

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA RESTAUROVÁNÍ**

Restaurování skulptury muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.)

&

Využití digitálních 3D technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl

BcA. Samuel Schreiber

Vedoucí práce: doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

Odborný konzultant:

Diplomová práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta restaurování  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **BcA. Samuel Schreiber**  
Osobní číslo: **R22011**  
Studijní program: **N0222A310001 Restaurování a konzervace děl hmotného kulturního dědictví**  
Specializace: **Polychromovaná a nepolychromovaná sochařská díla**  
Téma práce: **Restaurování skulptury muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.) , Využití digitálních 3D technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl**  
Zadávající katedra: **Ateliér restaurování kamene**

# Zásady pro vypracování

Zadání diplomové práce

Student: BcA. Samuel Schreiber

Studijní program: Výtvarná umění

Studijní obor: Restaurování a konzervace děl hmotného kulturního dědictví, Polychromovaná a nepolychromovaná sochařská díla

Název tématu: Restaurování skulptury muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.), Využití digitálních 3D technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl

Zásady pro zpracování:

Praktická část bude představovat komplexní restaurátorský zásah provedený na pískovcové skulptuře muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.). Před samotným restaurováním budou zpracovány a vyhodnoceny výsledky restaurátorského, chemicko-technologického a uměleckohistorického průzkumu, na kterých bude vytvořena koncepce restaurátorského zásahu. Restaurátorské postupy a technologie budou navozovat na předešlé výsledky zkoušek a vše bude dokumentováno podle standardů stanovených pro restaurátorské dokumentace.

Na praktickou restaurátorskou část naváže teoretická část diplomové práce, která se bude zabývat možnostmi využití 3D technologií při restaurování sochařských památek. Základem bude důkladná rešerše publikací s důrazem na obecné principy a případové studie využití. Dále budou popsány příklady využití 3D technologií v restaurátorské praxi, přičemž výstupem bude jednak popis použitého postupu a jednak jeho zdůvodnění a kritické zhodnocení.

Práce budou probíhat pod dohledem pedagogů restaurátorů. Postup prací bude průběžně konzultován spřídelelnými konzultanty a externími specialisty. Použité postupy a technologie budou voleny na základě důkladných zkoušek.

Harmonogram:

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

Vedoucí práce: doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

Oponenti:

Konzultanti z oboru chemické technologie: Ing. Karol Bayer

Konzultanti z oboru historie umění: Mgr. Vladislava Říhová

Vedoucí ateliéru: doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

Datum zadání práce: 15.11.2023

Termín odevzdání práce:

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

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

## Seznam doporučené literatury:

### Doporučená literatura

• Základní: Viñas S. M. Contemporary Theory of Conservation. Oxford, 2005. • Základní: Didaktické návody (vydáno v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA). • Henry, A., ed. Stone conservation, principles and Practice (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DPC). Donhead Publishing Ltd. 2006. • Základní: Price C., Doehne E. Stone conservation (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA). The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010. • Doporučená: Zelinger J. a kol. Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Academia Praha, 1987. • Doporučená: Ďoubal, J. Kamenné památky Kutné Hory: restaurování a péče o sochařské památky (vydáno v rámci projektu DPC). Univerzita Pardubice, 2015. • Doporučená: Torraca, G. Lectures on materials Science For Architectural Conservation. GCI, Los Angeles, 2009. • Doporučená: Ďoubal J. a kol. Sádrové odlitky: restaurování a péče o sádrová díla. Univerzita Pardubice, 2020 • Doporučená: Šimůnková E., Bayerová T. Pigmenty. STOP Praha, 1999. • Doporučená: Henry A., ed. Principles and Practice (Polychrome Stone by Christopher Weeks: s. 237-255). Donhead Publishing Ltd., 2006. • Doporučená: Koller, M. Probleme und Methoden der Retusche polychromer Skulptur, in: maltechnik Restauro 85 /1979), s. 14-40 (přeloženo v rámci projektu DPC). • Doporučená: Kopecká I., Nejedlý V. Průzkum hist. materiálů, analytické metody pro rest. a pam. péči. Grada Pub., 2005. • Doporučená: Knoepfli A., ed. Reclams Handbuch der Künstlerischen Techniken. Stuttgart, 1990. • Doporučená: Slánský, B. Technika malby. Praha, 2003. • Doporučená: Slánský, B. Technika v malířské tvorbě (malářský a restaurátorský materiál). Praha, 1976. • Doporučená: BRANDI, C. Teorie restaurování. Kutná Hora: Tichá Byzanc, 2000. • Doporučená: Kubička R., Zelinger J. Výkladový slovník malířství, grafiky a restaurátorství. Grada, 2004. ISBN 0-247-9046-7 • Doporučená: BUYS, S a OAKLEY V. The conservation and restoration of Ceramics. Oxford 1993 • "A New Introduction to the London Charter" in A. Bentkowska-Kafel, D. Baker & H. Denard (eds.) Paradata and Transparency in Virtual Heritage Digital Research in the Arts and Humanities Series (Ashgate, 2012) 57-71

Vedoucí diplomové práce: **doc. Jakub Ďoubal, Ph.D.**  
Ateliér restaurování kamene

Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2024**  
Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2025**

L.S.

---

**Mgr. BcA. Radomír Slovík**  
děkan

---

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

V Litomyšli dne 20. května 2025

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

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

V Litomyšli dne .....

## Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Jakobovi Ďoubalovi za trpělivost, odborné vedení, za všechny konzultace a velikou oporu při vypracovávání této práce. Velké díky patří MgA. Zuzaně Auské za korektury a přátelské rady. S ohlednutím za mým celým studiem bych rád poděkoval též MgA. Petru Rejmanovi a MgA. Petře Zítkové za jak lidskou, tak odbornou podporu ve studiu. Velká vděka patří mojmu bratovi Brunovi Schreiberovi za všetku pomoc a predané skúsenosti práci v 3D grafickom programe. Za technické zázemie, bez ktorého by nebolo možné túto prácu uskutočniť, patří veľká vděka môjmu otcovi Pavlovi Schreiberovi.

Na záver by som chcel poďakovať mojej maminke Andrei Schreiberovej, ktorá mi bola oporou v priebehu celého mojho štúdia.

Restaurování skulptury muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.), Využití digitálních 3D technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl

#### Anotace

Diplomová práce se zaměřuje na využití 3D tisku jako prostředku pro vyhotovení chybějících částí sochařských děl. Práce obsahuje několik příkladů využití v restaurátorské praxi jak s přímým použitím tisknutého materiálu nebo jeho využití jako mezistupeň při zhotovování doplňků, jeho variací nebo kombinací s tradičními technologiemi a technikami. Hlavním faktorem volby 3D technologií bylo jejich využitelnost v praxi. Proto byly zvoleny technologie, obecně dostupné a nízkonákladové. Dokument popisuje práce, které byly přímo implementované v restaurátorských zásazích jednotlivých sochařských děl. V práci jsou hodnoceny výsledky těchto aplikací z hlediska praktického provedení, časové náročnosti, etiky restaurátorského zásahu (reverzibilita, rozlišitelnost, invazivnost) ve vztahu k tradičním postupům. Druhá část práce dokumentuje komplexní restaurátorský zásah na sousoší Muže zápasícího s Gryfem (Socha Satyra I.) z dílny Jana Adama Dietzeho ze státního zámku Jezeří. Restaurátorský zákrok se potýkal s rozsáhlou rekonstrukcí chybějících částí sochařského díla, u kterého byly částečně využity 3D digitální technologie.

#### Klíčové slova:

Barokní skulptura, Jan Adam Dietze, Lobkowicz, zámek Jezeří, zámecká zahrada Jezeří, Boj muže s Gryfem, Gryf, barokní fontána, Eisenberg, Horní Jiřetín, 3D tisk, negativ 3D tisku, 3D tisk v restaurování, fotogrammetrie

Restoration of the sculpture of a man wrestling with a Griffin from Jezeří Castle (Satyr I.), The use of digital 3D technologies for the creation of reconstructions for sculptural works

#### Annotation

The thesis focuses on the use of 3D printing as a means to produce missing parts of sculptural works. The thesis contains several examples of its use in restoration practice, both with direct use of the printed material or its use as an intermediate step in the production of accessories, variations or combinations with traditional technologies and techniques. The main factor in the choice of 3D technologies was their applicability in practice. Therefore, generally available and low-cost technologies were chosen. The document describes the works that were directly implemented in the restoration interventions of the individual sculptures. The paper evaluates the results of these applications in terms of practical implementation, the time required, and the ethics of the restoration intervention (reversibility, discernibility, invasiveness) in relation to traditional practices. The practical part of the thesis documents the complex restoration of the sculpture of the Man Wrestling with the Griffin (Statue of Satyr I) from the workshop of Jan Adam Dietze from the state castle Jezeří. The treatment involved the extensive reconstruction of missing parts of the sculpture, for which 3D digital technology was partly used.

#### Keywords:

Baroque sculpture, Jan Adam Dietze, Lobkowitz, Jezeří castle, Jezeří castle garden, Fight of the Man with the Griffin, Griffin, Baroque fountain, Eisenberg, Horní Jiřetín, 3D printing, negative 3D printing, 3D printing in restoration, photogrammetry

## Obsah

1	Úvod.....	12
2	Základní informace k restaurátorskému zásahu Sochy muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.).....	13
2.1	Lokalizace památky .....	13
2.2	Údaje o památce .....	13
2.3	Údaje o akci.....	14
3	Průzkum .....	15
3.1	Popis díla .....	15
3.2	Restaurátorský průzkum .....	15
3.2.1	Stav díla před restaurováním.....	15
3.2.2	Tabulka poškození.....	16
3.2.3	Zadání a cíle navazujících průzkumů.....	19
3.2.4	Umělecko-historický .....	20
3.2.5	Chemicko-technologický průzkum .....	23
3.3	Odběr vzorku ze zad mužské postavy .....	31
3.4	Vyhodnocení průzkumů .....	33
3.5	Zkoušky materiálů a technologií .....	34
3.5.1	Zkoušky čištění biologického napadení.....	34
3.5.2	Zkoušky čištění zčernalého povrchu .....	35
3.5.3	Zkouška tmelících směsí.....	37
4	Koncepce restaurátorského zásahu .....	39
5	Postup prací .....	40
5.1	použité technologie a materiály .....	43
5.2	Doporučený režim.....	44
6	Použitá literatura a prameny .....	45
7	Grafická dokumentace .....	46
8	Fotografická dokumentace .....	50
8.1	Postup prací .....	65
9	Využití digitálních 3D technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl .....	73
10	Úvod.....	73
10.1	Úvod do historie využití 3D digitálních technologií v památkové péči .....	73
10.2	Využití 3D aditivních technologií v památkové péči .....	75

11	3D Digitální technologie v památkové péči .....	77
11.1	Skenování.....	77
11.1.1	Digitální průseková fotogrammetrie.....	79
11.1.2	Strukturované světlo.....	79
11.1.3	Laserové skenování.....	79
11.1.4	Počítačová tomografie (CT).....	80
11.1.5	Kritéria výběru skenovací technologie.....	80
11.2	Aditivní Technologie.....	81
11.2.1	Vytlačování materiálu, Material extrusion (ME).....	82
11.2.2	Tryskání materiálu, Material jetting (MJ).....	82
11.2.3	Tryskání pojiva, binder jetting (BJ).....	82
11.2.4	Fotopolymerizace v kádích,Vat photopolymerization (VP) .....	83
11.2.5	Tavení v práškovém loži, Powder bed fusion (PBD).....	83
11.2.6	Oblasti využití.....	84
12	Modelové příklady aplikace 3D technologií pro zhotovení rekonstrukce .....	85
12.1	Úvod.....	85
12.2	Proces aplikace 3D digitálních technologiích na modelové příklady .....	86
12.3	Materiály, technologie, software a hardware .....	86
12.4	Modelové příklady .....	87
12.4.1	Mužská postava bojující s postavou Gryfa.....	87
12.4.2	Funerální skulptura od Stanislava a Antonína Suchardových, v Lánech na Důlku.....	90
12.4.3	Mramorová bysta G. L. Camphausena.....	93
12.4.4	Sádrová plastika Apollóna Belvedérského .....	97
12.4.5	Skulptura svatého Nepomuka.....	100
13	Diskuse .....	104
14	Závěr.....	106
15	Přílohy Použitá literatura a prameny .....	107
16	Přílohy .....	110
16.1	Příloha č. 1 historické fotografie .....	110
16.2	Příloha č. 2, situace objektu na mapě.....	117
16.3	Příloha č. 3, analogické předlohy .....	117
16.4	Příloha č. 4, chemicko-technologický průzkum .....	120
16.5	Analýza vodorozpustných solí.....	129

16.6	Analýza vodorozpustných solí, kontrolní vrt po odsolení .....	129
16.7	Příloha č. 5 petrografický průzkum .....	130
16.8	Příloha č. 6, posouzení stavu skulptury metodou ultrazvukové transmise .....	136
16.9	Příloha č. 7, ověření efektivity injektáže prasklin a kvality testovaných doplňovacích směsí metodou ultrazvukové transmise .....	139
16.10	Příloha č. 8 navrhovaný postupy pro využití 3D digitálních technologií .....	142
17	Seznamy .....	146
17.1	Seznam obrázků .....	146
17.2	Seznam tabulek .....	147
17.3	Seznam grafů .....	148

# 1 Úvod

Praktická část práce se zaměřuje na dokumentaci komplexního restaurátorského zásahu kamenné sošky, která je v Ústředním seznamu kulturních památek evidována pod názvem Socha Satyra I. Jedná se o jedno ze dvou barokních sousoší z první poloviny 18. století, zobrazujících zápas gryfa s mužskou postavou. Druhá soška, označovaná jako Socha Satyra II, byla souběžně restaurována studentkou čtvrtého ročníku Eliškou Vítkovou. Obě sošky jsou pravděpodobně dílem sochaře Jana Adama Dietzeho a byly původně vytvořeny pro areál zámecké barokní zahrady, dříve nazývané Lustgarten. Nacházely se nad kaskádovým jezírkiem, jehož byly dominantní součástí. Plnily nejen estetickou funkci, ale zároveň tvořily integrální součást fontánového systému – z úst gryfů vytékala voda, která stékala po jednotlivých stupních kaskády. Dne 11. července 1991 bylo rozhodnutím Okresního národního výboru v Mostě vymezeno ochranné pásmo zámku, jehož součástí jsou i obě zmíněná sousoší. Nejzásadnějším problémem v rámci restaurátorského zásahu byla rekonstrukce chybějících částí postav. Tento proces zahrnoval jak badatelskou činnost zaměřenou na vyhledávání vhodných analogií, tak následné praktické provedení samotných rekonstrukcí.

Teoretická část této diplomové práce navazuje na praktickou část, kterou dále rozvíjí a doplňuje. Práce prezentuje pět modelových případů restaurování, při nichž byly využity 3D digitální technologie a technologie FDM tisku k doplnění chybějících částí sochařských děl. Hlavním cílem experimentální části je ověřit možnosti aplikace vybraných 3D digitálních nástrojů při tvorbě doplňků, a to jak samostatně, tak ve spojení s tradičními restaurátorskými metodami. Cílem práce je rovněž zdokumentovat praktické využití FDM technologie 3D tisku v kontextu současné restaurátorské praxe.

## 2 Základní informace k restaurátorskému zásahu Sochy muže zápasícího s Gryfem ze zámku Jezeří (Satyr I.)

### 2.1 Lokalizace památky

Kraj:	Ústecký kraj
Okres:	Most
Obec:	Horní Jiřetín, 435 43
Část obce:	Jezeří
GPS souřadnice:	50.555045N, 13.504151E

### 2.2 Údaje o památce

Název památky:	socha satyra I.
Klasifikace památky:	národní kulturní památka, rejst. č. ÚSKP 487 - Zámek Jezeří s arboretem
Katalogové číslo:	1000155229 – zámek 1000155229_0022 - Socha satyra I.
Autor:	Jan Adam Dietz
Sloh/Datace:	baroko/18. století
Materiál/technika:	pískovec/sochařská práce
Rozměry:	skulptury: výška: 163 cm, šířka: 141 cm, hloubka 89 cm podstavec: výška: 15,5 cm, šířka: 125 cm, hloubka 81 cm
Předchozí restaurátorské zásahy:	viditelně proběhly, nebyly nalezeny žádné informace o zásahu

## 2.3 Údaje o akci

Vlastník:	Česká republika, Národní památkový ústav
Investor:	Česká republika, Národní památkový ústav, Valdštejnské náměstí 162/3 118 00 PRAHA 1 Česká republika
Památkový dohled:	PhDr. Vít Honys
Zhotovitel:	Fakulta restaurování Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, 570 01, Litomyšl, e-mail: dekanat.fr@upce.cz
Vypracoval	Samuel Schreiber
Odborný pedagogický dohled:	MgA. Petra Zítková
Odborná spolupráce:	

Chemicko-technologický průzkum – Ing. Karol Bayer

Umělecko-historický průzkum - Mgr. Vladislava Říhová Ph.D.

MgA. Peter Rejman,

Eliška Vítková

RNDr. Zdeněk Štaffen

MgA. Petr Rejman

## 3 Průzkum

### 3.1 Popis díla

Dílo se skládá z dvou postav, a to nahé mužské atletické postavy v životní velikosti a druhé mýtické stvoření nazývané Gryf, napůl opeřený orel (hlava, přední končetiny, křídla) a napůl srstnatý lev (tělo a zadní končetiny). Postava muže sedí na hřbetě gryfa. Oběma postavám v důsledku mechanického poškození chybí některé části, u postavy muže obě ruce a hlava, u stvoření hlava a ocas. Výjev nese jasné známky zápasu, kde muž s jednou rukou napřaženou na jejím krku a druhou (dle analogie druhé ještě zachovalé této části sochy) rozevírající zobák stvoření. Gryfova křídla jsou sepnuta při jeho těle a hlava je vztyčena do vrchu. V místě otvoru zobáku byla kdysi zavedená trubice skrz celou hmotu díla a tvořila tak funkční součást zahradní fontány. Mužská postava přenáší své těžiště značně dozadu. Levá noha muže je usazená na zemi pravá noha je zvedlá a zapírá se o skalní výběžek, pohyb působí jako by ho chtěl gryf ze zad shodit. Gryf stojí na obdélníkovém základu jeho břicho podepírá imitace skály. V tomto místě na pravé straně této podpory se nachází otvor do dutiny pro zavedení trubice pro funkci fontány. Otvor je zakrytý kamennou plombou. Je možné, že se jedná o neúmyslné přesekání a doplnění chybějícího místa tímto kamenickým doplňkem. Přední levá končetina spočívá na podestě s roztaženými pařáty a pravá končetina přitažená k opeřenému hrudníku stvoření svírající neidentifikovatelný oválný podlouhlý objekt, připomínající tělo hada. Na analogii sousoší z Belvedéru tento objekt znázorňuje hada. Zadní končetiny gryfa spočívají obě na podestě s pravou více vykročenou dopředu a levou upozaděnou. Ze zadnice vycházel ocas, jenž nejpravděpodobněji byl esovitě stočený dotýkajíc se pravého křídla a končící na hýždích mužské postavy kde se dochoval konec ocasu.




### 3.2 Restaurátorský průzkum




#### 3.2.1 Stav díla před restaurováním




Dílo je kolonizováno biologickým napadením, z valné většiny zelenými řasy, v menší míře lišejníky a mechy, které se uchycují i v prasklinách kamene. Biologické napadení udržuje nadměrnou vlhkost jak v prasklinách, tak i na povrchu díla. Původní okrová barevnost kamene je dnes již skrytá pod šedým depozitem, v některých místech přecházející do tlustšího zčernalého filmu až krusty. Zčernalé krusty se nacházejí zejména v dešťových stínech skulptury, s největší pravděpodobností se tedy jedná o usazený sádrovec s depozitem černé barevnosti. V dešťových stínech spodních partiích sousoší, konkrétně na imitaci kamene pod tělem gryfa, pravý bok a srst gryfa z ánfasu, také zadnice mužské postavy, se zčernalá krusta odlupuje v šupinkách a odhaluje degradující materiál. Materiál kamene podléhá přirozené erozi, vymývání zrnkem pískovce z povrchu, což zapříčiňuje postupnou ztrátu původní modelace, dobře viditelnou na prstech nohou mužské postavy. Na zádech postavy i zadnici tvora přecházejí několik desítek centimetrů dlouhé svislé praskliny. Sousoší vykazuje známky mechanického poničení. Obě křídla jsou zlomená na několik částí. Ulomen je také krk gryfa, noha a torzo postavy. Všechny tyto odlomené části jsou druhotně slepeny dvěma odlišnými typy pojiv. Pouze v levé noze postavy a pravém křídle gryfa se nachází kovová armatura. Další ulomené části skulptury na objektu chybí. U mužské postavy se jedná o hlavu a obě ruce. V krku postavy se nachází tmel, který svým místem odkazuje na v minulosti pravděpodobné místo čepu nutné pro slepení hlavy a mužské postavy. Toto místo bylo v minulosti po odstranění hlavy a čepu opětovně zatmeleno. Gryfovi chybí ocas, zobák a na pravé straně podstavy sousoší chybí celý zadní roh. V břiše

postavy je otvor, v kterém je zachován zbytek olova. Další dva otvory se nacházejí na hřbetu gryfa bez zbytků olova. Pravděpodobně se jedná o původní uchycení kovových armatur pro zabezpečení větší stability objektu. Na pravé straně imitovaného kamene je vysekaný otvor s kamenným zákrytem. Není jasné k čemu tento otvor sloužil. Po převezení objektu do interiéru se na zádech mužské postavy objevily výkvěty solí.

### 3.2.2 Tabulka poškození

	<p><b>Biologické napadení</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Povrch kamene je kolonizovaný řasami, mechy a lišejníky zarůstajícími do porézního systému materiálu.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Objekt v důsledku stálé vysoké vlhkosti byl kolonizovaný různými typy biologického napadení.</p>
	<p><b>Výkvěty solí</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Na povrchu objektu jsou bílé povlaky krystalizované soli.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Materiál kamene obsahující vodorozpustné sole je postupným vysycháním, eflorescencí, vynáší na povrch díla, kde tyto sole krystalizují.</p>
	<p><b>Sádrovcová krusta</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Kámen je pokryt tmavými sádrovcovými krustami, které jsou v kontrastu se světlým originálem kamene.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Jedná se o chemické zvětvávání. Reakcí uhličitanu vápenatého s oxidem síry z ovzduší vzniká hydratovaný síran vápenatý, který je mnohem lépe rozpustný. Ten je následně z materiálu vyplavován a v místech, kde nedochází k ataku a stékání dešťové vody, se udržuje na povrchu a uzavírá jej. Časem se na sádrovcové vrstvě deponují nečistoty z ovzduší a vzniká tmavé zbarvení krusty.</p>

	<p><b>Prasklina</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Různě dlouhá a široká puklina v materiálu, která se stále zvětšuje působením klimatických podmínek.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Obzvláště v subtilních místech dochází působením opakujících se mrazových cyklů k vzniku prasklin.</p>
	<p><b>Zlomené části</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Ztráta kompaktnosti materiálu, dílo je zlomeno na několik částí.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Nejvíce postižena jsou vyčnívající místa, která mohou být mechanicky odlomena, nebo zde přechází praskliny, které časem přešly až k odlomení kusu materiálu. Další možností může být vandalismus.</p>
	<p><b>Chybějící materiál</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Lomová plocha a chybějící</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Nejvíce postižena jsou vyčnívající místa, která mohou být mechanicky odlomena, nebo praskliny přešly až k odlomení kusu materiálu. Další možností může být vandalismus.</p>

	<p><b>Lepené spoje</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Ulomené části díla jsou k sobě opětovně slepeny, v některých místech můžou být viditelné pozůstatky lepicí hmoty.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> V důsledku předcházejícího zásahu do stavu díla, který měl za výsledek opětovné sestavení ulomených částí díla do jednoho celku.</p>
	<p><b>Degradace materiálu pod krustou</b></p> <p><b>Typický projev:</b> V kameni pod krustou dochází k narušení koheze v důsledku rekrystalizačních tlaků vodorozpustných solí a vody. Po odpadnutí povrchové vrstvy (krusty) je odhalen degradovaný materiál.</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Pod neprodyšnými krustami dochází ke hromadění vody a následnému narušení kamen mrazovými cykly a rekrystalizací solí.</p>
	<p><b>Zbytky olova</b></p> <p><b>Typický projev:</b> Viditelný pozůstatek šedého kovu</p> <p><b>Pravděpodobná příčina:</b> Zachovaný pozůstatek v místě uchycení kovové armatury pomocí litého olova.</p>

Tabulka 1 tabulka poškození

### 3.2.3 Zadaní a cíle navazujících průzkumů

Cílem rozšiřujícího neinvazivního průzkumu je zjištění stavu díla, koheze materiálu, trhlin a jejich rozsahu pomocí ultrazvukové-transmise. Dílo mohlo být v minulosti opatřeno povrchovou úpravou, která se mohla dochovat ve fragmentech nebo již jen rezidua pojiv barevné vrstvy. Pro potvrzení domněnky je navrhován průzkum odražené UV fluorescence.

Další průzkumy jsou invazivního charakteru, u kterých je potřebné odebrání vzorků. Jedná se složení zčernalých krust (VZ. 1), obsahu a typ vodorozpustných solí (VZ.2, 3) analýza horniny (VZ.4) a v případě potvrzení reziduí barevné vrstvy UV fluorescence i odběr této vrstvy. Informace o složení zčernalých krust nám determinuje důvod jejich vzniku a jejich možné odstranění. Jelikož se na díle nacházejí pravděpodobně sádrovcové krusty (předpoklad pro výskyt síranů) na povrchu se vyskytl výkvět solí je zde potřeba zjistit obsah a typ vodorozpustných solí, které by pro dílo představovali riziko do budoucna. Odběr z dvou míst z každé v třech hloubkách a to 0 cm-1,5 cm, 1,5 cm- 3 cm a 3 cm- 5 cm. Dle výsledku analýz vodorozpustných solí se určí zda je objekt nutné odsolovat a jaký je pravděpodobný zdroj zasolení. Geologický rozbor horniny nám rozšíří poznání o použitém typu kamene, díky kterému můžeme dohledat oblasti či konkrétní lomy, z kterého je dané dílo vysekáno. Informace o granulometrii a chemickém složení materiálu nám pomůže pro vyhotovení vhodného materiálu pro plastické doplňky a přiblíží informací o vzniku díla, zda se jedná o lokální horninu.

Umělecko-historický průzkum se bude věnovat hledáním historických podkladů, obrazových či fotografických zobrazení. Dohledané informace rozšíří kontext autora v návaznosti na dané období a danou oblast jeho působení. Historické fotografie díla zachyceného z doby před jeho poničením, pomůže při doplnění chybějících částí sousoší. Pro tyto účely budou také dohledávané analogie v blízkém časovém období a stylu, s podobným zobrazením i morfologií modelace. Dílo je označované různými názvy jako je Socha Satyra I., Gigant bojující s Gryffonem či Herkules bojující s Gryfem. Toto nejasné označení souvisí s nejasným mytologickým či ikonografickým zařazením. Formou rešerše zdrojů, badatelské činnosti a v spolupráci s kunsthistoriky se další průzkum zaměří na vyjasnění této problematiky.



Obrázek 1 Předpokládaná místa odběru vzorků

### 3.2.4 Umělecko-historický

Sochařské dílo je spjato s rodem Lobkowiczů a jejich dvorního sochaře J. Adama Dietzeho. Z děl J. Adama Dietzeho se jich do dnešních v okolí Horního Jiřetína zachovalo nemnoho. Zahrada zámku Jezeří v minulosti známa pod názvem Lustgarten byla zdobená rozsáhlou sochařskou výzdobou, z které se zachovala pouze dvě sousoší mužů bojujících s Gryfy. Zámek je významným objektem nejen na lokální úrovni a v minulosti byl v důsledku nedaleké těžbařské činnosti téměř zcela zničen. Avšak zámek a jeho okolí se neblahému dopadu v důsledku těžby, historických událostí a sociálně-ekonomickému sestupu nevyhnul.

V rámci umělecko-historického průzkumu byly dohledávané analogie k dílům, archivní záznamy rozšiřující historické pozadí děl i objektu zámku a historické fotografie zachycující jejich předcházející stav.

#### 3.2.4.1 Popis umístění

Dílo bylo původně situováno nad jedním ramenem kaskádovité fontány v zámeckých zahradách státního zámku Jezeří, minulosti označované jako Lustgarten. Je jednou ze dvou soch (pravá) tvořící funkční součást fontány. Obě ramena kaskády v půlkruhovém záběru ohraničují oválný bazének nacházející se o značnou úroveň terénu níže. Kaskádovité stupně jsou ze sekaného kamene, připomínající schody. Po těchto stupních v minulosti pravděpodobně stékala voda do bazénku. V současnosti jsou obě skulptury přeneseny z původního místa o několik metrů dál od schodiště a svého původního umístění. Podstavec se nachází zhruba v místě původní polohy objektu.

#### 3.2.4.2 Ikonografie díla

Vyobrazení boje mužské postavy s gryfem má starobylý původ a gryf jako mýtické zvíře prošlo různými obměnami významu od Starověku po dobu vzniku díla. Skulptura je v publikacích označována různými názvy, Gigant bojující s Gryfem, Herkules bojující s Gryfem<sup>1</sup>. Oficiální název v Památkovém katalogu NPÚ je socha Satyra I.

Mušská postava neoplývá vzhledem satyra. Satyr je mýtická postava s jasně definovanými rysy. Z vrchní polovice je to mužská postava a spodní část je čistě kozi s kopyty, ocasem a původně v řecké mytologii i se ztopořeným penisem. Jelikož mužská postava neodpovídá popisu satyra můžeme toto tvrzení vyloučit.<sup>2</sup>

Postava označovaná za gryfa odpovídá tomuto popisu odpovídá. Gryf je mýtické stvoření, napůl orel napůl lev pocházející již z dob starověké Mezopotámie odkud se dostalo do starověkého Řecka. Je to tvor tvořený z nejušlechtilejších tvorů, který má za úkol strážit zlato. Jeho význam se s příchodem křesťanstva měnil.

Z mytologických příběhů nebyla dohledána korelace mezi satyry a Gryfy. Z příběhů ze starověkého Řecka je vyobrazení sousoší nejbližší podobné boji fiktivního národa Arismapů s gryfy S drobnou

---

<sup>1</sup> ADAMCOVÁ, 2008. (poznámka 2) a ADAMCOVÁ, Kateřina. Sochy v barokní krajině: panství Jezeří – Nové Sedlo. Zprávy památkové péče. 2017: Roč. 77, č. 1-2, 36-47. ISSN 1210-5538.

<sup>2</sup> 9TÁBORSKÁ, Lucie. Satyr v řeckém myšlení, umění a pozdější evropské tradici. Praha, 2010. Diplomová práce [online]. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, Ústav pro klasickou archeologii. Vedoucí práce Stančo, Ladislav. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/35667>

odlišností, že Arismapové měli pouze jedno oko. Pro toto tvrzení neexistují podklady jedná se pouze o jednu z možností vyobrazení.<sup>3</sup>

Další bádání zaměřené na hledání analogií díla odhalili spojitost s dílem, jehož ikonografie je dále rozepsaná v kapitole Analogie díla. Daná ikonografie by mohla být přenosná na restaurované dílo.



Obrázek 2 Antická váza s vyobrazením Arismapů v boji s Gryfy<sup>4</sup>

### 3.2.4.3 Historie díla

Doklady o autorství sousoší nejsou známé. Dílo je připisováno dílně J. A. Dietzeho, který působil v okolí Jezeří jako dvorní sochař šlechticů Lobkowiczů. Sousoší je datováno do pozdějšího, již vytríbenějšího rukopisu daného autora, a to do let 1712-1722.<sup>5</sup> Dílo stejného typu zobrazení i užití jako funkční součást fontány se nachází v barokních zahradách Belvédéru ve Vídni. Pravděpodobně se jedná o bezprostřední poznání objektů z Belvédéru nikoliv o napodobování zobrazení grafického listu. Autor soch z Jezeří tak pravděpodobně dobře znal Vídeňské sochy, aby je mohl volně zkopírovat.

Nejstarší zaznamenaný stav díla je na fotografii z roku 1958-59. Dílo je poničené vodorovně v místě pasu, levá ruka je ulomená v zápěstí a začátku paže. Obě ulomené části jsou dodatečně přilepeny k soše. Pravá ruka je ulomená celá od začátku paže i s celým zobákem gryfa, který je doplněn světlým doplňkem. Na pravém boku mužské postavy se jeví, že je zde zachováno táhlo potažené taky světlým typem tmelu. Zde je nejasně patrný proužek na krku postavy, je tedy možné že díra v krku byla vyvrtána (s ohledem na její kruhový otvor) před rokem 1959 pro usazení čepu, na který byla nasazená hlava. Po opětovném ulomení byl tento otvor zatmelen. Na fotografii z roku 1989 je skulptura zachycená již v značně poničeném stavu. Je ulomený krk gryfa, obě křídla, ocas, mužská postava od pasu nahoru. Další fotografie z roku 2004 dokumentují dílo po slepení ulomených částí.<sup>6</sup> Tento stav se shoduje s tím dnešním. Fotografie k nahlédnutí v kapitole 16.1 Příloha č. 1 historické fotografie.

<sup>3</sup> Arimaspoi. In: Theoi greek mythology [online]. Netherlands & New Zealand: Atsma, c 2000-2017 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.theoi.com/Phylos/Arimaspoi.html>

<sup>4</sup> Arimaspoi. In: Theoi greek mythology [online]. Netherlands & New Zealand: Atsma, c 2000-2017 [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.theoi.com/Phylos/Arimaspoi.htm>

<sup>5</sup> ADAMCOVÁ, Kateřina. Jan Adam Dietz, Adam Ferdinand Tietz, Jan Václav Grauer a sochařská dílna v Jezeří u Jirkova. 2008. Dizertační práce. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, Ústav pro dějiny umění. Vedoucí práce Horyna, Martin.

<sup>6</sup> BROŽ, Tomáš a KOLOC, Jan a NEJEZCHLEBOVÁ, Eliška. Pasport: státní zámek Jezeří. [Ústí nad Labem], 1998-2000.

#### 3.2.4.4 Historie zámku

O Jezeří se první zmínky datují do let 1363-1365. Jednalo se o pohraniční hrad postavený na kopci Eisenberg, což v překladu znamená železná hora. Po roce 1549 hrad přechází rekonstrukcí na renesanční zámek. Po bitvě na Bílé hoře (1620) byl zámek odebrán české šlechtě zúčastněné na stavovském povstání a byl prodán do vlastnictví rodu Lobkoviců. Zámek pak prošel dalšími přestavbami i několikrát vyhořel. Po roce 1713 kdy zámek opět vyhořel se za Oldřicha Felixe Lobkovice uskutečnila další přestavba v barokním stylu se, kterou se pojí i zhotovení skulptur mužů zápasících s gryfy.<sup>7</sup> V 18. a 19. století proběhnou další menší přestavby. Po druhé světové válce zámek chátral a v 80. letech v důsledku těžební činnosti mu hrozil zánik.<sup>8</sup>

#### 3.2.4.5 Technika vzniku díla

Jedná se o sekanou skulpturu z pískovcového kamene. Krk gryfa je převrtán skrz celou délku skulptury, v minulosti zde byla zavedená trubička pro přívod vody. Tento otvor byl vyhotoven technikou sekání dlátkem, jenž po každém seknutí se otočil o devadesát stupňů<sup>9</sup>. Postupným ubíráním hmoty dovnitř sochaři rozšiřovali i průměr otvoru za pomoci dlát se špičatým hrotem. Na dalších partiích jsou viditelné záseky dlát s více hroty, stopa nástroje je zanechaná záměrně imitující srst zvířete. Ve spodních partiích díla se na levé straně nachází poklop zakrývající otvor dutiny. Jelikož se tento poklop nenachází u druhé skulptury, je možné, že se jednalo o přesekání místa při vrtání či odsekávání hmot po vrtání. Pro zakrytí místa tak byl vytvořen tento poklop. Jedná se pouze o dohad.

#### 3.2.4.6 Analogie díla

Problematika objektu v nejasném pochopení obsahu výjevu a značná míra chybějících částí, které jsou předmětem dílčích činností restaurování vedoucích k jejich dotvoření, byly důvodem pro dohledávání analogií díla. V neposlední řadě dohledané informace pomůžou i k lepšímu zařazení díla k odpovídající skupině typu objektu jako skulptury, jenž je fundamentální součástí zahradní fontány

Z těchto různých aspektů byla provedena rešerše na internetu a v archivech s účelem dohledání historických fotografií díla, analogických fotografií gryfů, muže bojujícími s gryfy a grafických listů s totožným obsahem. Druhý způsob hledání analogických předloh probíhal dohledáním fyzických předloh vytipovaných zámeckých zahrad s fontánami.

Vytvořená rešerše nebyla dostatečně úspěšná k dosažení stanovených cílů. Nebyly nalezeny žádné skulptury ani jiné vyobrazení se stejným narativem bojující mužské postavy s gryfem spadající do blízké doby vzniku díla. Nejbližší analogie k tomuto výjevu jsou antické malby na keramice znázorňující boje kmene Arismpapů s gryfy. (obrázek 2, str.13)

Úspěšného hledání bylo dosaženo hledáním fyzických děl v zámeckých barokních zahradách z relativně odpovídající dobou vzniku objektu. Ve Vídeňských zahradách Belvedéru byly nalezeny

---

<sup>7</sup> ANDĚL, Rudolf a Jiří LOUDA. Hrady, zámky a tvrze v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. [Sv.] 3, Severní Čechy. Praha: Svoboda, 1984. ISBN 25-089-84. též Historie zámku Jezeří, Národní památkový ústav. Jezeří:].

<sup>8</sup> Historie zámku Jezeří [online]. Národní památkový ústav. Jezeří: Oficiální webová prezentace státního zámku. Dostupné z: <https://www.zamek-jezeri.cz/cs> [cit. 8. 2. 2023]

<sup>9</sup> BĚŇA, Petr. Historické kamenosochařské techniky v Čechách. Univerzita Pardubice, 2007. Bakalářská práce teoretická. Univerzita Pardubice. Fakulta restaurování. Vedoucí práce Novotný, Jiří.

odpovídající analogie obou skulptur fontány Jezeří. Podobnost skulptur je značná do takové míry, že se zde jedná o jasné propojení mezi díly Belvedéru a Jezeřím. Autor soch v Jezeří musel znát a mít prostudovanou sochařskou výzdobu z Belvedéru, aby ji mohl takovým způsobem volně zkopírovat. Obrazová část v příloze 16.3 Příloha č. 1 historické fotografie.

Následné bádání ohledně vodního díla z Belvederu označované jako „*Hauptkaskade*“ odhalilo další informace o její ikonografii. Zde z opisu díla vychází ikonografie popisující horní část kašny s nymfami jako vrch hory Parnas, kde pramení řeky. Opis vodních děl: „*Na hoře Parnas bojuje Apollón s drakem Pythonem (skupina vpravo nahoře); Herkules bojuje s drakem Hesperidek (vlevo nahoře) a říčním bohem Achelousem (vlevo dole) a Apollón zase s gryfem (vpravo dole). Pro barokního diváka měl být Herkules chápán jako hrdina ctnosti v narážce na prince Evžena, který usiloval o plodnost zkrocením přírodních sil, zatímco Apollón byl míněn jednak jako vůdce múz, které sídlí na patnáctce, a jednak jako slunce, které přemáhá škodlivou vlhkost. Skrze závoj vody opalizující ve slunci se divák díval z hory Parnas na horu Olymp, kde se nacházel příbytek druhého Herkula, druhého Apollóna.*“<sup>10</sup>

Skulptura našeho zájmu je označená za Apollóna bojujícího s Gryfem zrcadlící skulptura jako Herkules bojující s bohem Achelousem. Sochy jsou založené na Rubensově kompozici z díla „*Samson trhající lva*“.<sup>11</sup>

#### **3.2.4.7 Předchozí restaurátorské zásahy**

Dílo bylo v minulosti restaurováno, dokumentace restaurátorského zásahu však nebyla dohledána. Rozsah, typ a přibližná doba provedení zásahů je odvozena z dohledaných historických fotografií.

Historické fotografie zaznamenávají destrukci díla v čase od roku 1958 až jeho slepení v rozmezí let 1989–2004, který se shoduje s dnešním stavem. Fotografie k nahlédnutí v kapitole 16.1 Příloha č. 1 historické fotografie.

### **3.2.5 Chemicko-technologický průzkum**

#### **3.2.5.1 Úvod do chemicko-technologického průzkumu**

Komplexní posouzení výchozího stavu objektu, charakteristických črt materiálu a jeho poškození je rozšířeno o chemicko-technologický průzkum bez kterého by tyto informace pouhým vizuálním průzkumem nebylo možné zjistit. V rámci neinvazivního průzkumu byla provedena fotografická dokumentace UV fluorescence a měření koheze materiálu pomocí ultrazvukové transmise. Invazivní průzkum se zaměřil na poznání materiálové podstaty díla, povrchových nečistot, krust, tmelů a vodorozpustných solí. Průzkum byl proveden technologem Ing. Karolem Bayerem. Celé znění analýz je v kapitole Příloha č. 1 historické fotografie 16.4.

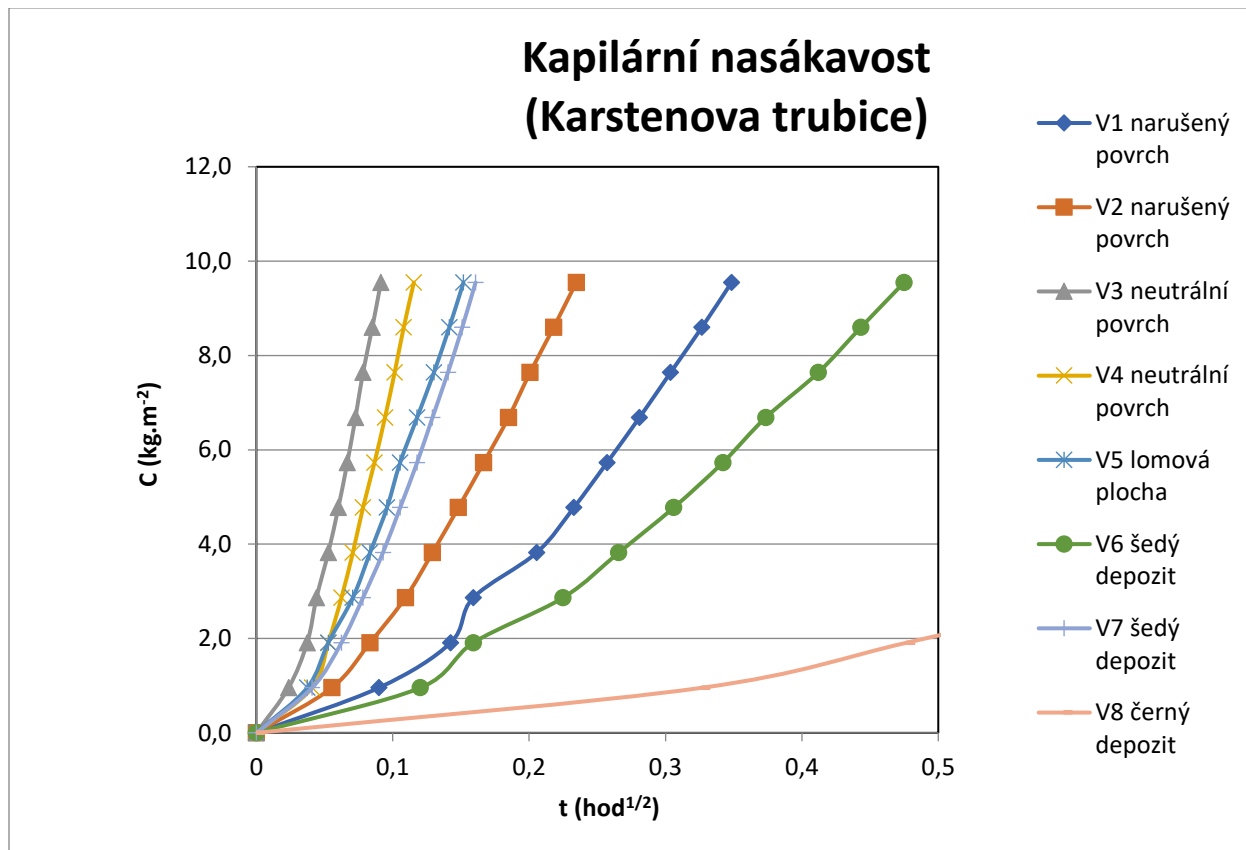
---

<sup>10</sup> SALOMON, Kleiner. *Das Belvedere in Wien*. Herausgegeben und kommentiert von Hans Aurenhammer unter Mitarbeit von Čertrude Aurenhammer. Graz: Akademische Druck- u. Verlagsanstalt, 1969.

<sup>11</sup> tamtéž

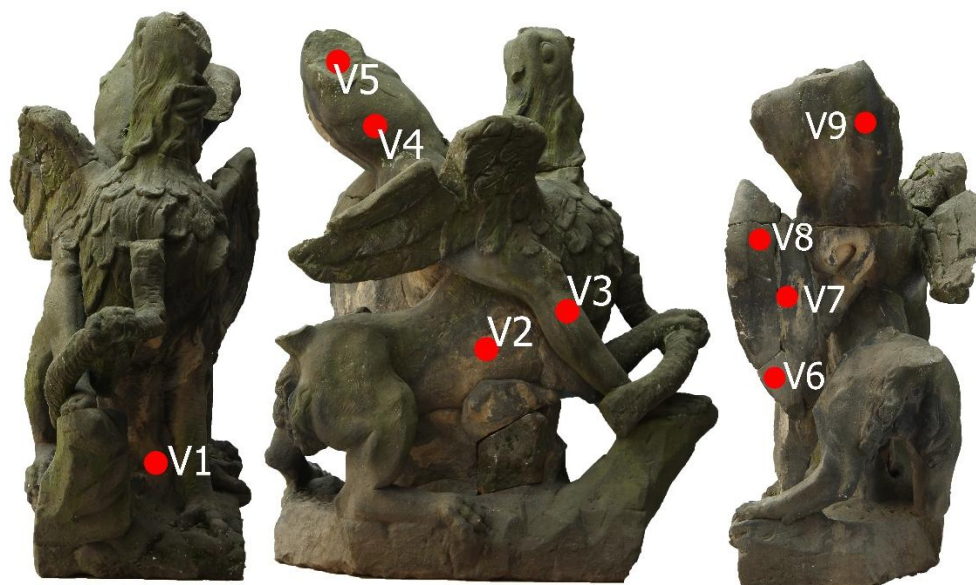
### 3.2.5.2 Měření nasákavosti

Různé povrchy vyskytující se na povrchu díla byly podrobeny měření kapilární absorpce pomocí Karstenovy trubice. Celkově bylo provedeno devět měření na neutrálním a degradovaném místě, lomené ploše a zčernalé krustě. Z výsledků měření získáme nezbytné informace o stavu kamene důležité pro další činnosti.



graf 1 kapilární nasákavosti





Obrázek 4 grafické znázornění míst měření kapilární absorpce

Neutrální povrch kamene (V4, V3) je silně nasákavý, o něco mírně nasákavější je lomová plocha (V5) Povrch pokrytý šedým depozitem v místě měření V6 a V8 vykazuje značně odlišné hodnoty i přes vizuálně totožný povrch. Jelikož je místo V6 v deštovém stínu může se zde jednat o nakumulovaný sádrovec v porezním systému kamene. Místa z degradovaným materiálem (V1, V2) jsou několika násobně méně nasákavá než je tomu u neutrálního místa měření. I zde je nejpravděpodobnější předpoklad, že se jedná o nakumulovaný sádrovec. Zčernalý povrch kamene V7 je značně nenasákavý, V9 je téměř nenasákavý (nezobrazen v grafu).

### 3.2.5.3 Detekce kovových armatur

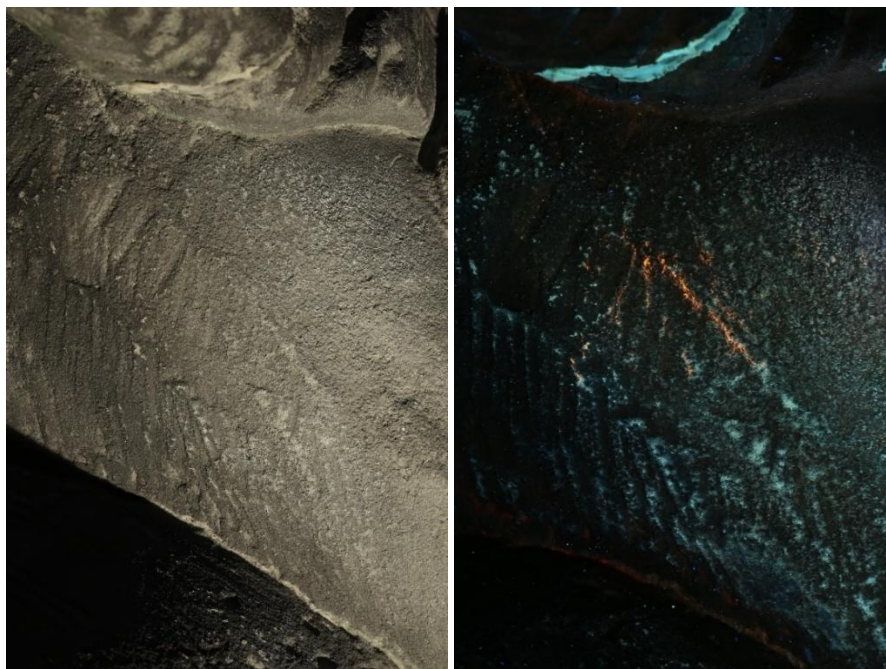
Pro zjištění stavu a rozsahu předcházejících restaurátorských zásahů bylo dílo podrobeno detekci kovových armatur přístrojem GMS 120 Professional od značky Bosch. V místech lepených spojů byly indikované kovové armatury. Konkrétně byly nalezené v levé noze mužské postavy a pravém křídle Gryfa.

### 3.2.5.4 UV fluorescence

K průzkumu UV fluorescence se přistoupilo z důvodu přezkoumání objektu na přítomnost jiných materiálů nebo jejich reziduí na povrchu díla, které nejsou viditelné ve viditelném spektru. Dílo mohlo být v minulosti opatřeno povrchovou úpravou, která se mohla dochovat ve fragmentech nebo již jen rezidua pojiv barevné vrstvy. Průzkum tak doplní tuto informaci případně pomůže blíže vytipovat vhodné místo pro odebrání vzorku. Z důvodu rozsáhlého biologického napadení byl objekt zdokumentován i po jeho očištění, pro lepší zachycení fluorescence.

Okolí díla bylo upraveno tak, aby zde nepadalo žádné světlo z viditelného spektra ani se žádné neodráželo, a to zakrytím odrazových ploch černou textilií.

Jako zdroj ultrafialového záření byly použity dva reflektory UVA SPOT 400/T-BL (Hönle UV Technology) s rozsahem vlnových délek 315–400 nm. UV fluorescenční snímky byly pořízeny fotoaparátem Canon EOS 60D s filtrem Tiffen UV 2E Pale Yellow v následujícím nastavení: režim manual, clonové číslo 11, ISO 100, expoziční čas 30s vyvážení bílé 10 000 K, formát ukládání snímků RAW. K dokumentovanému objektu byla přiložená tabulka Target-UV potřebná pro pozdější úpravu snímků. Pořízeným fotografiím byla zkalibrována barevnost pomocí přiložené tabulky v programu Camera Raw.



*Obrázek 5 Spodní část stehna mužské postavy, nalevo VIS spektrum, napravo UV fluorescence*

Provedený průzkum prokázal v jednom místě zbarvení typické pro organické materiály v spodních partiích sochy dešťového stínu pravého stehna mužské postavy. Z místa bude odebrán vzorek pro jeho další materiálovou analýzu. Další doplňující informací zjištěnou průzkumem byl rozsah požití lepeného media, který v některých místech byl vsáknutý do hmoty kamene mimo lepený spoj, prokazuje to nevysokou odbornost zásahu z minulosti.

### 3.2.5.5 Ultrazvuková transmise

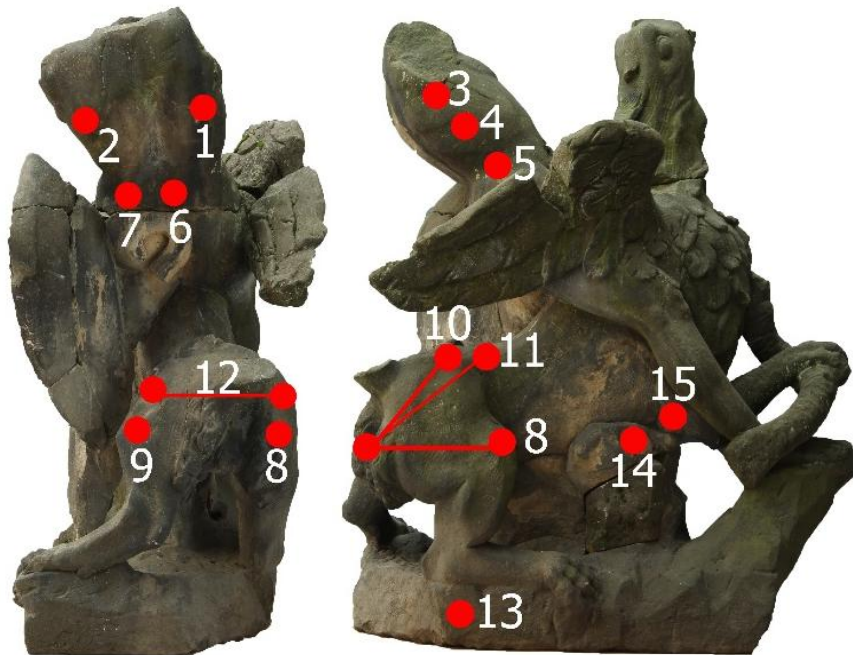
Předpokládáme, že v minulosti mohlo dojít k pádu, neboť dílo je fragmentované na několik částí. Pro posouzení stavu díla byl proveden průzkum k prověření koheze a rozsáhlosti prasklin ve vytipovaných místech díla. Průzkum byl proveden přístrojem USME-C (fa. Krompholz, BRD) s měřicí frekvencí 250 kHz.

č. m.	Místo měření	směr	$t$ [ $\mu$ s]	$t_{kor}$ [ $\mu$ s]	$d$ [cm]	$v$ [km/s]	poznámka
1	Trup-pravá část	pz	80,5	79,1	23,5	2,97	
2	Trup – levá část	pz	80,7	79,3	24,4	3,08	
3	Hrud' pod pažemi	lp	160,8	159,4	45,4	2,85	
4	Hrudník	lp	143	141,6	40,5	2,86	
5	Bok	lp	126,8	125,4	36	2,87	
6	Podbřišek a kříže	pz	90	88,6	26	2,93	Čep?
7	Podbřišek a kříže	pz	87,3	85,9	26	3,03	Mimo čep?
8	Gryf-pravé stehno	pz	117,9	116,5	28	2,4	
9	Gryf-levé stehno	pz	-	-	27	-	NS
10	Gryf-Zadnice a rozkrok	v	120,8	119,4	32,1	2,69	SA, DS, přes prasklinu
11	Gryf-zadnice a rozkrok	v	108,7	107,3	35	3,26	
12	Gryf-kyčle	lp	140,9	139,5	34,4	2,47	
13	Sokl pod pravou zadní nohou gryfa	lp	233,7	232,3	69,5	2,99	
14	Skála pod hrudníkem gryfa	v	48,2	46,8	15,4	3,29	Korodovaný povrch
15	Skála pod hrudníkem gryfa	lp	57,9	56,5	19	3,36	

Obrázek 6 výsledky měření ultrazvukové transmise

$V_{prům}$ [km/s]	$V_{max}$ [km/s]	$V_{min}$ [km/s]
2,93	2,40	3,36

Obrázek 7 Průměrné rychlosti šíření longitudálního ultrazvukového vlnění



*Obrázek 8 grafické zobrazení míst měření ultrazvukovou transmisí*



*Obrázek 9 průběh měření signálu ultrazvuku*

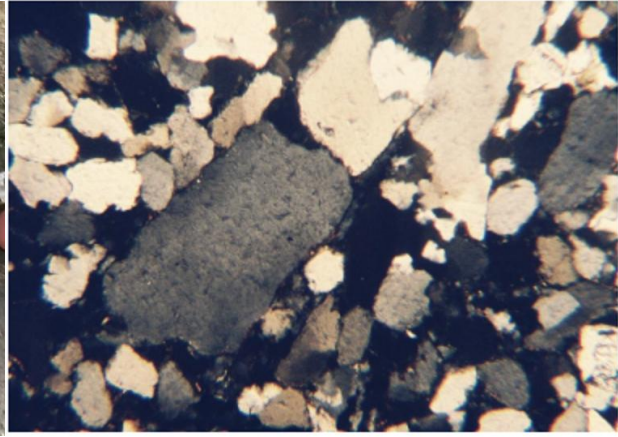
Měření odhalilo rozsah praskliny zadních spodních partií postavy gryfa, v oblasti slabin a genitálií. V místě měření číslo 9. signál neprochází z důvodu výskytu praskliny. Měření číslo 10. přes prasklinu je signál deformován. Koheze materiálu je jinak uspokojivá, pouze v některých partiích sochy byly naměřené hodnoty mírně snížené zejména u spodních částí postavy zvířete kolem nalezené praskliny (měření č. 8 a č.12). V této oblasti je navrhováno strukturální konsolidace materiálu.

### 3.2.5.6 Petrografická analýza

Geologický rozbor horniny nám rozšíří poznání o použitém typu kamene, díky kterému můžeme dohledat oblasti či konkrétní lomy, z kterého je dané dílo vysekáno. Informace o granulometrii a chemickém složení materiálu nám pomůže pro vyhotovení vhodného materiálu pro plastické doplňky.



*Obrázek 10 Místo odběru vzorku*



*Obrázek 11 fotografie odebraného vzorku pod optickým mikroskopem, zvětšení 32x, petrologické zprávy*

Mikroskopické vyhodnocení popisuje použitý typ kamene jako křemenný pískovec, středně zrnitý s hrubozrnnou příměsí, slabě silicifikovaný s pravděpodobným vznikem ze zvětrávaných prostor Krušných hor z dob Terciéru. Složení horniny je z převážně klastické složky křemene i klastická slída – muskovit, jenž dokládá stáří sedimentu. Materiál díla tedy pochází z lokální horniny, tedy můžeme tímhle potvrdit, že se jednalo o lokální tvorbu. Celé znění průzkumu v kapitole Petrografický průzkum 16.7.

### 3.2.5.7 Analýza vodorozpustných solí

Jelikož se na díle nacházejí pravděpodobně sádrovcové krusty (předpoklad pro výskyt síranů) a vyskytl se na povrchu výkvět solí je zde potřeba zjistit obsah a typ vodorozpustných solí, které by pro dílo představovali riziko do budoucna. Odběr z dvou míst z každé v třech hloubkách a to 0 cm-1,5 cm, 1,5 cm-3 cm a 3 cm- 5 cm. Výsledek analýz pomůže určit, zdali je objekt nutné odsolovat a jaký je pravděpodobný zdroj zasolení v závislosti na vyskytující se typu solí. Výsledné zhodnocení míry zasolení a z toho vycházejícího navrhnutí dalších dílčích úkonů bude hodnoceno podle rakouské normy Önorm B 3355-1.

Vzorek	m <sub>vzor</sub> ku (g)	V <sub>H2O</sub> (ml)	Abs. <sub>(SO4) 2-</sub>	c(SO4) <sub>2</sub> - (hm %)	c(SO4) <sub>2</sub> - (mmol/k g)	Abs. <sub>(Cl-)</sub>	cCl- (hm. %)	cCl- (mmol/k g)	Abs. <sub>(NO3-)</sub>	c(NO3)- (hm. %)	c(NO3)- (mmol/k g)
V2/S1/0-1,5	1.07 2	49.87 4	0.009	0.04	4	0.065	0.01	3	0.050	0.00	1
V2/S1/1,5-3	1.13 5	50.76 5	0.002	0.01	1	0.075	0.01	3	0.099	0.01	1
V2/S1/3-5	1.38 8	58.51 1	0.001	0.00	0	0.043	0.01	2	0.052	0.00	1
V3/S2/0-1,5	1.03 8	50.69 3	0.098	0.47	49	0.023	0.00	1	0.083	0.01	1
V3/S2/1,5-3	1.29 5	55.65 6	0.013	0.06	6	0.030	0.00	1	0.059	0.00	1
V3/S2/3-5	1.14 5	50.81 1	0.018	0.08	8	0.016	0.00	1	0.058	0.00	1

Tabulka 2 výsledné hodnoty analýz vodorozpustných solí

1. Podle rakouské normy Önorm B 3355-1




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

Tabulka 3 tabulka rakouské normy pro hodnoty obsahu vodorozpustných solí v materiálu kamene

Výsledky provedených analýz odebraných vzorků prokázaly předpoklad výskytu síranových solí. Výskyt chloridů a dusičnanů je v zanedbatelné míře. Zasolení sírany se u obou vrtů zvyšuje směrem k povrchu díla. U vzorku V3 (0 cm – 1,5 cm) jsou hodnoty značně zvýšené a je zde nutné přijmout nezbytná opatření. U zbylých odebraných vzorků naměřené hodnoty solí nejsou alarmující.

### 3.2.5.8 Analýza povrchových vrstev

Informace o materiálovém složení zčernalých krust nám determinuje důvod jejich vzniku, jejich možné odstranění, případně jiné skutečnosti. Byly odebrány dva vzorky jeden ze zad postavy (silikátový film) a v dešťovém stínu gryfa (sádrovcová krusta). Místo s atypickou fluorescencí nalezeného v dešťovém stínu sochy může být dokladem povrchové úpravy díla. Vzorky budou vyhodnocené pod optickým mikroskopem a REM-BSE, rastrovacím elektronovým mikroskopem, detektor zpětně odražených elektronů.

Vzorek	Popis / detailní zadání	Foto místa odběru
Vz, 1	<p>3.3 Odběr vzorku ze zad mužské postavy</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ určení typu povrchových nečistot a původ zčernalé krusty/filmu</li> </ul>	
Vz, 4	<p>Odběr vzorku v dešťovém stínu pravého stehna mužské postavy</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• určení materiálového složení vzorku s odlišnou fluorescencí indikující, že se pravděpodobně jedná o organický materiál</li> </ul>	
Vz. 6	<p>Odběr vzorku v dešťovém stínu spodních partiích sochy.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Určení předpokladu, zda se jedná o sádrovcovou krustu</li> </ul>	

Tabulka 4 místa odběru vzorků pro analýzu povrchových vrstev

## Vyhodnocení:

Výsledek vzorku Vz. 1 prokázal přítomnost sloučenin olova a síranu barnatého. V pórech kamene jsou do hloubky 200-400 µm obsažené jemné částice prachu a sazí v důsledku, kterých je kámen uzavřený a nabývá zčernalé barevnosti. Vzorek Vz. 4. je malý fragment směsi olovnaté a barytové běloby na povrchu pískovce. Vzorek Vz.6 je tvořen síranem vápenatým s příměsí prachových depositů a sazových částic zapříčiňujícím zčernalou barevnost krusty. I zde jsou přítomné sloučeniny olova a síranu barnatého.

Nalezení prvků olovnatých sloučenin a barytu spolu s fragmentem olovnaté a barnaté běloby u všech tří vzorků potvrzuje předpoklad, že skulptura byla v minulosti opatřena povrchovou úpravou.

### 3.3.1.1 Analýza tmelů

Vzorek číslo 5 byl odebrán v místě styku kamenné plomby se skulpturou, je možné že se jedná o historický minerální tmel. Druhý typ tmelu nalezený v krku postavy je mladšího data. Tento typ tmelu barevností odpovídá tmelu vyobrazeném na fotografiích z roku 1959.

Vz. 5	Odběr vzorku v spodních partiích sochy v místě předpokládaného sekaného doplňku. <ul style="list-style-type: none"><li>• Určení materiálového složení vzorku</li></ul>	
Vz. 7	Odběr vzorku tmelu z krku mužské postavy <ul style="list-style-type: none"><li>• Určení materiálového složení vzorku</li></ul>	

Tabulka 5 místa odběru vzorků pro analýzu tmelů

## Vyhodnocení:

Vz. 5 je slabě nahnědlé barevnosti se zčernalým povrchem. Tmel je téměř bez plniva. Je tvořen uhličitanem vápenatým a síranem vápenatým. Síran vápenatý se zde nachází v důsledku proměny uhličitanu vápenatého s polutanty. Vzorek je tvořený zhruba ze 50-60 % síranem vápenatým je tak předpokládáno, že se může jednat o původní, originální tmel. Vz. 7 je světlešedý tmel s velmi nízkou pórovitostí téměř bez kameniva s početnými fragmentem slínkových částic odpovídající slínkovým částicím portlandskému cementu. Tmel tak nebude pocházet z období před druhou polovinou 19. století.

### 3.4 Vyhodnocení průzkumů

Sousoší bylo pravděpodobně vytvořeno v první čtvrtině 18. století na panství Lobkoviců Horního Jiřetína. Autorství se připisuje J. A. Dietzemu, v té době dvornému sochaři rodu na tomto území. Zámek v té době přecházel přestavbou v barokním stylu. Byla vytvořena zahrada zvaná Lustgarten, jejíž součástí byla kaskádovitá fontána, pro kterou byla tato skulptura vytvořena. Sloužila jako jeden ze dvou protilehlých chrličů vody na jejím vrcholu. V tlamě byla zavedená kovová trubička, z které stříkala voda do oválného bazénku pod úrovní terénu, na kterém socha stála. Typologií i kompozicí se sochy shodují se sochami chrličů v zahradách Vídeňského Belvedéru. Proto je nejpravděpodobnější, že zde autor našel vzor pro vytvoření volné kopie pro zámecký park Jezeří. Není jasné, jaký je význam sousoší, ale tvrzení, že by se mohlo jednat o Satyra můžeme vyloučit. Tvrzení, že by se jednalo o boj Arismapů s gryfy je nepravděpodobné. Další možností může být přenesení ikonografického významu ze skulptur fontány z Vídeňského Belvederu. Socha tak může být označena za Apollóna bojujícího s Gryfem a zrcadlicí skulptura za Herkulesa bojující s bohem Achelousem. Kompozice obou soch je tak odvozená z Rubensovoho díla „*Samson trhající lva*“. Dílo bylo zhotovené sekáním a broušením z lokálního krušnohorského středně zrnitého pískovce okrové barevnosti a opatřené povrchovou úpravou nejpravděpodobněji s organickým pojivem. Fragment nalezený v dešťovém stínu jasně prokázal použití barytové a olovnaté běloby, pigmentů typických pro tu dobu. Tento předpoklad potvrzuje i další vzorek odebraný z povrchu díla, zde se také našli stopové prvky pigmentů. Není jasné, jaká byla finální barevnost, kvůli nedostatku vzorků a historických dokladů, ale můžeme předpokládat, že mohlo jít o monochromní nátěr imitující ušlechtilé kameny jako je mramor, což bylo pro tu dobu typické provedení povrchové úpravy soch. Objekt byl pravděpodobně původně také opatřen dvěma kovovými kramlemi spojující hřbet gryfa s břichem postavy a hřbet zvířete s jeho křídlem. Na předpoklad, že se jedná o původní zásah poukazuje užití olova (zachovaného v otvoru břicha postavy) jako spojovacího materiálu. Jelikož je vzorek V5 vápenným tmelem a je tvořený zhruba ze 50-60 % síranem je tak předpokládáno, že se může jednat o původní, originální tmel, kterým autoři díla slepili kamenickou plombu k zbytku objektu. Může se tak jednat o chybu při prosekání otvoru, a plombou chtěli tuto chybu napravit.

Objekt byl v minulosti značně poškozen mechanicky pádem pravděpodobně vandalismem<sup>12</sup>. Destrukce díla nám dokumentují historické fotografie z let 1958-59. Zde již chybí pravá ruka postavy, a je zde jasně viditelný dílčí zásah (slepená levá ruka postavy, doplněný zobák gryfa, slepená hlava ke krku). Od této doby do roku 1989 fotografie zachytili další destrukci díla, jak je nám známa dnes. V roce 2004 je dílo zachyceno po slepení. Slepené bylo nejpravděpodobněji epoxidovou pryskyřicí a ve dvou místech bylo užitá kovová armatura, jenž byla shledána jako nekorodující typ kovu (bronz). V místě krku se dochoval šedý tmel zakrývající kruhový otvor, nejspíše užitý pro usazení čepu. Rozsáhlost a typologie poškození v podobě značných odlomených částí přivádí k myšlence, že v minulosti mohlo dojít k pádu díla. Z tohoto zásahu nebyly dohledány žádné dokumentace. Dílo je značně pokryto biologickým napadením zejména řasy v důsledku jeho vystavení externím podmínkám v blízkosti vegetace. Povrch pórů na povrchu kamene je uzavřen místy úplně neprodyšnými vrstvou silikátového filmu obsahující drobné nečistotami prachovým částicím a sazí. Dalším fenoménem uzavírajícím povrch jsou sádrovcové krusty vyskytující se v dešťových stínech spodních partiích sousoší. Výsledky analýz vodorozpustných solí prokázali lokálně zvýšený obsah síranů na povrchu díla, respektive do hloubky 1,5 cm. Síraný jsou výsledkem polutantů z ovzduší a v kombinaci s dotováním kamene vápencem vyskytující se ve vodě (nejpravděpodobněji z trubek sloužící pro účely tryskání vody, jak tomu nasvědčuje zvýšený výskyt sádrovce ve vnitřku otvoru pro trubky) jsou tak ideálním prostředím pro vznik sádrovcové krusty. Tyto fenomény i faktory jsou pro dílo nežádoucí.

---

<sup>12</sup> Ústní sdělení kastelánky státního zámku Jezeří Mgr. Hana Krejčová

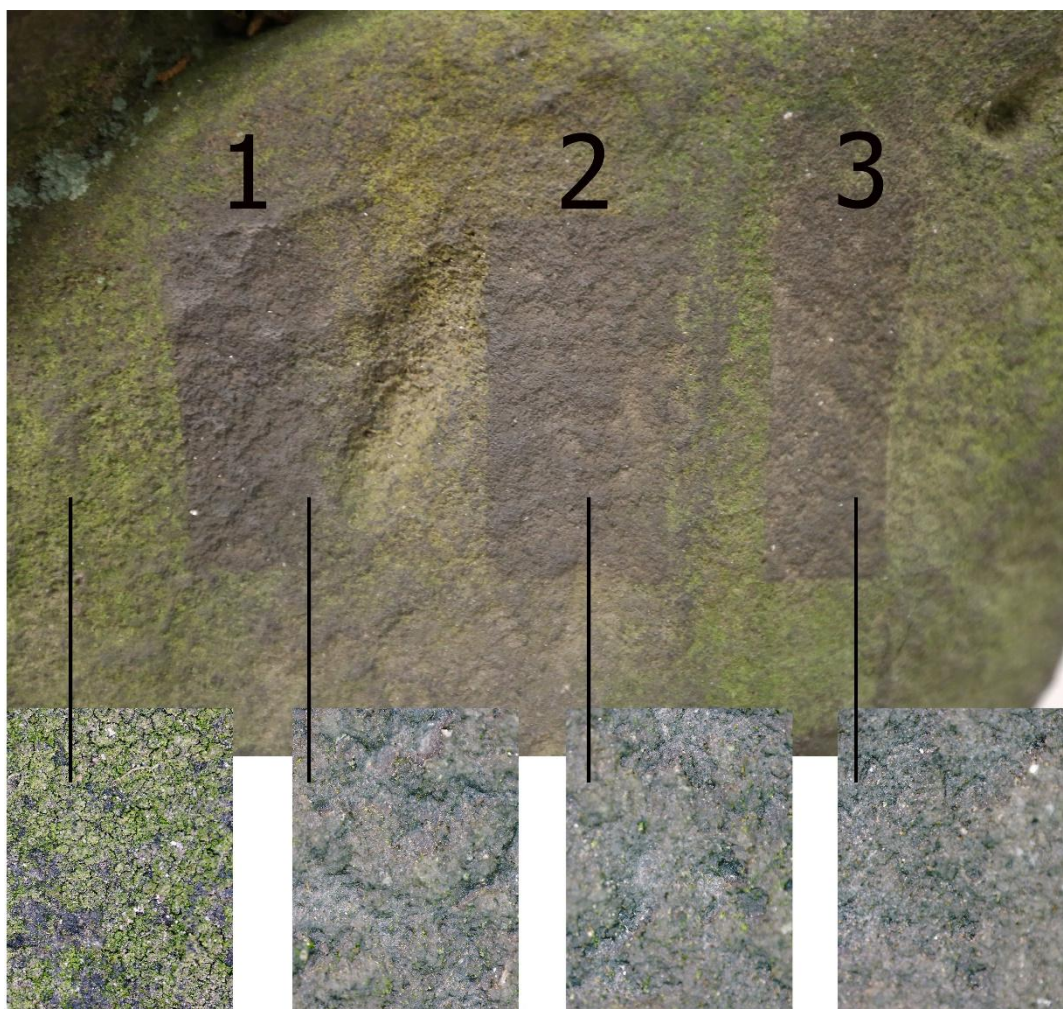
### 3.5 Zkoušky materiálů a technologií

#### 3.5.1 Zkoušky čištění biologického napadení

Pro určení nejlepšího bio detergentu pro očištění biologického napadení, bylo vybráno referenční místo, na kterém byly odzkoušeny tři typy přípravků: Ajatin 1 %, Ethanol 96 % a Sanatop 1:8 s vodou aplikovaná štětcem. Po 24 hodinách působení byly referenční plochy byly omyty vodou a jemným kartáčem. Výsledek zkoušky byl hodnocen opticky i za pomoci zvětšovacího zařízení, přenosný optický mikroskop.

Přípravek	Doba působení	Výsledek
1 Ajatin 1%	24 hod.	Vyhovující
2 Ethanol 96%	24 hod.	Vyhovující
3 Sanatop 1:8 s vodou	24 hod.	Vyhovující

Tabulka 6 použité biocidné prostředky a jejich výsledky



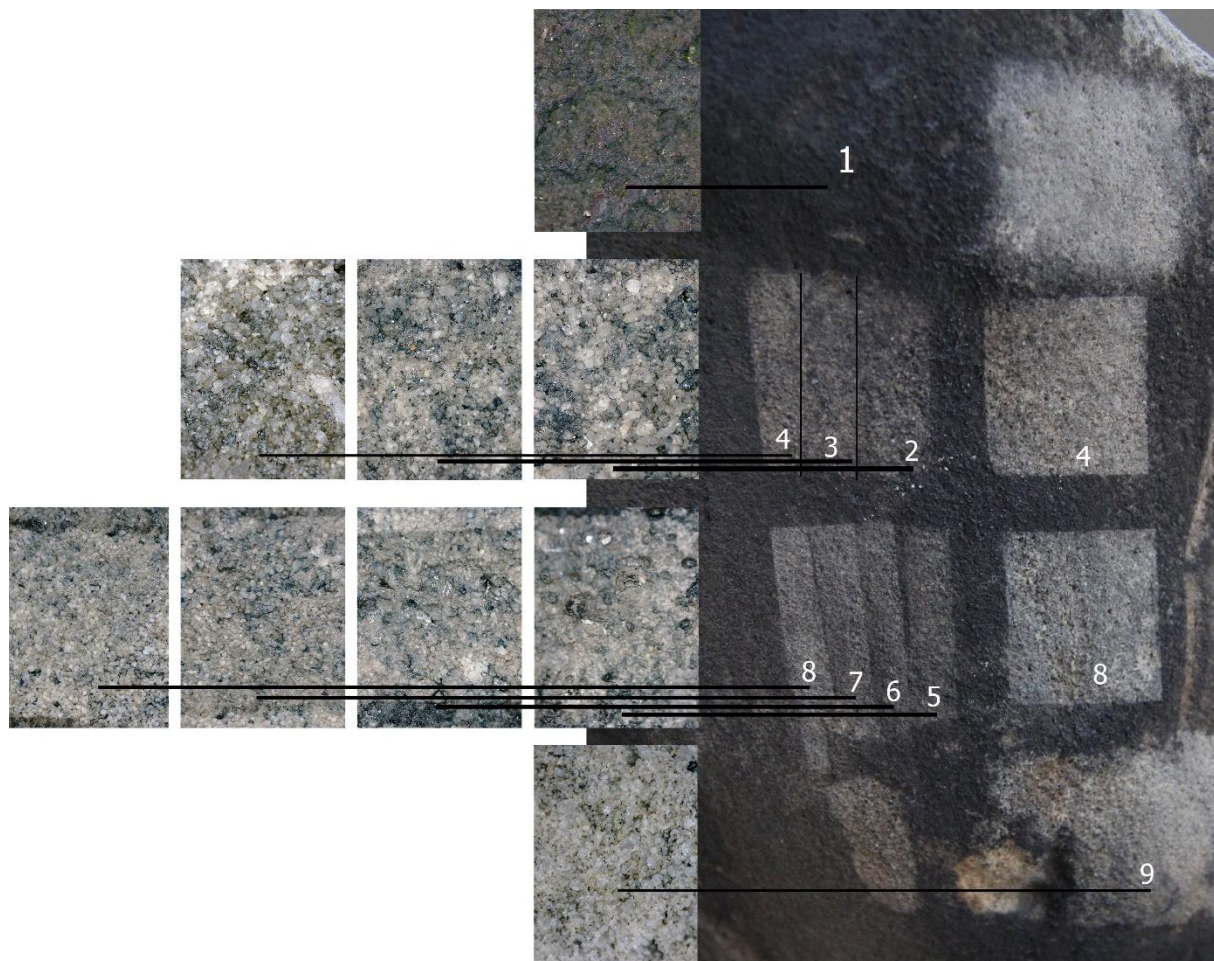
Obrázek 12 zkouška čištění biologického napadení

## Vyhodnocení:

Výsledek všech třech biocidů proběhl úspěšně se stejným výsledkem. Vybraný produkt pro čištění je Ajatin, vzhledem k jeho cenové dostupnosti. Čištění tak bude provedeno zavlhčením povrchu skulptury 1% roztokem Ajatinu po dobu 24 hodin. Následně bude dílo očištěno tlakovou párou spolu s mechanickým čištěním mechů a lišejníku pomocí dřevěných špachtlí a nekovových kartáčů různé tvrdosti.

### 3.5.2 Zkoušky čištění zčernalého povrchu

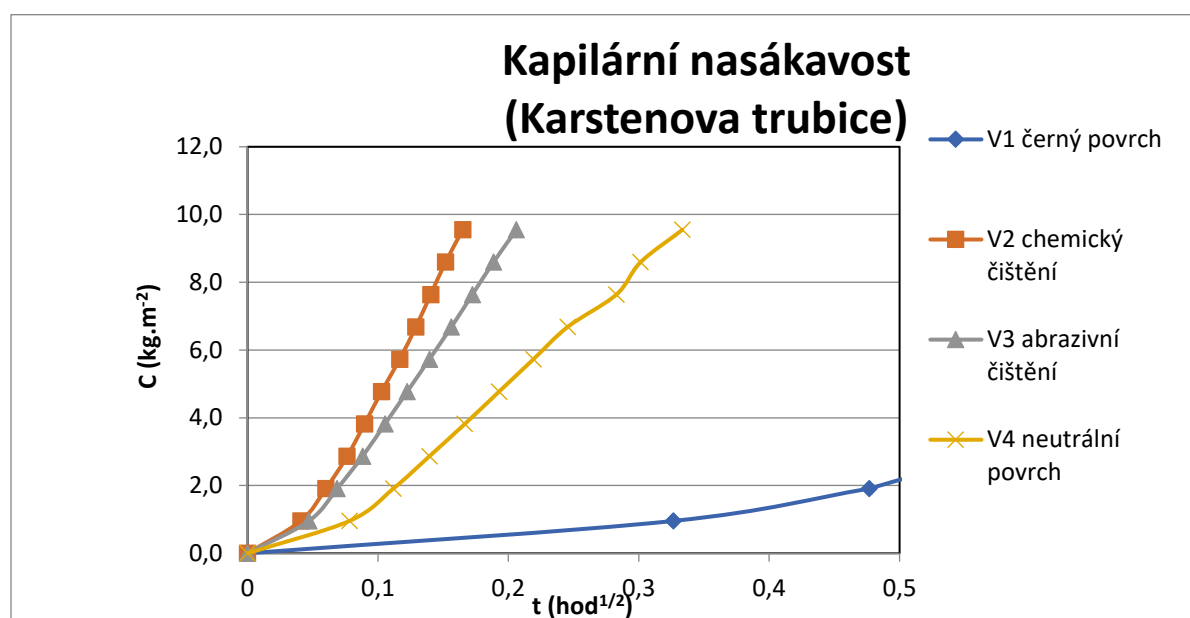
K vybraní nejlepší metody/přípravku pro očištění zčernalého povrchu skulptury bylo vybráno referenční místo na zádech mužské postavy. Zde byly odzkoušeny tři typy metod čištění: abrazivní čištění s použitím různých tlaků a abraziva typu korund o frakci f 180, dále laserové čištění (typ Q – switched ND: YAG LASER Thunder art) při vlnové délce 1064nm a chemické čištění pomocí pasty značky Remmers Clean FP na bázi hydrogen fluoridu amonného. Jednotlivé typy čištění byly nejdříve odzkoušeny v menších vedle sebe se stýkajících plochách. Následně byla z těchto ploch čištění vybrána opticky nejvíce vyhovující plocha a byla zkopírovaná na větší plochu pro další zkoušku kapilární nasákavosti. Výsledek zkoušek byl hodnocen opticky i za pomoci zvětšovacího zařízení, přenosným optickým mikroskopem a kontrolním měřením kapilární nasákavosti. Pro vyhodnocení porovnáním byla změřena referenční plocha kamene bez znečištění označená jako „*neutrální povrch*“.



Obrázek 13 zkouška čištění černého povlaku

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zčernalý povrch	Laser	Laser	Laser	Abrazivní čištění	Abrazivní čištění	Abrazivní čištění	Abrazivní čištění	Chemické čištění
Síla čištění- při Vlnové délce @1064	600 E[mJ]	700 E[mJ]	800 E[mJ]	Tlak 1 bar	Tlak 1,5 baru	Tlak 2 bary	Tlak 2,5 baru	
Frakce abraziva/ doba aplikace/				Korund f 180	Korund f 180	Korund f 180	f Korund f 180	Doba aplikace 2 min

Obrázek 14 použité prostředky/ technologie a jejich výsledky čištění zčernalého povlaku



graf 2 kontrolní měření kapilární nasákavost po redukci zčernalé krusty

Pro všechny zkoušky mikro-abrazivního čištění byl použit hnědý korund o různých frakcích. Výsledný vzhled zkoušek mikro-abrazivního čištění o frakci 180. Nejvhodnější výsledek abrazivního čištění je o frakci 220 a síle 1,5 baru, který ztenčil a očistil kámen od silikátového filmu a zároveň však kámen „nepřečistil“ čím si zachovává patinu povrchu díla. Míra kapilární nasákavosti z vybraných typů metod čištění je větší než u pulzního čištění no menší než u chemického. Při všech zkouškách se při zvýšení tlaku zvýšila i míra očištění.

Při zkouškách čištění za pomoci laseru při energii 800 [mJ] ze vzdálenosti 50 cm, oproti ostatním zkouškám čištění laserem, vyčistil kámen od zčernalého filmu nejúspěšněji. Výsledek zkoušek nabyt jemně nažloutlý charakter, který koresponduje s barevností valné části objektu. Míra kapilární nasákavosti z vybraných typů metod čištění je nejmenší. Při všech zkouškách se při zvýšení pulzní síly zvýšila i míra očištění.

Chemické čištění bylo provedeno ve dvou etapách. První aplikace byla provedena dle pokynů stanovenými výrobcem. Míra očištění byla neuspokojivá, výsledkem byla nerovnoměrně očištěná plocha, která si zachovala mapovitý charakter. Proto bylo přistoupeno k sekundární aplikaci. Výsledek je neuspokojivý z pohledu nekontrolovatelného čištění a značného zvýšení kapilární absorpce.

Pro redukci zčernalé krusty v místech s chladnější barevností je vhodné použití mikro-abrazivního čištění o síle 1,5 až 2 barů, frakce 180 hnědého korundu, které na rozdíl od laseru nemá nažloutlý charakter. Naopak místa s teplejší šedou barevností nebo jemně modelované jsou vhodné užití laserového čištění, které má vysoce selektivní schopnosti čištění, při kterém nehrozí narušení jemných sekaných hran. Dle charakteru kamene na různých místech se nažloutnutí po očištění laserem může lišit, proto je jeho užití na některých místech žádanější a na jiných problematické. U obou způsobů čištění je výsledek uspokojivý z hlediska kontrolovatelného postupu čištění a pro vyhovující optické i fyzikální vlastnosti.

### 3.5.3 Zkouška tmelících směsí

Zkouška tmelů byla provedena z důvodu vytvořit co nejhodnější směs pro doplnění chybějících částí po strážce strukturální, barevnostní a pevnostního charakteru, který by odpovídal materiálu díla. Písky byly vybrány pro docílení základní barevnosti (Černuc okr, Střeleč bílá,), pro docílení struktury (Tasovice) a pro stmavení (sklenářsky písek).

V první fázi byly vytvořené směsi, které měly za cíl se přiblížit barevnosti a struktuře originálního kamene. U předběžné skoušky bylo zjištěno, že použití pouze bílého cementu, či NHL 3,5 nemění výslednou barevnost kamene a jejich výsledek je tak totožný. Dále tak byla použita kombinace dvou minerálních pojiv NHL 3,5 a Bílého cementu, jako předpokládaná nejhodnější kombinace pojiv. S ohledem na vhodnost použití atypického sklenářského písku pro dobarvení tmelu byla provedena jeho analýza na přítomnost vodorozpustých solí a jeho hydraulických vlastností pomocí Termogravimetrické a diferenční termické analýzy (STD). Byly vyhotoveny dva vzorky, jeden obsahující 50 % obsahu sušiny vápenné kaše s 10 hm% slévarského písku. Druhý vzorek byl vyhotoven bez přidaného písku. Po zrání v optimálních podmínkách byly hodnoty vzorku porovnány. V druhé fázi byly s opticky vyhovující směsí písků zhotoveno pět vzorků s odlišným poměrem minerálních pojiv (NHL2, NHL5, NHL3,5, bílý cement) pokaždé se stejným poměrem k plnivu 3:1. Směsi byly vybrány po konzultaci s technologem Ing. Renatou Tišlovou Ph.D. Výsledné hodnoty uz- signálu byly porovnány s referenční hodnotou uz-signálu materiálu objektu 2,95.



Obrázek 15 vybrané zkoušky tmelů

	Tasovice	Střeleč bílá	Černuc okr	Sklenářský písek	NHL 3,5	Bílý cement	struktura	barevnost
1	2	4	-	-	1	1	vyhovující	Nevyhovující Příliš studená světlá
2	1	4	-	1	1	1	vyhovující	Nevyhovující Příliš šedá
3	3	8	-	1	2	2	vyhovující	Nevyhovující Příliš studená světlá
4	1	-	4	1	1	1	vyhovující	Nevyhovující Příliš tmavá
5	3	-	8	1	2	2	vyhovující	Vyhovující Optimální barevnost
6	2	-	4	-	1	1	vyhovující	Nevyhovující Příliš světle okrová

Tabulka 7 popis vzorků tmelů a výsledky optického posouzení

v1 rychlost UZ transmise, 7 dní, 7 dní pozvolna sušeno

v2 rychlost UZ transmise, 28 dní v klima-komoře 75 % RH, 20 °C, 7 dní sušeno

### Vyhodnocení:

Výsledek první fáze zkoušky byl posouzen opticky s přihlédnutím na jeho strukturu a barevnost. U všech směsí byla struktura vyhovující. Barevnost byla shledána jako optimální u vzorku č. 5. Barevnost koresponduje ve valné většině s původní barevností kamene a jako je optimálním podkladem pro následující barevnou retuš.

V druhé fázi byly vzorky vyhotovených tmelících směsí s poměrem různých pojiv podrobené měření rychlosti longitudálního vlnění s porovnáním k referenčním hodnotám horniny. Jako nejlépe vyhovující směs byla označena písmenkem D, kde zvolaná kombinace pojiva je 1 díl bílého cementu k 1 dílu NHL 3,5 a směs písků v poměru 3 díly kameniva k 1 dílu pojiva. Výsledný signál je oproti referenční hodnotě horniny o něco nižší, což je uspokojivý výsledek. Výsledná směs tak nebude tvrdší jako originální kámen. Analýza slévárenského písku neprokázala hydraulické vlastnosti písku ani obsah vodorozpustných solí. Nepředstavuje tak riziko pro zhotovení tmelících směsí.

	pojivo	poměr (obj. d., pojivo:plnivo)	plnivo	délka trámečku (cm)	v1 (km/s), 7 dní	v2 (km/s), 28 dní	Ed (kN/mm <sup>2</sup> ), 28 dní
A	NHL 5	1:3	P1	16.2	2.59	2.69	10.24
B	NHL 2 + bílý cement 1:1	1:3	P1	16.1	1.58	1.96	5.16
C	bílý cement	1:4	P1	16	1.27	1.34	2.55
D	NHL 3,5 + cement bílý 1:1	1:3	P2	16	2.47	2.5	6.85
E	bílý cement	1:3	P1	16.1	2.86	2.95	13.36
<b>REF hornina</b>					<b>2.95</b>		

Tabulka 8 vybrané směsi tmelů a výsledky jejich měření ultrazvukové transmise

## 4 Koncepce restaurátorského zásahu

Restaurátorský zásah přihlíží k celkové revitalizaci zámecké zahrady, jejíž nedílnou součástí skulptura je. Po ukončení revitalizace zahrady se přistoupí k osazení sousoší na své původní místo. Do té doby bude objekt uložen v prostorách zámecké kočárovny. Současně se sochou Satyra I. je restaurována i skulptura nesoucí název socha Satyra II, které spolu stály nad kaskádou fontány. Obě skulptury budou podléhat stejné koncepčnímu restaurátorskému návrhu. Dílu bude navracená hmotná i estetická celistvost, ve smyslu doplnění chybějících částí sousoší, které jsou nosnými pro výraz díla a je možné odvodit jejich původní vzhled na základě historických podkladů nebo analogií. V místech s nejasnou představou a povrchově degradovaných plochách povrchu nebude přistoupeno k doplňování. Větší a složitější chybějící místa budou vytvořené modelovanými doplňky, a posléze budou provedené do umělého kamene a vyztužené kovovými armaturami. Doplňky budou vytvořené u postavy muže: hlava, obě ruce, u postavy gryfa: zobák a ocas. Navrácení funkčnosti objektu jako chrliče fontány je zamýšleno do budoucna, nebude tomu tak docíleno v rámci tohoto restaurátorském zásahu. Restaurátorský zásah bude zaměřen na činnosti nutné ke konzervaci díla, oddálení jeho další degradace a doplnění jeho chybějících částí. Pro zlepšení materiálního stavu díla a čitelnosti bude zvolená míra čištění redukcí zčernalého povrchu do takového stavu, který neodhalí původní barevnost kamene, ale eliminuje jeho zčernalý povrch. Rekonstrukce v tomto rozsahu je možná díky dohledaným analogickým vyobrazením.

## 5 Postup prací

### Transfer

Dílo bylo transferováno ze zahrad Státního zámku Jezeří do prostor ateliéru kamene Fakulty restaurování v Litomyšli. Nepřístupnost terénu nedovolovala žádnému dostupnému dopravnímu zdvihacímu zařízení vstup do zahrad zámku. Skulptura byla zajištěná dřevěnou konstrukcí a vypodložena vakuovými polštáři. Takto připravené dílo bylo uvázané k navijáku a mobilizováno paletovým vozíkem. Pomalým popouštěním navijáku tak bylo dílo převezeno po dřevěné plošině položené na stupních kaskády. Následně byl objekt posazen mobilním jeřábem s posuvným řetězovým kladkostrojem na tažný vozík před hlavní bránu zámku, kde bylo dílo dále naloženo na nákladní auto hydraulickou rukou do ložního násypu s pískem.

### Čištění biologického napadení

Postup se skládá z kombinací dvou kroků. Prvním krokem je eliminace živých organismů na povrchu objektu aplikací vybraného biodetergentu, a to dezinfekčním 1 % roztokem Ajatinu působícího po dobu 24 hodin. Sekundárním krokem bylo mokré čištění díla nízkotlakou párou v kombinaci s mechanickým čištěním měkkými plastovými kartáči od napadení a zbylého biodetergentu.

### Čištění zčernalého silikátového filmu

Redukce silikátového filmu byla provedená kombinací abrazivního a pulzního čištění. Prvotní čištění proběhlo v místech velkých ploch se studene laděným charakterem abrazivní metodou mikropískováním s korundem o frakci f180 a tlaku upravovaném dle nutnosti v rozmezí 2 bary až 3 bary. Poté bylo použité pulzní čištění pro místa s teplejším tónem a jemnější modelací v rozmezí energetické hustoty 700 E[mJ]/1064 až 800 E[mJ]/1064 a změnou vzdálenosti vysílaného paprsku pro docílení požadovaného očištění. Po tomto prvním očištění se více sjednotil kontrast mezi světlými a tmavými částmi objektu, ale nebylo docíleno uspokojivého výsledku. Proto se přistoupilo k lokálnímu dočištění nejvíce zčernalých ploch, již pouze za pomoci pulzního čištění se shodnými hodnotami pulzní síly.

### Čištění zčernalé sádrovcové krusty

Odstranění vrstvy krusty bylo provedeno lokálně na místech s výskytem sádrovcové krusty, která se nacházela ve spodních partiích objektu. Nejdříve proběhlo její naměkčení zábalou buničiny s 10% roztokem uhličitanu amonného působícího po dobu 3,5 hodin. Následně bylo přistoupeno k mechanickému odstranění dřevěnými špachtlemi a kartáči s tvrdými plastovými štětiniami. Poté byl aplikován zábal buničiny demineralizovanou vodu po dobu 24 hodin. Čištění docílilo částečné neboli nedostatečné redukci krusty. Proces čištění se zopakoval, aby tak bylo docíleno uspokojivého očištění.

### Odsolování

Po aplikaci druhého cyklu očištění sádrovcové krusty se bezprostředně přistoupilo k odsolení materiálu jedním cyklem zábalu s 10 % roztokem uhličitanu amonného pro lepší rozpuštění síranů do

hloubky materiálu. Zábál byl ponechán k působení po dobu 24 hodin v místech s potvrzeným výskytem solí dle provedených analýz a pozorovaných míst s výskytem eflorescence sádrovcové krusty. Po odstranění zábalu dřevěnými špachtlemi byla aplikována směs odsolovacího zábalu již s demineralizovanou vodou s přesahem 15 cm od předcházejícího zábalu. Přesahem eliminujeme možné skvrny zmýdelněných olejů rozpothybovaných zavlhčením materiálu. Zábál byl ponechán k působení po dobu 14 dnů. Poté byl aplikován druhý stejný typ zábalu a ponechán do úplného vyschnutí. Pro kontrolu provedení zásahu byl odebrán vzorek vrtné moučky.

### Kontrolní měření po odsolení

vzorek	Abs. <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-</sub>	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-</sub> (gm-2)	Abs. <sub>(Cl-)</sub>	c <sub>Cl-</sub> (gm-2)	Abs. <sub>(NO<sub>3</sub>-)</sub>	c <sub>(NO<sub>3</sub>-)</sub> (gm-2)
Z1 před	0.043	0.85	0.396	0.25	0.035	0.01
Z1 po	0.080	1.59	0.433	0.28	0.035	0.01
Z2 před	0.000	0.00	0.265	0.16	0.000	0.00
Z2 po	0.041	0.81	0.339	0.21	0.029	0.01

Tabulka 7 kontrolní měření vodorozpustných solí ze zábalů po odsolení

Vzorek	m <sub>vzorku</sub> (g)	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (ml)	Abs. <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-</sub>	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-</sub> (hm%)	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-</sub> (mmol/kg)	Abs. <sub>(Cl-)</sub>	c <sub>Cl-</sub> (hm.%)	c <sub>Cl-</sub> (mmol/kg)	Abs. <sub>(NO<sub>3</sub>-)</sub>	c <sub>(NO<sub>3</sub>-)</sub> (hm.%)	c <sub>(NO<sub>3</sub>-)</sub> (mmol/kg)
S 1	0,976	46,795	0,000	0,00	0	0,064	0,01	3	0,041	0,00	0
S 2	1,041	50,394	0,042	0,20	21	0,115	0,02	5	0,026	0,00	0
S 3	1,151	50,137	0,000	0,00	0	0,136	0,02	6	0,048	0,00	0

Tabulka 8 Kontrolní měření vodorozpustných solí z vrtné moučky po odsolení

Měření vodorozpustných solí ze zábalů po odsolení prokazují, že postup odsolení probíhal úspěšně. Kontrolní měření vodorozpustných solí vzorku vrtné moučky, odebraný v blízkosti místa odběru vrtné moučky před odsolením, prokázal snížení vodorozpustných solí na povrchu díla s mírnou migrací solí do hloubky materiálu.

### Konsolidace

Konsolidace proběhla lokálně s použitím organokřemičitých prostředků KSE 100 a KSE 300 od značky Remmers pomocí plastové laboratorní stříčky ve třech cyklech s časovým rozestupem jedné hodiny. Konsolidována byla místa s degradovaným povrchem v důsledku zvětrávání, či degradací pod sádrovcovými krustami a všechny praskliny.

### Injektáž

Místa s prasklinami i lepené spoje byly injektovány minerální směsí Ledan TA1 pomocí injekčních stříkaček a injekčních jehel. Praskliny s malým rozměrem byly ucpané bavlněnou vatou a injektážní směs byla vtlačována od nejspodnějších míst směrem nahoru. Lepené spoje s větším rozměrem byly zatmeleny i s injekčními jehlami. Takto připravené dutiny byly po 24 hodinách injektovány totožnou injektážní směsí.

### ***Kontrolní měření ultrazvukovou transmisí***

Pro kontrolu ultrazvukové transmise bylo vybráno referenční místo s největším rozsahem poškození, hýždě tvora. Měření prokázalo dostatečnou konsolidaci prasklin i struktury kamene. Odkaz Příloha č. 7, ověření efektivity injektáže prasklin a kvality testovaných doplňovacích směsí metodou ultrazvukové transmise 16.9

### **Rekonstrukce chybějících částí**

Dusané doplňky – Větší chybějící části skulptury u mužské postavy to je hlava a obě ruce u postavy zvířete ocas a zobák. Vzorem pro vytvoření těchto částí byla historická fotografie, analogie sochy situované ve Vídeňském Belvedéru a dochovaná Socha Satyra II. ze stejného souboru. Tyto části byly vymodelovány v sochařské hlíně a posléze zaformovány silikonovou hmotou v tenké vrstvě s následnou tlustou vrstvou sádrového kádľubu. Do takto vytvořené formy byla vdusána směs minerálního pojiva (1 díl NHL3,5 a 1 díl bílého cementu) s křemičitými písky (8 dílů okrové Černuci, 3 díly Tasovic, 1 díl Slévárenského písku) v poměru 1:3. Po třech dnech byly výdusky vyndány z forem a povrch byl upraven pískováním s úpravou drobných nedostatků. Následně byly doplňky osazené a přilepené epoxidovou pryskyřicí. Zápěstí levé ruky, rameno pravé paže a hlava mužské postavy byly přilepeny i se zavedenou kovovou armaturou pro zvýšení stability. Chybějící pravý roh podstavy imitující kámen, na kterém postava stojí byl ohrazen dřevěným bedněním. Do takto připravené ohrádky byl vydusán doplněk, který byl po dvou dnech opracován do tvaru rekonstruující chybějící část kamene.

Tmelené doplňky – Menší chybějící místa byla tmelena totožnou minerální směsí. Pro jejich rekonstrukci posloužily historické fotografie díla. Záklopová deska byla tmelem připojená ke skulptuře.

### **Barevná retuš**

Doplněná místa byla barevně zapojená k originálu nápodobivou retuší s přihlédnutím k odlišení doplňků od originálu. Pomocí štětců byly nanесeny světlo-stálé pigmenty od značky Kremer pojené 2 % akrylátovou disperzí K9 od značky Remmers.

## 5.1 použité technologie a materiály

- Převoz díla: mobilní jeřáb s řetězovým kladkostrojem, transportní vakuové vaky, transportní dřevěná nosítka, stahovací popruhy, kladivo, dláta, přívěsný vozík, auto s hydraulickou rukou a úvazy
- Čištění:
  - Biologického napadení – biocid vybraný dle zkoušek (1 % Ajatin) plastové kartáče, tlaková pára
  - Zčernalý povrch  
abrazivní čištění korund f 220 o síle 2,5-3,5 barů mikropískovačkou Cobra, kompresor
  - chemické čištění- 10%roztok uhlíčitánu amonného, buničina Arbocel
  - laserové čištění- (typ Q – switched ND: YAG LASER Thunder art) v rozmezí energetické hustoty 700 E[mJ]@1064 až 800 E[mJ]@1064
- odsolování: 10% uhlíčan amonný, demineralizovaná voda, odsolovací směs-15 dílů písku (kopaná Střeleč), 5 dílů Arbocelu (BC 200) a 3 díly kaolínu
- Konsolidace: organokřemičitan značky Remmers KSE 100 a 300 injekční stříkačky, plastová laboratorní stříčka,
- Lepení: elektrická vrtačka, nerezových závitových tyče v různých délkách o průměru
- 0,8 a 1,2 cm, dvousložkové epoxydové lepidlo Akepox 5010 značky Akemi
- Injektování: injekční stříkačky, injekční jehly, injektážní minerální směs Ledan TA1 od výrobce TECNO EDILE TOSCANA, vata, modelovací hlína,
- Rekonstrukce chybějících částí: modelovací hlína, modelovací nástroje, silikón MM922, bílá sádra od společnosti HET, šelak, dusací směs z křemičitých zrn pojené minerálním pojivem, Arte Mundit Eco značky Remmers
- Plastická retuš: pojivo (1 díl NHL3,5 a 1 díl bílého cementu) s křemičitými písky (8 dílů okrové Černuci, 3 díly Tasovic, 1 díl Slévárenského písku) v poměru 1:3.
- Barevná retuš: 2 % akrylátová disperze K9, pigmenty (kostní čern, Umbra přírodní, francouzský okr) od značky Kremer, retušovací štětce různých velikostí
- Osazení: mobilní jeřáb s řetězovým kladkostrojem, transportní vakuové vaky, transportní dřevěná nosítka, stahovací popruhy, kladivo, dláta, přívěsný vozík, na odizolovaný pískový základ, auto s hydraulickou rukou, nekonečné úvazy

## 5.2 Doporučený režim

Vzhledem k dočasnému osazení sousoší do polo interiéru zámecké kočárovny jsou značně eliminované faktory vedoucí k rozsáhlejšímu poškození díla (polutanty z ovzduší, srážková voda, vzlínající voda, rychlé výkyvy teplot). Proto je doporučen pouze optický monitoring zaměřený na možný vznik trhlin skulptury i doplňků či usazení prachových depozitů. Generální kontrola by měla proběhnout jednou za rok. Očištění díla od prachových depozitů se doporučuje šetrným suchým způsobem čištění, odprašováním nástrojem s měkkými štětinami (štětce, kartáče) nebo šetrným vysáváním s násadou se štětinami.

Jelikož je zamýšleno skulpturu osadit na své původní místo na vrchu kaskádovité fontány, jenž je v současnosti v dezolátním stavu, je nutno tento prostor předem revitalizovat. Zpevnit původní architekturu, eliminovat nežádoucí vegetaci v bezprostřední blízkosti díla a zabezpečit kvalitní odizolovaný základ pro skulpturu. Dílo na tomto místě bude vystavené externím podmínkám zvyšující možnosti degradace díla a vzniku biologického napadení na jeho povrchu. Z tohoto důvodu je doporučeno provádět generální kontrolu jednou ročně se stejným zaměřením na stejné fenomény jako tomu bylo v interiéru i s kontrolou barevných retuší. Generální kontrola by mohla vyústit k případnému zásahu, který by prováděla kvalifikovaná osoba, aby se tak zamezilo dalším degradačním procesům. V podzimních obdobích se doporučuje odstraňovat napadané listí a v zimních měsících zakrývání soch, aby se tak zamezilo přístupu sněhu.

## 6 Použitá literatura a prameny

- Adamcová, Kateřina, Jan Adam Dietz, Adam Ferdinand Tietz, Jan Václav Grauer a sochařská dílna v Jezeří u Jirkova. Univerzita Karlova v Praze, 2007. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, Ústav pro dějiny umění. Vedoucí práce Prof. PhDr. Mojmír Horyna.
- ADAMCOVÁ, Kateřina. Sochy v barokní krajině: panství Jezeří – Nové Sedlo. Zprávy památkové péče. 2017: Roč. 77, č. 1-2, 36-47. ISSN 1210-5538.
- Arimaspoi. In: Theoi greek mythology [online]. Netherlands & New Zealand: Atsma, c 2000-2017 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.theoi.com/Phylos/Arimaspoi.html>
- Arimaspoi. In: Theoi greek mythology [online]. Netherlands & New Zealand: Atsma, c 2000-2017 [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.theoi.com/Phylos/Arimaspoi.html>
- BROŽ, Tomáš a KOLOC, Jan a NEJEZCHLEBOVÁ, Eliška. Pasport: státní zámek Jezeří. [Ústí nad Labem], 1998-2000.
- BĚŇA, Petr. Historické kamenosochařské techniky v Čechách. Univerzita Pardubice, 2007. Bakalářská práce teoretická. Univerzita Pardubice. Fakulta restaurování. Vedoucí práce Novotný, Jiří.
- ANDĚL, Rudolf a Jiří LOUDA. Hrady, zámky a tvrze v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. [Sv.] 3, Severní Čechy. Praha: Svoboda, 1984. ISBN 25-089-84.
- <https://mapy.cz/zakladni?x=14.6377551&y=49.9552091&z=9>
- SALOMON, Kleiner. *Das Belvedere in Wien*. Herausgegeben und kommentiert von Hans Aurenhammer unter Mitarbeit von Çertrude Aurenhammer. Graz: Akademische Druck- u. Verlagsanstalt, 1969.
- <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarExtent=-990320.44597457629%20-1239836%20-346646.55402542371%20-923033&MarWindowName=Marushka>
- Socha satyra I. Památkový katalog [online]. Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/socha-satyra-i-13919234>
- Historie zámku Jezeří [online]. Národní památkový ústav. Jezeří: Oficiální webová prezentace státního zámku. Dostupné z: <https://www.zamek-jezeri.cz/cs> [cit. 8. 2. 2023]

### *Archivní fotografie:*

ŠÍLA, Č. Gigant v zápase s griffonem (?) v zámecké zahradě [fotografie]. Generální ředitelství Národního památkového úřadu, Praha. Sig. 84535

FYMAN, V. Fragменты zahradní fontány s plastikami gigantů [fotografie]. Generální ředitelství Národního památkového ústavu, Praha. Sig. 83198

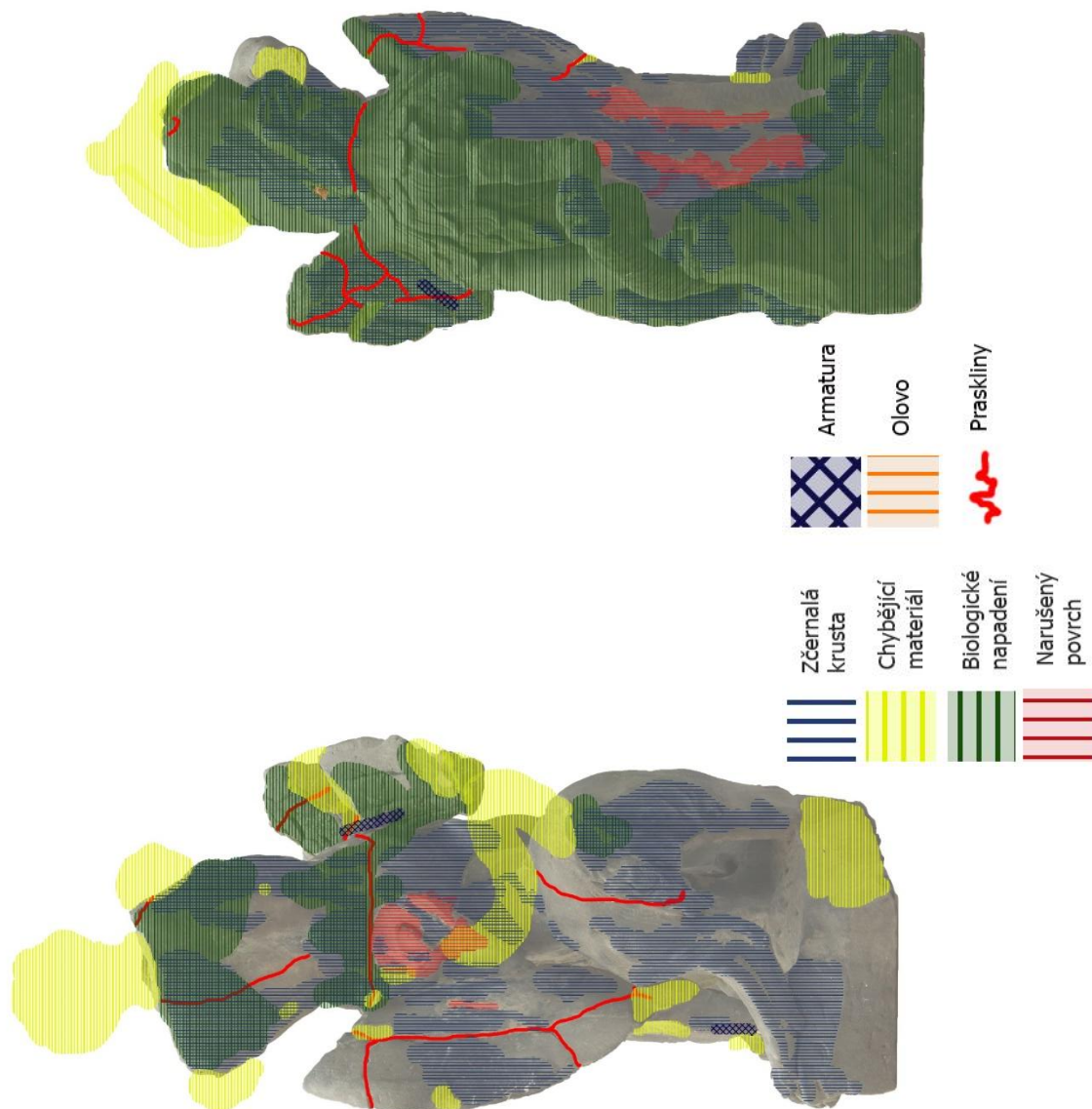
FYMAN, V. Gigant v zápase s griffonem (?) v zámecké zahradě [fotografie]. Generální ředitelství Národního památkového ústavu, Praha. Sig. 83199

SKOKANOVÁ, L. Jezeří, areál zámku čp. 1/soubor soch – pohled od jihu [fotografie]. Územní odborné pracoviště Národního památkového ústavu v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem. Sig. 161981

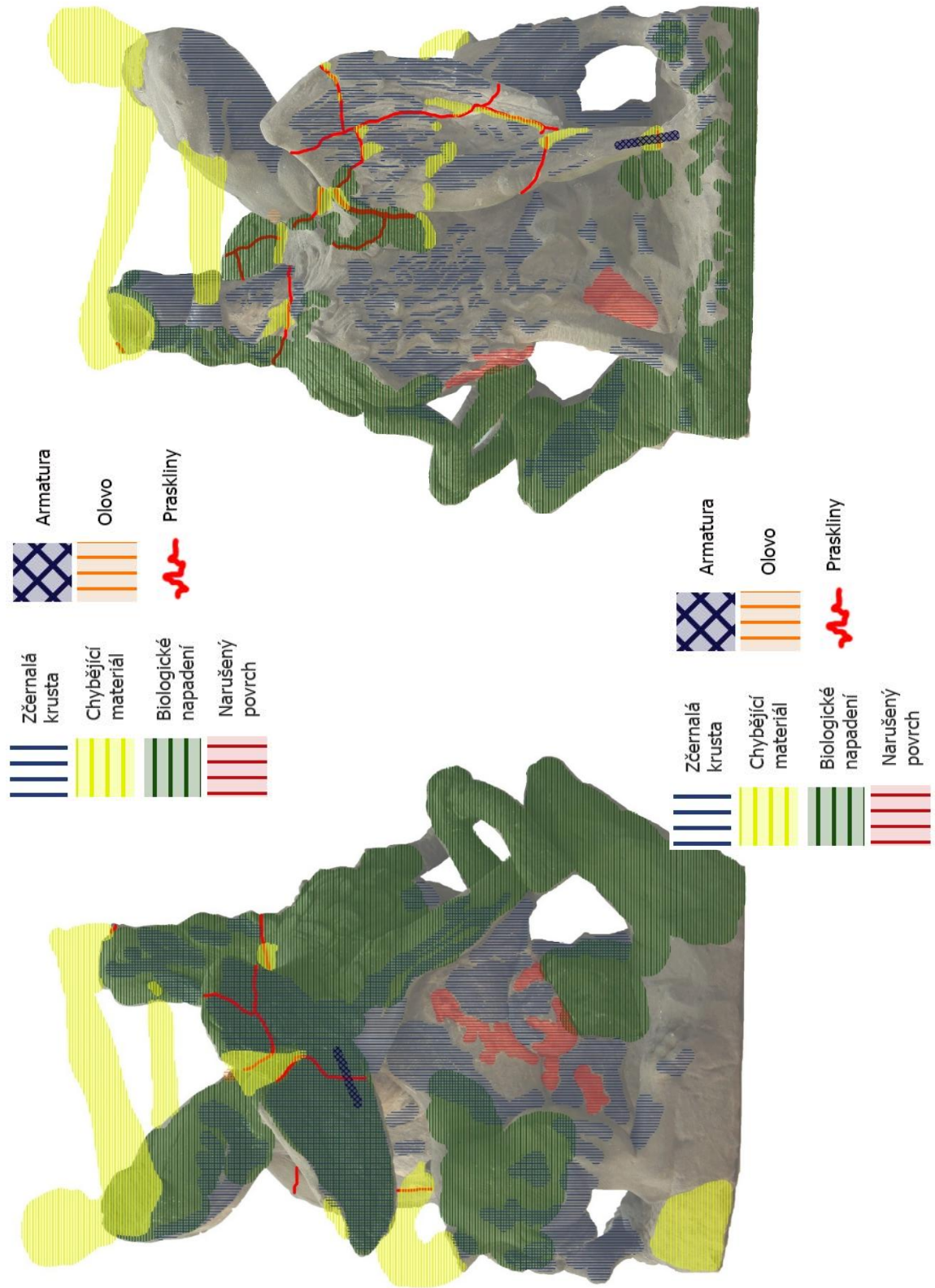
SKOKANOVÁ, L. Jezeří, areál zámku čp. 1/socha I. [fotografie]. Územní odborné pracoviště Národního památkového ústavu v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem. Sig. 161986, 161987, 161988

Ing. HUŠEK, P. Jezeří, areál zámku čp. 1/socha I. [fotografie]. Územní odborné pracoviště Národního památkového ústavu v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem. Sig. 191685

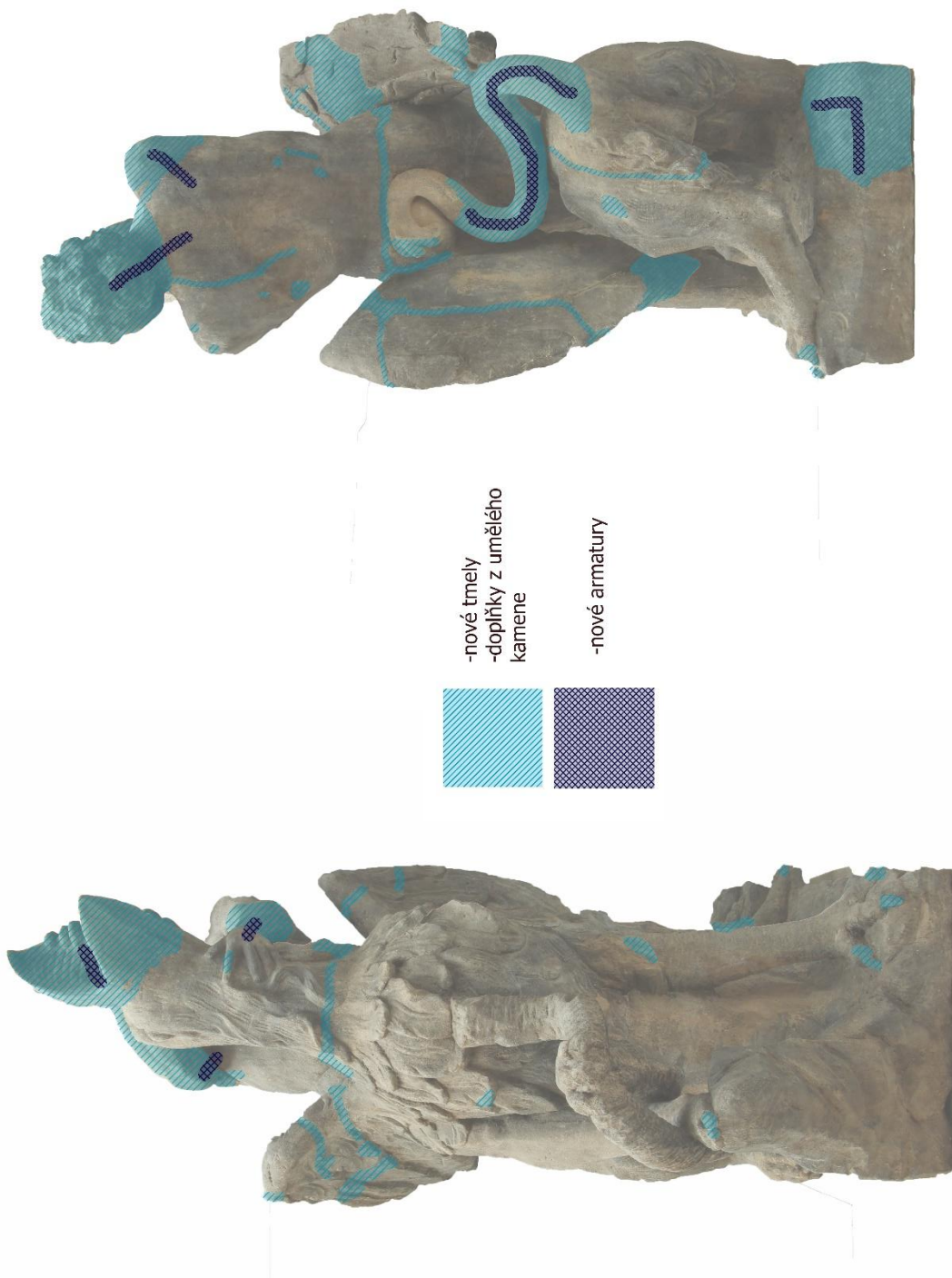
## 7 Grafická dokumentace



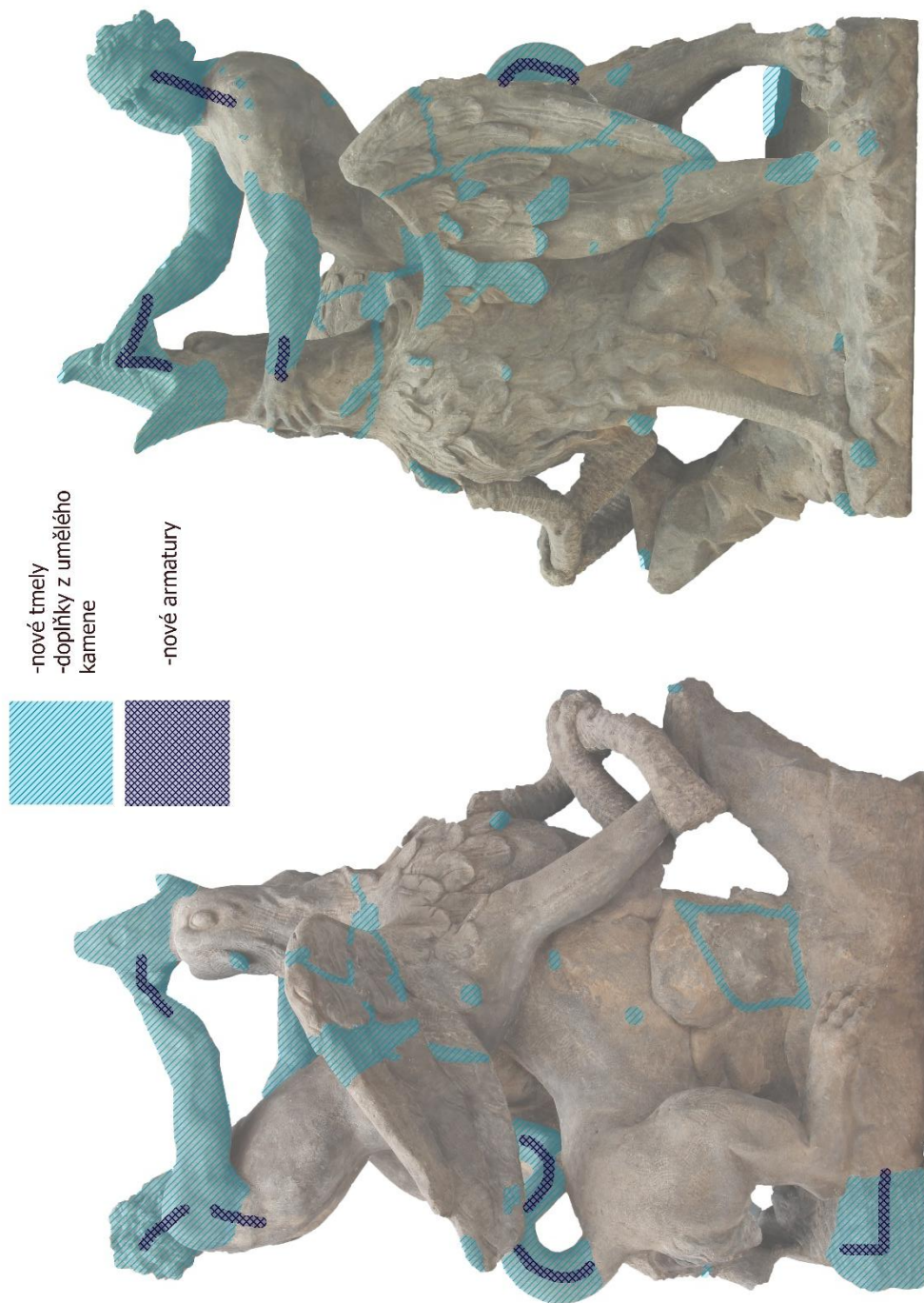
Obrázek 16 grafické zákresy poškození před restaurováním, přední a zadní strana



Obrázek 17 grafické zákresy poškození skulptury před restaurováním, levá a pravá strana



Obrázek 18 grafické záznamy poškození skulptury po restaurování, zadní a přední strana



Obrázek 19 grafické zákresy poškození skulptury po restaurování, levá a pravá strana

## 8 Fotografická dokumentace



*Obrázek 20 stav před restaurováním, čelní strana a zadní strana*



*Obrázek 21 stav před restaurováním, pravá strana a levá strana*



*Obrázek 22 stav po očištění pravá a levá strana*



*Obrázek 23 stav po očištění přední a zadní strana*



*Obrázek 24 stav po doplnění chybějících hmot, zadní a přední strana*



*Obrázek 25 stav po doplnění chybějících hmot, levá a pravá strana*



*Obrázek 26 stav po restaurování, přední strana*



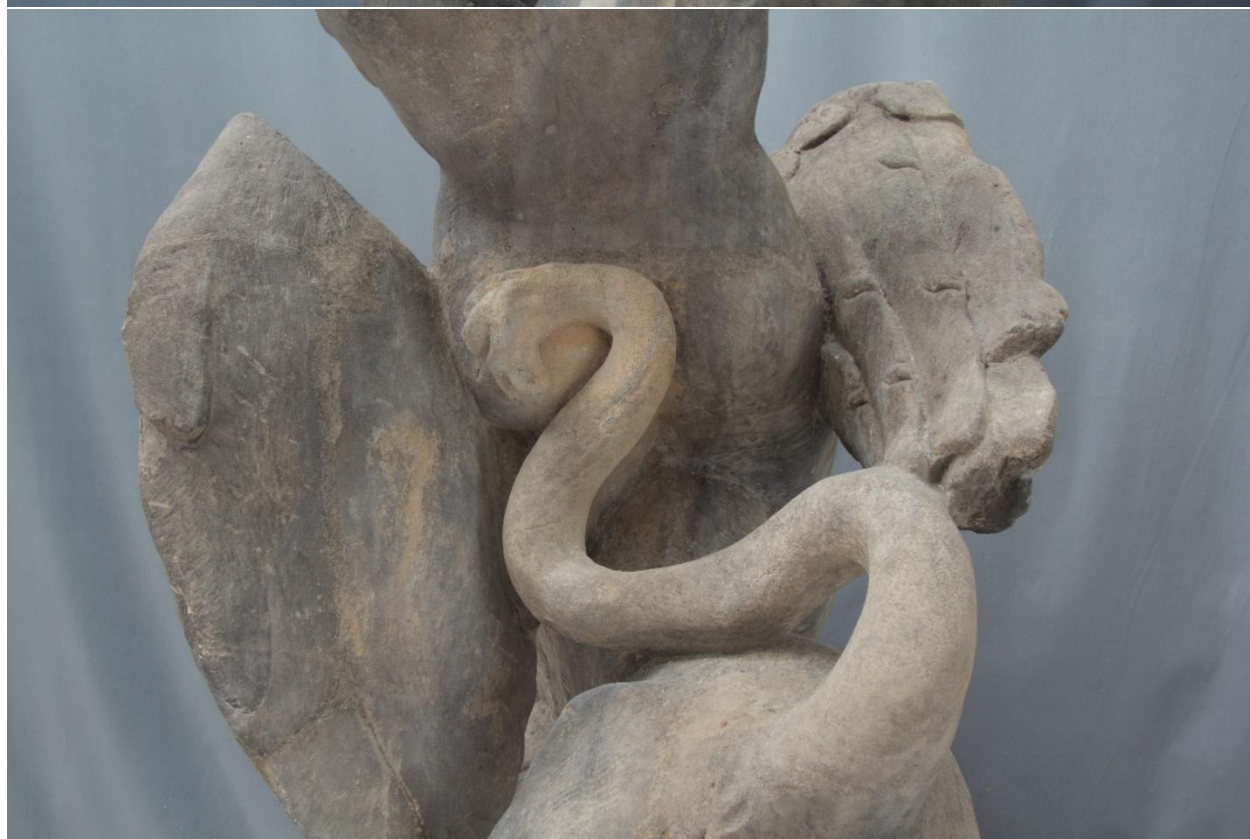
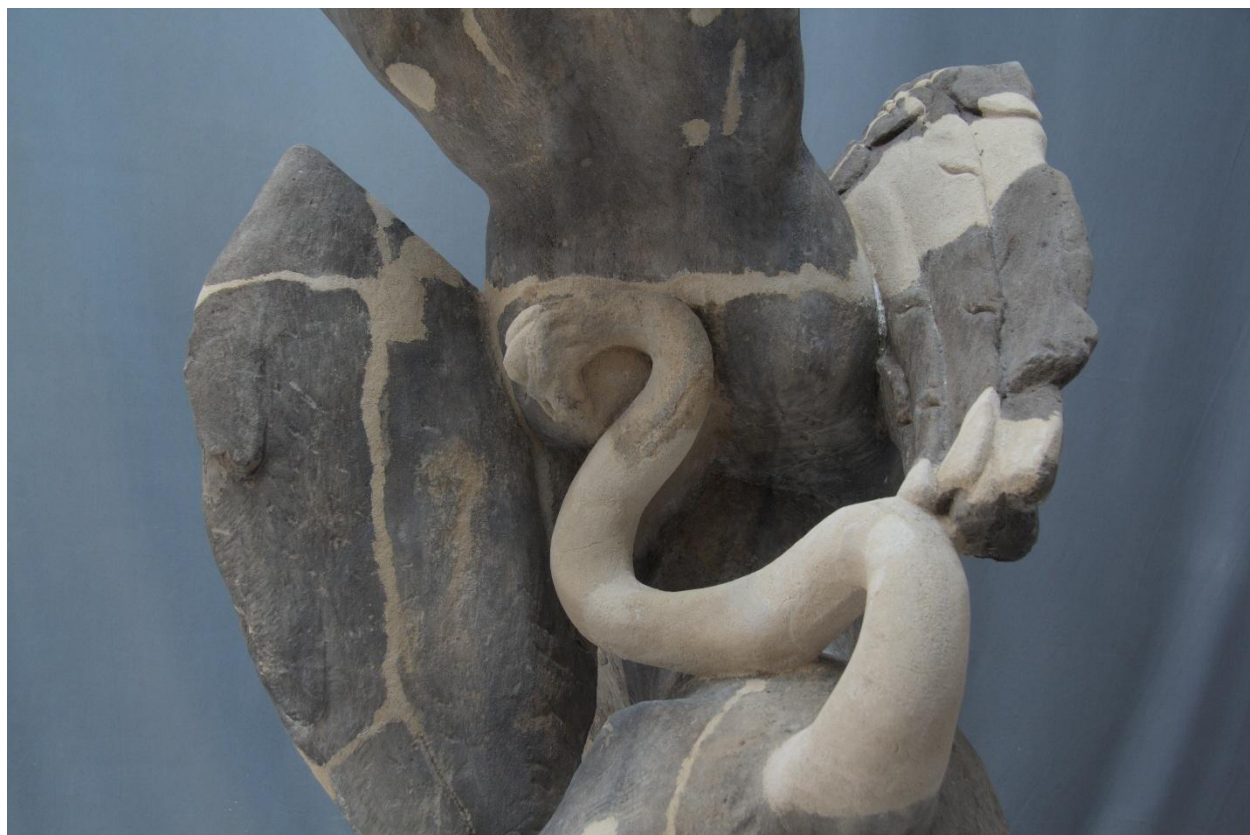
Obrázek 27 stav po restaurování, levá strana a pravá strana



*Obrázek 28 pohled na nohu skulptury průběh restaurování, nahoru zleva, stav před restaurováním, po očištění, po doplnění a po restaurování*



*Obrázek 29 zadní strana skulptury, stav před restaurováním, po očištění*



*Obrázek 30 zadní strana skulptury, po doplnění a po restaurování*



*Obrázek 31 pravé křídlo, průběh restaurování, stav před restaurováním, po očištění*



*Obrázek 32 pravé křídlo, průběh restaurování, po doplnění a po restaurování*

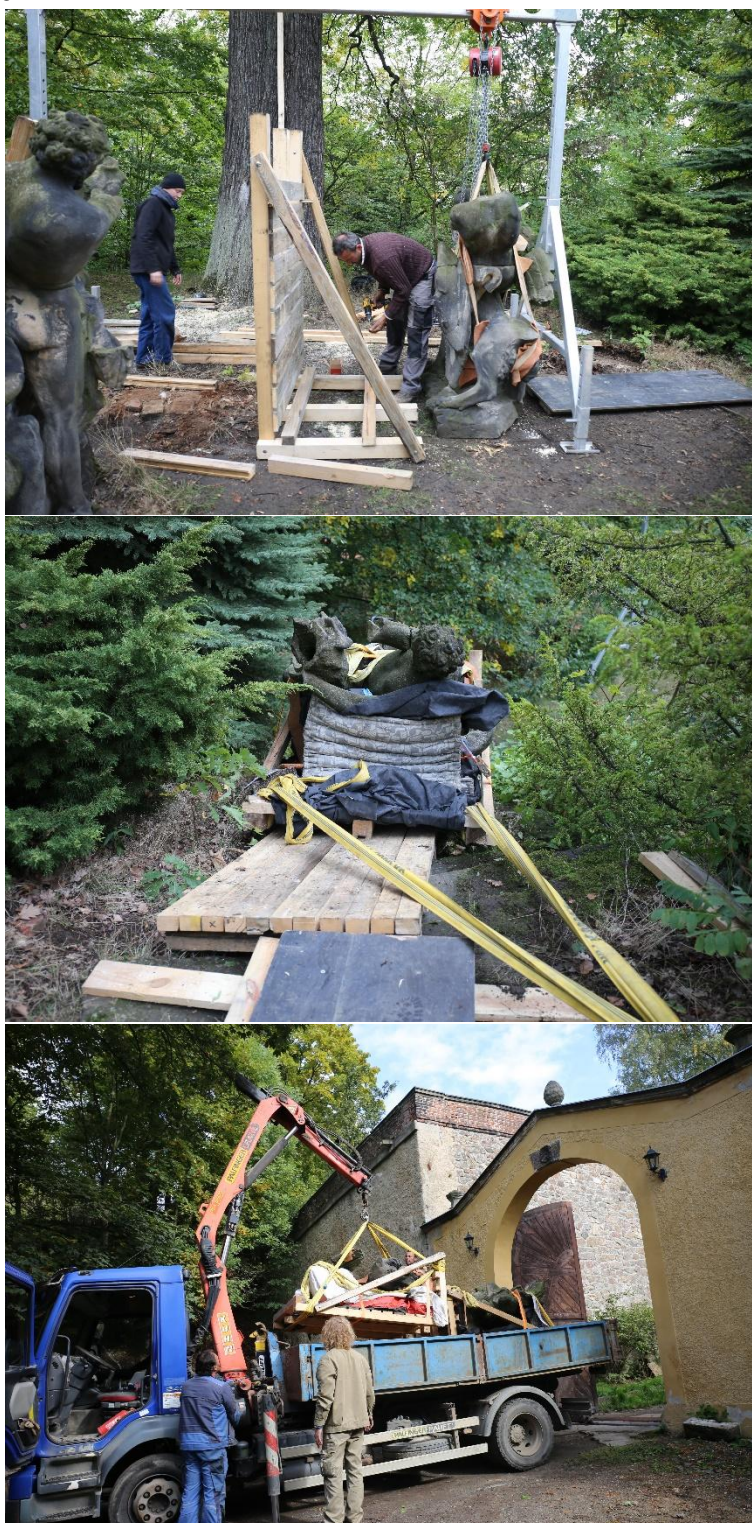


*Obrázek 33 pohled na levou stranu postavy, stav před restaurováním, po očištění*



*Obrázek 34 pohled na levou stranu postavy, po doplnění a po restaurování*

## 8.1 Postup prací



*Obrázek 35 transport díla ze zámku Jezeří*



*Obrázek 36 vlevo čištění skulptury od biologického napadení, vpravo redukce sčernalé krusty*



*Obrázek 37 vlevo průběh redukce zčernalého povrchu, vpravo nabourávání sádrovcové krusty zábalení buničiny s 10 % roztokem uhličitanu amonného*



Obrázek 38 vlevo lokálně nanesené odsolovací zábaly, vpravo vrtání otvoru pro vytvoření konstrukce pro modelování doplňku hlavy



Obrázek 39 průběh odsolování a vytváření konstrukce pro modelování doplňků



*Obrázek 40 kovová konstrukce pro modelování doplňků*



*Obrázek 41 vlevo injektáž trhlin, vpravo odstraňování vystouplého epoxidu z lepených spojů pomocí mikro-brusky*



*Obrázek 42 vlevo průběh modelování s využitím modelu z 3D tisku pro vlasy hlavy mužské postavy, vpravo formování hliněných doplňků do silikonu*



Obrázek 43 průběh lepení dusaných doplňků, levé ruky, pravé ruky a hlavy



Obrázek 44 průběh lepení dusaných doplňků, levé ruky, pravé ruky a hlavy



*Obrázek 45 vpravo ohrádka vytvořená pro vydusání chybějícího roku podstavy skulptury, vpravo průběh tmelení*



*Obrázek 46 průběh zapojování tmelů, barevná retuš*



*Obrázek 47 Obě skulptury osazené v zámecké kočárovně*

## 9 Využití digitálních 3D technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl

### 10 Úvod

Teoretická část diplomové práce navazuje na praktickou část diplomové práce. Práce dokumentuje pět modelových příkladů restaurování s využitím 3D digitálních technologií a FDM tisku pro doplnění chybějících částí sochařských děl. Hlavním zájmem experimentální části práce je odzkoušení vybraných, 3D digitálních technologií pro vytvoření doplňků sochařských děl pomocí 3D tisku i v kombinaci s již etablovanými metodami. Práce si dává za cíl dokumentovat použití praktické použití FDM technologie tisku v restaurátorské praxi.

Prezentované restaurátorské práce byly provedené na půdě Fakulty restaurování Litomyšl, Technické vysoké školy v Kolíně nad Rýnem a v soukromém sektoru ve spolupráci s restaurátorkou MgA. Kateřinou Šibravovou. Rešerše je zaměřena zejména na 3D digitální technologie používané v památkové péči v záměru za účelem restaurování hmotné podstaty díla, rekonstrukcí a příklady využití technologie v restaurátorské praxi. Dále se blíže zaměří na nejčastěji používané technologie v památkové péči.

#### 10.1 Úvod do historie využití 3D digitálních technologií v památkové péči

Dlouhou dobu byla doménou dokumentace památkových objektů geodézie a fotogrammetrie. Na sklonku tisíciletí se přidala i 3D skenovací metoda (laserové skenování), která zvýšila přesnost a rychlost měření, a tím si později vydobyla hlavní místo mezi možnými metodami dokumentace. Vývoj průřezové fotogrammetrie a zvyšující se úroveň fotoaparátů poskytl památkové péči další metodu zaznamenávání objektů do 3D digitálního rozhraní.<sup>13</sup>

S příchodem 3D digitálních technologií (3DDT) se v 90. letech 20. století začalo experimentovat s jejich využitím v památkové péči. Od roku 1996 National Research Council of Canada začal skenovat pravidelně muzejní artefakty. Jedním z prvních velkých projektů skenování byl „Michelangelův projekt“ provedený Stanfordskou Univerzitou z Kalifornie v Galerii del Accademia ve Florencii v letech 1998-99.<sup>14</sup> V 90. letech vzniká pojem „virtuální anastyulóza“. Ta zprostředkovává možnost hypotetické rekonstrukce dochovaných artefaktů v 3D digitálním prostředí na základě historické znalosti a dokumentace.<sup>15</sup>

Použití 3D virtuální rekonstrukce objektů či celých míst může být dobrým nástrojem pro prezentaci, dokumentaci či uchování kulturního dědictví. Zejména u míst ohrožených válkou či cíleným vandalismem je dokumentace trojrozměrných děl pomocí skenování cenným nástrojem pro jejich uchování. V případech

---

<sup>13</sup> PAVELKA, Karel a REZNICEK, Jan. NEW LOW-COST AUTOMATED PROCESSING OF DIGITAL PHOTOS FOR DOCUMENTATION AND VISUALISATION OF THE CULTURAL HERITAGE. *Reviewed papers from XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, Czech Republic, September 12-16, 2011, organized by CIPA, ISPRS and CTU in Prague with special ICOMOS section.* S. 9.

<sup>14</sup> Marc Levoy The Digital Michelangelo Project, 1997–2003 Online. Dostupné z: <https://accademia.stanford.edu/mich/> [cit. 2025-03-03].

<sup>15</sup> A METHOD FOR VIRTUAL ANASTYLOSIS: THE CASE OF THE ARCH OF TITUS AT THE CIRCUS MAXIMUS IN ROME. *International Journal of Heritage in the Digital Era.* 2014, roč. 3, č. 2, s. 393-412.

úplné ztráty původního díla se může přistoupit k více či méně hypotetické rekonstrukci ve 3D modelu z dohledaných informací, historických fotografií (např. Palmyra<sup>16</sup>) nebo archeologických nálezů.

S významným vývojem a zvýšením dostupnosti 3D digitálních technologií se setkáváme nejen v digitálním rozhraní, ale i na poli technologií, které umožňují vytvářet modely ve hmotné podobě. Může se jednat o metody aditivní (3D tisk) nebo subtraktivní (CNC). Digitalizace je vhodná pro studium formy díla, hmotové digitální rekonstrukce či barevné rekonstrukce, prezentace díla a jeho sdílení napříč institucemi. Hmotná kopie díla vyhotovená jako „digitální odlitek“ z originálu má primární výhodu, že se jedná o nejpřesnější neinvazivní metodu dokumentace kulturních památek. Mezi další výhody patří schopnost reprodukce, movitost a prostor k experimentování. S postupným vývojem 3D technologií a jejich dostupností se rozšiřuje jejich používání v památkové péči. Používá se jak v digitálním restaurování, určenému pouze k prezentaci v digitálním prostředí, tak o využití technologií pro zhotovení hmotných částí.<sup>17</sup>

Využití technologie v památkové péči je v tuzemsku oproti zahraničí, kde vznikají práce už na přelomu 20. a 21. století, zpožděno přibližně o dekádu. Je to dáno dostupností technologie, která byla původně značně ekonomicky i technicky náročná. Nízkonákladové technologie pro dokumentaci kulturního dědictví byly v letech 2005 a 2006 vyvinuty a testovány na ČVUT. Hlavním cílem bylo umožnit historikům a restaurátorům snadný přístup k nástrojům pro tvorbu 3D modelů bez nutnosti investovat do drahých laserových skenerů nebo specializovaného softwaru.<sup>18</sup> S postupným vývojem technologií sice klesají jejich náklady a dostupnost se zlepšuje, přesto bylo, a často stále je, nutné zapojit specializovaná pracoviště či externí odborníky kvůli vysokým pořizovacím cenám vybavení.<sup>19</sup> I když dnes mohou některé technologie využívat i jednotlivci, řada z nich zůstává finančně náročná a vyžaduje spolupráci mezi institucemi. Technologie 3D digitalizace se zaměřuje především na architekturu, drobné památky a mobiliáře, ale i jiné artefakty.<sup>20</sup> V roce 2015 vyšla na univerzitě kniha *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*.<sup>21</sup> V roce 2025 vyšel v časopise *Journal of the American Institute* na základě výzkumu provedeného na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice článek věnující se 3D technologiím v restaurování věnující se etickým a technickým aspektům konzervování sádrového odlitku pomocí 3D tisku.<sup>22</sup> Jedná se o první práci z Ateliéru restaurování kamene s využitím 3D digitální technologie a spolu

---

<sup>16</sup> REBUILDING PALMYRA VIRTUALLY: RECREATION OF ITS FORMER GLORY IN DIGITAL SPACE. *Virtual Archaeology Review*. 2017, roč. 8, č. 17, s. 20-30.

<sup>17</sup> The Oxford Handbook of Roman Sculpture Elise A Friedland, Melanie Grunow Sobocinski, Elaine Gazda Oxford University Press, 2. 1. 2015, str.76, online zdroj [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=A9mdBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA74&dq=Laocoön+Group+restoration+3D+printing+vatican&ots=5jmlze6-bJ&sig=CBWFhGZ8YBINacyaUdhZdW6J\\_NE&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=A9mdBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA74&dq=Laocoön+Group+restoration+3D+printing+vatican&ots=5jmlze6-bJ&sig=CBWFhGZ8YBINacyaUdhZdW6J_NE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

<sup>18</sup> PAVELKA, Karel a REZNICEK, Jan. LOW-COST AUTOMATED PROCESSING OF DIGITAL PHOTOS FOR DOCUMENTATION AND VISUALISATION OF THE CULTURAL HERITAGE. Praha: Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, 2008.

<sup>19</sup> BREJCHA, Marcel; BRŮNA, Vladimír; MAREK, Zdeněk a VĚTROVSKÁ, Bára. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace*. Filozofická fakulta Univerzity v Ústí nad Labem, 2015.

<sup>20</sup> *Centrum pro dokumentaci a digitalizaci kulturního dědictví. O centru [online]. Ústí nad Labem: Filozofická fakulta Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://ff.ujep.cz/index.php/cd/o-centru>*

<sup>21</sup> BREJCHA, Marcel; BRŮNA, Vladimír; MAREK, Zdeněk a VĚTROVSKÁ, Bára. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace*. Filozofická fakulta Univerzity v Ústí nad Labem, 2015.

<sup>22</sup> Ďoubal, J., Vyhnanáková, Š., & Rejman, P. (2025). Ethical and Technical Aspects of Conserving a Plaster Cast Using 3D Printing. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/01971360.2025.2453962>

s touto prací ukazuje zájem o implementaci technologie v péči o památkové objekty na půdě Fakulty restaurování.

## 10.2 Využití 3D aditivních technologií v památkové péči

Využití 3D tisku je v oblastech památkové péče v současnosti využíváno v restaurování a rekonstrukcích, dokumentaci a sdílení 3D digitálních modelů děl, výzkumu a vzdělávání, a v neposlední řadě v muzejní prezentaci a interakci s díly. V literatuře se posledních letech objevuje více příkladů využití aditivních technologií v restaurování. Technologie je využita pro své všestranné možnosti od neinvazivnosti zásahu, usnadnění manipulace při sestavování díla, zvýšení autenticity rekonstrukcí a jiné. V rámci rešerše jsme se zejména zaměřili na příklady odlišných typů aditivních technologií využitých pro zhotovení doplňků děl.

Jedním z možných využití této technologie je vyhotovení formy z libovolného tiskacího materiálu. Je to stejné jako u tradičních technologií zhotovení forem, kde se složitost formy odvíjí od složitosti tvaru formovaného objektu a použitého materiálu. V článku *Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII* bylo popsáno zhotovení formy z tuhého materiálu PLA a flexibilního materiálu TPU. Zhotovení formy z pevného materiálu PLA se ukázalo jako skoro šestkrát časově náročnější na přípravu a s dvojnásobně delší dobou tisku. Naproti tomu flexibilní materiál TPU je mírně dražší, nechává o něco málo výraznější rastr a jeho tisk je technicky složitější. Finální vzhled byl sjednocen zbrúšením vzniklého rastru.<sup>23</sup>

Metody SLA a FDM nacházejí výhodné využití u restaurování citlivých, křehkých materiálů se subtilní tloušťkou stěn objektu a nízkou hmotností materiálu. Typickými objekty jsou archeologické nálezy skla, keramiky nebo také kostí.<sup>24</sup> Články opisují metodu jako reversibilní ne-invazivní, takže nehrozí kontaminace originály cizími látkami, jak tomu může být u tradičních procesů formování v restaurování. Výhodou samotných doplňků z tisknutého materiálu je jejich nízká hmotnost a dostatečná odolnost pro manipulaci s citlivými materiály.

Další velkou výhodou je možnost rekonstruovat vícedílné objekty v digitálním prostředí. Pokud některé části chybějí a nelze je fyzicky složit, lze model ve „stavu beztlíže“ virtuálně sestavit a navrhnout mu vnitřní výztuž přímo v 3D softwaru. Metoda usnadňuje celou činnost sestavení díla z více dílů, zejména u citlivých, drobných objektu, ale i u velkých a těžkých děl.<sup>25</sup> Ve studii tak byla pro terakotovou plastiku zhotovena vnitřní konstrukce tištěná na tiskárně využívající tryskání pojiva na práškové lůžko (Zcorp 650 3D printer) v syntetické sádře. Autoři uvádějí její popularitu v památkové péči, protože se s ní pracuje stejnými nástroji jako u běžných restaurátorských zásahů. Konstrukce plnila jak statickou, tak estetickou funkci. V místech

---

<sup>23</sup> Óscar Hernández-Muñoz a , Alicia Sánchez-Ortiz. Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII. *Conservar Patrimonio*. 2019, roč. 30, s. 14. ISSN 2182-9942.

<sup>24</sup> FANTINI, Massimiliano; DE CRESCENZIO, Francesca; PERSIANI, Franco; BENAZZI, Stefano a , Giorgio. 3D restitution, restoration and prototyping of a medieval damaged skull. *Rapid Prototyping Journal*. 2008, roč. 14, č. 5, s. 318-324.

<sup>25</sup> Attademo, Greta & Corio, Aurora. (2024). VIRTUAL ANASTYLOSIS FOR THE PULPIT OF THE CHURCH OF SAN BARTOLOMEO IN PANTANO IN PISTOIA. 10.2423/i22394303v14n1p13.

s chybějícím materiálem nebyl povrch doplněn, a tedy tisknutá konstrukce byla viditelná a prezentována přímo v materiálu tisku. Finální vzhled působil jak tmelení pod líc originálu.<sup>26</sup>

Zhotovením podpůrného prvku pro spodní část antické hlavice se zabývali v muzeu The Brettii & Enotri Museum v Cosenze. V rámci zhotovení práce byla jedna z hlavních myšlenek ochrana muzejních artefaktů před otřesy zemětřesení. Z naskenovaného modelu hlavice byla zhotovená topografie povrchu její spodní lomové části. Ve 3D grafickém programu vyhotovili model podpěry určený k tisku. Pro tisk byla zvolena technologie Multi Jet Fusion (MJF) pro vyšší pevnost výtisku. Model byl podroben simulaci analyzující rozložení stresu a upraven vhodným přemístěním hmoty. Před samotnou instalací byla mezi podpěru a dílo vložena izolační vrstva expandovaného polyuretanu Plastazote®.

U příkladových studií se opakuje možnost aplikace zrcadlení jedné poloviny nasnímaného objektu pro účely rekonstrukce chybějící části druhé poloviny díla. Tato možnost je dobře využitelná u symetrických objektů například terakotových nádob, ale i u sochařských děl. Dobrým příkladem je restaurování Palmýrské bysty poškozené válkou v Sýrii, kde levá obličejová část byla zrcadlena pomocí dochované pravé strany za využití tisku do nylonového prášku. Symetrie tištěné rekonstrukce byla mírně upravena, aby zohlednila anatomické odlišnosti, které jsou charakteristické pro tento typ díla. Finální povrch byl opatřen vrstvou imitující povrch kamene a doplněk byl k dílu osazen na magnety. Tým restaurátorů tak využil 3D skenovací technologie pro zvýšení autenticity rekonstrukce.<sup>27</sup>

Skvělým příkladem je realizace restaurátora Mattia Mercantego ve spolupráci s institutem Opificio delle Pietre Dure. Jednalo se o restaurování chybějících prstů mramorové skulptury. Místo doplňování bylo naskenované, posléze došlo k vymodelování prstů v 3D grafickém programu a vytisknutí modelu na SLA tiskárně. Vytisknutý model byl následně barevně zakomponován a osazen na magnet.<sup>28</sup>

Tištění 3D doplňků představuje rychlý a flexibilní způsob zhotovení chybějících míst, avšak některé materiály nejsou plně kompatibilní s materiálem díla zejména v exteriéru. Nemusí být kompatibilním materiálem pro průchod vodních par, mohou mít zvýšenou citlivost na UV záření, změny teplot nebo kyselé prostředí. V neposlední řadě také zůstává otázka, zda nemohou představovat riziko pro samotné dílo emítací látek při stárnutí. V interiéru je jejich použití příznivější a riziko mikroplastů může být sníženo při použití vhodného tiskového materiálu, který by pro dílo při stárnutí nepředstavovalo riziko.<sup>29</sup>

Další možností je tisknutí materiálů do maltoviny pojené minerálními nebo syntetickými pojivy s plnivem odpovídající materiálu doplňovaného díla.

---

<sup>26</sup> Lucia Arbacea, Elisabetta Sonninob, Marco Callieric, Matteo Dellepianec, Matteo Fabbrid, Antonio Iaccarino Idelson, Roberto Scopigno Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage*. 2013, roč. 14, s. 332-345.

<sup>26</sup> tamtéž

<sup>27</sup> Palmyra sculptures restored in Italy now returned to Syria [online]. Rome: ICCROM, S. 1. Dostupné z: <https://www.iccrom.org/press-release/palmyra-sculptures-restored-italy-now-returned-syria>. [cit. 2025-05-06].

<sup>28</sup> *How 3D Printing Brings Antiquities Back to Life*. Online. 2018. Dostupné z: [https://formlabs.com/eu/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/?srsltid=AfmBOop31wSqiRYdR987vWEyb\\_mB-nL4acyTmdvR1eZ4qdbSOAQFFGkr](https://formlabs.com/eu/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/?srsltid=AfmBOop31wSqiRYdR987vWEyb_mB-nL4acyTmdvR1eZ4qdbSOAQFFGkr). [cit. 2025-05-07].

<sup>29</sup> PIOVESAN, Alessandro – GALLINA, Bianca – ROSSI, Matteo. *Use of 3D-Printing PLA and ABS Materials for Fine Art: Analysis of Composition and Long-Term Behaviour of Raw Filament and Printed Parts*. Venezia: Università IUAV di Venezia, Dipartimento di Scienze e Tecnologie dei Materiali, 2024. ISBN 978-88-317-5678-2.

## 11 3D Digitální technologie v památkové péči

Kapitoly jsou souhrnem základních informací o vybraných 3D digitálních technologiích pro zhotovení rekonstrukce památkového objektu, zejména se zaměřením na restaurování soch a umělecko-řemeslných děl z anorganických porézních materiálů. První podkapitola se věnuje skenování jako prostředku pro zachycení díla do 3D digitálního rozhraní, druhá podkapitola se věnuje technologiím převedení 3D digitálního modelu do hmotné podoby.

### 11.1 Skenování

Cílem skenování je zhotovení 3D digitálního objektu skládajícího se z mráčka bodů skládající se do geometrických vzorů, polygonů, na povrchu objektu. Body se pak mohou použít pro extrapolaci tvaru objektu a tím i pro rekonstrukci tvaru. Některé metody umožňují i zachytit texturu (barevnost povrchu) objektu.

Pro zhotovení 3D digitálního objektu existuje celá řada skenovacích technologií. Základně se dělí na kontaktní a bezkontaktní. Kontaktní technologie představují riziko poškození citlivých objektů. Pro účely památkové péče je hlavní výhodou skenování bezkontaktnost, z toho důvodu se v práci budeme dále věnovat pouze bezkontaktním metodám skenování.<sup>30</sup>

Bezkontaktní metody se dále dělí na magnetické, transmisivní a reflexivní. Laserové metody mohou spadat i do metod aktivních optických, které využívají triangulaci nebo metodu měření doby letu. V taxonomii Obrázek 48 jsou laserové metody vyčleněny zvlášť.<sup>31</sup> Z dalšího dělení reflexivních metod jsou pro nás podstatné aktivní a pasivní metody.

Zařízení používané v aktivních metodách v podobě viditelného světla nebo jiného elektromagnetického záření přímo na snímání objekt, které je po odražení zpátky zachyceno technikou optického zařízení. Mezi aktivní metody digitalizace patří aktivní triangulace, aktivní stereovidění, optická interferometrie a metoda měření doby letu světla (ToF – time-of-flight). Metody aktivní triangulace využívají tři způsoby označení povrchu, světelný paprsek (1D triangulace), světelný pruh (2D triangulace) a strukturované světlo (3D triangulace). Světelný paprsek a světelný pruh, užívané hlavně u laserových skenerů, mají výhodu velké pracovní vzdálenosti, v rámci památkové péče využívané v architektuře či archeologii. Na druhou stranu přesnost strukturovaného světla je využívána u drobných, ale i větších objektů, kde je důraz na přesnost měření. Výhodou je těchto metod přesnost, rychlost a mobilita měření.<sup>32</sup>

Pasivní metody v rámci geometrického uspořádání měřicího systému neobsahují zdroj osvětlení. Energie je zde jen přijímána, nikoliv žádným způsobem emitovaná. Základním principem je v tomto případě nasnímání minimálně dvou snímků kamerou. To buď natočením objektu, nebo změnou polohy snímače. Mezi pasivní metody patří metody měření tvaru pomocí stereovidění, analýzy pohybu, zoomování, získávání tvaru ze stínů objektu (stínování), využívání siluet (kontur) objektu, změny ohniska a textury objektu. Můžeme rozlišovat tři základní druhy pasivní triangulace. Více snímačů se známou vzájemnou orientací, více kamer se samokalibrací a jedna kamera se samokalibrací, která zachycuje objekt v různých

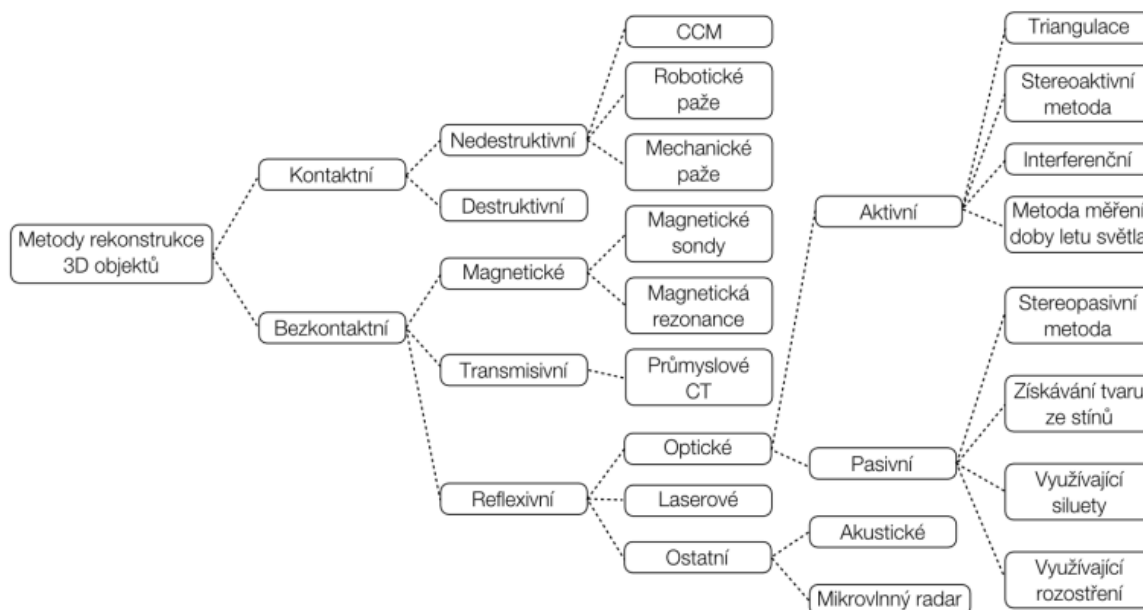
---

<sup>30</sup> ČERMÁK, Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Tomáš Marada. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta.

<sup>31</sup> tamtéž

<sup>32</sup> tamtéž

polohách. Výhodou těchto metod je oproti konkurenčním metodám cena, což je však na úkor přesnosti a kvality měření.<sup>33</sup>



Obrázek 48 taxonomie skenovacích technologií

obrázek<sup>34</sup>

V památkové péči jsou nejvíce tyto využívané metody:<sup>35</sup>

- Strukturované světlo
- Digitální průseková fotogrammetrie
- Laserové skenování
- Počítačová tomografie

<sup>33</sup> ČERMÁK, Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Tomáš Marada. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta.

<sup>34</sup> tamtéž

<sup>35</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. 3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives. *Arts*, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

### 11.1.1 Digitální průřezová fotogrammetrie

Průřezová fotogrammetrie využívá pasivní triangulaci s jednou kamerou se samokalibrací, při níž jsou pořizovány překrývající se snímky z různých úhlů. Software následně analyzuje tyto snímky a určuje hloubku, tvar a prostorové vztahy objektu pomocí geometrického průřezu paprsků směřujících ke stejným bodům na jeho povrchu a rekonstruuje 3D model.<sup>36</sup>

Technologie je velmi užitečná pro snímání velkých trojrozměrných objektů a krajiny. U plochých a jednoduších povrchů s minimálními vizuálními prvky (např. malby) její efektivita klesá, protože je složité přesně triangulovat jemné topografické detaily, jako třeba krakeláž vrstev polychromie. Zachycení silně lesklých nebo reflexních povrchů představuje další problém. Nevýhodou této metody je také absence kalibrace při optimalizaci polohy kamery vůči objektu, což často vede k nižší přesnosti ve srovnání s jinými 3D technologiemi.<sup>37</sup>

Pro tento typ skenování je nutné mít počítač s dostatečnou výpočetní kapacitou a kvalitní fotoaparát pro pořízení obrazového záznamu. Jedná se tedy o relativně cenově dostupnou metodu skenování. Výsledný model může být poměrně kvalitní, záleží na provedení a kvalitě snímků (rozlišení) a použitém softwaru.

### 11.1.2 Strukturované světlo

Skenování pomocí strukturovaného světla využívá metodu optické aktivní triangulace (3D triangulace). Ačkoliv laserové skenování i skenování strukturovaným světlem využívají princip aktivní triangulace, v odborné literatuře se rozlišují kvůli odlišnému typu světelného zdroje, způsobu snímání a rozdílným vlastnostem, jako jsou rychlost, přesnost a vhodnost pro různé aplikace. Metoda se využívá pro měření objektů v širokém rozsahu, od mikroskopických až po velmi velké objekty. Vysílané světlo LCD projektoru nebo jiného zdroje se promítá na povrch díla. Tento vzor se deformuje v závislosti na tvaru povrchu, což umožňuje softwarem analyzovat a rekonstruovat prostorové vlastnosti objektu. Získaná data jsou přesnější než 3D informace poskytované průřezovou fotogrammetrií. Avšak i tato metoda, stejně jako fotogrammetrie, má problematické zachycení vysoce reflexních povrchů a problém se zachycením hlubokých a konkávních míst, kde snímač nemůže zachytit odražené světlo od povrchu.<sup>38</sup>

### 11.1.3 Laserové skenování

Laserové skenování využívá různá zařízení lišící se principem, přesností, rychlostí, dosahem a využitím. 3D skenery se často dělí podle dosahu na letecké systémy (100 m – 1 km), pozemní systémy se středním dosahem (10 m až stovky m), pozemní systémy s krátkým dosahem (1 – 10 m) a pozemní systémy s velmi krátkým dosahem (do 1 m).

Podle charakteru skenovaného objektu a požadované vzdálenosti volíme vhodnou techniku skenování. Nejvíce využívanými jsou měření doby letu pulzu ("time of flight" – čas mezi vysláním a přijetím laserového impulsu) pro velké vzdálenosti terestriálního skenování. Porovnávání fáze (vysílá se modulovaný paprsek a měří se fázový rozdíl) umožňující práci na kratší vzdálenost s přesnějšími skeny. Poslední často užívanou možností jsou triangulační 3D skenery, které mají velkou přesnost, ale pouze na

<sup>36</sup> ČERMÁK, Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Tomáš Marada. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta.

<sup>37</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. 3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives. *Arts*, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

<sup>38</sup> tamtéž

krátkou vzdálenost. Ty měří z konců známé základny a pomocí různých technických variant. Měření lze realizovat pomocí jedné kamery a laseru, kdy se stanovuje úhel rotace a odraženého paprsku. Alternativně lze využít dvě kamery a projektor strukturovaného světla s promítáním světlých a tmavých proužků. Další možností je sledování rotující stopy laseru dvěma kamerami bez nutnosti měření rotace. Při použití jedné kamery pohybující se podél základny se poloha bodů určuje optickou korelací snímků.

#### **11.1.4 Počítačová tomografie (CT)**

Počítačová tomografie využívá rentgenové záření k pořízení série snímků z různých úhlů. Spojením těchto jednotlivých 2D snímků do 3D obrazu pomocí rekonstrukčních algoritmů je možné získat informace s vysokým rozlišením o trojrozměrnosti objektu. To je možné jak z vnější, tak vnitřní stany. Vytvoření digitálního 3D modelu pro 3D tisk vyžaduje další krok postprocesu, jelikož získaná data jsou uložena ve formě 2D řezů. Sken nemůže zachytit barvu materiálu. Snímání je problematické také v případě kovových částí, které vytvářejí do skenu různé „artefakty“, v podobě nadbytečné hmoty kolem výsledného skenu.<sup>39</sup>Metoda je často využívána pro dokumentaci vnitřních stavů děl. I přes výše popsané nevýhody se používá pro rekonstrukci chybějících částí objektu pomocí 3D tisku.

#### **11.1.5 Kritéria výběru skenovací technologie**

Nejdůležitějším krokem při výběru skenovací technologie je stanovení požadovaného výsledku skenování, což souvisí s požadovaným finálním využitím získaných dat. Dalšími důležitými parametry, které je nutno vyhodnotit, jsou:

- kvalita skenu
- velikost objektu
- rychlost skenování,
- přístup k objektu, jeho lokace, vzdálenost skenování
- finanční náročnost skenovací metody.<sup>40</sup>

Jednotlivé skenovací technologie mají svá specifika, klady a zápory, jejichž znalost je důležitá při výběru. Na základě zhodnocení těchto parametrů je možné zvolit vhodnou skenovací technologii.

---

<sup>39</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. 3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives. Arts, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

<sup>40</sup> tamtéž

## 11.2 Aditivní Technologie

Aditivní technologie je proces, při kterém se z digitální 3D prostorové verze modelu vytváří fyzický prostorový objekt. Objekt vzniká postupným přidáváním vrstev materiálu, což umožňuje jeho konstrukci vrstvu po vrstvě až do konečné podoby.<sup>41</sup> Klasifikace aditivních výrobních procesů je dlouhodobě problematická a nejednotná – dřívější systémy vycházely ze skupenství materiálu (pevný, kapalný, práškový), což se ukázalo jako nedostatečné. Postupně vznikaly klasifikace podle zařízení, procesu nebo typu transformace, ale i ty často postrádaly praktickou použitelnost. Nejrozšířenější standardy ASTM a ISO (např. ISO/ASTM 52900:2015) sice definují 7–10 základních kategorií, ale některé významné technologie opomíjejí a odrážejí spíše pohled výrobců než technicko-funkční hledisko. Nejperspektivnější je systémová klasifikace podle čtyř klíčových prvků výrobního systému: materiál, energie, stroj/nástroj a technologie. Tento přístup umožňuje přehledné a univerzálně použitelné třídění všech aditivních technologií, s možností dalšího rozvoje v závislosti na pokroku v oblasti 3D tisku.<sup>42</sup> V rámci práce však využijeme standardního dělení ISO/ASTM 52900:2015, všeobecně zaužívaného i v jiných pracích týkajících se využití aditivních technologií v památkové péči. Třídění je pro práci dostačující a je přehledné. Technologie jsou uvedené včetně anglického názvu. Z anglické terminologie totiž vycházejí obecně používané zkratky.

- (1) tryskání pojiva, binder jetting (BJ)
- (2) tavení v práškovém loži, Powder bed fusion (PBF)
- (3) usměrněné nanášení energie, Directed energy deposition (DED)
- (4) vytlačování materiálu, Material extrusion (ME),
- (5) tryskání materiálu, Material jetting (MJ)
- (6) laminace desek, Sheet lamination (SL)
- (7) fotopolymerizace v kádích, Vat photopolymerization (VP).<sup>43</sup>

Při výběru technologie by se mělo dbát na požadavky technologie jako jsou plná kontrola barev a vzhledu, záruka vysokého rozlišení tisku. Materiál a technika tisku by měly co nejlépe napodobovat materiál doplňovaného díla.<sup>44</sup> Na rozhodnutí, zda tyto technologie použít, má výrazný vliv i ekonomická stránka. Právě proto se dnes široce používají metody, jako je vytlačování materiálu (FDM) či fotopolymerizace v kádích (SLA/DLP), ačkoli ne všechny požadavky splňují dokonale.

Je potřeba říct, že i když samotná technologie nesplňuje výše zmíněné požadavky, umožňuje finální úpravy povrchu tisknutých děl jak materiálově, tak v barevně. Další možností je kombinace 3D aditivních

---

<sup>41</sup> FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE. 3D tisk a jeho možnosti. Online. 2014-2025. Dostupné z: <https://fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/>. [cit. 2025-02-01]

<sup>42</sup> JIMÉNEZ, Mariano, Luis ROMERO, Iris A. DOMÍNGUEZ, María del Mar ESPINOSA a Manuel DOMÍNGUEZ. 2019. *Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects*. **Complexity** [online]. Hindawi, 2019, 2019: 1–30. DOI 10.1155/2019/9656938. ISSN 1076-2787.

<sup>43</sup> KARTAKI, Erato, Graeme EARL a Loretta HOGAN. 2019. Applications of Additive Manufacturing Technology for the Aesthetic Restoration of Ceramic Artefacts: The First Stages of the Research. In: *Recent Advances in Glass and Ceramics Conservation 2019: Interim Meeting of the ICOM-CC Glass and Ceramics Working Group and Icon Ceramics and Glass Group Conference*, 5–7 September 2019, London, United Kingdom. Paris: International Council of Museums (ICOM-CC), s. 207–210. ISBN 978-92-9012-470-2.

<sup>44</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. *3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives*. *Arts*, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

technologí s etablovanými postupy rekonstrukcí, jako je využití tisknutého objektu jako modelu určeného k vyhotovení formy. Níže budou v základu popsány technologie využití v restaurování, se kterými jsme se v rámci rešerše setkali.

### 11.2.1 Vytlačování materiálu, Material extrusion (ME)

Pod kterým se přímo řadí **FDM/FFF tisk** (Fused Deposition Modeling) V překladu tavné depoziční modelování. Tento typ 3D tiskáren zahrnuje zařízení, která fungují na principu tavení polymerních materiálů, které jsou následně protlačovány skrze trysku na vyhřívanou tiskovou plochu, kde se vrstva po vrstvě vytváří model. Existuje více typů tiskáren, u kterých rozdíly spočívají v tom, jak se pohybuje extruder a tisková platforma. Jmenovitě: karteziánské tiskárny, tiskárny CoreXY, tiskárny Delta, tiskárny Polar. Nejvíce rozšířeným typem jsou tiskárny karteziánské. Vyznačují se tím, že využívají alespoň tři motory, které pohybují jednotlivými částmi tiskárny podél os kartézského souřadnicového systému: osa Y (vpřed a vzad), osa X (zleva doprava) a osa Z (nahoru a dolů).<sup>45</sup> Používaný materiál je ve formě filamentu navinutého na cívkách, nejčastěji o průměru 1,75 mm, méně často i 2,85 mm. Na trhu je k dostání značné množství typů tiskových materiálů s odlišnými chemickými a fyzikálními vlastnostmi od různých výrobců. Stejný typ filamentu různých barev od odlišných dodavatelů se může lišit fyzikálně-chemicky a odráží se to na jejich morfologii, struktuře a tepelných vlastnostech. Tyto vlastnosti mají pak zásadní vliv na proces tisku, jeho vlastnosti, a tedy i finální vzhled.<sup>46</sup>

### 11.2.2 Tryskání materiálu, Material jetting (MJ)

Využívá více inkoustových trysek, které selektivně nanáší jednotlivé kapičky různých barev a materiálů na sebe vrstvu po vrstvě. Běžně používanými materiály jsou, vosky (DOD), fotocitlivý polymer tvrdnoucí pod UV (continuous MJ) a nanočástice tavených kovů (NPJ). Technologie je považována za jednu z nejpřesnějších technologií 3D tisku, s rozměrovou přesností  $\pm 0,1 \%$  s typickou spodní hranicí  $\pm 0,1$  mm (někdy až  $\pm 0,02$  mm).<sup>47</sup> Výsledkem je metoda, která umožňuje vysokou úroveň detailů a při níž lze použít širokou škálu barev, materiálů, lesku, gradientů a průhlednosti, což z ní činí vhodnější technologii v případě reprodukce plochých uměleckých děl, jako jsou obrazy a nízké reliéfy.<sup>48</sup>

### 11.2.3 Tryskání pojiva, binder jetting (BJ)

Podobně jako u materiálového tryskání se u tohoto typu tryskání používá tisková hlava pohybující se na osy X a Y nanášející selektivně kapalné pojivo na prachové lože, obsahující prachové částice materiálů (písek, sádra, kov...), pohybující se na ose Z. Na prachovém loži vrstvením vzniká solidifikovaný objekt, bez nutnosti aditivních podpor. Jelikož se malé částice plniva lepí dohromady nevznikají mezi jednotlivými mezi složkami nové chemické vazby. Z tohoto důvodu jsou tyto výtisky porézní a jejich

---

<sup>45</sup> PRUSA RESEARCH. Typy tiskáren a rozdíly mezi nimi. Online. Dostupné z:

[https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mez-nimi\\_112464](https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mez-nimi_112464). [cit. 2025-02-01].

<sup>46</sup> NOVÁK, Petr, Jana SVOBODOVÁ a Lukáš HRDLIČKA. Overview and Comparison of PLA Filaments Commercially Available in Europe for FFF Technology. *Polymers* [online]. 2023, 15(15): 3065, s. 21–35. ISSN 2073-4360. <https://doi.org/10.3390/polym15143065>. [cit. 18. 5. 2025].

<sup>47</sup> HUBS. *Introduction to Material Jetting 3D Printing* [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/>

<sup>48</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. *3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives*. *Arts*, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

povrchová úprava je hrubá a zrnitá, což ovlivňuje výslednou barevnost. Pro reprodukci soch nebo uměleckých děl z kamene možno tuto metodu považovat za nejvhodnější.<sup>49</sup>

#### 11.2.4 Fotopolymerizace v kádích, Vat photopolymerization (VP)

Technologie vychází z vrstveného vytvrzování tekuté fotocitlivé pryskyřice uložené v kádích (vat). Řízený paprsek UV-laseru (u SLA) nebo projekce světelného obrazu (u DLP/LCD) selektivně ozáří průhledný spodek vany v souřadnicích X–Y a spustí radikálovou fotopolymerizaci, při níž monomery pryskyřice tvoří polymerní síť. Nad dnem vany se na ose Z se pohybuje tisková podložka do vzdálenosti jedné vrstvy. V této mezeře mezi průhledným dnem a tiskovou plochou probíhá selektivní ozáření materiálu a poté se tisková plocha zvedá nahoru o výšku jedné tiskové vrstvy a poté se proces opakuje. Díky velmi malým výškám vrstev (15–100 µm) dosahuje SLA vysoké schopnosti v detailu a hladkého povrchu, avšak vytištěné díly bývají křehčí a citlivé na UV než kovové nebo termoplastické výtisky. Typickými aplikacemi jsou přesné prototypy, dentální modely či šperky; pro finální pevnost a chemickou odolnost je nutná následná UV-post-cure.<sup>50</sup>

#### 11.2.5 Tavení v práškovém loži, Powder bed fusion (PBD)

Výrobní metoda má různé varianty s odlišným typem užitého tepelného zdroje v závislosti na použitém materiálu (polymery nebo dokonce kovy). Technologie s odlišným typem spékání, ale vhodné pro tavení polymerních materiálů, jsou Selective Laser Sintering (SLS) a Multi Jet Fusion (MJF). Tepelný zdroj selektivně taví jemný prášek nanášený na práškové lože v tenkých vrstvách. Technologie umožňuje tisknout bez nutnosti podpěr, protože okolní netavený prášek zároveň slouží jako přirozená opora během tisku. Lze zvolit typy polymerů s vlastnostmi dle konkrétních požadavků, jako je pevnost, pružnost nebo biologická stálost. Výhodou těchto technologií pro památkovou péči je jejich schopnost vytvářet materiálově kompatibilní finální doplňky s vysokou přesností a kvalitou povrchu. Avšak nevýhodou těchto technologií zůstává jejich vysoká technická složitost a ekonomická náročnost.<sup>51</sup>

---

<sup>49</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. *3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives*. Arts, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

<sup>50</sup> EUROPEAN WELDING FEDERATION. *Proces fotopolymerizace VAT* [online]. Brussels: EWF, 2023 [cit. 2025-05-18]. Dostupné z: [https://www.ewf.be/eagle/ficheiros/cu\\_e\\_cz1.aspx](https://www.ewf.be/eagle/ficheiros/cu_e_cz1.aspx)

<sup>51</sup> GUARINO, Salvatore, et al. Environmental and Economic Analysis of FDM, SLS and MJF Additive Manufacturing Technologies. *Materials* [online]. 2019, 12(24), 4161. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/24/4161>

### 11.2.6 Oblasti využití

Se zrychlujícím se tempem globalizovaného světa, kde masová velkovýroba produktů, inovace produktů a materiálů s poptávkou po nižších výrobních nákladech nutí firmy hledat řešení těchto problémů. Ta často nalézají ve využití 3D digitálních technologiích. Technologie dále pronikly, experimentuje se s nimi a jsou využívány v mnohých oblastech vědy, techniky, umění, zdravotnictví a dalších.<sup>52</sup>

Aditivní technologie a jejich oblasti využití:

**Rapid prototyping** – rychlé a flexibilní vyhotovení prototypu či malých částí.

**Rapid tooling** – můžeme chápat jako mezistupeň výroby od prototypu k hotovému produktu, například zhotovení formy.

**Rapid manufacturing** – jedná se o již plně funkční hotový výrobek

Rámcové výhody a nevýhody aditivních technologií:

Výhody: možnost vytvoření složitých tvarů, snadná změna výroby, rychlost vyhotovení produktu, eliminace sestav (komplexnost tvaru)

Nevýhody: nižší produktivita, rozdílné chemicko-fyzikální, mechanické vlastnosti materiálu (v porovnání s konvenčními), možné komplikované ladění výrobního procesu<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> PHAM, D. T. a DIMOV, S. S. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 2003 217. Online. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2003, roč. 2003, č. 217, s. 23. Dostupné z: <https://doi.org/10.1243/095440603762554569>. [cit. 2025-02-02].

<sup>53</sup> FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE. 3D tisk a jeho možnosti. Online. 2014-2025. Dostupné z: <https://fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/>. [cit. 2025-02-01]

## 12 Modelové příklady aplikace 3D technologií pro zhotovení rekonstrukce

### 12.1 Úvod

Hlavním cílem aplikované části práce je vyzkoušení vybraných 3D digitálních technologií kombinovaných s tradičními reprodukčními metodami pro vytvoření rekonstrukcí sochařských děl. Práce byla provedena na sochařských dílech s různými přístupy přizpůsobenými specifickým potřebám restaurátorského zásahu s využitím FDM 3D tisku.

Záměrem vybraného tématu je řešit problematiku rekonstrukcí děl s pomocí 3D digitálních technologií na základě zkušenosti vycházející z restaurátorské praxe. V restaurátorské práci se často setkáváme s problematikou zhotovení rekonstrukcí chybějících částí sochařských děl. Jde o úkol náročný po stránce umělecké, technické i časové náročnosti a s ní spojené ekonomické náročnosti. Na památkově chráněných objektech je rozhodnutí o odsouhlasení rekonstrukce na straně památkového úřadu, jenž chrání památky před nevhodnými zásahy. Na druhou stranu je toto provedení rekonstrukce velice náročným úkolem, k níž se můžeme pouze přiblížit, ale nejsme schopni již ztracená díla reprodukovat do totožné podoby před jejich zkázou. Nastává zde tedy diskuse mezi památkáři a restaurátorem o věrnosti prováděné rekonstrukce. Jedním z cílů práce je pomocí 3D aditivních technologií zvýšit věrnost nově vznikajících rekonstrukcí. Volba skenovacích i aditivních technologií byla ovlivněna jejich dostupností a tím i možnostmi jejich praktického využití v restaurátorské praxi. Cílem práce je odzkoušet, dokumentovat a zhodnotit přístup použití 3D technologie od zhotovení digitálního modelu, přes tisk, úpravy modelu, tisk, úpravy modelu, jeho další zpracování formováním až po finální osazení. Zvolené postupy byly navrženy tak, aby vyhovovaly koncepci zásahu a materiálu restaurovaných děl.

Cíle modelových příkladů:

- Využití tisknutého modelu jako předlohy pro modelování tvarové části hliněného modelu.
- Kombinace tisknutého modelu s modelovanou rekonstrukcí v hlíně
- Zhotovení modelu pomocí fotogrammetrie a jeho zaformování a zhotovení rekonstrukce do vyhovujícího materiálu:
  - o 1. Obnova degradované sochařské rekonstrukce do odpovídajícího materiálu.
  - o 2. Zhotovení rekonstrukce dle stejné předlohy v odlišné velikosti a úprava do odpovídajících rozměrů restaurovaného díla
- Zhotovení rekonstrukce pomocí 3D modelu z digitální sbírky muzea, tisk formování modelu a zhotovení do odpovídající hmoty díla
- Zhotovení rekonstrukce přímo v 3D grafickém programu a přímé ve 3D tisku a následné vytištění formy

## 12.2 Proces aplikace 3D digitálních technologií na modelové příklady

Jednotlivé modelové příklady a postup jejich zhotovení jsou podrobněji popsány v kapitole 12. **Modelové příklady aplikace 3D technologií pro zhotovení rekonstrukce.** Postup však můžeme v základě rozdělit do pěti hlavních kroků. K prvním třem krokům je zhotovený navrhovaný postup zhotovení nacházející se v kapitole 15.10 **Příloha č. 8 navrhovaný postupy pro využití 3D digitálních technologií.**

Pět hlavních kroků:

### 1. Pořízení 3D digitálního modelu.

- Můžeme získat z již digitalizovaných děl dostupných od třetích stran, získat model svépomocně pomocí skenovací technologie nebo jej zhotovit v 3D grafickém programu.

### 2. Postprocessing

- Úprava modelu v 3D grafickém programu, úprava velikosti, zakomponování k dílu, replikace lomové plochy díla, dělení díla na části jako příprava pro tisk.

### 3. Tisk

- Příprava tiskových dat nebo parametrů pro tisk v Slicer programu a samotný tisk
- 

U přímého použití tisknutého modelu přeskočíme krok 4.

### 4. Formování

- V případě přímého použití tisknutého modelu úprava povrchu nebo formování modelu a zhotovení kopie do odpovídajícího materiálu díla

### 5. Finální úprava rekonstrukce

- Úprava styčných ploch modelu, jeho povrchu, potlačení rastru, dosažení odpovídající povrchové struktury a osazení rekonstrukce

-

## 12.3 Materiály, technologie, software a hardware

Výběr softwaru a hardwaru byl určen dostupností. Především software pro fotogrammetrii byl vybrán na základě jeho dostatečných skenovacích schopností a ekonomické dostupnosti, jelikož jde o open-source program, což však může mít vliv na nižší kvalitu skenování.<sup>54</sup> Další zvolené technologie mají optimální vlastnosti ve své kategorii, a proto nebylo nutné se dále zabývat jejich volbou.


- 3D skener Artec Eva (software Artec Studio version 15.0)
- Průseková fotogrammetrie (software Meshroom)
- Fotoaparát Canon 6D
- Grafický program – Blender (version 3,5-4,1)
- 3D tiskárna – Ultimaker extended 3, BCN3D Sigma 2,
- PLA filamenty (Polyacid) a PVA filament (Polyvynilalkohol)

---

<sup>54</sup> FORMLABS. Photogrammetry: Step-by-Step Guide and Software Comparison [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/photogrammetry-guide-and-software-comparison/>

## 12.4 Modelové příklady

### 12.4.1 Mužská postava bojující s postavou Gryfa

	<p><b>Objekt:</b> Mužská postava bojující s postavou Gryfa <b>Autor díla:</b> J. A. Dietz <b>Datace:</b> první polovina 18. století <b>Materiál:</b> pískovec <b>Autor restaurátorského zásahu:</b> BcA. Samuel Schreiber <b>Rok provedeního zásahu:</b> 23/24</p>	<p><b>Cíl:</b> Využití tisknutého modelu jako předlohy pro modelování tvarové části hliněného modelu. Kombinace tisknutého modelu s modelovanou rekonstrukcí v hlině</p>
<p><b>Koncepce zásahu:</b> Restaurátorský zásah zohledňuje komplexní obnovu zámecké zahrady, jejíž nedílnou součástí je i tato skulptura. Cílem je navrácení hmotné a estetické celistvosti díla doplněním chybějících částí, které jsou klíčové pro jeho výraz a jejichž původní podoba je doložitelná historickými prameny nebo analogiemi. V případech, kde není možné spolehlivě určit původní vzhled nebo kde je povrch výrazně degradovaný, k doplnění nebude provedeno. Větší a složitější chybějící části budou nejprve modelovány a následně provedeny z umělého kamene s kovovou výztuží. Tyto doplňky se týkají hlavy a obou rukou mužské postavy, zobáku a ocasu postavy gryfona.</p>		
<p><b>Odůvodnění pro použití 3D digitální technologie:</b> V tomto případě se jedná o dvojici protilehlých stojících ze stejného souboru. Na protilehlé skulptuře se dochovala hlava mužské postavy. Postavy se vyznačují stejným provedením i velikostí. Naskytla se tak možnost zkopírování dochovaných částí z jedné sochy pro jejich následnou implementaci do vznikající rekonstrukce. Obličejová část byla vymodelována z hlíny, jelikož dle historických fotografií, byla na rozdíl od protilehlé postavy bez vousů a s odlišným charakterem. Pouze zadní vlasová část bude doplněna tisknutým modelem, jenž kopíruje rukopis autora a jeho způsob provedení. Použitá metoda si klade za cíl zvýšení věrnosti provedení zásahu a snížení časové náročnosti.</p>		
<p><b>Postup zhotovení:</b> Prvním krokem bylo vytvoření digitálního modelu hlavy mužské postavy sochy Satyra II. Digitální model byl vytvořen pomocí fotogrammetrie (Meshroom) pořízením 185 snímků. Model byl posléze vytisknut FDM tiskárnou (Crealty Ender 5, bílý PLA) 1:1 k originálu, tak velký tisk bylo nutné rozdělit na dvě části, které byly posléze slepeny. Takto zhotovený model posloužil jako pomůcka pro modelování obličejové části. Další aplikací 3D tisku bylo vytvoření zadní vlasové části hlavy nesoucí typický rukopis autora. Z tohoto důvodu byl model zrcadlově obrácen oproti původní skulptuře. Model byl posléze opětovně rozdělen na dvě části. Vnitřní struktura byla vyjmuta a pro lepší soudržnost vrstev i možnosti nasazení na hliněný dovnitř byl vlepen pevný drát pomocí tavné pistole. Takto byl zakomponován do nové modelace prováděné v sochařské hlině. Vznikla tak zadní část hlavy s typickou modelací, která byla vodítkem pro dotvoření dalších 1/3 vlasů hlavy postavy, dle historických fotografií. Vzniklý model byl po dokončení zaformován do dvoudílné kombinované silikonové formy, z které byl vytvořen výdusek z umělého kamene. Po vyjmutí díla z formy byl jeho</p>		

povrch opracován zbrúšením vrchní vrstvy pro dosažení imitované struktury kamene. Posléze po uschnutí svrchní vrstvy byl povrch dodatečně upraven otryskáním.

**Vyhodnocení:**

Model hlavy do značné míry pomohl při modelování obličejové části. Po jejím dokončení byla tištěná část jednoduše zakomponována k zbytku modelovaného modelu. Pro lepší vizualizaci vrstvou hlíny pro dosažení jednotného vzhledu.

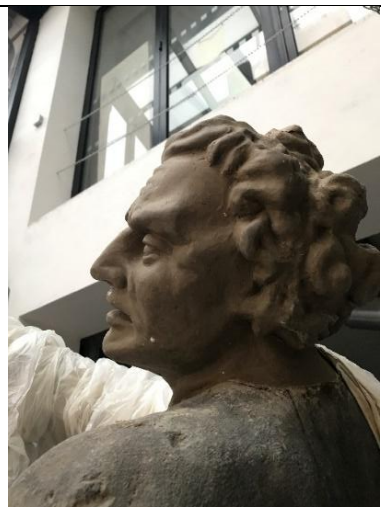
Jednoznačně se zde zvýšila věrnost rekonstrukce a skrátila časová dotace prováděné práce. Následné práce proběhly bez komplikací. Hotový výdusek okopíroval rastr 3Dtisku. Z dálky nebyl vizuálně rušivý a byl znatelný pouze z bližšího pohledu. Nastala zde diskuse nad možným ponecháním dané struktury pro zvýšení rozlišitelnosti rekonstrukce. Avšak nakonec se rozhodlo o jejím potlačení, které proběhlo bez větších obtíží.



Použití tištěného modelu pro modelovanou rekonstrukci



Postup implementace tisknuté a modelované části rekonstrukce



Finální implementace tisknuté a modelované části rekonstrukce



Zadní pohled na dílo, rekonstrukce v hlíně



Zadní pohled na dílo, rekonstrukce v umělém kameni



Zadní pohled na dílo, barevně zapojená rekonstrukce



Pohled z boku, rekonstrukce v  
hlíně




Pohled z boku, rekonstrukce  
v umělém kameni



Pohled z boku, barevně  
zapojená rekonstrukce

## 12.4.2 Funerální skulptura od Stanislava a Antonína Suchardových, v Lánech na Důlku

	<p><b>Funerální skulptura od Stanislava a Antonína Suchardových, v Lánech na Důlku</b> NA NÁHROBKU RODINY HUMLOVÝCH Autor: Stanislav Sucharda Datace: Materiál: pískovec (autor restaurátorského zásahu MgA. Kateřina Šibravová)</p>	<p><b>Cíl:</b> Rekonstrukce chybějící pravé paže dle analogie. Analogie díla vytvořeného stejnou dílnou, dle totožné předlohy pouze v odlišné velikosti.</p>
<p>2023 MgA. K. Šibravová</p> <p><b>Koncepce zásahu:</b> Navrhovaná koncepce vychází ze skutečnosti, že se jedná o funerální objekt, který má nadále sloužit svému účelu – počtě zemřelých a reprezentaci rodiny. Restaurátorský zásah má za cíl navrátit dílu celistvost. Chybějící paže bude vyhotovena podle realizované sochy na Vyšehradském hřbitově, z toho důvodu, že model byl v letech 2018–2019 restaurován a část chybějící ruky byla rovněž doplněna podle této skulptury.</p>		
<p><b>Odůvodnění pro užití 3D digitální technologie:</b> V rámci koncepce restaurování se přistoupilo k doplnění chybějící paže podle realizované sochy na Vyšehradském hřbitově. Skulptury však mají odlišné rozměry, co zamezuje formování předlohy pro zhotovení výdusku. Zhotovení 3D modelu a jeho zhotovení do hmotné předlohy má za cíl snížit časovou náročnost zhotovení modelu a zvýšit věrnost rekonstrukce.</p> <p><b>Postup zhotovení:</b> Digitální modely byly vyhotoveny z fotografií dodaných spolupracující restaurátorkou MgA. Kateřinou Šibravovou. Úprava fotografií v RAW formátu v softwaru Darktable (verze 5.0.1) a vyhotovení modelu v programu Meshroom. Byly zhotoveny dva modely první model lomové plochy restaurovaného díla a druhý model digitalizované paže. Úprava modelu v 3D grafickém programu Blender (4.0) měla za cíl určit správnou naměřenou velikost díla lomové plochy. K té se přisazením paže upravila její velikost a určilo místo správného nasazení na lomovou plochu. Posléze se od sebe modely odečetly za vzniku modelu určeného k další úpravě. Posledním krokem byla úprava povrchu od defektů vzniklých na skenovaném modelu z důvodu výskytu lišejníku a mechů na jeho povrchu. Úprava v modu <i>sculpting</i> vyhlazením povrchu a potlačení tak deformací. Příprava pro tisk proběhla v programu Creality slicer. Digitální model byl rozdělen a následně vytištěn na dva díly, kvůli menší tiskové plochy, než jsou rozměry modelu. Model byl tištěn na FDM tiskárně (Creality 3) s výškou tisku 0,2 mm v PLA materiálu. Tisknutý model byl slepen a jeho zadní část upravena pro co nejlepší dosazení. Dalším krokem bylo zaformování tištěného modelu do dvoudílné silikonové sádrové formy. Následně do formy dusáním vyhotovíme finální rekonstrukci do odpovídajícího materiálu. Finální úprava doplňku je shodná s úpravou modelu zhotoveného z hlíny, proškrábnutím povrchu pro dosažení požadované struktury kamene.</p>		

## Závěr

Využití 3D technologií v daném případě je přínosné a splňuje všechna stanovená kritéria. Výhodou a přínosem je neinvazivní přenesení rekonstrukce z jednoho modelu na druhý i se změnou velikosti, jež by tradičními technologiemi nebyl uskutečnitelný. Model je věrným doplňkem, jelikož se jedná o přímou kopii díla vytvořeného stejnou dílnou dle totožného modelu. Tento příklad pěkně dokumentuje spolupráci restaurátora při pořízení fotografií na místě a jejich poskytnutí třetí straně s cílem vytvoření modelu a jeho provedení do 3D tisku.



Stav v roce 2004 po restaurátorském zásahu – auto fotografií Marie Kudrnka Vamberská

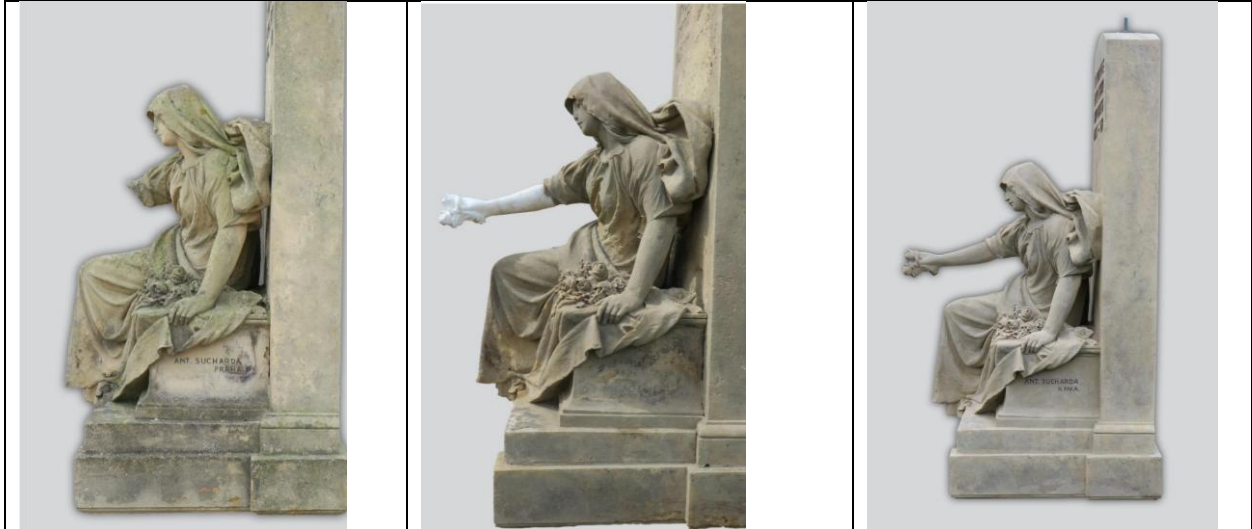


Stav před restaurováním Kateřina Šibravová 2023



Kopie sochy na Vyšehradském hřbitově v Praze

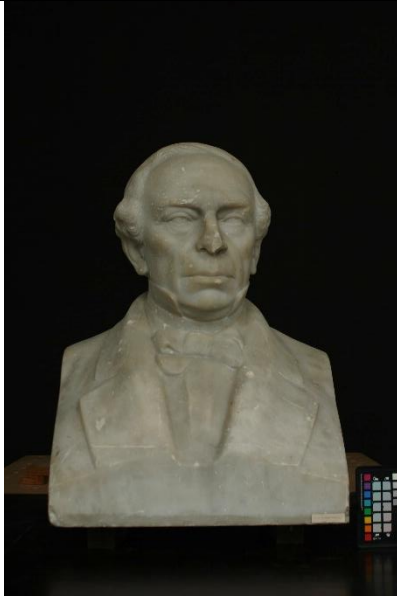




Literatura

Šibravová, Kateřina, Restaurátorská dokumentace *Funerální skulptura od Stanislava a Antonína Suchardových, v Lánech na Důlku, 2024*

### 12.4.3 Mramorová bysta G. L. Camphausena

	<p><b>Objekt:</b> mramorová busta G. L. Camphausena <b>Autor díla:</b> J. B. Schreiner <b>Datace:</b> 1909 <b>Materiál:</b> mramor <b>Autor restaurátorského zásahu:</b> BcA. Samuel Schreiber <b>Rok provedeného zásahu:</b> 2024</p>	<p><b>Cíl:</b> Bezdotykové vytvoření doplňku v digitálním 3D grafickém programu a jeho provedení za pomoci 3D tisku do pozitivu i negativu (forma).</p>
<p><b>Koncepce zásahu:</b> Busta byla vystavena v budově Technické školy v Kolíně nad Rýnem a reprezentuje jednoho z významných představitelů města. Jelikož se busta navrátila na původní místo a bude plnit reprezentační funkci, nikoliv pouze muzejní, bylo vhodné pro prezentaci tak prestižní osobnosti města uskutečnit zásah, který navrátil vzhled busty do celistvé podoby. Doplňěk imituje materiál díla, ale bude odlišitelný. Pro tento zásah byl kladen důraz na reverzibilitu daného doplňku.</p>		
<p><b>Odůvodnění pro použití 3D digitální technologie:</b> V tomto případě bylo využití 3D digitální technologie zkouškou pro další možné použití v případech když možnosti bezkontaktního řešení mohou být žádané. V rámci zásahu byl vytisknut jak pozitiv, tak i negativ doplňku, které sloužily jako formy pro další zhotovení do odpovídajícího materiálu. Jako referenční prvek byla zhotovena i v hlině modelovaná rekonstrukce.</p>		
<p><b>Postup zhotovení:</b> Práce byla provedena na mramorové bustě zobrazující významnou osobnost města Kolína nad Rýnem G. L. Camphausena. Socha, vytvořená J. B. Schreinerem pro budovu Technické Univerzity Kolína nad Rýnem (Handelshochschule v Claudiusstraße), pochází z roku 1909. Prvním krokem byla digitalizace objektu skenováním díla 3D skenerem Artec Eva (software Artec Studio version 15.0). Model nosu byl následně vyhotoven třemi odlišnými metodami. A. analogové, B. digitální a C. kombinované. U vytvoření všech typů doplňků byl kladen důraz na co nejpřesnější zkopírování lomové plochy. A. Prvním “komparačním” příkladem je v současnosti rozšířená metoda vytváření doplňků, a to vytvořením modelu nosu v sochařské hlině přímo na separované lomové ploše díla. Model byl zaformován do dvojdišlné silikonové formy, ze které byl vytvořen doplněk imitující vzhled umělého mramoru. B. Nos byl vymodelován v 3D grafickém programu Blender (verze 3.5) v <i>sculpting</i> modu přímo na digitálním modelu busty, na základě historických vyobrazení osoby. Tisk byl proveden 3D tiskárnou (ultimaker extended 3) a bílým PLA filamentem. Byly zhotoveny celkem tři tisky každý s odlišnou orientací na podložku. Orientace určuje výsledný vzhled tisknutého díla. Povrch byl následně upraven akrylátovou barvou ve spreji přebroušen a tento proces se zopakoval třikrát. C. Metoda byla pojmenovaná kombinovaná, jelikož využívá 3D digitálního modelu pro vytisknutí dvoudišlné formy (3D tiskárna Ultimaker extended 3, transparentní PVA filament), z které byl vytvořen doplněk z umělého mramoru. Výhodou PVA materiálu je, že je rozpustný v polárních rozpouštědlech čímž je</p>		

ulehčeno rozebírání a tím i navrhování formy. Všechny tři vytvořené doplňky bylo nutné ještě mírně upravit v lomové části pro co nejlepší dolehnutí na lomovou plochu a osadit je na neodýmový magnet.

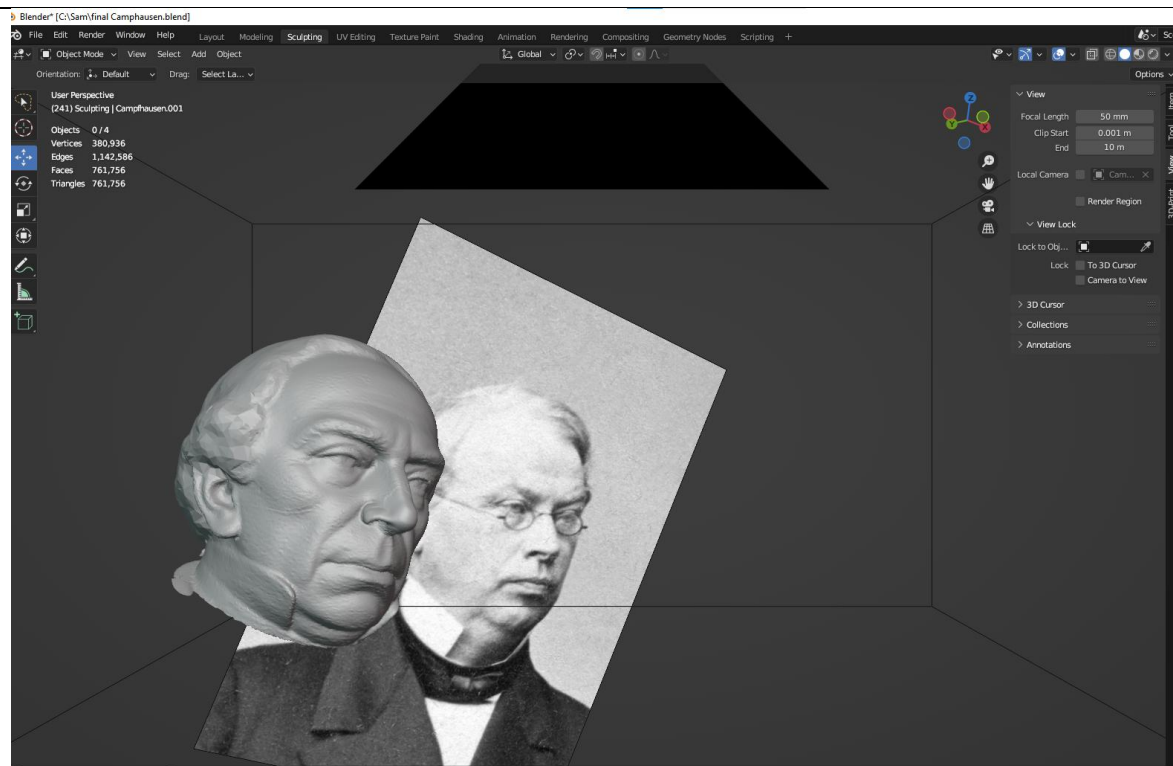
#### **Závěr:**

Modelování v programu je velkou výhodou v případě, kdy je modelování na místě znemožněno. A to z různých důvodů, které by se mohly řešit přesunem díla do ateliéru. Takto nákladný a pro dílo rizikový přesun je touto metodou vhodně nahrazen. Bezsporným přínosem je vytváření bezkontaktních „virtuálních otisků,” které by nebylo jinak možné vyhotovit (z obavy poškození hodnotného díla či sbírkových předmětů, při zhotovení klasického kontaktního otisku). Úpravy těchto „virtuálních otisků“ (velikost, odebrání, přibrání či jiná úprava) rekonstruovaných částí modelu v digitálním prostředí.

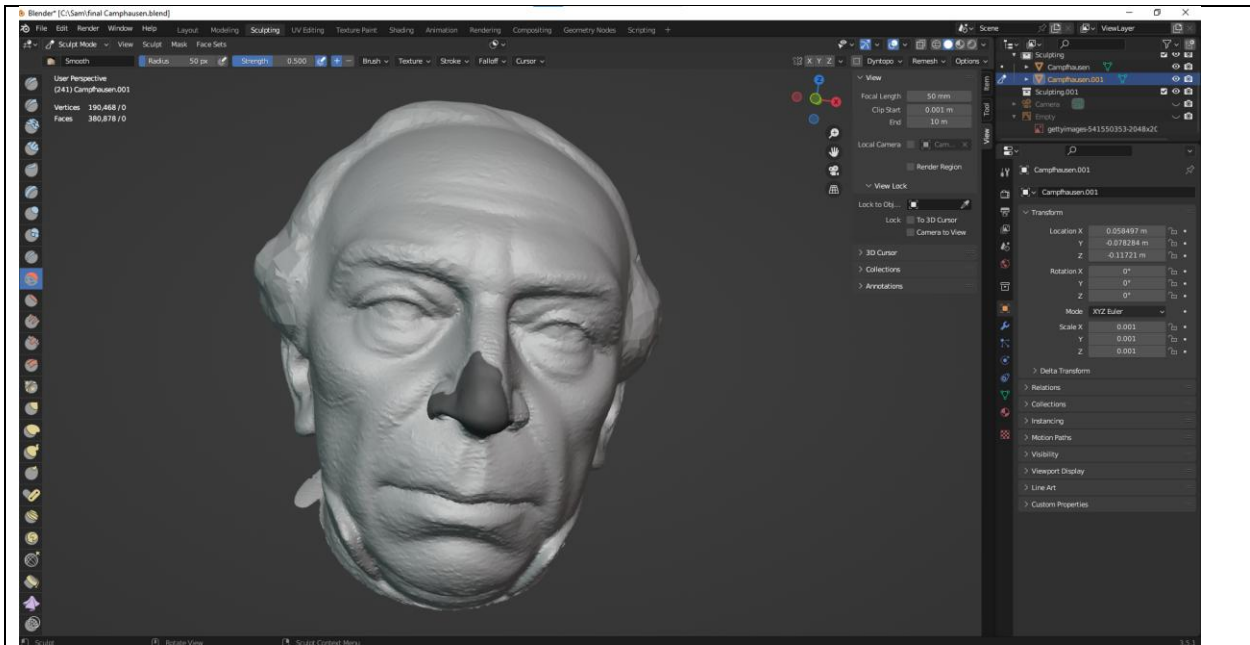
Výsledný tištěný model (pozitiv) vyšel velmi slibně. Z tří tištěných modelů byl model orientovaný spodní části nosu shledán jako nejlépe vyhovující. Dosazení na styčnou plochu bylo nejlepší až na drobné odchylky u okraje. Tato skutečnost a teda i nutnost drobných úprav okraje byla totožná s analogovým modelem. Čas věnovaný úpravě modelu byl oproti analogovému modelu prodloužen o úpravu povrchu modelu.

Kombinovaná metoda pomocí vyhotovení tisknutého negativu nosu narazila na úskalí v použití odlévaného materiálu. Paraloid jako pojivo bylo nahrazené epoxidem. Byl proto využitý odlišný materiál pojiva pro jeho zhotovení. Následný výsledek byl velmi uspokojivý. Jelikož se ve skutečnosti jedná o totožný model, jak je tomu u pozitivu, výsledné osazení na model bylo shodné. Bylo nutné odstranit materiál po licích otvorech. Povrch byl s mírným rastrem, který bylo možné snadno odstranit zbrúšením. Čas úpravy povrchu je tak oproti pozitivu značně zkrácený. Nevýhodou je v případě špatného výlitku nutnost opakovat tisk formy, jelikož je po vylití rozpuštěna.

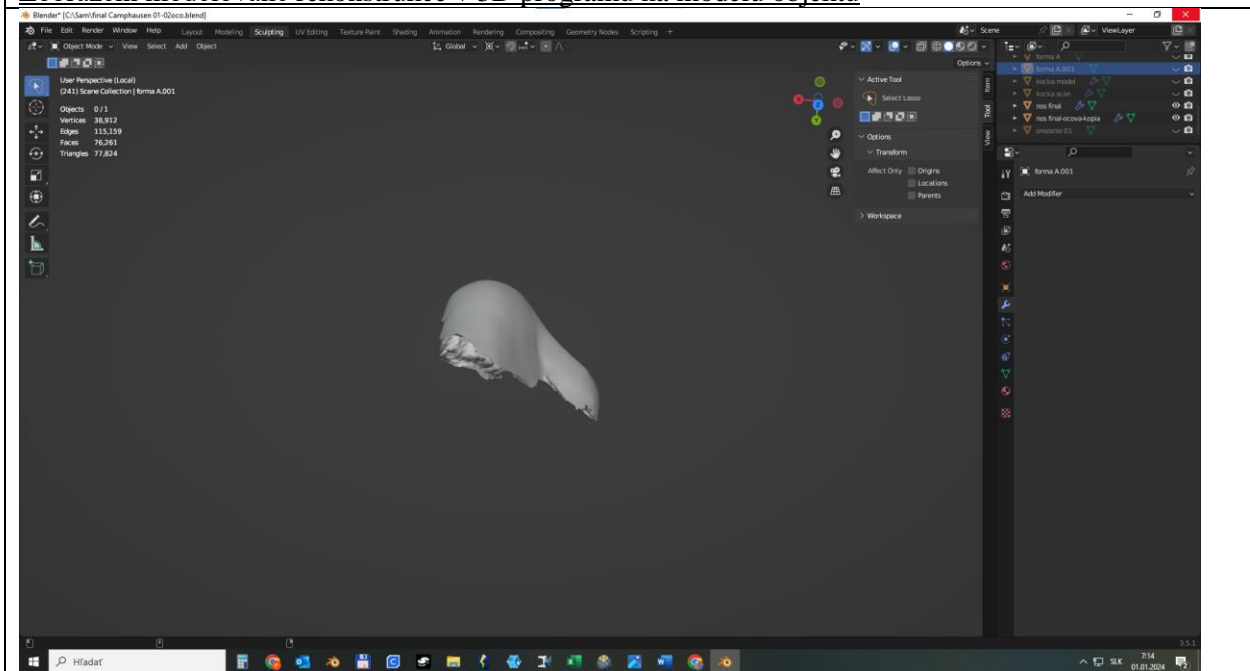
Značnou nevýhodou při tisku PVA materiálu je poměrně pomalá rychlost tisku 40 mm/s, jak doporučuje výrobce filamentu. Při vyšší rychlosti nastávají chyby v procesu tisku.



Zobrazení doplňovaného modelu s fotografií zobrazené osobnosti v grafickém programu



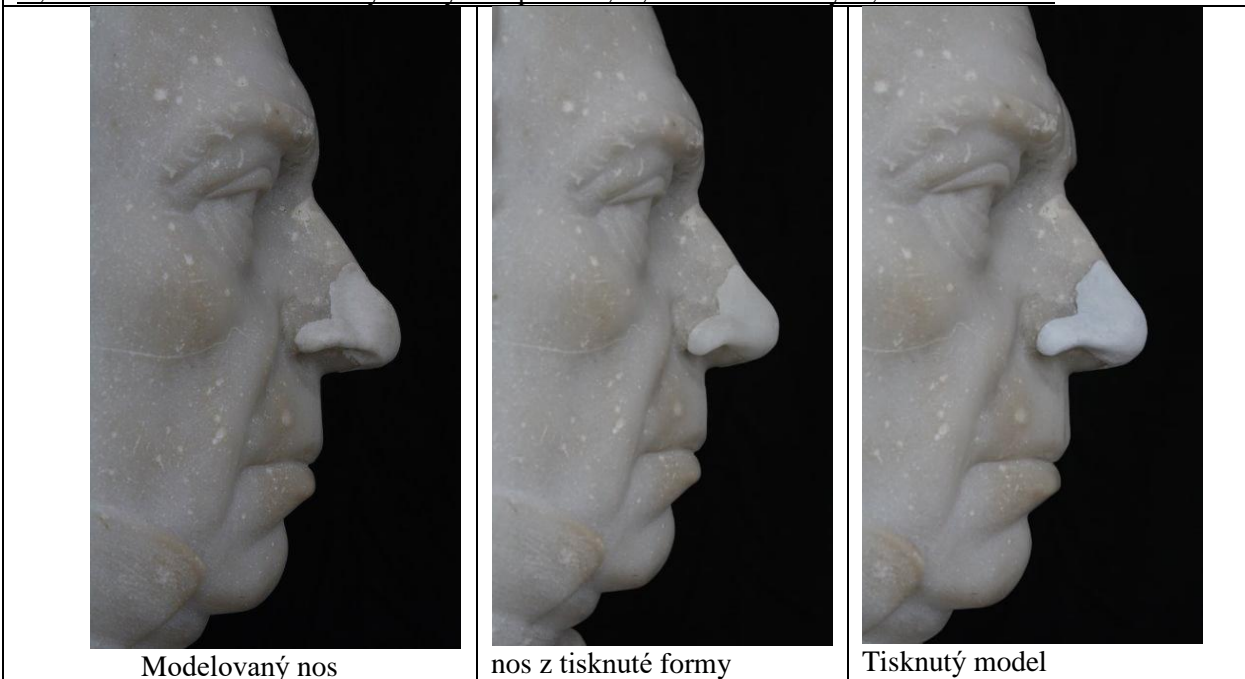
Zobrazení modelované rekonstrukce v 3D programu na modelu objektu



Zobrazení modelované rekonstrukce v 3D programu



A, Zleva silikonová forma s výsledným doplňkem, B, tisknuté modely C, tisknutá forma




Modelovaný nos

nos z tisknuté formy

Tisknutý model

#### 12.4.4 Sádrová plastika Apollóna Belvedérského

	<p><b>Objekt:</b> Sádrová plastika Apollóna Belvedérského</p> <p><b>Autor díla:</b> neznámý</p> <p><b>Datace:</b> 19. století</p> <p><b>Materiál/technika:</b> sádrový odlitek</p> <p><b>Rozměry:</b> výška: 100 cm, šířka: 65,5 cm, hloubka: 36,5 cm</p> <p><b>Autor restaurátorského zásahu:</b> BcA. Kristína Bittnerová</p> <p><b>Rok provedení zásahu:</b> 2024</p>	<p><b>Cíl:</b> Doplnění chybějící části sochařského díla pomocí 3D digitální kopie totožné předlohy dostupné online.</p>
<p><b>Koncepce zásahu:</b> Objekt po restaurování bude plnit estetickou funkci jako sbírkový předmět v soukromém vlastnictví. Míra doplnění bude respektovat patinu stáří se zřetelem na doplnění větších chybějících částí dle dohledaných analogií.</p>		
<p><b>Odůvodnění použité technologie:</b> Jedná se o zmenšenou kopii známé skulptury Apollóna Belvedérského, která byla v minulosti často kopírována. Kopie se tak nacházejí v muzejních, ale i soukromých sbírkách. Sádrová kopie díla se nachází také v Národní galerii v Dánsku (SMK), která svou sbírku sochařských děl digitalizuje a veřejně sdílí. Digitální model byl shledán věrným pro použití jako analogická předloha pro doplnění chybějících částí draperie. Posléze bylo zhodnoceno využití 3D modelu i přímo pro doplnění chybějící části draperie. Vybraná technologie by měla být věrným doplňkem vzhledem k tomu, že se jedná o kopii téže předlohy. Bylo rozhodnuto, že finální povrch tištěného doplňku se nebude upravovat a jeho finální úprava bude provedena na sádrovém odlitku. V případě potřeby opakovatelnosti zásahu je 3D digitální model dostupný online.</p>		
<p><b>Postup:</b> Stažený model byl odlišné velikosti od restaurovaného objektu, bylo tak nutné určit správnou velikost digitálního objektu. V přípravné fázi tak byla změřena šířka lomové části draperie modelu pro úpravu velikosti digitálního modelu. Draperie 3D digitálního modelu byla v místě lomové plochy restaurovaného díla oddělena od zbytku digitálního modelu. Posléze byl vytisknut malý vzorek konce navazující draperie pro posouzení správnosti měření. Celkem byly zhotoveny dvě zkoušky tisku pro dosažení správných rozměrů. Tisk byl proveden na FDM tiskárně SIGMAX2 od firmy BNC3D s výškou tisku 0,15 mm v PLA materiálu. Rychlost tisku byla nastavena na 75 mm/s s výslednou dobou tisku 6 hodin a 35 minut. Styčná mezera byla záměrně ponechána, aby mohla být domodelovaná odpovídajícím tmelem pro plynulé napojení.</p> <p><i>Tisk byl následně zaformován do silikonu a odlit. Po vyschnutí byl odlitek vybroušen tak, aby došlo k vyhlazení viditelných vrstev typických pro 3D tisk, a také aby maximálně pasoval na dochovaný kus na</i></p>		

díle. Následně byl tento kus přilepen epoxidovým lepidlem Akepox 5010. Lepený spoj byl izolován 2% roztokem Paraloidu B72 v toluenu.<sup>55</sup>

### Vyhodnocení

Proces získání modelu, jeho úprava a samotný tisk proběhl bez problémů v průběhu jednoho pracovního dne. Na druhý den bylo možné tištěný model zaformovat a finalizovat výsledný vzhled před jeho osazením. Daná metoda eliminovala úkony jako vytvoření konstrukce pro modelování, separaci lomové části a samotné modelování na místě. To nejen ušetřilo čas, ale eliminovalo možnost zanesení reziduí či mechanického namáhání díla při modelování přímo v místě chybějící části draperie. Zhotovená rekonstrukce dosahuje vysoké míry věrnosti. Výsledek působí věrně a jeho zhotovení bylo časově i technicky nenáročné. Finální úprava povrchu broušením za účelem eliminace mírného rastru byla nenáročným procesem. Tento proces broušení by byl proveden i v případě modelovaného doplňku v hlíně, pouze se mírně prodloužil. V případě opětovného poškození exponovaného místa může být celý proces opakován. Celý proces by nebyl možný bez kvalitního skenu sdíleného institucí online.



Zkouška velikosti a správnosti napojení tištěného modelu

V pořadí zleva a, tištěný model, b, odlitek bez úpravy, c, odlitek po úpravě povrchu



Tištěný model osazený na místě rekonstrukce, sádrový odlitek osazený na místě po slepení

<sup>55</sup> Bittnerová, Kristýna. *Restaurátorská dokumentace, Sádrové plastiky Apollóna*, Litomyšl: Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2024



sádrový odlitek osazený na místě po zatmělení styčné spáry, sádrový odlitek osazený na místě po finálním barevném scelení

#### **Použité prameny**

Bittnerová, Kristýna. *Restaurátorská dokumentace, Sádrové plastiky Apollóna*, Litomyšl: Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2024

#### **Internetové Zdroje**

SMK – National Gallery of Denmark. *Apollo Belvedere: 3D model*. Online. In: Sketchfab. 2016. Dostupné z: <https://sketchfab.com/3d-models/apollo-belvedere-fe5c0cfffdc2a4f3985872212c692af0c>. [cit. 2025-17-01].

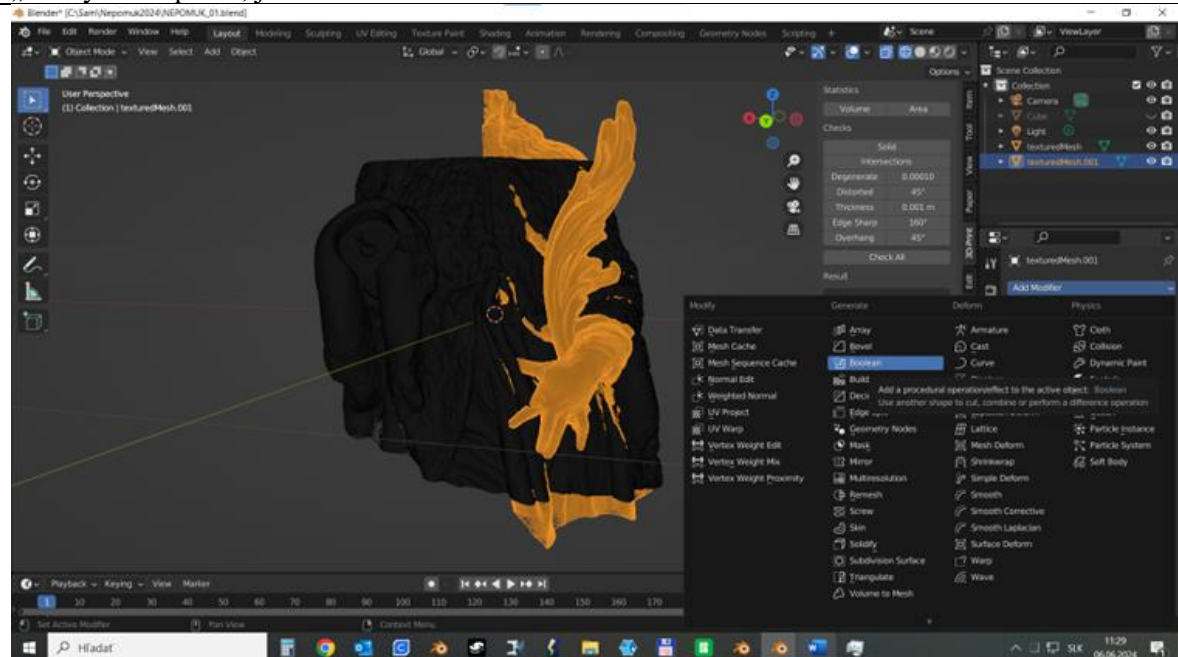
### 12.4.5 Skulptura svatého Nepomuka

	<p><b>Objekt:</b> Skulptura svatého Nepomuka <b>Autor díla:</b> neznámý <b>Datace:</b> <b>Materiál:</b> pískovec <b>Autor restaurátorského zásahu:</b> Doc. Mgr. art Jakub Ďoubal Ph. D. <b>Rok provedeného zásahu:</b> 2024</p>	<p><b>Cíl:</b> Obnova degradované sochařské rekonstrukce pomocí 3D digitálních technologií.</p>
<p><b>Koncepce zásahu:</b> Historické doplňky jsou velmi kvalitní a více než půlstoletí jsou nedílnou součástí objektu. Materiál doplňků již značně degradovaný ztrácel kohezi, v některých místech již chyběly některé části doplňků. Odstranění bylo žádoucí i z důvodu nevhodnosti použitého materiálu, který pro dílo do budoucna představoval riziko z hlediska odlišných fyzikálních vlastností. Přistoupilo se tedy k replikaci doplňků do vhodnějšího materiálu.</p>		
<p><b>Možnosti rekonstrukce</b> Složitý tvar díla komplikuje formování rekonstrukce přímo na soše do silikonové formy natolik, že hrozí zanesení formovacího materiálu do originálu. Alternativou je sejmutí doplňku a jeho následné formování samostatně, ovšem tím riskujeme ztrátu či poškození materiálu a případné nutné opravy. Obě varianty lze řešit i pomocí otisku do hlíny, který je sice jednoduchý a praktický, ale nese riziko zanesení separačního prášku (mastku) a výsledný otisk bývá deformovaný, takže vyžaduje následné korekce. Poslední možnost představuje klasické modelování doplňku přímo v hlíně.</p>		
<p><b>Odůvodnění pro užití 3D digitální technologie:</b> Kopírování doplňku pomocí 3D technologie nepředstavuje pro dílo žádné riziko. Technologie nemá problém s limity, s kterými se potýká formování, a to zejména u komplikací, které přináší kopírování konkávních v místech mezi doplňkem a skulpturou, a zachycení styčných ploch doplňků.</p> <p><b>Postup zhotovení:</b> Pro tento účel byly dané sochařské rekonstrukce před jejich odstraněním zdokumentovány do 3D digitální verze díla pomocí fotogrammetrie. Celkem byly vyhotoveny tři skeny, a to levé ruky s palmovou ratolestí, pravé ruky s křížem a model sochy bez rukou. Každý sken byl vyhotoven z přibližně 200 snímků. Doplňky na soše vykazovaly drobné defekty, které jsme odstranili v 3D grafickém programu. Oba modely rukou jsme v programu odečetli od digitálního modelu sochy bez rukou, čímž vznikla styčná plocha: zadní část každé ruky přesně kopíruje povrch sochy. Oba modely byly rozděleny a následně tištěny na dva díly. Použitá tiskárna disponovala menší tiskovou plochou, než byla definitivní velikost modelů. Modely byly tištěny na FFM tiskárně s výškou tisku 0,2 mm v PLA materiálu. Tisknuté modely byly slepeny a jejich zadní část upravena pro co nejlepší osazení na doplňované sochařské dílo.</p>		

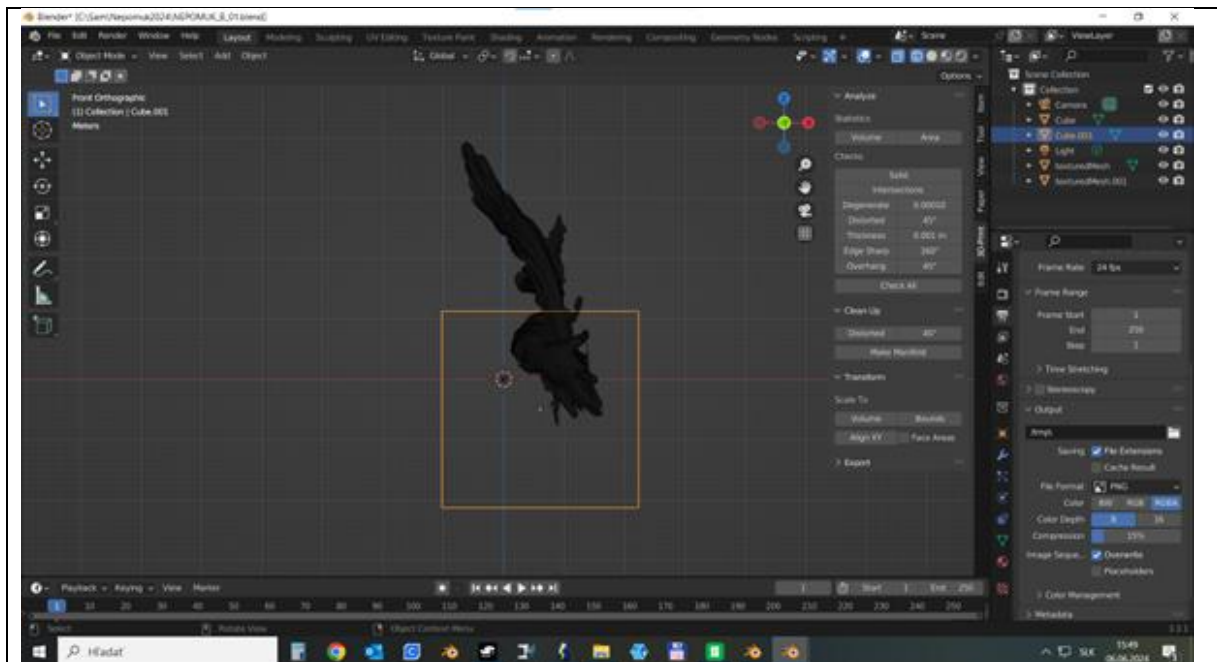
Povrch dusaného doplňku byl následně upraven. Cílem úpravy bylo potlačení rastru z procesu 3D tisku. Povrch byl opatřen vrstvou akrylátového tmelu, který byl po jeho vytvoření zbrúšen. Proces byl opakován do dosažení požadovaného výsledku a finální povrch byl odseparován akrylátovou disperzí. Oba modely byly posléze zaformovány do dvoudílné formy a vyhotoveny do materiálu umělého kamene. Po vyjmutí doplňků z formy byl jejich povrch proškrábnut a zabroušen pro dosažení požadované struktury imitovaného kamene.

### Vyhodnocení:

Výsledek zhotovení sochařských rekonstrukcí byl uspokojivý, celý postup proběhl bez komplikací. Velkým kladem byla plně bezkontaktní možnost okopírování styčné plochy doplňku, která by jinak byla komplikovaně kopírovatelná. Úprava díla akrylátovým tmelem před formováním pomohla zredukovat rastr, avšak s přihlédnutím k následné úpravě struktury doplňku z umělého kamene by mohl být tento krok zredukován pouze lokálně na jemná místa modelace nebo tam, kde je rastr výraznější. Jednou takto zdokumentovanou rekonstrukci lze v budoucnu znovu využít pro snadnou obnovu. Metoda představuje rychlý, neinvazivní a inovativní postup, který bude cenný zejména při řešení „dožilých“ doplňků, jež budou budoucí restaurátoři muset nahrazovat.



Snímka obrazovky překryvu dvou modelů a výběr nástroje pro jejich vzájemné odečtení



Snímka obrazovky proces rozdělení modelu na dvě kusy



Snímka obrazovky finálního vzhledu 3D digitálního modelu



Dosazení tištěného modelu na dílo



Formování tištěného modelu



Finální vzhled doplňků v umělém kameni



Obrázek 1 zleva a,)stav díla před restaurováním b,) stav díla s tištěnou verzí doplňků c,) stav díla pro restaurování

## 13 Diskuse

Prvním příkladem využití 3D tisku v rámci restaurování v této práci bylo vytvoření tištěného modelu jako předlohy pro následné modelování rekonstrukce. Tento postup se ukázal jako velmi přínosný při modelování hlavy mužské postavy bojující s gryfem nebo vnitřní částí drapérie Apollóna, kde tištěný model umožnil mnohem lepší čitelnost tvarů než fotografie analogií. Postupným porovnáváním tištěné předlohy s její modelovanou verzí jsme se přiblížili myšlence využít samotný tištěný model či jeho část přímo pro tvorbu rekonstrukce. Výsledkem byl kombinovaný model z hliněné a tištěné části, určený k dalšímu zpracování do umělého kamene. Úspěšný výsledek nás motivoval k dalším aplikacím, při kterých byla modelovaná část postupně nahrazena zcela tištěným modelem.

Další aplikace této metody proběhla při restaurování náhrobku rodiny Humplových, kde byla technologie ověřena přímo v praxi a poskytla nové cenné zkušenosti. Ojedinelým příkladem pak bylo restaurování mramorové busty J. G. Camphausena, při kterém byly testovány možnosti přímé aplikace tištěného modelu i tisku formy. Dílo mělo zůstat v interiéru, což umožnilo využití této metody. Vzhledem ke složitosti tvaru a malým rozměrům rekonstrukce byla zvolena metoda ztrátové formy, která zkrátila čas potřebný na modelování, a jednotlivé části formy mohly být snadno vytištěny. V případě nepodařeného odlití bylo navíc možné formu rychle znovu vytisknout.

Vytvoření modelu v 3D programu může být časově stejně náročné, ne-li náročnější než modelování v hlíně, jak ukázalo srovnání v případě restaurování busty. Digitální modelování často vyžaduje řadu kroků i technické vybavení, které není při tradičním modelování potřeba. Z toho vyplývá, že použití této metody je výhodné především tam, kde nelze uplatnit zavedené techniky, a to především z důvodu jejich invazivnosti. V opačném případě nemusí být přínos technologie jednoznačný. Je třeba dodat, že dovednosti a preference samotného restaurátora výrazně ovlivňují celý proces a výslednou kvalitu rekonstrukce. Tato oblast je stále otevřena dalšímu výzkumu ať už jde o vhodnost využití digitálně modelovaných rekonstrukcí, nebo volbu materiálů a měřítek při tisku forem. Významným přínosem digitálního modelování je možnost opakovatelnosti rekonstrukce v případě budoucí degradace materiálu. Pokud se výskyt poškozených doplňků rozšíří, může být právě digitální technologie vhodným nástrojem jejich obnovy, jak potvrdila i práce na restaurování sochy sv. Jana Nepomuckého.

Diskutovaným tématem byla také vizuální odlišitelnost tištěného doplňku pomocí ponechání tiskového rastru. Tato možnost nebyla v projektu využita, ale do budoucna může být zvažována – zejména díky tomu, že vrstvení není na dálku patrné, zatímco zblízka je jasně rozlišitelné, což může být v souladu s etickými zásadami restaurování.

Výška tiskové vrstvy určuje úroveň detailu tištěného modelu. Platí pravidlo, že pro drobné a detailní rekonstrukce je žádoucí co nejnižší výška vrstvy, zatímco u větších doplňků lze tento parametr zvýšit, což zkracuje čas tisku, snižuje náklady a zároveň minimalizuje riziko ztráty v případě chyby během tisku. Finální úprava tištěných modelů, přizpůsobená povaze rekonstruovaného díla, navíc účinně potlačuje viditelnost rastru. Pokud je doplněk aplikován přímo na dílo, používají se akrylátové tmely či spreje. U modelů určených k formování není úprava rastru nutná, pokud je plánováno finální opracování po sejmutí formy. To platí zejména u rekonstrukcí z umělého kamene, kde je se počítá s opracováním povrchu broušením pro dosažení požadované struktury kamene.

Proces vytvoření 3D modelu je však často časově náročný. Získání modelu z digitální knihovny nebo prostřednictvím 3D skenování tak může být značným ulehčením, jak ukazuje restaurování sádrové sochy Apollóna. Avšak u skenování mohou nastat komplikace. Komplikace může způsobit stav objektu (např. biologické napadení) nebo jeho umístění, špatná dostupnost, stíny, záhyby nebo nemožnost dostatečného odstupu. Při fotogrammetrii je klíčové pořídit kvalitní snímky z vhodných úhlů, což vyžaduje zkušenosti s

práci s fotoaparátem, znalost korektních světelných podmínek. V exteriéru může být světlo příliš ostré, v interiéru zase nedostatečné. Důsledkem těchto problémů mohou být chybějící části modelu, díry nebo naopak nadbytečná hmota. Tyto nedostatky se následně řeší v postprocesu v grafickém 3D programu.

Tvrzení některých restaurátorů, že 3D technologie činí jejich práci sterilní a mechanickou, je postupně vyvraceno rostoucím potenciálem těchto nástrojů. Jak uvedl pan Mercante, se zvyšující se kvalitou a možnostmi 3D technologií klesá i počáteční skepse nejen mezi jednotlivci, ale i mezi institucemi.<sup>56</sup> Mnoho prací využívajících tyto technologie směřuje k vyšší míře autenticity rekonstrukce, což byl také cíl této práce. Často zaznívá obava ze ztráty sochařského řemesla, které bude ustupovat technologiím. Tento posun je částečně oprávněný modelace v hlíně ustupuje, ale lze ji chápat jako změnu média, nikoliv jako zánik samotné činnosti. Digitální nástroje nám mohou nejen usnadnit práci, ale přinášejí i nové možnosti, které restaurátoři mohou zařadit do svého repertoáru.

Sdílení 3D modelů mezi institucemi, jak ukázal příklad restaurování sádrové kopie Apollóna, má praktické využití. Umožňuje přístup k přesným předlohám pro modelování míst, která jsou jinak těžko čitelná nebo dostupná.

Jak shrnuje Moritz Neumüller (Ph.D. v oboru nových médií): „3D tisk bude mít zásadní význam nejen v oblasti rekonstrukce objektů, ale také pro výzkumné, dokumentační, konzervační a vzdělávací účely. Má potenciál sloužit těmto účelům dostupným a všestranným způsobem.“<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> *How 3D Printing Brings Antiquities Back to Life*. Online. 2018. Dostupné z: [https://formlabs.com/eu/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/?srsltid=AfmBOop31wSqiRYdR987vWEyb\\_mB-nL4acyTmdvR1eZ4qdbSOAQFFGkr](https://formlabs.com/eu/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/?srsltid=AfmBOop31wSqiRYdR987vWEyb_mB-nL4acyTmdvR1eZ4qdbSOAQFFGkr). [cit. 2025-05-07].

<sup>57</sup> TISSEN, Liselore N. M. 2023. 3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives. *Arts*, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

## 14 Závěr

V diplomové práci byly v rámci rešerše zpracovány 3D technologie skenování, aditivní technologie využívané v památkové péči a různé příklady jejich využití pro zhotovení rekonstrukcí chybějících částí sochařských děl. V rámci aplikované části práce bylo na modelových příkladech demonstrováno, že kombinace fotogrammetrie a 3D tisku představuje v památkové péči prakticky použitelný a efektivní nástroj pro rekonstrukci chybějících částí sochařských děl. V práci bylo prezentováno pět sochařských děl, na nichž byl aplikován odlišný přístup využití možností 3D technologií. U všech pěti řešených objektů se ukázalo, že digitální model získaný skenováním nebo z digitální knihovny lze spolehlivě převést do fyzické podoby. Vzniklý 3D model lze následně využít pro další kopírování zhotovením tradiční formy, pro přímý tisk formy, nebo jako tištěný doplněk, který se rovnou osadí na dílo. Přes možnou časovou náročnost přípravy 3D dat se tato technologie projevila jako neinvazivní, reverzibilní a ekonomicky přijatelná alternativa k tradičním technologiím přímého kopírování díla formováním či modelováním rekonstrukce v hlíně. Modelové příklady zároveň prokázaly, že následné povrchové úpravy akrylátovými tmely, spreji a klasické úpravy dusaných doplňků broušením, dokážou významně potlačit rastr a dosáhnout požadovaného finálního vzhledu imitující povrch restaurovaného díla. Důležitým přínosem je i možnost archivace 3D modelu a opakovatelnost rekonstrukcí v případě budoucí degradace materiálové rekonstrukce. Limity metody spočívají především ve kvalitě vstupních skenovacích dat, časové náročnosti jejich úprav a časové náročnosti tisku. Přesto však práce potvrzuje, že 3D tisk se při správně zvoleném postupu, vhodné volbě parametrů tisku a materiálu stává součástí souboru restaurátorských postupů a otevírá nové možnosti rekonstrukce částí sochařských a řemeslných děl.

První část práce dokumentuje komplexní restaurátorský zásah skulptury muže zápasícího s Gryfem. V rámci zásahu byly pro materiálovou a estetickou rehabilitaci díla využity 3D technologie. Zásah navrátil dílu jeho estetickou integritu a zlepšil jeho celkový stav. Nedílnou součástí zásahu byl technologický průzkum a badatelská činnost, jejichž výsledky nám rozšířily dosavadní stav poznání díla.

## 15 Použitá literatura a prameny

- A METHOD FOR VIRTUAL ANASTYLOSIS: THE CASE OF THE ARCH OF TITUS AT THE CIRCUS MAXIMUS IN ROME. *International Journal of Heritage in the Digital Era*. 2014, roč. 3, č. 2, s. 393-412.
- AGISOFT LLC. Agisoft Metashape User Manual [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>
- Attademo, Greta & Corio, Aurora. (2024). VIRTUAL ANASTYLOSIS FOR THE PULPIT OF THE CHURCH OF SAN BARTOLOMEO IN PANTANO IN PISTOIA. 10.2423/i22394303v14n1p13.
- Bittnerová, Kristýna. *Restaurátorská dokumentace, Sádrové plastiky Apollóna*, Litomyšl: Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2024
- BREJCHA, Marcel; BRŮNA, Vladimír; MAREK, Zdeněk a VĚTROVSKÁ, Bára. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace*. Filozofická fakulta Univerzity v Ústí nad Labem, 2015.
- *Centrum pro dokumentaci a digitalizaci kulturního dědictví. O centru [online]. Ústí nad Labem: Filozofická fakulta Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://ff.ujep.cz/index.php/cd/o-centru>*
- CINE COMMUNITIES. Photogrammetry (Advanced) [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.cinecommunities.org/photogrammetry-advanced/>
- ČERMÁK, Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Tomáš Marada. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta.
- Ďoubal, J., Vyhnánková, Š., & Rejman, P. (2025). Ethical and Technical Aspects of Conserving a Plaster Cast Using 3D Printing. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/01971360.2025.2453962>
- EUROPEAN WELDING FEDERATION. *Proces fotopolymerizace VAT* [online]. Brussels: EWF, 2023 [cit. 2025-05-18]. Dostupné z: [https://www.ewf.be/eagle/ficheiros/cu\\_e\\_cz1.aspx](https://www.ewf.be/eagle/ficheiros/cu_e_cz1.aspx)
- FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE. 3D tisk a jeho možnosti. Online. 2014-2025. Dostupné z: <https://fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/>. [cit. 2025-02-01]
- FANTINI, Massimiliano; DE CRESCENZIO, Francesca; PERSIANI, Franco; BENAZZI, Stefano a , Giorgio. 3D restitution, restoration and prototyping of a medieval damaged skull. *Rapid Prototyping Journal*. 2008, roč. 14, č. 5, s. 318-324.
- FORMLABS. Photogrammetry: Step-by-Step Guide and Software Comparison [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/photogrammetry-guide-and-software-comparison/>
- GUARINO, Salvatore, et al. Environmental and Economic Analysis of FDM, SLS and MJF Additive Manufacturing Technologies. *Materials* [online]. 2019, 12(24), 4161. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/24/4161>
- *How 3D Printing Brings Antiquities Back to Life*. Online. 2018. Dostupné z: [https://formlabs.com/eu/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/?srsltid=AfmBOop31wSqIRYdR987vWEyb\\_mB-nL4acyTmdvR1eZ4qdbSOAQFFGkr](https://formlabs.com/eu/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/?srsltid=AfmBOop31wSqIRYdR987vWEyb_mB-nL4acyTmdvR1eZ4qdbSOAQFFGkr). [cit. 2025-05-07].
- HUBS. *Introduction to Material Jetting 3D Printing* [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/>
- JIMÉNEZ, Mariano, Luis ROMERO, Iris A. DOMÍNGUEZ, María del Mar ESPINOSA a Manuel DOMÍNGUEZ. 2019. *Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing*

*Methods and Future Prospects*. Complexity [online]. Hindawi, 2019, 2019: 1–30. DOI 10.1155/2019/9656938. ISSN 1076-2787.

- KARTAKI, Erato, Graeme EARL a Loretta HOGAN. 2019. Applications of Additive Manufacturing Technology for the Aesthetic Restoration of Ceramic Artefacts: The First Stages of the Research. In: *Recent Advances in Glass and Ceramics Conservation 2019: Interim Meeting of the ICOM-CC Glass and Ceramics Working Group and Icon Ceramics and Glass Group Conference*, 5–7 September 2019, London, United Kingdom. Paris: International Council of Museums (ICOM-CC), s. 207–210. ISBN 978-92-9012-470-2.
- Lucia Arbacea, Elisabetta Sonninob, Marco Callieric, Matteo Dellepianec, Matteo Fabbrid, Antonio Iaccarino Idelson, Roberto Scopigno Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage*. 2013, roč. 14, s. 332-345.
- Marc Levoy The Digital Michelangelo Project, 1997–2003 Online. Dostupné z: <https://accademia.stanford.edu/mich/> [cit. 2025-03-03].
- NOVÁK, Petr, Jana SVOBODOVÁ a Lukáš HRDLIČKA. Overview and Comparison of PLA Filaments Commercially Available in Europe for FFF Technology. *Polymers* [online]. 2023, 15(15): 3065, s. 21–35. ISSN 2073-4360. <https://doi.org/10.3390/polym15143065>. [cit. 18. 5. 2025].
- Óscar Hernández-Muñoz a , Alicia Sánchez-Ortiz. Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII. *Conservar Património*. 2019, roč. 30, s. 14. ISSN 2182-9942.
- Palmyra sculptures restored in Italy now returned to Syria [online]. Rome: ICCROM,. S. 1. Dostupné z: <https://www.iccrom.org/press-release/palmyra-sculptures-restored-italy-now-returned-syria>. [cit. 2025-05-06].
- PAVELKA, Karel a REZNICEK, Jan. NEW LOW-COST AUTOMATED PROCESSING OF DIGITAL PHOTOS FOR DOCUMENTATION AND VISUALISATION OF THE CULTURAL HERITAGE. Reviewed papers from XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, Czech Republic, September 12-16, 2011, organized by CIPA, ISPRS and CTU in Prague with special ICOMOS section. S. 9.
- PHAM, D. T. a DIMOV, S. S. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 2003 217. Online. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2003, roč. 2003, č. 217, s. 23. Dostupné z: <https://doi.org/10.1243/095440603762554569>. [cit. 2025-02-02].
- PIOVESAN, Alessandro – GALLINA, Bianca – ROSSI, Matteo. *Use of 3D-Printing PLA and ABS Materials for Fine Art: Analysis of Composition and Long-Term Behaviour of Raw Filament and Printed Parts*. Venezia: Università IUAV di Venezia, Dipartimento di Scienze e Tecnologie dei Materiali, 2024. ISBN 978-88-317-5678-2.
- PRUSA RESEARCH. Typy tiskáren a rozdíly mezi nimi. Online. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi\\_112464](https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi_112464). [cit. 2025-02-01].
- REBUILDING PALMYRA VIRTUALLY: RECREATION OF ITS FORMER GLORY IN DIGITAL SPACE. *Virtual Archaeology Review*. 2017, roč. 8, č. 17, s. 20-30.
- SMK – National Gallery of Denmark. *Apollo Belvedere: 3D model*. Online. In: Sketchfab. 2016. Dostupné z: <https://sketchfab.com/3d-models/apollo-belvedere-fe5c0cffdc2a4f3985872212c692af0c>. [cit. 2025-17-01].
- Šibravová, Kateřina, Restaurátorská dokumentace *Funerální skulptura od Stanislava a Antonína Suchardových, v Lánech na Důlku, 2024*
- TISSEN, Liselore N. M. 2023. 3D Printing and the Art World: Current Developments and Future Perspectives. *Arts*, 12(1): 3. DOI 10.3390/arts12010003. ISSN 2076-0752.

- The Oxford Handbook of Roman Sculpture Elise A Friedland, Melanie Grunow Sobocinski, Elaine Gazda Oxford University Press, 2. 1. 2015, str.76, online zdroj [https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=A9mdBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA74&dq=Laocoon+Group+restoration+3D+printing+vatican&ots=5jmlze6-bJ&sig=CBWFhGZ8YB1NacyaUdhZdW6J\\_NE&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.sk/books?hl=sk&lr=&id=A9mdBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA74&dq=Laocoon+Group+restoration+3D+printing+vatican&ots=5jmlze6-bJ&sig=CBWFhGZ8YB1NacyaUdhZdW6J_NE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

## 16 Přílohy

### 16.1 Příloha č. 1 historické fotografie



Místo:	<b>Jezeří</b>	Okres:	<b>Chomutov</b>	Inv. číslo:	<b>84.634</b> SKN
Objekt:	<b>Státní zámek</b>				<b>84.635</b> SKN
Označení:	<b>Gigant v zápase s griffonem ? v zámecké zahradě</b>			Fotografováno dne:	<b>1959</b>
				Fotograf:	<b>Č. Šíla</b>
				Rozměr negativu:	<b>6 x 6</b>
Autor:		Datování:	<b>1. pol. 18. stol.</b>		
Poznámka:					
Státní ústav památkové péče a ochrany přírody v Praze					
<small>SI 102 - 283 64</small>					

Obrázek 49 historická fotografie zachytávající skulpturu z roku 1959 s kartou s popisem



Místo:	<b>J e z e ř í</b>	Okres:	<b>C h o m u t e v</b>	Inv. číslo:	<b>83.199</b>
Objekt:	<b>Z á m e k</b>				<b>83.200</b>
Označení:	<b>G i g a n t v z á p a s e s g r i f f e n e m (?) v z á m e c k é z a h r a d ě</b>			Fotografováno dne:	<b>1958</b>
				Fotograf:	<b>Vl. Fyman</b>
				Rozměr negativu:	<b>6 x 6</b>
Autor:		Datování:	<b>1. pol. 18. stol.</b>		
Poznámka:					
Státní ústav památkové péče a ochrany přírody v Praze					
<small>St. 102 - 283 04</small>					

Obrázek 50 historická fotografie zachytávající skulpturu z roku 1958 s kartou s popisem



Místo:	<b>J e z e ř í</b>	Okres:	<b>C h e m ú t e v</b>	Inv. číslo:	<b>83.198</b>	
Objekt:	<b>Z á m e k</b>				Fotografováno dne:	<b>1958</b>
Označení:	<b>F r a g m e n t y z a h r a d n í f o n t á n y s p l a s t i k a m i g i g a n t ů</b>				Fotograf:	<b>Vl. Fyfan</b>
Autor:	Datování:				Rozměr negativu:	<b>6 x 6</b>
				<b>1. pol. 18. stol.</b>		
Poznámka:						
Státní ústav památkové péče a ochrany přírody v Praze						
<small>St. 102 - 283.64</small>						

Obrázek 51 historická fotografie zachytávající zahradní fontánu z roku 1958



*Obrázek 52 historická fotografie 191685: datace neznámá (pravděpodobné rozmezí 70. – 90. léta 20. století), autor Ing. Pavel Hušek*



*Obrázek 53 historická fotografie, pohled na poničenou skulpturu 90319: 11. 8. 1989, autor Roman Kursa*



*Obrázek 54 historická fotografie zachytáva skulptury pod altánkem, 161981 3. 11. 2004, autorka Ludmila Skokanová*



*Obrázek 55 historická fotografie zachytávající fontánu 161983: 3. 11. 2004, autorka Ludmila Skokanová*



*Obrázek 56 historická fotografie zachytávající skulpturu ze předu, 161988: 3. 11. 2004, autorka Ludmila Skokanová*

## 16.2 Příloha č. 2, situace objektu na mapě



Obrázek 57 Zobrazení místa zámku Jezeří na mapě<sup>58</sup>

## 16.3 Příloha č. 3, analogické předlohy



Obrázek 58 pohled zahradní fontány Belvedéru ve Vídni, v pozadí budova Horního Belvedéru

<sup>58</sup> <https://mapy.cz/zakladni?x=14.6377551&y=49.9552091&z=9>



*Obrázek 59 skulptura muže bojujícího s gryfem ze zahrad Belvédéru ve Vídni*



*Obrázek 60 skulptura muže bojujícího s gryfem ze zahrad Belvedéru ve Vídni*

## 16.4 Příloha č. 4, chemicko-technologický průzkum



**Socha muže zápasícího s gryfem ze zámku Jezeří (satyr I)**

**Analýzy vzorků krust a fragmentů povrchových úprav**

**Objekt: Socha muže zápasícího s gryfem ze zámku Jezeří (satyr I)**

**Zadání průzkumu:**





- složení krust a povrchových nečistot
- stanovení obsahu vodorozpustných solí


**Datum odběru vzorků:**

**Vzorky odebral: Samuel Schreiber**

**Místa odběru vzorků:**

Vzorek	Popis / detailní zadání	Foto místa odběru
Vz, 1 (11073)	Odběr vzorku ze zad mužské postavy <ul style="list-style-type: none"><li>▪ určení typu povrchových nečistot a původ zčernalé krusty/filmu</li></ul>	
Vz, 2	Odběr vrtné moučky z hýždí mužské postavy <ul style="list-style-type: none"><li>▪ stanovení obsahu vodorozpustných solí</li></ul>	

Vzorek	Popis / detailní zadání	Foto místa odběru
Vz, 3	<p>Odběr vrtné moučky z pravého boku postavy gryfa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>stanovení obsahu vodorozpuštěných solí</li> </ul>	
Vz, 4 (11246)	<p>Odběr vzorku v dešťovém stínu pravého stehna mužské postavy</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>určení materiálového složení vzorku s odlišnou fluorescencí indikující, že se pravděpodobně jedná o organický materiál</li> </ul>	
Vz, 5 (11245)	<p>Odběr vzorku v spodních partiích sochy v místě předpokládaného sekaného doplňku.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Určení materiálového složení vzorku</li> </ul>	
Vz, 6 (11074)	<p>Odběr vzorku v dešťovém stínu spodních partiích sochy.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Určení předpokladu, zda se jedná o sádrovcovou krustu</li> </ul>	

Vz. 7 (11075)	Odběr vzorku tmelu z krku mužské postavy <ul style="list-style-type: none"> <li>• Určení materiálového složení vzorku</li> </ul>	
------------------	--	--

**Použité metody analýz:**

- optická mikroskopie v dopadajícím světle (mikroskop OPTIPHOT2-POL (Nikon, Japan)
- rastrovací elektronová mikroskopie s energo-disperzní analýzou (elektronový mikroskop Tescan MIRA 3 s energo-disperzním analyzátozem Bruker)
- UV/VIS spektrometrie (spektrometr Beckmann DU 40) – stanovení obsahu anionů vodorozpustných solí (sírany, chloridy, dusičnany) ve vodních extraktech vzorků

**Popis metodiky analýz:**

Analýzy povrchových úprav, nečistot a krust.

Každý vzorek byl zalitý do akrylátové bezbarvé pryskyřice Spofacryl a následně připraven příčný řez (nábrus) broušením a leštěním. Nábrus byl zkoumán optickým mikroskopem v dopadajícím viditelném, modrém a UV světle a následně rastrovacím elektronovým mikroskopem. Pomocí rastrovací elektronové mikroskopie s energo-disperzní analýzou bylo na nábrusu provedeno i zjištění prvkového složení v jednotlivých vrstvách.

Stanovení obsahu vodorozpustných solí.

Obsah vodorozpustných byl stanoven ve vodních extraktech vzorků demineralizovanou vodou standardní metodikou pro stanovení obsahu síranů, chloridů a dusičnanů pomocí UV/VIS spektrometru.



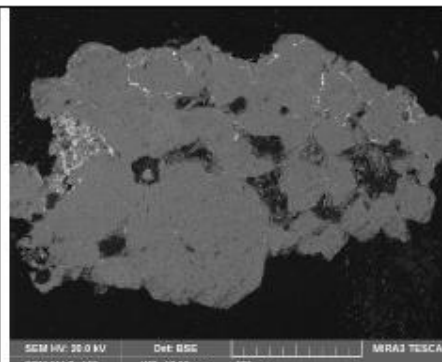
Obrázek 1 místa odběru vzorků

Výsledky analýzy:

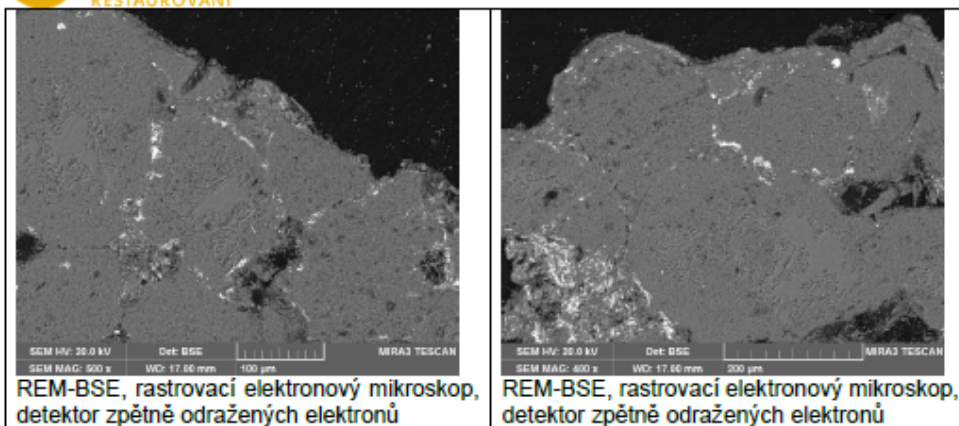
Vz. 1 (11073)	Nečistoty na povrchu kamene	
------------------	-----------------------------	--



Bílé dopadající světlo, fotografováno při zvětšení mikroskopu 100x



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



V pórech pod povrchem pískovce (zrna hominy jsou ve vzorku tvořena křemenem) byla prokázána přítomnost částic obsahujících Pb (sloučeniny olova) a Ba,S (síran barmatý). Světlé částice (zrna) obsahující Pb nebo Ba,S jsou sloučeniny (nebo přímo zrna pigmentů) pocházející z předcházejících povrchových úprav kamene (olovnatá a barytová běloba). Šedá barva nečistot na povrchu kamene je způsobena přítomností velmi jemných částic prachu a zejména sazí. Nečistoty zasahují do hloubky 200-400 µm.

Vz.2	Stanovení obsahu vodorozpuštěných solí	
Vz.3		

*Tab.1. Obsah vodorozpuštěných solí*

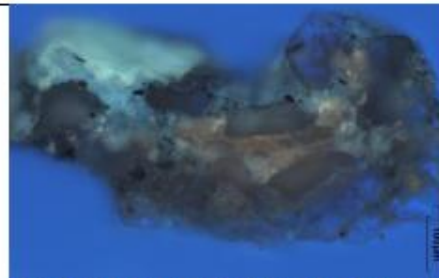
Vzorek	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
	X [%hm.]	C [mmol/kg]	X [%hm.]	C [mmol/kg]	X [%hm.]	C [mmol/kg]
V2/S1/0-1,5	0,04	4	0,01	2	0,01	2,5
V2/S1/1,5-3	<0,01	<2	0,01	2	0,01	2,5
V2/S1/3-5	<0,01	<2	<0,01	<2	<0,01	<2,5
V3/S2/0-1,5	0,47	49	<0,01	<2	<0,01	<2,5
V3/S2/1,5-3	0,06	6	<0,01	<2	<0,01	<2,5
V3/S2/3-5	0,08	8	<0,01	<2	<0,01	<2,5

Ve většině analyzovaných vzorků je obsah vodorozpuštěných solí nízký. Pouze ve vzorku V4/S2/0-1,5 byl zjištěn zvýšený obsah síranů. Síraný jsou v daném vzorku přítomné jako síran vápenatý (podle analýzy odparů extraktu vzorků pomocí REM/EDS).

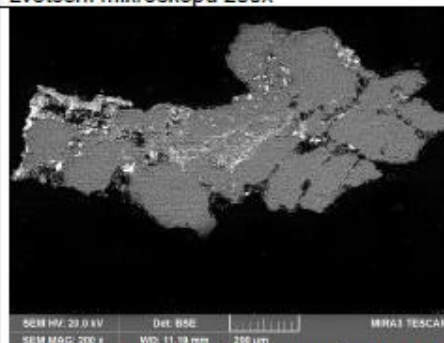
Vz. 4 (11246)	Fragmenty povrchových úprav	
------------------	-----------------------------	--



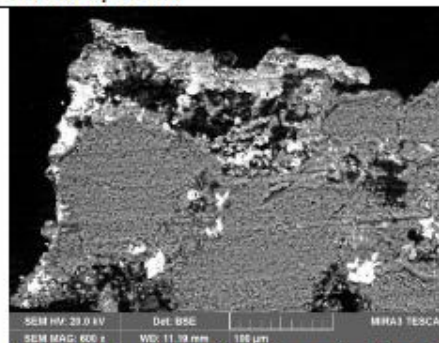
Bílé dopadající světlo, fotografováno při zvětšení mikroskopu 200x



UV fluorescence, fotografováno při zvětšení mikroskopu 200x



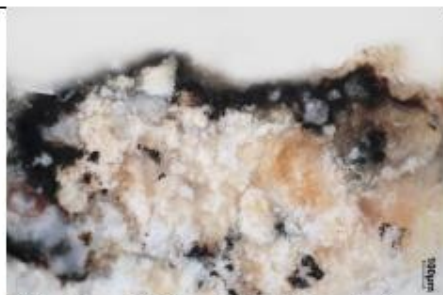
REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



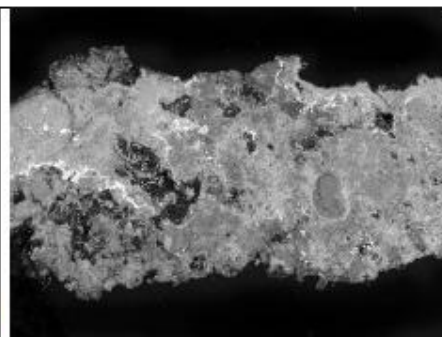
REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů

Na povrchu pískovce jsou viditelné velmi malé fragmenty světlé nebo bílé barevné vrstvy. Podle výsledků analýz obsahuje hlavně olovnatou bělobu a malou příměs barytové běloby.

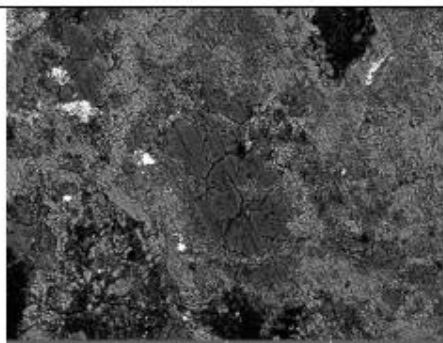
Vz. 5 (11245)	Tmel	
------------------	------	--



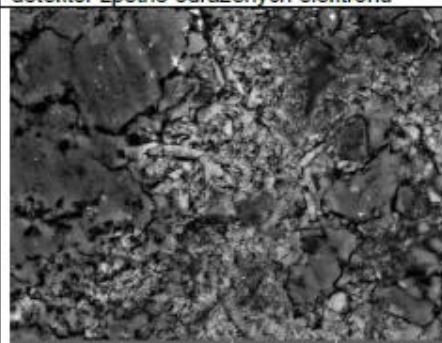
Bílé dopadající světlo, fotografováno při zvětšení mikroskopu 200x



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů, základní hmota tmelu a póry vyplněné síranem vápenatým



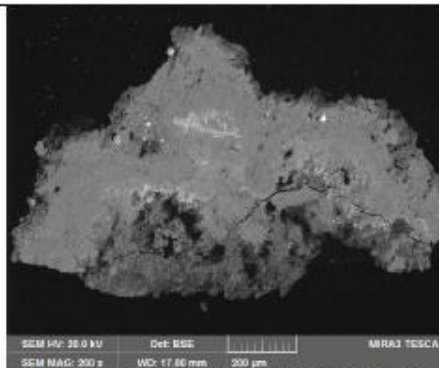
REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů, póry vyplněné síranem vápenatým

Světlý, slabě nahnědlý tmel je na povrchu tmavý. Základní hmota (pojivo) tmelu je tvořena uhličitanem vápenatým a síranem vápenatým. Síran vápenatý (sádrovec,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) není původním pojivem tmelu, ale důsledek proměny uhličitanu vápenatého na síran po reakci s atmosférickými polutanty (oxidy síry) v ovzduší. Póry tmelu jsou vyplněny také síranem vápenatým. Míra transformace původního pojiva uhličitanu vápenatého na síran vápenatý je kolem 50-60 %. Tmel prakticky obsahuje pouze ojediněle zrna kameniva (plniva). Na povrchu je pokrytý tmavou vrstvou nečistot obsahujících hlavně síran vápenatý a prachové částice

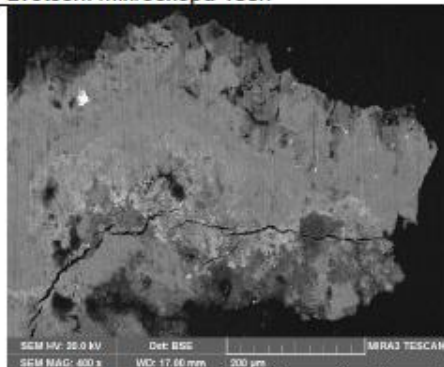
Vz. 6 (11074)	Krusta	
------------------	--------	--



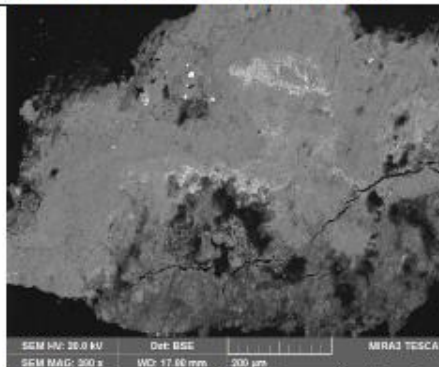
Bílé dopadající světlo, fotografováno při zvětšení mikroskopu 100x



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



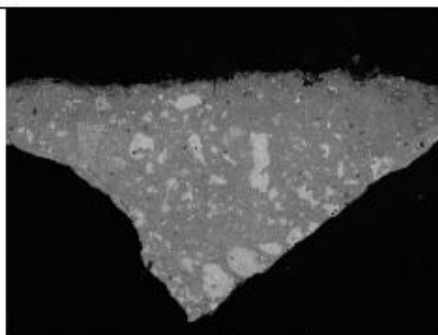
REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů

Krusta je tvořena hlavně síranem vápenatým (sádrovec;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) s příměsí velmi jemných částic prachu (silikáty, siliko-alumináty a saze). Přítomnost jemných sazových částic je příčinou tmavé až černé barvy krusty. V krustě byla zjištěná taky přítomnost zm obsahujících Pb (sloučeniny olova) a také Ba,S (síran barvatý). Tyto částice pocházejí pravděpodobně z předcházejících povrchových úprav kamene (olovnatá a barytová běloba).

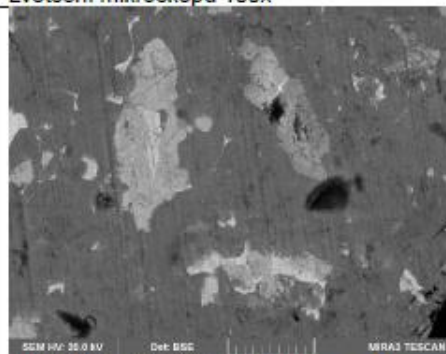
Vz. 7 (11075)	Tmel	
------------------	------	--



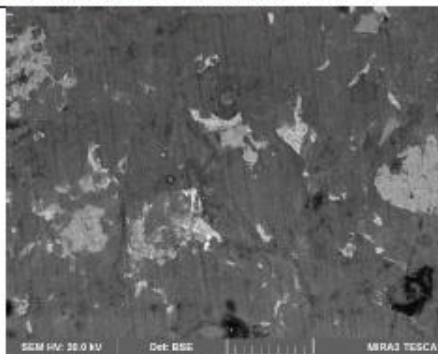
Bílé dopadající světlo, fotografováno při zvětšení mikroskopu 100x



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů



REM-BSE, rastrovací elektronový mikroskop, detektor zpětně odražených elektronů

Světlešedý tmel je poměrně kompaktní s velmi nízkou pórovitostí, co dobře patrné při zkoumání jeho mikrostruktury pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. Základní hmota tmelu je tvořená hlavně sloučeninami Ca-Si-Al (pravděpodobně hydratované silikáty a silikoalumináty). V matrix jsou také velmi početné fragmenty slínkových částic, které svým fázovým složením i strukturou dobře odpovídají slínkovým částicím z portlandského cementu. Hlavním pojivem (patrně jediným) tmelu je portlandský cement. Tmel prakticky neobsahuje žádné kamenivo (plnivo).

Ing. Karol Bayer  
 Katedra chemické technologie  
 Fakulta restaurování  
 Univerzita Pardubice

Litomyšl, 21.06.2023

## 16.5 Analýza vodorozpuštěných solí

Jméno: Schreiber Samuel

samo.schreiber5@gmail.com

Výpočet koncentrace solí z pevného vzorku

Rozmezí hodnot absorbance pro přesné měření	
skupina solí	hodnota absorbance Abs.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	do 1,5
(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	do 0,8
Cl <sup>-</sup>	do 1,3

Legenda podmíněného zbarvení polí:		
Abs. (absorbance)	1,800	příliš vysoká hodnota absorbance, výsledná koncentrace bude nepřesná - orientační, pro přesné měření je nutné roztok naředit
c (hm%)	0,01	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí; hodnota, která podle rakouské normy nevyžaduje žádná opatření
c (hm%)	0,19	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí; hodnota, u které je podle rakouské normy nutné zvážit dílčí opatření
c (hm%)	0,8	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí; hodnota, u které jsou podle rakouské normy opatření nezbytná

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

Tabulka pro výpočet koncentrace vodorozpuštěných solí bez nutnosti dále ředit filtrát

- provádíme pouze orientační měření
- předpokládáme běžnou koncentraci solí
- měli jsme malé množství vzorku
- dále jsme neředili filtrát
- vyluh byl připraven s doporučeným množstvím vody

Vzorek	m <sub>vzorku</sub> (g)	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (ml)	Abs. <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></sub>	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></sub> (hm%)	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></sub> (mmol/l)	Abs. <sub>(Cl)</sub>	c <sub>Cl</sub> (hm.%)	c <sub>Cl</sub> (mmol/kg)	Abs. <sub>(NO<sub>3</sub>)</sub>	c <sub>(NO<sub>3</sub>)</sub> (hm.%)	c <sub>(NO<sub>3</sub>)</sub> (mmol/kg)
V2/S1/0-1,5	1.072	49.874	0.009	0.04	4	0.065	0.01	3	0.050	0.00	1
V2/S1/1,5-3	1.135	50.765	0.002	0.01	1	0.075	0.01	3	0.099	0.01	1
V2/S1/3-5	1.388	58.511	0.001	0.00	0	0.043	0.01	2	0.052	0.00	1
V4/S2/0-1,5	1.038	50.693	0.098	0.47	49	0.023	0.00	1	0.083	0.01	1
V4/S2/1,5-3	1.295	55.656	0.013	0.06	6	0.030	0.00	1	0.059	0.00	1
V4/S2/3-5	1.145	50.811	0.018	0.08	8	0.016	0.00	1	0.058	0.00	1

## 16.6 Analýza vodorozpuštěných solí, kontrolní vrt po odsolení

2023 duben  
Místo: Jezeří  
Objekt: Socha Satyra I  
Jméno: Schreiber S  
Vedoucí práce: Rejman P., Bayer K  
Kontakt:

Výpočet koncentrace solí z pevného vzorku

Rozmezí hodnot absorbance pro přesné měření	
skupina solí	hodnota absorbance Abs.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	do 1,5
(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	do 0,8
Cl <sup>-</sup>	do 1,3

Legenda podmíněného zbarvení polí:		
Abs. (absorbance)	1,800	příliš vysoká hodnota absorbance, výsledná koncentrace bude nepřesná - orientační, pro přesné měření je nutné roztok naředit
c (hm%)	0,01	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí; hodnota, která podle rakouské normy nevyžaduje žádná opatření
c (hm%)	0,19	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí; hodnota, u které je podle rakouské normy nutné zvážit dílčí opatření
c (hm%)	0,8	výsledná koncentrace vodorozpuštěných solí; hodnota, u které jsou podle rakouské normy opatření nezbytná

1. Podle rakouské normy Önorm B 3355-1

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

Tabulka pro výpočet koncentrace vodorozpuštěných solí bez nutnosti dále ředit filtrát

- provádíme pouze orientační měření
- předpokládáme běžnou koncentraci solí
- měli jsme malé množství vzorku
- dále jsme neředili filtrát
- vyluh byl připraven s doporučeným množstvím vody

Vzorek	m <sub>vzorku</sub> (g)	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (ml)	Abs. <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></sub>	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></sub> (hm%)	c <sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></sub> (mmol/l)	Abs. <sub>(Cl)</sub>	c <sub>Cl</sub> (hm.%)	c <sub>Cl</sub> (mmol/kg)	Abs. <sub>(NO<sub>3</sub>)</sub>	c <sub>(NO<sub>3</sub>)</sub> (hm.%)	c <sub>(NO<sub>3</sub>)</sub> (mmol/kg)
S 1	0,976	46,795	0,000	0,00	0	0,064	0,01	3	0,041	0,00	0
S 2	1,041	50,394	0,042	0,20	21	0,115	0,02	5	0,026	0,00	0
S 3	1,151	50,137	0,000	0,00	0	0,136	0,02	6	0,048	0,00	0

Vzorek	Výška (cm)	Hloubka (cm)	Poznámka
S 1			
S 2			
S 3			

## 16.7 Příloha č. 5 petrografický průzkum

### **Jezeří**

#### **Socha Gryfa č. 1**

Petrologické vyhodnocení

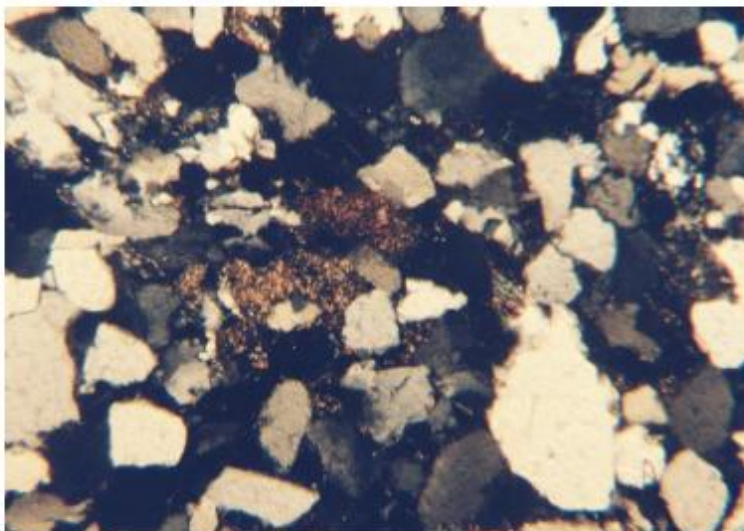


RNDr. Zdeněk Štaffen, 25.01.2023

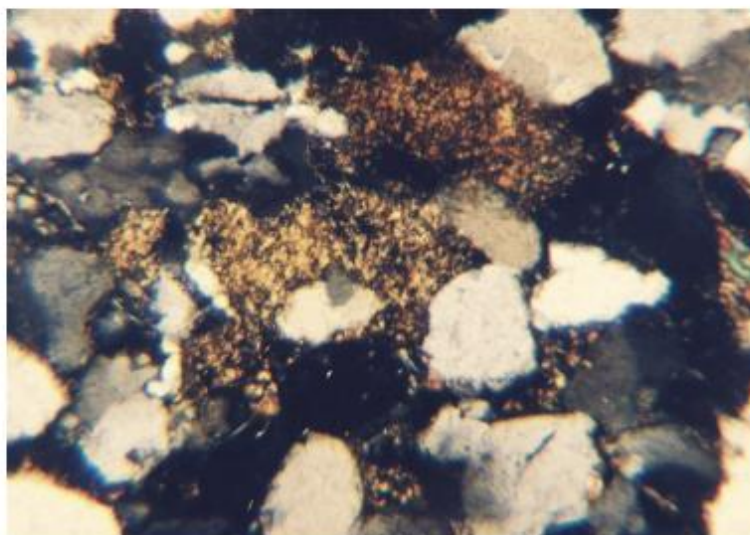
Název lokality	: <b>Jezeří – socha Gryfa č. 1</b>
Místo odběru	: pravá strana skály pod gryfem č. 1
Označení vzorku	: JZ-1
Makroskopický popis	: nepravidelně zrnitý světlý, žlutorezavý pískovec
Metoda hodnocení	: mikroskopie
Způsob hodnocení	: vyhodnocení výbrusu polarizačním mikroskopem
Použité zvětšení	: standardní (32x) s fotodokumentací
Mikroskopický popis	: Na základě mikroskopického vyhodnocení vzorku JZ-1, lze hodnocenou sedimentární horninu označit jako <i>pískovec křemenný, středně zrnitý s hrubozrnnou příměsí, slabě silicifikovaný</i> . Převažující klastickou složkou je křemen, jehož úlomky jsou nedokonale vyříděné a rovněž tak nedokonale opracované (angulární až subangulární). Charakter úlomků nasvědčuje tomu, že jejich transport z místa zdroje nebyl dlouhý a nedošlo tak k opracování jejich povrchu ani k vyřídění velikosti úlomku na základě unášecí síly transportního média (vody). Jinde obvyklé klastické živce, nebyly v sedimentu identifikovány, akcesoricky přítomný úlomek nelze s jistotou identifikovat jako draselný živec. Vedle klastického křemene byla sporadicky identifikována klastická slída – muskovit. Přítomna je v akcesorickém množství. Její přítomnost je dokladem stáří sedimentu, u něhož nedošlo k výrazné kompakci klastiky, která vede k deformaci slídových agregátů. Základní hmota, která se sporadicky vyskytuje v interklastickém prostoru je velmi jemnozrná, a tedy opticky obtížně rozlišitelná, ale na základě intenzivní impregnace oxidu a hydroxidy Fe, lze usuzovat že se primárně jednalo o drobné úlomky slídy – muskovitu. Zpevňujícím procesem (diagenezí) je ve struktuře sedimentu nevýrazná <i>silicifikace</i> , projevující se vzájemnými srůsty křemenných úlomků, kde to umožnila jejich morfologie povrchu.

Závěr : Hodnocený *křemenný pískovec, středně zrnitý s hrubozrnnou příměsí, slabě silicifikovaný* vzorku JZ-1 je pravděpodobným produktem zvětrávání v prostoru Krušných hor v době terciéru (třetihorní sedimentární výplně uhelné pánve).

**Jezeří** – socha Gryfa č. 1  
petrologické vyhodnocení



*Pískovec křemenný, stří. zrnitý s HZ příměsí, slabě silicifikovaný  
vzorek JZ-1, skála pod Gryfem, zvětšení 32x, nikoly X,  
zmitost a nedokonalé opracování Q klastů, akcesorická ZH v IKP*

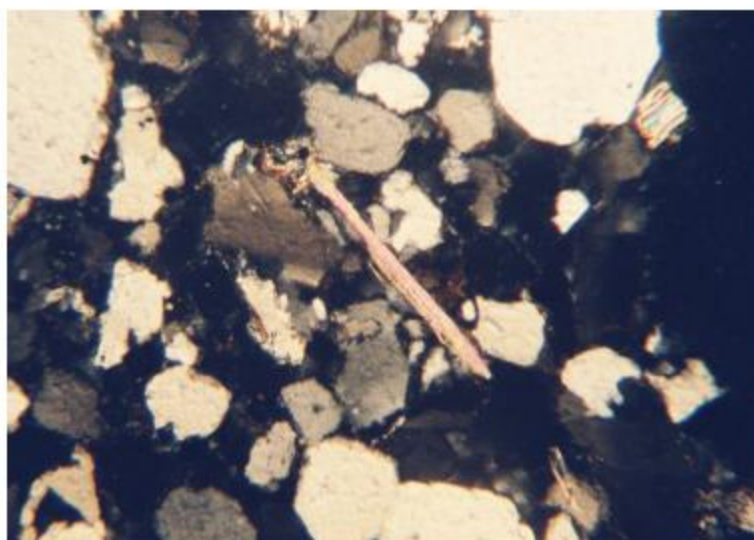


*Pískovec křemenný, stří. zrnitý s HZ příměsí, slabě silicifikovaný  
vzorek JZ-1, skála pod Gryfem, zvětšení 63x, nikoly X,  
zmitost a nedokonalé opracování Q klastů, akcesorická ZH v IKP (muskovit?)*

**Jezeří** – socha Gryfa č. 1  
petrologické vyhodnocení

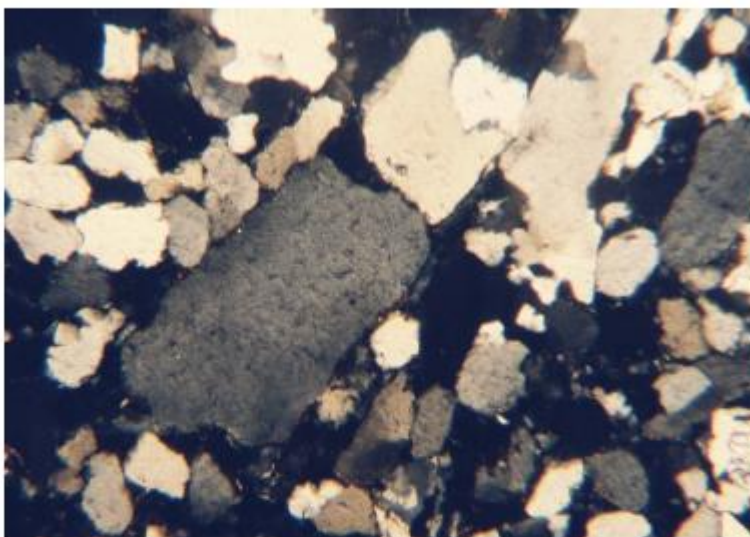


*Pískovec křemenný, stř. zrnitý s HZ příměsí, slabě silicifikovaný*  
vzorek JZ-1, skála, zvětšení 32x, nikoly X,  $\phi$  0,84x0,31 max.,  $\phi$  0,12 sf. min.,  
zmitost a nedokonalé opracování Q klastů, přítomnost klastické slidy (muskovit)



*Pískovec křemenný, stř. zrnitý s HZ příměsí, slabě silicifikovaný*  
vzorek JZ-1, skála pod Gryfem, zvětšení 32x, nikoly X,  
Q klasty, přítomnost klastické slidy (nedeformovaný muskovit?)

**Jezeří – socha Gryfa č. 1**  
petrologické vyhodnocení



*Pískovec křemenný, stří. zrnitý s HZ příměsí, slabě silicifikovaný*  
vzorek JZ-1, skála, zvětšení 32x, nikoly X,  $\phi$  0,84x0,43 max.,  $\phi$  0,096x0,048 min.,  
vytřídění a opracování Q, klastický  $Z_k$ ?, projevy silicifikace

## 16.8 Příloha č. 6, posouzení stavu sochy metodou ultrazvukové transmise



UNIVERZITA  
PARDUBICE  
FAKULTA  
RESTAUROVÁNÍ

### Skulptura Satyra I. ze zámecké zahrady státního zámku Jezeří

#### Posouzení stavu sochy metodou ultrazvukové transmise

**Objekt:** Skulptura Satyra I. ze zámecké zahrady státního zámku Jezeří

**Zadání průzkumu:** Posouzení stavu metodou ultrazvukové transmise

#### Popis metody:

Princip metody spočívá v měření rychlosti přechodu longitudální vlny (p-vlny) zkoumaným materiálem. Rychlost uz-signálu je pro daný materiál charakteristickou veličinou. V masivnějších horninách s vyšší mírou stmelení je rychlost ultrazvuku vyšší než v horninách poréznějších, obvykle méně stmelených. Tato souvislost platí i mezi stejným typem zvětralé a nezvětralé horniny. V poškozených, korodovaných kamenných objektech, jejich částech nebo vrstvách, je proto rychlost ultrazvuku nižší než v nepoškozených, „zdravých“ objektech resp. jeho částech. V místech s výraznými poškozeními, nehomogenními zónami nebo trhlinami je uz-signál zpomalený, deformovaný nebo neprochází vůbec.

Měřením se zjišťuje čas  $t$  přechodu uz-signálu zkoumaným objektem o tloušťce  $d$ .

zdroj signálu > objekt > příjem signálu

Z naměřeného času  $t$  a vzdálenosti (tloušťky)  $d$  lze rychlost  $v$  vypočítat dle vztahu:

$$v = d/t \text{ [m/s] příp. [km/s]}$$

v - rychlost uz

d - měřená vzdálenost

t - čas přechodu signálu

Kromě rychlosti šíření longitudálního vlnění se hodnotí také amplituda a tvar signálu.

Měření bylo provedeno přístrojem USME-C (fa. Krompholz, BRD) s měřicí frekvencí 250 kHz. Jako spojovací materiál pro přiložení sond byl použit trvale plastický tmel na bázi silikonového kaučuku (bez přísadky změkčovadel).

Tab. 1. Výsledky měření

V tabulce je uvedeno číslo měření  $\check{c}. m.$ , naměřený čas  $t$ , naměřený čas po odečtení korekce pro danou frekvenci  $t_{kor}$ , směr měření, vzdálenost  $d$  pro dané měření a rychlost šíření p-vlny ultrazvukového signálu  $v$ . Směr měření je označen  $lp$  - horizontálně zleva doprava nebo naopak,  $pz$  - horizontálně zepředu dozadu nebo naopak,  $v$  - vertikálně. Charakteristika tvaru nebo amplitudy uz-signálu:  $sa$  - utlumená amplituda;  $ds$  - deformovaný signál;  $ns$  - neměřitelný signál.

č. m.	Místo měření	směr	$t$ [μs]	$t_{kor}$ [μs]	$d$ [cm]	$v$ [km/s]	poznámka
1	Trup-pravá část	pz	80,5	79,1	23,5	2,97	
2	Trup-levá část	pz	80,7	79,3	24,4	3,08	
3	Hruď pod pažemi	lp	160,8	159,4	45,4	2,85	
4	Hrudník	lp	143	141,6	40,5	2,86	
5	Bok	lp	126,8	125,4	36	2,87	
6	Podbříšek a kříže	pz	90	88,6	26	2,93	Čep?
7	Podbříšek a kříže	pz	87,3	85,9	26	3,03	Mimo čep?
8	Gryf-pravé stehno	pz	117,9	116,5	28	2,4	
9	Gryf-levé stehno	pz	-	-	27	-	NS
10	Gryf-Zadnice a rozkrok	v	120,8	119,4	32,1	2,69	SA, DS, přes prasklinu
11	Gryf-zadnice a rozkrok	v	108,7	107,3	35	3,26	
12	Gryf-kyčle	lp	140,9	139,5	34,4	2,47	
13	Sokl pod pravou zadní nohou gryfa	lp	233,7	232,3	69,5	2,99	
14	Skála pod hrudníkem gryfa	v	48,2	46,8	15,4	3,29	Korodovaný povrch
15	Skála pod hrudníkem gryfa	lp	57,9	56,5	19	3,36	

Tab. 2. Průměrné rychlosti šíření longitudálního ultrazvukového vlnění

$V_{prům}$ [km/s]	$V_{max}$ [km/s]	$V_{min}$ [km/s]
2,93	2,40	3,36



Obrázek 2 místa měření ultrazvukovou transmisí

### Vyhodnocení měření:

Měření bylo zaměřeno zejména na lokalizaci skrytých, nebo ověření přítomnosti viditelných prasklin na soše Satyra.

Výsledky měření prokázali přítomnost prasklin ve dvou místech – na levém stehně a zadní části Satyra (měření č. 9 a 10). Další poruchy nebyly nalezeny.

Ing. Karol Bayer  
Katedra chemické technologie  
Fakulta restaurování  
Univerzita Pardubice

Litomyšl, 11.06.2023

## 16.9 Příloha č. 7, ověření efektivity injektáže prasklin a kvality testovaných doplňovacích směsí metodou ultrazvukové transmise



### Skulptura Satyra I. ze zámecké zahrady státního zámku Jezeří

#### Ověření efektivity injektáže prasklin a kvality testovaných doplňovacích směsí metodou ultrazvukové transmise

**Objekt:** Skulptura Satyra I. ze zámecké zahrady státního zámku Jezeří

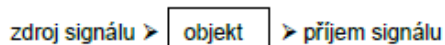
#### Zadání průzkumu:

- kontrolní měření míst s prasklinami metodou ultrazvukové transmise pro ověření účinnosti injektáže prasklin
- kontrola a srovnání kvality testovaných doplňovacích směsí

#### Popis metody:

Princip metody spočívá v měření rychlosti přechodu longitudální vlny (p-vlny) zkoumaným materiálem. Rychlost uz-signálu je pro daný materiál charakteristickou veličinou. V masivnějších hominách s vyšší mírou stmelení je rychlost ultrazvuku vyšší než v hominách poréznějších, obvykle méně stmelěných. Tato souvislost platí i mezi stejným typem zvětralé a nezvětralé hominy. V poškozených, korodovaných kamenných objektech, jejich částech nebo vrstvách, je proto rychlost ultrazvuku nižší než v nepoškozených, „zdravých“ objektech resp. jeho částech. V místech s výraznými poškozeními, nehomogenními zónami nebo trhlinami je uz-signál zpomalený, deformovaný nebo neprochází vůbec.

Měřením se zjišťuje čas  $t$  přechodu uz-signálu zkoumaným objektem o tloušťce  $d$ .



Z naměřeného času  $t$  a vzdálenosti (tloušťky)  $d$  lze rychlost  $v$  vypočítat dle vztahu:

$$v = d/t \text{ [m/s] příp. [km/s]}$$

$v$  - rychlost uz  
 $d$  - měřená vzdálenost  
 $t$  - čas přechodu signálu

Kromě rychlosti šíření longitudálního vlnění se hodnotí také amplituda a tvar signálu.

Měření bylo provedeno přístrojem USME-C (Geotron-Elektronik, BRD) s měřicí frekvencí 250 kHz. Jako spojovací materiál pro přiložení sond byl použit trvale plastický tmel na bázi silikonového kaučuku (bez přídavku změkčovadel).

Měření na vzorcích doplňovacích směsí bylo provedeno přístrojem Geotron UKS 14 (Geotron-Elektronik, BRD).

#### A. Ověření účinnosti injektáže

V tabulce je uvedeno číslo měření *č. m.*, naměřený čas *t*, naměřený čas po odečtení korekce pro danou frekvenci  $t_{kor}$ , směr měření, vzdálenost *d* pro dané měření a rychlost šíření p-vlny ultrazvukového signálu *v*. Směr měření je označen lp - horizontálně zleva doprava nebo naopak, pz - horizontálně zpředu dozadu nebo naopak, v - vertikálně. Charakteristika tvaru nebo amplitudy uz-signálu: sa - utlumená amplituda; ds - deformovaný signál; ns - neměřitelný signál.

Kontrolní měření bylo provedeno pouze v místech, která byla injektována.

Tab. 1. Výsledky vybraných míst měření v části sousoší před provedením injektáže

č. m.	Místo měření	směr	t [μs]	t <sub>kor</sub> [μs]	d [cm]	v [km/s]	poznámka
9	Gryf-levé stehno	pz	-	-	27	-	NS
10	Gryf-Zadnice a rozkrok	v	120,8	119,4	32,1	2,69	SA, DS, přes prasklinu
11	Gryf-zadnice a rozkrok	v	108,7	107,3	35	3,26	

Tab. 2. Výsledky vybraných míst měření v části sousoší po provedení injektáže

č. m.	Místo měření	směr	t [μs]	t <sub>kor</sub> [μs]	d [cm]	v [km/s]	poznámka
9/1	Gryf-levé stehno; přes injektovanou trhlinu, levá zadní noha	pz	82,8	81,4	25,9	3,18	
9/2	Gryf-levé stehno; přes injektovanou trhlinu, levá zadní noha	pz	103,1	101,7	27,6	2,71	
11	Gryf-pravá zadní noha-slabiny; přes injektovanou trhlinu,	pz	114,2	112,8	35	3,10	

#### B. Kontrola a srovnání kvality testovaných doplňovacích směsí

Tab. 2. Výsledky vybraných míst měření v části sousoší po provedení injektáže

Maltová doplňovací směs	Typ pojiva směsi	Poměr míchání (díly objemu, pojivo:plnivo)	Použité plnivo	v1 (km/s), Doba zrání 7 dní	v2 (km/s) Doba zrání 28 dní	E (kN/mm2) Doba zrání 28 dní
A	NHL 5	1:3	P1	2,59	2,69	10,24
B	NHL 2 + bílý cement 1:1	1:3	P1	1,58	1,96	5,16
C	bílý cement	1:4	P1	1,27	1,34	2,55
D	NHL 3,5 + cement bílý 1:1	1:3	P2	2,47	2,5	6,85
E	bílý cement	1:3	P1	2,86	2,95	13,36
Hlava, místo 1	NHL 3,5 + cement bílý 1:1	1:3		2,51	2,62*	

Hlava, místo 2	NHL 3,5 + cement bílý 1:1	1:3		2,45	2,45*	
REF homina				2,95		

**Použité plnivo:**

P1 - 1:3:8 - černý písek: Tasovice: čemuc okr (obj. díly)

P2 - 1:2:4 - černý písek: tasovice: čemuc okr (obj. díly)

**Podmínky zrání:**

7 dní – v ateliérových podmínkách (klíma v ARK); rychlost šíření UZ – v1

28 dní – regulované klíma 75 % RH, 20 °C; rychlost šíření UZ – v2

**Vyhodnocení měření:**

**A. Ověření účinnosti injektáže**

Měření prokázalo, že injektáží bylo dosaženo vyplnění praskliny a propojení oddělených (prasknutých částí).

**B. Kontrola a srovnání kvality testovaných doplňovacích směsí**

Zjištěné rychlosti šíření ultrazvuku (longitudálního vlnění) v testovaných směsích po měsíci zrání jsou na úrovni nebo pod úrovní rychlosti šíření ultrazvuku v referenčním vzorku hominy. Rychlostem zjištěným v referenční homině se nejvíce přibližují hodnoty zjištěné v případě směsí A, D a E. Zároveň je zřejmé, že optimalizace klimatických podmínek zrání hraje velmi důležitou roli pro dosažení očekávaných finálních vlastností doplňovacích malt s hydraulickými pojivy.

Litomyšl, 27.07.2023

Ing. Renata Tišlová PhD.  
 Ing. Karol Bayer  
 Katedra chemické technologie  
 Fakulta restaurování  
 Univerzita Pardubice

## 16.10 Příloha č. 8 navrhovaný postupy pro využití 3D digitálních technologií

### Navrhovaný postup pořizování a úpravy snímků pro průsekovou fotogrammetrii

#### Úvod

Text popisuje základní postup a nastavení fotoaparátu sběru snímků pro průsekovou fotogrammetrii a jejich úpravu v Raw formátu. Úprava snímků je zaměřená na získání kvalitní geometrie nikoliv textury. Jedná se o kombinaci dohledaných doporučení a empirických zkušeností. Dle použitého softwaru mohou být některé postupy opomenuty (například kalibraci fotoaparátu), jelikož se zde zabýváme všeobecným postupem shodným pro více programů.

#### Nastavení fotoaparátu

Čím kvalitnější snímací aparatura s vyšším rozlišením snímků tím kvalitnější výsledek.

##### Manuál

**RAW** – formát

**White balance** – zvolíme jednu možnost, která odpovídá okolí, jinak druhá možnost je upravit v post-procesu dle šedé tabulky

**Ostření** – na střed

**Stabilizátor** – Vypnout

#### Hodnoty ovlivňující expozici

Tyto parametry jsou velice důležitými pro docílení nejlepšího výsledku. Příprava jednotlivých hodnot je před focením je nutná, jelikož navzájem ovlivňují a měli by zůstat neměnné. I když je parametry možné měnit neodporučuje se to. Malé odchylky nemusí být problematické, avšak představují riziko.

**Expoziční čas** – zvolíme dle světelných podmínek, pro focení ze stativu je možné fotit na nízkých hodnotách, focení z ruky by nemělo jít pod hodnotu 1/60 s. Ideální je zachování jednotné hodnoty pro celý focení, avšak je to změna někdy nutná.

**ISO** – dle možností pro co nejlepší výsledek zvolíme nejnižší hodnotu ISO 100 avšak maximální hodnota by neměla přesáhnout hodnotu ISO 400.

**Clona** –  $f/ 5,6-11$  zvolíme v závislosti na vzdálenosti focení od objektu, je potřeba odzkoušet před focením, v základu platí čím větší vzdálenost tím vyšší hodnota, která nesmí být přesáhnuté rozmezí hodnot jinak riskujeme ztrátu detailu.

**Zoom** – neměnná! Ideální míra je v rozmezí 35-50 mm, ale pokud nemůžete jinak, nastavte takovou, která bude vyhovující pro celou dobu focení.

Na začátku nastavte rychlost ZOOMu a během snímání ji neměnit.

(V ideálním případě ji uzamkněte, pokud je tato možnost uvedena na objektivu, jinak ji zafixujte třeba lepící páskou).

#### Příprava okolí

Ideální osvětlení objektu je rozptýlené světlo, bez přímého světla, které vytváří ostré kontrasty světla a stínu. Objekt by měl být plně viditelný. Přexponovaná a tmavá místa nebude program schopen vyhodnotit. Problematická jsou místa s vysokým leskem, translucenční a transparentní.

Pro dosažení dobrých výsledků je v interiéru možnost úpravy osvětlení. Rozptýlení dopadajícího světla jak slunečního, tak umělého difuzéry světla. Další možností osvětlení tmavých míst rozptýleným umělým světlem případně odražením světla odrazačnými foliemi.

U focení v exteriéru je tato možnost komplikovanější, pokud to však situace dovoluje je možnost použít stejných možností. Nejlepší je však fotit v ideálním počasí a pod mrakem.

V případě, kdy objekt odráží světlo je možné použít polarizační sklíčko na objektiv fotoaparátu. Odražené světlo neeliminuje, avšak potlačí, což v mnoha případech může být dostačující, je potřeba dát pozor že sníží světelnost/expozici.

## Postup fotografování

V případě, že nepoužíváme software s možností určení rozměrů pomocí přiložených terčů, můžeme přiložit k snímanému objektu předmět s definovanou délkou (například přiložená šeda tabulka) případně naměřit

Fotografujeme ve třech úrovních nad hlavou, v přímém pohledu a pod hlavou.

Objekt by měl být zachycen, pokud možno celý, jinak s překrývajícími se snímky na 80-60 %. Objekt by měl být na snímku plně zaostřen v celé míře.

Fotografujte tak, že se vždy vzdálíte o jeden krok, a to poměrně těsně postupujeme v řadě za sebou. V momentě, kdy se na díle nacházejí konkávní místa podhledů či nadhledů, a nezachytíme ani v jednom ze základních tří pohledů, dofotíme je dle potřeby. Zhodnocujeme výsledky snímků na místě, zda jsme nasnímali všechna dostupná místa v správné expozici.

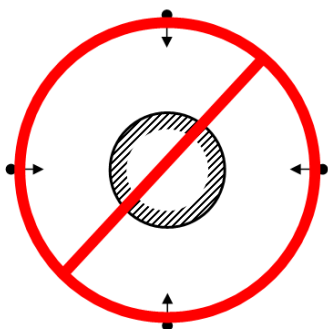
Doporučujeme použít stativ pro co nejlepší výsledky. V případě nadhledů se u větších objektů neobejdeme bez například řebříčku. Pokud v tomto případě nemůžeme použít stativ, fotíme z ruky s upravenými hodnotami expozičního času a ISO. Nic jiného neměníme.

Pro jednu sochu je v průměru dostačující nasbírat kolem 200-300 snímků. Čím více snímků tím můžeme dosáhnout lepšího výsledku, avšak zvyšujeme náročnost výpočtu zvoleného softwaru.

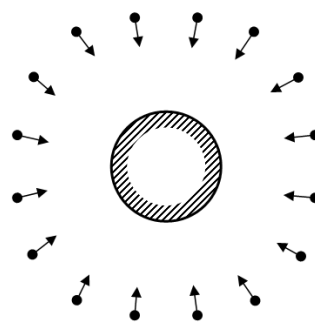
### Obrázková příloha



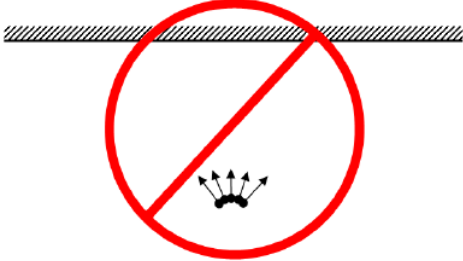
Znázornění snímání objektu v základních třech pohledech



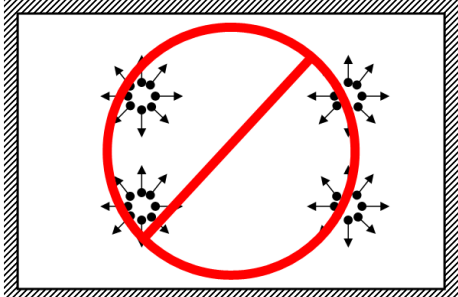
Nedostatečný počet pořízení snímků



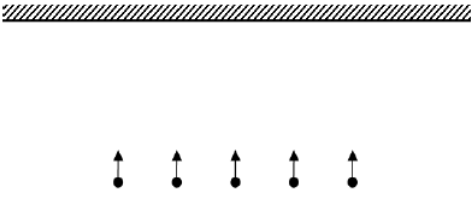
správný postup snímání



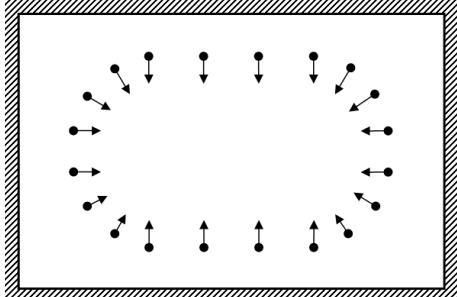
Nesprávný způsob snímání fasády



Nesprávný způsob snímání interiéru



správný způsob snímání fasády



správný způsob snímání interiéru

**Úprava snímků**

Pro úpravu snímku v RAW formátu je dostupných mnoho placených programů (např. Camera RAW součástí balíčku Adobe Photoshop) nebo neplacených (např. Darktable).  
 Snímky nemožno ořezávat nebo aplikovat geometrické transformace!  
 Ve fotogrametrii je klíčová konzistence expozice a kontrastu mezi snímky zachování co nejvíce přirozených detailů. Pro co nejlepší výsledek snímky upravujeme v RAW formátu a exportujeme ve formátu jako je TIFF, JPG nebo PNG.  
 Prvním krokem bude použití šedé tabulky pro vyvážené bílé, pokud jsme nezvolili jiný postup, jakým je základní vyvážení bílé na fotoaparátu.  
 Vypnutí **Tone Equalizaru** – jenž lokálně upravuje jas podle světelnosti a může tak vzniknout nejednotnost snímků.  
 Částečné zvýšení hodnoty **detailu (detail)** do míry, která snímku vyhovuje.  
 Zvýšení hodnoty **ostrosti (sharpnes)** na maximum.  
 Upravíme jednu fotografii a hodnoty převedeme na všechny snímky. Následně exportujeme dle ve formátu JPG, NPG a pro co nejlepší zachovanou kvalitu snímku TIFF.

**Zdroje**

- **AGISOFT LLC.** Agisoft Metashape User Manual [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>
- **CINE COMMUNITIES.** Photogrammetry (Advanced) [online]. n. d. [cit. 18. 5. 2025]. Dostupné z: <https://www.cinecommunities.org/photogrammetry-advanced/>

## Navrhovaný postup k FDM tisku

### Post-proces

Po vzniku samotného 3D modelu je potřebná drobná úprava. Jedná se o odstranění nadbytečné hmoty a uzavření děr modelu. Některé softwary digitalizace mají nástroje pro tyto úpravy. Pokud ne je možné model exportovat v požadovaném formátu (např. STL nebo OBJ) do 3D grafického programu (např. Blender). Je žádoucí pro další proces tisku odstranit nadbytečnou hmotu, a hlavně uzavřít model. Proces uzavření má více možností existují i automatické nástroje, které však mají svoje limity a je potřeba je uzavřít manuálně. Uzavřený model tzv. „watertight“ v překladu vodotěsný je nutností pro jeho další použití v pro tzv. „Slicování“ v slicer programu využívaného pro přípravu modelu pro tisk (např. PrusaSlicer). V tomto programu Slicer určíme všechny parametry tisku, jenž jsou popsány níže.

### Výběr vhodného nastavení tisku FDM

Výsledek tisku je závislý od mnohých faktorů, v základu je můžeme rozdělit na použitý typ tisknutého materiálu, dostupnému typu tiskárny a z toho vycházejícímu rozmezí nastavení parametrů tisku, v neposlední řadě orientace objektu tisku na podložku. Z nastavení tisku má na výsledný produkt hlavní vliv rychlost tisku, teplota tisku, výška tisku a barva filamentu. Tyto parametry ovlivňují především výsledný vzhled, pevnost, smrštění a přesnost tisku. Výzkumy ukazují, že smršťování 3D tištěných objektů a přesnost tisku jsou ovlivněny orientací tisku, rychlostí tisku, výškou vrstev a procentem výplně. Toto smrštění je možné pouze snížit nikoliv plně eliminovat. Pro dosažení nejlepší rozměrové přesnosti je doporučeno použít nižší rychlost tisku a menší výšku vrstvy.<sup>59</sup>

### Orientace modelu na ploše

Pokud je klíčový vizuální aspekt tištěného objektu, zaměřujeme se především na kvalitní provedení tištěných ploch. Nejlepších výsledků dosáhneme u ploch, které jsou tištěné přímo na podložce nebo kolmé vůči ní, protože tyto plochy vykazují nejlepší vzhled bez viditelných vrstev. Pro plochy tištěné pod úhlem nebo ty, které vyžadují podpory, může být vzhled ovlivněn viditelností vrstev a rastru. V těchto případech je doporučeno orientovat nakloněné plochy v rovině X, Y (vodorovně), čímž se minimalizuje projevení vrstev a rastru. Další možností je snížení výšky vrstev tisku, což rovněž zlepšuje vzhled a eliminuje viditelnost rastru. Pokud má model více nakloněných ploch, kde není možné použít jednoduché řešení, rozhodujeme se podle důležitosti jednotlivých ploch pro celkový vzhled objektu. Z hlediska mechanických vlastností bylo v různých studiích prokázáno, že orientace vzorku na tiskové podložce má významný vliv na pevnost a tažnost materiálu. Pro dosažení nejlepší pevnosti se doporučuje použít 0° mřížku, přičemž orientace tisku podél osy Y je výhodná. Pro optimalizaci výsledků je také doporučeno použít 100% výplně a co nejnižší výšky vrstvy tisku, což zlepší nejen mechanické vlastnosti, ale i vizuální vzhled tištěného objektu.

### Výběr vhodného materiálu

Na trhu je k dostání značné množství tiskacích materiálů s odlišnými finálními vlastnostmi, jako je pružnost, tvrdost vizuální vlastnosti, imitace jiného materiálu (např. dřeva) a další. Odlišnost materiálů se projeví i do nastavení tisku, mění se teplota tání, rychlost tisku, změna teploty podložky, úprava okolní teploty vzduchu při tisku a jiné. Změny v tisku s odlišným typem materiálu je potřeba mít na zřeteli a je potřeba jsi je nastudovat. Jelikož totožný materiál od dvou výrobců taky nemá totožné vlastnosti jednotlivý výrobci materiálů odporoučí optimální parametry pro jejich výrobek.

### Závěr

Každá tiskárna dosahuje jiných možností tisku a tím i odlišně kvalitního výsledku. Nemůžeme tedy napsat jedno vhodné nastavení. Jednotlivé parametry, které zvolíme pro dosažení nejlepšího výsledku je nutno odzkoušet na každé 3D tiskárně samostatně. Existuje mnoho online skupin, fór nebo videí kde lidi odporoučí správné nastavení tisku na základě vlastních zkušeností

<sup>59</sup> Overview and Comparison of PLA Filaments Commercially Available in Europe for FFF Technology. *Polymers*. 2023, roč. 15, č. 3065, s. 21.

## 17 Seznamy

### 17.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Předpokládaná místa odběru vzorků .....	19
Obrázek 2 Antická váza s vyobrazením Arismapů v boji s Gryfy.....	21
Obrázek 3 ilustrační fotografie měření nasákavosti .....	24
Obrázek 4 grafické znázornění míst měření kapilární absorpce .....	25
Obrázek 5 Spodní část stehna mužské postavy, nalevo VIS spektrum, napravo UV fluorescence .....	26
Obrázek 6 výsledky měření ultrazvukové transmise .....	27
Obrázek 7 Průměrné rychlosti šíření longitudálního ultrazvukového vlnění.....	27
Obrázek 8 grafické zobrazení míst měření ultrazvukovou transmisí .....	28
Obrázek 9 průběh měření signálu ultrazvuku .....	28
Obrázek 10 Místo odběru vzorku    Obrázek 11 fotografie odebraného vzorku pod optickým mikroskopem, zvětšení 32x, petrologické zprávy.....	29
Obrázek 12 zkouška čištění biologického napadení .....	34
Obrázek 13 zkouška čištění černého povlaku .....	35
Obrázek 14 použité prostředky/ technologie a jejich výsledky čištění zčernalého povlaku .....	36
Obrázek 15 vybrané zkoušky tmelů.....	37
Obrázek 16 grafické zákresy poškození před restaurováním, přední a zadní strana.....	46
Obrázek 17 grafické zákresy poškození skulptury před restaurováním, levá a pravá strana .....	47
Obrázek 18 grafické zákresy poškození skulptury po restaurování, zadní a přední strana .....	48
Obrázek 19 grafické zákresy poškození skulptury po restaurování, levá a pravá strana .....	49
Obrázek 20 stav před restaurováním, čelní strana a zadní strana.....	50
Obrázek 21 stav před restaurováním, pravá strana a levá strana .....	51
Obrázek 22 stav po očištění pravá a levá strana .....	52
Obrázek 23 stav po očištění přední a zadní strana .....	53
Obrázek 24 stav po doplnění chybějících hmot, zadní a přední strana .....	54
Obrázek 25 stav po doplnění chybějících hmot, levá a pravá strana .....	55
Obrázek 26 stav po restaurování, přední strana .....	56
Obrázek 27 stav po restaurování, levá strana a pravá strana.....	57
Obrázek 28 pohled na nohu skulptury průběh restaurování, nahoru zleva, stav před restaurováním, po očištění, po doplnění a po restaurování.....	58
Obrázek 29 zadní strana skulptury, stav před restaurováním, po očištění .....	59
Obrázek 30 zadní strana skulptury, po doplnění a po restaurování .....	60
Obrázek 31 pravé křídlo, průběh restaurování, stav před restaurováním, po očištění .....	61
Obrázek 32 pravé křídlo, průběh restaurování, po doplnění a po restaurování .....	62
Obrázek 33 pohled na levou stranu postavy, stav před restaurováním. po očištění.....	63
Obrázek 34 pohled na levou stranu postavy, po doplnění a po restaurování .....	64
Obrázek 35 transport díla ze zámku Jezeří .....	65
Obrázek 36 vlevo čištění skulptury od biologického napadení, vpravo redukce sčernalé krusty .....	66
Obrázek 37 vlevo průběh redukce zčernalého povrchu, vpravo nabourávání sádrovcové krusty zábaelem buničiny s 10 % roztokem uhličitanu amonného .....	66

Obrázek 38 vlevo lokálně nanesené odsolovací zábalý, vpravo vrtání otvoru pro vytvoření konstrukce pro modelování doplňku hlavy.....	67
Obrázek 39 průběh odsolování a vytváření konstrukce pro modelování doplňků.....	67
Obrázek 40 kovová konstrukce pro modelování doplňků.....	68
Obrázek 41 vlevo injektaž trhlin, vpravo odstraňování vystouplého epoxidu z lepených spojů pomocí mikro-brusky.....	68
Obrázek 42 vlevo průběh modelování s využitím modelu z 3D tisku pro vlasy hlavy mužské postavy, vpravo formování hliněných doplňků do silikonu.....	69
Obrázek 43 průběh lepení dusaných doplňků, levé ruky, pravé ruky a hlavy.....	70
Obrázek 44 průběh lepení dusaných doplňků, levé ruky, pravé ruky a hlavy.....	70
Obrázek 45 vpravo ohrádka vytvořená pro vydusání chybějícího roku podstavy skulptury, vpravo průběh tmelení.....	71
Obrázek 46 průběh zapojování tmelů, barevná retuš.....	71
Obrázek 47 Obě skulptury osazené v zámecké kočárovně.....	72
Obrázek 48 taxonomie skenovacích technologií.....	78
Obrázek 49 historická fotografie zachytávající skulpturu z roku 1959 s kartou s popisem.....	110
Obrázek 50 historická fotografie zachytávající skulpturu z roku 1958 s kartou s popisem.....	111
Obrázek 51 historická fotografie zachytávající zahradní fontánu z roku 1958.....	112
Obrázek 52 historická fotografie 191685: datace neznámá (pravděpodobné rozmezí 70. – 90. léta 20. století), autor Ing. Pavel Hušek.....	113
Obrázek 53 historická fotografie, pohled na poničenou skulpturu 90319: 11. 8. 1989, autor Roman Kursá.....	114
Obrázek 54 historická fotografie zachytáva skulptury pod altánkem, 161981 3. 11. 2004, autorka Ludmila Skokanová.....	115
Obrázek 55 historická fotografie zachytávající fontánu 161983: 3. 11. 2004, autorka Ludmila Skokanová.....	115
Obrázek 56 historická fotografie zachytávající skulpturu ze předu, 161988: 3. 11. 2004, autorka Ludmila Skokanová.....	116
Obrázek 57 Zobrazení místa zámku Jezeří na mapě.....	117
Obrázek 58 pohled zahradní fontánu Belvedéru ve Vídni, v pozadí budova Horního Belvedéru.....	117
Obrázek 59 skulptura muže bojujícího s gryfem ze zahrad Belvedéru ve Vídni.....	118
Obrázek 60 skulptura muže bojujícího s gryfem ze zahrad Belvedéru ve Vídni.....	119

## 17.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 tabulka poškození.....	18
Tabulka 2 výsledné hodnoty analýz vodorozpustných solí.....	30
Tabulka 3 tabulka rakouské normy pro hodnoty obsahu vodorozpustných solí v materiálu kamene.....	30
Tabulka 4 místa odběru vzorků pro analýzu povrchových vrstev.....	31
Tabulka 5 místa odběru vzorků pro analýzu tmelů.....	32
Tabulka 6 použité biocidné prostředky a jejich výsledky.....	34
Tabulka 7 kontrolní měření vodorozpustných solí ze zábalů po odsolení.....	41
Tabulka 8 Kontrolní měření vodorozpustných solí z vrtné moučky po odsolení.....	41

### **17.3 Seznam grafů**

graf 1 kapilární nasákavosti .....	24
graf 2 kontrolní měření kapilární nasákavost po redukci zčernalé krusty.....	36