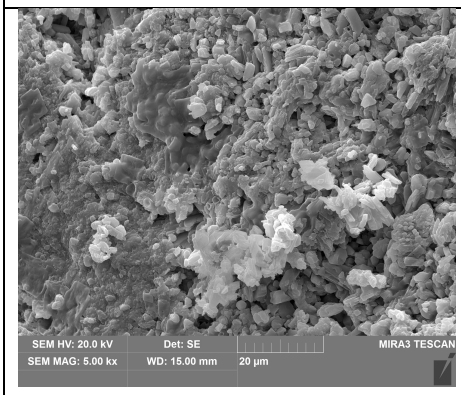
Snímky povrchu sádrového odlitku před a po očištění kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III dokumentují obr. 88–90. Na linii snímků (a), (b) jsou referenční vzorky sádrového odlitku bez (a) a s korozní vrstvou (b), které měly sloužit pro porovnání stavu po očištění. Na linii snímků (a) je viditelná typická vysoce porézní mikrostruktura sádry tvořená krystaly sádrovce s tabulkovitým nebo sloupkovitým tvarem s velikostí krystalů od 1 do 12 mm. Povrch odlitku je poměrně otevřený s lokální přítomností kompaktních míst s nižší porozitou a sklovitým charakterem. Ten se projevuje u všech vzorků bez ohledu na provedené čištění, a tudíž mohl vzniknout spíše v důsledku odlévání nebo např. rozpouštění sádry při předchozím uložení objektu ve vlhkých podmínkách. Pro porovnání byla provedena prvková mapa mapující distribuci železa na povrchu vzorku. Vrstva korozních produktů tvořená oxohydroxidy železa (linie snímků (b)) nevytváří rozdíly v mikrostruktuře.

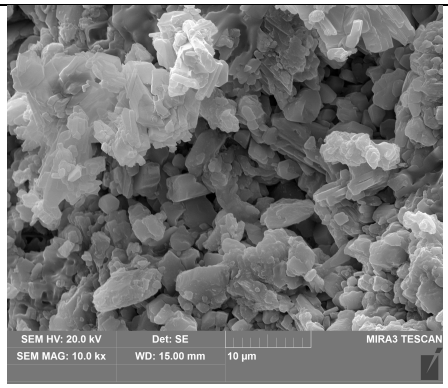
Dle SEM-EDX mapy překvapivě nejsou oproti čistému sádrovému vzorku (REF) patrné ani výraznější rozdíly ve vyšší koncentraci železa a jeho distribuci.

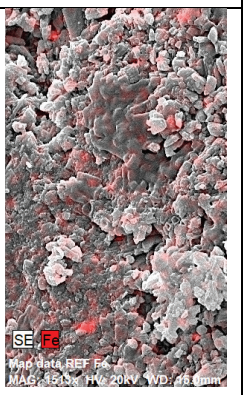
<table>
<tr><th colspan="3">sádrový odlitek před očištěním</th></tr>
<tr><td> 

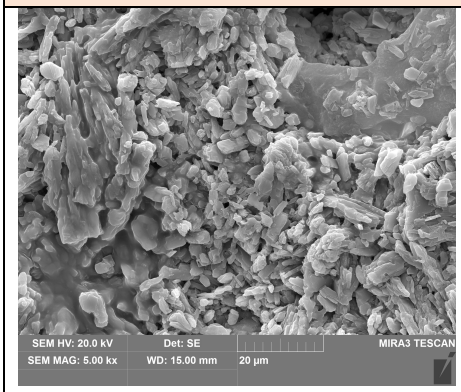
a) Povrch odlitku před očištěním, referenční plocha bez korozních produktů. Zvětšení 5kx.</td><td> 

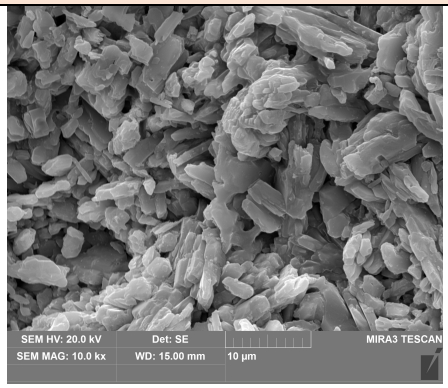
Povrch odlitku před očištěním, referenční plocha bez korozních produktů. Zvětšení 10kx.</td><td> 

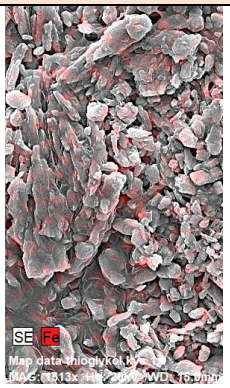
SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx.</td></tr>
<tr><td> 

b) Povrch odlitku před očištěním, referenční plocha s nánosem korozních produktů. Zvětšení 5kx.</td><td> 

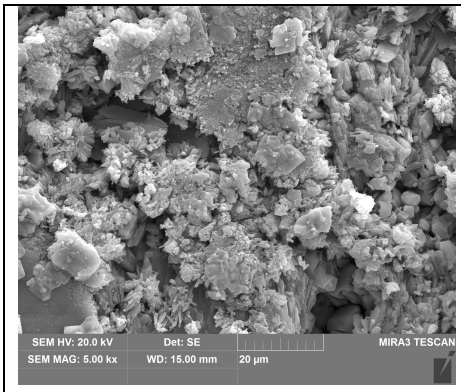
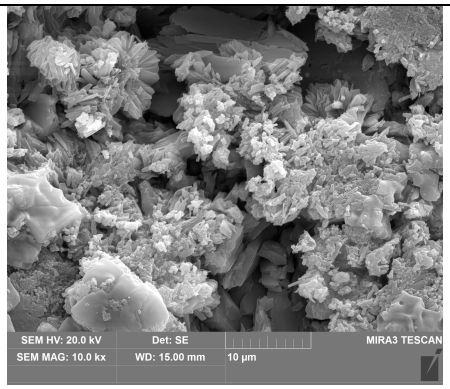
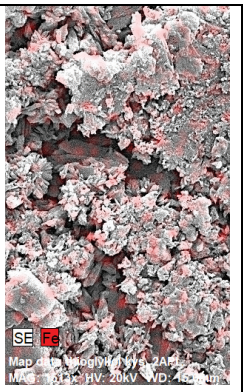
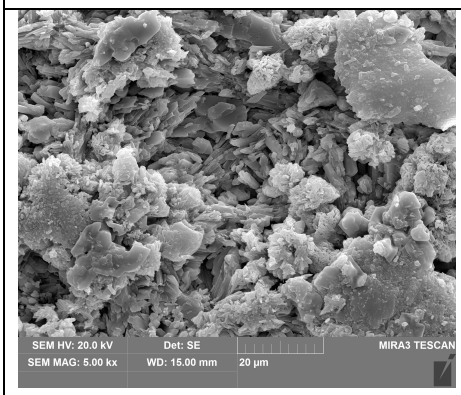
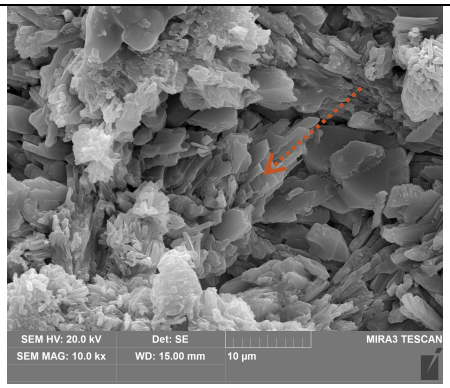
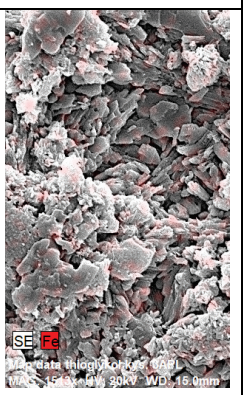
Povrch odlitku před očištěním, referenční plocha s nánosem korozních produktů. Zvětšení 10kx.</td><td> 

SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx.</td></tr>
<tr><th colspan="3">kyselina thioglykolová, 2% roztok, nosič Arbocel® BC 1000 + Kelzan® HP-T</th></tr>
<tr><td> 

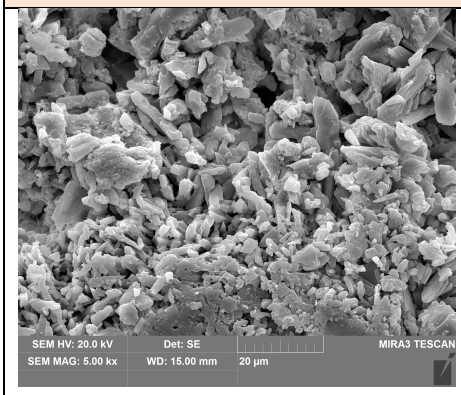
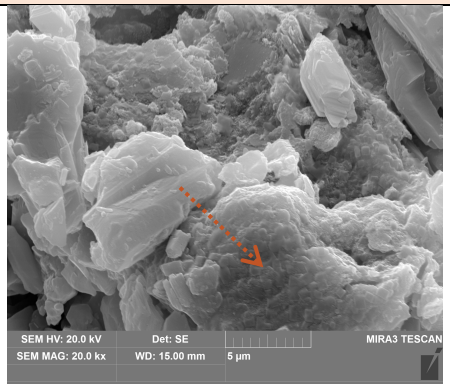
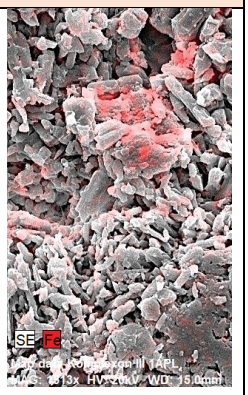
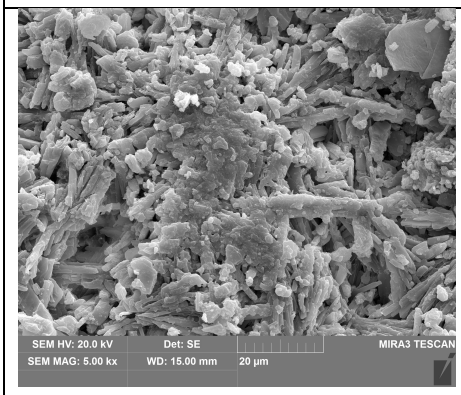
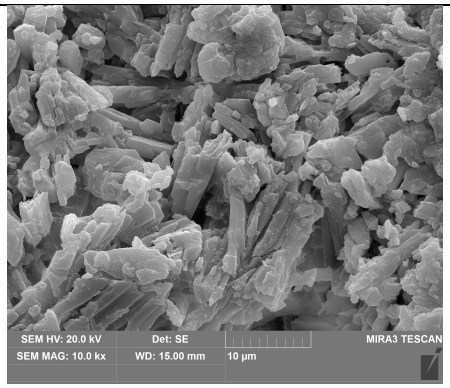
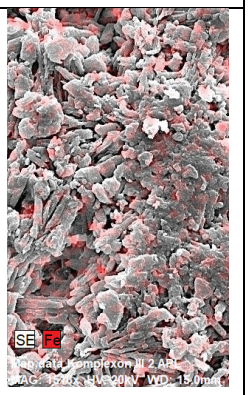
c) Povrch odlitku po očištění kyselinou thioglykolovou, **1 cyklus**. Zvětšení 5kx.</td><td> 

Povrch odlitku po očištění kyselinou thioglykolovou, **1 cyklus**. Zvětšení 10kx.</td><td> 

SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx.</td></tr>
</table>

 d) Povrch odlitku po očištění kyselinou thioglykolovou, **2 cykly**. Zvětšení 5kx.	 Povrch odlitku po očištění kyselinou thioglykolovou, **2 cykly**. Zvětšení 10kx.	 SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx.
 e) Povrch odlitku po očištění kyselinou thioglykolovou, **3 cykly**. Zvětšení 5kx.	 Povrch odlitku po očištění kyselinou thioglykolovou, **3 cykly**. Zvětšení 10kx.	 SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx

Linie snímků (c)−(f) dokumentuje stav povrchu očištěných míst po 1 až 3 opakováních čištění 2% kyselinou thioglykolovou. Použitím kyseliny dochází k nevýrazným změnám v mikrostruktuře po 1 čisticím cyklu, po 2. a 3. cyklu se na povrchu začaly utvářet novotvary krystalů sádrovce, které naznačují rozpouštění a rekrystalizaci sádry. Struktura a morfologie povrchu je výrazně heterogenní, subjektivně přibývají drobnější krystaly sádrovce, které mají zaoblenější hrany krystalů. Tyto projevy se dále prohlubují při 3. aplikaci; na snímcích ze SEM jsou lokálně patrné krystaly sádrovce, na kterých vznikají nerovnosti (zuby), patrně jako důsledek rozpouštění nebo naleptání (viz snímek 3 cykly, zvětšení 10 kx, označeno šipkou). Z prvkového skenování povrchu však jasně vyplývá snížení koncentrace korozních produktů železa s navýšením počtu čisticích cyklů.

Komplexon III, 2% roztok, nosič Arbocel® BC 1000 a Kelzan® HP-T		
		
f) Povrch odlitku po očištění Komplexonem III, **1 cyklus**. Zvětšení 5kx.	Povrch odlitku po očištění očištění Komplexonem III, **1 cyklus**. Zvětšení 20kx. Novotvary s jemnozrnnou krystalickou strukturou.	SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx.
		
g) Povrch odlitku po očištění očištění Komplexonem III, **2 cykly**. Zvětšení 5kx.	Povrch odlitku po očištění očištění Komplexonem III, **2 cykly**. Zvětšení 10kx.	SEM-EDX mapa distribuce železa (Fe). Zvětšení 5kx.

Na linii snímků (f) a (g) je zdokumentován povrch sádrových vzorků po 1 a 2 cyklech očištění Komplexonem III. Po 1 čisticím cyklu se na povrchu vytváří shluky s odlišnou krystalinitou, které jsou obohaceny o železo (viz prvková mapa). Shluky jsou složeny z jemnozrnných krystalů krychlového habitu krystalů, které se odlišují od krystalů sádrovce (viz detail). Složení novotvarů lze SEM-EDX analýzou určit jen orientačně z prvkové analýzy. Dle EDX analýzy obsahovaly shluky vyšší koncentraci křemíku (Si), hliníku (Al), dále chloru (Cl), sodíku (Na), příměsi tvoří draslík (K) a vápník (Ca). Dle mapování obsahují shluky vyšší koncentraci železa (Fe), a mohlo by se tudíž jednat buď o neodmyté sloučeniny s čisticí látkou, nebo např. v materiálu analýzou prokázanými solemi (chloridy). Po 2 aplikacích nedochází ke změnám v mikrostruktuře, krystaly sádrovce mají mírně odlišný tvar oproti ostatním zkouškám. Na čištěné ploše jsou výrazně vyvinuté, prizmatické. Novotvary se u vzorku vyskytují méně. Povrch je více porézní, což však jednoznačně nelze

vztáhnout k aplikaci čisticí látky. Velikost krystalů sádrovce odpovídá vzorku nečištěné sádry.

Vyhodnocení[114] čistících látek přineslo nové zajímavé otázky, jejichž zodpovězení by bylo nad rámec této diplomové práce. Kyselina thioglykolová prokazatelně čistí povrch od korozních produktů, což bylo potvrzeno mapováním obsahu železa na povrchu čištěných vzorků. Čištění kyselinou thioglykolovou je relativně vůči sádrovému podkladu „bezpečné“´ po 1 aplikaci, navýšením počtu aplikací patrně dochází k rozpouštění a rekrystalizaci sádrové matrice. Nelze vyloučit ani naleptání krystalů, i když to by bylo vhodné ověřit podrobnými analýzami. Komplexon III se vyznačuje nižším čisticím účinkem. U zkoumaného povrchu byly nalezeny shluky, u kterých by bylo dobré určit přesnější složení. Nelze vyloučit, že se jedná o sloučeniny s čisticí látkou, která byla špatně očištěna z povrchu. Otevřená zůstává také další možnost, že sloučeniny železa reagují se solemi přítomnými v odlitku.

[114] Měření provedla laboratoř Katedry chemické technologie, FR, UPa, jmenovitě Ing. Renata Tišlová, Ph.D.

3 Ověření čisticích látek a aplikace na reálném objektu

V rámci finální části experimentu se přistoupilo k odzkoušení výsledných postupů a materiálů na jednom z korozí poškozených sádrových odlitků, které se nachází v Ateliéru restaurování kamene a souvisejících materiálů Fakulty restaurování Univerzity Pardubice. Cílem zkoušek na skutečném objektu bylo ověření finálních čisticích systémů, které se osvědčily v laboratorní části práce. Aplikace v reálných podmínkách dává příležitost zpětné vazby k laboratorní studii a ověření jejích výsledků v reálných podmínkách, kde mohou být výsledky zásadně ovlivněny reálným stavem objektu, rozsahem koroze, podmínkami uložení, aj. V případě zkušebního odlitku se například jednalo o přítomnost vodorozpustných solí[115] nebo rozsah koroze, která na povrchu odlitku vytváří lokální rezavé mapy různé barevnosti a intenzity.

Dílo bylo vytvořeno patrně kolem roku 2000 v rámci předmětu výtvarné přípravy na Fakultě restaurování, UPa. Reliéf se dlouhá léta nacházel ve sklepních prostorách, kde byly naprosto nevhodné podmínky pro jeho uložení (relativní vlhkost dlouhodobě nad 90 % a vzlínající vlhkost). Na díle byly kromě dlouhodobého zavlhčení pozorovány solné výkvěty, jejichž přítomnost byla potvrzena chemicko-technologickou analýzou. Dlouhodobé zavlhčení vytvořilo dobré podmínky pro korozi železných armatur a následnou migraci korozních produktů k povrchu.

Obr. 83 Pohled na přední a zadní stranu sádrového reliéfu

[115] U odlitku byl stanoven obsah vodorozpustných solí (vzorek označen V5). Analýzy provedla laboratoř Katedry chemické technologie, FR, UPa, jmenovitě Ing. Eliška Bečková. Analýzy poukázaly na středně vysoký obsah chloridových solí i dusičnanů. Výsledky jsou uloženy v archivu FR, UPa.

3.1 Aplikace a úprava aplikačního postupu čisticích systémů

Čištění bylo provedeno látkami Komlexon III a kyselina thioglakolová, které byly v experimentální části vyhodnoceny jako nejúčinnější. Koncentrace obou látek byla ponechána na 2 %, pH nebylo upravováno (oba roztoky mají pH 6,5).

Řešena byla pouze změna jejich aplikačního postupu, který se v laboratorních testech ukázal jako mírně problematický. Z toho důvodu byla provedena modifikace nosičů na laboratorních vzorcích o síle 2 cm. Hlavní složku stejně jako v laboratorní studii tvořil Kelzan® HP-T, ten byl ale různě modifikován výše zmíněnými nosnými médii Laponite® RD nebo Arbocel® BC 1000. Na závěr byla zkoušena směs z předběžných laboratorních zkoušek (Laponite® RD + Arbocel® BC 1000). Přehled použitých nosičů uvádí tab. č. 16. Pro porovnání případného vlivu chemické látky na nosič byly zkoušky provedeny jak s Komplexonem, tak i s kyselinou. Předvlhčení bylo u všech vzorků stejné; pro zvlhčení byla použita demineralizovaná voda, objem vody byl oproti laboratorním studiím mírně snížen na 10 ml.

Tab. 16 Přehled zkoušených nosičů

Nosné médium	Množství suché látky (g)	Množství chemické látky (ml)	Příprava a hodnocení
Laponite + Kelzan® HP-T	0,5 g	10 ml	Nejprve byl v odměřeném množství čisticí látky rozptýlen *Laponite* a poté byl přidán *Kelzan*. Tato směs sice tvořila hustou pastu, nicméně při sundávání zanechávala rezidua.
	1,5 g		
Laponite® RD + Arbocel® BC 1000 + Kelzan® HP-T	0,5 g	10 ml	Po rozmíchání *Laponitu* s chemickou látkou byl přidán *Arbocel* a nakonec *Kelzan*. Výsledkem byla hustá pasta, která se dobře nanášela a relativně dobře i sundávala.
	0,5 g		
	1 g		
Arbocel® BC 1000 + Kelzan® HP-T	1,5 g	10 ml	V odměřeném množství čisticí látky se rozptýlil nejprve *Arbocel* a následně byl vmíchán *Kelzan*. Vytvořil se hustý gel, který se dobře nanášel a sundával bez viditelných reziduí.
	2 g		

Laponite® RD + Arbocel® BC 1000	0,5 g	10 ml	V chemické látce byl nejprve rozptýlen *Laponite,* a poté byl přidán *Arbocel*. Při aplikaci docházelo u obou čisticích látek k okamžitému vsáknutí do sádrové destičky a k rychlému vysušení obkladu.
	1,5 g		

Ze zkoušek modifikovaných nosičů se jako nejvhodnější jevila směs *Arbocelu* a *Kelzanu*. Tyto dva nosiče spolu tvořily hustou gelovitou směs/pastu, se kterou se dobře pracovalo při nanášení i sundávání, jež proběhlo bez zanechávání reziduí. Během zkoušek se také upravila doba vysychání nastavená laboratorní studií, která je zbytečně dlouhá (12 hodin pod fólií + 12 hodin odkryté vysychání. Z toho důvodu bylo upuštěno od použití fólie po nanesení gelu. Samovolné vysychání gelu trvá při běžných ateliérových podmínkách (20 °C a 45 % RH) zhruba 12 hodin, což je doba dostatečně dlouhá pro působení čisticí látky i odstranění čisticího obkladu. Takto upravené aplikační podmínky byly ověřeny nejprve na zadní straně reliéfu, kde byla na straně (pohledově) vpravo dole velká skvrna (viz obr.84). Zde byl porovnán čisticí efekt mezi Komplexonem III (Z1) a kyselinou thioglykolovou (Z2), jež byly aplikovány pomocí samotného *Kelzanu* (K), ale i ve směsi *Arbocelu* a *Kelzanu (AK)*. Jednalo se pouze o způsob ověření a porovnání případné změny nosiče na čištění.

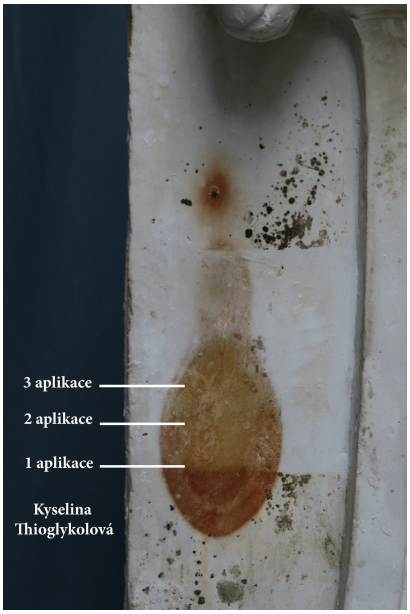
Obr. 84 Před čištěním

Obr. 85 Po první aplikaci čisticích gelů

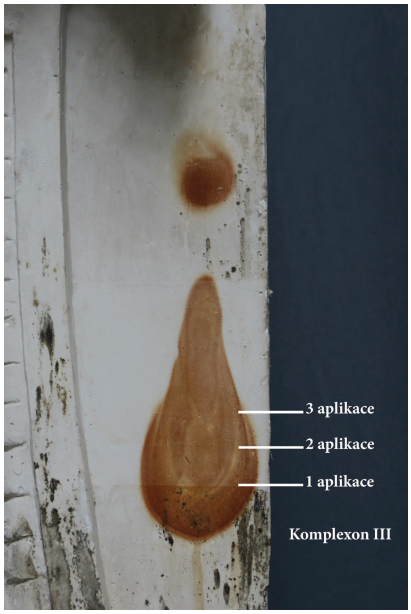
Obr. 86 Po druhé aplikaci čisticích gelů

Po ověření a vyhodnocení nosiče byly látky dále zkoušeny na přední straně reliéfu, kde se vyskytovaly po stranách dvě přibližně stejné skvrny (viz obr. 87). Pohledově vlevo byla zkoušena kyselina thioglykolová (viz obr. 88) a vpravo Komplexon III (viz ob. 89). Pro porovnání byla ponechána referenční plocha a následně byly jednotlivé čisticí zásahy odděleny páskou pro pozorování čisticího účinku mezi jednotlivými aplikacemi.

Obr. 87 Detail díla před zahájením zkoušek



Obr. 88 Zkoušky čištění 2% kyselinou thioglykolovou s nosičem složeného z Arbocelu® BC 1000 a Kelzanu® HP-T



Obr. 89 Zkoušky čištění 2% Komplexonem III s nosičem složeného z Arbocelu® BC 1000 a Kelzanu® HP-T

Přestože je míra čištění o něco nižší než u předchozích zkoušek, je zcela evidentní, že kyselina thioglykolová dosahuje lepších čisticích účinků než Komplexon III. Na menší míru čištění zde může mít vliv například vlastnosti samotného odlitku, vyšší koncentrace korozních produktů nebo sole, jejichž výkvěty jsou na reliéfu pozorovatelné. Dále u obou látek není zcela patrný rozdíl mezi jednotlivými aplikačními zásahy, tzn. nejúčinnější zde byla první aplikace, při druhé dochází jen k mírnému dočištění.

Na závěr bylo na přední straně zvoleno poslední místo pro odzkoušení, kam byla aplikována pouze 2% kyselina thioglykolová ve směsi nosičů Arbocelu® BC 1000 a Kelzanu® HP-T, která se ukázala ze zkoušek jako nejúčinnější. Zkouška čištění potvrdila dosavadní poznatky; výrazné čištění a s tím spojená změna barevnosti povrchu byla pozorována po první aplikaci čisticího gelu, po druhém cyklu již nebyl více zřetelný čisticí efekt, pouze v hloubkách. Na obrázcích je možné pozorovat průběh čištění včetně fialového zabarvení gelu (obr. 91), který postupně svou barevnost ztrácí.

Obr. 90 Vybrané místo před čištěním

Obr. 91 Fialové zabarvení gelu po jeho aplikaci

Obr. 92 Vybrané místo po očištění

Obr. 93 Gel po 8 hodinách od jeho aplikace

3.2 Zhodnocení výsledků čištění

Z provedených zkoušek čištění vyplývá, že korozní produkty slitin železa není možné zcela vyčistit, ale pouze výrazně redukovat. Při ověřování čisticích látek byl vyhodnocen jako nejúčinnější 2% roztok kyseliny thioglykolové, jejíž čisticí účinek značně převyšoval ostatní čisticí látky. Roztok čistil velmi dobře i bez v literatuře popisované úpravy pH. Výrazný vliv na efektivní čištění má vhodná aplikace společně se zvolenou časovou dobou působení. Aplikační vlastnosti i účinnost čisticích látek značně ovlivňuje zvolený nosič, velmi účinnou se při zkouškách ukázala směs Arbocelu® BC 1000 a Kelzanu® HP-T.

Doporučení k aplikaci

Pro čištění korozních produktů z povrchu sádrových odlitků byl vyhodnocen jako optimální následující postup. Na skvrnu o velikosti přibližně 10 × 3 cm postačí 10 ml roztoku 2% kyseliny thioglykolové. Roztok se nejprve smíchá s 1,5 g Arbocelu® BC 1000, který se mícháním rozptýlí a vytvoří řídkou kaši. Následně se vmíchají 2 g Kelzanu® HP-T, čímž dojde ke vzniku hustého gelu. Před aplikací obkladu je nutné čištěné místo zbavit volných depozitů a předvlhčit demineralizovanou vodou. Míra předvlhčení je individuální a závisí na vlastnostech a stavu podkladu. Obecně by měla být taková, aby došlo pouze k provlhčení povrchu. Smáčení povrchu zajistí aktivaci kapilární výměny a zároveň zlepšuje přilnavost obkladového systému. Čisticí gel se nanáší na povrch ve vrstvě kolem 2 mm, což se ukázalo jako dostačující. Ihned po aplikaci gelu je možné při čištění kyselinou thioglykolovou pozorovat dočasné fialové zabarvení obkladového systému způsobené reakcí kyseliny s korozními produkty. Obklad se nechává 12 hodin působit bez zakrytí fólií, po této době je gel vyschlý a je možné jej snadno sejmout. Povrch je pak vhodné omýt pomocí tupování vatovými tampónky smáčenými v demineralizované vodě. V případě nízké míry čištění je možné celý čisticí proces opakovat a docílit tak lepšího výsledku.

Vzhledem k tomu, že se k čištění používá kyselina thioglykolová, která je toxická a žíravá, je nutné k čištění přistupovat obezřetně a dodržet veškeré bezpečností podmínky jak při manipulaci během procesu čištění, tak i při likvidaci použitých obkladových nosičů. Při aplikaci na sádru se korozivní účinek kyseliny neprojevuje.

Obecně lze konstatovat, že koncentrace chemických látek by měla být spíše nízká než vysoká a čištění by mělo být prováděno spíše opakovaně chemickou látkou s nízkou koncentrací než jednorázově látkou s vysokou koncentrací; tím může spíš dojít k narušení povrchu. Ze zkoušek vyplynula optimální koncentrace čisticích roztoků 2 %, u kyseliny

thioglykolové je možné použít i 1% roztok se stejným účinkem. Nižší koncentrace u ostatních látek se vyznačují výrazně nižším čisticím účinkem.

3.3 Použité látky a materiály

Příprava zkušebních vzorků

- Sádra Almod LC Formula *(výrobce Saint Gobain)*
- Voda
- Forma a sochařské špachtle
- Chlorid železitý ($FeCl_3$) v koncentraci 10 %

Obkladové systémy

- Kelzan® HP–T *(výrobce CP Kelco)*
- Laponite® RD *(distributor Kremer Pigmente GmbH & Co. KG)*
- Arbocel® BC 1000 *(distributor Kremer Pigmente GmbH & Co. KG)*
- Tylose® MH 30000 YP4 *(distributor Kremer Pigmente GmbH & Co. KG)*
- Křída *(distributor Kittfort®)*

Látky pro zkoušky čištění

- Komplexon III *(výrobce a distributor*: *Ing. Petr Švec – PENTA s. r. o.)*
- Citrát amonný (*výrobce a distributor: Carl Roth GmbH)*
- Kyselina thioglykolová *(výrobce a distributor: SIGMA-ALDRICH)*
- L-cystein *(výrobce: Carl Roth GmbH a distributor: P-LAB a. s.)*
- Dithioničitan sodný *(výrobce a distributor: Ing. Petr Švec – PENTA s. r. o.)*
- ML-methionine *(výrobce a distributor: SIGMA-ALDRICH)*
- Laboratorní sklo
- Ochranné pomůcky (latexové rukavice, brýle, plášť)

4 Shrnutí

Čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků představuje z mnoha důvodů složitý úkol v rámci restaurátorského zásahu. Složitost spočívá v samotném provedení čištění korozních produktů, poněvadž v současnosti užívané prostředky a postupy účinkují jen v omezené míře. Čištění limitují zásadním způsobem vlastnosti sádrového podkladu (poréznost, nasákavost, rozpustnost), které omezují použití mokrých procesů kvůli rozpouštění nebo tvarovým deformacím vznikající, jak se ukázalo při samotných zkouškách čištění, opakovaným zavlhčením a vysycháním.

Obsáhnout problematiku čištění korozních produktů ze sádrových odlitků se v několika nejdůležitějších aspektech snaží teoretická část diplomové práce. Jejím cílem bylo nejprve zpracovat podrobnou literární rešerši k tématu opírající se o minulé, ale hlavně recentní publikované zdroje. Ty měly přinést současný náhled na problematiku a zjistit způsoby a materiály užívané pro čištění korozních produktů v současné restaurátorské praxi. Vzhledem k nedostatečnému množství informací týkajících se čištění sádrových materiálů byla rešerše rozšířena o informace ze studií zaměřených na jiný typ anorganických porézních materiálů, např. mramoru nebo vápenných omítek. Z nashromážděných informací byl zpracován soubor čisticích látek a studován způsob aplikace. Některé z materiálů a postupů byly následně odzkoušeny v rámci laboratorní části studie prováděné na sádrových vzorcích/odlitcích s uměle znečištěným povrchem simulující korozní produkty železa obsahující Fe3+ ionty (použit 10% roztok FeCl3). Zkoušky byly zaměřeny na vyhodnocení účinku čisticích látek, ale i na vyhodnocení vhodného aplikačního postupu, který zahrnoval stanovení vyhovující výše koncentrace čisticích roztoků, úpravu jejich pH, zkoušky počtů možných cyklů, které by byly účinné, ale vůči sádře stále šetrné. Značné množství zkoušek se týkalo testování nosičů čisticích látek, ve kterých byly roztoky na povrch aplikovány jako obklady. Na použití obkladů se vázaly další zkoušky s předlvhčením doprovázené stanovením doby působení obkladu a postupu závěrečného čištění. Výsledky získané laboratorním testováním byly posléze ověřeny na referenčním díle, sádrovém odlitku výrazně znečištěném korozními produkty železa z vnitřních armatur. Na něm došlo k ověření výsledků a finální úpravě aplikačního postupu čištění. Z čisticích látek byly testovány Komplexon III, citronan amonný, kyselina citronová, L-cystein, dithioničitan sodný, DL-methionin a jejich různé směsi.

Roztoky čisticích látek byly aplikovány jako obkladové gely kvůli maximální redukci obsahu vody. Pro vytvoření obkladů byly zkoušeny Kelzan® HP–T, Arbocel®, Laponite® RD, Tylose MH 30000 YP4 a jejich různé směsi.

Výsledky laboratorního testování prokázaly nejlepší čisticí účinek kyseliny thioglykolové a Komplexonu III, který vykazoval mírně nižší čisticí účinek. Látky byly testovány jako 2% roztoky. Tato koncentrace byla dostačující pro dosažení dobrého čisticího účinku, v případě kyseliny thioglykolové dobře čistí i 1% roztok. U látek dochází při čištění k částečné redistribuci korozních produktů, což se více, z nevysvětlitelných důvodů, projevuje u zkoušek čištění kyselinou thioglykolovou. V literatuře doporučovaná úprava pH čisticích roztoků na 8−10 nebyla prováděna, neboť se ukázalo, že látky účinkují stejně v roztoku s přirozeným pH 6,5, které je blízké pH sádry. Pro aplikaci čisticích látek byl vybrán čistič Kelzan® HP–T, který po smíchání s čisticí látkou vytvářel hustý čirý gel vyznačující se dobrými aplikačními vlastnostmi, dobrou adhezí k sádrovému podkladu a adsorpcí korozních produktů. Transparentnost gelu navíc umožňovala kontrolu čisticího procesu. Odstranění obkladu bylo možné po vyschnutí gelu, po kterém následovalo dočištění skalpelem. V průběhu laboratorních zkoušek však u tohoto nosiče vyvstal problém se zanecháváním reziduí zaschlého gelu, který je poměrně tvrdý a zůstává přilepen na očištěném povrchu. Jeho dočištění je možné jen opětovným zavlhčením materiálu (nosič znovu nabotná a přechází do rosolovité konzistence) nebo se povrch čistí mechanickým způsobem, který může způsobovat poškození sádrového povrchu. Z tohoto důvodu byl při ověřování výsledků z laboratoře na reálném objektu nosič upraven příměsí Arbocelu® BC 1000, čímž došlo k vytvoření pružnějšího gelu s šetrnějším snímáním. Poslední drobná úprava aplikačního procesu se týkala zakrývání polyethylenovou fólií, která měla při pokusech v laboratoři prodlužovat účinnost čisticích látek (zpomaluje schnutí obkladu). Prodlužování účinku čisticích látek zakrýváním není nutné, obklady účinkují v průběhu 12 hodin. Rychlost vysychání všech testovaných obkladů je pomalejší a není nutné ho ještě zpomalovat zakrýváním.

Na závěr byly odebrány vzorky z referenčního odlitku a provedeno měření SEM-EDS, kterým bylo zjištěno, že použití kyseliny thioglykolové je relativně málo rizikové při použití jednoho čisticího cyklu (které bylo zkouškami čištění vyhodnoceno jako dostačující). Při opakované aplikaci dochází k rozpouštění sádry a vzniku dalších efektů, které mohou mít vliv na sádrový podklad v mikroměřítku. I touto metodou byla potvrzena nižší účinnost čištění Komplexonu III.

IV ZÁVĚR

Diplomová práce **Restaurování části renesančního štukového epitafu rodiny Hodějovských z Hodějova v kostele Narození sv. Jana Křtitele v Českém Rudolci; Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků** je rozdělena do dvou částí.

První část diplomové práce dokumentuje komplexní restaurátorský zásah na části centrálního motivu, kde je vyobrazeno ženské osazenstvo rodiny Jana Hodějovského z Hodějova. Po vyhodnocení výsledků rozsáhlého průzkumu bylo přistoupeno k restaurátorskému zásahu. Komplexní restaurátorský zásah výše zmíněné části zahrnoval v prvé řadě náročný a časově dlouhý odkryv sekundárních vápenných vrstev. Následně byla zpevněna štuková hmota a barevná vrstva na žulové architektuře, která byla součástí restaurované části. V další fázi byla provedena injektáž dutin, dočištění ztvrdlé vrstvy a reziduí sekundárních vrstev. Dříve, než bylo přistoupeno k dalším pracím, bylo vykonáno biocidní ošetření kvůli zjištěné přítomnosti plísní a očištění kovových prvků. Nakonec byla provedena plastická a barevná retuš, čímž došlo ke scelení celého díla. Veškeré práce a použité materiály byly uskutečněny na základě zkoušek, které byly průběžně konzultovány s pedagogy Fakulty restaurování UPa a památkáři z NPÚ v Českých Budějovicích.

Druhá část diplomové práce se zabývala problematikou čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků. V teoretické části, ve které byla zpracována literární rešerše, byly nashromážděny informace k tématu. Navazující experimentální část byla zaměřena na vyhodnocení čisticího účinku vybraných látek, stanovení způsobu a postupu aplikace čisticích látek, které se na povrch sádry nanášely ve formě obkladu. Zkoušky čištění a jejich vyhodnocení byly provedeny na sádrových vzorcích/odlitcích s nanesenou korozní vrstvou. Zúžený výběr chemických látek prokazující se nejlepším čisticím účinkem byl dále odzkoušen na reálném díle znečištěném korozními produkty. Na něm došlo k ověření výsledků a finální úpravě postupu čištění.

Částečně zpracované téma „Možnosti čištění korozních produktů slitin železa z povrchu sádrových odlitků“ přineslo mnoho užitečných výsledků a zároveň otevřelo téma problematiky pro další zkoumání. Rozšíření a prohloubení bádání by se mohlo týkat například obkladových materiálů, které, jak se ukázalo, mohou mít výrazný vliv na výsledný čisticí účinek. Dále by bylo dobré více prozkoumat vliv chemických látek na sádrový podklad a ověřit například výsledky této studie na díle s povrchovou úpravou (patinou nebo polychromií).

5 Použitá literatura

AUSKÁ 2017

AUSKÁ, Zuzana. *Restaurování sochy sv. Václava z Lažan, restaurování sádrového reliéfu od Stanislava Suchardy: Zkoumání korozního chování oceli v sádře po ošetřením různými ochrannými prostředky*. Litomyšl, 2017. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování Ateliér restaurování kamene. Vedoucí práce MgA. Petr Rejman.

BALEKA, Jan. Výtvarné umění výkladový slovník. Výtvarné umění: výkladový slovník: (malířství, sochařství, grafika). Praha: Academia, 1997, s. 51 a 226. ISBN 80-200-0609-5.

CUSHMAN – WOLBERS

CUSHMAN, Matt a Richard WOLBERS. A New Approach to Cleaning Iron-Stained Marble Surfaces. WAAC Newsletter [online]. 2007, 29(2), 23-28 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn29/wn29-2/wn29-205.pdf

ČSN EN 1015-18 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě.

ČSN EN 13279-1 (722486): Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 1: Definice a požadavky. 2009.

ĎOUBAL 2020

ĎOUBAL, Jakub. Možnosti objektivního hodnocení čištění kamene. In: *Restaurování a ochrana uměleckých děl: čištění uměleckých děl : konference sdružení pro ochranu památek Arte-fakt: 13. listopadu 2014, Galerie Středočeského kraje, Kutná Hora.* Kutná Hora: Arte-fakt, 2014, s.14-21. ISBN 978-80-905924-0-7.

ĎOUBAL 2020

ĎOUBAL, Jakub. *Sádrové odlitky: restaurování a péče o umělecká díla.* Litomyšl: Univerzita Pardubice, 2020, ISBN 978-80-7560-301-2.

FOUCALT 1977

FOUCALT, Michel. *La corrosion des metaux dans le platre.* Dans le platre (Secrétaire á la Comission Technique RILEM 23 GP), 1977, s. 489–505.

GERVAIS – GRISSOM – LITTLE – WACHOVIAK 2010

GERVAIS, Claire & GRISSOM, Carol & LITTLE, Nicole & WACHOVIAK, Mel. (2010). *Cleaning Marble with Ammonium Citrate. Studies in Conservation.* 55. 164–176. 10.1179/sic.2010.55.3.164.

GLOMBOVÁ, Barbora a Jakub ĎOUBAL. Stručná historie sádrových odlitků. ĎOUBAL, JAKUB. In: *Sádrové odlitky: restaurování a péče o umělecká díla.* Litomyšl: Univerzita Pardubice, 2020, s. 15–23. ISBN 978-80-7560-301-2.

HALUSKA 2013

HALUSKA, Lukáš. *Výzkum přípravy vysokohodnotné síranové maltoviny* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-9-4]. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/29143. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Marcela Fridrichová, s. 32.

JUNDROVSKÝ 1912

JUNDROVSKÝ, R. *Sochařství pro praktickou potřebu sochařů, stavitelů a škol odborných*. Praha: I. L. Kober, 1912, s. 413–414. ISBN neuvedeno.

KOLEKTIV 2011

KOLEKTIV AUTORŮ. Konzervování a restaurování kovů: ochrana předmětů kulturního dědictví z kovů a jejich slitin. Vyd. 1. Brno: Technické muzeum v Brně – Metodické centrum konzervace, ©2011. 648 s. ISBN 978-80-86611-38-9.

KOLEKTIV 2018

Kolektiv autorů. *Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy*. Brno: Technické muzeum v Brně, [2018]. ISBN 978-80-87896-40-2.

KOTLÍK 1999

KOTLÍK, Petr. *Stavební materiály historických objektů*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-7080-347-9. s. 20–23.

KOTLÍKOVÁ, Olga. Sádra v památkové péči: odborný seminář, 21. března 2002, Národní muzeum. S.l.: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, c2002.

KROPÁČEK, Jiří. Oldřich J. Blažíček. *Slovník pojmů z dějin umění: názvosloví a tvarosloví architektury, sochařství, malby a užitého umění*. Vyd. 2. Praha: Aurora, 2013, s. 55 a 256. ISBN 978-80-7299-104-4.

MACCHIA – RUFFOLO – RIVAROLI – LA RUSSA 2016

MACCHIA, Andrea, Silvestro A. RUFFOLO, Laura RIVAROLI a Mauro F. LA RUSSA. Toward a "green" solution. International journal of conservation science: the treatment of iron-stained marble. 2016, 7(1), 323-332. ISSN 2067-533X.

MATERO – TAGLE 1995

MATERO, Frank G. a Alberto A. TAGLE. Cleaning, Iron Stain Removal, and Surface Repair of Architectural Marble and Crystalline Limestone: The Metropolitan Club. Journal of the American Institute for Conservation [online]. 1995, 1995, 34(1), 60-64 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic34-01-004.html

MORADEI 2006

MORADEI, Rosanna. Il restauro delle opere ingesso: appunti da esperienze di laboratorio. Problemi Conservativi dell'Ottocento: Parte Prima: i Dipinti, la Carta, i Gessi. Milano: Spazio Oberdan, 2006, s. 105-112

PAROBEK 2011

PAROBEK, Martin. *Dva případy restaurování sochařských děl ze sádry*. Diplomová práce [online]. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, 2011 [cit. 21. 11. 2020]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/41858/1/ParobekM_DvaPripady_JN_2011.pdf

PILLARD, Violaine. La corrosion des armatures de fer dans le plâtre. Paris, France: Créaphis, 2001, s. 279-289. ISBN 9782913610194.

PRZEDPEŁSKI 1957

PRZEDPEŁSKI, Zbigniew. *Konserwacja kamienia w architekturze. Konserwacja kamienia w architekturze*. Warszawa: Budownictwo i Architektura, 1957, s. 26–28. ISBN neuvedeno.

ROST, Rudolf a Miroslav KOCAR. *Atlas nerostů*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1964, s. 110-112. ISBN neuvedeno.

Sádra pro památkovou péči 2001

Sádra pro památkovou péči: Praha, 30. června 2001. Praha: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, 2001.

SELWYN 2004

SELWYN, Lyndsie. Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional. Canadian Conservation Institute, 2004. ISBN 0-662-37984-5.

SCHULZE – LACH 1990

SCHULZE, Walter a Vladimír LACH. *Necementové malty a betony*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. s. 64–90. ISBN 80-03-00188-9.

SPILE – SUZUKI – BENDIX 2016

SPILE, Sanne, Takayoshi SUZUKI, Jesper BENDIX a Kim Pilkjær SIMONSEN. *Effective cleaning of rust stained marble*. Heritage Science [online]. 2016, 05 May 2016, (12), 1-10 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-016-0081-6 DOI https://doi.org/10.1186/s40494-016-0081-6

STAMBOLOV – ASPEREN DE BOER 1984

STAMBOLOV, T. a J. R. J. VAN ASPEREN DE BOER. l *deterioro y la conservación de materiales porosos de construcción en monumentos* [online]. Mexiko: Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria, 1984 [cit. 2021-02-01]. ISBN 968-58-0518-0.

STAMBOLOV – RHEEDEN 1968

STAMBOLOV, T. “Notes on the Removal of Iron Stains from Calcareous Stone.” Studies in Conservation, vol. 13, no. 1, 1968, pp. 45–47. JSTOR, www.jstor.org/stable/1505388. Accessed 13 Feb. 2020.

STAMBOLOV 1968

STAMBOLOV, T., and B. Van RHEEDEN. “Note on the Removal of Rust from Old Iron with Thioglycolic Acid.” Studies in Conservation, vol. 13, no. 3, 1968, pp. 142–144. JSTOR, www.jstor.org/stable/1505318.

STAVINOHA 2010

STAVINOHA, Jakub. *Koroze oceli a hliníku ve vybraných prostředích* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-1-3]. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/15618. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Eva Molliková.

STUDENÍK 2014

STUDENÍK, Bronislav. *Restaurování polychromované štukové plastiky Adama z kaple sv. Isidora v obci Křenov. Možnost stabilizace korozních produktů*. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Litomyšl 2014. Vedoucí práce: doc. Jiří Novotný, akad. Sochař.

SVOBODA 2018

SVOBODA, Luboš a kolektiv. *Stavební hmoty*. 4. vydání. Praha: elektronické vydání, 2018. Elektronická kniha, s. 350.

ŠKRABALOVÁ 2018

ŠKRABALOVÁ, Adéla. *Restaurování nástěnné malby – nástěnná malba ve štukovém poli nad vchodem do tzv. Tencallova sálu. Možnosti odstranění druhotných vápenných nátěrů z vápenných podkladů*. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Litomyšl 2018. Vedoucí práce: MgA. Zuzana Wichterlová.

THORN 2005

THORN A. Treatment of heavily iron-stained limestone and marble sculpture. In: Verger I, James J, editors. ICOM Committee for Conservation 14th Triennial Meeting, vol. 2. Copenhagen: ICOM Publications; 2005. p. 888–94.

TIŠLOVÁ – ĎOUBAL – ZÍTKOVÁ 2020

TIŠLOVÁ, Renata, Jakub ĎOUBAL a Petra ZÍTKOVÁ. Vlastnosti sádrového pojiva a odlitků ze sádry. ĎOUBAL, JAKUB. In: *Sádrové odlitky: restaurování a péče o umělecká díla*. Litomyšl: Univerzita Pardubice, 2020, s. 35–53. ISBN 978-80-7560-301-2.

Tab. 17 Přehled dohledaných chemických látek k čištění korozních produktů ze sádrového povrchu

Látka (chronologicky)	Koncentrace % a pH	Doba aplikace	Nosič	Zdroj
Kyselina citronová + citrát trisodný v demineralizované vodě	pH 8	neuvedeno	sepiolit	MORADEI, Rosanna. Il restauro delle opere ingesso: appunti da esperienze di laboratorio. *Problemi Conservativi dell'Ottocento: Parte Prima: i Dipinti, la Carta, i Gessi*. Milano: 2006, s. 105–112.
kyselina šťavelová	**4 %**	neuvedeno	Vatová tyčinka	PAROBEK, Martin. *Restaurování děl ze sádry, typická poškození a možnosti jejich řešení*
kyselina citrónová				
Tiron	Kolem **3 %**	neuvedeno		Ústní sdělení – Ing. Ivana Kopecká

Tab. 18 Přehled dohledaných chemických látek k čištění korozních produktů z dalších materiálů

Látka (chronologicky)	% a pH	Čas aplikace	Nosič	Zdroj
citrát sodný (citronan sodný) ($C_6H_6Na_3O_7$)	15 %	3-4 dny	Křída + glycerol / vatové tampony	PRZEDPEŁSKI, Zbigniew. Konserwacja kamienia w architekturze, s. 26–28.
thiosíran sodný $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	15 %	1 hodinu		
Vinan sodno-draselný $KNaC_4H_4O_6.4H_2O$)	15 %	3-4 dny 10 mm silná vrstva		
roztok ferrikyanidu draselného K_4 $[Fe(CN)_6]$ pro lepší účinnost pasty	2 %	neuvedeno		
Kyselina thioglykolová $C_2H_4O_2S$	1-5 % pH vyšší 8	neuvedeno		THORN A. Treatment of heavily iron-stained limestone and marble sculpture. In: Verger I, James J, editors. ICOM Committee for Conservation 14th Triennial Meeting, vol. 2. Copenhagen: ICOM Publications; 2005. p. 888–94.
Kyselina thioglykolová $C_2H_4O_2S$	1-3% pH 8 a více	neuvedeno	Pektin	Stambolov, T., and B. Van Rheeden. "Note on the Removal of Rust from Old Iron with Thioglycolic Acid." *Studies in Conservation*, vol. 13, no. 3, 1968, pp. 142–144. *JSTOR*, www.jstor.org/stable/1505318.
Glukonát sodný	neuvedeno	neuvedeno		
Kyselina thiolaktová $C_3H_6O_2S$				

***EDTA* – Komplexon III**	10%	neuvedeno		STAMBOLOV, T. "Notes on the Removal of Iron Stains from Calcareous Stone." Studies in Conservation, vol. 13, no. 1, 1968, pp. 45–47. JSTOR, www.jstor.org/stable/1505388. Accessed 13 Feb. 2020.
Kyselina glukonová	neuvedeno	neuvedeno		
Kyselina vinná	neuvedeno	neuvedeno		
Sodná sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové	neuvedeno	neuvedeno		
Kyselina fluorovodíková	neuvedeno	neuvedeno		
Vodné roztoky amoniaku a hydrogendifluoridu sodného	neuvedeno	neuvedeno		
Kyselina ortofosforečná (fosforečná?)	Ne více jak 5%			
Chelatační komplexy EDTA		nechá se tam asi dva dny a poté se odloupne.	Azbest	STAMBOLOV, Todor a J.R.J VAN ASPEREN DE BOER. *The deterioration and conservation of porous building materials in monuments: A Review of the Literature*. Second enlarged edition: 1976.
Citronan amonný s hydroxidem amonným	pH 9	24 hodin		MATERO, Frank G. a Alberto A. TAGLE. Cleaning, Iron Stain Removal, and Surface Repair of Architectural Marble and Crystalline Limestone: The Metropolitan Club. Journal of the American Institute for Conservation [online]. 1995, 1995, 34(1), 60–64.
Konjugované polymery				CUSHMAN, Matt a Richard WOLBERS. A New Approach to Cleaning Iron-Stained Marble Surfaces. *WAAC Newsletter* [online]. 2007, **29**(2), 23–28.
TPEN	pH 10	1-2 minuty	Vanzan	
Citronan amonný	2% pH 10			GERVAIS, C. GRISSOM, C. & LITTLE, N. WACHOVIAK, M. *Cleaning Marble with Ammonium Citrate. Studies in Conservation.* (2010).
Dithioničitan sodný (DS) Na2S2O3 dithio-síran disodný	nižší pH = nižší účinek	24 hodin	Laponite® RD + Arbocel® BC1000 + CMC + H20	Spile, S., Suzuki, T,.Bendix, J.et al. Effective cleaning of rust stained marble. HeritSci 4, 12 (2016) doi:10.1186/s40494-016-0081-6. pokrytý polyethylenovým potravinovým obalem a ponechán po dobu 24 hodin
L-Cystein (Cys + DS) Dithioničitan sodný	pH 6,8	Po jedné hodině pozorované účinky		
	pH 8 0.1M+0.1M	neuvedeno		MACCHIA, Andrea, Silvestro A. RUFFOLO, Laura RIVAROLI a Mauro F. LA RUSSA. Toward a "green" solution. International journal of conservation science: *the treatment of iron-stained marble*. 2016, 7(1), 323–332.

6 Seznam obrazových příloh

Obr. 1 Stav epitafu před zahájením průzkumu a následně restaurátorského zásahu s vymezením restaurovaného úseku 15
Obr. 2 Idealizovaná grafika epitafu Jana Hodějovského z Hodějova v kostele sv. Křtitele 22
Obr. 3 Epitaf Václava Morkovského ze Zástřizl a Kunky z Korotína v kostele sv. Jakuba v Boskovicích, autor fotografie Vojtěch Krajíček, DiS..... 26
Obr. 4 Epitaf Popela mladšího z Lobkovic, kolem roku 1590 v katedrále sv. Víta v Praze 26
Obr. 5 Epitafy Zikmunda Brozanského z Vřesovic a jeho dvou žen, Markéty Smiřické ze Smiřic a Lidmily Myškové ze Žlunic, v kostele sv. Gotharda v Brozanech nad Ohří, před rokem 1598 (foto z knihy „Kde jest, ó smrti, osten tvůj?“)..... 26
Obr. 6 Detail výjevu, kaple Všech svatých v Telči 27
Obr. 7 Detail sochy Adama, nádvoří zámku v Telči 27
Obr. 8 Detail podobizny Jana Hodějovského 27
Obr. 9 Detail anděla, kaple Všech svatých v Telči..... 27
Obr. 10 Detail (pohledově) levého anděla v Českém Rudolci 27
Obr. 11 Detail hlavy (pohledově) levého anděla..... 27
Obr. 12 Detail sekundárních tmelů na šatech dívek..... 33
Obr. 13 Rezidua sekundárních vrstev společně s defekty v pozadí..... 34
Obr. 14 Odlomená modelace prstů s vyčnívajícími armaturami..... 34
Obr. 15 Ztráta veškeré modelace na pahorku s viditelnou cihlovou výstavbou..... 34
Obr. 16 UV fotografie – detail centrální části v průběhu odkryvu..... 35
Obr. 17 Fotografie upravené v programu RTI Viewer – se změnou působení světla 36
Obr. 18 Detail originální opravy na žulové architektuře 39
Obr. 19 Detail originálního barevného sjednocení v místě odlomení lemu a perly 39
Obr. 20 Petriho misky se sypkou směsí a konsolidačním prostředkem (nahoře) pro pozorování změny barevnosti..... 50
Obr. 21 Hodnocení průniku zatékavosti injektážních směsí v laboratorních podmínkách. Uprostřed je prostředek PLM-A s nejlepší penetrací, autor fotografie – Stella Burkhardtová 51
Obr. 22 Ilustrační obrázek snímacího pneumatického pera 55
Obr. 23 Aplikace konsolidačního prostředku KSE 100 HV..... 56

Obr. 24 Aplikace konsolidačního prostředku CaLoSiL IP25 56
Obr. 25 Proces injektáže na pozadí centrálního motivu 57
Obr. 26 Zajištění injektované plochy proti vydutí a jiné deformaci 57
Obr. 27 Dočišťování reziduí 58
Obr. 28 Průběh fotogrammetrie 60
Obr. 29 Stav epitafu po vstupním restaurátorském průzkumu 2019 68
Obr. 30 Průběh snímání sekundárních vrstev centrálního motivu 69
Obr. 31 Průběh snímání sekundárních vrstev – detail dívek 69
Obr. 32 Stav epitafu po odkryvu a dočištění všech sekundárních vrstev, zpevnění a injektáži 70
Obr. 33 UV fluorescenční fotografie – celkový pohled na epitaf 71
Obr. 34 Detail centrálního motivu – stav po odkryvu a dočištění všech sekundárních vrstev Autor fotografie – Vojtěch Krajíček, DiS. 72
Obr. 35 UV fluorescenční fotografie – Detail centrálního motivu 72
Obr. 36 Detail matky Rosiny a dívek po dokončení odkryvu a dočištění 73
Obr. 37 Detail dětí po dokončení odkryvu a dočištění 73
Obr. 38 Centrální motiv po plastické retuši 74
Obr. 39 Stav restaurovaného úseku před restaurováním 75
Obr. 40 Stav restaurovaného úseku po odkryvu a dočištění 75
Obr. 41 Stav restaurovaného úseku po restaurování 75
Obr. 42 Stav před restaurováním 76
Obr. 43 Stav před restaurováním 76
Obr. 44 Stav po odkryvu a dočištění 76
Obr. 45 Stav po odkryvu a dočištění 76
Obr. 46 Stav po plastické retuši 76
Obr. 47 Stav po plastické retuši 76
Obr. 48 Stav po restaurování 76
Obr. 49 Stav po plastické retuši 76
Obr. 50 Stav epitafu po restaurování 77
Obr. 51 Detail Rosiny – Stav po restaurování 78
Obr. 52 UV fluorescenční fotografie – Detail Rosiny – Stav po restaurování – viditelná žlutozelená fluorescence zinkové běloby 78

Obr. 53 UV fluorescenční fotografie – celkový pohled na epitaf po restaurování – viditelná žlutozelená fluorescence zinkové běloby 79
Obr. 54 Ukřižovaný Kristus v průběhu odkryvu 80
Obr. 55 Ukřižovaný Kristus po odkryvu a dočištění 80
Obr. 56 Porovnání stavu před restaurováním – po odkryvu – po restaurování 81
Obr. 57 Grafické zakreslení materiálové skladby epitafu 83
Obr. 58 Grafické zakreslení poškození vyskytující se na celém epitafu 84
Obr. 59 Grafické zakreslení vlastních zásahů na celém epitafu 85
Obr. 60 Ilustrace průběhu korozního procesu (SELWYN, Lyndsie. Metals and Corrosion) 138
Obr. 61 Znečištění korozními produkty, jejichž původ je vnitřní zkorodovaná armatura 142
Obr. 62 Znečištění korozními produkty pocházející z okolního prostředí 142
Obr. 63 Koroze armatury vedoucí k jejímu pnutí, důsledkem je trhání sádrové hmoty (Autor fotografie – MgA. Petra Zítková) 142
Obr. 64 Koroze armatury vedoucí ke ztrátě kovového materiálu..... 142
Obr. 65 Průběh napouštění sádrových vzorků chloridem železitým (FeCl3)..... 158
Obr. 66 Nehomogenní znečištění na povrchu sádrového vzorku se zalitým železným plechem. Stav po 20 cyklech urychleného stárnutí. 159
Obr. 67 Nehomogenní znečištění vnitřní strany sádrového vzorku, která byla v kontaktu s korodujícím plechem..... 159
Obr. 68 Schéma rozvržení vzorků pro zkoušky čištění s přirozeným pH 162
Obr. 69 Schéma rozvržení vzorků pro zkoušky čištění s upraveným pH..... 162
Obr. 70 Schéma rozvržení vzorků pro finální zkoušky čištění..... 162
Obr. 71 Aplikace nosičů s vodou na vzorky s vodním součinitelem 0,8 166
Obr. 72 Aplikace nosičů s vodou na vzorky s vodním součinitelem 0,6 166
Obr. 73 12 hodin po aplikaci na vzorcích s vodním součinitelem 0,8 166
Obr. 74 12 hodin po aplikaci na vzorcích s vodním součinitelem 0,6 166
Obr. 75 Grafické ztvárnění barevného prostoru CIE L* a* b* 170
Obr. 76 Schéma rozvržení vzorků pro finální zkoušky čištění..... 170
Obr. 77 Schéma rozvržení míst, kde byla provedena měření 170
Obr. 78 Schéma rozvržení vzorku 173
Obr. 79 Čisticí účinek 2% kyselinou thioglykolovou v Kelzanu® HP-T po 1 a 2 aplikačním cyklu. 182

Obr. 80 Opakovaná aplikace 2% Komplexonem III v Kelzanu® HP-T po 1 a 2 aplikačním cyklu. 182
Obr. 81 Rezidua gelu Kelzanu® HP-T ve směsi s kyselinou thioglykolovou, snímek z optické mikroskopie při bílém bočním světle a zvětšení na mikroskopu 10×..... 183
Obr. 82 Rezidua gelu Kelzanu® HP-T a Komplexonu III snímek z optické mikroskopie při bílém bočním světle a zvětšení na mikroskopu 10×..... 183
Obr. 83 Pohled na přední a zadní stranu sádrového reliéfu..... 192
Obr. 84 Před čištěním..... 194
Obr. 85 Po první aplikaci čisticích gelů 194
Obr. 86 Po druhé aplikaci čisticích gelů..... 194
Obr. 87 Detail díla před zahájením zkoušek..... 195
Obr. 88 Zkoušky čištění 2% kyselinou thioglykolovou s nosičem složeného z Arbocelu® BC 1000 a Kelzanu® HP-T..... 195
Obr. 89 Zkoušky čištění 2% Komplexonem III s nosičem složeného z Arbocelu® BC 1000 a Kelzanu® HP-T 195
Obr. 90 Vybrané místo před čištěním..... 196
Obr. 91 Fialové zabarvení gelu po jeho aplikaci..... 196
Obr. 92 Vybrané místo po očištění..... 196
Obr. 93 Gel po 8 hodinách od jeho aplikace 196

7 Seznam tabulek

Tab. 1 Stratigrafie barevných vrstev 31
Tab. 2 Přehled koncentrace vodorozpustných solí povrchového seškrabu 41
Tab. 3 Přehled koncentrace vodorozpustných solí hloubkové vrtu 41
Tab. 4 Přehled zkoušek snímání a naměkčování 49
Tab. 5 Přehled testovaných čisticích látek s doporučenou a použitou koncentrací a pH látek 163
Tab. 6 Přehled zkoušených nosičů – orientační složení a vzhled připravených past 165
Tab. 7 Přehled použitých nosičů a jejich příprava 167
Tab. 8 Výsledky nasákavosti a porozity připravených vzorků 172
Tab. 9 Porovnání účinků jednotlivých nosičů s demineralizovanou vodou 173
Tab. 10 Postup při zkouškách předvlhčení a vyhodnocení jeho účinku na čištění obkladem připraveným z Kelzanu® HP-T a Komplexonu III (2 %). 177
Tab. 11 Porovnání čisticích účinků látek v různých hodnotách pH, čisticí účinek po první aplikaci 179
Tab. 12 Snímky povrchu vzorků před a po očištění (1 a 2 aplikace). Snímky v razantním bočním osvětlení stereomikroskopu SMZZ800 Nikon, při zvětšení 10× 184
Tab. 13 Změny barvového odstínu dL^*, da^*, db^* po 1 zábalu s vodou a nosičem Kelzanu® HP-T 185
Tab. 14 Změny barvového odstínu dL^*, da^*, db^* po 1 a 2 cyklu čištění kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III v Kelzanu® HP-T 185
Tab. 15 Snímky řezů po dvou čisticích cyklech 187
Tab. 16 Přehled zkoušených nosičů 193
Tab. 17 Přehled dohledaných chemických látek k čištění korozních produktů ze sádrového povrchu 208
Tab. 18 Přehled dohledaných chemických látek k čištění korozních produktů z dalších materiálů 208

8 Seznam grafů

Graf 1 Výsledky kolorimetrie po očištění sádrových vzorků připravených s vodním součinitelem 0,6 kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III v Kelzanu® HP-T. Změny jsou vyjádřené jako změny barvového odstínu dL*, da*, db*. Jako referenční byl změřen účinek obkladu s vodou 186
Graf 2 Výsledky kolorimetrie po očištění sádrových vzorků připravených s vodním součinitelem 0,8 kyselinou thioglykolovou a Komplexonem III v Kelzanu® HP-T. Změny jsou vyjádřené jako změny barvového odstínu dL^*, da^*, db^*. Jako referenční byl změřen účinek obkladu s vodou. 186