



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**



**NÁRODNÍ
PAMÁTKOVÝ
ÚSTAV**

**ÚZEMNÍ ODBORNÉ PRACOVISŤE
V PRAZE**

Vhodné restaurátorské postupy pro zachování stop opravování kamene

Využití blízké fotogrammetrie k ohodnocení vhodnosti restaurátorských postupů

Památkový postup

Projekt č. DG20P02OVV021

„Topografie povrchu kamene a její aplikace v oblasti restaurování kamenných prvků“

Autorský kolektiv: Mgr. Michal Cihla
Ing. Eva Frommeltová
Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
Mgr. Kateřina Kovářová, Ph.D., MBA.
Ing. Eva Matoušková, Ph.D.
prof. doc. Dr. Ing. Karel Pavelka
Mgr. Michal Panáček
Ing. Jaroslav Valach, Ph.D.

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Cíl památkového postupu	3
3	Popis památkového postupu	5
3.1	Soudobé metody čištění kamene.....	5
3.2	Soudobé metody dokumentace drobných artefaktů.....	7
3.2.1	Oblasti aplikace.....	7
3.2.2	Využívané dokumentační metody – přehled.....	8
3.2.3	Třídění metod.....	8
3.2.4	Měřická dokumentace – fotogrammetrie	9
3.2.5	Měřická dokumentace – 3D skenování.....	11
3.2.6	Měřická dokumentace – fotometrické stereo	12
3.2.7	Měřická dokumentace - zhodnocení	13
3.3	Experimentální ověření vlivu restaurátorského zásahu na stopy opracování	14
3.3.1	Experimentální ověření – kamenný artefakt č. 1	20
3.3.2	Experimentální ověření – kamenný artefakt č. 2	22
3.3.3	Experimentální ověření – Kamenný artefakt č. 3	24
3.3.4	Experimentální ověření – Kamenný artefakt č. 4	26
3.3.5	Experimentální ověření – Kamenný artefakt č. 5	28
3.3.6	Závěr	30
4	Popis ověření památkového postupu v praxi	31
5	Návrh konkrétních uživatelů památkového postupu.....	31
6	Seznam související použité literatury	31
7	Seznam publikací, které předcházejí památkovému postupu	35

1 Úvod

Tento památkový postup je výsledkem výzkumného projektu s názvem „Topografie povrchu kamene a její aplikace v oblasti restaurování kamenných prvků“ č.DG20P02OVV021, podpořeném Ministerstvem kultury ČR. Jedním z úkolů projektu bylo vypracování památkového postupu zaměřeného na posouzení vlivu restaurátorských zásahů na zachování historických stop po opracování pomocí měřičské dokumentace povrchu vzorku před a po restaurátorském zásahu. Tento postup umožňuje zhodnocení citlivosti různých restaurátorských postupů vůči zachování stop po nástrojích a lze jej aplikovat v procesu výběru nejvhodnějších postupů pro konkrétní kamenný prvek, a to jak v laboratoři, tak in-situ.

2 Cíl památkového postupu

Nedílnou součástí historické hodnoty objektů a artefaktů z přírodního kamene jsou zachovalé stopy po opracování kamenickými nástroji. Tyto stopy v sobě nesou jedinečnou informaci vypovídající o řemeslných tradicích našich předků. Pomocí identifikace a studia stop jsme schopni nejen určit nástroj, který byl k opracování použit, ale zároveň můžeme pomoci objasnit historické souvislosti ve vztahu k danému objektu či artefaktu. Historické stopy po opracování kamene jsou proto nedílnou součástí národní a kulturní identity naší společnosti, které je zapotřebí chránit. V rámci restaurátorské praxe jsou bohužel často používány takové postupy, které vedou k poškození těchto stop (obr. 1).



Obr. 1 Kostel sv. Františka z Assisi, Křížovnické náměstí, Praha (1), kamenný podstavec s detailem opracování povrchu před (2) a po (3) restaurátorském zásahu. Restaurovaný vykazuje jasné stopy ztráty materiálu a abraze.

Cílem památkového postupu bylo ověření vhodnosti a použitelnosti přesných měřičských metod za účelem zhodnocení míry restaurátorského zásahu v oblasti stop po opracování povrchu kamene. Každá dochovaná stopa má vypovídací hodnotu nejenom při určení druhu použitého nástroje, ale také vypovídá o postupu a technologii práce historického kameníka a tím dochází k možnému určení stáří daného prvku. Zjistili jsme totiž výraznou komparaci mezi druhem nástroje, technikou práce a historickou etapou v daném regionu.

Předkládaný památkový postup si proto klade za cíl přispět k co nejvyšší možné míře zachování historické hodnoty stop po opracování pomocí eliminace nevhodných restaurátorských postupů. Památkový postup byl sestaven zejména na základě provedeného experimentálního výzkumu, ve kterém byly použity opracované historické artefakty, jejichž povrch byl velmi přesně fotogrammetricky dokumentován před a po restaurátorském zásahu. Pro tyto účely byly použity vybrané restaurátorské metody – chemické, mechanické a laser. Cílem jejich použití bylo vyvolání změny topografie povrchu. Výběr metod byl uskutečněn tak, abychom byli schopni vyvolat změny od těch nejjemnějších až po změny výrazné, které byly z povahy zvolené metody očekávatelné (např. čištění kovovým kartáčem). Cílem bylo v tomto ohledu ověření vhodnosti užití blízké fotogrammetrie pro detekci i těch nejmenších změn v topografii povrchu, což se nám podařilo ověřit jak v laboratorních podmínkách, tak i poté na konkrétním historickém objektu. Ve studiu ohodnocení změn po restaurátorských zásazích jsme se primárně zaměřili na opracované povrchy sedimentárních hornin, které jsou díky svým petrografickým vlastnostem vyplývajícím z povahy jejich vzniku v tomto ohledu nejcitlivější. Za pomoci pracovníků NPÚ Praha jsme vytvořili konvolut několika historických fragmentů kamenných povrchů s typickým opracováním, pocházejícím jednak ze středověku, ale také z novověku. Některé povrchy byly relativně zachované, některé vykazovaly povrchové znečištění. Povrchy musely být natolik kompaktní, aby nevyžadovaly předchozí zpevnění.

Na tomto místě je důležité zdůraznit, že samotná volba restaurátorského zásahu je vždy závislá na konkrétní situaci a vychází mj. z povahy horninového materiálu a typu znečištění či poškození povrchu. Její volba vychází ze znalostí a zkušeností daného restaurátora, provedeného průzkumu atd. I z tohoto důvodu není a nemůže být předmětem tohoto postupu určení vhodné restaurátorské metody čištění povrchu hornin obecně, ale představení vhodného nedestruktivního nástroje, jehož pomocí jsme schopni posoudit vhodnost zvolených restaurátorských postupů a metod s ohledem na co nejvyšší možnou míru zachování historických stop po opracování.

Navrhovaný postup byl v první polovině roku 2022 fakticky ověřen na konkrétním historickém objektu.

3 Popis památkového postupu

3.1 Soudobé metody čištění kamene

V rámci přípravy a realizace předkládaného památkového postupu byla vypracována základní rešerše soudobých metod čištění kamene, která mj. sloužila k vytvoření ucelené představy týkající se této problematiky. Zároveň byla podkladem pro výběr metod k experimentálnímu ověření vlivu restaurátorského zásahu na stopy opracování, které byly dodatečně na základě konzultace doplněny o metodu laserového čištění.

Na tomto místě můžeme zmínit, že bylo učiněno mnoho pokusů o kodifikaci principů ochrany a zavedení jednotných mezinárodních principů památkové péče. Mezi nimi můžeme uvést např. Chartu Burra (ICOMOS Austrálie, 2013), ve které jsou definovány základní principy a postupy, které je třeba dodržovat při ochraně australských památek, a Zásady ochrany památek v Číně (ICOMOS Čína, 2015), kde jsou mj. formalizovány postupy ochrany, spočívající na explicitním a dobře definovaném souboru postupů a zásad pro provádění konzervace památek.

Metodám restaurování kamene je věnována celosvětově značná pozornost a existuje nepřehledné množství informačních zdrojů. Na tomto místě lze namátkou uvést např. publikace Mezinárodní rady památek a sídel ICOMOS (<https://www.icomos.de>), publikaci Daniels (Daniels Ch, 2015) a společnosti English Heritage (2012). Doehn a Price (2010) ve své práci přináší bohatou rešerši informačních zdrojů týkajících se mj. problematiky zvětvování, dokumentace topografie povrchu, metodám konsolidace a čištění. Metodám výzkumu a vyhodnocení znečištění kamene, které mají předcházet restaurátorskému zásahu, definováním a popisu typů znečištění včetně biologického, nebiologického a jiného znečištění se ve své práci věnuje Ashurst (1994a). Výběru metod čištění, které nepoškozují strukturu materiálu, přednostem a nedostatkům dostupných metod, problematice odstraňování specifických skvrn (např. olejových), ptačího trusu, organické kolonizace, barev a graffiti se ve své další publikaci věnuje rovněž Ashurst (1994b).

V rámci přípravy a realizace restaurátorského zásahu je třeba vzít v potaz mj. typ znečištění či poškození kamene a povahu samotného kamene. Z hlediska volby restaurátorského prostředku je zcela zásadní, zda se jedná o horninu silikátovou či karbonátovou. Podle Sleatera (1973) má být prvním krokem před zahájením restaurátorských prací rozpoznání příčiny rozpadu a poškození kamene. Další fází je pak odstranění příčiny poškození nebo ochrana před ní. Po tomto kroku je teprve možné realizovat kroky na ochranu kamene spočívající v jeho konsolidaci, je-li potřeba. V každém případě je žádoucí před zahájením restaurátorských zásahů

uvažované metody vyzkoušet na reprezentativní ploše daného kamenného objektu a vyhodnotit jejich vhodnost pro dané účely, a to mj. i s ohledem na přílišné ovlivnění vizuálního vjemu památky (English Heritage, 2012; Daniels Ch., 2015). Mnoho autorů rovněž upozorňuje na možné poškození kamene v důsledku nevhodně zvolené metodě čištění kamene. Mezi možná poškození patří úbytek hmoty na povrchu, změna barevnosti, usazování rozpustných solí nebo zvýšení náchylnosti povrchu k usazování polutantů či biologického napadení (např. Maxwell, 2007; Delegou et al., 2008).

Metody čištění kamene můžeme zjednodušeně rozdělit na (English Heritage, 2012; Daniels Ch., 2015):

1. *Mechanické* – používají se zejména v případě, kdy nelze použít vodu a chemické prostředky; nešetrnou aplikací může dojít snadno k poškození kamene; mezi tyto metody patří např. vakuové čištění, kartáčování, gumování, použití skalpelů, špachtlí, abraze pomocí suchého a vlhkého vzduchu;
2. *Čistící metody na vodní bázi* – voda působí jako rozpouštědlo, které umí často „změkčit“ depozity na povrchu, které lze pak lépe odstranit pomocí oplachu nebo kartáčem; ačkoli se užití těchto prostředků může zdát snadné, nemusí tomu tak být vždy (např. přílišné nasáknutí vodou může způsobit mobilizaci solí uvnitř zdiva, čímž může docházet k nechtěnému poškození kamene, voda může reagovat s obsaženými jílovými minerály a způsobit nárůst jejich objemu); mezi tyto metody patří omývání povrchu houbou a odstraňování nečistot pomocí kartáče, sprejování povrchu, mytí pod tlakem, čištění vodní parou, čištění nebulizovanou vodou či např. čištění pomocí pasty z vody a jílu;
3. *Chemické čistící metody* – chemické metody jsou založeny na principu narušení vazby mezi nečistotou a kamenem nebo vazby uvnitř samotného znečištění; nejjednodušší z chemických metod je čištění vodou, nicméně se v praxi používají prostředky na bázi kyselin (kys. fluorovodíková, kys. fosforečná, kys. chlorovodíková, aj.), zásad (např. hydroxid sodný, hydroxid draselný, amonné soli), organických rozpouštědel (např. aceton) a různé přísady z řad inhibitorů, smáčedel (různé surfaktanty a detergenty) a biocidních prostředků; použití chemických metod silně závisí v první řadě na povaze a stavu daného kamene, ale i na vnějších podmínkách (např. teplota); výběr metody čištění vždy vyplývá z petrografické povahy horniny; prostředky na bázi kyseliny nesmí být používány na horniny, které jsou s nimi reaktivní (tj. karbonátové horniny jako vápenec a mramor);

4. *Další čisticí metody* – čištění pomocí ultrazvuku či laseru; ultrazvukové čištění využívá ultrazvukové vibrace v hrotu, přes který se pouští proud vody, který vytváří jemné bublinky, které narušují mechanické deposity; čištění laserem je založeno na absorpci energie laserového paprsku tmavými deposity na povrchu, čímž dojde ke ztrátě soudržnosti a jejich vypaření; přínosem laserového čištění v restaurátorské praxi se zabývá mj. celá řada studií (např. Siano a Salimbeni, 2010).

3.2 Soudobé metody dokumentace drobných artefaktů

V rámci přípravy a realizace předkládaného památkového postupu byla vypracována rešerše soudobých metod dokumentace drobných artefaktů, která mj. sloužila k vytvoření ucelené představy týkající se této problematiky a zároveň byla podkladem pro výběr vhodných metod dokumentace k experimentálnímu ověření vlivu restaurátorských zásahů na stopy po historickém opracování.

Památkový postup se zabývá primárně problematikou exaktní prostorové (3D) měřické dokumentace povrchu kamenných prvků. Takto vytvořená kvalitní 3D data pak slouží pro analýzu vlivu restaurátorského zásahu na povrch kamene s důrazem na čitelnost stop po opracování. Nicméně v této úvodní části textu věnována pozornost vymezení širšího kontextu, v němž se tematicky pohybujeme.

3.2.1 Oblasti aplikace

Obecně jsou různorodé metody dokumentace v makroměřítku využívány v různých oborech, resp. aplikacích. Výčet některých z nich, které mají přímou vazbu na dále řešenou problematiku, uvádí Bláha (2013) ve svém článku týkajícím se trasologie. V článku autor dává mj. do souvislosti dokumentační aplikace vycházející z kriminalistiky s aplikacemi v oblasti historických bádání. Uvedeno je mj. základní členění stop o jejichž zachycení, resp. exaktní dokumentaci jde. Mezi jinými uvádí:

- *stopy po nástrojích používaných při výrobě a zpracování (ve dřevě, kameni .. náš případ)*
- *otisky zanechané lidskou rukou při ručním zpracování nebo následném použití (např. keramika, hliněný povrch)*
- *geometrické plány, výškové a směrové linie, konstrukční náčrty (ve dřevě, v omítce ..)*
- *stopy různých následných dodatečných úprav nebo konzervace zásahů*
- *dekorativní úpravy a původní nebo dodatečné drobné epigrafické památky, jako např. nápisy, datace, signatury, včetně vandalismu (ve omítkách, obkladech ..)*

Již na první pohled je patrné, že aplikačních oblastí jen v oblasti dokumentace historických objektů nemovitých i movitých je nepřehledné množství. Byla také zmíněna návaznost na kriminalistiku, kde se exaktní dokumentační metody uplatňují při forenzní analýze (dokumentace nástrojů i stop po jejich využití např. ran).

Kdybychom tedy měli vyjmenovat alespoň hlavní oblasti, v nichž se přesná 3D dokumentace rozměrově malých artefaktů využívá, pak mezi ně patří – památková péče, archeologie (včetně podvodní, viz např. Eeckman 2019), kriminalistika, muzejnictví (dokumentace sbírkových předmětů, viz např. Marshall 2019, numismatika aj.), uměnověda (dokumentace malovaných povrchů aj., viz např. Dhanda 2019) a jistě i další.

3.2.2 Využívané dokumentační metody – přehled

Vyjdeme-li při našich úvahách z aplikací v památkové péči, pak jsou hlavním návodným zdrojem metodické publikace Národního památkového ústavu (NPÚ). V kontextu našeho záměru se jeví z mnoha vydaných následující dvě jako nosné.

První zpracovaná Veselým (2014) se zabývá komplexně problematikou měřické dokumentace historických staveb. Důležitou tezí textu, kterou je vhodné zdůraznit, je doporučení pro volbu vhodné kombinace dokumentačních metod. Některé metody jsou vhodné spíše pro dokumentace celků a jiné se hodí více pro dokumentaci detailů. Tyto metody jsou v popředí našeho zájmu. Podobný přístup k dokumentaci potvrzuje mezi jinými ve svém článku např. Spairani-Berrio (2019), kde pozemní laserové skenování uvádí jako metodu pro zachycení celku a fotogrammetrii pro detailní dokumentaci jeho vybraných částí.

Ve druhé zpracované Václavíkem (2014) se již pozornost věnuje primárně elementárním částem staveb tedy architektonickým prvkům (průzkum, dokumentace a inventarizace). S ohledem na rozměry artefaktů je bližší námi řešené problematice.

Jako další zdroj doplňující a rozšiřující záběr obou zmíněných metodických publikací NPÚ je možné uvést např. práci Plzáka (2016b). V ní mj. shrnuje soudobé metody pro získání 3D dat v aplikaci archeologie a uvádí přehledná schémata třídění metod z pohledu různých autorů.

3.2.3 Třídění metod

Metody pro dokumentaci lze dělit podle různých hledisek. Mezi hlavní hlediska jistě patří měřičnost výstupů a jejich dimenze (2D/3D) – tj. zda se jedná o exaktní dokumentaci (v našem případě tedy záznam povrchu). Její výsledky lze metricky analyzovat – tj. např. vyčíslvat

úbytek materiálu po restaurátorském zásahu. Metody podle tohoto hlediska třídíme na měřické a neměřické.

Mezi *neměřické metody* dokumentace drobných artefaktů uváděné ve výše uvedených zdrojích patří – kresebná dokumentace, překreslování stop na folii, frotáž, prostá fotodokumentace (reliéfní fotografie s vhodným nasvícením a vložením měřítka/barevné škály) a metoda RTI (Reflection Transformation Imaging), viz dále. Všechny tyto metody zároveň poskytují pouze 2D výstup. Na stálý význam starých metod „tužka+papír“ i v digitálním věku upozorňuje Gembinski (2016).

Mezi *měřické metody* pak patří – fotogrammetrie (FTG), 3D skenování (3DS) a fotometrické stereo (FS). Výsledkem dokumentace těmito metodami jsou 3D data.

Dalším třídícím kritériem pak může být způsob sběru dat. Z tohoto pohledu rozdělujeme metody na *kontaktní* (tj. přímé měření na objektu, např. mechanické) a *bezkontaktní*, mezi něž patří všechny výše uvedené měřické metody.

V rámci bezkontaktních (optických) metod lze ještě rozlišit metody *pasivní* (pouze záznam – např. FTG) a *aktivní* (3DS – např. emitace a pak záznam odrazu laserového paprsku).

3.2.4 Měřická dokumentace – fotogrammetrie

Fotogrammetrie nabízí celou škálu metod. Blízkou fotogrammetrii popsali ve své práci mj. Coe et al. (1992), kteří prokázali, že tato technika je dostatečně citlivá detekovat ztrátu povrchu 0,1 mm za rok po dobu čtyř let. Novější práce poukázaly na důležitost lidské interpretace v oblasti blízké fotogrammetrie (Inkpen et al., 2000) a ukázaly, jak kombinovat laserové skeny s blízkou fotogrammetrií (Ressl, 2007). Pro účely 3D dokumentace drobných artefaktů je nejvhodnější metoda založená na využití obrazové korelace (využívající algoritmy SfM - Structure from Motion, či MVS - Multi-View Stereo). Techniky založené na korelaci se označují zkratkou IBMR (Image based modeling and rendering) a hlavní princip spočívá v tom, že se automatizovaným postupem ze sady vstupních snímků vytváří husté mračno bodů (tzv. point cloud), případně polygonový model (tzv. mesh) a digitální ortofoto (odvozený 2D výstup). Metoda je využívána jak pro dokumentaci celků, tak i detailů. Tato metoda patří podle zkoumaných zdrojů mezi zdaleka nejčastěji využívané.

Mezi zajímavé aplikace zmíněné ve zdrojích související s námi řešeným tématem patří:

- aplikaci při dokumentaci geometrických nákrešů v omítkách uvádí např. Chaloupka (2019).

- aplikaci při dokumentaci rytin na lesklých površích (mramorový obklad stěny) s využitím nástrojů pro automatizovanou analýzu obrazu a s použitím polarizačních filtrů při snímkování popisuje Abate (2019)

- aplikaci při dokumentaci poškození povrchu malby na dřevě (ikony) s použitím tzv. makrofotogrammetrie uvádí Angheluță (2019)

- o aplikaci při dokumentaci ostří nástrojů a stop po opracování dřeva/trámů píše Weigert (2021)

- aplikace při dlouhodobém 3D monitoringu kamenných soch uvádí Kozub (2016)

- porovnání využití fotografických snímků a videa jako zdrojů primárních obrazových dat popisuje Torresani (2019)

Ve výčtu by jistě bylo možné dále pokračovat. Obecně lze konstatovat, že s využitím fotogrammetrie lze dosáhnout kvalitních výstupů, jak dobře dokumentují projekty v odkazovaných zdrojích, a to při dodržení doporučených technologických postupů. Klíčovými jsou v tom ohledu otázky kvality vstupních dat – obrazová kvalita snímků a kvalita vlíčovacieho podkladu. Důležitou otázkou také je, zda je dokumentace prováděna přímo v terénu nebo v laboratořích. To silně ovlivňuje využití technologie, protože v terénu bývá snahou využívat co nejjednodušší postupy.

Vlícovací podklad potřebný pro ustavení měřítka a případně i orientace výsledného modelu bývá řešen různě. Klasické geodetické zaměření bodů např. totální stanicí není s ohledem na přesnost, v níž se mají výsledky pohybovat (řádově desetiny mm), reálné. Využívají se tedy různá jiná řešení. Jedním z nich je např. využití kalibrovaných kriminalistických měřítek, viz např. Cihla (2021). Ty lze s výhodou jednoduše využít i v terénu. Uváděno je i využití speciálně vyrobených přípravků typu tzv. kalibračního normálu, viz Charvát (2012), které se však omezují spíše na laboratorní prostředí. Další možností je využití speciálních „pomůcek“ (typu stereozákladna) k FTG systému na tabletu, jak uvádí Angás (2019).

Základní výhodou FTG metody je, že nároky na speciální vybavení jsou poměrně malé. Kvalitní snímky lze pořídit vcelku běžnou digitální fototechnikou (zrcadlovka, bezzrcadlovka), aniž by trpěla geometrická kvalita výsledku. Vlícování je možné provést s využitím kalibrovaného měřítka. Větší výdaje jsou spojeny pouze s nákupem specializovaného FTG software. Pro analýzu dat typu mračno či model existují i poměrně kvalitní open source řešení, např. systém CloudCompare. Dosažení přesnosti, resp. detailnost zachycení povrchu s využitím běžného vybavení v řádu několika málo desetin mm se jeví reálné. V porovnání např. s metodou 3DS je oceňována kvalita textury výsledného 3D modelu, viz Nosek (2014).

3.2.5 Měřická dokumentace – 3D skenování

3D skenovací systémy se dělí na dvě základní skupiny. První skupinou jsou systémy polární (někdy značeno TLS – terrestrial laser scanner), kdy se měří pomocí laserového paprsku přímá vzdálenost mezi přístrojem a zaměřovaným bodem. Tyto systémy jsou hojně využívány pro dokumentaci celků, viz výše. Druhou skupinou jsou systémy triangulační, kdy se pro účely zjištění 3D polohy bodů využívá známá základna a využívají se jedna nebo dvě kamery pro záznam místa dopadu laserové stopy. Tato skupina skenerů je využívána v aplikacích, jimiž se zabýváme.

Mezi zkoumanými zdroji se nicméně využití triangulačních skenerů objevuje v porovnání s FTG jen ve velmi omezené míře. Zčásti to může být způsobeno poměrně vysokou finanční náročností při pořízení systému (řádově více, než pořízení kvalitního fotoaparátu). Zčásti jistě také hrají roli určitá omezení plynoucí z metody samé. Na tomto místě je možné uvést např. problematiku proměnné odrazivosti – je silně ovlivněna materiálem objektu (např. kamenné prvky zašpiněné černými sazemi bude těžké touto metodou dokumentovat). Další občas uváděnou „vadou“ je nepřesné zachycení hran způsobené změnou průměru měřícího laserového paprsku se vzdáleností (klesající rozlišovací schopnost). Podrobněji se věnuje souhrnu informací a zdrojů o metodě Plzák (2016b).

V práci Dhandy (2019) týkající se geometrické dokumentace malovaných povrchů (např. tahy štětcem typické pro toho kterého umělce) bylo prováděno porovnání metod FTG, FS (resp. fúze jejich výstupů) s výstupem 3D triangulačního skenování. Ačkoliv se v závěru vyjadřuje na podporu využívání FTG/FS jako „levné alternativy“ zmiňuje, že v některých aspektech poskytuje skenování lepší výsledky. To mj. dává do souvislosti odkazem na stále řešenou problematiku odrazivosti u FS (uvádí např. vliv na změnu kvality modelu na jeho krajích).

Mezi další zajímavé aplikace zmíněné v informačních zdrojích související s námi řešeným tématem patří:

- aplikaci při dokumentaci (společně s FTG) objektu a účelem doplnění/nahrazení chybějících či poškozených částí kamenného reliéfu popisuje Hayes (2015).
- aplikaci při dokumentaci degradace kamene v procesu umělého stárnutí uvádí Janvier (2016)
- obecně se trendům digitalizace v kamenické praxi věnuje McGibbon (2016)

3D skenování je relevantní metodou pro práce typu detailní dokumentace povrchů. Přesnost, s jakou je výsledek získán, závisí mj. na parametrech využitého přístroje. Mezi často zmiňovanými nedostatky patří vliv odrazivosti materiálu na výsledek a případná neostrost na hranách. Většímu rozšíření a častějšímu využívání brání nejspíše finanční nákladnost

technologie. FTG metody dávají souměřitelné výsledky, přičemž vstupní náklady mohou být řádově nižší.

3.2.6 Měřická dokumentace – fotometrické stereo

Metoda fotometrického sterea a metoda RTI vycházejí ze společných základů. Primární je pořízení souboru snímků zkoumaného objektu a jejich specializovaného zpracování. Na rozdíl od FTG jsou všem snímky pořízeny z jednoho místa a taktéž předmět zájmu zůstává nehybný. Co se v průběhu snímkování mění je osvětlení, které je měněno systematicky. V některých případech využívá i speciální tzv. světelný dóm. Pro zachycení směru přicházejícího světla se používají např. lesklé koule různé velikosti (změna polohy odlesku snímků od snímku). Dulecha (2021) se ve své obsáhlé práci podobně podrobně věnuje jak metodě RTI resp. MLICs (Multi-Light Image Collections), tak metodě FS. Z našich autorů je možné uvést např. Plzáka (2016a), který v článku vysvětluje princip metody RTI a ukazuje její aplikaci v numismatice (dokumentaci mince). Valach (Drdáček 2015) se věnuje jak popisu principu FS, tak představení experimentálního zařízení pro sběr dat, popisu úskalí využití metody a jejím aplikacím.

V čem se tedy obě metody liší? Cílem u metody RTI je pomoci uživatelům při detailním zkoumání tvarového členění zkoumaného artefaktu. Nejde ovšem o metodu měřickou, protože výsledkem zpracování je „obrazová kompozice“. Její zkoumání probíhá ve speciálním prohlížečím software pouze změnou vizuální podoby tohoto obrazového souboru interaktivní změnou osvětlení. Lze tak zjistit i jemné prostorové členitosti za běžných podmínek okem nepostřehnutelné. Nicméně exaktní měřický (geometrický) výstup chybí. Metoda FS jde v tomto ohledu dále. Na základě analýzy množství odraženého světla se snaží o odhad normál povrchu a tedy orientace/sklonitosti povrchu a následně k vytvoření 3D modelu povrchu. Základním aktuálně stále řešeným problémem je problematika zavedení znalosti odrazivých vlastností povrchů (viz také výše) do výpočtů. Původně bylo použití metody omezeno pouze na difuzní povrchy (tzv. lambertovské).

Mezi zdroji o dokumentaci povrchů stále převládají odkazy využití metody RTI, nicméně je předpoklad, že postupně bude více uplatňována i metoda FS. Jako příklady z praxe lze uvést:

- aplikaci při dokumentaci náhrobků za účelem zvýšení čitelnosti nápisů na nich popisuje Graham (2016)
- aplikaci při klasifikaci olejomalb s využitím strojového učení a dat RTI uvádí Kim (2019)
- aplikací při dokumentaci povrchu mapy metodou RTI se zabývá Cummings (2018)

- využití multispektrálního snímkování při RTI (také UV a IR část spektra) a analýze uměleckých děl popisuje Giachetti (2017)

Využití FS je stále ještě v začátcích. Kromě jiného vyžaduje pro snímkování specializované zařízení a některé aspekty zpracování jsou stále ještě předmětem výzkumu (podchycení odrazivosti materiálů). Naproti tomu „sesterská“ metoda RTI je při dokumentaci již běžně používána. Nejedná se ale v jejím případě o metodu měřickou, a to její využití při exaktní dokumentaci vylučuje.

3.2.7 Měřická dokumentace - zhodnocení

Hlavním cílem této části textu bylo prozkoumat současné možnosti měřické dokumentace malých artefaktů z hlediska používaných metod, potřeby specializovaného vybavení k nim a celkové náročnosti (technologické, finanční, časové aj.).

V literatuře se uvádí především tři využívané metody – fotogrammetrie, 3D skenování a fotometrické stereo. Všechny mají dle zdrojů potenciál poskytnout v dané oblasti zájmu (tj. malý předmět/artefakt = požadavek vysoké geometrické přesnosti v řádu 0,1 mm i vyšším) odpovídající výsledky typu 3D model. Metody se tak liší především nároky na specializované vybavení. V tomto ohledu je nejpoužívanější metodou FTG, která je mnohými výše zmíněnými autory označována za „nízkonákladovou“. Ačkoliv metoda 3DS může přinášet v některých aspektech lepší výsledky, je nejspíše právě s ohledem na vstupní náklady mnohem méně využívána. Obě metody lze dobře využít jak v podmínkách laboratoře, tak v terénu. Metoda FS je stále předmětem zkoumání, resp. vývoje a dá se říci, že postupy s ní spojené se teprve „ustalují“. Ačkoliv i u ní jsou uváděny terénní aplikace, vzhledem k potřebě např. světelného dómu je vhodnější spíše pro laboratorní dokumentaci.

Jistě existují i další v textu nezmíněné metody a postupy. Jejich využití je ovšem ve sledované oblasti zatím omezené např. kvůli vazbě primárně na laboratorní podmínky. Na tomto místě je možné např. uvést metodu 3D skenování pomocí strukturovaného světla (STL 3D scanning). O jejím využití v archeologii a porovnání s FTG pojednává např. Nosek (2014). Jde o jednu z forem výše zmíněného 3D skenování založeného na triangulaci.

Pro zpracování předkládaného památkového postuou byla na základě získaných poznatků zvolena FTG (konkrétně metoda IBMR) s využitím kriminalistických měřítek pro vlícování a pořizováním sady snímků (nikoliv tedy videosekvence). Tato volba vycházela především z následujících požadavků: co největší jednoduchost postupu (využitelná i pro „poučené laiky“); primární využití v terénu; minimalizace vstupních nákladů. Zastřešujícím kontextem

pak bylo dosažení požadované vysoké geometrické přesnosti 3D výstupů (řádově jednotlivé desetiny mm).

3.3 Experimentální ověření vlivu restaurátorského zásahu na stopy opracování

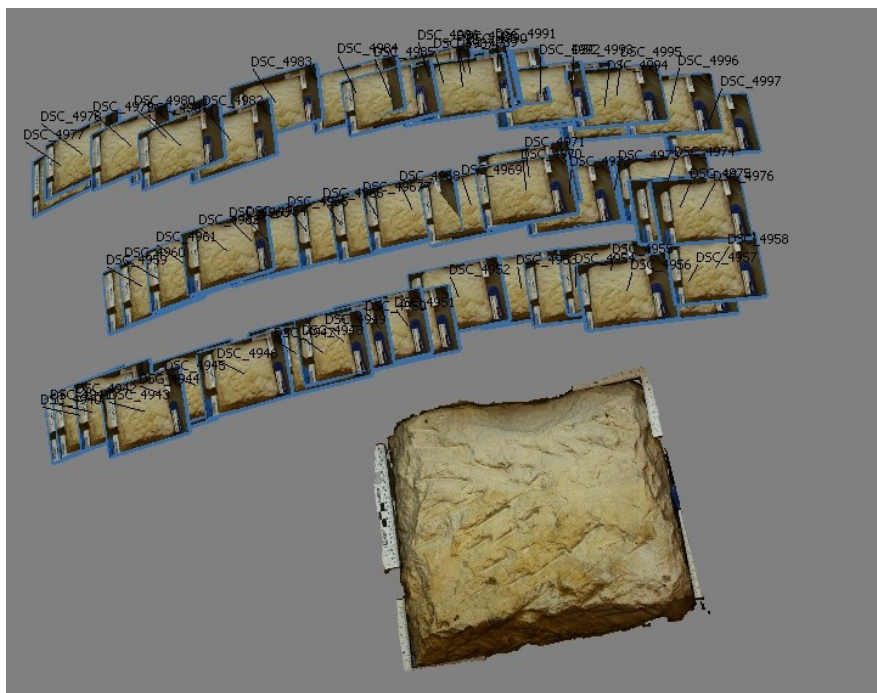
V rámci našeho experimentálního výzkumu vedoucího k sestavení památkového postupu jsme se zaměřili na fotogrammetrické vyhodnocení vlivu restaurátorských zásahů na stopy opracování na povrchu klastických sedimentárních hornin a vápence, které jsou ze své petrografické podstaty nejvíce náchylné na nevhodné restaurátorské zásahy. Ve všech případech byly zkoumány historické kamenné artefakty s původními stopami opracování. Povrch musel být stále natolik soudržný, aby existovala možnost zachování stop po očištění povrchu bez jeho předchozího zpevnění. Pro restaurátorské ošetření povrchu kamene byly zvoleny následující metody: čištění čpavkovou vodou, aplikace pasty Art Peel (100:50 a 100:10; https://www.revivo.si/art_peel_2l), aplikace prostředku Schmutzlöser firmy Remmers (https://media.remmers.com/celum/export/documents/TM_0671_cs_CZ_284_74777.pdf), použití ocelového kartáče a měkkého nylonového kartáče společně s destilovanou vodou. Na základě odborné konzultace byla ještě doplněna metoda laserového čištění povrchu. Volba použitých metod vycházela z požadavku, aby byly reprezentovány metody od těch nejšetrnějších ke změnám na povrchu až po ty, kde lze očekávat nejvyšší míru poškození stop po opracování.

Celkem bylo zkoumáno 5 kamenných artefaktů, 3 z opuky, 1 z pískovce a 1 z vápence. Většina zkoumaných prvků byla rozdělena na dvě části, na kterých byly provedeny rozdílné metody ošetření povrchu. Tento postup byl zvolen mj. i proto, abychom mohli porovnat vliv různých metod na stejný materiál nesoucí stejné stopy opracování a ověřili využitelnost blízké fotogrammetrie pro účely výběru vhodného restaurátorského zásahu v případě, kdy je zapotřebí zvolit z více možností. Zkoumané artefakty byly přesně fotogrammetricky zaměřeny před a po provedení restaurátorských zásahů, aby bylo možno posoudit a vyhodnotit změny v míře zachování stop opracování, viz dále. Popis experimentálního stanovení vlivu restaurátorských zásahů v jednotlivých případech je popsán dále.

Výběr metody/technologie pro provedení exaktní měřické dokumentace povrchů jednotlivých vzorků vycházel z několika předpokladů. Prvním byl požadavek na vysokou detailnost a geometrickou přesnost takto vytvářené dokumentace. Druhým byl požadavek, aby dokumentace byla provedena před a po zásahu, přičemž se předpokládalo, že mezi oběma etapami bude časový odstup v řádu jednotlivých měsíců. Třetím byl požadavek, aby vyžítá technologie byla přístupná i “poučenému laikovi” a nevyžadovala speciální/unikátní znalosti

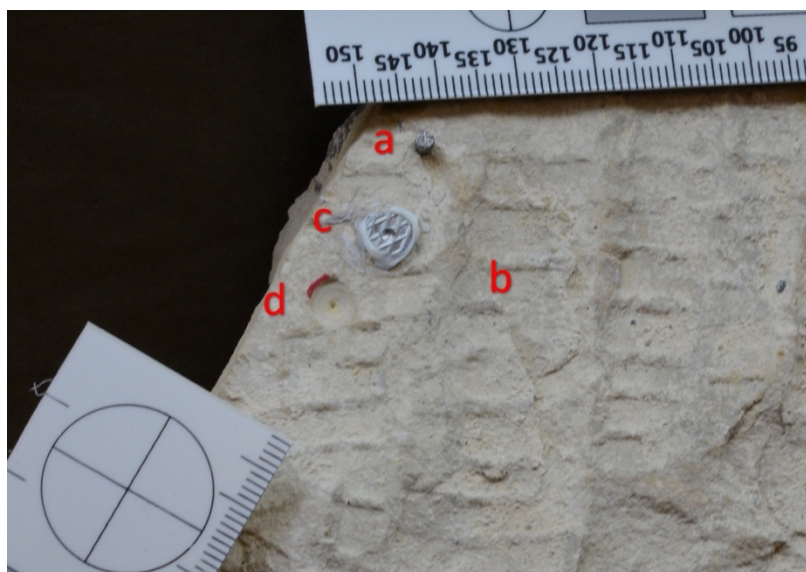
a vybavení. Nabízely se dvě technologie v současné době velmi využívané při dokumentaci historických objektů, jejich dílčích částí, a i jednotlivých artefaktů (viz např. doporučení v příslušných metodických publikacích NPÚ). Jde o metody hromadného sběru 3D dat a to: fotogrammetrické technologie (FTG) založené na obrazové korelaci (IBMR-Image Based Modeling and Renderig) a 3D skenování. S ohledem na nižší náročnost na speciální vybavení byla pro dokumentaci vybrána technologie fotogrammetrická.

Obě etapy snímkování vzorků probíhaly v laboratorních podmínkách. Pro snímkování byla využita běžná poloprofesionální digitální zrcadlovka (DSLR) Nikon D7100 s objektivem s pevným ohniskem (AF-S DX MICRO Nikkor 40 mm f/2,8G). Snímkování bylo provedeno s využitím poznatků získaných dřívějším testováním zaměřeným mj. na počet a konfiguraci snímků, volbu osvětlení, nastavení parametrů kamery apod., více viz (Zemánková). Pro každý vzorek tak byly pořízeny desítky snímků (50 - 70) konfigurovaných do řad (obr. 2).



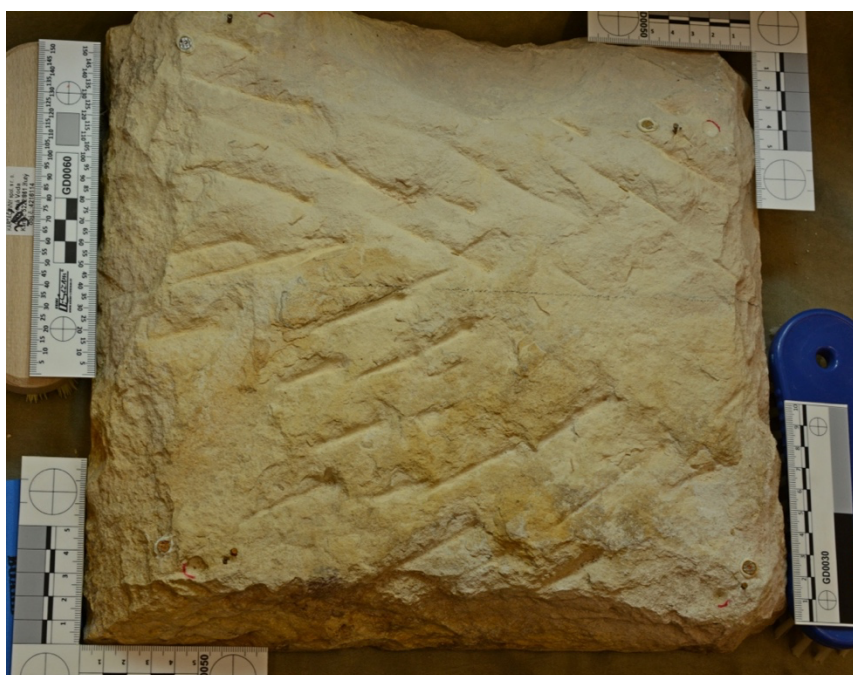
Obr. 2 Náhled konfigurace snímků u jednoho ze vzorků.

Ještě před finálním snímkováním bylo nutné zabývat se otázkami spojenými s budoucím porovnáváním dvou etap měření, resp. s vtlčováním vzniklých mračen/modelů na sebe. Za tímto účelem byly na vzorky vyznačeny různé typy identických bodů (obr. 3).



Obr. 3 Náhled využitých typů identických bodů - a) hřebíček; b) značka sekaná; c) značka lepená; d) značka vrtaná.

Důležitou oblastí, kterou bylo nutné se také zabývat byla přesnost vytvářených 3D dat. Ta má přímou spojitost s využitým systémem vlícování (nastavení rozměru a orientace 3D výstupu). Ze dvou možností – využití v souřadnicích známých vlícovacích bodů a využití rozměrových měřitek byla hlavně s ohledem na jednoduchost provedení použita možnost druhá. Využita byla kriminalistická plastová měřítka “LT Sezam” různých typů. Tato měřítka jsou dodávána s kalibračním listem, který deklaruje jejich rozměrovou přesnost (v řádu 0,05 – 0,1 mm s ohledem na délku úseku). Ukázka snímku vzorku s měřítka je na obr. 4.



Obr. 4 Snímek vzorku “kámen 3” s měřítka (etapa po restaurátorském zásahu).

FTG zpracování snímků pro všechny vzorky a obě etapy proběhlo standardním technologickým postupem. Využit byl programový systém Metashape (firmy Agisoft). Aby byly co nejvíce eliminovány případné systematické chyby, tak veškeré zpracování prováděla jedna pracovnice s velkým důrazem na standardizovaný postup. V rámci jednotlivých etap FTG zpracování byly nastavovány parametry výpočtů zjištěné podrobným testováním v přípravné fázi projektu. Šlo např. o parametry orientace modelu, tvorby mračna bodů apod. Průběh zpracování všech FTG projektů byl dokumentován protokoly.

Na obrázku 5 je znázorněn výřez z jednoho z FTG protokolů dokumentující počet a velikosti délek využitých na měřících a na nich dosaženou přesnost (pro FTG projekt vzorek “kámen 3” etapa po zásahu) s volbou bodů v rámci měřítek.

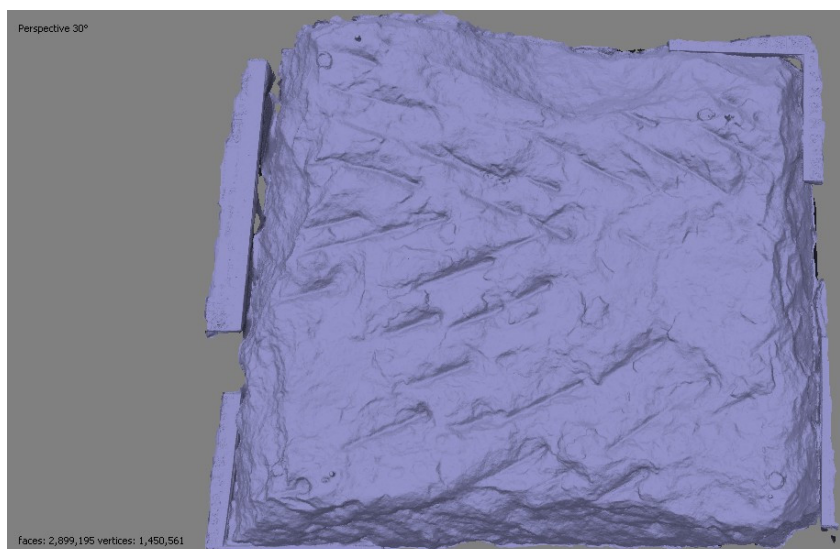
Label	Distance (m)	Error (m)
point 1_point 2	0.0700941	9.41485e-05
point 3_point 4	0.0700143	1.43003e-05
point 7_point 8	0.069966	-3.40237e-05
point 9_point 10	0.139933	-6.68022e-05
point 11_point 12	0.11995	-5.04858e-05
point 5_point 6	0.0900446	4.4617e-05
Total		5.66099e-05

Table 3. Control scale bars.



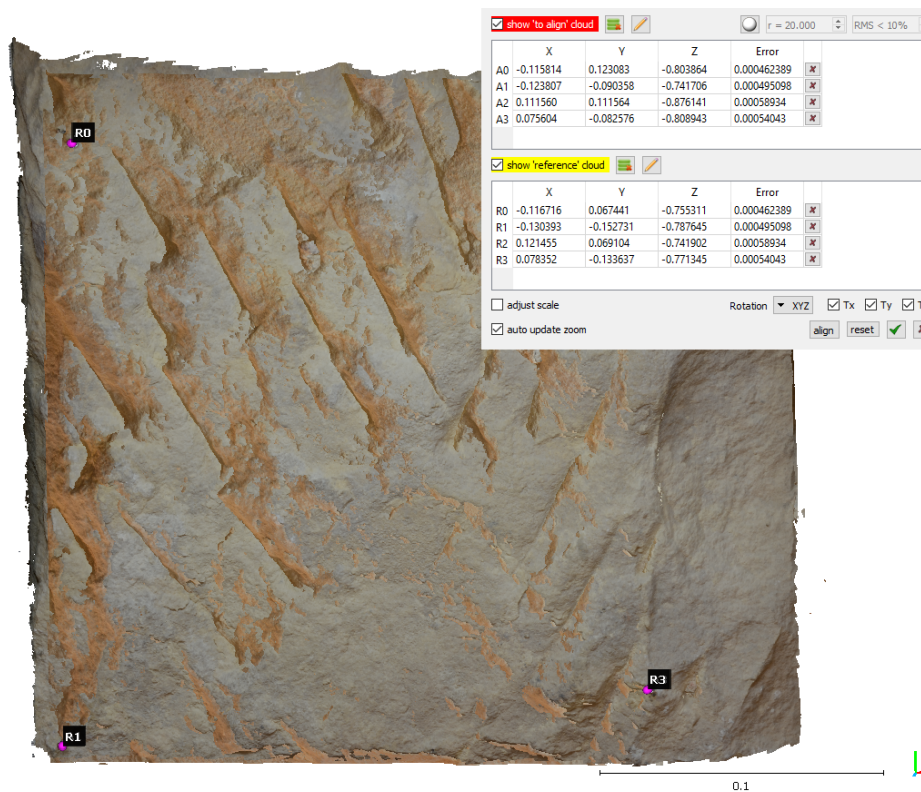
Obr. 5 Vlevo – výřez z jednoho z FTG protokolů; vpravo – volba bodů v rámci měřítek.

Při FTG zpracování snímků byla s využitím měřítek docílena geometrická přesnost 3D výstupů v rámci 0,05 – 0,2 mm (obr. 5), viz dále. Další zpřesnění by již vyžadovalo specializované pomůcky a vybavení, viz úvaha o volbě technologie výše. Hlavním 3D výstupem všech FTG projektů bylo mračno bodů. Počet bodů “očištěných” mračen se pohyboval v závislosti na velikosti vzorku mezi 13 – 25 mil. bodů, viz dále. Na základě mračna byl ještě vytvářen polygonový model (mesh) ve variantě bez textury (obr. 6) i s texturou.



Obr. 6 Ukázka jednoho z výstupů FTG zpracování – 3D polygonový model vzorku bez textury.

Posledním krokem FTG zpracování 3D dat bylo vlícování (lze též referencování/registrace) datových souborů z obou etap “na sebe”. Za tím účelem byly využity dříve zmíněné identické body, které nebyly restaurátorským zásahem dotčeny (tj. byly voleny tak, aby ležely mimo oblast zásahu). Tyto body posloužily pro výpočet transformačního klíče k přiřazení jednoho souboru ke druhému, viz obr. 7 níže. Referenčním souborem byla data před zásahem. Pro výpočet klíče shodnostní transformace byl využit specializovaný free software XYZTtrans. Pro vlastní transformaci, a i pro následnou analýzu výsledků, byl využit open-source software CloudCompare. Testováním v přípravné fázi projektu bylo zjištěno, že typ identického bodu, viz obrázek 3 výše, nemá přímý vliv na přesnost. Geometrická přesnost přiřazení daná přesností plynoucí z výpočtu transformačního klíče se pro jednotlivé vzorky pohybovala kolem hodnoty 0,15 mm, viz dále. Protokoly o výpočtu byly opět archivovány.

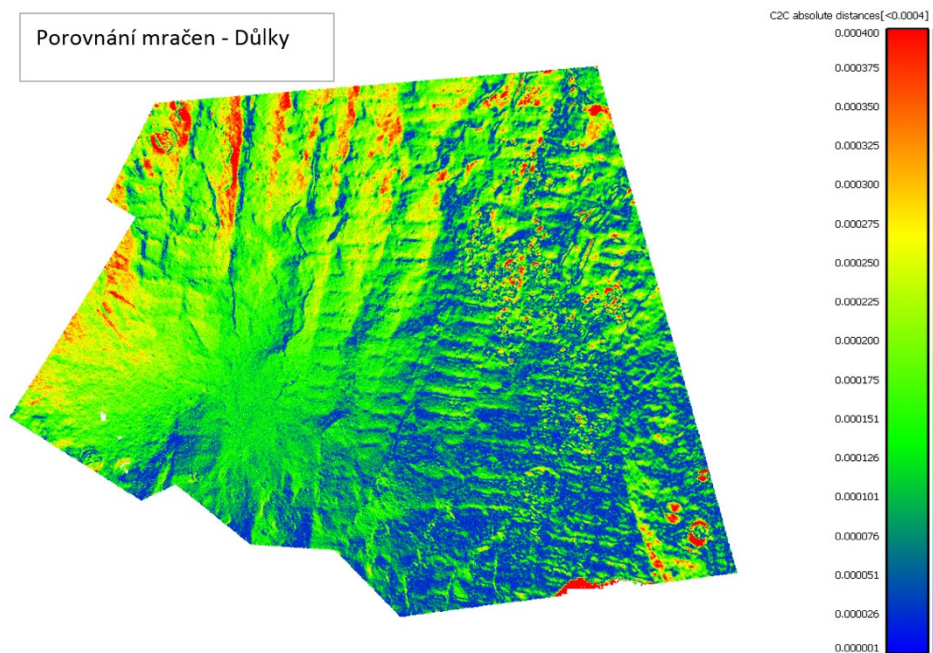


Obr. 7 Ukázka sběru dat v software CloudCompare pro účely výpočtu transformačního klíče.

Pro účely závěrečné analýzy 3D dat byl vybrán již zmíněný software CloudCompare. Při výběru softwarového nástroje se vycházelo jak z dříve provedeného zevrubného testování (Němec), tak z našich doplňkových pokusů v přípravné fázi. Byla posuzována vypovídací schopnost “vizuálních výsledků” z plošného 3D porovnání mračen bodů (obr. 8) a polygonových modelů a taktéž z 2D porovnání mračen formou svislých řezů vhodně zvolenými rovinami. Jako nejprůkaznější (v kontextu souboru všech vzorků) a pro další účely nejvhodnější se nakonec ukázalo využití řezů, viz dále v textu.

Pro analýzu dat formou řezů v software CloudCompare přímo “uživatelé dat” byly zpracovány návodné podklady ve formě videa.

S ohledem na výše uvedené je možné závěrem shrnout – pokud jde o geometrickou kvalitu, detailnost a vypovídací schopnost dokumentace, byly s využitím vcelku běžných pomůcek dosaženy kvalitní výsledky. Geometrická přesnost modelů se pohybuje v jednotlivých desetínách mm stejně jako přesnost přiřazení obou datových sad (před a po). Je možné kvalifikovaně odhadnout, že z výsledných přiřazených mračen lze odečítat jejich rozdíly s přesností/rozlišením v rozmezí 0,2-0,4 mm. Výstupy ve formě řezů mračny dobře zachycují obecné trendy (např. oblasti, kde materiálu zásahem ubylo).



Obr. 8 Ukázka jednoho z pracovních výstupů plošného porovnání mračen bodů.

Při stanovení konkrétní hodnoty úbytku je však potřeba vzít na zřetel výše zmíněnou přesnost. Pro detailnější analýzy by jistě bylo nutné zvolit metody a pomůcky specializované, resp. pro daný účel nově zkonstruované. Časová a ekonomická náročnost by tak byla vyšší. Naším cílem bylo využití technologií běžně dostupných, v terénu jednoduše aplikovatelných a získat výstupy na “samé hranici možného” (z hlediska kvality). Je možné říci, že se toto zadání z pohledu detailní měřické dokumentace povrchů podařilo splnit.

3.3.1 Experimentální ověření – kamenný artefakt č. 1

Jedná se o opukový fragment velikosti 32 x 20 cm pocházející z objektu č. p. 499/7 v Havelské ulici v Praze. Při sanačních pracích byl nalezen soubor fragmentů, které svým opracováním vykazují středověké rysy. Zkoumaný povrch byl finálně přerovnan sekerou s plochými zuby. Způsob práce naznačuje období provedení ve 14. století.

Na povrchu zkoumaného líce byl aplikován dvojitý restaurátorský zásah. Lícový povrch byl rozdělen na plochu A a B, kde plocha A byla očištěna tzv. „čpavkovou vodou“, v poměru 1 díl čpavku, 2 díly peroxidu a 3 díly destilované vody. Roztok byl na povrch nanesen nylonovým jemným štětcem o šířce 2 cm a nechal se působit hodinu. Nanášení bylo prováděno rovnoměrnými tahy štětcem v ose stop po zubatém ostří. Poté byl povrch smyt destilovanou vodou a proces se opakoval ještě 3 x.

Druhá plocha pod označením B, byla očištěna mechanicky ocelovým kartáčem (obr. 9). Tento kartáč s ergonomickou plastovou rukojetí je doporučován při práci na úzkých místech. Ocelové dráty jsou vlnité o velikosti 265 x 25 mm. Tloušťka drátu je 0,3 mm. Práce s tímto kartáčem byla opět aplikována v rovnoměrném směru, v tomto případě kolmo na osu dochovaných zubů kamenické sekery. Čištění bylo tedy prováděno v pásech širokých 2,5 cm při cca 10 tazích kartáče.

Při detailní fotogrammetrické dokumentaci povrchů tohoto vzorku byly dosaženy následující parametry – přesnost výpočtu prvního modelu (určená s využitím nadbytečného počtu délek na měřících) “před zásahem” byla 0,085 mm (kdy počet užitých délek byl 8) a druhého modelu “po restaurátorském zásahu” byla 0,07 mm (kdy počet užitých délek byl 6). Počty bodů vypočtených mračen byly u tohoto vzorku 17,1 (před) a 15,2 mil. (po). Kvalita vlivování obou mračen vyplývající z výpočtu transformačního klíče byla 0,14 mm (kdy počet identických bodů byl 7).

V prvním případě, tedy aplikaci čpavkové vody, při porovnání výsledných řezů na sebe přiložených je patrné, že řezy 3 a 2 v místech plochy A ukazují vzájemnou korelaci průběhu linie, což značí, že nedošlo k téměř žádnému úbytku materiálu. Tato metoda s aplikací čpavkové vody byla v tomto případě velmi šetrná jak k povrchu samotnému, tak i k opracovaným stopám.

Druhá metoda aplikovaná na části povrchu B ocelovým kartáčem vykazovala již změny, které na první pohled nejsou patrné. Řezy 1 a, b ukazují materiálové změny. Dochází k úbytku materiálu a při podrobném zkoumání povrchu dochází i k deformaci stop po opracování. Propisují se rýhy po ocelových štětinách, které ve finále mění celkový charakter stop, což je patrné na detailu obrázku z plochy „B“.



Obr. 9 Opukový fragment ošetřený čpavkovou vodou (A) a ocelovým kartáčem (B) s vyznačením řezů sloužících k vyhodnocení změn po restaurátorských zásazích.

3.3.2 Experimentální ověření – kamenný artefakt č. 2

Jedná se o opukový fragment o velikosti 32 x 24 cm pocházející z objektu č. p. 553 v Celetné ulici, v domě U Sixtů v Praze. Zkoumaný povrch byl finálně přerovnan silnými údery ručního úzkého dláta a palicí. Způsob práce naznačuje období provedení v 17. – 18. století.

Na povrchu zkoumaného líce byl aplikován dvojitý restaurátorský zásah. Lícový povrch byl rozdělen na plochu A a B, kde plocha A byla očištěna metodou „Art Peel“ a plocha B byla očištěna měkkým nylonovým kartáčem (obr. 10). Art Peel je čistící systém vytvořený

pro čištění povrchů kamenů, fresek a malt. Jedná se o pastový systém, který odstraňuje prach, saze, usazeniny nikotinu atd. z povrchů. Art Peel se skládá ze dvou složek, kde se první Peel – Base a druhá Peel – Active mísí v poměru 100:50. Smícháním těchto dvou složek vzniká pasta, která se nanáší na povrch kamene.

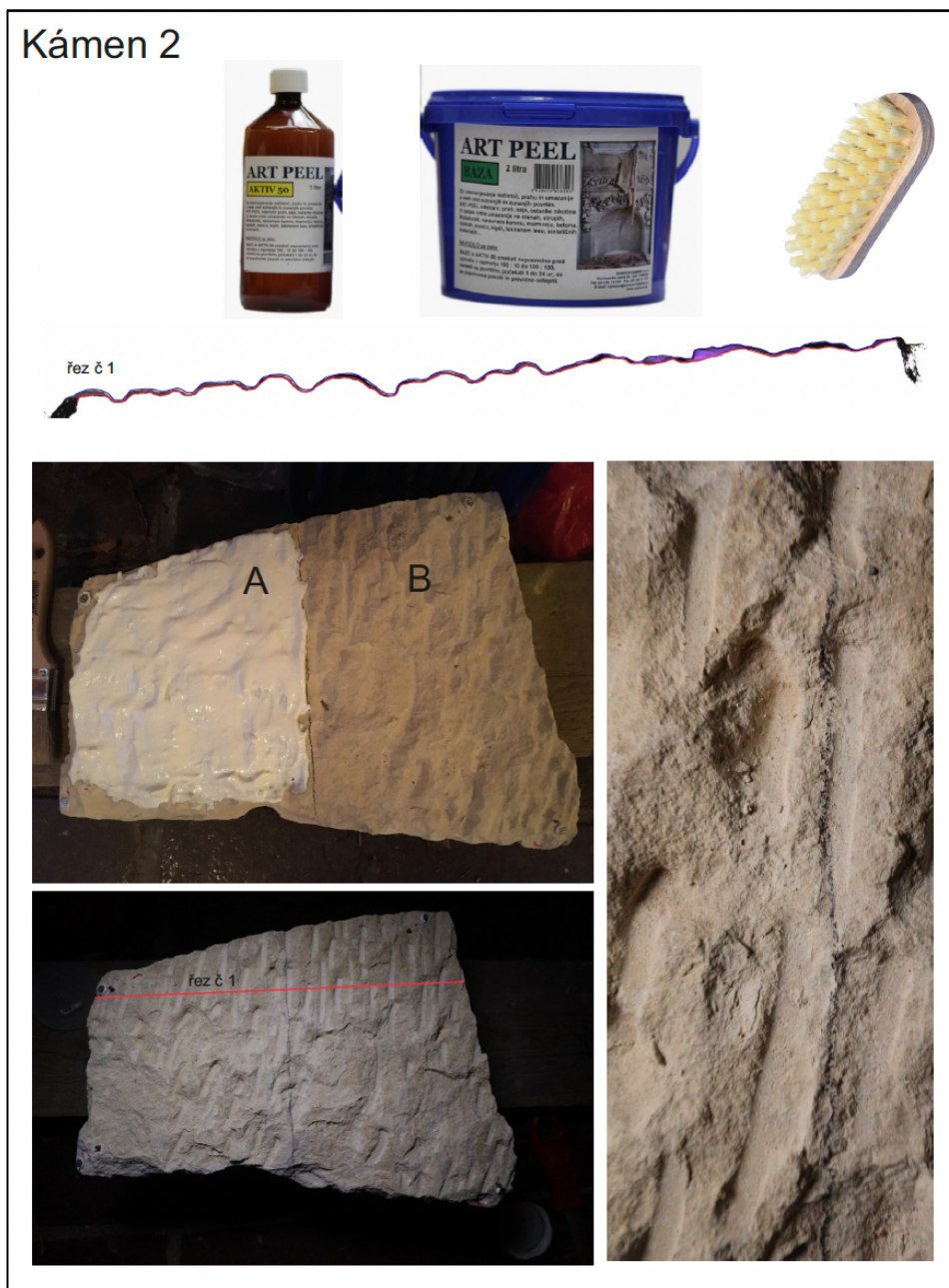
Art Peel vytvrzuje v závislosti na tloušťce aplikace a atmosférických podmínkách¹:

- 20°C – 40% r.h.: 3 hodiny
- 20°C – 65% r.h.: 3 hodiny
- 20°C – 95% r.h.: 22 hodin
- 30°C – 65% r.h.: 2,5 hodiny

Po vyzrání se vytvořený „film“ sloupne, přičemž je třeba věnovat pozornost jemnému odlupování, aby nedocházelo k sekundárnímu poškození opracovaného povrchu. Při druhé metodě se povrch B jemně čistil nylonovým kartáčem a destilovanou vodou. Zásah probíhal tak, že byla plocha postupně vlhčena a roztírána nylonovým kartáčem v jednom směru, tedy podélném směru stop z plochy kamene ven. Tato metoda byla aplikována třikrát za sebou tak, že kartáčem byly všechny nečistoty pečlivě vykartáčovány a smyty. Při této metodě, jak naznačuje řez č. 1, došlo k materiálové změně na povrchu líce a úbytku materiálu. Metoda Art Peel byla v tomto případě šetrnější k povrchu, nicméně k drobným deformacím stop došlo. Jednalo se ovšem o zanedbatelný úbytek v množství 0.02 mm mezi oběma povrchy.

Při detailní fotogrammetrické dokumentaci povrchů tohoto vzorku byly dosaženy následující parametry: přesnost výpočtu prvního modelu “před zásahem” byla 0,2 mm (kdy počet užitých délek byl 8) a druhého modelu “po restaurátorském zásahu” byla 0,06 mm (kdy počet užitých délek byl 6). Počty bodů vypočtených mračen byly u tohoto vzorku 21,2 (před) a 19,6 mil. (po). Kvalita vlícování obou mračen vyplývající z výpočtu transformačního klíče byla 0,15 mm (kdy počet identických bodů byl 6).

¹ r.h. = relativní vlhkost vzduchu



Obr. 10 Opukový fragment ošetřený metodou Art Peel (100:50) (A) a měkkým nylonovým kartáčem (B) s vyznačením řezu sloužícího k vyhodnocení změn po restaurátorských zásazích.

3.3.3 Experimentální ověření – Kamenný artefakt č. 3

V případě kamenného artefaktu č. 3 se jednalo o opukovou dlaždici o velikosti 31 x 31 cm pocházející z objektu č. p. 499/7 v Havelské ulici v Praze. Jedná se zřejmě o barokní dlažbu z 18. století. Opracování je tvořeno ručním špičákem. Rýhy jsou výrazné.

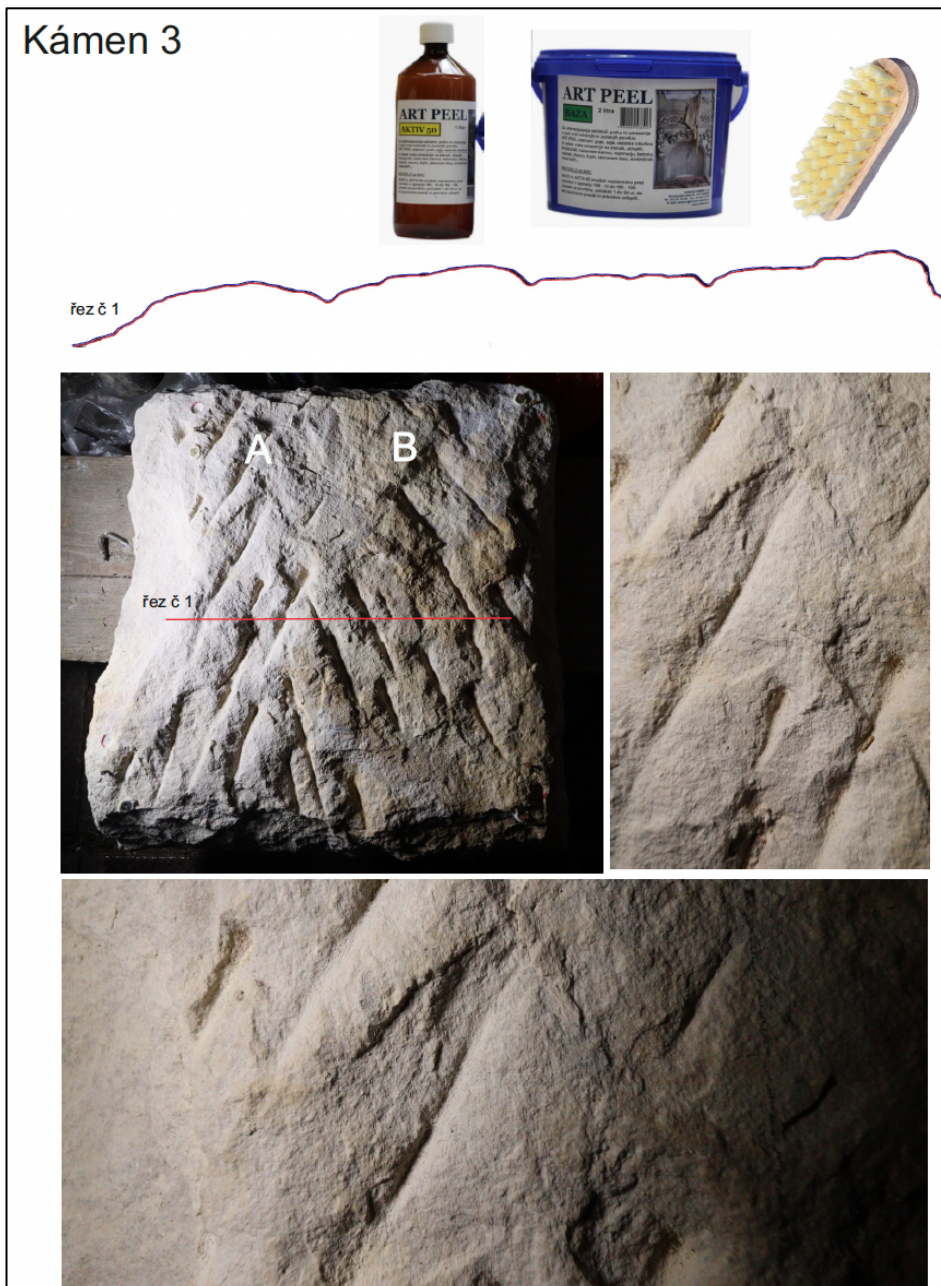
Na povrchu zkoumaného líce byl aplikován dvojitý restaurátorský zásah. Lícový povrch byl rozdělen na plochu A a B, kde plocha A byla očištěna metodou „Art Peel“ a plocha B byla

očištěna měkkým nylonovým kartáčem (obr. 11). Art Peel se skládá ze dvou složek, kde byla první Peel – Base a druhá Peel – Active míchána v jiném poměru než předchozí povrch, a to 100:10. Smícháním těchto dvou složek vzniká pasta, která se nanáší na povrch kamene. Vytvoří se souvislý film, který zraje doporučenou dobu 24 hodin a poté se sloupne.

Při druhé metodě byl povrch B jemně očištěn nylonovým kartáčem a destilovanou vodou. Při této metodě, jak naznačuje řez č. 1, došlo k materiálové změně na povrchu líce a úbytku materiálu. Metoda Art Peel v poměru 100:10 byla ještě více šetrná k povrchu než v předchozím případě (fragment č. 1). Nicméně je nutno konstatovat, že nebyla zkoušena na stejných horninových vzorcích, proto by např. v případě volby poměru obou složek s ohledem na zachování stop bylo nutné vyzkoušet obě varianty na stejném vzorku.

Při detailní fotogrammetrické dokumentaci povrchů tohoto vzorku byly dosaženy následující parametry. Přesnost výpočtu prvního modelu “před zásahem” byla 0,09 mm (kdy počet užitých délek byl 7) a druhého modelu “po restaurátorském zásahu” byla 0,06 mm (kdy počet užitých délek byl 6). Počty bodů vypočtených mračen byly u tohoto vzorku 17,8 (před) a 24,8 mil. (po). Kvalita vlícování obou mračen vyplývající z výpočtu transformačního klíče byla 0,14 mm (kdy počet identických bodů byl 5).

Kámen 3



Obr. 11 Opuková dlaždice ošetřena metodou Art Peel (100:10) (A) a měkkým nylonovým kartáčem s destilovanou vodou (B) s vyznačením řezu sloužícího k vyhodnocení změn po restaurátorských zásazích.

3.3.4 Experimentální ověření – Kamenný artefakt č. 4

V tomto případě se jednalo o vápencový fragment velikosti 28 x 15 cm pocházející z objektu č. p. 553 v Celetné ulici, v domě U Sixtů v Praze. Zkoumaný povrch byl finálně přerovnán údery ručního dláta se špičatými zuby. Způsob práce naznačuje období provedení v 18. – 19. století. V některých místech bylo opracování povrchu špatně identifikovatelné.

Na lícovou plochu zkoumaného fragmentu byla aplikována metoda chemického čištění přípravkem Schmutzlöser firmy Remmers (obr. 12). Jedná se o čirý roztok s obsahem tenzidů (cca 10 %). Tento koncentrát byl aplikován štětcem na povrch kamene. Po aplikaci byl roztok ponechán na povrchu cca 1 hodinu. Poté byl smyt destilovanou vodou a proces byl 3x opakován. Použití tohoto čistícího prostředku pro účely čištění povrchu vápence bylo zvoleno záměrně s ohledem na citlivost této horniny k působení chemikálií.



Obr. 12 Vápencový fragment ošetřen prostředkem Schmutzlöser firmy Remmers s vyznačením řezu sloužícího k vyhodnocení změn po restaurátorských zásazích.

Aplikace tohoto prostředku vykazalo velmi silné čisticí schopnosti. Povrch, který jevil známky silného znečištění, byl zcela obnažen. Tím pádem docházelo k úbytku materiálu, původu znečištění. Ovšem v některých místech vlivem agresivity přípravku docházelo k rozrušení povrchu, který byl například před aplikací narušen drobnými prasklinkami. Tyto drobné plošky po aplikaci přípravku odpadly.

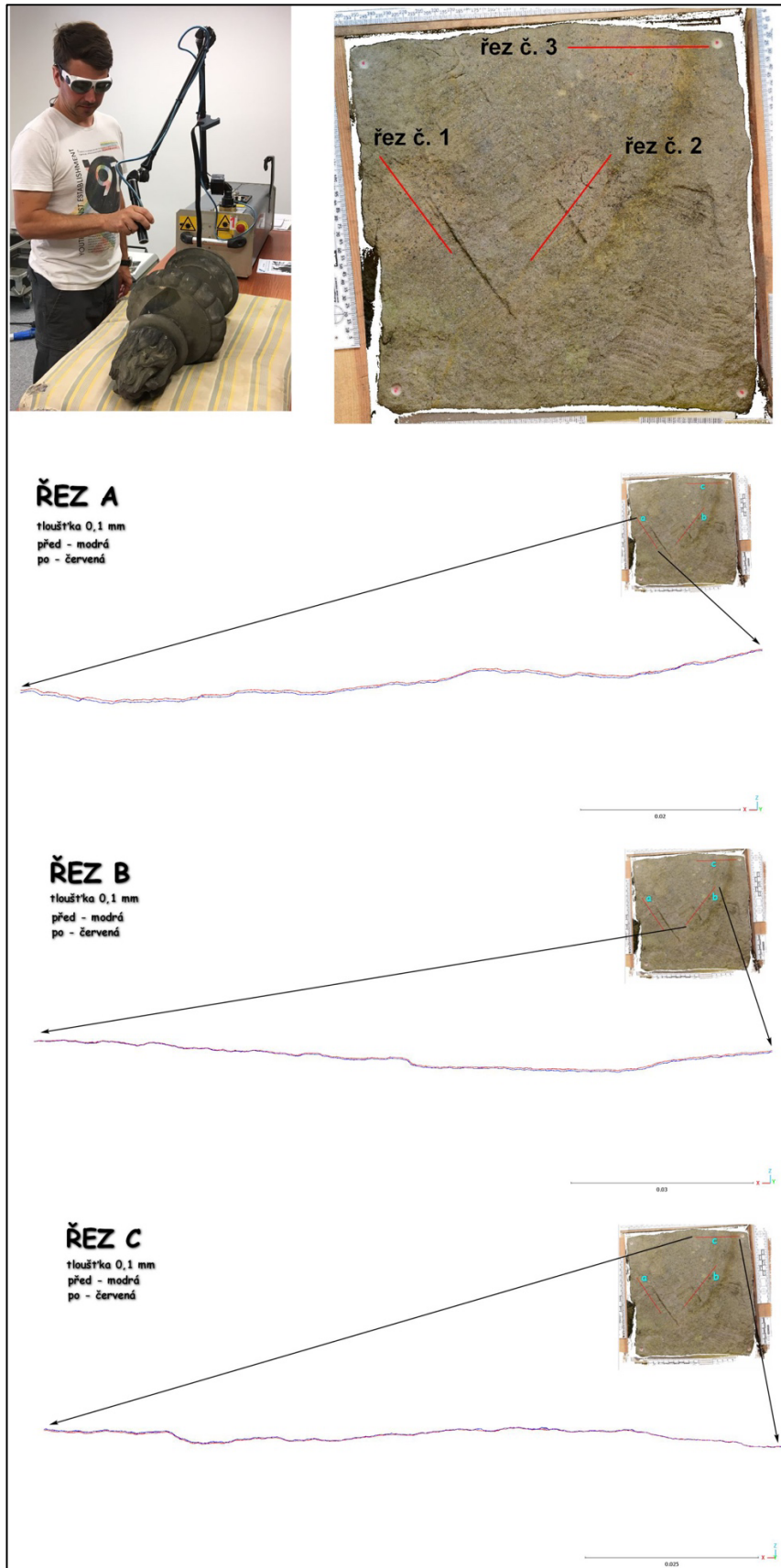
Při detailní fotogrammetrické dokumentaci povrchů tohoto vzorku byly dosaženy následující parametry: přesnost výpočtu prvního modelu “před zásahem” byla 0,08 mm (kdy počet užitých délek byl 6) a druhého modelu “po restaurátorském zásahu” byla 0,07 mm (kdy počet užitých délek byl 5). Počty bodů vypočtených mračen byly u tohoto vzorku 12,9 (před) a 15,8 mil. (po). Kvalita vlícování obou mračen vyplývající z výpočtu transformačního klíče byla 0,17 mm (kdy počet identických bodů byl 7).

3.3.5 Experimentální ověření – Kamenný artefakt č. 5

Posledním čištěným kamenným artefaktem byl mšenský pískovec, pro jehož čištění povrchu byl použit laser. Čištění laserem bylo dodatečně zařazeno na základě odborné konzultace. Jedná se o blok o velikosti cca 26 x 26 cm a jako jediný nenesl stopy po historickém opracování, ale byl experimentálně opracován dlátem s rovným ostřím s délkou 4 cm PhDr. Michalem Cihlou za účelem experimentálního ověření změn topografie povrchu v dlouhodobém časovém horizontu. Povrch byl vystaven přirozenému venkovnímu prostředí tak, aby mohly být sledovány degradační procesy. Ačkoli se jedná o velmi krátkou dobu, vykazuje povrch biologické napadení a částečně mechanickou nečistotou. Ačkoli by na čištění laserem byl vhodnější horninový artefakt s větší vrstvou povrchové nečistoty, posouzení aplikace laseru ve vztahu ke změně topografie povrchu pomocí blízké fotogrammetrie přináší rovněž cenné informace o destruktivní či nedestruktivní povaze metody.

Na vzorku byly vytipovány tři plochy, které byly experimentálně očištěny laserem ve firmě GemaArt (obr. 13; pozn. fotografie vlevo nahoře je pouze ilustrativní). K čištění byl použit laser Palladio / Quanta Systems, Italy, ND-YAG Laser s následujícími technickými parametry:

- Energy/Pulse 500mJ
- Wavelength 1064 nm
- Output beam diameter, max. 7 mm
- Max repetition rate 15 Hz



Obr. 13 Pískovcový fragment po ošetření laserem s vyznačením řezů sloužícího k vyhodnocení změn po restaurátorských zásazích.

Při detailní fotogrammetrické dokumentaci povrchů tohoto vzorku byly dosaženy následující parametry. Přesnost výpočtu prvního modelu “před zásahem” byla 0,16 mm (kdy počet užitých délek byl 8) a druhého modelu “po restaurátorském zásahu” byla 0,13 mm (kdy počet užitých délek byl 8). Počty bodů vypočtených mračen byly u tohoto vzorku 78,1 (před) a 91,1 mil. (po). Kvalita vlícování obou mračen vyplývající z výpočtu transformačního klíče byla 0,16 mm (kdy počet identických bodů byl 3).

Výsledkem provedeného experimentálního fotogrammetrického vyhodnocení topografie povrchu bylo zjištěno, že použití této metody nezpůsobuje úbytek materiálu z povrchu kamene. Výsledkem je shodná korelační křivka. U řezu 3 dochází ve dvou místech k vyššímu úbytku materiálu, nicméně v rámci celku je to marginální množství, které může být způsobeno větším množstvím depositů.

3.3.6 Závěr

Na základě provedeného experimentálního výzkumu lze konstatovat, že lze *blízkou fotogrammetrii využít pro účely hodnocení šetrnosti restaurátorských zásahů* vůči historickým stopám po opravování. V našem případě se nejlépe, tj. nejšetrněji, uplatnil laser a tzv. čpavková voda. Při těchto metodách nedošlo k materiálové změně, stopy nebyly deformovány. Poměrně dobře skončila i aplikace prostředku Art Peel, při které sice došlo k drobné materiálové změně, ale destrukce stop po opravování nebyla výrazná. Při užití měkkého kartáče došlo na povrchu k nepatrné materiálové změně, ale můžeme ve finále rovněž říci, že tato metoda nebyla velmi destruktivní. Aplikace prostředku Schmutzlöser firmy Remmers více zasáhla do povrchu kamene, který pak vykazoval změny stop po opravování. Poslední metoda mechanického čištění ocelovým kartáčem byla z našeho souboru provedených metod čištění povrchu nejvíce destruktivní. Došlo k největšímu detekovanému úbytku materiálu i k deformaci tvaru stop po opravování. Vznikly hluboké rýhy a tím došlo k definitivní změně charakteru historických stop.

Závěrem je nutno zdůraznit, že volba restaurátorského zásahu vždy vychází z konkrétní situace a cílem předloženého památkového postupu proto není výběr vhodného restaurátorského postupu jako takového, ale verifikace užití blízké fotogrammetrie pro účely posouzení vhodnosti restaurátorských zásahů s ohledem na zachování historických stop po opravování. Užití fotogrammetrie může v tomto směru jednoduše a efektivně přispět k výběru vhodných restaurátorských zásahů. Samotný památkový postup se zabývá pouze posouzením a kvantifikací změn topografie povrchu a neřeší proto ani otázky degradačních či konsolidačních procesů probíhajících pod povrchem.

4 Popis ověření památkového postupu v praxi

Památkový postup byl ověřen s pozitivním hodnocením restaurátorem ak. mal. Tomášem Raflem při restaurování morového sloupu ve Velvarech. Protokol o ověření Památkového postupu a dokumentace výsledků provedených zkoušek jsou uvedeny v samostatné příloze tohoto dokumentu.

5 Návrh konkrétních uživatelů památkového postupu

Uživatelé památkového postupu budou restaurátoři, studenti restaurátorských oborů, technologové a pracovníci památkové péče.

6 Seznam související použité literatury

Abate D. a Trentin M. (2019): Hidden graffiti identification on marble surfaces through photogrammetry and remote sensing techniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, s.1–8.

Angás J., Jasim S. A., Bea M., Farjas M., Urbie P., Lanau P. a Otero X. (2019): Rock art recording in Khatm al Melaha (United Arab Emirates): multirange data scanning and web mapping technologies. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, s.85–92.

Anghelută L. M. a Rădvan R. (2019): Macro photogrammetry for the damage assessment of artwork painted surfaces. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, s.101–107.

Anon., [b.r.]. CloudCompare - Open Source project [online] [vid. 2022-10-31]. Dostupné z: <https://www.danielgm.net/cc/>

Ashurst N. (1994a): *Cleaning Historic Buildings: v. 1: Substrates, Soiling and Investigation*. Routledge.

Ashurst N. (1994b): *Cleaning Historic Buildings: v. 2: Cleaning Materials and Processes*. Routledge.

Bláha J. (2013): Historic traceology as a complex tool for rediscovery of lost construction skills and techniques. In: *STREMAH 2013*, s.3–13

Cihla M. (2021): *Metody postupu dokumentace trasologa v kameni na příkladě užití sekery, jako kamenického nástroje v etruské architektuře*. Ústí nad Labem. Diplomová práce. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Filozofická fakulta.

Coe J. A., Sherwood S. I., Messerich J. A., Pillmore C. L., Andersen A. a Mossotti V. G. (1992): Measuring stone decay with close range photogrammetry. In: *Proceedings of the 7th*

International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, 15–18 June 1992, ed. Delgado Rodrigues J., Henriques F. a Telmo Jeremias F., Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, s. 917–926.

Cummings M. (2018): Yale putting high-tech tests to its controversial Vinland Map. YaleNews.

Daniels Ch. (2015): The stone restoration handbook. A practical guide to the conservation repair of stone and masonry. The Crowood Press Ltd.

Delegou E.T., Avdelidis N.P., Karaviti E., Maroupoulou A. (2008): NDT&E techniques and SEM-EDS for the assessment of cleaning interventions on Pentelic marble surface. X-Ray Spectrometry 37(4), s. 435–443.

Dhanda A. (2019): The Geometric Documentation of Painted Surfaces, Ottawa, Ontario, Master of Applied Science. Carleton University.

Drdácký M., Slížková Z. a Valach J. eds. (2015): Příspěvek technických věd k záchraně a restaurování památek. Praha: Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR.

Dulecha T.G. (2021): Surface analysis and visualization from multi-light image collections. Doctor of Philosophy. University of Verona.

Eeckman A. (2019): Studying woodworking technology on ancient shipwrecks through digital photography and photogrammetry. B.m.: Honor Frost Foundation.

Gembinski C. (2016): Digital Field Documentation: The Central Park Obelisk. In: Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Volume 2. Paisley: University of the West of Scotland, s.1009–1016.

Giachetti A., Ciortan A.I.M., Daffara C., Pintus R. a Gobbetti E. (2017): Multispectral RTI Analysis of Heterogeneous Artworks. Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage.

Graham C.A. a Simon S. (2016): Computational Imaging Techniques for Documentation and Conservation of Gravestones at Jewish Cemeteries in Germany. In: Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Volume 2. Paisley: University of the West of Scotland, s.1017–1024.

Chaloupka J. a Růžička P. (2019): Nálezy geometrických graffiti na omítkách zámku v Sokolově. Průzkumy památek. XXVI – 1/2019, s.110–126.

Charvát Zd. (2012): Využití fotogrammetrie pro dokumentaci historických měřidel. Brno. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta stavební.

Hayes J., Fai S., Kretz S., Ouimet C. a White P. (2015) Digitally-Assisted Stone Carving of a Relief Sculpture for the Parliament Buildings National Historic Site of Canada. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. II-5/W3, s.97–103.

English Heritage (2012): *Practical Building Conservation*. Stone. Ashgate Publishing Ltd., Farnham.

ICOMOS Austrálie (2013): *The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance*.

ICOMOS Čína (2015): *Principles for the Conservation of Heritage Sites in China*. Revised 2015.

Inkpen, R. J., Collier P. a Fontana D. (2000): Close-range photogrammetric analysis of rock surfaces. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 120*, s.67–81.

Janvier R., Brunetaud X., Beck K., Janvier-Badosa S. a Al-Mukhtar M. (2016): The Potential of Laser Scanning to Describe Stone degradation. In: *Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Volume 1*. Paisley: University of the West of Scotland, s.353–360.

Kim J., Jun J. Y., Hong M., Shim H. a Ahn J. (2019): Classification of oil painting using machine learning with visualized depth information. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W15, s.617–623.

Kozub B. a Kozub P. (2016): 3D Photo Monitoring as a Long-term Monument Mapping Method for Stone Sculptures. In: *Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Volume 2*. Paisley: University of the West of Scotland, s.1031–1040.

Marshall M. E., Johnson A. A., Summerskill S. J., Baird Q. a Esteban E. (2019): Automating photogrammetry for the 3D digitisation of small artefact collections. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W15, s.751–757.

Maxwell I. (2007): *Inform Guide: Cleaning Sandstone - Risks and Consequences*. Historic Scotland.

McGibbon S. a Abdel-Wahab M. (2016): Emerging Digitisation Trends in Stonemasonry Practice. In: *Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Volume 2*. Paisley: University of the West of Scotland, s.1041–1050.

Nosek V. (2014): Srovnání možností 3D fotogrammetrie a 3D skeneru při dokumentaci archeologických artefaktů. Brno, Diplomová práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta.

Plzák J. (2016a): Dokumentace mincí výpočetní fotografickou metodou RTI. Numismatické listy, 71(3–4), s.169–174.

Plzák J. (2016b): Moderní dokumentační metody archeologických faktů. Plzeň, Disertační práce. ZČU v Plzni, Fakulta filozofická.

Ressl, C. (2007): Reconstruction of the Pegasus statue on top of the State Opera House in Vienna using photogrammetry and terrestrial and close-range laser scanning. In Lasers in the Conservation of Artworks: LACONA VI, Vienna, Austria, Sept. 21–25, 2005; Proceedings, ed. J. Nimmrichter, W. Kautek, and M. Schreiner, Springer Proceedings in Physics 116. Berlin and New York: Springer, 535–542.

Siano S. a Salimbeni R. (2009): Advances in Laser Cleaning of Artwork and Objects of Historical Interest: The Optimized Pulse Duration Approach. Accounts of Chemical Research (43):6, 739–750.

Slater G.A. (1973): A Review of Natural Stone Preservation. Preliminary report. Washington.

Spairani-Berrio Y., Saura Gómez P., Huesca-Tortosa J. A., Spairani Berrio S. a Torregrosa Fuentes D. (2019): The usage of TLS and photogrammetry during the restoration process of Spanish national monument. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-2/W15, s.1105–1110.

Torresani A. a Remondino F. (2019): Videogrammetry vs. photogrammetry for heritage 3D reconstruction. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-2/W15, s.1157–1162.

Václavík F. (2014): Průzkum, dokumentace a inventarizace architektonických prvků. 1. vyd. Praha: Národní Památkový Ústav. Odborné a metodické publikace, 47.

Veselý J. (2014): Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav. Odborné a metodické publikace, 49.

Weigert A. (2021): Applied Craft Science in Traditional Timber Framing Conservation. Ottawa, Ontario, Master of Applied Science. Carleton University.

7 Seznam publikací, které předcházely památkovému postupu

Cihla M., Panáček M.: Úvod do problematiky středověkých technologických postupů opracování stavebního kamene, in: Kameň při obnove pamiatok, ed. Katarína Vošková, Banská Štiavnica, 2010.

Cihla M., Panáček M.: Středověké topůrkové kamenické nástroje, jejich ikonografické a archeologické doklady na našem území a výroba jejich replik, in: Svorník 12, ed: Michal panáček, Praha, 2014.

Cihla M., Trefný M., Drda P., Hradil D., Hradilová J.: Non – invasive material and traceological research of the stone head from celtic settlement Závist near Prague, in: ACTA ARTIS ACADEMICA, Painting as a story 2017, Prague, 2017.

Cihla M., Valach J.: Digital Traceological and Mechanoscopic Methods in the Study of the Stone Surface of Historical Objects, Euro – Mediterranean Conference, Cyprus 2020.

Cihla M., Kovářová K., Malát R., Valach J.: Stone Topography – Useful Tool in Monuments Restoration Process, in: Rehabilitation and Reconstruction of Buildings V. Durnten-Zurich: Scientific.net, 2022. (in press)

Cihla M., Kovářová K., Tryml M., Bartoš L., Semerád M., Valach J., Panáček M.: Opracování stavebního Kamene románských domů pražské podhradní aglomerace, in: Staletá Praha XXXVII/2, Praha, 2021.

Matoušková E., Kovářová K.: THE ROLE OF TECHNICAL AND NATURAL SCIENCES IN STONE MONUMENTS CARE, The Civil Engineering Journal, 30(4), 2021.

Němec D.: Detailní dokumentace a analýza stop po opracování povrchů kamenných kvádrů. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2020.

Zemánková A.: Detailní měřická dokumentace povrchů kamenných kvádrů. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.