



Univerzita  
Pardubice  
Fakulta  
restaurování

Průvodní zpráva k památkovému postupu  
**VÝBĚR VHODNÉ METODY PRO ČIŠTĚNÍ DĚL  
ZE SÁDRY**

**Autoři:** MgA. Pavel Mrovec, Doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

**Na přípravě metodiky dále spolupracovali:** BcA. Zuzana Auská, Ing. Petra Lesniaková, Ph.D., MgA. Petra Zitková, Ing. Renata Tišlová, Ph.D., BcA. Jiří Škarvada, BcA. Kateřina Šibravová, BcA. Radka Zůfalá



## OBSAH

I.	Cíle památkového postupu .....	2
II.	Vlastní popis památkového postupu .....	2
III.	Popis ověření památkového postupu v praxi.....	3
IV.	Návrh konkrétních uživatelů výsledků .....	4
V.	Seznam související literatury.....	4
VI.	Seznam publikací, které předcházely památkovému postupu a byly publikovány, případně výstupy z originální práce.....	6

## **I. Cíle památkového postupu**

Tématu čištění, respektive restaurování sádrových odlitků, nebyla v minulosti věnována přílišná pozornost. Postupy při opravě znečištěných a poškozených sádrových odlitků byly převážně řemeslné a nesplňovaly často ani základní kritéria aplikovaná při restaurování cenných uměleckých děl. Sádrové odlitky byly považovány jako pracovní mezistupeň z podřadného materiálu bez záměru jejich prezentace, dokonce mohly být určeny k zániku. Z uvedených důvodů chybí systematicky a v komplexním měřítku zpracované a definované restaurátorské a konzervátorské postupy, které by byly založeny na současném stavu poznání v oboru, případně jeho nových možnostech. Z tohoto důvodu se předkládaná studie snaží tento deficit doplnit téma postupu při čištění povrchově neupravených děl ze sádry. Text shrnuje dosavadní znalosti v tomto oboru a předkládá současné možnosti čištění, jejich výhody a nevýhody. V praxi je většinou čištění výsledkem kombinace různých metod, a proto se tento památkový postup nesoustředí na jednu konkrétní metodu čištění, ale spíše na způsob výběru a ověřování vhodné metody pro konkrétní památkový objekt. Cílem je popsat optimální postup při charakterizaci znečištění a substrátu, stanovit kritéria pro volbu vhodné metody, respektive koncepce restaurování, a postupy pro následné ověřování uvažovaných metod čištění.

## **II. Vlastní popis památkového postupu**

Památkový postup v úvodu shrnuje specifika čištění sádrových odlitků, které vycházejí z vlastností sádry a způsobu jejího zpracování, stejně tak jako ze způsobu uložení a rozsahu poškození sádrového artefaktu. Dále stanoví kritéria pro výběr vhodné metody čištění, která vycházejí se současných standardů restaurování a památkové péče. Na tuto část navazuje kapitola zabývající se možnostmi průzkumu sádry, které nám umožní posoudit rozsah a charakter znečištění a následně objektivní hodnocení zkoušek čištění.

Další kapitoly se věnují koncepčním otázkám čištění v rámci celého procesu restaurování a na základě zkušeností a rešerše literatury předkládají přehled metod použitelných a používaných pro čištění sádrových artefaktů. Vedle tradičních a v současných metod čištění byly důkladně testovány možnosti užití různých typů laseru. Výsledky této komplexní studie

byly publikovány v odborném časopise<sup>1</sup> a následně byly ověřeny při restaurování sádrových artefaktů při ověřování památkového postupu v praxi.

Vlastní památkový postup představuje příklady restaurovaných děl se sbírek odlitek sochaře Stanislava Suchardy, které slouží jako modelové případy různých přístupů k čištění a souvisejícím restaurování sádrových plastik. Na základě charakteru povrchu, laboratorních testů a provedené rešerše bylo vybráno několik metod čištění, které byly aplikovány na vzorových plochách a porovnávány. Na základě komplexního vyhodnocení zkoušek čištění byl následně na vybraných sádrových historických dílech proveden komplexní restaurátorský zásah, jehož významná část bylo čištění povrchu.

Na vybraných objektech byly zkoušeny následující metody, které na základě zkušenosti, laboratorních testů a rešerše literatury vycházely pro sádrové odlitky jako nejvhodnější.

- 1) Short free running laser ND:YAG EOS 1000 SFR
- 2) Plastické gummy Koh-i-noor
- 3) Gel z agaru, destilovaná voda
- 4) Mikropískovačka Sandblaster, bílý technický korund f360, kompresor
- 5) Vatová tyčinka, destilovaná voda

### **III. Popis ověření památkového postupu v praxi**

Jednotlivé kroky památkového postupu jsou ilustrovány na pěti odlitcích ze souboru sádrových odlitek dochovaných v pozůstalosti Stanislava Suchardy, jež nyní zpravuje Nadace muzeum Stanislava Suchardy. Přestože tato díla představují zdánlivě obdobnou problematiku, komplexní posouzení charakteru povrchu a nečistot a následné hodnocení zkoušek čištění ukázalo rozdílné výsledky, a proto byly na každém díle nakonec použity poněkud jiné postupy, respektive jejich kombinace.

Výběr vhodné metody vycházel z provedených zkoušek vybraných metod čištění, které byly následně hodnoceny jednak vizuálně restaurátorem specialitou a jednak pomocí instrumentálních metod, které umožnili vyhodnotit citlivost uvažovaných metod a odhalit případná rizika čištění pro památku.

---

<sup>1</sup> LESNIAKOVÁ, Petra, MROVĚC Pavel a Jakub ĎOUBAL. Čištění povrchově neupravené sádry laserem. In: *Fórum pro konzervátory-restaurátory*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018, s. 51-57. ISSN 1805-0050.

Na každém z odlitků byly nejprve odebrány vzorky povrchu k analýze nečistot a případných povrchových úprav. Průzkum byl prováděn následujícími metodami:

- a) Optická mikroskopie nábrusů v odraženém bílém světle a fluorescenci (UV a modrém světle)
- b) Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s mikrosondou (EDX) - prvková analýza vrstev
- c) Infračervená mikroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) - analýza povrchových vrstev

Z vyhodnocení restaurovaných vzorových objektů vyplývá, že na konkrétních objektech je nutné vždy volit individuální přístup (často i kombinovat různé metody) a pro výběr je zásadní dodržet navrhovaný památkový postup stanovující kritéria výběru a způsob objektivního hodnocení zkoušek čištění. Jedině tak lze zajistit výběr optimální metody čištění pro daný objekt.

#### **IV. Návrh konkrétních uživatelů výsledků**

Památkový postup je určen především pro restaurátory, pracovníky NPÚ a správce sbírek sádrových odlitků.

#### **V. Seznam související literatury**

AUSKÁ, Z. Restaurování sochy sv. Václava z Lažan, restaurování sádrového reliéfu od Stanislava Suchardy. Litomyšl, 2017. Bakalářská práce. Fakulta restaurování UPa.

BADDE, A. Dust on busts: dust on plaster surfaces, focussing on the portrait busts in the Rococo Hall of the duchess Anna Amalia Library in Weimar. 2009. Disertační práce Northumbria University at Newcastle, Newcastle.

BÉNA, P. Restaurování odlitku sv. Mikuláše Tolentinského: role sádry v památkové péči se zaměřením na odlitky. 2011. Diplomová práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

BERZIOLI, M. An analytical and applicative approach to the cleaning of artworks. 2011. Disertační práce. Università degli studi di Parma.

BORDALO, R., P. J. MORAIS, Ch. R. T. YOUNG a R. M. ALMEIDA. Characterisation of laser-induced physical alterations of pigmented oil layers. *E-Preservation science* [online]. 2012, (Vol. 9), s. 47–59 [cit. 2019-05-22].

CREMONESI, P. Surface cleaning? Yes, freshly grated agar, please. *Studies in Conservation*. 2016, **61**(6), s. 362-367. ISSN 0039-3630.

DE CRUZ, A., L. MYRON, L. WOLBARSHT a S. A. HAUGER. Laser removal of contaminants from painted surfaces. *J. Cult. Heritage*. 2000, (1), s. 173-180.

DOEHNE, E. a A. C. PRICE. Stone conservation an overview of current research. *The Getty Conservation Institute Los Angeles* [online]. 2010 [cit. 2019-05-22].

ĎOUBAL, J. a kol., *Metodika: Péče o sádrové odlitky*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.

DRDÁCKÝ, M. a Z. SLÍŽKOVÁ. In-situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces. *Studies in conservation*. Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 2015, (60 (2)), s. 121-130.

KOLÁŘ, R. *Restaurování reliéfu sv. Rozálie z morového sloupu v Kutné Hoře a technologie čištění sádrovcových krust na kutnohorském vápenci*. Litomyšl, 2016. Diplomová práce. Fakulta restaurování UPa

MROVĚC, P. Možnosti využití laseru v kontextu tradičních a současných metod čištění povrchově neupravených sádrových odlitků. 2017. Teoretická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

NOVOTNÝ, J. Sádra v památkové péči. In: STOP: Sádra v památkové péči. Praha: STOP, Národní muzeum, 2002, s. 31–40.

LESNIAKOVÁ, P., P. MROVĚC a J. ĎOUBAL. Čištění povrchově neupravené sádry laserem. *Fórum konzervátorů-restaurátorů*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018, s. 51-57.

SANSONETTI, A. a kol. A CLEANING METHOD BASED ON THE USE OF AGAR GELS: NEW TESTS AND PERSPECTIVES. In: *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University* [online]. New York, 2012 [cit. 2017-01-16].

SENESI, G. S. a kol. Laser cleaning and laser-induced breakdown spectroscopy applied in removing and characterizing black crusts from limestones of Castello Svevo, Bari, Italy: A case study. *Microchemical Journal* 124, 2016, s. 296–305.

SIANO, S. a kol. The Santi Quattro Coronati by Nanni di Banco: cleaning of the gilded decorations. *Journal of Cultural Heritage*, 2003, vol. 4, s. 123–128.

SIANO, S., J. AGRESTI, I. CACCIARI a D. CIOFINI. Laser cleaning in conservation of stone, metal, and painted artifacts: State of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers. *Applied Physics A* [online]. 2012, (106(2), 419-446 [cit. 2019-05-22].

SCOTT, C. L. The use of agar as a solvent gel in objects conservation. *Objects Specialty Group Postprints* [online]. 2012, **19**, 71-83 [cit. 2017-01-16].

ŠEDÝ, V. Sochařské řemeslo. Praha: Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění, 1953, s. 160.

ŠIBRAVOVÁ, K. *RSTAURÁTORSKÁ DOKUMENTACE: Sádrový model od Stanislava Suchardy*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.

ŠKARVADA, J. *Restaurování sádrových modelů soch pro průčelí muzea v Hradci Králové*. 2017. Praktická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

ZÍTKOVÁ, P. Restaurování sádrové plastiky Havíře ze sbírek Českého muzea stříbra v Kutné Hoře; Možnosti konsolidace sádry a fixace barevných vrstev na sádrovém podkladu. Litomyšl, 2016. Diplomová práce. Fakulta restaurování UPa.

## **VI. Seznam publikací, které předcházely památkovému postupu a byly publikovány, případně výstupy z originální práce**

*Kapitola v odborné knize:* PRIMUSOVÁ, A. WITLICH, P. KUTHANOVÁ, K., KRUMMHOLZ, M. a J. ĎOUBAL, *Šaloun, dotek osudu: Sochařská pozůstalost Ladislava Šalouna ve sbírkách GASK*. Kutná Hora: GASK-Galerie Středočeského kraje, 2018. ISBN 978-80-7056-179-9

*Článek v odborném recenzovaném periodiku:* LESNIAKOVÁ, P. MROVĚC P. a J. ĎOUBAL. Čištění povrchově neupravené sádry laserem. In: *Fórum pro konzervátory-restaurátory*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018, s. 51-57. ISSN 1805-0050.

*Diplomová práce:* P. MROVĚC - Restaurování modelu pomníku Jana Husa na Staroměstském náměstí od Stanislava Suchardy. Možnosti využití laseru v kontextu tradičních a současných metod čištění povrchově neupravených sádrových odlitků, 2017

*Diplomová práce:* KOKSTEJNOVÁ, A. Restaurování objektů od Stanislava Suchardy - sádrové plastiky Karla IV. a plastiky z pálené hlíny. Testování adheziv pro lepení sádrových artefaktů, 2017

*Bakalářská práce:* AUSKÁ, Z. - Restaurování sádrového reliéfu od Stanislava Suchardy, 2017

*Restaurátorská dokumentace:* ŠKARVADA, J. Restaurování sádrových modelů soch pro průčelí muzea v Hradci Králové, 2017





Univerzita  
Pardubice  
Fakulta  
restaurování

památkový postup

## VÝBĚR VHODNÉ METODY PRO ČIŠTĚNÍ DĚL ZE SÁDRY

2019

**Autoři:** MgA. Pavel Mrovec, doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D

**Na přípravě památkového postupu dále spolupracovali:** Ing. Petra Lesniaková, Ph.D., Ing. Renata Tišlová, Ph.D., MgA Petra Zítková, BcA. Kateřina Šibravová, BcA. Zuzana Auská, BcA. Jiří Škarvada, BcA. Radka Zůfalá

Památkový postup vznikl v rámci projektu „Stopy tvorby - Dědictví velkých sochařů první poloviny 20. století. Restaurování a péče o sochařské památky ze sádry“ (ID. kód projektu: DG16P02B052) financovaného z programu NAKI Ministerstva kultury ČR v letech 2016–2019



## Obsah

1	PAMÁTKOVÝ POSTUP .....	3
2	ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....	3
2.1	Specifika čištění děl ze sádry.....	3
2.2	Předpoklady metod čištění (kritéria výběru vhodné metody) .....	6
3	MOŽNOSTI PRŮZKUMU POVRCHU SÁDRY A OVĚŘENÍ ZKOUŠEK ČIŠTĚNÍ... 7	
3.1	Vizuální průzkum .....	7
3.2	Průzkum povrchu před čištěním .....	7
3.3	Instrumentální metody ověření zkoušek čištění .....	8
3.4	Zkoušky čištění a referenční plochy .....	10
3.5	Stanovení koncepce míry čištění .....	11
4	METODY ČIŠTĚNÍ SÁDROVÝCH POVRCHŮ .....	12
4.1	Mokré metody.....	13
4.2	Suché metody .....	15
4.3	Čištění sádry od kovových korozních produktů .....	17
5	POSTUP ČIŠTĚNÍ NA VYBRANÝCH OBJEKTECH ZE SÁDRY .....	18
5.1	Model alegorie průmyslu pro průčelí Městského muzea v Hradci Králové.....	19
5.2	Reliéf Libuše do Národního domu v Prostějově .....	26
5.3	Podobizna Vlasty Zindlové .....	32
5.4	Alegorie Ochrany/Větru .....	39
5.5	Reliéf - Model k hrobu Karla Vojáčka .....	47
6	ZÁVĚR.....	53
7	SEZNAM LITERATURY .....	55

# 1 PAMÁTKOVÝ POSTUP

Tématu čištění, respektive restaurování sádrových odlitků jako takovému, nebyla v minulosti věnována přílišná pozornost. Postupy při opravě znečištěných a poškozených sádrových odlitků byly převážně řemeslné a nesplňovaly často ani základní kritéria aplikovaná při restaurování cenných uměleckých děl. Sádrové odlitky byly považovány za pracovní mezistupeň z podřadného materiálu bez záměru jejich prezentace, dokonce mohly být určeny k zániku. Z uvedených důvodů chybí systematicky a v komplexním měřítku zpracované a definované restaurátorské a konzervátorské postupy, které by byly založeny na současném stavu poznání v oboru, případně jeho nových možnostech. Z tohoto důvodu se předkládaná studie snaží tento deficit na téma postupu při čištění povrchově neupravených děl ze sádry doplnit. Text shrnuje dosavadní znalosti v tomto oboru a předkládá současné možnosti čištění, včetně výhod i nevýhod. V praxi je většinou čištění výsledkem kombinace různých metod, a proto se tento památkový postup nesoustředí na jednu konkrétní metodu, ale spíše na způsob výběru a ověřování vhodné metody pro konkrétní památkový objekt. Cílem je popsat optimální postup při charakterizaci znečištění a substrátu, stanovit kritéria pro volbu vhodné metody, respektive koncepce restaurování, a postupy pro následné ověřování uvažovaných metod čištění.

## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

### 2.1 Specifika čištění děl ze sádry

Čištění je jedním z nejrizikovějších kroků v rámci restaurování především kvůli riziku ztráty původní hmoty díla. V případě sádry je odstraňování nečistot v porovnání s ostatními minerálními materiály komplikovanějším procesem vzhledem k jejím specifickým fyzikálním a chemickým vlastnostem. V této souvislosti lze za značné nevýhody sádry považovat zejména poměrně vysokou měkkost a křehkost, rozpustnost ve vodě, navlhavost a hygroskopicitu. Také vysoká porozita povrchu i jeho bílá barva jsou z hlediska depozice nečistot a čištění problematické. Do pórů se snadno usazují obtížněji odstranitelné nečistoty, které se na bílém povrchu mohou vizuálně velmi negativně uplatnit.

Na základě postupu přípravy sádrového objektu, ale také například na způsobu poškození, lze vymezit různé typy povrchů, které ovlivňují ukládání prachového depozitu a v konečném důsledku také čištění sádry. Na jednom objektu lze nalézt i několik typů povrchů, což může

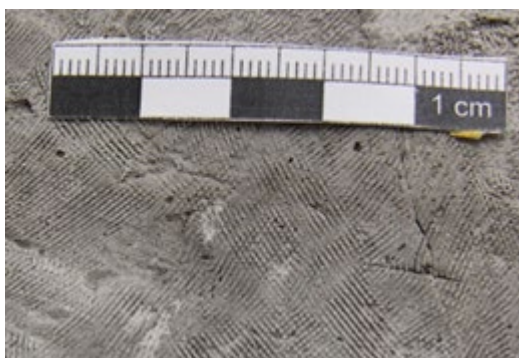
vést k nerovnoměrnosti výsledku čištění, potřebě lokálního dočištění, či volbě kombinace více metod čištění.



*Obr. 1: Povrch poškozený přímým kontaktem s vodou.*



*Obr. 2: Samovolně zatuhnutá sádra.*



*Obr. 3: Hrubý povrch vytvořený patrně přebroušením tuhnoucí sádry.*



*Obr. 4: Povrch přebroušený otěrem nebo původním zásahem.*

Památkový postup je zaměřený na čištění sádry bez patinace či polychromie, u jejíhož povrchu je většinou proces čištění nejkomplicovanější a souvisí se samotnými vlastnostmi sádry. Značná část sádrových odlitků a děl má však povrchovou úpravu, která se na první pohled vizuálně neuplatňuje, ale její přítomnost je třeba brát při čištění na vědomí.

Do problematiky tak mohou částečně spadat díla, u kterých byla použita dodatečná technologická úprava nejen povrchu. Jedná se o záměrnou úpravu, která slouží ke zvýšení pevnosti a odolnosti nebo ochraně díla a jeho povrchu proti otěru. Často v důsledku technologické úpravy dochází ke snížení porozity a nasákavosti sádry, tím i redukcí možného zanášení povrchu depozity a jeho lepší údržbě. Při čištění technologicky upravených sádrových děl hrozí více než v jiných případech nevědomé odstranění této záměrné povrchové úpravy.

Nejčastěji byl povrch sádry technologicky upravován běleným šelakem nebo bezbarvým voskem, případně jejich kombinací v různých koncentracích a tloušťkách nátěrů.

K dalším možným historickým postupům patří použití prášku z mastku (klouzku). Na výsledek čištění mohou mít vliv i rezidua po separátorech používaných při formování.

Další technickou úpravou realizovanou zejména za účelem strukturální konsolidace sádry bylo její napuštění nebo ponor díla do různých anorganických i organických sloučenin. Konsolidace bývala realizována za účelem zlepšení přirozených vlastností sádry včetně jejího povrchu i v rámci restaurování degradovaných děl. Z anorganických sloučenin byla tradičně používána například vápenná voda nebo roztok kamence, síranu vápenatého, případně měďnatého nebo železnatého či boraxu. Z organických látek se uplatňovalo například mléko.<sup>1</sup> V některých případech je diskutabilní, zda strukturální konsolidací v podstatě vzniká povrchová úprava. S řešenou problematikou čištění však úzce souvisí, jelikož mění také povrch díla a v rámci procesu restaurování je nezbytné tuto možnost zohlednit.

V souvislosti s proměnou vlastností sádry je třeba zmínit i modifikace příměsmi přidávanými přímo do sádrové směsi při její přípravě. Přestože se ve své podstatě nejedná o povrchovou úpravu, je nutné možnost výskytu modifikované sádry v kontextu řešené problematiky zmínit. Modifikační příměsi totiž mají značný vliv na vlastnosti sádry včetně jejího povrchu a jejich přítomnost může do značné míry ovlivňovat samotné restaurování-konzervaci včetně čištění. Sádra se modifikuje většinou kvůli změně, zlepšení, mechanických, zpracovatelských a jiných vlastností. Například k urychlení procesu tuhnutí byl do sádry přidáván síran draselný. Hašené vápno, uhličitan sodný a draselný, nebo borax se naopak používaly ke zpomalení procesu tuhnutí.<sup>2</sup> Dále je možné sádro modifikovat s cílem zlepšit zejména její mechanické vlastnosti. V této souvislosti se hovoří zejména v historickém kontextu o tzv. tvrzení sádry.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> BÉNA, P. *Restaurování odlitku Sv. Mikuláše Tolentinského: Role sádry v památkové péči, se zaměřením na odlitky*. Litomyšl, 2011. Diplomová práce. Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, s. 81.

<sup>2</sup> BÉNA, P. *Restaurování odlitku Sv. Mikuláše Tolentinského: Role sádry v památkové péči, se zaměřením na odlitky*. Litomyšl, 2011. Diplomová práce. Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, s. 75.

<sup>3</sup> ZÍTKOVÁ, P. *Restaurování sádrové plastiky Havíře ze sbírek Českého muzea stříbra v Kutné Hoře; Možnosti konsolidace sádry a fixace barevných vrstev na sádrovém podkladu*. Litomyšl, 2016. Diplomová práce. Fakulta restaurování UPa, s. 108-110.

## 2.2 Předpoklady metod čištění (kritéria výběru vhodné metody)

Základem pro úvahy o čištění by měla být identifikace typu a zdroje nečistot, míra jejich ulpívání na substrátu, respektive v jeho porézním systému, a charakteristika substrátu (složení sádry případně aditiv, přítomnost konzervačních úprav atd.) a jeho stav. Pro výběr vhodné metody čištění je důležitá i celková charakterizace konstrukce odlitku, která přinese informace o případných vnitřních armaturách atd.

Každá metoda čištění, i bezkontaktní, vyžaduje interakci v různých formách s ulpělými nečistotami, a tedy i povrchem objektu. Čištění se v restaurátorském procesu stává výslednicí kompromisu mezi objektivní rovinou konzervačního čištění, které zohledňuje technologické parametry materiálů, a subjektivní rovinou čištění, která zohledňuje estetické působení objektu. Nejdůležitějším a základním předpokladem pro zvolenou metodu čištění by měla být její šetrnost k původním materiálům objektu. Každá taková metoda by měla splňovat předpoklad žádné, případně zcela minimální nežádoucí fyzikální a chemické změny objektu. K nežádoucím změnám by nemělo docházet ani na mikroskopické úrovni.

Při čištění by neměla vznikat nebo zůstat na povrchu i ve vnitřní struktuře sádry žádná nežádoucí rezidua. Vzhledem k relativně vysoké rozpustnosti sádry ve vodě by při čištění nemělo docházet k zavlhčení sádry, obzvláště by se mělo vyloučit dlouhodobé zavlhčení nebo kontakt s tekoucí vodou. K omezení nebo vyloučení užití mokřých procesů při čištění vede i fakt, že značná část odlitků je vyztužena kovovými armaturami, u kterých by mohl dlouhodobější kontakt s vlhkostí akcelarovat korozní procesy. I krátkodobý kontakt se zvýšenou vlhkostí by mohl znovu aktivovat a urychlit korozní procesy armatur, které vedou k rozpínání kovových částí, způsobují praskliny ve struktuře objektu a v konečném důsledku také k následným materiálovým ztrátám.

Aby se předcházelo nežádoucímu poškození objektu nebo nevhodnému čištění, je nutné proces čištění kontrolovat a vyzkoušet. Toto lze realizovat na zkušebních plochách, kde lze například vizuálně i mikroskopicky ověřovat změnu barevnosti, struktury a případně porovnávat kohezi čištěného povrchu po zkouškách čištění. Proces čištění lze dále vyhodnotit a kontrolovat pomocí různých přístrojů a metod in situ nebo na odebraných vzorcích. Mezi nejvyužívanější z používaných metod průzkumu patří například různé zobrazovací metody, světelná mikroskopie, skenovací elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou, rentgenová difrakce, spektrofotometrie, infračervená spektrometrie a další.

## 3 MOŽNOSTI PRŮZKUMU POVRCHU SÁDRY A OVĚŘENÍ ZKOUŠEK ČIŠTĚNÍ

### 3.1 Vizuální průzkum

Vizuální zkoumání je základní a neopomenutelný nástroj zkoumání výsledků čištění. Vizuální zkoumání nám přináší poměrně jasnou představu o výsledném estetickém vyznění očištěného povrchu a na základě zkoušek lze zvolit takovou intenzitu, která je nejvhodnější z hlediska výsledného estetického dojmu. Při prvotním vizuálním průzkumu bychom si měli definovat použité materiály na dílo a jeho celkový stav. K nejdůležitějším otázkám patří definice příčin poškození a znečištění. V závislosti na konkrétním díle si můžeme pokládat otázky – jak se materiály použité na dílo navzájem ovlivňují nebo zda má sádrový substrát díla povrchovou úpravu, případně jak se vizuálně uplatňuje.

### 3.2 Průzkum povrchu před čištěním

Pro vlastní čištění bude zásadní zjistit, zda se skutečně jedná o sádrový povrch, nebo byl odlitek následně ošetřen nějakou konzervační povrchovou úpravou, která sice zásadně nezměnila jeho vzhled, ale proměnila vlastnosti povrchové vrstvy, zejména nasákavost. K základním metodám průzkumu povrchu patří průzkum ve viditelném rozptýleném světle (denním nebo umělém). Při studiu detailů povrchu lze průzkum ve viditelném světle například provádět s využitím mobilního stereomikroskopu. Další metody prováděné in situ využívají odlišných spektrálních oblastí světla. Při průzkumu povrchových úprav odlitků se nejčastěji využívá ultrafialová fluorescenční fotografie (UVF), která většinou využívá UVA záření o vlnové délce okolo 365 nm. Ke snímání záznamu se používá filtry upravený fotoaparát, které zlepšují kvalitu získaných snímků. Na získaných snímcích lze pozorovat povrchové nebo barevné úpravy, které podle složení charakteristicky fluoreskují. Průzkum povrchových úprav lze na neinvazivní úrovni dále provádět mobilní rentgenfluorescenční analýzou.<sup>4</sup>

K průzkumu pronikání nečistot do porézního systému slouží různé invazivní metody. Z objektu je odebrán vzorek z plochy zkoušky čištění, v ideálním případě s rozhraním neočištěné a čištěné plochy, aby bylo možno tyto povrchy porovnat. K průzkumu vzorků se užívá metod optické mikroskopie nábrusu či výbrusu, skenovací elektronové mikroskopie

---

<sup>4</sup> ĐOUBAL, J. a kol. *Metodika: Péče o sádrové odlitky*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.

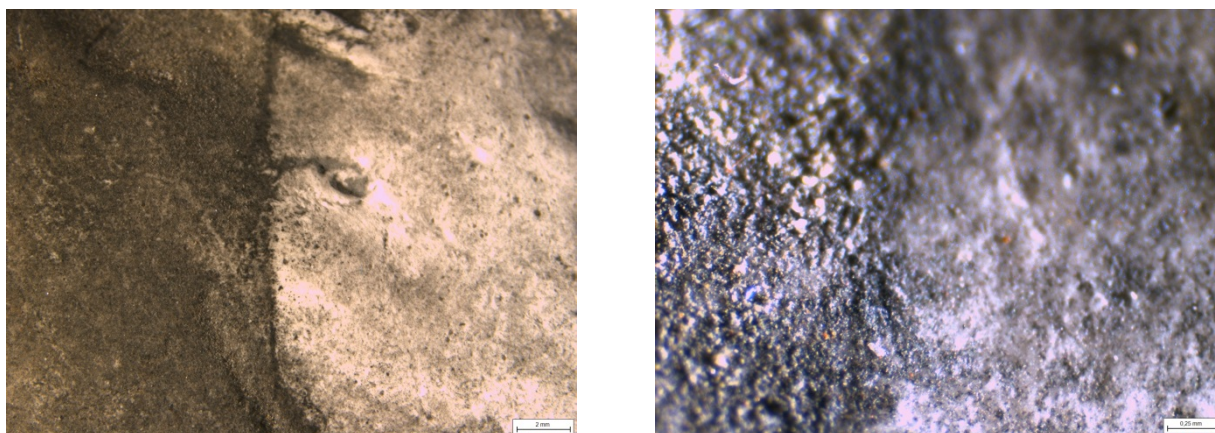
s prvkovou mikroanalýzou, rentgenová difrakce, UV-VIS spektrofotometrie, infračervená spektrometrie a další.

Zkoumání fyzikálních vlastností čištěných povrchů, případně porovnání koheze čištěného povrchu před a po čištění, lze provádět pomocí zkoušek otěru vatovou tyčinkou, případně pomocí peeling testu.<sup>5</sup>

### 3.3 Instrumentální metody ověření zkoušek čištění<sup>6</sup>

#### Optická mikroskopie povrchu

Jako jeden z možných neinvazivních metod průzkumu sádrových povrchů je využití optických zvětšovacího zařízení. Ideální se jeví k takovému použití zařízení s fotografickým příslušenstvím, jako například USB mikroskop nebo mobilní stereolupa. Zkoumáním povrchu na rozhraní čištění je možné rozlišit případnou změnu morfologie povrchu v mikroskopickém měřítku nebo změnu barevnosti povrchu.



Obr. 5, 6: Dokumentace zkoušek čištění na rozhraní u Podobizny Vlasty Zindlové. Optickou mikroskopií je zde neinvazivně zkoumána morfologie povrchu čištěného místa ve srovnání s neočištěným.

<sup>5</sup> DRDCKÝ M. a Z.SLÍŽKOVÁ. In situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces. *Studies in conservation*. Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 2015, (60 (2), 121-130

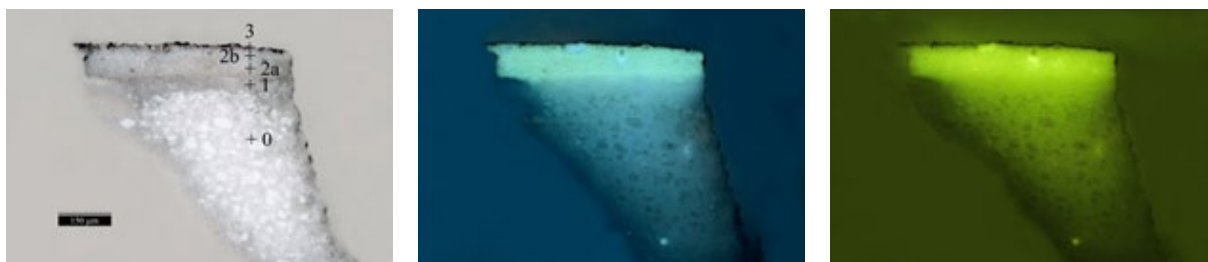
<sup>6</sup> ĎOUBAL, J. a kol. *Metodika: Péče o sádrové odlitky*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.



## Optická mikroskopie vzorku

Optická mikroskopie na odebraném vzorku je využívána k úvodní charakterizaci povrchu substrátu, nečistot a případně také k určení či vyloučení přítomnosti povrchových úprav. Kromě bílého dopadajícího světla jsou nábrusy vzorků obvykle fotograficky zaznamenávány i například v UV světle nebo modrém excitovaném světle.

Klasickou invazivní techniku průzkumu povrchových úprav představují mikroskopické techniky spojené s odběrem mikrovzorků, které se zpravidla zpracovávají do formy nábrusů (příčných řezů vzorky) nebo výbrusů (tenkých řezů vzorky). Základní techniku pro jejich vyhodnocení tvoří optická mikroskopie prováděná na nábrusu v rozptýleném denním světle nebo fluorescenci. V případě výbrusů se provádí průzkum při zkřížených a při rovnoběžných nikolech.



Obr. 7-9: Mikrofotografie nábrusu vzorku odebraného ze sádrové plastiky s bílošedou povrchovou úpravou. Optická a fluorescenční mikroskopie (bílé světlo, UV fluorescence, fluorescence v modrém světle), mikroskop Eclipse LV100D-U (Nikon). Na mikrofotografiích jsou zaznamenány následující vrstvy: 0) základní materiál – sádra, 1) tenká našedlá vrstva ze sádry, 2a,b) našedlé souvrství s přírodní křídou a zinkovou bělobou vykazující charakteristickou zelenožlutou UV fluorescenci, 3) nečistoty. Foto Petra Lesniaková.

## Elektronová mikroskopie povrchu vzorku

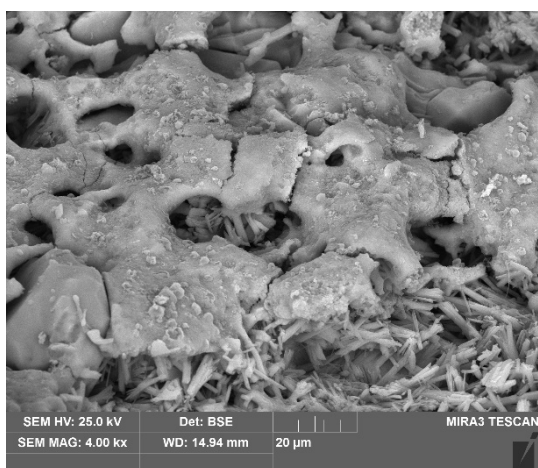
Na nábrusu nebo určitém typu výbrusu vzorkem lze dále provádět analýzu prvkového složení s využitím rastrovací elektronové mikroskopie s EDX mikrosondou (REM-EDX), případně další analýzy molekulové spektrometrie (Infračervená nebo Ramanova spektroskopie), kterými se zpravidla určuje materiálové složení zkoumaného vzorku, které lze dále upřesňovat, například chromatografickými technikami.<sup>7</sup>

Elektronová mikroskopie povrchu poskytuje detailní pohled na změny v morfologii povrchu. Při menším zvětšení lze zkoumat změny celkového vzhledu povrchu a při větším zvětšení se lze dostat až na úroveň jednotlivých zrn. Jedná se o jeden z nejlepších nástrojů pro

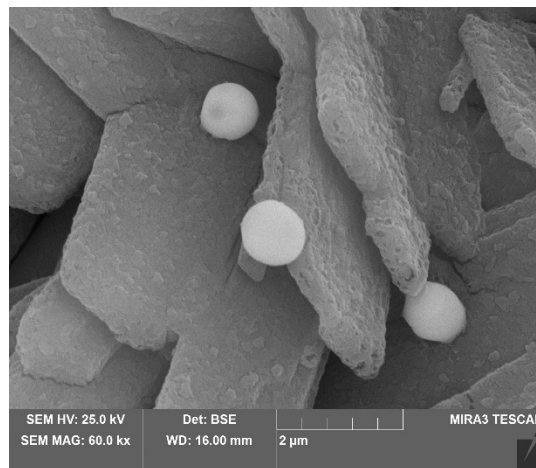
<sup>7</sup> ĐOUBAL, J. kol. *Metodika: Péče o sádrové odlitky*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.

hodnocení vlivu čištění na substrát, i když je třeba výsledky srovnat s dalšími metodami zkoumání.

Tato pokročilá metoda průzkumu může velmi precizně zkoumat úbytek povrchu substrátu nebo případné narušení, deformaci či poškození sádrovcových krystalů, případně také vznik nebo alteraci vedlejších produktů čištění.



*Obr. 10: Na uměle znečištěných površích byly zkoumány hraniční možnosti čištění laserem a negativní projevy. Příklad slinutí povrchové části sádry po čištění laserem EOS 1000 SFR. V pravém dolním rohu jsou patrné odhalené nezměněné krystaly sádrovce. SEM, BSE. Foto Petra Lesniaková.*



*Obr. 11: Příklad výskytu mikroskopických defektů na krystalech sádrovce a slinutí částic železité černi do kulovitých útvarů po čištění Qs laserem Thunder Art. SEM, BSE. Foto Petra Lesniaková.*

### 3.4 Zkoušky čištění a referenční plochy

Zkoušky čištění by měly být vybrány na základě předpokladů z vizuálního a laboratorního průzkumu. V ideálním případě by měly proběhnout nejprve na zkušebním přirozeně nebo uměle znečištěném sádrovém tělísku, zvláště pokud je metoda experimentální. Každou uvažovanou metodu je však nutné ověřit přímo na objektu, respektive na zkušební ploše, která se při frontálním pohledu na dílo uplatňuje co nejméně. Podle nastíněných kritérií lze zvolit například tři různé techniky čištění a u každé z nich na díle vyzkoušet různou intenzitu. Při zkouškách čištění je třeba zohlednit fakt, že na jednom objektu se může vyskytovat několik různých povrchů s různě ulpělými nečistotami, a proto je třeba zkoušky provádět na všech typech povrchů.



*Obr. 12, 13: Zkoušky čištění je nutné důkladně zdokumentovat pro zdůvodnění výběru a koncepce. Jsou obvykle prováděny na zadních či bočních stranách odlitku, které jsou skrytější přímé konfrontaci s divákem. Na obrázku jsou vidět vzorky provedené agarem, lasery, plastickými gumami i smáčenou vatovou tyčinkou.*

### **3.5 Stanovení koncepce míry čištění**

Koncepce míry čištění by měla vždy vycházet z vizuálního i instrumentálního posouzení povrchu. Některé záměrné povrchové úpravy totiž mohou působit jako nečistoty, zvláště po mnoha letech nevhodného uložení. Instrumentální laboratorní analýza může prokázat na povrchu přítomnost prvků pigmentů nebo pojiva. V některých případech ale ani laboratorní analýza nemusí rozlišit rozdíl mezi nečistotou a povrchovou úpravou. Jedním z možných sochařských postupů, vedoucích ke zvýraznění plasticity modelu, byla úprava povrchu díla různými hlinkami a nečistotami. Takovou povrchovou úpravu lze odlišit spíše vizuálním hodnocením typických projevů, jako je rovnoměrnost vrstvy a logika v celkovém plastickém projevu na odlitku, než mechanickým odebráním vzorků a laboratorní analýzou.

Na základě výsledků restaurátorského průzkumu zahrnujícího poznání složení a stavu díla, způsobu depozice a charakteru nečistot, ale také shromáždění informací o původním účelu odlitku a jeho historii, bychom měli dospět ke koncepci restaurování, respektive čištění. Při stanovení této koncepce je často brán ohled na původní vzhled díla, na jeho případnou původní záměrnou patinu, případně také na patinu vzniklou existencí díla v čase -tzv. patinu stáří. V současné době většinou obecně nedochází k celkovému čištění díla ve snaze o původní vzhled už kvůli možnému poškození původního substrátu originálního díla. Konzervační zákrok čištění se naopak stále více zaměřuje spíše na vyrovnávání barevných kontrastů ke zvýraznění působení díla, samozřejmě za současného odstranění depozitu, který by mohl v budoucnosti způsobit další degradaci materiálu.



Obr. 14, 15: Alegorie Ochrany pro budovu Assicurazioni Generali na Václavském náměstí, Autor Stanislav Sucharda, restaurování Petrou Zítkovou. Po provedení technologického průzkumu i zkoušek čištění zůstalo nejasné, zda bylo dílo opatřené záměrnou povrchovou vrstvou. Proto bylo na díle provedeno jen základní čištění volného depozitu a sjednocení znečištěných ploch. Světlé oděrky byly retuší ztmaveny.

#### 4 METODY ČIŠTĚNÍ SÁDROVÝCH POVRCHŮ

Pro čištění sádrových objektů je využívána škála různých tradičních i moderních metod, přičemž zejména ty tradiční, řemeslné, jsou značně razantní. V případě některých metod je dělení na tradiční a současné metody obtížné nebo zavádějící, protože se kategorie částečně prolínají. Některé historické metody se proměnily ve volbě odlišného materiálu citlivějšího k sádrovému povrchu, přičemž princip absorpce nečistot ze sádry zůstal stejný.<sup>8</sup> V následujícím textu shrnujeme metody, které patří k těm šetrnějším a v restaurátorské praxi nejlépe využitelným. Zjednodušeně můžeme dělit metody čištění na mokré a suché. Mokré metody

<sup>8</sup> Pozn. Například historická metoda používání zábalů škrobového mazu byla nahrazena jinými sorpčními materiály.

spočívají v působení kapalin. Nejčastěji krátkodobě v kombinaci s mechanickým čištěním, nebo delším působením, kdy je nosičem kapaliny gel nebo zvlhčený sorbent (zábal). V souvislosti s čištěním povrchově neupravené sádry je nejčastěji jako médium vybírána demineralizovaná voda či voda s přísadkou povrchově aktivních látek (detergentů, smáčidel). U suchých metod se při čištění sádry nejčastěji využívá otěr či nalepení nečistoty na používané médium, abraze tryskáním, či bezkontaktní laserová ablace. Jak již bylo zmíněno, mokré i suché metody mají své výhody a nevýhody a při citlivém použití nelze předem vyloučit jejich použití.

## 4.1 Mokrý metody

Použití smáčených vatových tyčinek je v restaurátorské praxi jedna z nejběžnějších metod. Vatová tyčinka je nejčastěji vlhčená demineralizovanou vodou a jemnými krouživými pohyby jsou nečistoty ze sádrového povrchu odstraňovány. K omezení smáčení povrchu a lepší rozpustnosti nečistot lze využít i rozpouštědla jako například etanol, případně i v kombinaci s vodou. Hlavní nevýhoda této metody spočívá v přímém kontaktu a otěru sádrového povrchu. Voda navíc může rozpouštět sádrovou, a kromě úbytku původního povrchu může docházet i k zanášení pórů nečistotami a změně mikroreliefu.

K čištění soudržných povrchů památkových objektů lze použít „slupovací“ polymerní filmy vzniklé zpravidla z vodných polymerních disperzí. Mechanismus je založen v adhezi nečistot k vrstvě, která je nanášena například štětcem v kapalné formě, případně formě gelu na povrch objektu. Po jejím zaschnutí vzniká polymerní elastický film, který je možné i s nečistotami snadno sloupnout. K tomuto účelu se používají zejména polymerní disperze, které nepenetrují do porézního systému materiálu. V souvislosti s čištěním sádry je například v disertační práci od M. Berzioli<sup>9</sup> uvedena možnost použití produktu Vinavil na bázi polyvinylacetátu. K dalším čisticím polymerním látkám lze zařadit produkt Arte Mundit.<sup>10</sup> Za hlavní nedostatek této metody čištění lze považovat obtížnou kontrolovatelnost procesu čištění i nebezpečí odstranění vrstvy nečistot i s původním materiálem.

Agar<sup>11</sup> pro relativně snadnou dostupnost a nenáročnou zpracování představuje šetrnou a efektivní metodu mokrého čištění na bázi gelů. Metoda je více než 20 let vyvíjena přímo pro

---

<sup>9</sup> BERZIOLI, M. *An analytical and applicative approach to the cleaning of artworks* [online]. Parma, 2011 [cit. 2017-01-16]. Disertační práce. UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA, s. 24.

<sup>10</sup> *Arte Mundit* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.remmers.com](http://www.remmers.com).

<sup>11</sup> Agar přírodní polysacharid s vysokou gelující schopností.

čištění sádry především italskými konzervátory a o tématu je dostupná celá řada publikací.<sup>12,13,14,15</sup> Agar je běžně dostupná surovina, která se prodává jako jídelní doplněk, nicméně pro čištění se používají spíše produkty získané u specializovaných prodejců. V literatuře se zpravidla uvádějí následující možnosti použití agarového gelu, jehož koncentrace se většinou pohybují v přibližném rozmezí 0,5–5 % hm.<sup>16</sup> Množství uvolněné vody z pevného gelu je také závislé na tlaku při aplikaci (špachtlí, štětcem). Nejčastěji jsou uváděny tři základní metody, respektive formy nanášení gelu v různých konzistencích.

1. Nanášení ve formě chladnoucího tekutého gelu při teplotě 40–50 °C na povrch objektu štětcem nebo špachtlí.
2. Aplikace gelové vrstvy (fólie) získané ze zatuhnutého gelu na povrch díla.
3. Aplikace jemně rozemletého gelu „sněhové“ konzistence například špachtlí, případně s následnou aktivací nanášením tekutého gelu štětcem, případně špachtlí.

Riziko použití agaru spočívá v možnosti zanechání reziduí v porézním systému sádry. Tyto rezidua pak mohou být živnou půdou pro mikrobiologické napadení.

Sorbenty na bázi silikátů a aluminosilikátů (silikagely, křemelina, alumina) a derivátů celulózy (hydroxymethylcelulóza, karboxyethylcelulóza) jsou dle literatury další účinnou tradiční metodou. Zábál se nechává na povrchu sádry působit až několik desítek minut, musí se však

---

<sup>12</sup> SCOTT, C. L. The use of agar as a solvent gel in objects conservation. *Objects Specialty Group Postprints* [online]. 2012, 19, s. 74. dostupné z: <http://resources.conservation-us.org/wp-content/uploads/sites/8/2014/12/osg019-04.pdf>

<sup>13</sup> ANZANI, M. a kol. 2010. Gel rigidi di agar per il trattamento di pulitura di manufatti in gesso. CESMAR 7.

<sup>14</sup> SANSONETTI, A. a kol. A CLEANING METHOD BASED ON THE USE OF AGAR GELS: NEW TESTS AND PERSPECTIVES. In: *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University* [online]. New York, 2012 [cit. 2017-01-16]. s. 3.

<sup>15</sup> CREMONESI, P. Surface cleaning? Yes, freshly grated agar, please. *Studies in Conservation*. 2016, 61(6), s. 363.

<sup>16</sup> SANSONETTI, A. a kol. A CLEANING METHOD BASED ON THE USE OF AGAR GELS: NEW TESTS AND PERSPECTIVES. In: *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University* [online]. New York, 2012, s. 2.

vždy odstranit před jeho úplným vyschnutím kvůli nebezpečí smrštění a mechanickému působení na sádrový substrát. Podrobnější seznam sorbentů a jejich modifikací využívaných k čištění sádry uvádí ve své publikaci Badde.<sup>17</sup> Uvádí zde také možné kombinace některých zmíněných produktů s mikronizovaným oxidem křemičitým nebo s karboxymethylcelulózou (CMC) v podobě pasty. Detailní receptury je však velmi obtížné v literatuře dohledat.<sup>18</sup>

## 4.2 Suché metody

Suché čištění mechanickými metodami za použití měkkých gum je v praxi nejpoužívanější, neboť je dostupné, rychlé a s povrchu sádry účinně odstraňuje široké spektrum depozitů. K nevýhodám dle literatury<sup>19</sup> patří zanechávání mastných reziduí na povrchu. Mastnota média může zvýšit riziko zanechávání reziduí na povrchu sádry. Při použití těchto gum je vhodnější nečistoty na povrch gumy spíše navalovat, aby nedocházelo k poškození povrchu.

Mikroabraze je založena na mechanickém obrušování povrchu různými typy abraziv. Abrazivum je unášeno tlakovým vzduchem a intenzitu čištění lze regulovat, kromě volby abraziva, i tlakem vzduchu. A velikostí a tvarem trysky. Kvůli velké variabilitě různých abraziv a mimořádné citlivosti dnešních restaurátorských přístrojů je dnes již zcela běžné například čištění polychromií nebo štuků. Mikroabraze se na sádrové objekty se příliš nedoporučuje kvůli měkkosti a citlivosti podkladového materiálu. Literatura však uvádí, že se používá zejména u větších objektů, kde malá či mikroskopická ztráta povrchu není zásadním problémem. Metoda může být v porovnání s jinými vhodnější, například u otevřených a narušených sádrových povrchů, které mají vysokou porozitu a komplikovaný mikrorelief, a u objektů, které mají souvislejší plochy bez dramatických plastických výstupků. Obecně je lépe volit pro sádro jemnostnější abrazivum.

---

<sup>17</sup> BADDE, A. Dust on busts: dust on plaster surfaces, focussing on the portrait busts in the Rococo Hall of the duchess Anna Amalia Library in Weimar. 2009. Disertační práce Northumbria University at Newcastle, Newcastle.

<sup>18</sup> V jedné z tradičně používaných francouzských receptur je uváděno použití následující směsi: 97% hlinitého prášku „attapugite“ nebo „palygorskite“, 3% CMC 2Na (karboxymethylcelulóz), voda (asi 8 litrů vody pro 2 kg suché směsi). Zdroj: konzultace Ecole de Baux Arts, Tours, Francie.

<sup>19</sup> BERZIOLI, M. *An analytical and applicative approach to the cleaning of artworks* [online]. Parma, 2011 [cit. 2017-01-16]. Disertační práce. UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA. s. 25.

Bezkontaktní suchá laserová ablace by měla představovat vhodnou metodu čištění sádrových artefaktů, jelikož při ní nehrozí například rozpouštění sádry jako při použití vodných metod čištění nebo nadměrná abraze povrchu. Navíc se jedná o velmi citlivou a vysoce selektivní metodu s dobrou kontrolovatelností procesu čištění, která je běžně úspěšně využívána v restaurátorské praxi.<sup>20,21,22</sup> Teoreticky by měla být vhodnost čištění laserem objektů zhotovených ze sádry dále podpořena vysokým barevným kontrastem mezi bílou sádrovou podložkou a tmavými depozity. Na druhou stranu se na světlé a navíc poměrně vysoce pórovité sádre mohou intenzivněji uplatnit nežádoucí vizuální změny, které byly zaznamenány v praxi i potvrzeny experimentálně nejen po laserové ablací sádry, ale i dalších materiálů objektů kulturního dědictví.<sup>23,24,25</sup> Při nesprávném nastavení, nebo užití nevhodného typu laseru může docházet k nežádoucím změnám, které se vizuálně projevují zejména žloutnutím a tmavnutím povrchu či nehomogenním odstraněním nečistot.<sup>26</sup> V restaurování se používají především pulzní pevnolátkové Nd:YAG lasery s různými parametry. Právě parametry různých laserů jsou určující pro výsledek čištění, zejména vlnová délka paprsku,

---

<sup>20</sup> SENESI, G. S. a kol. Laser cleaning and laser-induced breakdown spectroscopy applied in removing and characterizing black crusts from limestones of Castello Svevo, Bari, Italy: A case study. *Microchemical Journal* 124, 2016, s. 296–305.

<sup>21</sup> DE CRUZ, A., M. L. WOLBARSHT a Susane. A. HAUGER. Laser removal of contaminants from painted surfaces. *J. Cult. Heritage*. 2000, (1), s. 173-180.

<sup>22</sup> SIANO, S. a kol. The Santi Quattro Coronati by Nanni di Banco: cleaning of the gilded decorations. *Journal of Cultural Heritage*, 2003, vol. 4, s. 123–128.

<sup>23</sup> SIANO, S., J. AGRESTI, I. CACCIARI a D. CIOFINI. Laser cleaning in conservation of stone, metal, and painted artifacts: State of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers. *Applied Physics A* [online]. 2012, (106(2)), 419-446 [cit. 2019-05-22].

<sup>24</sup> BORDALO, R., P.J. MORAIS, C. R. YOUNG a R. M. ALMEIDA. Characterisation of laser-induced physical alterations of pigmented oil layers. *E-Preservation science* [online]. 2012, (Vol. 9), s. 47–59 [cit. 2019-05-22].

<sup>25</sup> DOEHNE, E. a C. A. PRICE. Stone conservation an overview of current research. *The Getty Conservation Institute Los Angeles* [online]. 2010 [cit. 2019-05-22].

<sup>26</sup> LESNIAKOVÁ, P., P. MROVĚC a J. ĎOUBAL. Čištění povrchově neupravené sádry laserem. *Fórum konzervátorů-restaurátorů*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018, s. 51-57.



doba trvání pulzu a energetická hustota (fluence) paprsku. Z dostupných testovaných laserů vykazuje při optimálním nastavení poměrně dobré výsledky SFR lasery, případně Q-switched lasery při vlnové délce 355 nm.<sup>27</sup>

### 4.3 Čištění sádry od kovových korozních produktů

Samostatnou kapitolu v čištění sádry představuje téma redukce a čištění korozních kovových produktů, tedy znečištění způsobené kovovými armaturami a komponenty odlitku. Ačkoli jde o velmi odlišnou problematiku, než je znečištění povrchů sádry depozity, u odlitků se s ní často setkáme a do komplexního čištění objektu je tedy nutné ji v těchto případech zahrnout. K tomuto dílčímu tématu dosud není adekvátní literatura a v restaurátorské praxi je tento problém znečištění většinou řešen barevnou retuší. Při redukci těchto korozních produktů lze využít komplexotvorné sloučeniny jako je chelaton III nebo Tiron či málo koncentrované roztoky slabých karboxylových kyselin (např. šťavelové nebo citronové).<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> Thunder Art je tzv. „Q-switched“ (Qs) laser s dobou trvání pulzu okolo 10 ns a možností volby vlnové délky. EOS 1000 SFR je tzv. „Short free running“ (SFR) laser, který má mnohem delší trvání pulzu, jež se pohybuje v rozmezí 30-120 μs. To znamená, že puls SFR je zhruba 1000× delší, než puls Q-switched laserů.

<sup>28</sup> PAROBK, Martin. Dva případy restaurování sochařských děl ze sádry, Litomyšl 2011, Diplomová práce. Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, s 116-120.

## 5 POSTUP ČIŠTĚNÍ NA VYBRANÝCH OBJEKTECH ZE SÁDRY

Následující příklady restaurovaných děl reprezentují modelové případy různých přístupů k čištění a souvisejícím restaurováním sádrových plastik. Při výběru vhodné metody čištění bylo postupováno v souladu s výše uvedenými postupy směřujícími k výběru optimálního způsobu a míry čištění. Na základě charakteru povrchu, laboratorních testů a provedené rešerše bylo vybráno několik metod čištění, které byly aplikovány na vzorových plochách a porovnávány. Výběr metody čištění, respektive jejich kombinace, vycházel ve všech případech z komplexního vyhodnocení zkoušek čištění. Čištění bylo provedeno jako součást komplexního restaurátorského zásahu na objektech.

### Chemicko-technologická analýza povrchu odlitku

Na každém z odlitků byly nejprve odebrány vzorky povrchu k analýze nečistot a případných povrchových úprav. Průzkum byl prováděn následujícími metodami:

- a) Optická mikroskopie nábrusů v odraženém bílém světle a fluorescenci (UV a modrém světle)
- b) Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s mikrosondou (EDX) - prvková analýza vrstev
- c) Infračervená mikroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) - analýza povrchových vrstev

V rámci dokumentace a kontroly zkoušek čištění i restaurování byl využit stereoskopický mikroskop Nikon SMZ 745T s možností zvětšení objektivu 0,67 ×, 2 × a 5 ×. K fotografické dokumentaci byl použit fotoaparát Canon Eos 60 D, makroobjektiv EF100 f/2.8L Macro IS USM (Canon) a zdroj UV záření.

### Vybrané metody čištění

- 1) Laser EOS 1000 SFR
- 2) Tvárlivé pryže Koh-i-noor
- 3) Gel z agaru, destilovaná voda
- 4) Mikropískovačka Sandblaster, bílý technický korund 360, kompresor
- 5) Vatová tyčinka, destilovaná voda
- 6) Individuální použití dalších metod – gel z Laponitu,

## **5.1 Model alegorie průmyslu pro průčelí Městského muzea v Hradci Králové**

### **5.1.1 Popis objektu**

#### Námět a umístění:

Párová plastika sloužila jako model k sochám na průčelí Městského muzea v Hradci Králové. Námět zobrazuje alegorii průmyslu.

#### Materiál a technika odlévání:

S největší pravděpodobností za pomoci ztracené formy, sádra, dřevěné výztuže.

#### Povrchová úprava:

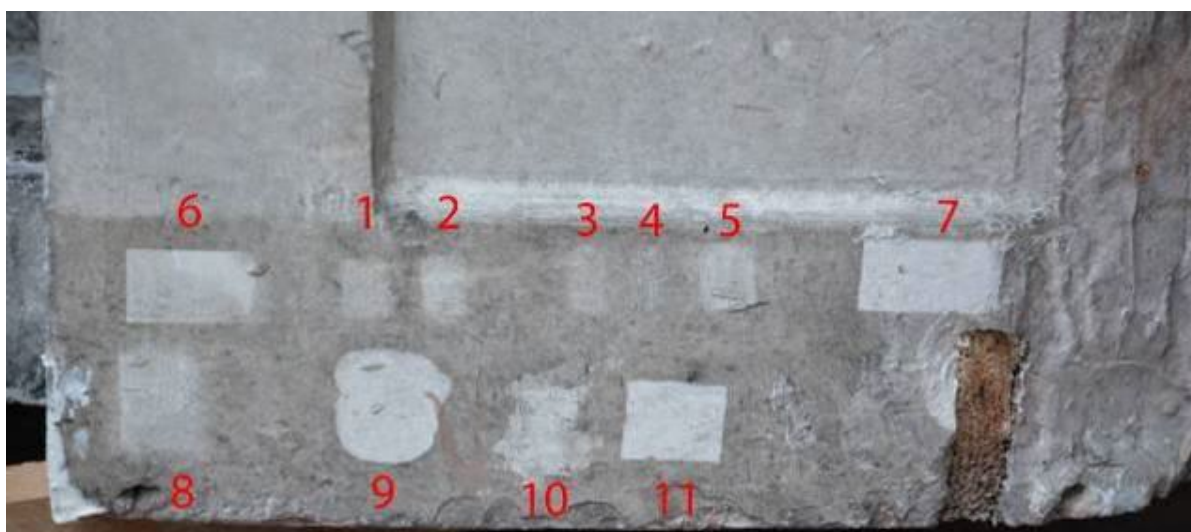
Nepodařila se prokázat, povrch a struktura je odlišná od párového modelu alegorie Historie.

#### Popis poškození a znečištění:

Objekt byl spolu s dalšími sádrovými odlitky nevhodným způsobem uskladněn na půdě vily Stanislava Suchardy v Praze, kde byl vystavený působení vlhkosti a prachu. Je evidentní, že povrch sádry byl vystaven i působení stékající vody. To se nepochybně velice podepsalo na celkovém vzhledu odlitku. Odlitek byl později přesunut do sklepení vily, kde byly podmínky o poznání šetrnější. Držela se zde konstantní vlhkost a teplota, a již zde nebyl vystaven kontaktu s vodou. Celý povrch je pokrytý prachovými depozity, jak už lehce odstranitelnými jemnými částicemi, tak i hůře odstranitelnou krustou a zateklinami zasahujícími hlouběji do povrchu. Na odlitku jsou patrná především mechanická poškození, jako jsou drobné rýhy či prasklinky. Některé části chybí úplně.

Figura alegorie Průmyslu je o něco lépe zachovaná než druhá párová plastika. Prachové depozity a znečištění povrchu je tu sice také ve velké míře, ale celková hmota sádry je zachována. Na odlitku chybí pouze pravá dlaň, která nebyla nalezena. Na pravé bočnici křesla chybí pravý zadní roh, ze kterého část hmoty křesla schází. Ztráta povrchu a drobné odřeniny jsou patrné především směrem dolů od levého kolene. V levé části sochy na šatech můžeme najít kolem jednoho centimetru hluboké díry způsobené právě stékající vodou. Povrch je zde do hloubky vymytý, ale zachovaná hmota je soudržná. Na spodní části sochy, zejména na křesle pod nohama, a také na zadní části, můžeme najít znečištění červenorůžovou barvou, které se objevovalo i na dalších odlitcích přivezených ze Suchardovy vily. Toto znečištění bylo identifikováno jako protipožární nástřik zanesený na povrch pravděpodobně

neopatrnou aplikací protipožární směsi na dřevěné části půdy. Tento nástřík můžeme najít také na vnitřní straně odlitku. Z vnitřní strany je odlitek opatřen dřevěnými výztužemi. Ty jsou také značně znečištěné prachovými depozity, a také již zmíněným protipožárním nástříkem. Horizontální dřevěná výztuž je ve spodní části prasklá v půli. Na levém opěradle křesla stojí v samotné realizaci na průčelí muzea v Hradci Králové, pro které tyto pomocné modely vznikly, bronzová figura muže stojícího ve vzpřímené poloze, představující Hradec Králové. Na odlitku je pro tuto sošku místo, soška však chybí.



Obr. 17: Rozšířené zkoušky čištění 1 - Pryž tvárlivá 6422 - KOH-I-NOOR, 2 - Pryž 6426 tvárlivá super extra soft – KOH-I-NOOR, 3 - Kombinovaná guma pryž červeno - modrá 6521 / 60- KOH-I-NOOR –použita červená část středně tvrdá, 4 - Kombinovaná guma pryž červeno- modrá 6521 / 60- KOH-I-NOOR – použita modrá část s příměsí pemzy, 5 - Pryž extra tvrdá 6641, 6, 7 - Mikroabrazivní metoda čištění – korund F360, přístroj Airblastter I, tlak 2,5 až 3 Bar 8 - Laser – 1,4 J/ cm<sup>2</sup> 9, 11- Agar – přírodní polysacharid – nanášení tuhajícího gelu o teplotě cca 45 °C 10- Agar – přírodní polysacharid – nanášení polotuhé fólie po vychladnutí.

## 5.1.2 Popis zkoušek čištění a výsledky

Zkouška čištění vodou měla pouze minimální efektivitu, proto výsledek nebyl nafocen k dalšímu vyhodnocení. Mikroabrazivní metoda v tomto případě nebyla použita, neboť by mohlo dojít k poškození povrchových úprav nebo ke změně charakteru povrchu.

Gel z agaru byl vyzkoušen ve dvou základních konzistencích. Vyzkoušeno bylo nanášení tuhajícího gelu o teplotě cca 45 °C a nanášení polotuhé folie (cca 1 mm silné) po vychladnutí. Ačkoli obě zkoušky prokázaly poměrně dobrý výsledek čištění, stejně jako v ostatních případech pravděpodobně došlo k migraci organických látek, což se projevilo vznikem specifické UV fluorescence v okolí čištěných míst. Z tohoto důvodu bylo vyloučeno čištění agarem. Čištění pomocí agaru je kromě toho v tomto případě hůře kontrolovatelné kvůli odlišně lokálně degradovanému povrchu plastiky. Při zkoušce úplného zaschnutí folie (do druhého dne) bylo čištění až příliš efektivní a mohlo docházet k odstranění povrchové vrstvy, případně degradovaných částí sádrového materiálu.

### Plastická guma měkká



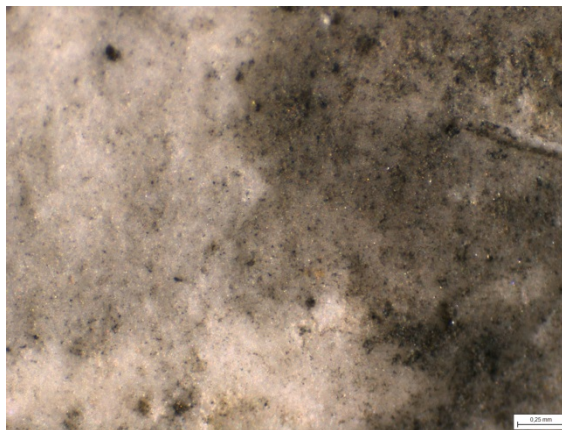
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

Plastická guma tvrdá



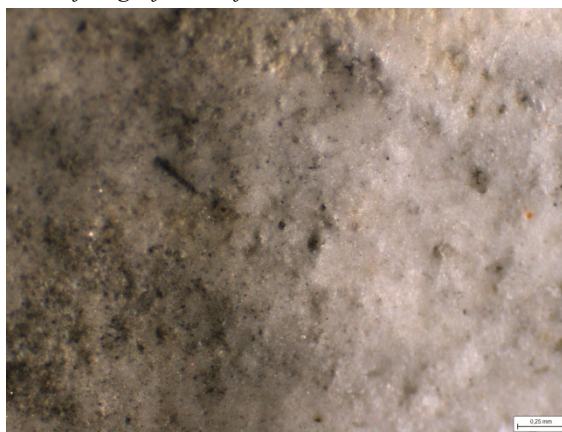
*Makrofotografie, denní světlo*



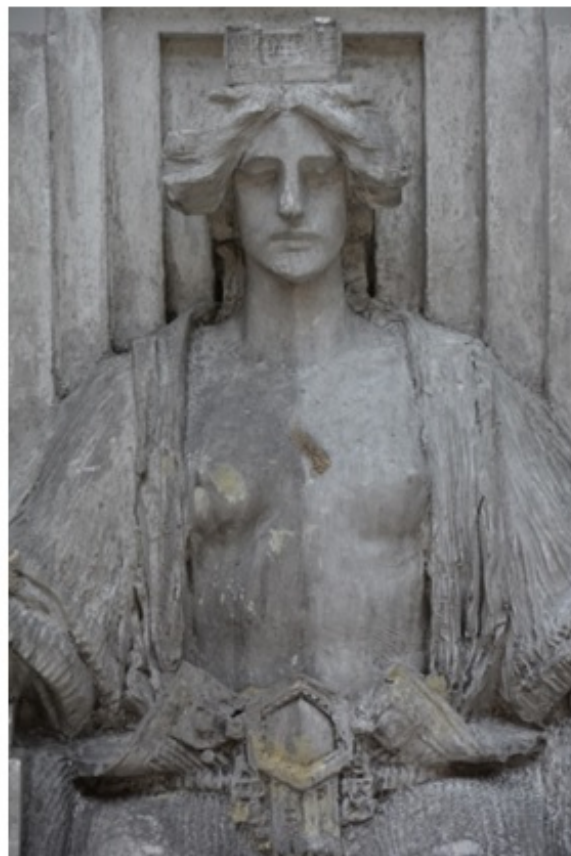
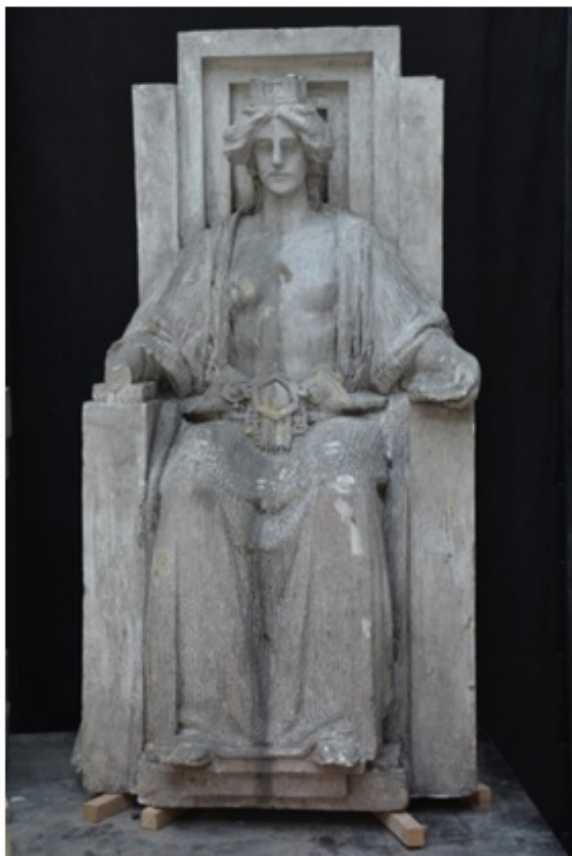
*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*



*Obr. 18, 19: Alegorie průmyslu v procesu čištění plastickou gumou a laserem EOS 1000. Vzhledem k rozsáhlým lokálním degradacím sádrového povrchu nebyl výsledek čištění zcela rovnoměrný.*

### 5.1.3 Vybraná metoda čištění

K čištění byla nakonec vybrána měkká plastická guma, která efektivním a vhodným způsobem předčistila sádrový povrch. Navalováním nečistot na plastickou gumu bylo možno redukovat především volnější depozity. Plochy s nevyrovnaným výsledkem čištění plastickou gumou byly dočištěny laserem EOS 1000 SFR za použití energetické hustoty okolo  $2,8 \text{ mJ/cm}^2$  v závislosti na každé konkrétní místo.

Měkké plastické guma dobře přiléhají k povrchu sádry, vážou na sebe nečistoty a jako jedna z technik čištění sádry mají dobré výsledky. Nezanechávají po sobě mastné stopy ani jiné změny barevnosti. Také se s nimi dá relativně dobře kontrolovat míra čistoty, kterou je potřeba na každém kusu odlitku zvolit individuálně.

Laser má velice dobré výsledky, ať už jde o kritéria jako je šetrnost k povrchu, nebo kontrola míry čištění. K úbytku původní hmoty nedochází a laser velice dobře odstraňuje prachové části. Čištění laserovým paprskem na povrchu sádry probíhá na základě barevného kontrastu jednotlivých látek. Zatímco tmavý povrch nečistot energii pohlcuje a dochází

k interakci (odpaření, odstřelení), světlý povrch jí odráží, což v případě sádky zaručuje kontrolovaný průběh čištění.

Měkké plastické gumy dobře a šetrně čistily povrch. Ale moc dobře nefungovaly na snížení barevných kontrastů na sádře. K estetickému sjednocení povrchu významně přispělo použití Laseru EOS 1000 SFR, který dokázal s větší přesností snížit tmavé kontrasty na povrchu. Laser byl použit s největší opatrností a s cílem, aby co nejméně zanechával na povrchu svojí charakteristickou strukturu teček, i když se tomu nedalo úplně vyhnout. V případě použití laseru je důležité, aby čištění probíhalo velice pečlivě a spíše v několika na sebe navazujících krocích s postupným zvyšováním energetické hustoty. Tato charakteristická struktura se dala následně potlačit opětovným použitím plastické gumy, kdy bylo nutné dbát na to, aby nedošlo k přečištění.



*Obr. 20: Provádění čištění SFR laserem EOS 1000 vyžaduje nejen hledání optimálního nastavení v průběhu zkoušek, ale i zkušenou citlivou práci operátora v průběhu čištění. Například kroužením hlavice spouště se správně zaostřeným bodem dosáhneme rovnoměrnějšího čištění.*



#### 5.1.4 Další zásahy v rámci restaurování daného objektu

Odloučené části odlitku jako fragmenty křesla, byly lepeny reverzibilní akrylátovou disperzí Acrykleber 498 HV. Vzhledem k výstavní koncepci bylo rozhodnuto v konzultaci s kurátorem sbírky doplnění chybějících částí odlitku podle analogických modelů a historických fotografií. Chybějící části byly doplněny tmelem tvořeným směsí sádry Almod LC a tmelu Rokoplast. Před aplikací tmelu byly tmelené původní plochy plastiky opatřeny nátěrem 1 % roztoku šelaku v lihu kvůli snížení nasákavosti povrchu a případné reverzibilitě tmelu. Doplněná místa byla opatřena nátěrem 2-4 % šelaku a barevnou retuší akvarelovými barvami Schmincke Horadam zapojena k harmonickému působení celku odlitku. Barevná retuš byla lokálně aplikována na místa odlitku s nevyrovnaným výsledkem čištění tak, aby bylo dosaženo jednotného působení párových plastik.<sup>29</sup>



Obr. 21, 22: Alegorie průmyslu po očištění během doplňování chybějících částí.

<sup>29</sup> ŠKARVADA, J. *Restaurování sádrových modelů soch pro průčelí muzea v Hradci Králové*. 2017. Praktická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice, s. 39-41.

## 5.2 Reliéf Libuše do Národního domu v Prostějově

### 5.2.1 Popis objektu

#### Námět a umístění

Vysoký reliéf zobrazující kněžnu Libuši. Jedná se o model k následné realizaci v glazované keramice pro Národní dům v Prostějově.

#### Materiál a technika odlévání

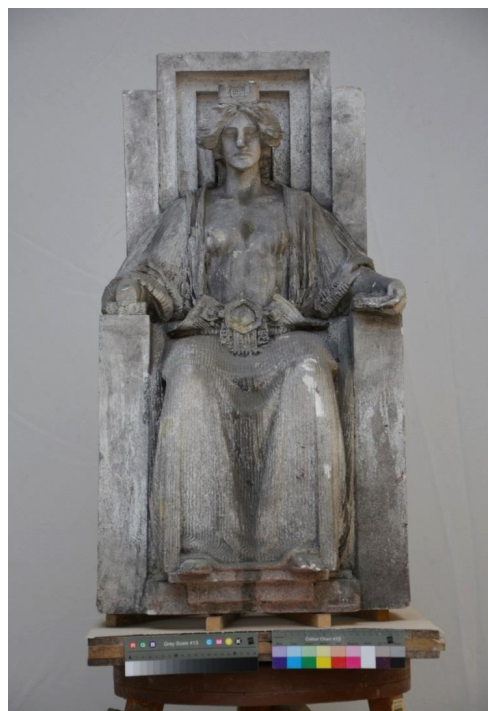
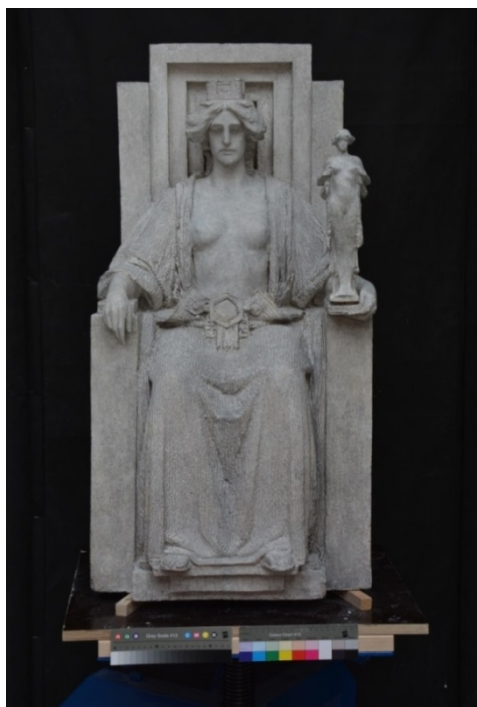
S největší pravděpodobností za pomoci želatinové formy, sádra, železná výztuže

#### Povrchová úprava

Nepodařila se prokázat

#### Popis poškození a znečištění

Pravděpodobně vlivem korodující oceli použité na armatury, popřípadě neopatrnou manipulací, došlo k velkému mechanickému poškození spojenému se ztrátami větších i menších částí díla. Celý povrch je ztmavlý pravděpodobně usazenými prachovými depozity, které jsou v některých místech už pevně zamyty ve struktuře hmoty. Silně znečištěná je oblast hrudníku a nohou figury a horizontální lišty na architektuře. Povrchy horizontálních ploch díla jsou silně degradovány, dochází zde ke vzniku velice otevřené houbovitě struktury. Příčinou tohoto poškození může být voda, která v podstatě povrch do této míry vymyla.

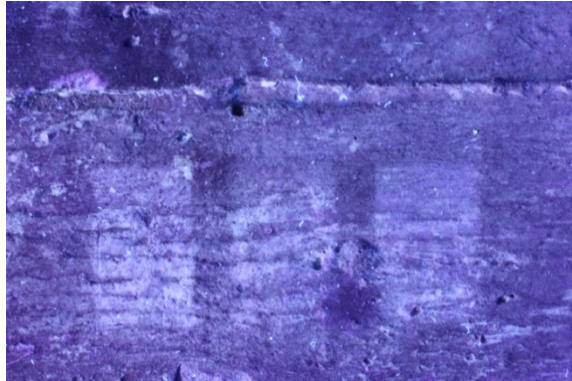


Obr. 23,24: Srovnání alegorie průmyslu před restaurováním a po restaurování. Chybějící části plastiky byly doplněny a spolu s oděrky a světlejšími místy lokálně barevně retušovány.

## Plastická guma



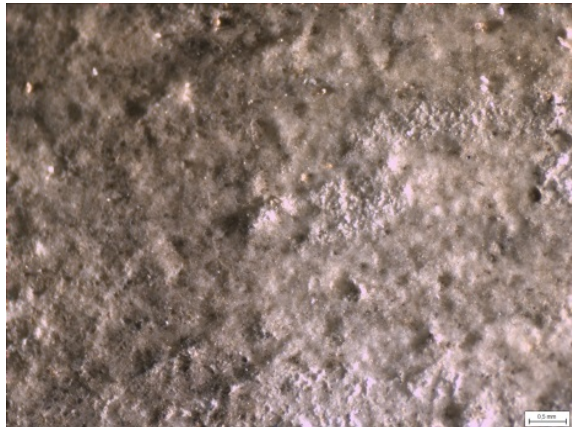
*Makrofotografie, denní světlo*



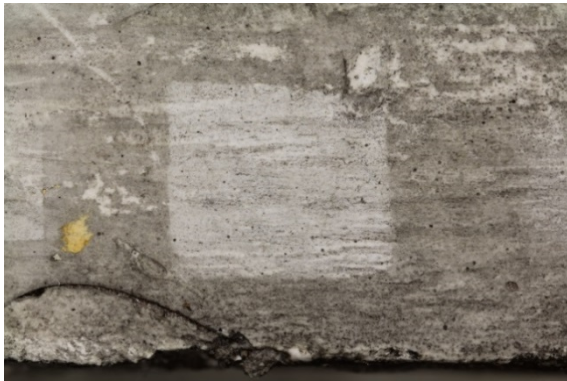
*Makrofotografie, UV fluorescence*



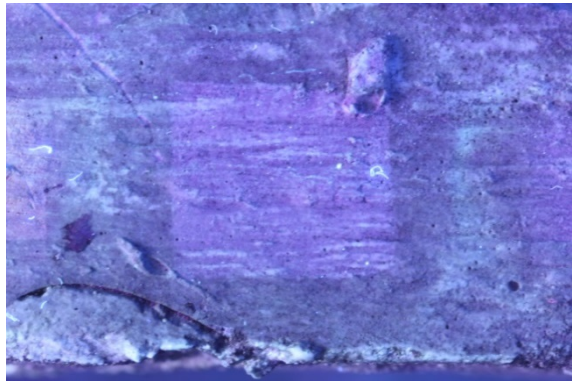
*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×  
Agar – aplikace polotuhého gelu*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*



*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*

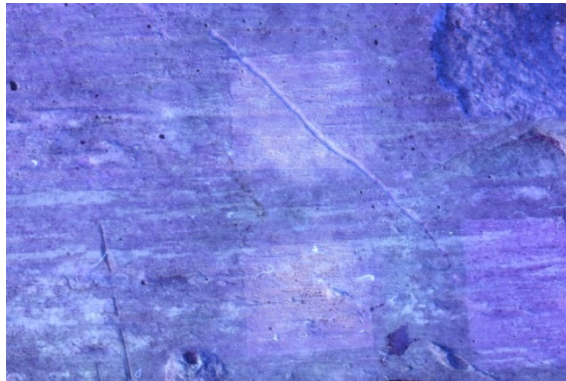


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*

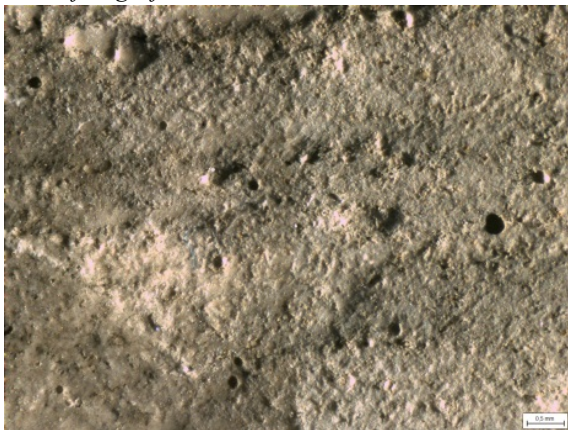
## Laser



*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



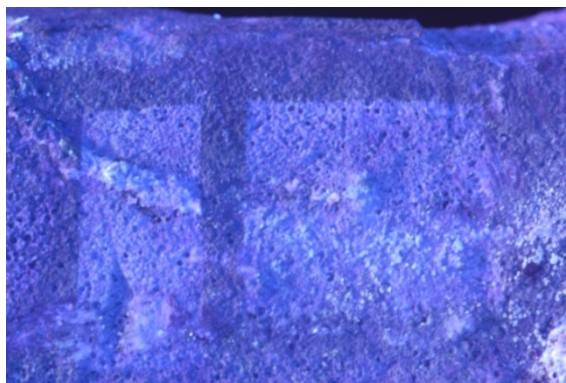
*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×  
Mikroabrazie*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*



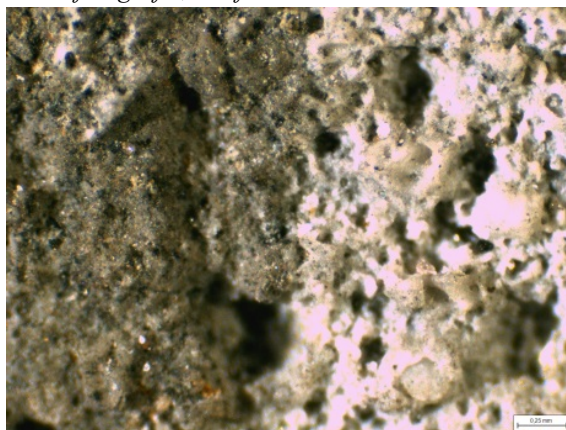
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*



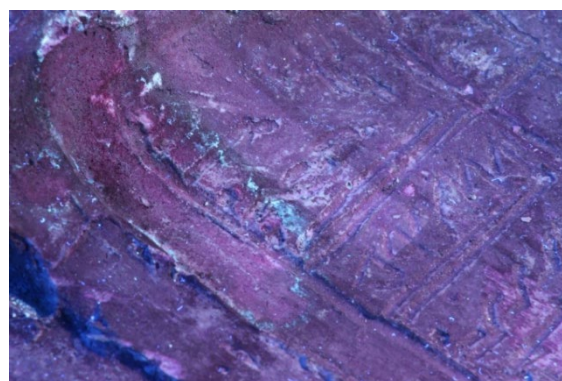
*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

## 5.2.2 Popis zkoušek čištění a výsledky

Zkouška čištění laserem na tomto objektu dosáhla relativně uspokojivých vizuálních výsledků na hladkém povrchu, ale na degradovaných površích byla patrná stopa laseru (tečky). Navíc se očištěný povrch poměrně značně sprášoval, což bylo zřejmě způsobeno vysokou energetickou hustotou laserového paprsku nutnou pro očištění ulpívajících nečistot.

Čištění agarem místy ukázalo poměrně dobré výsledky, i když na degradovaných místech ne úplně rovnoměrné. Nevýhoda této metody je, že ji lze těžko regulovat a je špatně kontrolovatelná. Největším problémem v tomto případě je možná migrace reziduí gelu, která se předpokládá na základě vzniklé specifické UV fluorescence v okolí čištěných ploch. Vzhledem k možnosti mikrobiologického napadení jsou rezidua agaru velice nežádoucí, protože se pro mikroorganismy snadno můžou stát živnou půdou.

Nejlepší výsledky vykazovalo čištění plastickou gumou, i když v nejvíce znečištěných místech nebylo dostatečně účinné. Proto bylo přistoupeno ke zkoušce mikropískování s různými abrazivy. Byly zkoušeny – ořechové skořápky, jemně mletý dolomitický vápenec nebo bílý korund frakce F360. Překvapivě nejlepších výsledků bylo dosaženo s korundem, který je nejtvrdším ze zmíněných abraziv. Tvar zrn skořápek je příliš nepravidelný a čištění tak není rovnoměrné, při kusu s ostřejšími hranami může docházet i k vyštípnutí čištěného materiálu. Dolomitický vápenec měl oproti korundu méně homogenní výsledek a barva očištěného povrchu vykazovala tupější odstín. Díky užití tvrdšího a ostrohranějšího abraziva, které má větší obrušný efekt bylo možné pracovat s mnohem menším tlakem, a tudíž se omezilo nebezpečí popískování na rozhraní různě tvrdých povrchů.



Obr. 25, 26: Zkoušky čištění agarem i mikropískováním projevovaly poměrně optimální výsledky. Při zkoumání v UV světle se však u agaru ukazuje negativní jev fluorescence kolem čištěného místa, která je způsobena penetrací média do porézního systému substrátu.

### 5.2.3 Vybraná metoda čištění

Volné prachové depozity byly odstraněny měkkým štětcem. Rám reliéfu byl mírně očištěn plastickou gumou značky KOH-I-NOOR. Při tomto základním zásahu byla stanovena barevnost, ke které by mělo čištění směřovat. V dalším kroku bylo s ohledem na zkoušky provedené v rámci průzkumu a požadovanou výslednou barevnost, přistoupeno k čištění degradovaných povrchů pomocí mikroabrazivní metody, která teoreticky může být pro sádrové odlitky poměrně riskantní.<sup>31</sup> Opatrnost se nabízí především kvůli tomu, že sádra je velmi měkký materiál a při použití abrazivní metody hrozí jeho ztráta. Nicméně mikropískování může být velmi šetrné, k jeho nesporným výhodám patří dobrá regulovatelnost formou snižování tlaku a možností výběru abraziv. Jemný korund frakce F360 dosáhl vizuálně velmi pěkného rovnoměrného výsledku čištění. Při kontrole optickými mikroskopickými metodami nebyl pozorován žádný úbytek originálního materiálu. Avšak snaha o čištění nečistot migrovaných do porézní struktury materiálu může být spojena s určitým úbytkem původního materiálu (viz příloha č. 1).

### 5.2.4 Další zásahy v rámci restaurování daného objektu

Z technologického průzkumu vyplynulo, že reliéf je napaden plísněmi. Před čištěním byl tedy nejprve desinfikován parami butanolu. Odhalené kovové armatury byly očištěny od korozních produktů mikroabrazí a odrezovačem na bázi kyseliny fosforečné a taninu, následně opatřeny nátěrem na kov Alkyton. Původní armatura byla kvůli celkovému pnutí při vyrovnávání fragmentů rozdělena na dvou místech a po vyrovnání znovu napojena za pomoci nerezových trubiček a epoxidového lepidla Akepox 5010. Odloučené fragmenty byly lepeny akrylátovou disperzí Acrylkleber HV 492. Tmely byly provedeny směsí sádry Almod LC a sádrokartonářského tmelu Rokoplast. Původní tmelená místa byla opatřena roztokem šelaku v lihu v koncentraci 2,5 %. Nejdříve byly tmely opatřeny 4 % bílým šelakem v ethanolu pro sjednocení savosti povrchů. Následně byla provedena barevná retuš pro zapojení nových tmelů a sjednocení výsledného vizuálního vyznění reverzibilními akvarelovými barvami a pigmenty pojenými 1 % arabskou gumou.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> AUSKÁ, Z. *Restaurování sochy sv. Václava z Lažan, restaurování sádrového reliéfu od Stanislava Suchardy*. Litomyšl, 2017. Bakalářská práce. Fakulta restaurování UPa, s. 102-103.

<sup>32</sup> AUSKÁ, Z. *Restaurování sochy sv. Václava z Lažan, restaurování sádrového reliéfu od Stanislava Suchardy*. Litomyšl, 2017. Bakalářská práce. Fakulta restaurování UPa, s. 102-105.



*Obr. 27: Stav před restaurováním.*



*Obr. 28: Stav po očištění a plastické retuši.*



*Obr. 29: Stav po restaurování.*

## 5.3 Podobizna Vlasty Zindlové

### 5.3.1 Popis objektu

#### Námět a umístění

Podobizna Vlasty Zindlové (1901)

#### Materiál a technika odlévání

Želatinová forma, kaširovaná gáza se sádrou, mosazné a železné hřebíčky, zákresy bodů tužkou. Verze odlitku sloužila k vytvoření mramorové kopie (nedokončené, dochované ve sbírkách NG).

#### Povrchová úprava:

Z průzkumu stratigrafie povrchových úprav nevyplývají zásadní informace. Na povrchu sádry se vyskytují nesouvislé tmavé tenké vrstvy. Nelze jednoznačně rozhodnout, zda se jedná o pozůstatky tmavých povrchových úprav nebo o nečistoty. Velmi ojediněle byl na povrchu sádry vzorku 7850 zaznamenán prvek baryum, který by teoreticky mohl pocházet z barytové běloby jako součásti barevné vrstvy.

Vzhledem k vizuálnímu charakteru tmavých částic na povrchu je předpoklad původní patinace objektu téměř vyloučen. Případná povrchová úprava, která se na povrchu vizuálně neuplatňuje, nebyla průzkumem prokázána.



Obr. 30, 31: Vzorek odebraný z části poškozeného nosu v optickém mikroskopu Eclipse LV100D-U (Nikon) v bílém viditelném a UV světle. Ze vzorku je patrné, jakým způsobem jsou depozity propojené se substrátem a že sádra pravděpodobně nebyla nijak povrchově upravována.

#### Popis poškození a znečištění:

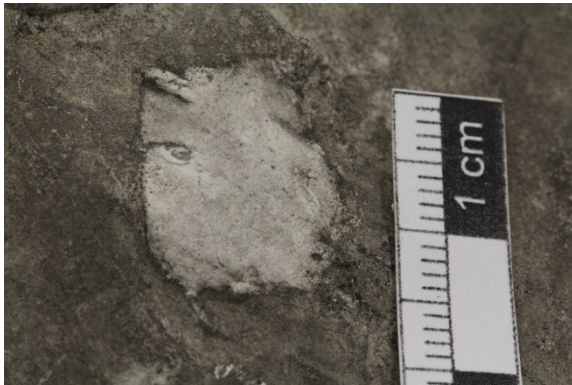
Na díle se vyskytovala mechanická poškození od drobných povrchových oděrků až po větší odloučené části. K významnějším poškozením patří například úbytek materiálu v partii nosu a mechanické poškození v části s drapérií, kterou tvoří křehká gáza obalená tenkou



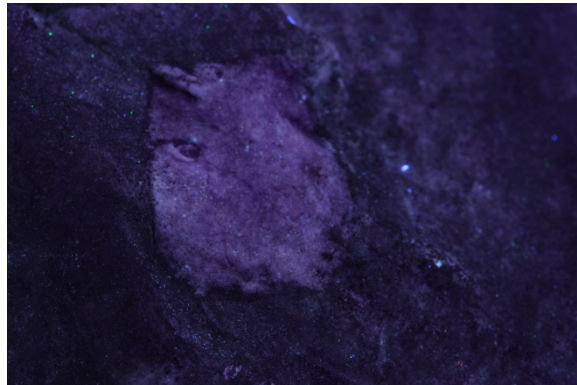
vrstvou sádry. Kolem hřebíčků se nachází korozní produkty z kovových částí migrujících do struktury sádry. Tento problém je patrný především v místě, kde je v plastice zasazen železný hřebík obalený sádro, jehož korozní produkty okolí silně barevně kontaminují.

Nejvýznamnějším poškozením je masivní znečištění způsobené uložením plastiky. Na díle se nacházela velmi silná vrstva volného i ulpělého depozitu. Nečistoty se nerovnoměrně nacházely na celém díle i v zákoutích bohaté modelace, což způsobuje vizuálně rušivý efekt.

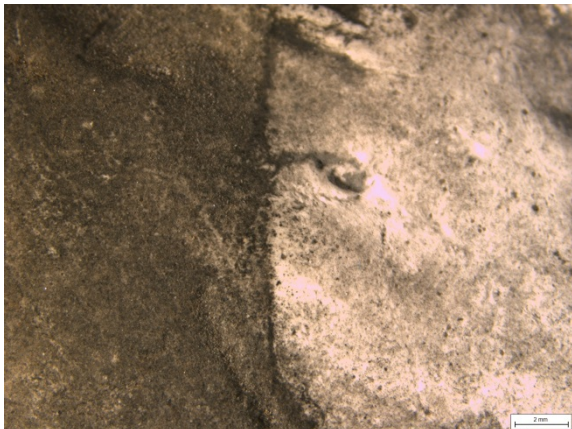
Destilovaná voda + vatová tyčinka



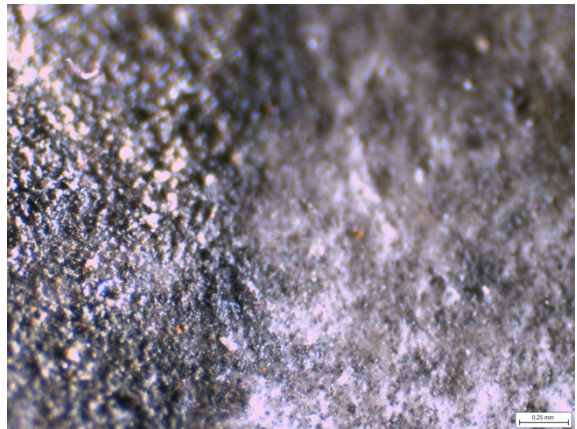
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*

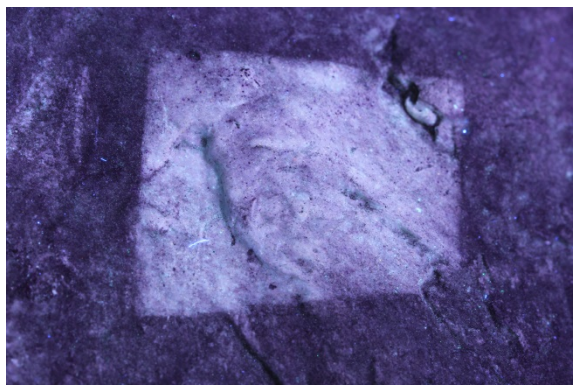


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

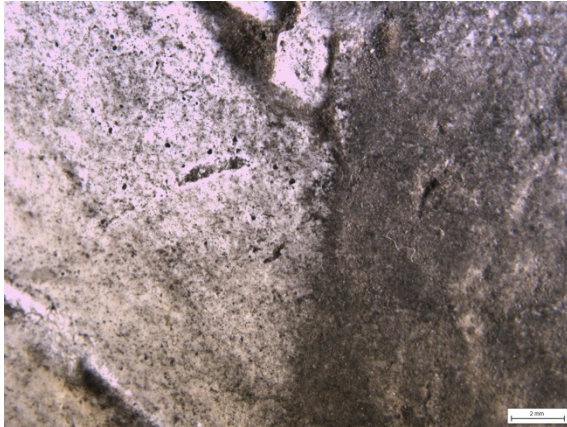
Plastická guma



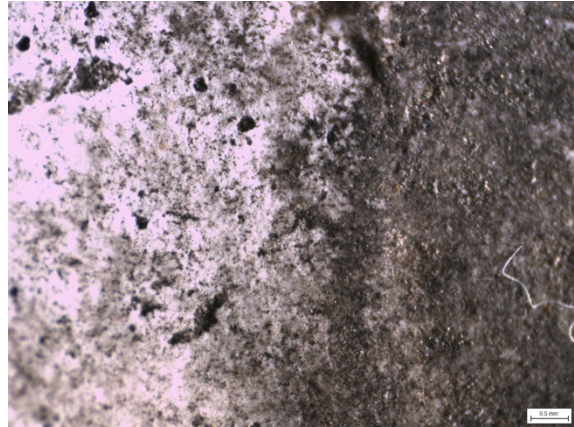
*Makrofotografie, denní světlo*



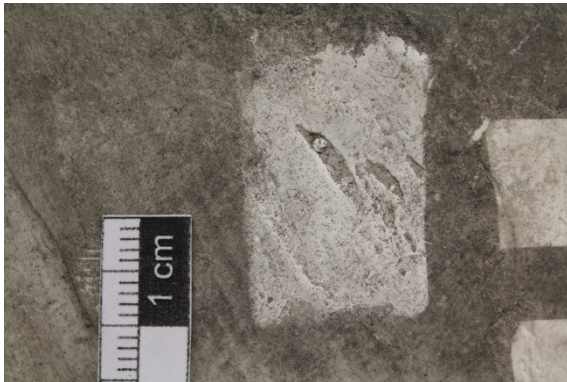
*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*  
**Agar – aplikace polotuhého gelu**



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*



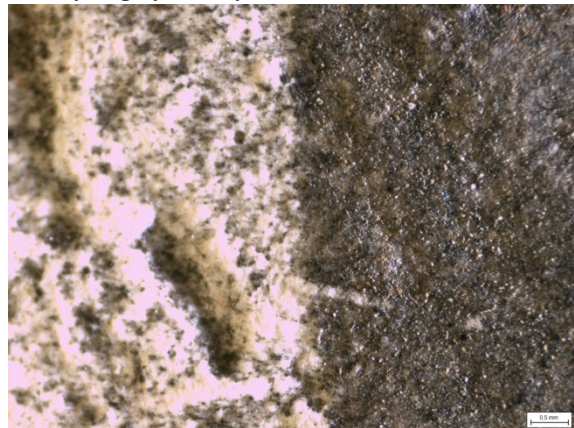
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



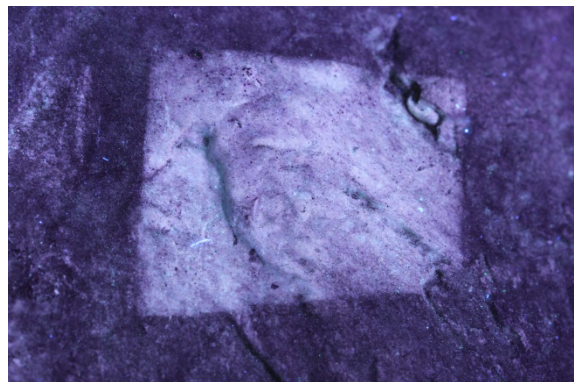
*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*  
**Laser**



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*



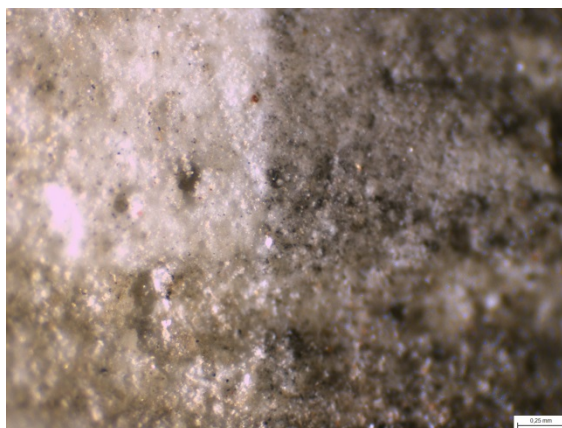
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×  
Mikroabraze*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*



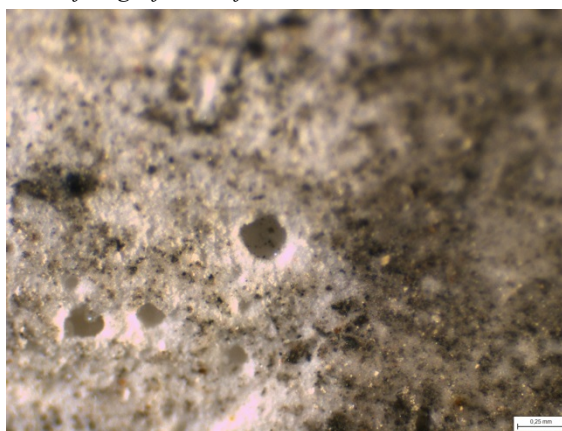
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

### 5.3.2 Popis zkoušek čištění a výsledky

Gel z agaru byl vyzkoušen ve dvou základních konzistencích, bylo zkoušeno nanášení tuhnutího gelu o teplotě cca 45 °C a nanášení polotuhé fólie (cca 1 mm silné) po vychladnutí. Ačkoli obě zkoušky prokázaly poměrně dobrý výsledek čištění, byl zjištěn vznik specifické UV fluorescence, podobně jako v dalších případech, pocházející zřejmě z migrovaných organických složek. Z tohoto důvodu bylo vyloučeno čištění agarem. Kromě

toho je tato metoda nevhodná kvůli možnému nekontrolovanému a nežádoucímu odstranění původních zakreslených bodů tužkou.

Mikroabraze byla v tomto případě nevhodná především kvůli složitému plastickému povrchu objektu. V tomto případě by byl průběh čištění špatně kontrolovatelný, výsledek čištění by mohl být nerovnoměrný a mohlo by dojít i k poškození povrchu plastického reliéfu.

Použití vatových tyčinek s vodou v tomto případě nepřipadá v úvahu především kvůli zamýváním nečistot do porézního systému a nadměrného namáhání povrchu vodou i otěrem.

Laser EOS 1000 SFR byl vyzkoušen v několika intenzitách nastavení, konkrétně při  $1,8 \text{ mJ/cm}^2$ ,  $2,5 \text{ mJ/cm}^2$ ,  $2,8 \text{ mJ/cm}^2$  a  $3,5 \text{ mJ/cm}^2$ . Zkoušky přímého čištění masivně znečištěného povrchu však prokázaly mírnou změnu barevnosti. Kromě toho nebylo možné kontrolovat zachování stop tužky.



Obr. 32, 33: Úspěšně testované plastické pryže

Zkouška čištění Tvárlivou pryží 6422 - KOH-I-NOOR prokázala dobré výsledky čištění volného depozitu, bylo možné kvůli případné volbě citlivosti a postupnému odstraňování volného depozitu neporušit zákresy tužkou. Složitý reliéf povrchu a pórozita některých částí však umožňuje jen částečnou dostupnost povrchu, rovnoměrné dočištění bylo velmi obtížné.



Obr. 34, 35: Během předčištění podoby z plastické gumy se začaly objevovat body zakreslené tužkou i na místech, kde se původně kvůli silnému prachovému depozitu neuplatňovaly. Laserovou ablací bylo možné díky malému průměru bodu dočistit místa kolem těchto bodů.

### 5.3.3 Vybraná metoda čištění:

Ze zmíněných důvodů bylo přistoupeno k postupnému čištění povrchu za pomoci plastické gumy dvou tvrdostí - Pryž tvárnivá 6422 - KOH-I-NOOR, pryž 6426 tvárnivá super extra soft – KOH-I-NOOR. K dočištění povrchu byl použit laser EOS 1000 SFR v nastavení  $2,5 \text{ mJ/cm}^2$ . Při dočištění nebyla pozorována další změna barevnosti, technika čištění laserem umožnila bezpečné a citlivé vyhnutí se zákresům tužkou. Při čištění laserem však bylo nutné se vyhnout místům s kovovými částmi a s korozními produkty migrovanými do sádry. Bylo nutné velice pečlivě očistit místa kolem zakreslovaných bodů kombinací tvárnivé pryže Koh-i-noor a laserové ablace tak, aby byl výsledek očištění harmonický.

### 5.3.4 Další zásahy v rámci restaurování daného objektu

Chybějící místa byla doplněna tmelem ze směsi sádry a tmelu Rokoplast v poměru 2:1. Původní plochy pod tmely a doplňky byly opatřeny nátěrem šelaku v lihu v koncentraci 2 %. Kovové hřebíčky byly očištěny od korozních produktů a konzervovány 2 % roztokem Paraloid B72 v toluenu. Tmelená místa bylo nutné zapojit do celku barevnou retuší, která byla provedena na doplňky po nátěru 4 % šelaku akvarelovými barvami Schmincke Horadam.

Rovněž bylo nutné barevně retušovat a sjednotit s celkem některá vizuálně rušivá místa, kde nebyl výsledek čištění jednotný.



Obr. 36, 37: Podobizna Vlasty Zindlové před očištěním a po očištění plastickou gumou a laserem.

## 5.4 Alegorie Ochrany/Větru

### 5.4.1 Popis objektu

#### Námět a umístění

Zkoumaný objekt zobrazuje alegorii Ochrany společně s párovou plastikou zobrazující alegorii Nebezpečí/Ohně, které sloužily jako model k sochám na průčelí fasády pojišťovny Assicurazioni Generali na dnešním Václavském náměstí.

#### Materiál a technika odlévání

Sádrový odlitek s dřevěnými podporami vytvořený pomocí želatinové formy.

#### Povrchová úprava

Odlitek byl ošetřen materiálem na bílkovinné bázi, do které mohl být přidán pigment pro barevnou úpravu povrchu

#### Popis poškození a znečištění:

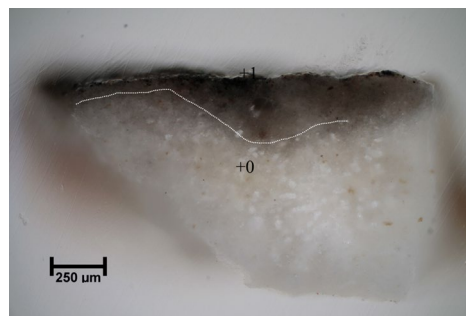
Celý povrch plastiky je výrazně znečištěn depozity, přítomna je vrstva sazí, cihlového prachu i sutě. Mechanickým narušením byla ovlivněna stabilita plastiky. Ulomené části podstavce způsobily, že plastika není bez podpory schopna stát. V modelaci figury je nejvýraznější ztráta v horní části, kde chybí celá hlava ženské postavy. Mnoho menších ulomených částí se vyskytuje zejména



*Obr. 38: Detail znečištění prachovými depozity, sazí, cihlovým prachem a sutí na povrchu plastiky alegorie Ochrany.*

v oblasti draperie a místy je patrný odřený povrch. Plastika byla vystavena kapalně vodě, která svým vlivem způsobila erozi sádrového povrchu - porézni a drsnou strukturu na vršcích modelace. Nános depozitů výrazně znesnadňoval poznání o povrchové úpravě odlitku, proto bylo v první řadě doporučeno odstranění volných depozitů. Bohužel ani po této redukci nebylo jasné, zda se na povrchu odlitku nachází, případně nacházela povrchová úprava v podobě patiny modelu, neboť na povrchu odlitku zůstala ztmavlá povrchová vrstva (částečně tvořená nečistotami), která byla v některých místech integrální součástí povrchové vrstvy sádry.

Z pozorování i z provedených zkoušek čištění vyvstaly domněnky, které byly ověřovány laboratorními analýzami na odebraných vzorcích vytipovaných z předchozích pozorování. Zkoumána byla místa, kde povrch vykazoval možné povrchové úpravy. Cílem průzkumu bylo potvrdit skladbu povrchové vrstvy a určit její složení. U všech vzorků bylo potvrzeno povrchové znečištění a výskyt bílkoviny, která může značit, že byl odlitek ošetřen materiálem na bílkovinné bázi, do které mohl být přidán pigment pro barevnou úpravu povrchu.



Obr. 39: Odebraný vzorek vrchní části drapérie levé ruky, šedočerný povrch v bílém světle pod optickým mikroskopem. Patrně se jedná o povrchovou úpravu (zvýšená koncentrace org. sloučenin) nebo znečištěnou povrchovou vrstvou, z možnosti nelze vyloučit, že se jedná o zbytky barevné úpravy (nevýrazný obsah zinku).

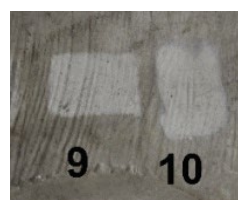
#### 5.4.2 Popis zkoušek čištění a výsledky

Po předběžném očištění od depozitů, které nebyly povrch odlitku (nánosy prachu, cihlové sutě), zůstal povrch plastiky stále ztmavlý. Na základě předpokladu, že se na povrchu díla vyskytovala povrchová úprava a nebylo žádoucí povrch plastiky vyčistit až na čistý sádrový povrch, ale pouze redukovat ulpělé nečistoty, byly zvoleny pro zkoušky čištění šetrné prostředky a technologie. Odzkoušeny byly zejména různé druhy plastických i tvrdých gum, které jsou pro čištění sádrových odlitků velmi šetrné (v případě, že neobsahují mastnou složku) i praktické, dále latexová houba Wishab v současnosti velmi užívaný materiál v restaurování pro čištění například papíru. Do zkoušek bylo zahrnuto moderní čištění pomocí Nd: YAG laserů EOS 1000 SFR a Q-switch Thunder Art i kaučukového latexu. Zkoušky byly provedeny na zadní straně plastiky, konkrétně na dvou místech, jejichž povrch vykazoval odlišnou strukturu. Dodatečně byly ještě provedeny zkoušky čištění pomocí gelu z Laponitu RD a Agar-Agaru.



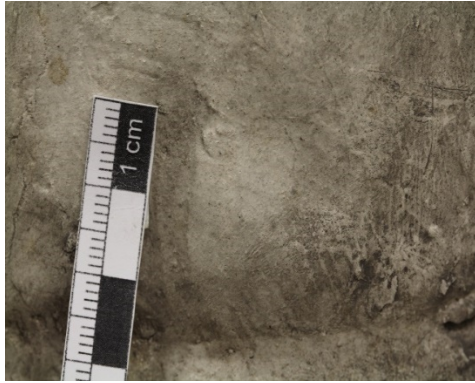
vázané na

- Obr. 40:
1. plastická guma Faber Castell;
  2. plastická guma Koh-i-noor;
  3. guma - tvrdý blok Hardtmuth 300/60;
  4. plastická guma Art Easer Kneaded Soft;
  5. latexová houba Wishab;
  6. laser EOS 1000 600mJ 2,1J/cm<sup>2</sup>, F 10,6mm
  7. laser Thunder Art 1064;
  8. kaučukový latex Arte Mundit;
  9. Agar-Agar;
  10. Laponit RD

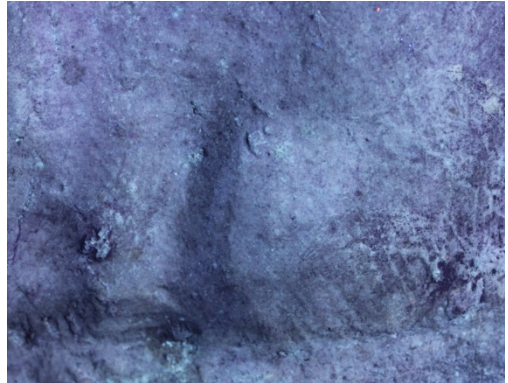




## Plastická guma



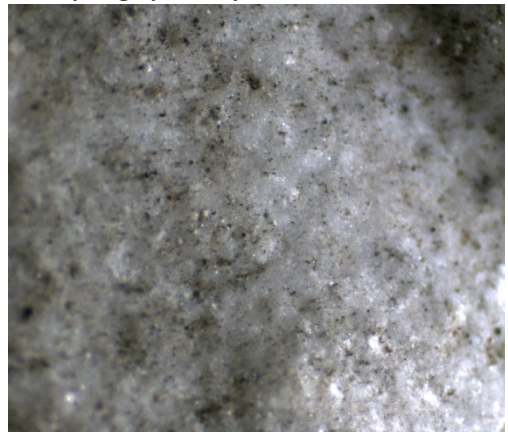
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*

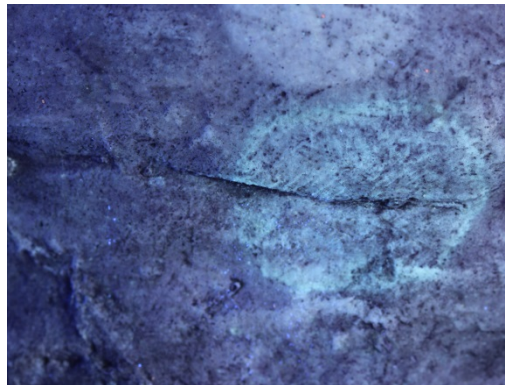


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

## Artemundit



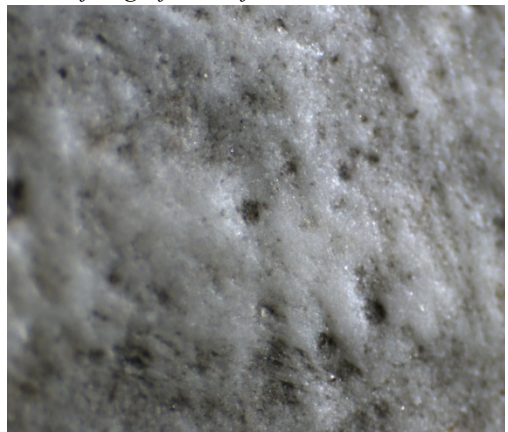
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*

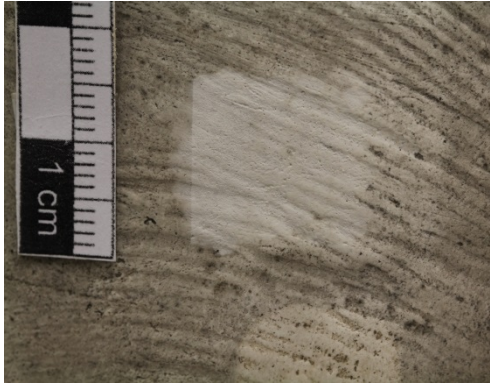


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*

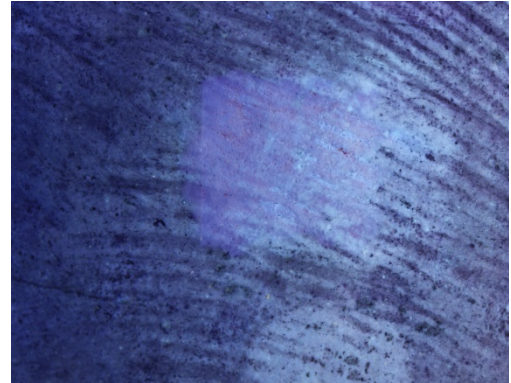


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

Laser EOS 1000



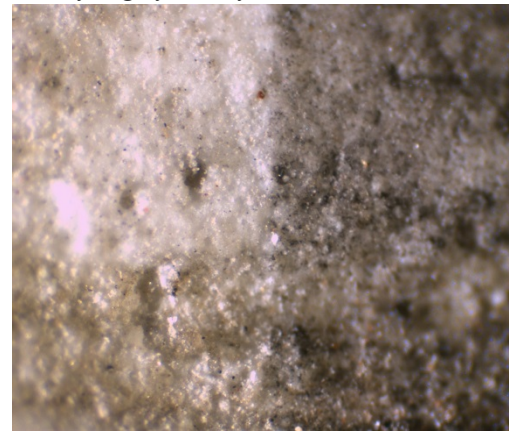
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*

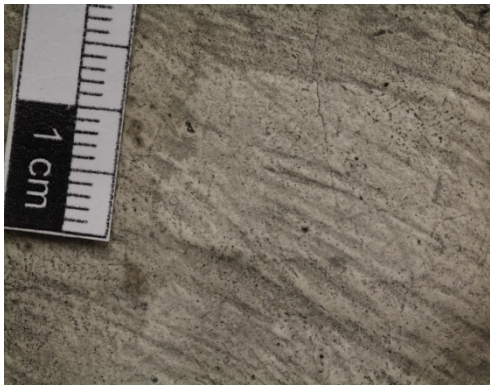


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*

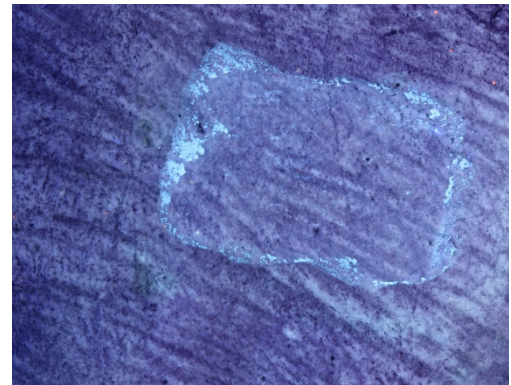


*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

Laponit



*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 2 ×*

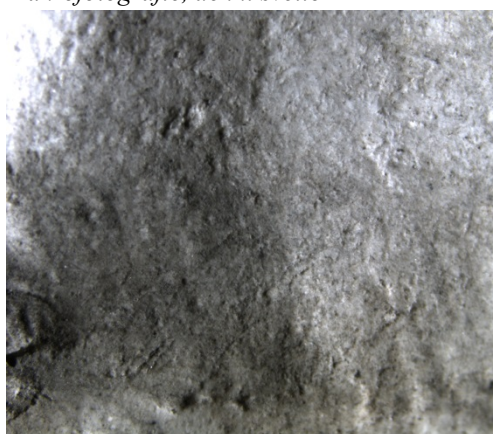
## Destilovaná voda + vatová tyčinka



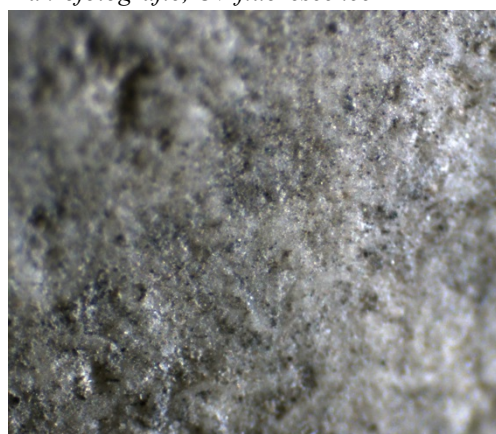
*Makrofotografie, denní světlo*



*Makrofotografie, UV fluorescence*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 0,67 ×*



*Stereomikroskop – zvětšení objektivu 5 ×*

U zkoušky čištění pomocí laseru Thunder Art oba očištěné povrchy zežloutly, v případě použití laseru EOS 1000SFR zkouška na figuře plastiky působila přečištěným dojmem s tečkovanou stopou, avšak na podstavci ztmavlou vrstvu laser neočistil, spíše ji pálil, při zvýšení intenzity docházelo sice k očištění, ale vysokou energií se sádra přepalovala. Stejně tak gely z Laponitu i Agar Agar redukovaly nečistoty až na samotnou sádru. V celku přijatelný výsledek kaučukového latexu při pozorování v UV světle zanechával luminující rezidua. Nejvíce vyhovující ze všech zkoušek byly zejména plastická guma Faber Castell nebo latexová houba Wishab, které povrch částečně očistily a zanechaly mu příjemnou patinu.

### 5.4.3 Vybraná metoda čištění

První fází bylo očištění plastiky od nánosů sazí, cihlového prachu i sutě, které bylo provedeno za pomoci muzejního vysavače a jemných štětců. Po očištění zůstal povrch plastiky zašedlý, místy s tmavými skvrnami. Dle průzkumu se na povrchu plastiky nachází pravděpodobně organická úprava, která mohla zahrnovat i barevné tónování. Z těchto důvodů i vzhledem k různému charakteru jednotlivých míst povrchu a kvůli rozdílné míře čištění nebylo zvoleno čištění pomocí velmi účinných prostředků jako je Laponit nebo agar. Laponit

i agar měly tendenci povrch vyčistit až na barevnost sádry s pravděpodobnou ztrátou zmíněné povrchové úpravy bez možnosti výsledek kontrolovat. Čištění laserem EOS 1000 SFR bylo problematické, neboť bylo obtížné vyhnout se tečkovanému rastru očištěného povrchu nebo černání povrchu v místě ošetřenému povrchovou úpravou obsahující organické látky. Při větších energiích navíc docházelo k přepalování povrchu a následnému zpráškovatění. Vhodnou metodou pro dočištění povrchu a zachování sjednocené barevnosti plastiky bylo čištění plastickými gumami v kombinaci s čisticí houbou Wishab, případně smočení vaty ve vodě pro vyčištění tmavších skvrn.



*Obr. 41, 42: Základní očištění od volných prachových depozitů a suti pomocí muzejního vysavače.*



*Obr. 43: Alegorie Ochrany po základním suchém očištění prachovými štětci vykazovala vizuálně rovnoměrnou barevnost povrchu, ačkoli se původně zdálo, že jde o znečištění.*



Obr. 44, 45, 46: V následujícím kroku byly citlivě redukovány tmavé nánosy depozitů pomocí plastické gumy, houby Wishab a vatových tyčinek smočených ve vodě.



Obr. 47: Plastika alegorie Ochrany ve stavu po očištění od tmavých depozitů s přihlédnutím k úpravě povrchu.

#### 5.4.4 Další zásahy v rámci restaurování daného objektu

Zvolená koncepce restaurování odlitků alegorií zahrnovala doplnění chybějících částí a byla možná na základě dochovaných archivních podkladů. Modelace těchto prvků se prováděla nejprve v sochařské hlině, porovnávána také s konečnou realizací v kameni, s následným odlitím do sádry a osazením na reverzibilní spoj akrylátové disperze Acrylkleber. Samotné plastické doplňky byly do celkového vnímání zapojeny barevnou retuší akvarelovými barvami, která svým provedením byla odlišitelná od originálu. V řešení nestability díla alegorie Ochrany, z důvodu absencí podpor, bylo přistoupeno k obnovení

původní techniky, tedy zajištění stability dřevěnými podporami upravenými tak, aby bylo eliminováno jejich opětovné vylomení.



Obr. 48, 49: Porovnání stavu znečištěné plastiky alegorie Ochrany před restaurováním (vlevo) a po očištění (vpravo).



Obr. 50, 51: Plastika alegorie Ochrany – stav po doplnění defektů (vlevo) a stav po restaurování (vpravo).

## 5.5 Reliéf - Model k hrobu Karla Vojáčka

### 5.5.1 Popis objektu

#### Námět a umístění:

Jedná se o jeden z mnoha modelů k náhrobní plastice Karlu Vojáčkovi, který byl starostou a čestným občanem Prostějova. Podle tohoto modelu se neuskutečnila realizace, která by nám byla známá. Sádra/odlitek.

#### Povrchová úprava:

Žádná.

#### Popis poškození a znečištění:

Sádrová plastika se po vyzvednutí z depozitáře nacházela ve velmi špatném stavu. Plastika byla pokryta souvislou vrstvou prachových depozitů. Nejvýraznější poškození bylo viditelné na pozadí plastiky, které bylo kompletně odlomené a rozlámané, dále chyběla hlavička mládence a byly zaznamenány menší oděrky na drapérii a listech způsobené patrně otěrem o jinou sádrovou plastiku. Výrazně poškozena je i materiálová struktura díla, kde došlo k hloubkové erozi a na jednom místě až ke ztrátě hmoty v řádu několika milimetrů. Toto poškození bylo způsobeno pravděpodobně stékající rezavou vodou, která lokálně rozpouštěla materiál sádry a povrch zanášela korozními produkty. V neposlední řadě je povrch sádry na mnoha místech sprášený, nejvíce je materiál narušen na fragmentech pozadí



Obr. 52, 53: Stav před restaurováním.

## 5.5.2 Popis zkoušek čištění a výsledky

Zásadním otázkou bylo, čím odstranit či redukovat korozní rezidua kovů z povrchu odlitku, které působí proti bílému pozadí silně rušivě. U přítomných korozních produktů dále hrozí jejich další migrace, zvláště v souvislosti s aplikací doplňku/tmelu, kdy dochází k částečnému zavlhčení materiálu. Migrace by také mohla nastat při nevhodných podmínkách uložení, neboť na ni má vliv i zvýšení vzdušné vlhkosti.

Pro simulaci tohoto problému a testování jeho řešení byla provedena jednoduchá zkouška na novém sádrovém odlitku. Na sádrovou destičku byla pomocí zkorodovaných válečků a vody aplikována rovnoměrně rez v podobné míře jako je na restaurované plastice. Zkušební plocha byla po vyschnutí rozdělena do několika políček. Na prvních čtyřech se zkoušela izolace rezavého povrchu, a to 5 % a 10 % roztokem Paraloidu B72 rozpuštěném v acetonu a toulenu (1:1) v odlišných aplikačních podmínkách, tj. vrstvách. Po zaschnutí Paraloidu byla na tento povrch aplikována tenká vrstva sádry. Následně bylo dlouhodobě pozorováno, zda je nátěr dostatečně izolující a zda zabraňuje migraci korozních produktů do nanesené vrstvy sádry (simulující doplnění tmele). Z tohoto pozorování bylo zjištěno, že obě koncentrace mají stejné účinky a je tedy zcela postačující aplikace jedné vrstvy 5% Paroloidem B72.

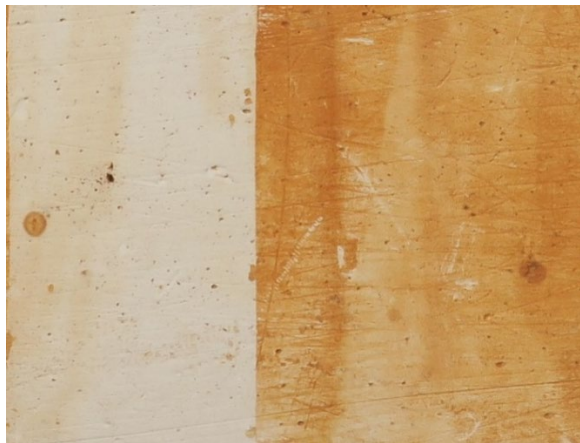
Na ostatních zkušebních místech se prováděly zkoušky odstranění rzi. Pro zkoušky čištění byl vybrán Chelaton III o koncentraci 7,5 % a 3,5 %. Roztoky se míchaly s Kelzanem, zahušťovadlem, které umožňuje aplikaci odrezovací látky ve formě gelu. Odzkoušen byl také poměr těchto dvou látek. Určující v tomto ohledu byla snadná aplikace na povrch a možnost snadného následného sejmutí po uschnutí. Jako nejvhodnější se jevil poměr při použití 20 ml Chelatonu III a 5 g Kelzanu. Při použití silnějšího roztoku docházelo kromě čištění rzi také k bělení sádry, což byl nevyhovující výsledek, proto byla zkoušena slabší koncentrace 3,5 %, která čistila také velmi dobře. Z výsledků vyplývá, že rez nelze úplně vyčistit, pouze výrazně redukovat její množství.



Zkoušky čištění na sádrové desce



Zkouška čištění 7,5 % Chelatonem III.



Zkouška čištění 3,5 % Chelatonem III.



Zkouška izolace 5 % Paraloidem B72



Zkouška izolace 10 % Paraloidem B72



*Stav před restaurováním*



*Aplikace čistícího gelu*



*Stav po očištění*



*Stav po plastické retuši*



*Stav po restaurování*

### 5.5.3 Vybraná metoda čištění a restaurování

Plastika byla nejprve očištěna pomocí štětců od prachu a hrubších nečistot, které byly odsávány vysavačem. Následně bylo provedeno lokální zpevnění míst nejen na plastice, ale i na fragmentech pozadí organo-křemičitým prostředkem KSE 100. Po uplynutí potřebné technologické pauzy se přistoupilo k celkovému očištění plastickou gumou faber-castle, která se jevila jako nejšetrnější a zároveň nejúčinnější. Korozní produkty, které byly zamyté do povrchu především v místech narušených kapající a stékající vodou, bylo nutné redukovat. Byl tedy aplikován 3,5 % Chelaton s Kelzanem (vybraný na základě zkoušek), který se na těchto místech ponechal vždy do jeho úplného vyschnutí (přibližně po deseti hodinách). Poté byl velice snadno sejmuto skalpelem a v případě potřeby aplikován vícekrát. Tímto způsobem došlo k redukci volných korozních produktů. Došlo tedy pouze k částečné eliminaci, nikoliv k úplnému očištění. Před aplikováním tmelu byl takto do hloubky znečištěný povrch izolován 5 % Paraloidem B72 (rozpuštěným v toluenu), aby nedošlo k migraci korozních produktů na povrch.

### 5.5.4 Další zásahy v rámci restaurování daného objektu:

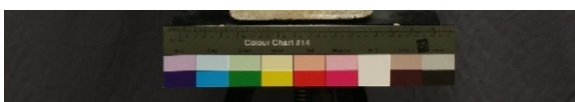
Před provedením plastické retuše bylo nutné k dílu připevnit dochované fragmenty pozadí, které byly slepeny akrylátovým lepidlem Acrykleber a následně zajištěny k plastice sádrovými gázovými pásky. Plastická retuš se provedla Rokoplastem, který se osvědčil ve zkouškách jako nejvhodnější. Tímto tmelem byla nově doplněna veškerá místa, kde došlo k degradaci materiálu natolik, že již plastika nepůsobila celistvě, zejména to byla místa na girlandě, šatech a podstavci. Chybějící hlavička mládence byla vytvořena formou sádrového odlitku podle dochované skici a analogií jiných Suchardových děl, zejména podle modelu Palackého pomníku. U nově vytvořených bílých doplňků byla nutná barevná retuš, aby se barevně zapojily a scelilo se tak vnímání díla. Povrch těchto nových doplňků byl nejprve ošetřen 2 % roztokem bílého šelaku rozpuštěného v lihu z toho důvodu, aby se sjednotila nasákavost. Barevná retuš byla následně provedena pomocí akvarelových barev, které se nanášely v několika vrstvách. Pro sjednocení kontrastu byl také lokálně retušován povrch sádry zejména v místech, kde ztratil patinu.



Obr. 54, 55: Stav plastiky po očištění, přilepení fragmentů a zatmelení defektů.



Obr. 56, 57: Stav po dokončení restaurování, kdy byly pomocí barevné retuše zapojeny tmely a drobné defekty povrchu.



## 6 ZÁVĚR

Čištění sádrových děl je komplikované nejen z technologického hlediska, ale i z hlediska volby míry čištění. Na jednom objektu se často vyskytují rozličné povrchy s odlišnými vlastnostmi (například porozita, koheze, mikrostruktura) i rozdílnou mírou znečištění. Proto je často nutné kombinovat dvě nebo více metod čištění. U měkkého a citlivého materiálu, jako je sádra, je však nelze aplikovat na díla paušálně bez důkladného testování přímo na restaurovaném objektu. Metoda, která se ukáže jako vhodná a citlivá na jednom objektu, může u jiného způsobit vážné poškození povrchu, a to i přesto, že na první pohled se může zdát, že charakter a míra znečištění jsou podobné. Stanovení míry čištění by mělo být výsledkem technologického průzkumu povrchu a zkušebních ploch na objektu, ale i mezioborovou diskusí s humanitně zaměřenými odborníky, kurátory a historiky, aby byl výsledek restaurování v souladu s výstavní koncepcí nebo charakterem sbírky.

Nejběžnější a v mnoha případech účinné a citlivé je užití různých typů plastických gum. Ze zkoumaných plastických gum optimální výsledky vykazovala tvárlivá pryž KOOH-I-NOOR Pryž tvárlivá 6422 soft a pryž 6426 tvárlivá super extra soft. V rámci studií bylo důkladně testováno použití laserů. Ze srovnávacích analýz<sup>33</sup> a navazujících restaurátorských zákroků vyplývá, že použití laseru je velmi efektivní metodou s dobrou okamžitou kontrolou výsledků a možností volitelnosti míry čištění. V případě laseru je však zásadní, jaký typ pro čištění sádry využijeme. Zatímco testy SFR laseru při vlnové délce 1064nm prokázaly při správném nastavení fluence velmi dobré výsledky a minimální změny na substrátu, jiný testovaný přístroj Q-switched ND: YAG Thunder Art způsoboval prakticky při všech testovaných vlnových délkách a nastaveních nežádoucí žloutnutí substrátu.<sup>34</sup> Použití laseru se osvědčuje v kombinaci s použitím plastických gum k předčišťování či dočištění povrchů, aby bylo možné dosáhnout rovnoměrného výsledku. Riziko jeho použití je při nastavení vyšších energií, které mohou povrch sádry nevratně poškodit. Může dojít ke změně barevnosti povrchu, žloutnutí nebo černání, či ke ztrátě koheze povrchové vrstvy sádry. Tato metoda je na rozdíl od ostatních relativně finančně náročná díky vysoké pořizovací ceně přístroje.

---

<sup>33</sup> MROVĚC, P. *Možnosti využití laseru v kontextu tradičních a současných metod čištění povrchově neupravených sádrových odlitků*. 2017. Teoretická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

<sup>34</sup> LESNIAKOVÁ, P., P. MROVĚC a J. ĐOUBAL. Čištění povrchově neupravené sádry laserem. *Fórum konzervátorů-restaurátorů*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018, 51-57.

Překvapivě dobrý výsledek se v některých případech projevil také u mikroabraze. Při optimální kombinaci jemnozrného abraziva, nižšího tlaku a zejména citlivosti restaurátora lze u některých objektů dosáhnout velmi dobrého výsledku čištění. Výhodou mikroabraze je okamžitá kontrola, nesprávné použití však může vést k úbytku původního povrchu. Proto tuto metodu lze doporučit zejména k čištění rovných ploch. Zásadní je v tomto případě volba abraziva. Velmi dobré výsledky byly prokázány při užití velmi jemného bílého korundu.

Vatové smotky smáčené například v demineralizované vodě nebo v jiných rozpouštědlech není vhodné většinou používat na komplexní čištění sádrového povrchu především z důvodů smáčivosti, rozpouštění sádry a zanášení nečistot hlouběji do pórů. V některých případech se však ukazuje tato metoda jako účinná, například k dočišťování mastných skvrn. V posledních letech je v souvislosti s čištěním sádry často uváděna a testována metoda využívající gel z agaru. Čištění je v závislosti na různých možnostech přípravy poměrně variabilní a regulovatelné. Sorpce nečistot agarem je teoreticky ideální, nicméně vzhledem k biologické podstatě tohoto polysacharidu a jeho použití v přímém styku s objektem je zde riziko zanesení sádry rezidui, která by v budoucnosti mohla objekt ohrozit biologickým napadením. Proto je potřeba vždy provádět na zkušebních plochách kontrolu, zda nedochází k retenci rezidui v porézním systému (například v UV světle).

U povrchově neupravených sádrových povrchů se ukazuje, že výsledky čištění jsou u různých metod velmi individuální. Tato individualita je závislá na povaze povrchu a jeho porozitě a jejich variabilitě na jednom objektu i případných dalších neviditelných modifikacích povrchu nebo struktury sádry.

Tyto skutečnosti se potvrdily i v případě několika restaurovaných objektů z pozůstalosti sochaře Stanislava Suchardy. Přestože tato díla představovala zdánlivě obdobnou problematiku, komplexní hodnocení charakteru povrchu a nečistot i následné hodnocení zkoušek čištění ukázalo rozdílné výsledky zkoumaných metod, a proto byly na každém díle nakonec použity poněkud jiné postupy, respektive jejich kombinace. Z vyhodnocení restaurovaných vzorových objektů vyplývá, že na konkrétních objektech je nutné vždy volit individuální přístup (často i kombinovat různé metody). Památkový postup stanovující kritéria výběru a způsob objektivního hodnocení zkoušek čištění by měl napomoci k výběru optimální metody čištění pro daný objekt. Kromě zkoušek čištění na referenčních plochách by také mělo restaurátorský zákrok doprovázet průběžné kontrolování výsledků a případná změna nebo modifikace používané metody k docílení optimálního čištění s co nejmenší možnou mírou ztráty originálního materiálu sádrového substrátu.

## 7 SEZNAM LITERATURY

- AUSKÁ, Z. Restaurování sochy sv. Václava z Lažan, restaurování sádrového reliéfu od Stanislava Suchardy. Litomyšl, 2017. Bakalářská práce. Fakulta restaurování UPa.
- BADDE, A. Dust on busts: dust on plaster surfaces, focussing on the portrait busts in the Rococo Hall of the duchess Anna Amalia Library in Weimar. 2009. Disertační práce Northumbria University at Newcastle, Newcastle.
- BÉNA, P. Restaurování odlitku sv. Mikuláše Tolentinského: role sádry v památkové péči se zaměřením na odlitky. 2011. Diplomová práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.
- BERZIOLI, M. An analytical and applicative approach to the cleaning of artworks. 2011. Disertační práce. Università degli studi di Parma.
- BORDALO, R., P. J. MORAIS, Ch. R. T. YOUNG a R. M. ALMEIDA. Characterisation of laser-induced physical alterations of pigmented oil layers. *E-Preservation science* [online]. 2012, (Vol. 9), s. 47–59 [cit. 2019-05-22].
- CREMONESI, P. Surface cleaning? Yes, freshly grated agar, please. *Studies in Conservation*. 2016, **61**(6), 362-367. ISSN 0039-3630.
- DE CRUZ, A., L. MYRON, L. WOLBARSH a S. A. HAUGER. Laser removal of contaminants from painted surfaces. *J. Cult. Heritage*. 2000, (1), s. 173-180.
- DOEHNE, E. a A. C. PRICE. Stone conservation an overview of current research. *The Getty Conservation Institute Los Angeles* [online]. 2010 [cit. 2019-05-22].
- ĎOUBAL, J. a kol., *Metodika: Péče o sádrové odlitky*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.
- DRDÁCKÝ, M. a Z. SLÍŽKOVÁ. In-situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces. *Studies in conservation*. Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 2015, (60 (2)), 121-130.

KOLÁŘ, R. *Restaurování reliéfu sv. Rozálie z morového sloupu v Kutné Hoře a technologie čištění sádrovcových krust na kutnohorském vápenci*. Litomyšl, 2016. Diplomová práce. Fakulta restaurování UPa, s. 27.

MROVĚC, P. Možnosti využití laseru v kontextu tradičních a současných metod čištění povrchově neupravených sádrových odlitků. 2017. Teoretická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

NOVOTNÝ, J. Sádra v památkové péči. In: STOP: Sádra v památkové péči. Praha: STOP, Národní muzeum, 2002, s. 31–40.

LESNIAKOVÁ, P., P. MROVĚC a J. ĎOUBAL. Čištění povrchově neupravené sádry laserem. *Fórum konzervátorů-restaurátorů*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018, s. 51-57.

SANSONETTI, A. a kol. A CLEANING METHOD BASED ON THE USE OF AGAR GELS: NEW TESTS AND PERSPECTIVES. In: *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University* [online]. New York, 2012 [cit. 2017-01-16].

SENESI, G. S. a kol. Laser cleaning and laser-induced breakdown spectroscopy applied in removing and characterizing black crusts from limestones of Castello Svevo, Bari, Italy: A case study. *Microchemical Journal* 124, 2016, s. 296–305.

SIANO, S. a kol. The Santi Quattro Coronati by Nanni di Banco: cleaning of the gilded decorations. *Journal of Cultural Heritage*, 2003, vol. 4, s. 123–128.

SIANO, S., J. AGRESTI, I. CACCIARI a D. CIOFINI. Laser cleaning in conservation of stone, metal, and painted artifacts: State of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers. *Applied Physics A* [online]. 2012, (106(2)), 419-446 [cit. 2019-05-22].

SCOTT, C. L. The use of agar as a solvent gel in objects conservation. *Objects Specialty Group Postprints* [online]. 2012, 19, 71-83 [cit. 2017-01-16].

ŠEDIVÝ, V. Sochařské řemeslo. Praha: Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění, 1953, s. 160.



ŠIBRAVOVÁ, K. *RESTAURÁTORSKÁ DOKUMENTACE: Sádrový model od Stanislava Suchardy*. Litomyšl, 2019. Fakulta restaurování UPa.

ŠKARVADA, J. *Restaurování sádrových modelů soch pro průčelí muzea v Hradci Králové*. 2017. Praktická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

ZÍTKOVÁ, P. *Restaurování sádrové plastiky Havíře ze sbírek Českého muzea stříbra v Kutné Hoře; Možnosti konsolidace sádry a fixace barevných vrstev na sádrovém podkladu*. Litomyšl, 2016. Diplomová práce. Fakulta restaurování UPa.

Další zdroje:

*ArteMundit* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.remmers.com](http://www.remmers.com) .



Univerzita  
Pardubice  
Fakulta  
restaurování

## Protokol o ověření v praxi

**Název památkového postupu:** Výběr vhodné metody pro čištění děl ze sádry

**Památkový postup ověřila organizace:** Fakulta restaurování Univerzity Pardubice  
Jiráskova 3, 570 0 1, Litomyšl

**Ověření památkového postupu provedli:** MgA. Pavel Mrověc  
Doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.  
BcA. Zuzana Auská  
Ing. Renata Tišlová, Ph.D.  
MgA. Petra Zítková  
BcA. Jiří Škarvada



## **Popis ověření památkového postupu v praxi:**

Na základě informací a postupů uvedených v předkládaném památkovém postupu bylo u pěti poškozených sádrových odlitků ze sbírek nadace Muzeum Stanislava Suchardy provedeno komplexní restaurování. Při provedeném restaurování byl ověřen způsob výběru vhodné metody pro čištění, který vycházel z důkladného poznání stavu substrátu, charakteru znečištění a dalších informací shromážděných o objektech. Metody čištění vycházející z rešerše odborné literatury a praktických zkoušek provedených při přípravě památkového postupu, které byly testovány na vzorových plochách. Vedle tradičních a v současnosti používaných metod čištění byla provedena důkladná studie možností čištění sádry pomocí různých typů laseru (příloha č. 2). Výsledky této studie byly využity při koncipování a ověřování památkového postupu. V souladu s památkovým postupem vycházel výběr vhodné metody z provedených zkoušek vybraných metod čištění, které byly hodnoceny jednak vizuálně restaurátorským specialistou a jednak pomocí instrumentálních metod, které umožnili vyhodnotit citlivost uvažovaných metod a odhalit případná rizika čištění pro památku. Na každém z odlitků byly nejprve odebrány vzorky povrchu k analýze nečistot a případných povrchových úprav. Průzkum byl prováděn následujícími metodami.<sup>1</sup>

- a) Optická mikroskopie nábrusů v odraženém bílém světle a fluorescenci (UV a modrém světle)
- b) Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s mikrosondou (EDX) - prvková analýza vrstev
- c) Infračervená mikroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) - analýza povrchových vrstev

Přestože restaurovaná díla z pozůstalosti Stanislava Suchardy představovala zdánlivě obdobnou problematiku, komplexní hodnocení charakteru povrchu a nečistot i následné hodnocení zkoušek čištění ukázalo rozdílné výsledky zkoumaných metod čištění, a proto byly na každém díle nakonec použity jiné postupy, respektive jejich kombinace. Z vyhodnocení restaurovaných vzorových objektů vyplývá, že na konkrétních objektech je nutné vždy volit individuální přístup (často i kombinovat různé metody) a pro výběr je zásadní dodržet navrhovaný památkový postup stanovující kritéria výběru a způsob objektivního hodnocení zkoušek čištění. Jedině tak lze zajistit výběr optimální metody čištění pro daný objekt. Ověření památkového postupu bylo prováděno v rámci restaurování souboru děl z pozůstalosti

---

<sup>1</sup> Protokoly o testech na jednotlivých objektech jsou součástí restaurátorských zpráv a památkového postupu. Pro ukázkou přikládáme protokol o vyhodnocení abrazivní metody pro čištění modelu reliéfu Libuše pro Obecní dům v Prostějově (příloha č. 1).

významného českého sochaře Stanislava Suchardy, které prováděli BcA. Zuzana Auská, BcA. Jiří Škarvada, MgA. Petra Zítková a MgA. Pavel Mrovčec pod vedením doc. Mgr. art. Jakuba Ďoubala, Ph.D. Ověřování zkoušek a vyhodnocení laboratorních analýz prováděla katedra chemické technologie Fakulty restaurování UPa (konkrétně Ing, Renata Tišlová, Ph.D. a Ing Petra Lesniaková, Ph.D.).

#### **Výsledky ověření památkového postupu v praxi:**

Památkový postup byl na restaurovaných dílech ověřen v plném rozsahu. Výsledky čištění byly komplexně vyhodnoceny a postup zvolený na základě těchto zkoušek umožnil rehabilitaci vážně poškozených a znečištěných sádrových děl a jejich následné vystavení na připravované výstavě díla Stanislava Suchardy. Průběh restaurování i výběru vhodné metody čištění je podrobně dokumentován v památkovém postupu včetně laboratorních analýz.

**Ověření památkového postupu schválil:** Mgr. BcA. Radomír Slovík, děkan Fakulty restaurování UPa

V Litomyšli 25.6.2019

Mgr. BcA. Radomír Slovík



 Univerzita Pardubice  
Fakulta restaurování  
570 01 Litomyšl, Jiráskova 3

## FOTODOKUMENTACE RESTAUROVANÝCH DĚL

### Alegorie Ochrany/Větru



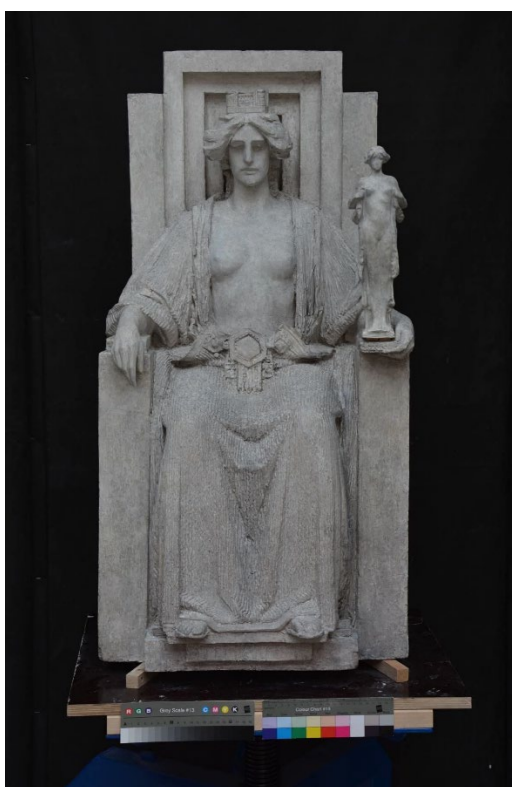
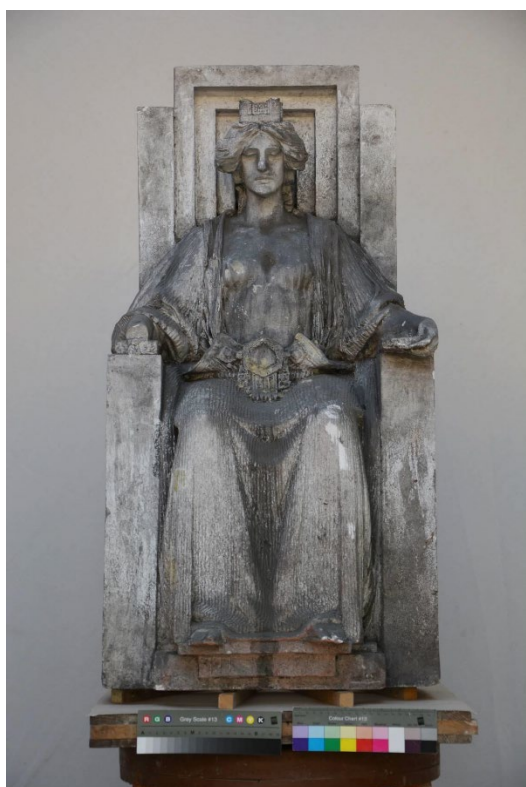
### Podobizna Vlasty Zindlové



## Reliéf Libuše do obecního domu v Prostějově



## Model alegorie průmyslu pro průčelí Městského muzea v Hradci Králové



**Reliéf - Model k hrobu Karla Vojáčka**



# Příloha č. 1 - Chemicko - technologický průzkum - posouzení čištění sádry mikroskopickými metodami



## POSOUZENÍ ČIŠTĚNÍ SÁDRY MIKROSKOPICKÝMI METODAMI SÁDROVÝ RELIÉF KNĚŽNY LIBUŠE, STANISLAV SUCHARDA

### ZADAVATEL PRŮZKUMU

Ateliér restaurování a konzervování kamene a souvisejících materiálů  
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl

### VEDOUCÍ PRÁCE / STUDENT

MgA. Petr Rejman / BcA. Zuzana Auská, 4. ročník bakalářského studia

### SPECIFIKACE, LOKALIZACE OBJEKTU

Sádrový model – reliéf kněžny Libuše, autor Stanislav Sucharda, Muzeum Stanislava Suchardy,  
Suchardova 248/1, 160 00 Praha 6 – Bubeneč.

### ZADÁNÍ PRŮZKUMU, ODBĚR VZORKŮ

Posouzení čištění mikroskopickými technikami, čištěno abrazivní metodou přístrojem MiniBlaster 1  
s abrazivem F360 při tlaku 1 bar.

Počet a typ dodaných vzorků: - 2 vzorky z povrchu objektu (MA1, MA2) – vzorky jsou rozděleny  
hranicí mezi čištěnou a neočištěnou částí, vzorek MA1 byl odebrán z porézního povrchu.

- vzorky abraziva F220 a F360 na bázi korundu

Zadání: vyhodnocení čištění mikroskopickými technikami světelné a elektronové mikroskopie -  
účinek metod a vliv na substrát

Lokalizace odběru vzorků: detailní snímky míst odběrů vzorků jsou uvedeny v Příloze

Tab. 1: Přehled vzorků k posouzení čištění sádry mikroskopickými metodami.

Číslo, označení	Označení, lokalizace, popis
MA1	Vzorek sádry, částečně očištěný, porézní povrch
MA2	Vzorek sádry, částečně čištěný
F220	Tryskací materiál – abrazivo, bílý korund
F360	Tryskací materiál – abrazivo, hnědý korund

### ZPRÁVA Z CHEMICKO-TECHNOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

Počet stran:	8	Datum:	15. 5. 2017
Autor:	Petra Lesniaková, Renata Tišlová		
Místo:	Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice Jiráskova 3, Litomyšl		

### METODIKA PRŮZKUMU

Studium bylo provedeno s využitím mikroskopických technik světelné a skenovací elektronové mikroskopie s energiově-disperzní analýzou (SEM/EDX). Ke studiu a dokumentaci byl využit světelný/polarizační mikroskop Eclipse LV100D-U (Nikon) s digitálním fotoaparátem EOS 1100D (Canon). Pozorování i dokumentace byly provedeny v dopadajícím viditelném, modrém světle a UV záření. Vzorky byly dále studovány elektronovým mikroskopem MIRA 3 LMU (Tescan) v režimu zpětně odražených elektronů (BSE) s analytickým systémem Bruker Quantax 2000. Měření bylo provedeno na pozlaceném vzorku částečně očištěné sádry a na neupravených vzorcích abraziva ve vysokém vakuu v režimu zpětně odražených elektronů (BSE). Výsledky prvkového složení analyzovaných míst jsou uvedeny v tabulkách dle obsahu v atomových procentech.



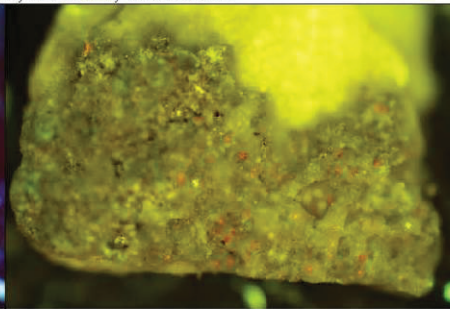
VÝSLEDKY PRŮZKUMU – ANALÝZA SLOŽENÍ POVRCHOVÉ VRSTVY



Obr. 1 Světelná mikroskopie, bílé světlo, vzorek MA1.



Obr. 2 Světelná mikroskopie, UV záření.



Obr. 3 Světelná mikroskopie, modré světlo.

Tab. 2: Výsledky, vzorek MA1.

**Popis a prvkové (materiálové) složení částí**

**Nečistěná část vlevo (dole):**

Šedohnědá barevnost, místy červené částice, obsahuje zejména silikáty, síran vápenatý, sloučeniny železa a chloru (možná chlorid sodný), kompaktnější části obohaceny o uhličitán vápenatý, blíže nespecifikováno

Plošná analýza (SEM/EDX): Si, Ca, S, Al, Cl, Na, Fe, Mg, K (Zn, Ti)

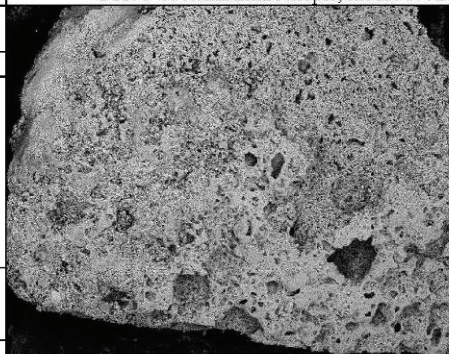
**Čištěná část vpravo (dole):** Světle šedá barevnost, obsahuje zejména síran vápenatý (sádra)

Plošná analýza (SEM/EDX): Ca, S (Al, Na)

**Odhalená sádra (nahore):**

Bílá barva, sádra

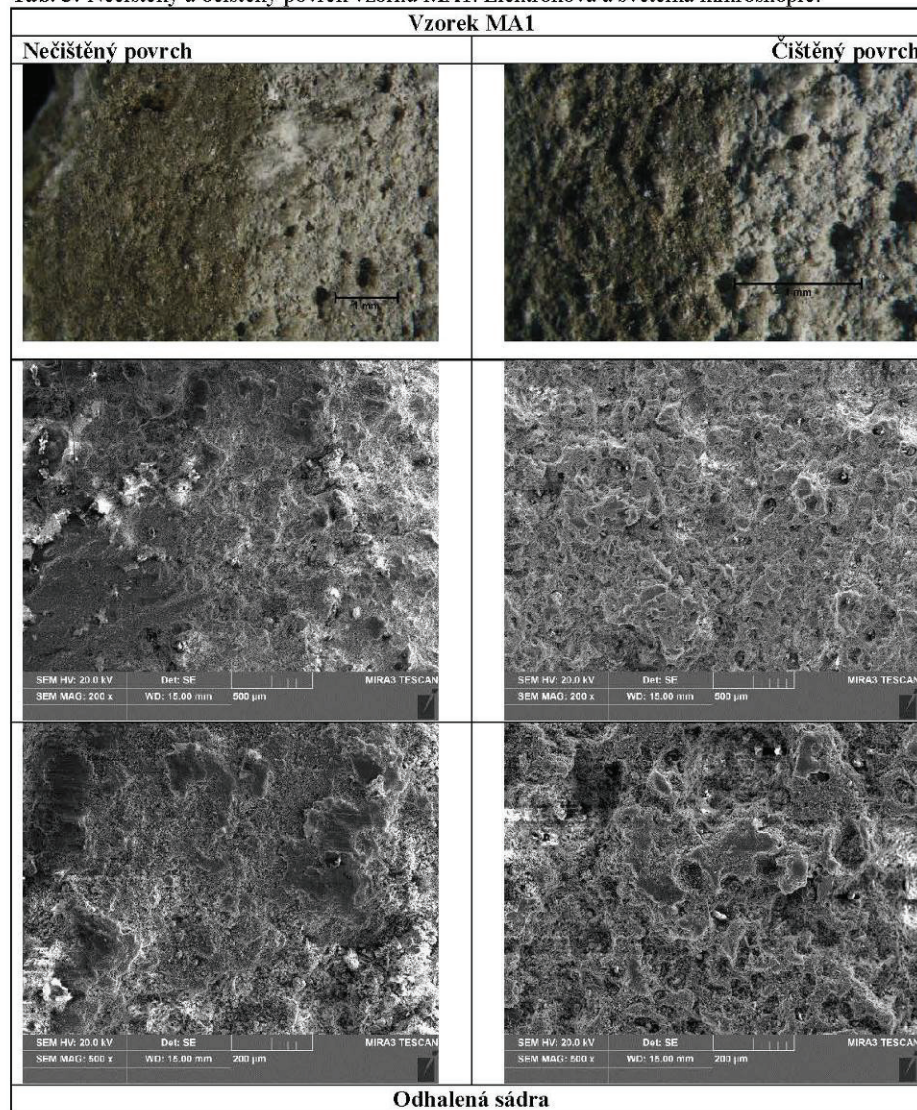
Plošná analýza (SEM/EDX): Ca, S

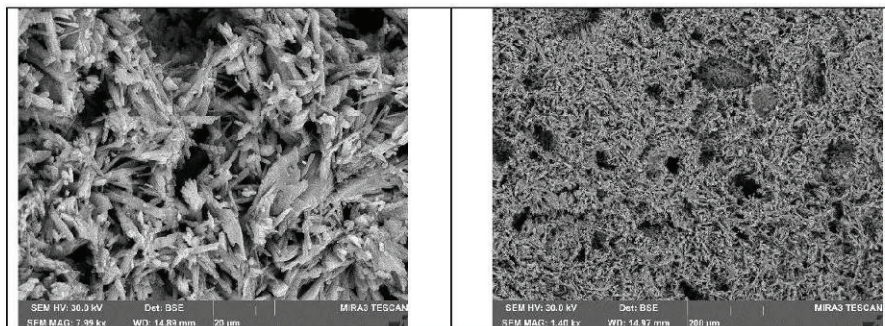


SEM HV: 30.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCO  
SEM MAG: 275x WD: 16.03 mm 1 mm

Obr. 4 Elektronová mikroskopie, BSE.

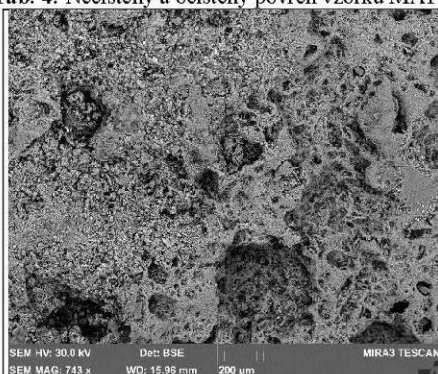
**Tab. 3: Nečištěný a očištěný povrch vzorku MA1. Elektronová a světelná mikroskopie.**



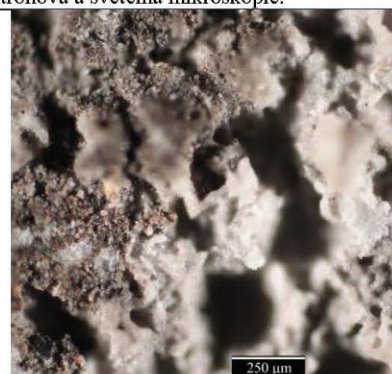


**Obr. 5 a-h (zleva dolů)** a, b) Snímky ze světelného mikroskopu SMZ800 v bílém světle. Makrosnímky povrchu vzorku s neочиštěnou (vlevo) a očištěnou částí. c-f) snímky ze skenovacího elektronového mikroskopu (SEM), g, h) detail porézni struktury vzorku. Na očištěném povrchu se vyskytují lokální ostrůvky neочиštěného povrchu, které jsou patrné i na originálním povrchu, i když v menší míře.

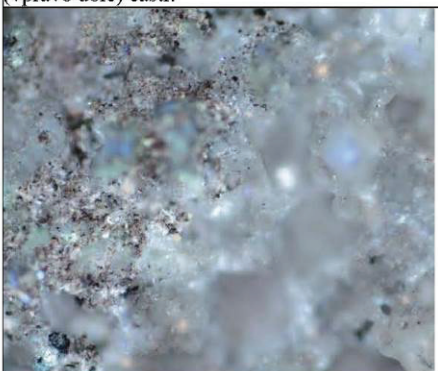
**Tab. 4:** Nečištěný a očištěný povrch vzorku MA1. Elektronová a světelná mikroskopie.



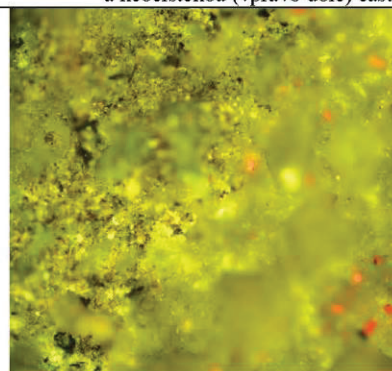
**Obr. 6** Elektronová mikroskopie, BSE. Rozhraní mezi očištěnou (vlevo nahoře) a neочиštěnou (vpravo dole) částí.



**Obr. 7** Světelná mikroskopie, bílé světlo. Rozhraní mezi očištěnou (vlevo nahoře) a neочиštěnou (vpravo dole) částí.



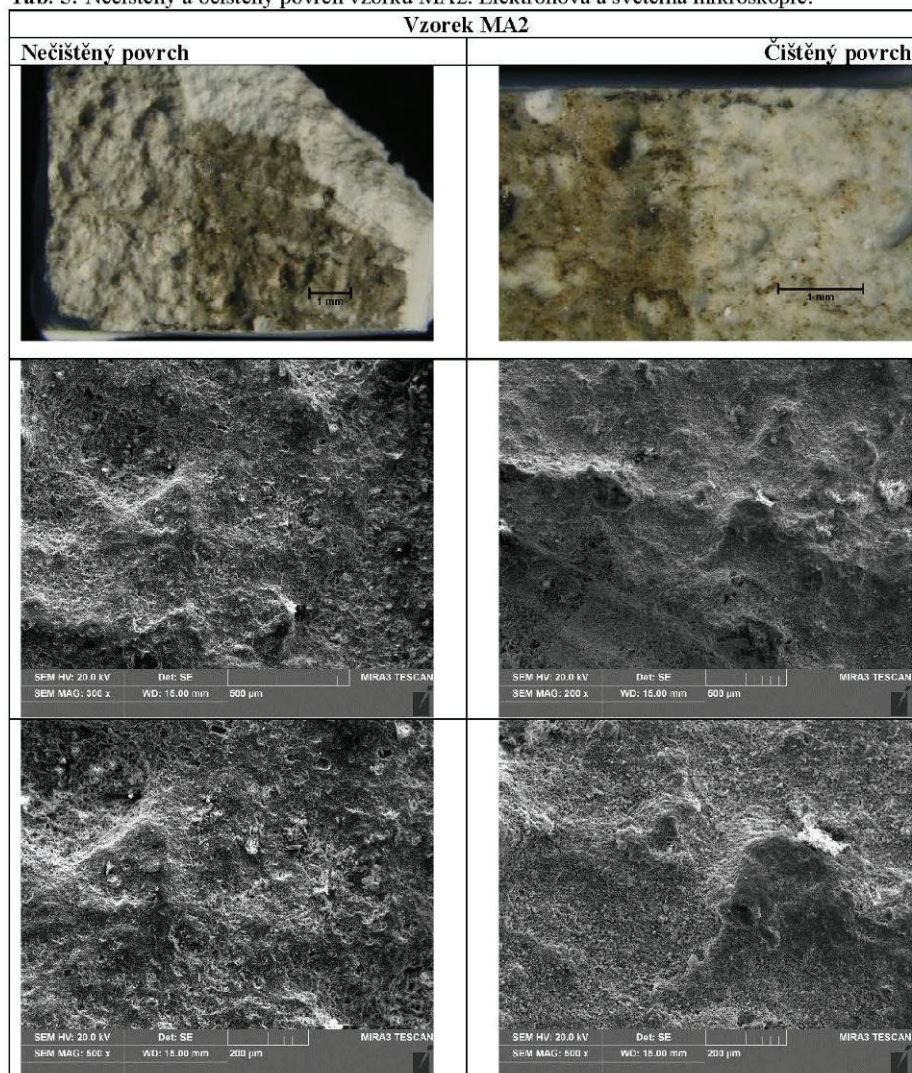
**Obr. 8** Světelná mikroskopie, UV záření. Rozhraní mezi očištěnou a neочиštěnou částí.



**Obr. 9** Světelná mikroskopie, modré světlo. Rozhraní mezi očištěnou a neочиštěnou částí.

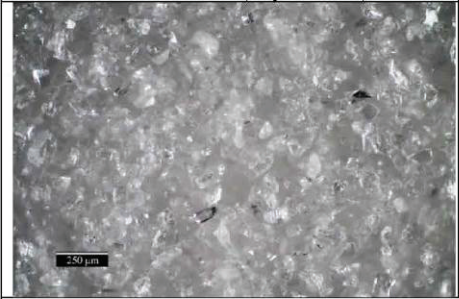

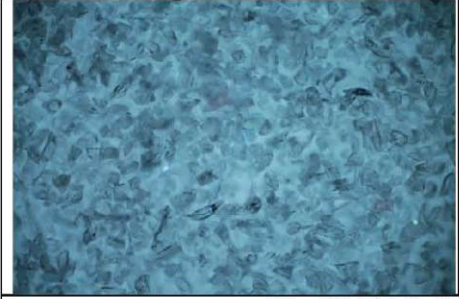

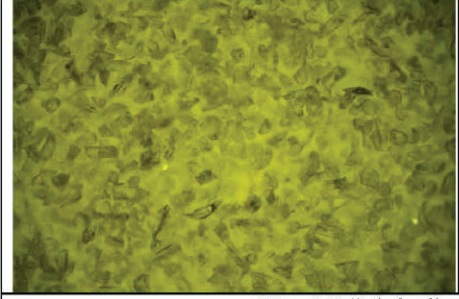
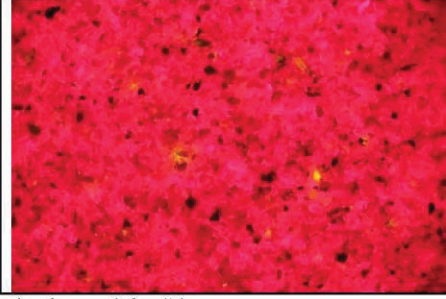
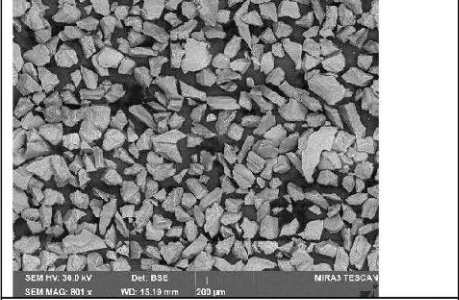
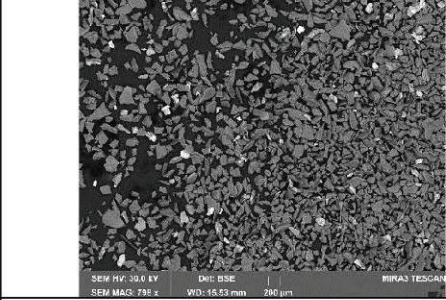
**Obr. 6-9** Rozhraní mezi neочиštěným a očištěným povrchem vzorku. Na očištěném povrchu se nalézají místa s růžovou luminiscencí v modrém světle. V těchto místech se vyskytují prohlubně a drobné částice abraziva.

Tab. 5: Nečištěný a očištěný povrch vzorku MA2. Elektronová a světelná mikroskopie.



**Obr. 9 a-f (zleva dolů)** a, b) Snímky ze světelného mikroskopu SMZ800 v bílém světle. Makrosnímky povrchu vzorku s neочиštěnou (vlevo) a očištěnou částí (u snímku ad a) obráceně). c-f) Snímky ze skenovacího elektronového mikroskopu (SEM). Na očištěném povrchu kompaktního povrchu sádry stejně jako u vzorku MA1 vyskytují lokální ostrůvky neочиštěného povrchu, které jsou patrné i na originálním povrchu, i když v menší míře. Na kompaktním povrchu je narušení povrchu čištěním výraznější, úbytek originálního povrchu je v řádu jednotek až desítek nanometrů. Ve světelném mikroskopu nebyl úbytek materiálu pozorován.

Tab. 6: Porovnání abraziv F220 a F360. Světelná a elektronová mikroskopie.

Abrazivo F220 (bílý korund)	Abrazivo F360 (hnědý korund)
	
Obr. 10 Světelná mikroskopie, bílé světlo.	
	
Obr. 5 Světelná mikroskopie, UV záření.	
	
Obr. 6 Světelná mikroskopie, modré světlo.	
	
<p>Obr. 7 SEM/EDX: zrna korundu Al (Mg), maximální velikosti cca 0,2 mm, běžná velikost 0,1 mm</p>	<p>Obr. 8 SEM/EDX: korund Al (Ti, Mg), obsahuje další zrna Si, Al (K, Ca, Mg, Ti), Al, Mg, Si (Ca, Zr, Ti, Na, K), maximální velikost cca 0,1 mm, běžná velikost cca 0,03 mm</p>

## ZÁVĚR

Metodami světelné mikroskopie a elektronové mikroskopie s energiově-disperzní (SEM/EDX) analýzou byla studována část povrchu vzorku sádry částečně očištěné mikroabrazivní metodou přístrojem Miniblaster 1 za použití tlaku 1 bar a abraziva F360. Neочиštěná část povrchu vykazovala tmavší šedý odstín v porovnání s očištěnou částí, která byla světle šedá.

Na povrchu sádry se vyskytuje tmavá vrstva tvořená prachovým znečištěním, která je částečně integrální součástí sádrového podkladu. V povrchové vrstvě nelze vyloučit i obsah proteinové složky, která mohla mít vliv na integraci znečištění do materiálu, které se běžně děje v případě uložení sádrových objektů ve vlhkých podmínkách. Podrobnější analýzu svrchní vrstvy provedla Renata Tišlová (*Chemicko-technologický průzkum povrchových úprav, Sádrový reliéf Libuše, Suchardova vila, Praha, 2017*).

Na základě mikroskopického průzkumu odebraných vzorků s různým typem povrchu lze jednoznačně pozorovat čistící účinek abrazivních metod, který je ale částečně doprovázen úbytkem originálního povrchu materiálu a to v případě porézního i kompaktního povrchu. Popisované změny na povrchu se dějí lokálně a jsou doprovázeny úbytkem materiálu povrchu v řádu několika nm. Vizualně či světelnou mikroskopii nejsou změny na povrchu zaznamenatelné.

Na základě charakteristické růžové barvy v modrém světle a prvkové analýzy byla na čišťené ploše spíše ojediněle identifikována zrna použitého abraziva F360, která ulpávala v pórech nebo zůstávala zaryta do povrchu.

## PŘÍLOHA – SNÍMKY MÍSTA ODBĚRU VZORKU

Autor snímků: Pavel Mrovč, Zuzana Auská



**Obr. 9** Lokalizace místa odběru vzorku MA1 a MA2.



**Obr. 10** Detail místa odběru vzorku MA1.



**Obr. 11** Detail místa odběru vzorku MA2.

## Čištění povrchově neupravené sádry laserem

Autoři: Petra Lesniaková, Pavel Mrověc, Jakub Ďoubal

Příspěvek se zaměřuje na problematiku čištění povrchově neupravených sádrových odlitků laserem. V teoretické rovině zde jsou kompilovány výhody i možné nedostatky odstraňování nečistot pomocí laserů. Článek představuje publikované předpoklady i zkušenosti z praxe související s negativní změnou povrchu materiálů čištěných laserem a zejména výsledky experimentálních zkoušek čištění provedených na uměle znečištěné sádře. V rámci experimentu byly připravené sádrové pláty pokryty vrstvami černých pigmentů, železité, sazové a uhlové černi, které svými vlastnostmi vhodně imitovaly prachové depozity. K čištění byly použity dva Ng:YAG lasery, EOS 1000 SRF a Qs laser Thunder Art, při různých podmínkách nastavení, zahrnujících rozdílné vlnové délky a různé energetické hustoty. Vyhodnocení bylo provedeno vizuálně a mikroskopicky – stereoskopickou, optickou a skenovací elektronovou mikroskopií s prvkovou mikroanalýzou. Na základě provedených testů a průzkumů byly zjištěny podmínky vhodného použití a nastavení laserů k čištění reálných sádrových objektů. Zároveň výzkum poukázal na nežádoucí změny, které mohou po laserové ablacii povrchu sádry nastat.

### CLEANING OF GYPSUM PLASTER

The article summarizes the current knowledge and possibilities of laser cleaning of plaster casts. It is particularly focused on the laser cleaning of non-treated gypsum plaster covered with deposits. The experimental study deals with effects of laser cleaning on the gypsum plaster plates covered with artificial dirt which was simulated by carbon and iron black pigments. Within the experiment Nd:YAG lasers EOS 1000 SFR and Qs laser Thunder Art were used in various operating conditions. The changes after laser irradiation were evaluated by visual observation and by stereoscopic, optical and electron microscopy with energy-dispersive microanalyses (SEM-EDX). Based on the cleaning tests it was possible to set suitable conditions for laser cleaning on real plaster objects. Presented research also points undesirable phenomena occurring after laser ablation not only on gypsum plaster.

Čištění je jedním z nejrizikovějších úkonů v procesu restaurování-konzervace především kvůli možnosti vzniku nevratných nežádoucích ztrát a změn díla. Čištění sádry je v porovnání s ostatními minerálními materiály komplikovanější kvůli jejím specifickým fyzikálním a chemickým vlastnostem, zejména vyšší citlivosti k vlhkosti, rozpustnosti ve vodě, vysoké křehkosti a pórovitosti nebo nízké pevnosti a ořezuvzdornosti [Rovnaníková, 2004; Béna, 2011; Kotlík, 1999].

S uvedenými vlastnostmi souvisí jisté limity tradičních i současných metod čištění sádry a v podstatě každá z nich sebou přináší určitá rizika poškození objektu a předně jeho povrchu. Například tradiční suché metody využívající plastické a drolivé pryže mohou být nebezpečné kvůli nadměrnému otěru a ztrátě mikroreliefu, což platí zejména u povrchů se sníženou soudržností. Taktéž nežádoucí je případné ulpění částic abraziva v porézním systému sádry. Podobně je tomu při mikropískování, kdy navíc v extrémních případech kvůli nerovnoměrnému a obtížně kontrolovatelnému čištění může snadno dojít k výraznějšímu narušení povrchu. Mezi nejméně riskantní a zřejmě nejvyužívanější metody čištění sádrových odlitků patří vysávání nečistot nebo jejich ometení či setření pomocí suchých textilií a kartáčů. Tyto metody jsou ovšem dostatečně účinné pouze při odstraňování lehce ulpělých nečistot. U znečištěných sádrových odlitků bývá část nečistot většinou velmi pevně propojená se substrátem a v těchto případech jsou tyto základní metody neúčinné. Při mokřích metodách čištění hrozí vznik skvrn nebo migrace nečistot, sádra může být nadměrně zvlhčována,



měkne nebo se dokonce rozpouští. K těmto jevům bohužel někdy dochází i při aplikaci čistících kapalin pomocí zábalů, gelů a past. Mokrý metody čištění jsou navíc často spojeny s určitým mechanickým namáháním, což vede k poměrně snadnému otěru povrchu, jako například při použití vlhčených vatových smotků. Nakonec i adhezí slupovací metody jsou leckdy obtížně kontrolovatelné, může při nich docházet k odstranění tenké vrstvy sádry v důsledku vyšší adheze slupovacích vrstev a jejich současného smrštění [Badde, 2009; Berzioli, 2011; Vodáček, 2006].

Bezkontaktní suchá laserová ablace většinu z uvedených nevýhod eliminuje a měla by proto teoreticky představovat vhodnou metodu čištění sádrových artefaktů. Navíc se jedná o velmi citlivou a vysoce selektivní metodu s dobrou kontrolovatelností procesu čištění, která je běžně úspěšně využívána v restaurátorské-konzervátorské praxi [Senesi, 2016; De Cruz, 2000; Siano, 2003; Škarvada, 2017]. Vhodnost čištění laserem objektů zhotovených ze sádry by mohla být dále podpořena vysokým barevným kontrastem mezi bílou sádrovou podložkou a tmavými depozity. Na druhou stranu se na světlé a navíc poměrně vysoce pórovité sádře mohou intenzivněji uplatnit nežádoucí vizuální změny, které byly zaznamenány v praxi i potvrzeny experimentálně nejen po laserové ablací sádry, ale i dalších sochařských materiálů [Siano, 2012; Bordalo, 2012; Prasad, 2010; Doehne, 2010; Zahradník, 2001].



Obr. 1 Poznatky získané studií byly aplikovány na vybrané objekty. Sádrová bysta Vlasty Zindlové od sochaře Stanislava Suchardy byla čištěna laserem EOS 1000 SFR (foto z průběhu čištění), vizuálně nehomogenní plochy byly dočišťovány plastickou gumou (KOH-I-NOOR). Foto Pavel Mrověc.

Jak bylo naznačeno, použití laseru vedle nesporných výhod představuje při určitých podmínkách čištění a nastavení přístroje riziko okamžitého či postupného poškození povrchu, zejména kvůli generování příliš vysokých teplot. V jistých případech může mít nežádoucí dopad použitá vlnová

délka laseru, aniž by docházelo k nadměrnému zahřívání povrchu. Obecně bývají změny včetně míry očištění zpravidla intenzivnější s vyšší energetickou hustotou laseru.

Mezi nejčastější negativní jevy spojené s laserovou ablací patří žloutnutí a tmavnutí, známé jsou také chemické, případně fyzikální alterace pigmentů, organických pojiv [Pouli, 2000; Pouli, 2011] nebo základních materiálů [Aldrovandi, 2000]. Nežádoucí změny mohou dále nastat odkrytím zažloutlých či jinak barevných vrstev a povrchů [Vergés-Belmin, 2016; Dignard, 2003], depozicí barevných látek nebo odlišným rozptylem světla na alterovaném povrchu [Zafiropoulos, 2003; Vergés-Belmin, 2016]. K posledním uvedeným jevům většinou dochází usazením barevných reziduí na čištěném díle či změnou morfologie povrchu na mikroskopické úrovni. Teoreticky může být nárůst teploty generovaný při čištění příčinou dehydratace sádry či poškození krystalů sádrovce, vedoucí s velkou pravděpodobností k následnému sprašování povrchu. K nevýhodám použití laseru dále patří poměrně vysoká ekonomická náročnost, pořizovací cena i složitější údržba. Z uvedených důvodů není ani v dnešní době čištění laserem v běžné restaurátorské praxi příliš rozšířeno.

Přímo k problematice dopadu laserové ablace na sádrové objekty neexistuje mnoho odborných publikací. Dokonce samotná možnost čištění sádry laserem bývá v literatuře uvedena spíše okrajově [Badde, 2009]. Z nemnoha dostupných podkladů lze jmenovat například studii zabývající se vlivem laserové ablace na uměle znečištěné povrchy sádry [Vergés-Belmin, 2016]. V rámci experimentu popisovaného v této publikaci byl zkoumán vliv různých energetických hustot paprsku Nd:YAG Qs laseru s vlnovou délkou 1064 nm na sádru uměle znečištěnou hematitem a lampovou černí. Zjednodušeně lze shrnout, že v obou případech, ale především po čištění vrstev s hematitem, docházelo ke žloutnutí povrchů kvůli předpokládané alteraci použitých pigmentů.

Stejná skupina autorů [De Oliviera, 2015] se v jiné práci zaměřila na možnost barevné rekonverze povrchu sádry s lampovou černí zežloutlého po čištění laserem jeho expozicí ultrafialovému záření. V další studii související s řešenou problematikou [Tanguy, 2004] byl zkoumán vliv vlnových délek 355 a 1064 nm Qs Nd:YAG laseru na výsledky čištění modelových vzorků sádry i znečištěných sádrových děl. Čištění s vlnovou délkou 355 nm bylo účinnější i šetrnější. Navíc nebyly po čištění s touto vlnovou délkou na rozdíl od vlnové délky 1064 nm zaznamenány negativní změny barevnosti povrchu sádry ani morfologické a krystalografické změny sádrovce. V článku je dále uvedena možnost rehabilitace povrchu zežloutlého po čištění laserem s vlnovou délkou 1064 nm použitím vlnové délky laseru 355 nm, náležící do ultrafialové oblasti elektromagnetického záření. Tento jev do jisté míry koresponduje se závěry studie popisující rekonverzi zežloutlých povrchů sádry čištěné laserem jejich expozicí ultrafialovému záření [De Oliviera, 2015]. Mechanismus nastíněného fenoménu však nebyl ani v jednom případě blíže vysvětlen.

S řešenou problematikou do určité míry souvisí také práce primárně zaměřená na odstraňování povrchových úprav ze sádry [Zahradník, 2001]. Jsou zde popsány výsledky čištění Qs Ng:YAG laserem při 1064 nm připravených vzorků sádry opatřených obvyklými úpravami organického i anorganického původu. V rámci experimentu byla taktéž provedena zkouška čištění povrchově neupravené přirozeně stárnuté sádry, při které došlo k redukci nečistot, ale zároveň také úbytku původního materiálu. Při čištění povrchových úprav bylo zaznamenáno například jejich žloutnutí či tmavnutí, nedostatečné odstranění nebo úbytek povrchu sádry. Autor v závěru studie doporučuje čištění sádry laserem v případech, kdy je její povrch oddělen od odstraňovaných vrstev separační vrstvou nebo vykazuje-li dostatečný barevný kontrast. Dále se v publikaci uvádí, že čištění laserem by mělo být prováděno po provedení komparativních zkoušek s ostatními metodami čištění.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

## Čištění sádrových plátů lasery [Mrovčec, 2017]

Čištění lasery bylo provedeno na uměle znečištěných sádrových plátech s rozměry 29,5 cm x 39,5 cm x 0,7 cm. Pláty byly vytvořeny nalitím sádry připravené ze směsi sádry (Almod LC, Saint-Gobain Formula) a vody ve hmotnostním poměru 5 : 3 do silikonové formy. Znečištění bylo simulováno rovnoměrně nanesenou vrstvou pigmentů ve dvou intenzitách na plochu sádrových plátů, která byla při jejich výrobě v kontaktu se silikonovou formou. K imitaci nečistot byly vybrány úhlová, sazová a železitá čern (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG). Tyto pigmenty svými vlastnostmi velmi dobře simulují látky běžně se vyskytující v prachovém depozitu [Vergés-Belmin, 2016]. Celkem tedy bylo vytvořeno 6 plátů, přičemž zkušební čištěná pole měla rozměry 4 cm × 4 cm.

K experimentu byly použity dva typy pulsních Nd:YAG laserů; Qs laser Thunder Art a SFR laser EOS 1000. Thunder Art je tzv. „Q-switched“ (Qs) laser s dobou trvání pulzu okolo 10 ns. EOS 1000 SFR je tzv. „Short free running“ (SFR) laser, který má mnohem delší trvání pulzu, jež se pohybuje v rozmezí 30–120 μs. To znamená, že puls SFR laserů je zhruba 1000 × delší, než puls Q-switched laserů [Ďoubal, 2013]. Zjednodušeně lze říci, že v případě SFR laserů je hlavním mechanismem čištění fototepelná reakce s nečistotami, Qs lasery fungují převážně na principu fotomechanické reakce [Schreiner, 2008].

Laserem EOS 1000 SFR, pracujícím s vlnovou délkou paprsku 1064 nm, bylo na každém plátu vytvořeno vždy 8 čištěných zkušebních polí rovnoměrným zvyšováním hustoty energie od 0,7 J/cm<sup>2</sup> do 8 J/cm<sup>2</sup>. Qs laserem Thunder Art bylo čištěno celkem 12 polí, přičemž pro každou možnost spektrálního nastavení vlnové délky paprsku byly očištěny 4 pole. Čištění bylo realizováno při následujícím nastavení dostupných vlnových délek a experimentálně vybraných hraničních energetických hustotách laseru: 1064 nm / 0,15–0,78 J/cm<sup>2</sup>, 532 nm / 0,12–0,48 J/cm<sup>2</sup> a 355 nm / 0,08–0,25 J/cm<sup>2</sup>. Frekvence pulzu paprsku laseru byla konstantně u obou laserů 10 Hz. Schéma nastavení laserů při čištění jednotlivých polí na sádrových plátech (Obr. 2) uvádí Tab. 1.

Vlnová délka	laser EOS 1000 SFR / číslo zkušebního pole – energetická hustota, energie, velikost bodu			
1064 nm	A1 – 0,7 J/cm <sup>2</sup> , 200 mJ, Ø 6mm	A2 – 1,4 J/cm <sup>2</sup> , 400 mJ, Ø 6mm	A3 – 2,1 J/cm <sup>2</sup> , 600 mJ, Ø 6mm	A4 – 2,8 J/cm <sup>2</sup> , 800 mJ, Ø 6mm
1064 nm	A5 – 3,5 J/cm <sup>2</sup> , 1000 mJ, Ø 6mm	A6 – 4,1 J/cm <sup>2</sup> , 800 mJ, Ø 5mm	A7 – 5,1 J/cm <sup>2</sup> , 1000 mJ, Ø 5mm	A8 – 8 J/cm <sup>2</sup> , 1000 mJ, Ø 4 mm
	Thunder Art Qs laser / číslo zkušebního pole – energetická hustota, energie, velikost bodu			
1064 nm	B1 – 0,15 J/cm <sup>2</sup> , 120 mJ, Ø 10 mm	B2 – 0,25 J/cm <sup>2</sup> , 200 mJ, Ø 10 mm	B3 – 0,5 J/cm <sup>2</sup> , 400 mJ, Ø 10 mm	B4 – 0,78 J/cm <sup>2</sup> , 600 mJ, Ø 10 mm
532 nm	C1 – 0,12 J/cm <sup>2</sup> , 100 mJ, Ø 10 mm	C2 – 0,15 J/cm <sup>2</sup> , 150 mJ, Ø 10 mm	C3 – 0,31 J/cm <sup>2</sup> , 250 mJ, Ø 10 mm	C4 – 0,48 J/cm <sup>2</sup> , 380 mJ, Ø 10 mm
355 nm	D1 – 0,08 J/cm <sup>2</sup> , 70 mJ, Ø 10 mm	D2 – 0,12 J/cm <sup>2</sup> , 100 mJ, Ø 10 mm	D3 – 0,2 J/cm <sup>2</sup> , 160 mJ, Ø 10 mm	D4 – 0,25 J/cm <sup>2</sup> , 200 mJ, Ø 10 mm

Tab. 1 Přehled nastavení laserů při čištění zkušebních polí na sádrových plátech.

## Metody vyhodnocení

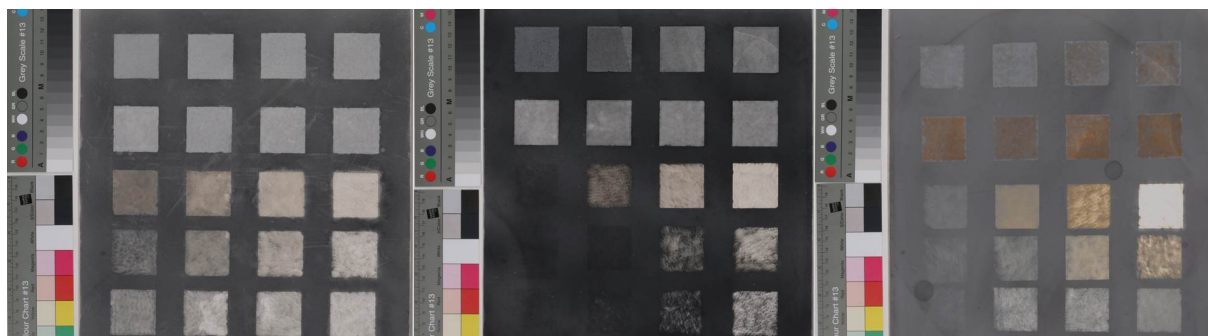
Výsledky čištění uměle znečištěných sádrových plátů byly vyhodnoceny vizuálně a fotograficky zdokumentovány. Dokumentace byla provedena fotoaparátem EOS 70D (Canon) s makro objektivem Canon EF 50 mm/1,8 STM ve viditelném světle, dále byly pořízeny UV fluorescenční snímky plátů s očištěnými zkušebními poli. K tomuto účelu byla použita lampa UVA SPOT 400T (Höhnle) produkující UV záření v rozmezí vlnových délek 315–400 nm.

Čištěná pole byla dále zkoumána a dokumentována stereomikroskopem Leica S6 D (Leica Microsystem). Focení proběhlo za konstantních světelných podmínek ve tmě při maximálním osvětlení diodovým prstencem a stejném nastavení fotoaparátu EOS 600D (Canon).

Na základě vizuálního průzkumu a průzkumu stereoskopickým mikroskopem byla vybrána pole k odběru vzorků určených k průzkumu optickou mikroskopií a skenovací elektronovou mikroskopií s energiově-disperzní analýzou (SEM-EDX). K průzkumu byly dále odebrány referenční vzorky z neočištěných povrchově upravených částí a z čisté, tedy povrchově neupravené a nečištěné sádry i vzorky čistých pigmentů. Z některých vzorků odebraných z rozhraní čištěných a nečištěných ploch byly k mikroskopickému průzkumu připraveny nábrusy. K průzkumu byl použit polarizační mikroskop Eclipse LV100DU (Nikon) s digitálním fotoaparátem EOS 1100D (Canon). Průzkum byl proveden v odraženém bílém a modrém světle, byla zkoumána také UV fluorescence vzorků. Dále byl použit skenovací elektronový mikroskop Mira 3 LMU (Tescan) s analytickým systémem Bruker Quantax 2000 (Bruker). Studovány byly pozlacené kusové vzorky nebo pouhliččené nábrusy ve vysokém vakuu, v režimu zpětně odražených elektronů (BSE) při urychlovacím napětí 25 keV.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Vyhodnocení zkoušek čištění bylo provedeno zejména na základě vizuálního posouzení a metodami optické a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou. Studium UV fluorescence v makro i mikro měřítku nebylo při hodnocení čištění přínosné a sloužilo spíše k dokumentaci provedených experimentů.



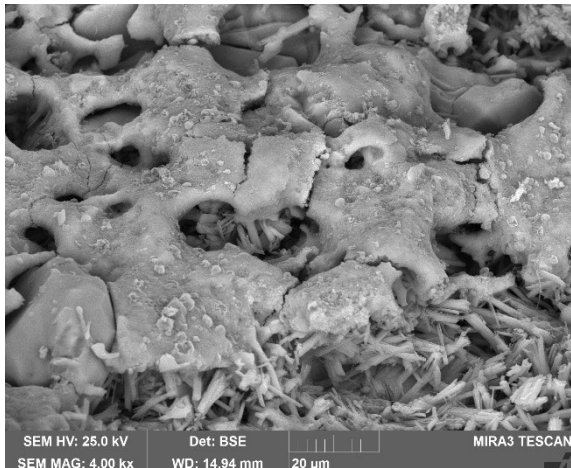
Obr. 2 Srovnání čištěných polí na tmavších sádrových plátech uměle znečištěných uhlovou, sazovou a železitou černí. Rozmístění zkušebních polí odpovídá Tab. 1. Foto Pavel Mrovčec.

### Výsledky čištění laserem EOS 1000 SFR

Z vizuálního hlediska byl pro čištění sádry znečištěné uhlovou a sazovou černí jednoznačně vhodnější laser EOS 1000 SFR. Čištění bylo poměrně efektivní a prakticky nebyla zaznamenána žádná negativní změna barevnosti či odstínu (žloutnutí, tmavnutí) čištěných polí. Při čištění sádry znečištěné železitou černí naopak často docházelo k silnému žloutnutí, přičemž zkušební plochy získávaly tmavě okrovou barvu. S vyšší energetickou hustotou laseru bylo žloutnutí intenzivnější. Pouze při minimální energetické hustotě laseru nebylo žloutnutí zkušebních ploch s železitou černí vizuálně patrné. Z vizuálního průzkumu dále vyplynula vyšší efektivita odstraňování železité černi Qs laserem Thunder Art než laserem EOS 1000 SFR v širším spektru energetických hustot.

Skenovací elektronovou mikroskopií byl v mnoha případech zjištěn fenomén slinutí povrchu sádry v tenké vrstvě (Obr. 3). Vznikaly slinuté plochy se zaoblenými až kruhovými otvory. S vyšší mírou slinutí bylo pozorováno charakteristické rozpraskání slinutých ploch do oblastí přibližně stejné

velikosti. Obecně bylo se vzrůstající energetickou hustotou svazku slinutí intenzivnější. Při použití nejvyšších energetických hustot se vyskytovaly na slinutých plochách puchýře. Při nejnižších energiích laseru nebyla slinutí v ploše pozorována nebo byla zaznamenána pouze ve zcela minimální míře. Projevovala se náhodným slinutím konců krystalů sádrovce, zbylé části krystalů byly na povrchu často deformovány nebo popraskány. Míra slinutí se do jisté míry lišila také v závislosti na použitých pigmentech či intenzitě znečištění. Největší slinutí byla pozorována po čištění sazové černí, nejmenší po čištění povrchů uměle znečištěných uhlovou černí. Míra slinutí tedy zřejmě nesouvisela s intenzitou žloutnutí. Po čištění povrchu s železitou černí bylo zaznamenáno zakomponování pigmentu do slinutých ploch v podobě oblých až kruhových útvarů. Použitými metodami nebylo zjištěno zakomponování uhlíkatých černí do slinutých vrstev sádry, ale ani vyloučeno.



Obr. 3 Příklad slinutí povrchové části sádry po čištění laserem EOS 1000 SFR. V pravém dolním rohu jsou patrné odhalené nezměněné krystaly sádrovce. SEM, BSE. Foto Petra Lesniaková.

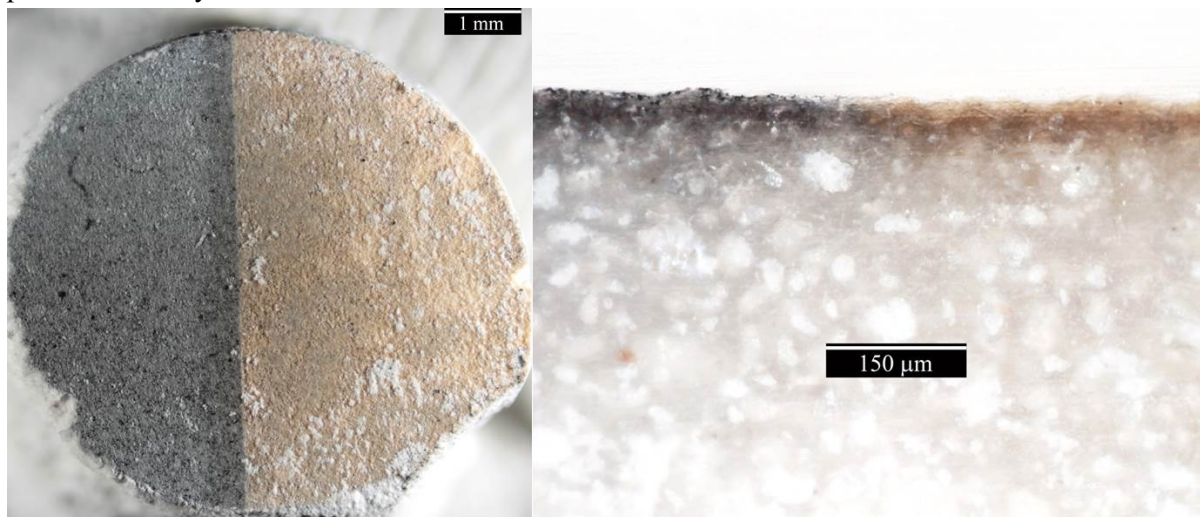
### Výsledky čištění Qs laserem Thunder Art

Na základě vizuálního posouzení nebylo možné výsledky čištění laserem Thunder Art při použití vlnových délek 1024 a 532 nm považovat za uspokojivé. Po čištění často docházelo k nežádoucím vizuálním změnám, mezi něž lze řadit především žloutnutí, tmavnutí povrchu nebo nehomogenní odstranění nečistot. Zjednodušeně lze konstatovat, že negativní změny (zejména žloutnutí) byly nejintenzivnější při použití vlnové délky laseru 1064 nm, menší negativní změny vznikaly při vlnové délce 532 nm. Pouze při čištění s vlnovou délkou paprsku 355 nm byly nežádoucí změny minimální. Uvedené fenomény korespondují s údaji z literatury, kde je například popsána mnohem vyšší míra žloutnutí po čištění vrstvy grafitu z povrchu sádry Qs Nd:YAG laserem při použití vlnové délky paprsku 1064 nm v porovnání s vlnovou délkou 355 nm [Tanguy, 2004].

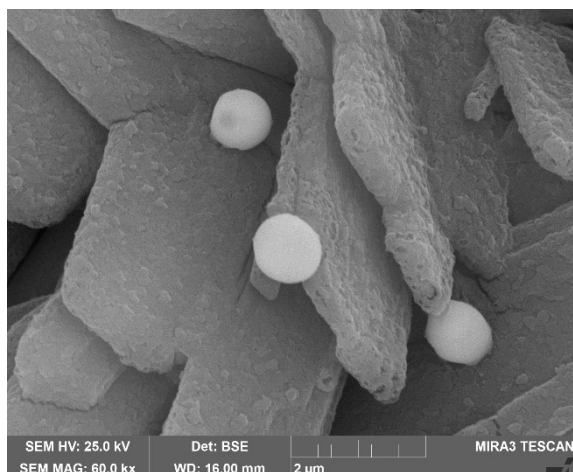
V obecné rovině lze shrnout, že při použití nižších energetických hustot laseru Thunder Art bylo tmavnutí a do jisté míry také žloutnutí ploch intenzivnější, odstranění vrstvy depositů bylo zpravidla nedostatečné. Nejintenzivnější tmavnutí bylo zaznamenáno při čištění sazové černí. Při použití vyšší intenzity paprsku také docházelo k barevným změnám a tmavnutí, celkově se však tyto změny vizuálně projeví méně. Docházelo totiž k intenzivnějšímu odstranění pigmentů, tedy zřejmě také negativně alterovaných vrstev. V některých případech byla viditelná stopa laseru na povrchu zkušebních ploch, což mohlo být do jisté míry způsobeno manipulací s laserem. Na základě vizuálního posouzení bylo možné se subjektivně domnívat, že vysoké energie laseru generovaly určitou degradaci povrchu nebo úbytek povrchové vrstvy sádry.

Pomocí optického mikroskopu bylo zjištěno, že po čištění zřejmě dochází ke žloutnutí, respektive alteraci, pozůstávajících vrstev depositů v celé tloušťce (Obr. 4). Mikroskopická studie dále prokázala

poškození povrchu krystalů sádrovce po čištění laserem Thunder Art. Na krystalech byly skenovací elektronovou mikroskopií zaznamenány mikroskopické defekty a prohlubně, případně popraskání (Obr. 5). Nebyla zjištěna souvislost výskytu a míry mikroskopického poškození krystalů sádrovce s jinými jevy, například energií a vlnovou délkou paprsku nebo mírou žloutnutí. V některých případech byly pozorovány morfologické změny částic železité černi v podobě jejich slinutí do kulovitých útvarů. Odstranění krystalů sádrovce nebo tenké vrstvy sádry nebylo mikroskopicky prokázáno ani vyvráceno.



Obr. 4 Rozhraní plochy s železitou černí čištěné Qs laserem Thunder Art při 1064 nm a 0,5 J/cm<sup>2</sup>. Optická mikroskopie vzorku a nábrusu, kde je patrné zežloutnutí vrstvy pigmentu v celé tloušťce. Foto Pavel Mrovč, Petra Lesniaková.



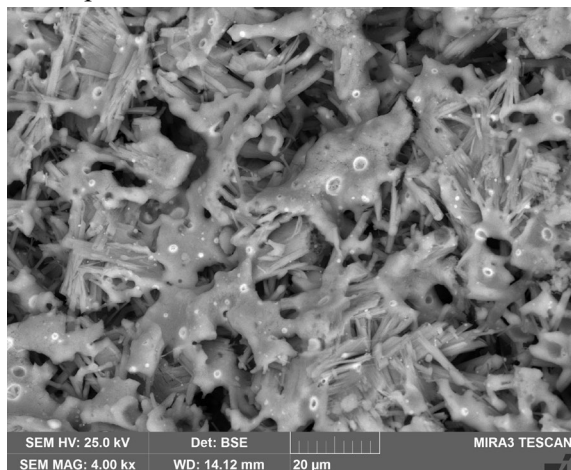
Obr. 5 Příklad výskytu mikroskopických defektů na krystalech sádrovce a slinutí částic železité černi do kulovitých útvarů po čištění Qs laserem Thunder Art. SEM, BSE. Foto Petra Lesniaková.

### Shrnutí výsledků a diskuse

Pigmenty k přípravě zkušebních plátů byly vybrány tak, aby jejich složení korespondovalo s hlavními složkami běžných depozitů, u kterých lze navíc předpokládat, že mohou při čištění laserem alterovat. Výběr pigmentů byl proto ohraničen na pigmenty na bázi uhlíku (sazová, uhlová čern) a oxidů železa (železitá čern). Ukázalo se, že v rámci počátečních experimentů bylo vhodné připravit vrstvy imitující nečistoty z uvedených pigmentů separátně a pigmenty navzájem nemíchat, přestože by tak mohla být získána vrstva podobnější reálnému depozitu. Bylo tak možné vyhodnotit vliv laserové ablace sádry

v závislosti na složení pigmentů a zjistit, případně přesněji odhadnout, možné příčiny vzniklých jevů navíc s přesahem do oblasti čištění barevných vrstev. Přestože se předpokládá synergie vzniklých negativních jevů při čištění, bylo by možná zajímavé vyzkoušet vliv laseru na takovéto směsné vrstvy. Z výsledků předkládané studie vyplývá, že laserová ablace může být vhodnou a dostatečně citlivou metodou čištění objektů zhotovených ze sádry. Pozitivní výsledky použití laseru byly patrné i při praktických aplikacích a zkouškách na reálných objektech, kde bylo laserové čištění vyhodnocováno v porovnání s dalšími dostupnými metodami. Před celkovým zákrokem je však nutné nejprve stanovit optimální podmínky a postup čištění na základě důsledně provedených a vyhodnocených zkoušek čištění. V praxi se uplatní zejména vizuální zhodnocení zkoušek čištění v normálním světle i metoda UV fluorescenční fotografie. Čištěný povrchu by měl být posouzen alespoň pomocí lupy. Případné sprašování povrchu lze kromě subjektivních metod (např. ořer) vyhodnotit například „peeling“ testem [Drdácký, 2012]. Obecně lze předpokládat, že šetrnějšího čištění reálných objektů lze docílit použitím nižších energií laserů, což je zpravidla spjato s menší mírou odstranění depozitů.

Při nevhodných podmínkách čištění může docházet k nežádoucím změnám, které se vizuálně projevují zejména žloutnutím a tmavnutím povrchu či nehomogenním odstraněním nečistot. Pomocí skenovací elektronové mikroskopie byly odhaleny další negativní fenomény, které mohou v důsledku čištění laserem nastat. Jedná se zejména o slinování mikroskopické povrchové vrstvy sádry po čištění laserem EOS 1000 SFR. Uvedený jev se zřejmě může projevit sprašováním povrchu, jež bylo v praxi při zkouškách čištění některých objektů subjektivně pozorováno. Lze se domnívat, že ke slinutí povrchové vrstvy krystalů sádrovce dochází s největší pravděpodobností z důvodu vyššího zahřívání povrchu laserem s delším pulzem. Problematika možného narušení povrchu sádry, především jeho sprašování, která nebyla v rámci předkládané práce zkoumána, by mohla být vhodným tématem pro další studie. Skenovací elektronovou mikroskopií byl dále v některých případech zaznamenán vznik mikroskopických defektů na povrchu krystalů sádrovce, změna tvaru částic pigmentů nebo zakomponování a modifikace částic železité černi do slinuté vrstvy sádry (Obr. 5, 6).



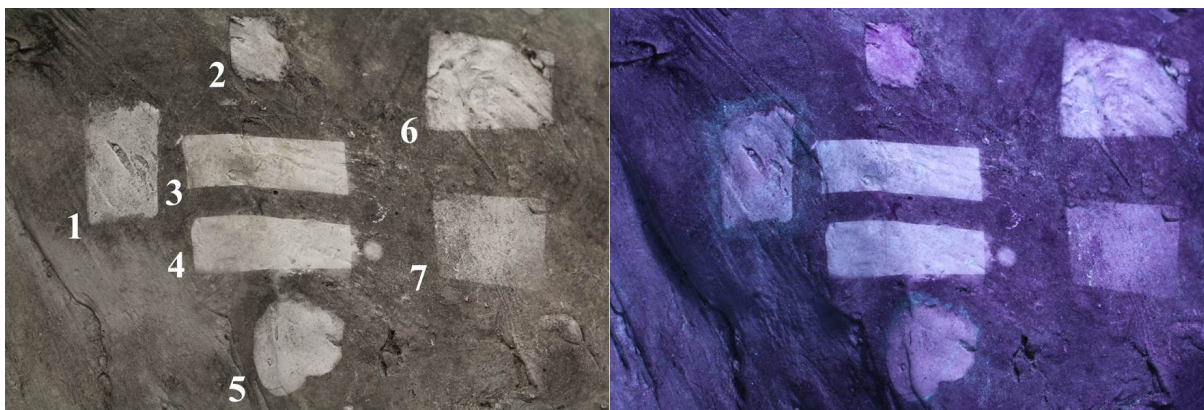
Obr. 6 Příklad částečného slinutí povrchové části sádry a zakomponování i modifikace železité černi (bílé kroužky) do slinuté sádry po čištění laserem EOS 1000 SFR. SEM, BSE. Foto Petra Lesniaková.

Mezi teoretické předpoklady příčin žloutnutí povrchu po čištění laserem patří zejména chemická, případně fyzikální alterace pigmentů, potažmo složek depozitů s obdobnými vlastnostmi. Na základě odborné literatury je možné předpokládat, že je žloutnutí zaznamenané po laserové ablací uhlíkatých černí pravděpodobně podmíněno přítomnými organickými složkami pigmentů, které degradují vlivem vysoké teploty, jež je při čištění generována. Obecné předpoklady pro alteraci železité černě jsou obdobné, dochází zřejmě k její chemické přeměně i fyzikálním změnám. Morfologické změny částic

pigmentů byly navíc prokázány v rámci předkládaného výzkumu skenovací elektronovou mikroskopií. Chemické změny pigmentů, které by mohly být předmětem rozšířeného průzkumu, se nepodařilo použitými metodami přesně zjistit. K tomuto účelu by bylo nutné použít další analytické metody zkoumání. Na základě mikroskopického průzkumu nábrusů vzorků odebraných z rozhraní čištěných a nečištěných ploch bylo dále zjištěno, že k barevné změně docházelo v celé tloušťce pozůstatků odstraňované vrstvy. Zároveň lze předpokládat, že uvedený jev bude záviset na celkové tloušťce vrstvy depozitů a je možné, že od určité tloušťky vrstvy nemusí k alteraci docházet v její spodní části. Jedním ze zásadních poznatků získaných rešerší literatury je možnost rekonverze sádrových povrchů zežlutých v důsledku laserové ablace následným použitím laseru pracujícím v ultrafialové části elektromagnetického spektra s paprskem o vlnové délce 355 nm, případně vystavením alterovaného povrchu ultrafialovému záření [De Oliveira, 2015; Tanguy, 2004]. Téma rekonverze alterovaných povrchů by mělo být podrobeno samostatnému výzkumu.

Na základě provedených zkoušek nebylo možné doporučit Q-s laser Thunder Art k čištění povrchově neupravených objektů z důvodu nadměrného žloutnutí, tmavnutí a nehomogenního výsledku čištění modelových vzorků sádry při vlnových délkách paprsku 1024 a 532 nm. Pouze při vlnové délce 355 nm bylo čištění Qs laserem Thunder Art akceptovatelné, nicméně k mírnému pozorovatelnému žloutnutí u plátů se sazovou a uhlovou černí ve srovnání se SFR laserem EOS 1000 docházelo a bylo tedy možné předpokládat, že se obdobný jev může projevit také při čištění reálných objektů. Výsledky laboratorních testů byly ověřovány na plochách přirozeně stárnuté znečištěné sádry a dále zkoumány vizuálně makro i mikroskopicky. Na základě příznivých výsledků a porovnání s jinými dostupnými metodami, například čištěním plastickými pryžemi, mikroabrazí, gely z agaru a smáčenými vatovými smotky, byl laser využit při čištění sádrových děl [Škarvada 2017; Mrověc 2017]. V praxi bylo často třeba laserové čištění kombinovat s dalšími metodami, zejména k předčištění či dočištění povrchu. Z těchto doplňkových metod se nejlépe uplatnila plastická pryž pro snížení kontrastu nečistot se sádrou před aplikací laserové ablace, nebo případně pro dočištění nerovnoměrně očištěného povrchu laserem [Mrověc 2013; Škarvada 2017]. Dalším příkladem kombinace dvou metod čištění je použití vatových smotků smáčených v roztoku etanolu a vody k dočištění mastných tmavších nečistot po předčištění laserem [Škarvada 2017; Mrověc 2017]. Při zkouškách čištění artefaktů se dále ukázalo, že podmínky čištění vyzkoušené na uměle zhotovených a znečištěných plátech sádry vyhodnocené jako optimální nebyly vždy dostatečně vhodné pro reálné objekty, tedy přirozeně stárnutou sádru s prachovým depozitem. Reálné objekty byly evidentně citlivější než čerstvě připravené vzorky sádry, zvláště pokud byl objekt dlouhodobě vystaven nevhodným podmínkám uložení. Při čištění sádrových artefaktů byly nakonec využity nižší energetické hustoty SFR laseru EOS 1000, než které se osvědčily při testech na připravených sádrových plátech [Mrověc, 2017], tedy maximálně 3,5 mJ/cm<sup>2</sup>. Minimální účinná energie se pohybovala zpravidla kolem 1,8 mJ/cm<sup>2</sup>. Nicméně je nutno podotknout, že každý případ čištění je specifický a proto je tedy nutné volit podmínky čištění až na základě zkoušek realizovaných na daném objektu.

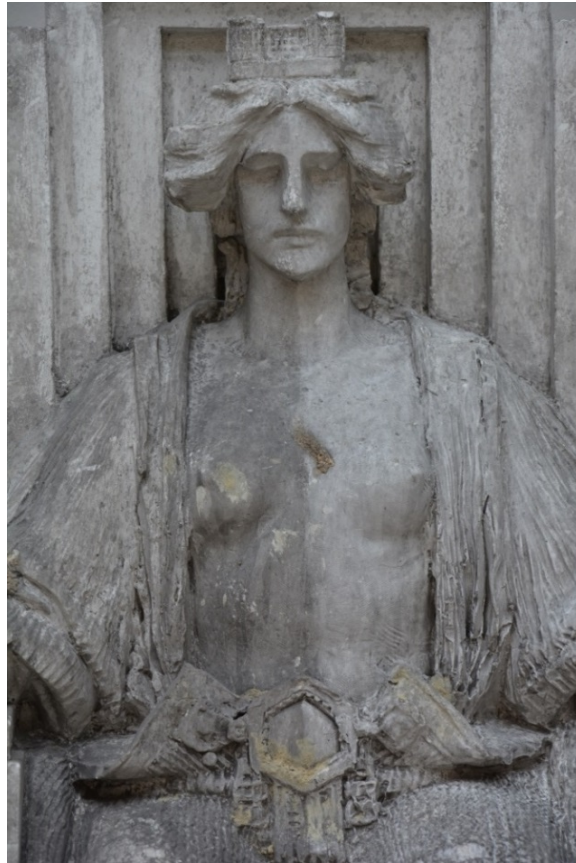




Obr. 7 Zkoušky čištění na povrchu sádrového objektu. Z obrázku je patrný vizuálně uspokojivý výsledek čištění gelem z agaru (1 – 2,5 hm. % film, 5 – 2,5 hm. % chladnoucí gel), avšak na základě UV fluorescence byla odhalena migrace látek. Podobný méně intenzivní jev byl zaznamenán po čištění vlhčeným vatovým smotkem vodou (2). Po mikroabrazi (7 – přístroj Sandblaster, mletý vápenec frakce 240) vznikaly nerovnoměrnosti a velké kontrasty čištění v plastickém reliéfu i destrukce vystouplých míst. Výsledky čištění plastickou gumou (6) byly relativně optimální, nicméně nebylo možné uspokojivě dočistit hlubší reliéf povrchu. Výsledek čištění laserem EOS 1000 SFR (3 – 2,8 J/cm<sup>2</sup>, 2 – 3,5 J/cm<sup>2</sup>) byl rovnoměrný, navíc bylo možné dočistit i těžko dostupná místa. Foto Pavel Mrověc.

## ZÁVĚR

V rámci předkládané práce byl studován vliv čištění povrchově neupravené uměle znečištěné sádry short free runnig a Q-switched lasery při různých podmínkách nastavení. Znečištění bylo realizováno nánosem uhlíkatých černí a železité černě, tedy pigmentů, které svými vlastnostmi vhodně simulovaly hlavní složky depozitů. Ukázalo se, že laserová ablace povrchově neupravené sádry může být při zvolení vhodných podmínek dostatečně šetrnou metodou čištění. Uspokojivé výsledky čištění byly získány zejména laserem EOS 1000 SFR, případně Qs laserem Thunder Art při vlnové délce paprsku 355 nm a nižších energetických hustotách svazku. Zjednodušeně lze shrnout, že použití Qs laseru Thunder Art při vlnových délkách 1024 a 532 nm nepřineslo akceptovatelné výsledky čištění. Z předkládané studie dále vyplývá, že před celkovým zákrokem je nutné nejprve stanovit optimální podmínky a postup čištění na základě důsledně provedených a vyhodnocených zkoušek. Experimentálně totiž byla potvrzena možnost vzniku negativních fenoménů po čištění lasery, zejména žloutnutí a tmavnutí, jejichž předpoklady byly do určité míry ověřeny metodami optické a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou mikroanalýzou. Dále byl prokázán vznik mikroskopických modifikací povrchu sádry, které se projevovaly v podobě slinutí nebo defektů na krystalech sádrovce. Teoreticky mohou být posledně zmíněné jevy příčinou sprašování povrchu sádry. Na základě provedených experimentů byl pro čištění reálných objektů zvolen SFR laser EOS 1000 za použití nižší energetické hustoty svazku v kombinaci s jinými metodami čištění.



Obr. 8 Průběh čištění modelu alegorické sochy Průmyslu od Stanislava Suchardy pro průčelí Městského muzea v Hradci Králové. Celek byl čištěn plastickou pryží, povrchy s nevyrovnaným výsledkem čištění byly dočištěny laserem EOS 1000 SFR za použití energetické hustoty 2,8 mJ/cm<sup>2</sup>. Foto Jiří Škarvada.

## **PODĚKOVÁNÍ**

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

## **SEZNAM MATERIÁLŮ**

- sádra Almod LC (Saint-Gobain Formula)
- uhlová čern (47800 Holzkohle), sazová čern (47250 Flammruss) a železitá čern (48400 Eisenoxidschwarz 318) (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG)

## **ZKRATKY, JEDNOTKY**

UV – ultrafialový

SFR – z angličtiny short free running

Qs – z angličtiny Q-switched

SEM – z angličtiny scanning electron microscopy / skenovací elektronová mikroskopie

EDX – z angličtiny energy-dispersive X-ray spectroscopy / energiově-disperzní rentgenová spektroskopie

BSE – z angličtiny back-scattered electrons / zpětně odražené elektrony

ns,  $\mu$ s – jednotky času / nanosekunda, mikrosekunda

mm, cm, nm – jednotky délky / milimetr, centimetr, nanometr

J/cm<sup>2</sup> – jednotka energetické hustoty paprsku / Joule na centimetr čtvereční

## LITERATURA

- ALDROVANDI, A. – LALLI, C. – LANTERNA, G. – MATTEINI, M. Laser cleaning: a study on greyish alteration induced on non-patinated marbles. *Journal of Culture Heritage*, 2000, vol. 1, s. 55–60.
- BADDE, A. *Dust on busts: dust on plaster surfaces, focusing on the portrait busts in the Rococo Hall of the duchess Anna Amalia Library in Weimar*. 2009. Disertační práce Northumbria University at Newcastle, Newcastle.
- BÉNA, P. *Restaurování odlitku sv. Mikuláše Tolentinského: role sádry v památkové péči se zaměřením na odlitky*. 2011. Diplomová práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.
- BORDALO, R. – MORAIS, P. J. – YOUNG, CH. R. T., SANTOS, J. F. – ALMEIDA, R. M. Characterisation of laser-induced physical alterations of pigmented oil layers. *E-Preservation science*, 2012, vol. 9, s. 47–59.
- BERZIOLI, M. *An analytical and applicative approach to the cleaning of artworks*. 2011. Disertační práce na Università degli studi di Parma.
- DE CRUZ, A. – MYRON, L. – WOLBARSH, L. – HAUGER, S. A. Laser removal of contaminants from painted surfaces. *Journal of Culture Heritage*. 2000, vol. 1, s. 173–180.
- DE OLIVIERA, C. – VERGÈS-BELMIN, V. – DEMAILLE, M. – BROMBLET, P. Lamp black and hematite contribution to laser yellowing: A study on technical gypsum samples. *Studies in Conservation*, 2016, vol. 61, no. 6, s. 136–145.
- DE OLIVEIRA, C. – BROMBLET, C. – COLOMBINI, A. – VERGÈS-BELMIN, V. Medium-wave ultraviolet radiation to eliminate laser-induced yellowing generated by the laser removal of lamp black on gypsum. *Studies in Conservation*, 2015, vol. 60, no. 1, s. 34–40. DOI: [10.1179/0039363015Z.000000000205](https://doi.org/10.1179/0039363015Z.000000000205)
- DOEHNE, E. – PRICE, A. C. *Stone conservation an overview of current research*. The Getty Conservation Institute Los Angeles, 2010.
- DRDÁCKÝ, M. etc. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces. *Material and Structures*, 2012, 45, s. 505–520.
- ĐOUBAL, J. *Technologie laserového čištění pískovcových památek*. 2013. Disertační práce na Českém vysokém učení technickém v Praze.
- KOTLÍK, P. *Stavební materiály historických objektů*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1999, ISBN 80-7080-3479, s. 22–23.
- MROVĚC, P. *Možnosti využití laseru v kontextu tradičních a současných metod čištění povrchově neupravených sádrových odlitků*. 2017. Teoretická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.
- MROVĚC, P. *Restaurování originálních sádrových odlitků od Stanislava Suchardy*. 2013. Bakalářská práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

- NOVOTNÝ, J. Sádra v památkové péči. In: *STOP: Sádra v památkové péči*. Praha: STOP, Národní muzeum, 2002, s. 31–40.
- POULI, P. – EMMONY, D. C. The effect of Nd:ZAG laser radiation on medieval pigments. *Journal of Culture Heritage*, 2000, vol. 1, s.181–188.
- POULI, P. – OUJJA, M. – CASTILLEJO, M. Practical issues in laser cleaning of stone and painted artefacts: optimisation procedures and side effects. *Applied Physics A*, 2012, s. 447–464. DOI 10.1007/s00339-011-6696-2.
- PRASAD, M. B. S. – SIANO, S. Laser yellowing. *Pramana – Journal of Physics*, December 2010, vol. 75, no. 6, s. 1249–1252.
- ROVNANÍKOVÁ, P. a kol. *Stavební chemie*, modul 3. Degradace stavebních materiálů a chemie kovů. VUT Brno, Fakulta stavební. 2004.
- VERGÈS-BELMIN, V. – DIGNARD, C. Laser yellowing: myth or reality? *Journal of Cultural Heritage*, 2003, vol. 4, s. 238–244.
- SANSONETTI, A. – CASATI, M. – STRIOVA, J. – CANEVALI, C. – ANZANI, M. – RABBOLINI M. A. Cleaning method based on the use of agar gels: new tests and perspectives. In: *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University* [online]. New York, 2012.
- SENESI, G. S. a kol. Laser cleaning and laser-induced breakdown spectroscopy applied in removing and characterizing black crusts from limestones of Castello Svevo, Bari, Italy: A case study. *Microchemical Journal* 124, 2016, s. 296–305.
- SIANO, S. a kol. The Santi Quattro Coronati by Nanni di Banco: cleaning of the gilded decorations. *Journal of Cultural Heritage*, 2003, vol. 4, s. 123–128.
- SIANO, S. a kol. Laser cleaning in conservation of stone, metal and painted artifacts: state of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers. *Applied Physics A*, 2012, s. 419–446.
- SCHREINER, M. – STRLIČ, M. – SALIMBENI, M. *Handbook on the use of lasers in conservation and conservation science*, Brusel 2008. (dostupné on-line: <http://www.science4heritage.org/COSTG7/booklet>).
- ŠEDÝ, V. *Sochařské řemeslo*. Praha: Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění, 1953, s. 160.
- ŠKARVADA, J. *Restaurování sádrových modelů soch pro průčelí muzea v Hradci Králové*. 2017. Praktická část diplomové práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.
- VODÁČEK, J. *Metody čištění sádrových odlitků*. 2006. Teoretická práce na Akademii výtvarných umění v Praze.
- TANGUY, E. – HUET, N. – VINCOTTE, A. Lasers cleaning of Patrimonial plasters. In: *LACONA V*. Osnabrück, Germany, 2004, s. 1-9.
- ZAFIROPOULOS, V. a kol. Yellowing effect and discoloration of pigments: experimental and theoretical studies. *Journal of Cultural Heritage*, 2003, vol. 6, s. 249–256.
- ZAHRADNÍK, Aleš. *Výtvarná díla ze sádrového materiálu a jejich čištění laserovou technologií*. 2001. Teoretická práce na Akademii výtvarných umění v Praze.

Č.j. MK 12274/2020 OVV  
Sp. Zn. MK-S 16635/2015 OVV

**v y d á v á**

## **O S V Ě D Ě N Í**

č. 36

o uznání uplatněného památkového postupu  
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výzkumných organizací a hodnocení programů účelové podpory  
výzkumu, vývoje a inovací“

**Název Památkového postupu:** „Výběr vhodné metody pro čištění děl ze sádry“

**Autorský kolektiv:** MgA. Pavel Mrověc, doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D  
Na přípravě památkového postupu dále spolupracovali: Ing. Petra Lesniaková, Ph.D., Ing.  
Renata Tišlová, Ph.D., MgA Petra Zítková, BcA. Kateřina Šibravová, BcA. Zuzana Auská,  
BcA. Jiří Škarvada, BcA. Radka Zůfalá

**Příjemce podpory, na jehož základě byl památkový postup vytvořen:** Univerzita Pardubice

**Dedikace :** Projekt Programu NAKI „STOPY TVORBY Dědictví velkých sochařů první  
poloviny 20. století - Restaurování a péče o sochařské památky ze sádry“  
Identifikační kód DG16P02B052

**Uživatelé památkového postupu v praxi:**

- restaurátoři
- pracovníci Národního památkového ústavu
- správci sbírek sádrových odlitků

V Praze dne 17. 2. 2020

.....  
Ing. Martina Dvořáková  
ředitelka Oboru výzkumu a vývoje