

Nosek, Vojtěch

## Dokumentace

In: Gregerová, Miroslava; Hložek, Martin; Holub, Petr; Jordánková, Hana; Loskotová, Irena; Měchurová, Zdeňka; Nosek, Vojtěch; Sedláčková, Lenka; Tymonová, Markéta; Jagosz-Zarzycka, Zofia; Zůbek, Antonín. *Zdroje a šíření vybraných komodit keramické produkce vrcholného a pozdního středověku = Sources and distribution of selected high and late medieval pottery products*. Loskotová, Irena (editor); 1., elektronické vydání Brno: Masarykova univerzita, 2021, pp. 23-65

ISBN 978-80-210-9920-3

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/144383>

Access Date: 24. 02. 2024

Version: 20220831

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

## 3 DOKUMENTACE

Jednou z nejreprezentativnějších komodit středověké a novověké keramické produkce jsou reliéfní kamenné kachle, u nichž je možné sledovat obsah i symboliku výzdobných motivů vypovídající o dobové hmotné i duchovní kultuře. Z pohledu technického u nich lze definovat vývoj výrobních postupů jak konstrukce kachlů samých, tak celých otopných zařízení. Problematictější však zůstává postižení formy šíření technologických novinek a reliéfních vzorů v rámci kamnářského řemesla. Krom přírodovědných analýz, které k řešení této otázky již dlouhodobě přispívají (např. Loskotová–Hložek 2017), jsme hledali možnosti analýzy reliéfní výzdoby kachlů z hlediska technologického, nikoli uměnovědného. K tomu bylo potřeba získat exaktní data z dokumentace reliéfu, která v archeologii dosud standardně používané metody neposkytovaly.

Ať již sledujeme u toho druhu keramického materiálu technickou, či dekorační stránku, je nutné předpokládat, že se jedná o vztah natolik symbiotický, že do značné míry jedna ovlivňuje druhou. Technická a výrobní svými limity usměrňuje a do jisté míry i omezuje výtvarné provedení reliéfu. Je nabíledni, že se jednalo o cennou komoditu, která během pozdního středověku došla masivního rozšíření i v obytných interiérech nižších sociálních skupin. Potenciál tohoto typu artefaktů spočívá v jejich rozšíření ve větší části Evropy, a tedy i statisticky použitelném počtu exemplářů. Extrémní technologická řešení některých výrobních postupů (např. prořezávání) kladla svou náročností časovou, materiálovou a zejména technologickou vysoké nároky na profesní kvalifikaci, neboť aplikované postupy nejspíše značně převyšovaly možnosti běžných hrnčičů.

Pomineme-li, že každá keramická/kachlářská dílna nejspíše disponovala vlastním sortimentem forem na výrobu čelních vyhřívacích stěn komorových kachlů s řadou specifických výzdobných motivů, je třeba vzít do úvahy, že v tomto odvětví keramické produkce docházelo i ke kopírování reliéfů. Dilem můžeme předpokládat ovlivnění poptávkou po konkrétním výzdobném motivu, dilem snahou o zlevnění a zrychlení výroby, protože odpadla první fáze výrobního procesu, řezba dřevěné negativní předlohy pro výrobu kachlové formy. Tvorba pirátských kopií mohla usnadnit šíření výrobků mimo původní cílovou skupinu a region.

I když je v následujícím textu věnována pozornost jednotlivým výzdobným motivům, jako je například adorace Krista či provinilý lev, nesmíme zapomínat, že téma středověkých kamen vytvářel celý soubor motivů spojující v jeden celek dílčí symboliku jednotlivých reliéfů. Předmětem zkoumání je tedy i definice spojovacích prvků reliéfní výzdoby, která umožní kachlové série kompletovat ve variantním provedení i nadregionálním rozměru.

Díky rychlému nárůstu možností výpočetní techniky v oblasti hardwaru i softwaru byly v nedávné době učiněny velké pokroky ohledně převedení některých analogových dokumentačních technik na digitální. Snad žádná z následujících popisovaných metod dokumentace nenachází původ svého vzniku v oblasti archeologie. S velkou jistotou lze tvrdit, že tyto dokumentační metody jsou svým původním zaměřením technického, či přesněji inženýrského směru (ať už geodetického, či strojírenského). Navzdory tomu se archeologická veřejnost vždy poměrně rychle chápala nových možností přinášejících jinými obory a s větším či menším úspěchem je využívala. Jednou z nich je obrazová korelace (Alshawabkeh–Haala 2004). Metoda do nedávné doby využívající analogové fotografie, elementární geometrické a goniometrické úvahy, která přesto přinášela více než jedno století validní data, je nyní v digitální podobě velmi často využívána pro účely sběru dat pro metrické analýzy. Například obrazová korelace byla již v začátku dvacátého století aplikována také při dokumentaci a analýzách kulturně historických památek (Wilczek et al. 2014) a současný trend v archeologii její využitelnost zvyrazňuje a podtrhuje.

### 3.1 Výzkumné otázky

Cílem této případové studie je zjistit, jak mohou být běžně dostupné optické metody dokumentace aplikovány, a zvýšit možnosti vytižitelnosti informačního potenciálu archeologických artefaktů. Mezi tyto běžně užívané metody v archeologické analýze řadíme kresebnou a fotografickou dokumentaci, techniku, jejímž výsledkem jsou trojrozměrná data (obrazová korelace – Image based Modeling – IBM, či 3D skenování) a RTI – reflectance transformation imaging.

Pozice kresebné dokumentace artefaktů je v archeologické praxi desítky let naprosto neochvějná. Umožňuje potlačit nedůležité části objektu a naopak vystihnout a zdůraznit ty podstatné. Její využití pro další analytické zpracování dat je tím pádem diskutabilní, protože se nemusí jednat o dostatečně věrný a nesubjektivní záznam reality. Největší klad se tak paradoxně při tomto pohledu stává zápor. Byť musíme u každé ze zde uvedených metod počítat s určitým

projevem a vlivem osoby dokumentátora, který do výsledku promítá svoji dovednost a zkušenost, je tato metoda nejvíce subjektivní.

Fotografická dokumentace se naproti tomu zdá být objektivní, neboť se jedná pouze o permanentní zachycení světelného vlnění na stabilní médium. Není tomu ovšem tak, protože i zde je podoba artefaktu ovlivněna použitou metodikou a technikou. Pokaždé jiné prostorové vlastnosti má artefakt při použití různých objektivů, ale i fotoaparátů. Tento jev lze samozřejmě částečně kompenzovat použitím nejrůznějších softwarových filtrů a rektifikačních kalibrací, nicméně stále platí, že fotografický snímek je velmi snadno ovlivnitelnou platformou s prostorem pro chybu odečtu prostorových dat (Kosmelová–Nosek 2020).

Mezi techniky, jejichž aplikací extrahujeme 3D data, patří samozřejmě více metod, například výpočetní tomografie (CT), 3D rentgen (3D RTG), nicméně tyto varianty akvizice prostorových dat nejsou v archeologické praxi tak využívány (z důvodu jejich finanční náročnosti a obtížnější dostupnosti), byť pro ni nesou velký potenciál. Stejně tak bychom sem mohli řadit například dotykový digitizér, nicméně ten již zase patří mezi metody překonané právě 3D skenováním či obrazovou korelací. V této kategorii dokumentačních metod se však poprvé v našem výčtu pohybujeme v oblasti přesného zachycení prostorových dat (v rámci použitého hardwaru a softwaru), neboť zachycená data se primárně vyjadřují v prostorových souřadnicích, takže ty je pak možné použít pro další analýzy. Pro zkoumání morfologie a povrchu artefaktu se jedná o velmi vhodnou metodu, neboť data je možné zobrazit skutečně jen v jejich prostorové podobě, bez barevné informace, která může být pro pozorovatele častokrát zavádějící. Pro tuto případovou studii byla jako metoda 3D záznamu zvolena obrazová korelace, namísto použití 3D skeneru. Zejména pro svou flexibilitu při dokumentaci morfologicky rozmanitých artefaktů, časovou efektivitu a možnost použití polarizačního filtru při snímání artefaktů s reflexivním povrchem a také kvalitu pořizované textury, což je fotorealistická vrstva pokrývající povrch 3D modelu, činí ji vizuálně hodnověrnou originálu. Právě v těchto bodech spolu s dobrým rozlišením a přesností záznamu a zejména také pořizovací cenou vybavení se technika obrazové korelace jeví pro dokumentaci archeologických artefaktů ideální.

Specifickým průnikem výše uvedených technik je možné nazvat RTI – reflectance transformation imaging. Jedná se o metodu snímání v řízených světelných podmínkách, kdy se pohybuje pouze světelný zdroj, naopak stacionární



Obr. 1. Příklad fragmentárního materiálu na detailu reliéfní výzdoby dvou jedinců (Ostrava – Kostelní).

artefakt je snímkován z jedné pozice fotoaparátu. Z průniku deformací světla na artefaktu a jeho okolí je následně digitálně interpolována světelná mapa umožňující detailní zkoumání povrchu artefaktu. I když je tato metoda vhodná zejména pro plošší artefakty a pro objekty s větším prostorovým objemem a víceúrovňovou morfologií, jedná se o velmi precizní a detailní metodu, jak zachytit prostorovou informaci artefaktu paradoxně bez ovlivnění světlem a barvou původního artefaktu.

Výše popsané metody zachycení tvaru a dalších vizuálních vlastností artefaktů jsou v této případové studii zkoumány jak samostatně, tak při jejich současné aplikaci, zda se jejich kombinace neukáže jako vhodná. Cílem je definovat, které z těchto metod a synergií jsou použitelné, které mají svá úskalí a které jsou pro tvorbu podkladů pro další analytické otázky nepoužitelné.

To vše však je pouhou technologickou otázkou, jak přistoupit v budoucnu ke sběru dat. Z pohledu archeologického je důležité, že tímto způsobem může dojít k definování a sledování původního zdroje analyzovaného reliéfu, výrobních linií, zároveň také pirátských kopií (formy pro tyto exempláře vznikly otiskem finálního kachle). Na základě nově získaných dat se vedle přírodovědných analýz jedná o další validační nástroj s jistou mírou výpovědní hodnoty pro zásadní otázku lokalizace primárních a sekundárních výrobních center a sledování transferu komodit – suroviny i hotového zboží. Cílem je formulovat metodický postup, který umožní z morfologické analýzy specifického druhu archeologického artefaktu definovat jeho příslušnost k určité výrobní větvi konkrétního výzdobného prvku.

### 3.2 Metoda

Pro ověření vlastností a vhodnosti jednotlivých technik záznamu byly vybrány dva celky artefaktů z různých lokalit, které nesou různé optické znaky, avšak u kterých existuje možnost identického původu. Jedná se o soubor kachlů s motivem adorace Krista (viz kap. 4b) a soubor nesoucí motiv provinilého lva (obr. 2; viz kap. 4e).



Obr. 2. 1 – Vizualizace fragmentu motivu adorace Krista v původním provedení, v němž P. Maria klečí na oblouku se dvěma nosy (Velké Meziříčí); 2 – vizualizace redukováného motivu adorace Krista (Javorník); 3 – vizualizace reliéfního motivu provinilý lev (Brno).

Tyto celky byly zvoleny pro dostatečný počet testovaných exemplářů, které také zároveň nesou dostatečně velkou shodnou plochu napříč exempláři, takže je možné vyloučit náhodnou chybu při určení míry vzájemné podobnosti. Jedinci s motivem adorace Krista a provinilým lvem jsou kvantifikováni v tab. 1.

Zvláště u kachlů ze skupiny „adorace“ je zajímavé vzájemné srovnání jedinců, protože pocházejí z geograficky značně vzdálených oblastí. V případě artefaktů skupiny „lvů“ je situace odlišná tím, že ke zkoumanému vzorku brněnských exemplářů byl přiřazen další z Olomouce a dva kachle ze stojících kamen na brněnském hradu Špilberk. Do srovnávacího testu byly zařazeny, protože lze důvodně předpokládat, že se jedná o kopie některého z brněnských středověkých originálů. Kamna byla totiž postavena během 2. světové války v rámci přestavby prostoru v jihovýchodním nároží hradu na poddůstojnickou jídelnu (obr. 3, viz též kap. 4e). Komparační analýza by tak mohla naznačit, ze kterého originálu byla kopie pořízena, případně zda se nejedná o kopie z více exemplářů.

<b>motiv</b>	<b>lokalita</b>	<b>počet ks</b>
provinilý lev	Brno	5
provinilý lev	Olomouc	1
provinilý lev – kamna	Brno – Špilberk	2
adorace Krista	Javorník – Jánský vrch	26
adorace Krista	Velké Meziříčí	1
adorace Krista	Lipnice nad Sázavou – hrad	1
adorace Krista	Ivančice	1

Tab. 1. Kvantifikace testovaných jedinců.



Obr. 3. Kamna s reliéfem provinilého lva v nynější hradní věžnici, Brno, hrad Špilberk.

Komparace odlišností či shody morfologie artefaktu probíhá v několika rovinách. První je srovnání metrických kvantit dokumentovaného artefaktu, druhá je posouzení podobnosti specifických anomálií na povrchu (deformace povrchu, výrobní stopy atd.), které mohou odkazovat na stejný výrobní postup, či dokonce identickou formu či matici, která kachli dala vzniknout. Přesnost testovaných postupů co do posouzení metrické analýzy se ukázala poměrně snadno zhodnotitelná. Ať již se jednalo o kresebné, fotografické či jiné layouty (vizualizace), byly na daných místech konfrontovány s originálem. Spolehlivost druhé kategorie srovnání byla na vyhodnocení složitější, protože se výsledky použitých metod principiálně velmi odlišují. Zde tedy bylo bohužel nutné řídit se subjektivně u každého artefaktu a metody zvlášť.

Původní plánované komparované metody byly postupem času zredukovány pouze na dvě. Ukázalo se, že kresba není schopná dostatečně široce postihnout komplexní tvar reliéfní výzdoby, a nadto nebylo možné dostatečně věrohodně zachytit prostorovou informaci artefaktu. Přesnost se zvláště v komplikovaných oblastech reliéfu pohybovala s odchylkou v řádech milimetrů, což přinejlepším není dostačující výsledek.

Odečet povrchových anomálií z fotografické dokumentace také nebyl přesvědčivý, neboť i když byly snímky formálně správně zbaveny distorze způsobené použitým objektivem (software Affinity Photo, společnost Serif) a následně referencovány v prostředí software ImageJ (vývojář Wayne Rasband), optické vlastnosti jako textura a nasvícení dokumentovaného artefaktu znemožňovaly dostatečně přesné vyhodnocení.

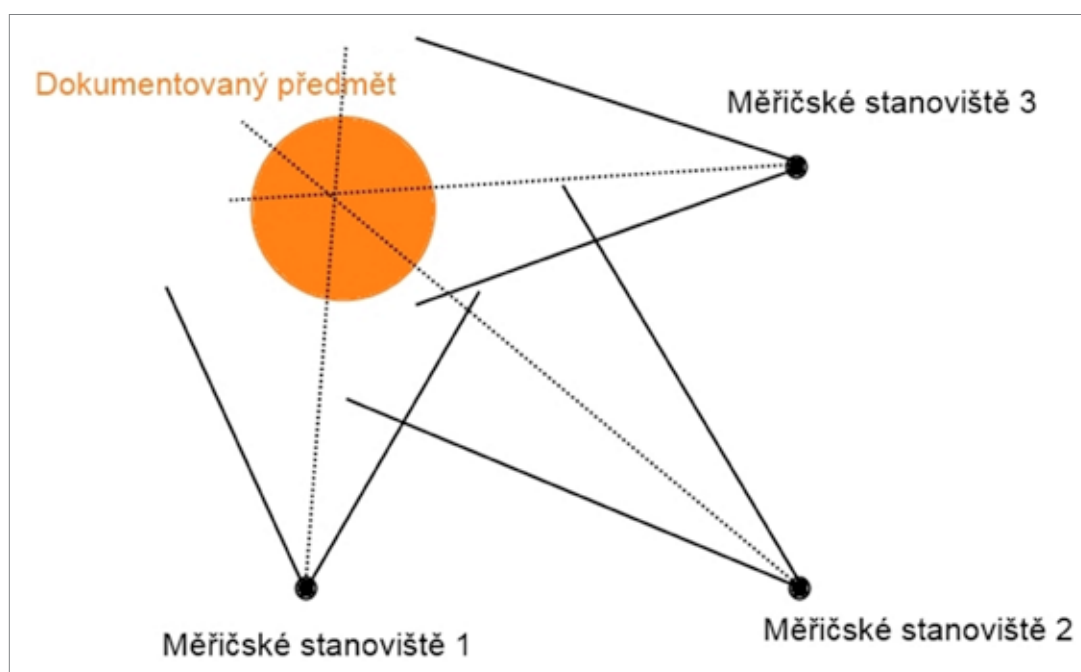
Pokud má být použito 2D fotografických snímků jako podkladu pro odečet prostorových vlastností a analýzu povrchu artefaktu, jak ukazuje postup aplikace metody RTI popsany níže, dosáhneme mnohem lepších výsledků, pokud vyhodnocujeme na základě dat zbavených texturové složky. Morfologie povrchu se tak odhalí mnohem přesvědčivěji. Z tohoto důvodu byly pro analýzu vybrány metody záznamu obrazové korelace a RTI.



Obr. 4. Rozdíly v barevnosti a vzhledu jedinců s identickým motivem.

### 3.3 Sběr dat – obrazová korelace

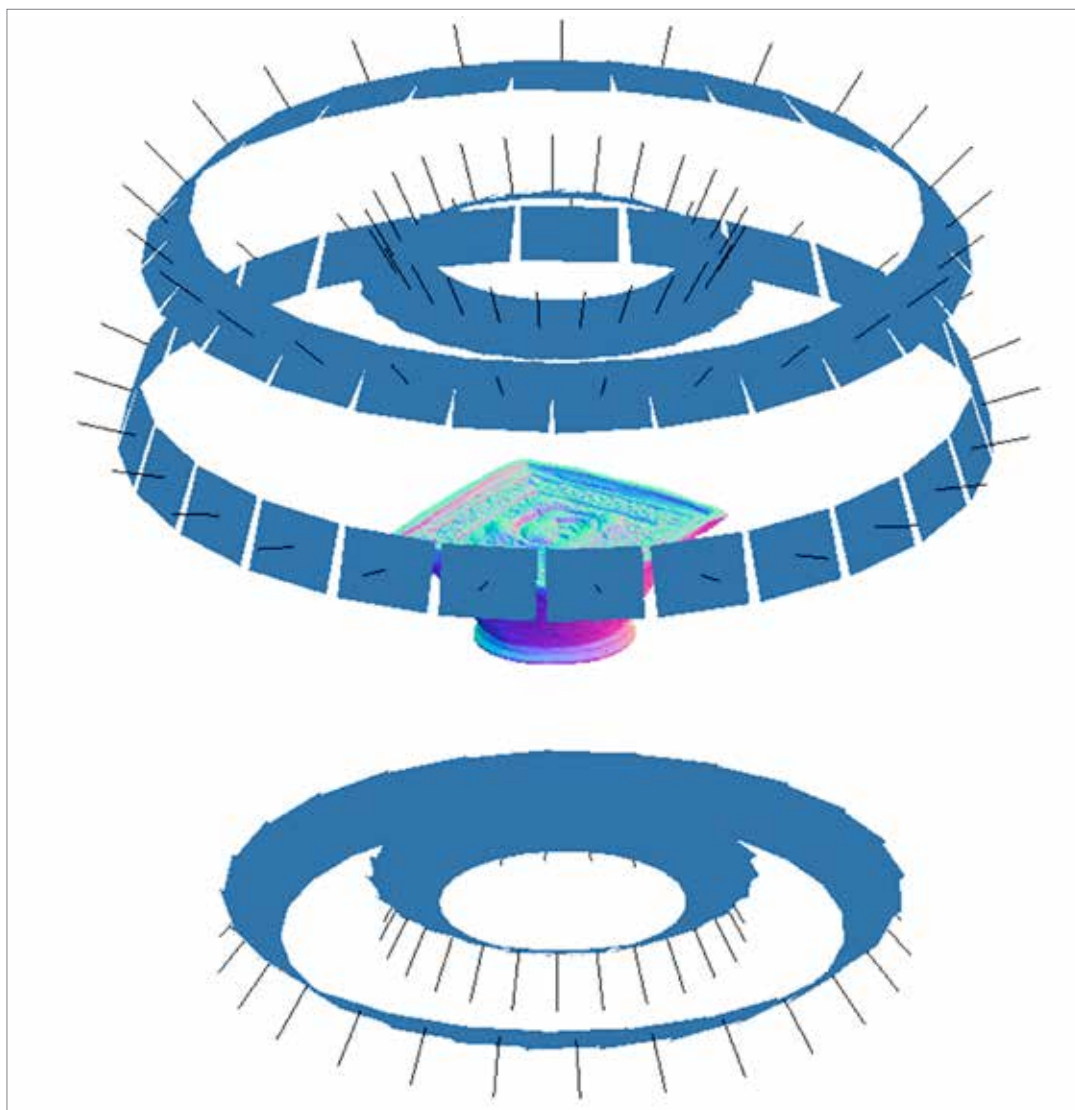
Tato prostorová dokumentační metoda je v archeologii s úspěchem a stále větším rozšířením používána již několik dekad (např. De Reu et al. 2014, nebo McCarthy 2014) a právoplatně je pro své kvality ceněná. Její aplikace spočívá v rekonstrukci geometrie dokumentovaných předmětů vyhodnocením prostorových údajů z více fotografických snímků. Na těch jsou identifikovány shodné unikátní body (pixely, nebo jejich shluky), pomocí kterých je určována pozice měřičského stanoviště (tedy odkud byla pořízena fotografie) v prostoru (viz obr. 5).



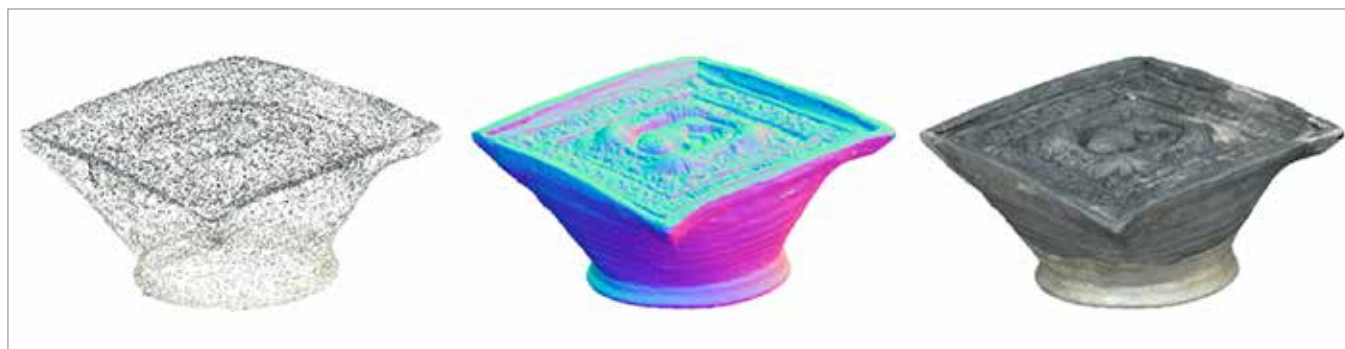
Obr. 5. Triangulace horizontálních pozic fotografií na základě vzájemného překryvu záběrů.

Na základě ohniskové vzdálenosti fotografií je pro software možné vypočítat prostorovou hloubku 3D záznamu. Složením více měřičských snímků, pořízených v dostatečném množství z adekvátního počtu míst okolo předmětu (viz obr. 6), je potom možné rekonstruovat celou prostorovou informaci dokumentované situace.

Během tohoto procesu je tedy rekonstruována velmi přesně celková podoba artefaktu, od jeho geometrie (vystihující morfologii povrchu artefaktu) až po texturu (vystihující jeho vzhled, barvu a další vizuální kvality, které běžná prostorová deskripce nepokryje; obr. 7).



Obr. 6. Posun měřičských okruhů a jejich distribuce v prostoru, pozice snímků modře.



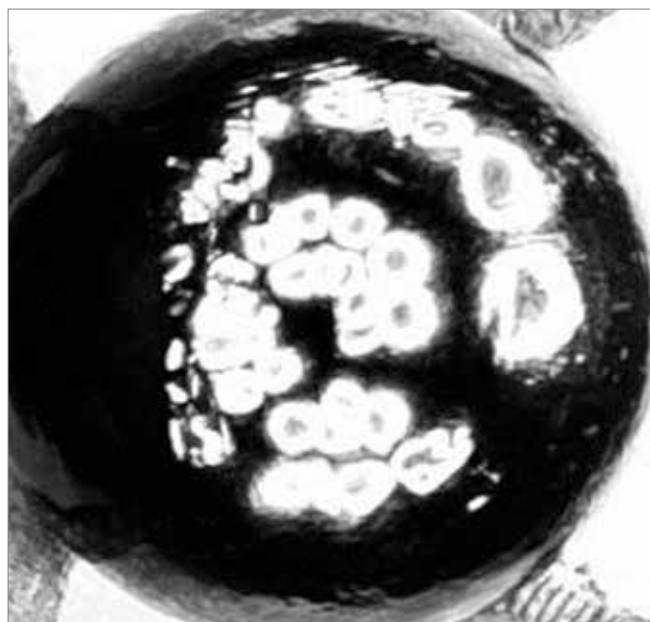
Obr. 7. Fáze vizualizace trojrozměrného modelu.

Data pro virtuální rekonstrukci artefaktu byla sbírána standardizovanou metodikou prostřednictvím automatické točny a setu fotoaparátů Nikon D7200 s makro objektivem Nikkor s fixním ohniskem 60 mm. Běžné nastavení fotoaparátu (pokud nebylo dáno specifickými vlastnostmi artefaktu) bylo 18 clona a  $\frac{1}{2}$  závěrka, ISO 100. Jejich vyhodnocení prostřednictvím postupu uvedeného v příloze proběhlo prostřednictvím software Agisoft Photoscan Pro (verze 1.6. společnosti Agisoft). Rekonstruovaný 3D model artefaktu byl upraven tak, aby dosahoval výsledných 2,5 milionů polygonů – což je empiricky ověřený dostatečný počet polygonů a od toho odvozeného rozlišení modelu, aby byl zachován dostatečný detail povrchu pro jeho podrobné zkoumání (podobně jako Peña-Villasenín et al. 2019).

### 3.4 Sběr dat – RTI

Tato výpočetní metoda získává informace o tvaru, povrchu a barvě objektů z fotografií a umožňuje interaktivně nasvětlovat zachycený artefakt z nejrůznějších směrů. Díky tomu je možné vykreslit a zvýraznit členitost reliéfu povrchu, což tuto metodu činí ideální pro zkoumání výzdoby či výrobních stop na artefaktech (např. Newman 2015).

Software použitý pro vyhodnocení dat byl RTI Builder (vývojáři Cultural Heritage Imaging). Metodika sběru dat je však víceméně stejná i pro vyhodnocení v jiném programu. Spočívá v tom, že nehybný artefakt je snímkován stacionárním fotoaparátem, přičemž jediné, co se mění, je pozice jediného světelného zdroje. Ta je zachycována prostřednictvím reflexivní koule, která slouží jako měřicí marker intenzity a směru světla vrhaného na artefakt (obr. 8).



Obr. 8. Odrazy světelného zdroje kroužícího kolem markeru a artefaktu v různých úhlech a pozicích.

Vzhledem k tomu, že tato metoda zachycuje artefakt prostřednictvím dokumentačních fotografií, umožňuje kromě zachycení geometrie objektu zájmu také postihnout jeho barevnou stránku. Proto při pořizování snímků přikládáme do prostoru také kalibrační barevnou škálu, která umožní zpětně rekonstruovat přesné barvy artefaktu. Umístěním do stejného výškového horizontu s horní hranou artefaktu také docílíme toho, že je možné použít měřítko škály jako referenční. Tak je možné ze snímku následně extrahovat prostorové údaje o zachycené oblasti.

Klady této metody jsou jasně rozeznatelné a popsané výše, mezi zápory musíme jmenovat možné ovlivnění přesnosti snímku použitým objektivem. To však lze regulovat kalibrací snímků podle EXIF dat v externím programu (například Affinity). Distorze objektivu je tím regulovatelná a do výsledných dat se nemusí promítnout. Stejně tak ovlivní kvalitu snímku použité hodnoty ISO a například velikost clony při akvizici dat (tomu lze částečně předejít kalibrací objektivu v konkrétní ohniskové délce – např. Gajski et al. 2016). Důležité je, že vzájemná poloha artefaktu a fotoaparátu se nesmí změnit, jinak dojde ke znehodnocení celé série snímků.

Co ovlivnit nelze, je kvalita snímku daná vlastnostmi objektivu v konkrétním nastavení. I velmi kvalitní objektivy mohou nepříznivě ovlivnit okrajové oblasti snímku. Proto je vhodné nefotit oblast artefaktu přes celé obrazové pole fotoaparátu, ale v okrajových oblastech ponechat určitý odstup. Tímto způsobem se většinou vyhneme zkreslení zájmové oblasti a nestejné kvalitě dat.

Protože je metoda velmi citlivá na okolní světelné podmínky, je nutné provádět snímkování tak, aby na referenční kouli, ze které se počítá odrazivost světelného zdroje, nedopadalo přímo žádné jiné světlo než to s řízeným pohybem.

Jak je možné vidět na obr. 12, pohyb světelného zdroje po artefaktu je neocenitelnou pomůckou při zkoumání reliéfu povrchu objektu zájmu. Každá změna pozice světla dopadajícího na povrch vykreslí jeho detaily jinak a dává vyniknout stopám, které je jinak možné zkoumat pouze obtížně. Právě plynulý pohyb světla po artefaktu a jeho opakovatelnost a zároveň zaznamatelnost patří mezi největší devizy této dokumentační techniky.

Data byla v našem případě sbírána prostřednictvím fotoaparátu Nikon D750 s makro objektivem Nikkor s fixním ohniskem 60 mm. Běžné nastavení fotoaparátu (pokud nebylo dáno specifickými vlastnostmi artefaktu) bylo 10 clona a  $\frac{1}{2}$  závěrka, ISO 100.





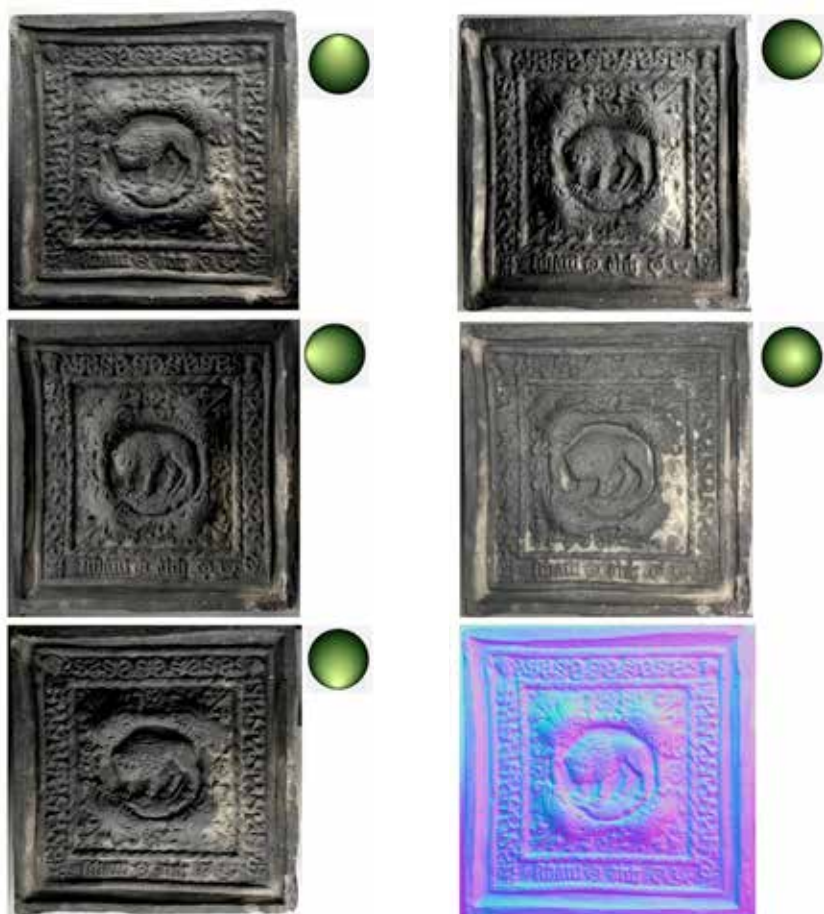
Obr. 9. Snímkovací prostor pro metodu RTI. Barevná škála – artefakt – referenční marker.



Obr. 10. Spekulární vizualizace, na které je dobře vykreslený reliéf a stínování na artefaktu.



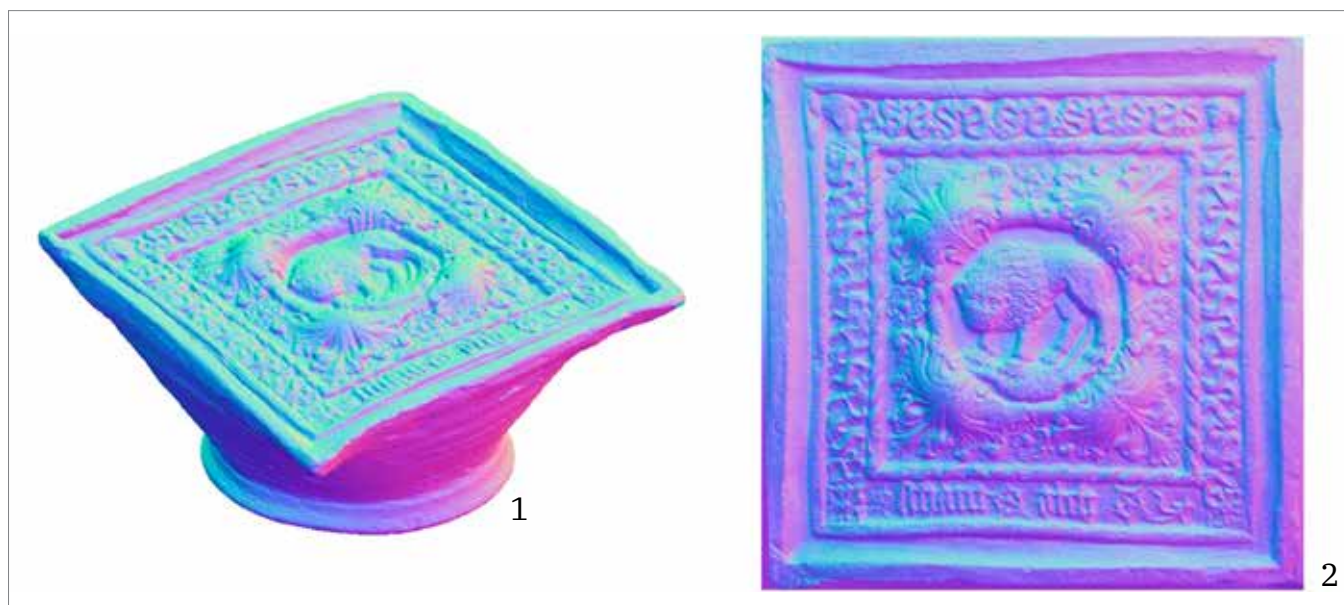
Obr. 11. Normálová vizualizace, na které je dobře patrný reliéf a stopy na povrchu artefaktu.



Obr. 12. Různé směry světla dopadajícího na povrch artefaktu, jejichž orientace je vždy vizualizovaná na sféře vpravo. Vpravo dole normálová vizualizace, která přehledně vizualizuje veškerou viditelnou morfologii artefaktu, včetně nej-různějších stop po výrobě i použití.

### 3.5 Vyhodnocení dat

Použitím obou dokumentačních technik se dostáváme k výborné kombinaci dat, kdy obrazová korelace dodá komplexní morfologické informace o artefaktu včetně rámcově přesného zachycení dekoru a RTI je pak použito na zájmové oblasti, kde je možné identifikovat například výrobní stopy, nebo celé oblasti reliéfu. Kombinováním těchto technik tak lze docílit poměrně komplexního prozkoumání metrické stránky kachle a jeho morfologie (obr. 13 a 14).



Obr. 13. 1 – 3D model se zobrazenými normály; 2 – RTI normálová vizualizace.

I když se rozlišení povrchu obou vizualizací pořízených oběma metodami zdá na první posouzení obdobné, při bližším zkoumání detailu je jasné, že pro podrobnější zkoumání povrchu je vhodnější použít metody RTI. Ta je však vhodná pouze k dokumentaci plošších oblastí a zcela jistě nedokáže vykreslit různé oblasti artefaktu současně.

Stále je však nutné mít na paměti, že dosáhnout takového rozlišení a kvality dat nebylo ještě před několika málo lety v našem oboru možné. Jedná se tedy metodicky o značný posun v možnosti zkoumání morfologie artefaktu.

Původním záměrem bylo zjištění možné podobnosti a příbuznosti kachlů prostřednictvím porovnání 3D modelů jejich čelních vyhřívacích stěn, u nichž lze nejlépe definovat možnou tvarovou korelaci. Cílem je sledovat rozdíly a shody reliéfní výzdoby na 3D modelech a na základě nich definovat případnou shodnost exemplářů. Určovat podobnost na základě technologických stop, například z technické konstrukce celého jedince, je teoreticky také možné, avšak vzhledem k ojedinělosti materiálu a jeho méně běžnému výskytu, jeho fragmentárnosti a nekompletnosti by se jednalo o velmi obtížně aplikovatelný metodický postup. Stejně tak je nutné uvědomit si, že produkční řetězec počítá s oddělenou výrobou kachlových komor a reliéfně zdobených čelních vyhřívacích stěn a jejich následnou kompletací, což by sekundárně umožnilo sledovat stejné technické řešení u kachlů se zcela odlišnou reliéfní výzdobou.

To se však postupem času ukázalo jako obtížně proveditelné, protože srovnávaný materiál je natolik fragmentární, že najít vhodnou oblast s dostatečnou výpovědní hodnotou pro softwarovou komparaci je velmi obtížné. I s daty dosahujícími vysokého rozlišení a přesnosti záznamu tak pracujeme s modely, které neposkytují dostatečný prostor možnostem komparace (obr. 15). Vzhledem k torzovitosti dokumentovaných artefaktů tak nemusí vždy dojít k dostatečnému překryvu dat, který by umožnil hodnověrnou analýzu.

Srovnávaná plocha musí mít takový rozsah, aby poskytla shodnou míru detailu. Podmínka platí v případě, že modely konkrétních artefaktů porovnáváme přímo mezi sebou a nepoužíváme jejich elastickou komparaci ke generování průměrného modelu (average model), který by sloužil jako výchozí srovnávací vzorek. Takový model je ovšem z natolik fragmentárního materiálu obtížně extrahovat a pro cíle tohoto výzkumu by nebyl vhodný.

I kdyby nevalila fragmentárnost a mezi jedinci by byly nalezeny dostatečně velké plochy vhodné pro srovnání, je třeba brát na vědomí, že keramické kachle, byť v masovější produkci, nesou poměrně velké individuální rozdíly způsobené výrobním procesem. Čelní vyhřívací stěny jsou tedy porůznu deformované ve všech osách, nejmarkantnější rozdíly jsou vidět právě v ose pozorování kolmé k čelu kachle (obr. 17). Bohužel tyto rozdíly netvoří žádný specifický vzor se shoda-



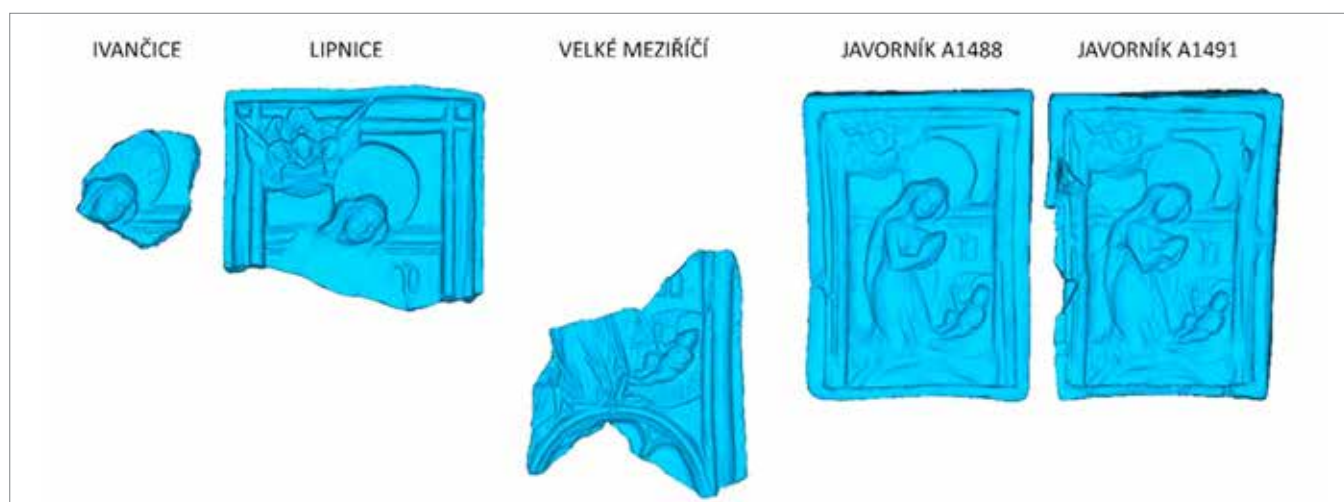
Obr. 14. Srovnání rozlišení aplikované metody. 1 – SfM; 2 – RTI.

ry všech reliéfů jsou umístěny na tomto oblouku, ze kterého u javornických exemplářů zbyla jen horní část. Dalším znakem odlišné produkce je celkové proporcionální zmenšení jedinců z Javorníka o přibližně 18% oproti ostatním kachlům. Odlišný se jeví rovněž stav a nízká míra ostrosti detailů výzdoby. Důvodem je patrně opotřebení originálu, ze kterého byla otiskem vyrobena forma/ formy pro javornickou kolekci. Analytický proces popsaný níže nicméně alespoň částečně odpovídá na naše hledání určení způsobu výroby keramických kachlů a jejich případných následných kopií.

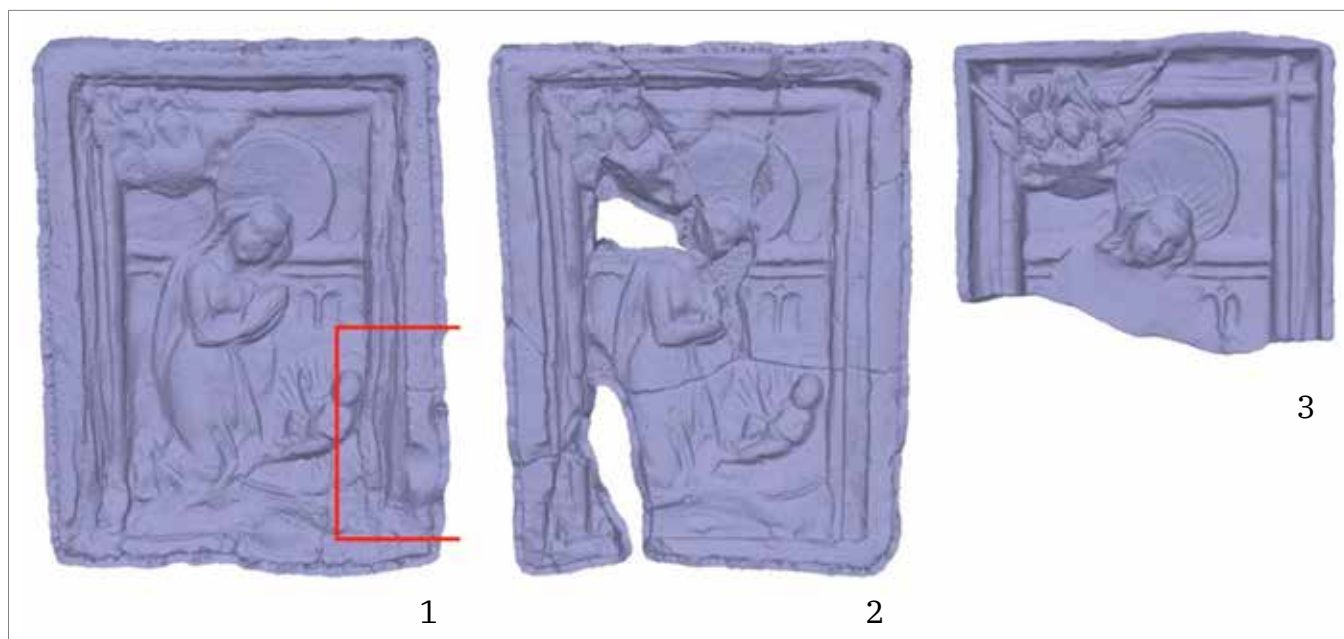
mi, takže není možné usoudit, že by se jednalo o nějaký specifický doklad části výrobního řetězce či konkrétního metodického postupu výroby.

Do procesu srovnávání vstupují vedle reliéfních shod i výrobní stopy vzniklé při formování reliéfu (obr. 16.1). Jsou to například deformace způsobené vyklápěním ještě tvárné keramické hmoty z formy, případně stopy dotyku výrobce, ať již prostřednictvím vlastních rukou, či nástrojů. Dalším významným zásahem, který nám tvarový fond značně rozšiřuje a tím snižuje rozsah komparovatelného vzorku, jsou autorské zásahy, které výzdobný motiv doplňují, přepracovávají (obr. 16.3) či provádějí jeho ořez (obr. 16.2).

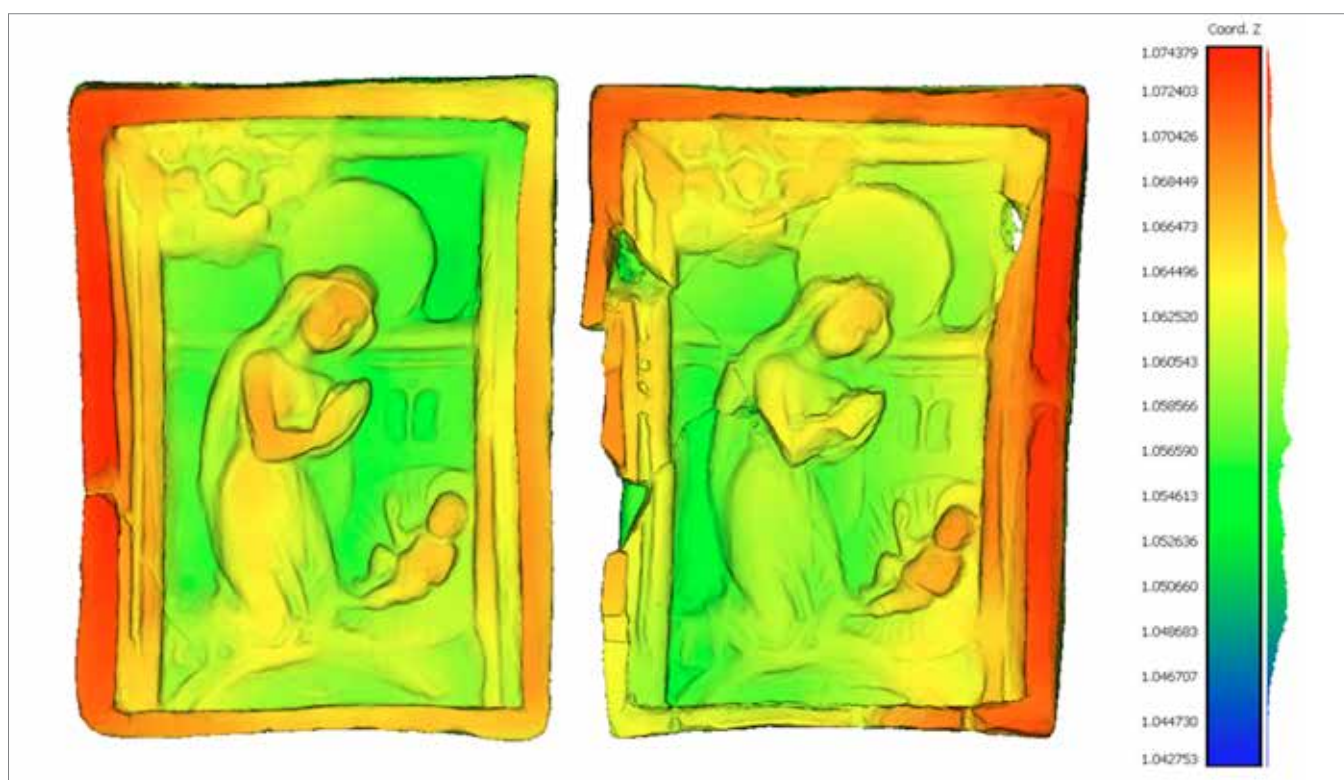
V reliéfu exemplářů z Ivančic a Lipnice nad Sázavou (obr. 18.1, 2) jsou jasně čitelné detaily, což je velmi dobře patrné v porovnání s exempláři z Velkého Meziříčí (obr. 18.3) a Javorníka (obr. 18.4, 5) – reliéf exemplářů 1, 2 je mnohem detailnější a nese stopy podrobnějšího zpracování. Jeho absence u exemplářů 4 a 5 může být dána také opotřebením formy či původní verze, ze které byly odvozeny, případně použitým výrobním postupem (Ernée-Vitanovský 2003, 548). To je velmi dobře patrné v porovnání s jedinci z Javorníka zejména na svatozářích a také na zpracování andělů. Specifický posun v morfologii kachlů je patrný na exempláři z Velkého Meziříčí, který evidentně měl oproti javornické variantě jiné proporce (umístění postav na kompletní oblouk). Formát javornických kachlů byl upraven nejspíše z důvodu jejich použití v jiné konstrukci kamen. Původní série kachlů obdélného formátu ze série klanění je vsazena do shodného rámování, jehož základnou je oblouk se dvěma nosy, ze kterého vybíhají oblé, v horních rozích překřížené pruty. Jednotlivé figury



Obr. 15. Identický motiv, různé fragmenty pokrývající jeho plochu napříč jedinci.



Obr. 16. Různé druhy zásahu do reliéfu. 1, 2 – Javorník; 3 – Lipnice.



Obr. 17. Vizualizace výškové mapy modelu a rozdílné deformace čelní vyhřívací stěny originálu.

Pro snazší orientaci a vizualizaci bylo z nejrozsáhlejšího souboru kachlů (nejméně 26 exemplářů) s motivem adorace Krista z Javorníku – Jánského vrchu vybráno pouze několik nejkompletnějších jedinců, protože níže popsaným srovnáním byly předběžně určeny jako identické s malými variacemi. Díky tomu lépe vynikne srovnání nalezených typů a skupin kachlů.

Jak je vidno z obr. 17, čelní vyhřívací stěna kachlů je různorodě deformovaná. Vizualizováno v prostředí softwaru CloudCompare přeložením výškové mapy přes modely, které byly shodně orientovány na základě identických bodů na-

lezených mezi jedinci. Díky tomu je možné například u těchto dvou exemplářů říci, že oproti centrální ose jsou artefakty deformované torzí každý na jinou stranu. To je důležitý poznatek, neboť srovnávací tvarová analýza by na těchto dvou jedincích našla značné odchylky, byť by se jednalo o produkt pocházející ze stejné formy.

Stejně tak není možné mezi sebou primárně poměřovat jedince javornické skupiny a ostatních exemplářů na základě rozdílných rozměrů při současném zachování proporcí (obr. 18). I když do našich úvah zahrneme možnou míru smrštění keramického materiálu při výrobním procesu, je vykazovaný rozdíl natolik výrazný, že je možné předpokládat sekundární produkci. Experimentálně bylo u výroby kachlů prokázáno smrštění způsobené sušením a méně i výpalem v intervalu 7–10%. V případě kopírování kachle, tedy výroby formy otiskem hotového exempláře, se u takto sekundárně vyrobených kachlů pohybuje zmenšení v intervalu 14–20% oproti původnímu exempláři (Mikšik–Hanykýř–Hablbauer 1986, 512, k tomu též Hablbauer 1986, 502). Na základě koeficientu měřených dílčích vzdáleností shodných bodů na reliéfu lze tedy definovat míru smrštění, či spíše difference jednotlivých jedinců. Díky tomu lze následně formulovat hypotézu, zda se jedná o primární, sekundární, či terciární otisk, v posloupnosti od největšího po nejmenší.

Pokud tedy na základě srovnání velikostí 3D modelů předpokládáme existenci minimálně dvou různých variant (redukované javornické a původní, do které patří ostatní exempláře), je možné alespoň orientační přeložení 3D modelů přes sebe, které odhalí další nestejnomy, ale také shody geometrie. Zarovnání modelů proběhlo na základě registrování shodných bodů, které se na fragmentech nacházejí v překrývajících se oblastech, s prioritou rostoucí směrem ke středu kachle (kde je nejmenší zkreslení způsobené výrobní deformací kachle), například na částech postav, či architektonických prvcích.

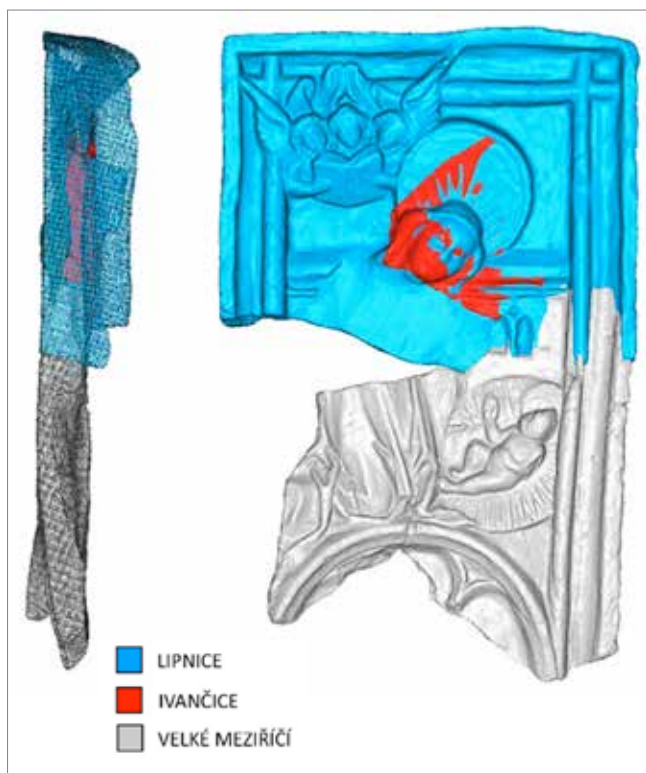
Vizualizace (obr. 19) ukazuje, že fragmenty z Lipnice a Ivančic je možné zarovnat identicky, neliší se ani rozměrově, ani neseným reliéfem. Naproti tomu kachel z Velkého Meziříčí sice velikostně odpovídá prvním dvěma, lze ho pomocí shodných prvků registrovat, nicméně na okrajové liště už je znatelná odchylka, která je však pravděpodobně způsobena nikoliv výrobní deformací, ale spíše nedostatečnou shodující se plochou a také deformací reliéfu v místě registrovaných orientačních markerů. Za pravděpodobně shodné jedince tedy můžeme považovat spíše pouze první dva fragmenty.

Na základě shodných registračních bodů byly přes sebe přeloženy i exempláře z javornické skupiny (obr. 20), které vykazují značnou podobnost v metrickém srovnání i ve shodném provedení výzdobného motivu. Registrace 3D modelů opět proběhla v prostředí softwaru CloudCompare bez aplikování škálování modelů, takže můžeme říci, že jedinci jsou shodného původu. Rozdíly, které jsou viditelné, se nacházejí zejména na okrajových lištách čelní vyhřívací stěny a jsou způsobeny deformací artefaktu z výroby.

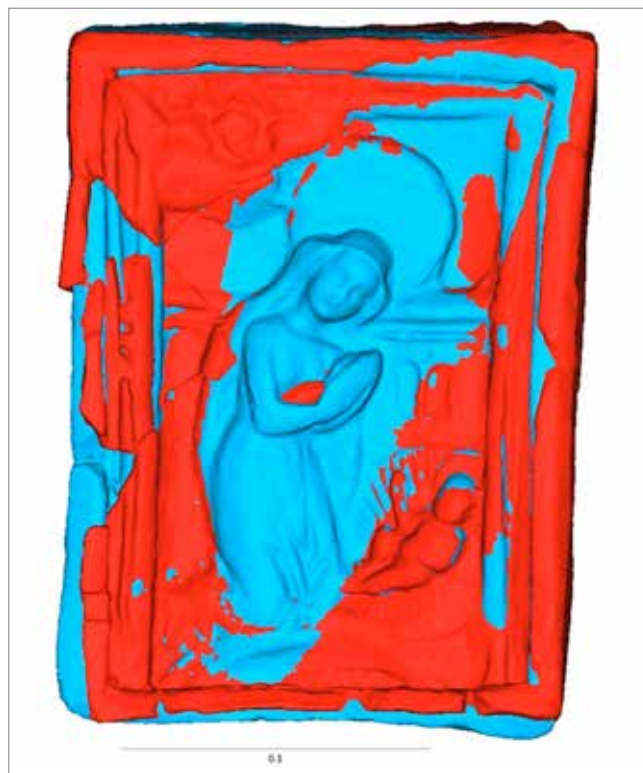
Analýza z 3D, demonstrována na několika exemplářích adorace Krista, však má zjevné nedostatky – subjektivnost určení shody, velké ovlivnění velikostí překryvu shodné plochy a deformacemi jedinců. Zpřesňujícím krokem by za určitých okolností mohlo být použití metody povrch matematizujícího algoritmu, která porovnává 3D data různých modelů navzájem mezi sebou. Mračna bodů obdobného rozlišení a hustoty jsou registrována přes sebe obdobně jako u první analýzy a nadále je hledána shoda mezi jejich povrchy – v tomto případě nejbližšími sousedícími body (nearest neighbour). Výsledek je definován transformační maticí a vizualizován prostřednictvím výškové mapy vykazující míru shody. Tato metoda je níže demonstrována na příkladu morfologického srovnání dvou podobných fragmentů z Ostravy (obr. 21).



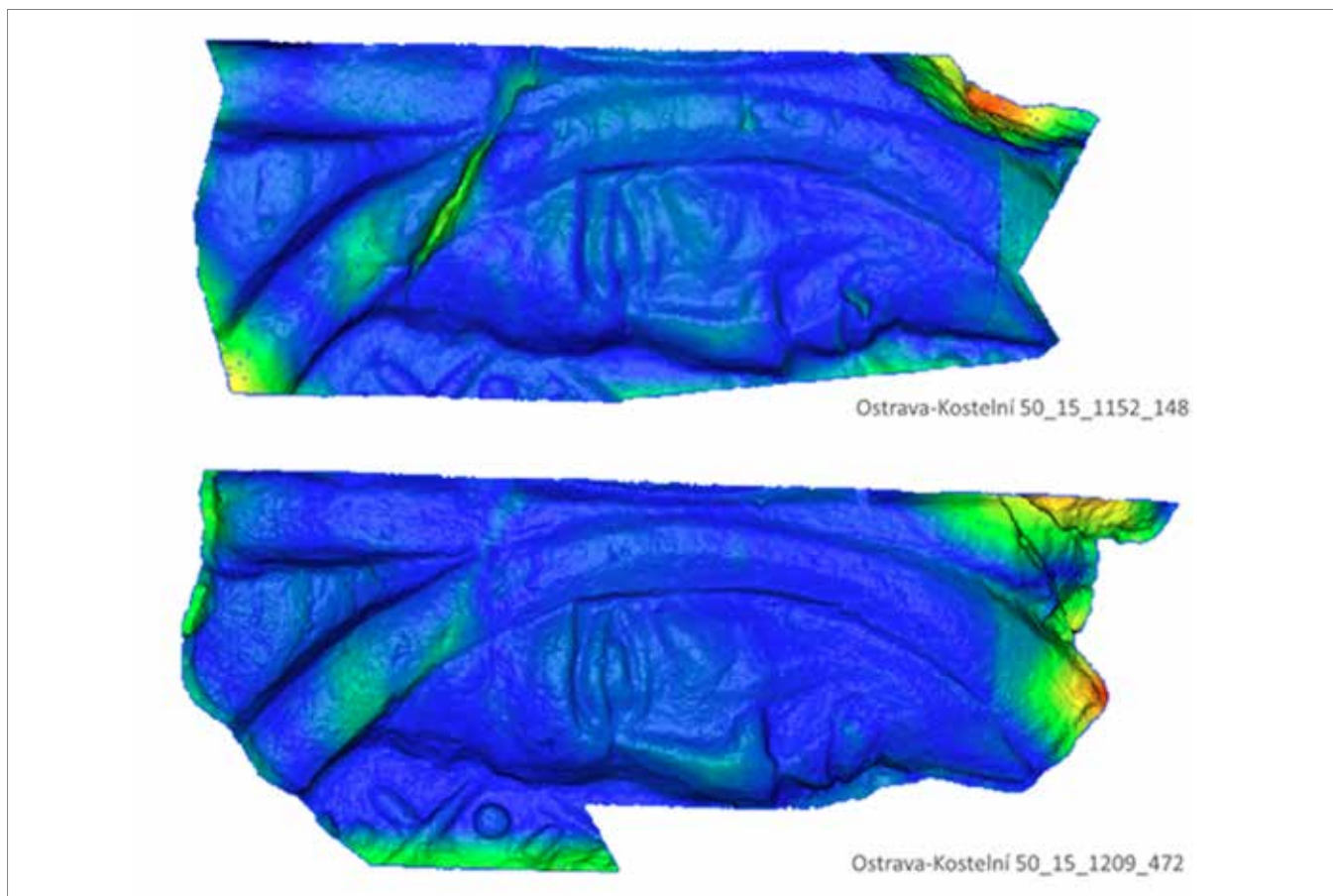
Obr. 18. Vynesený motiv adorace při zachování prostorových proporcí vizualizovaných podkladovým rastrem. 1 – Ivančice; 2 – Lipnice; 3 – Velké Meziříčí; 4, 5 – Javorník.



Obr. 19. Zarovnání a registrování modelů skupiny neredukovaných kachlů adorace Krista přeložených přes sebe.



Obr. 20. Zarovnání a registrování modelů redukované javornické skupiny dorace Krista přeložených přes sebe.



Obr. 21. Vizualizace chyb v komparační matici vzniklých prasklinami a chybějícími částmi fragmentů.

I přes nepopiratelnou přesnost a „tvrdotu“ výsledných dat, metoda porovnávání 3D dat „cloud to cloud“ ze svého materiálu přebírá veškeré nedostatky, kterými trpěla první prezentovaná analýza překryvu 3D modelů. Barevná škála vykazující shodu (modrá – velká shoda porovnávaných povrchů až po červená – minimální shoda) je ovlivněna oblastmi mračna bodů, které se zákonitě nemohou shodovat – prasklinami v artefaktu, jeho deformacemi z výroby a dalšími. Shoda v detailech je tak zastíněna těmito anomáliemi. I když byly předtím modely prostřednictvím editačního softwaru Blender zbaveny nepřekrývajících se částí modelů, není možné a z hlediska přesnosti ani únosné takto redukovat všechna data.

Navrhovaným řešením je tedy poslední metoda, která necílí na poměrování povrchu jako celku, nýbrž na registraci referenčních markerů na povrchu čelní vyhřívací stěny, nejen součásti výzdoby, ale veškeré plastické anomálie, které je shodně možné nalézt na 1 až N jedincích (obr. 22). Je to stejný princip, který se používá například v kriminalistice při daktyloskopické analýze, kdy se na otiscích prstů hledají shodné body papilárních linií, nebo v antropologii při osteologické analýze shodných znaků na povrchu kosterního materiálu.

V případě aplikace této metody dochází k eliminaci celé plochy dat. Sledují se pouze shody jejich částí, tvořících nenáhodné anomálie, což vyloučí chyby způsobené deformací keramické hmoty při výrobě, nebo postdepozičním procesem. Stejně tak může být zachycena sekundární úprava reliéfu, změna celkových proporcí kachle nebo abstrahování části reliéfu pro použití v jiném motivu. Shodné detaily by měly tímto způsobem odhalit původní předlohu či celý řetězec úprav.

Za využití stejné metodiky byly srovnány také fragmenty adorace Krista z Lipnice a Ivančic, aby byla validována použitelnost postupu. Selekcí byla vybrána shodná oblast obou modelů, které byly příslušně redukovány pouze na styčnou oblast. Při jejich vzájemném porovnání je jasné, že kontury postavy, svatozáře i stavebních prvků jsou prakticky totožné co do svých křivek. Jediné, v čem se modely velmi liší, jsou paprsky ve svatozáři, které se objevují v jiných počtech,



Obr. 22. Použití referenčních markerů na povrchu čelní vyhřívací stěny.



stejně jako v různých úhlech svého umístění. V tomto jediném bodu se tedy modely znatelně rozcházejí. Jedná se bezpochyby o doklad toho, že alespoň jednu z počátečních fází výroby kachle mají tito dva jedinci společnou. Na otázku, proč se v jemných detailech výzdoby liší, není možné prostřednictvím trojrozměrné analýzy povrchu s určitostí odpovědět. Nicméně je možné formulovat hypotézu, která by potvrzovala navrhovaný postup výroby kachlů podle M. Vitanovského (2000), že primárně byl motiv zachycen v dřevěném negativu, ze kterého následně vznikla výrobní matrice. Výrobky by nesly velikostně shodné rysy společné pro více jedinců (původních matic), které by po otisku z dřevěného negativu mohly být dále propracovány v podrobnějších detailech, jako tomu patrně bylo i v případě jedinců z Lipnice i Ivančic.

Další srovnání shodně zarovnaných jedinců se nabízí v případě javornické skupiny. Při jejich přeložení přes sebe je na základě shodné metodiky, která byla demonstrována v předešlých případech, možné říci, že obecně se reliéfy výzdoby prostorově neodlišují, což je viditelné především na konturách postav (obr. 24).

Přestože z předcházející analýzy vyplývá, že se modely skupin z Javorníka a všech ostatních co do velikosti liší, po srovnání jejich odlišné velikosti je možné provést test korelace vzájemné proporcionality ve styčných plochách, v tomto případě pouze fragmentu tváře Madony a jejího okolí (obr. 25). Na základě registrace shodných bodů bylo definováno, že jsou jedinci javornické skupiny menší o přibližně 18 % (tj. podle translační matice dosáhl referenční model velikosti 0,824 vůči skupině Lipnice–Ivančice). Je tedy možné vyslovit hypotézu, že se v případě javornických kachlů jedná o doklad výroby prostřednictvím sekundární matrice a sekundárního pozitivu z již hotového kachle, což odpovídá poznatkům Z. Hazlbauera (1986, 498).

Celý proces prostorové analýzy je ideální sumarizovaně demonstrovat na souboru reliéfních kachlů s motivem rovinilého lva. Zde se objevují dvě varianty, první se lvem (obr. 23.1), druhá s rozetou (obr. 26.2), přičemž se z výzdobného hlediska mění pouze středový motiv a okraje kachlů s lištami a dalším dekorem zůstávají stejné.

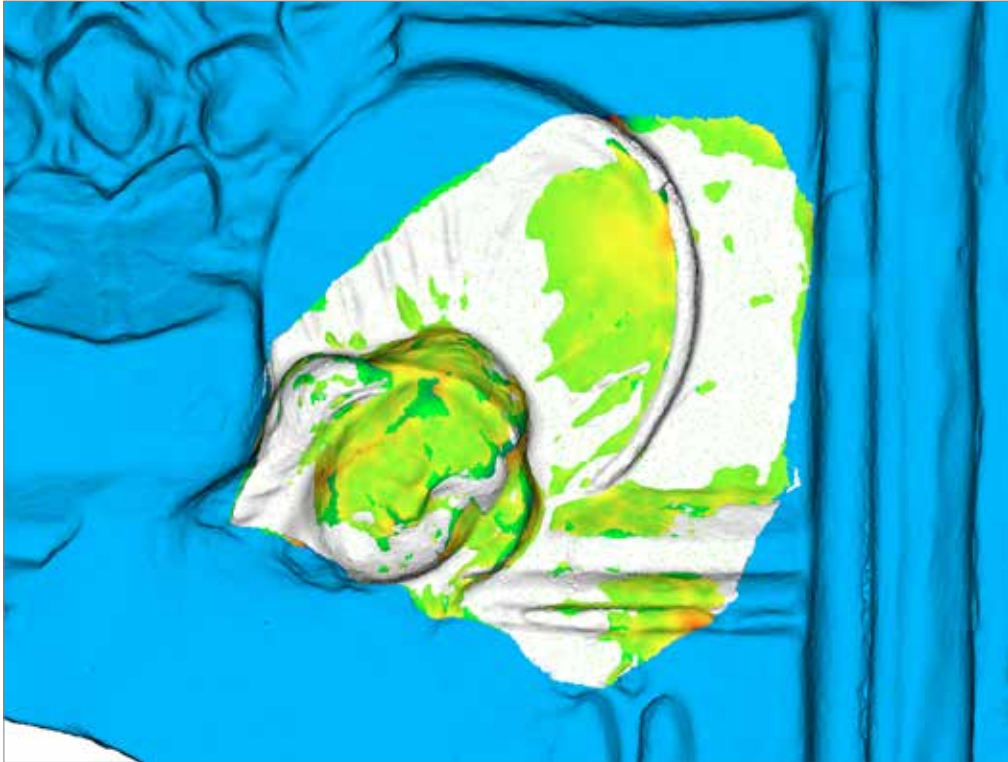
Vzhledová podobnost je sice velmi zřetelná, nicméně aby bylo možné další metodický postup uskutečnit, je nutné tuto zdánlivou korelaci skutečně potvrdit, což lze provést několika metodami. První možností je porovnání vzdáleností shodných bodů mezi kachli (obr. 27; podobně postupuje, byť ne měřením v digitálním prostředí, např. Ernée–Vitanovský 2003).

Druhou metodou, která zároveň sleduje korelaci shody morfologické struktury naskenovaných artefaktů, je porovnání cloud-to-cloud povrchu 3D modelů artefaktů (metodologicky popsané a definované výše). Toto srovnání bylo provedeno mezi všemi modely nesoucími stejný motiv, v definované oblasti centrálního motivu, s velmi podobným výsledkem. Byť se v jemných detailech modely drobně liší, celkové znaky motivu a jejich vzájemná proporcionalita vykazují velkou míru shody (obr. 28). Díky tomu bude možné následně komparovat tuto skupinu reliéfu s motivem provinilého lva prostřednictvím jednoho definovaného zástupce (Brno, Radnická) s reliéfem středového motivu rozety.

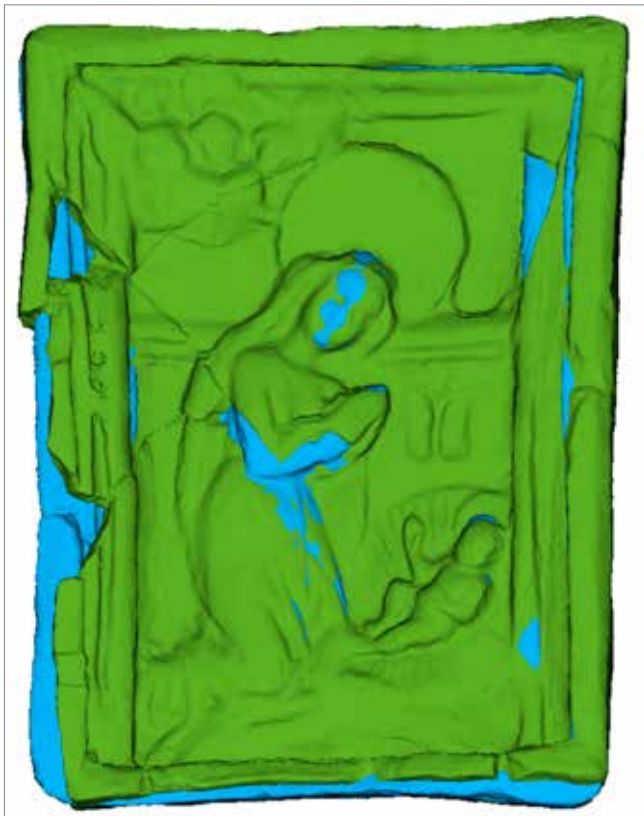
Při srovnání kachlů s odlišnými prvky centrálního dekoru je nutné odstranit tyto definující oblasti, protože by jinak naprosto znehodnotily komparační matici svými extrémními hodnotami. I přes absenci figurálního motivu, nebo alespoň jeho části, je možné tyto jedince komparovat prostřednictvím okrajové lišty a dalších prvků. Ve výsledku vykazují artefakty velkou shodu podobnosti v obecné morfologii, nicméně se liší v detailech. To vše je však pravděpodobně zapříčiněno odlišnou formou, či výrobním postupem.

Všechny kachle s motivem provinilého lva nemohly být uspokojivě porovnány prostřednictvím komparace povrchu 3D modelu z následujícího důvodu. U glazovaných kachlů dochází k určité ztrátě detailu geometrie jedince, neboť drobnější prohlubně čelní vyhřívací stěny jsou glazurou nezřídka cele zality. To se na první pohled neprojeví, neboť větší mocnost vrstvy glazury, která byla vytvrzena výpalem, působí v těchto prohlubních opticky jako stínování draperie, takže dojem hloubky zůstává (viz obr. 30.1, 2). Nicméně při bližším ohledání zjistíme, že se detail nedochoval a byl by dostupný pro zkoumání pouze metodou, která je schopná odlišovat denzitu materiálu (tedy nikoliv optickou, jako je obrazová korelace, ale například výpočetní tomograf). Tato skutečnost tedy komplikuje objektivní zkoumání artefaktů z hlediska prostorové analýzy 3D modelu a je vhodnější sáhnout po analýze RTI výstupů. Jak vidno z obr. 29, ani to však nezřídka nezajistí větší detail. Kombinací různých nastavení světelných podmínek však lze dosáhnout alespoň částečného zvýraznění plasticity reliéfu (např. Bennison–Chapman–Hager 2018).

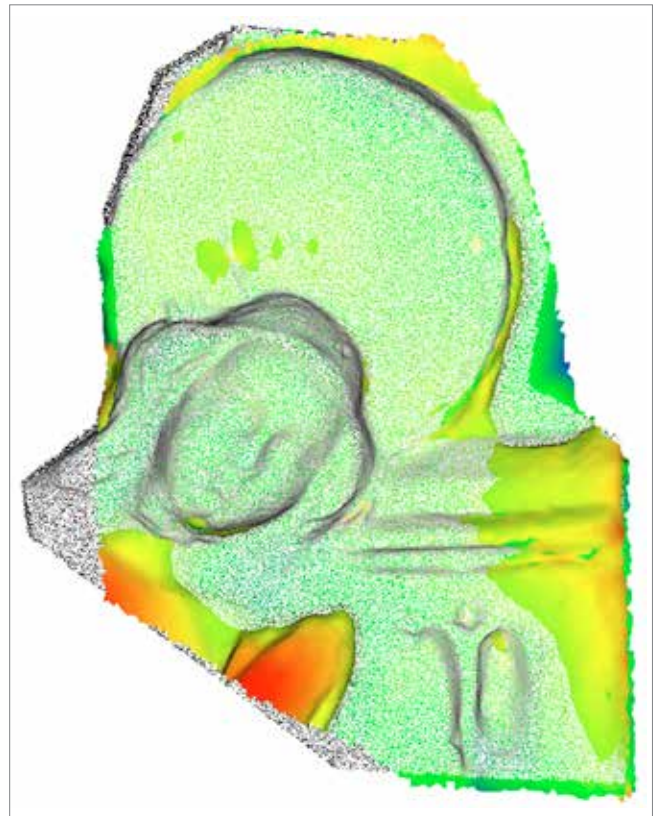
Metoda srovnání morfologie artefaktů prostřednictvím RTI je demonstrována na příkladu kachlů umístěných v kamnech na brněnském hradě Špilberku. Tyto kachle jsou glazované, což z nich činí materiál ideální pro případovou studii. Pro zvýšení přesnosti je vždy dobré provést ověření přesných rozměrů výsledků RTI srovnáním se zaměřením několika jednotlivých bodů na 3D modelech. Ze skupiny samostatných kachlů byl jako referenční vybrán model kachle z Brna, Radnické ulice, ze špilberské skupiny Spilberk\_lev02 (vzhledem k předchozí analýzou potvrzené morfologické identičnosti se zbytkem kachlů tvořících kamna), nedisponující žádným bližším identifikátorem. Již na první pohled je evidentní, že artefakty se velikostně naprosto neshodují. Z translační matice vyplynulo, že rozdíl činí přibližně 10 % (obr. 31). Tato hodnota se pohybuje na horní hranici výsledků Hazlbauerova týmu (Hazlbauer et al. 1986) – z toho může-



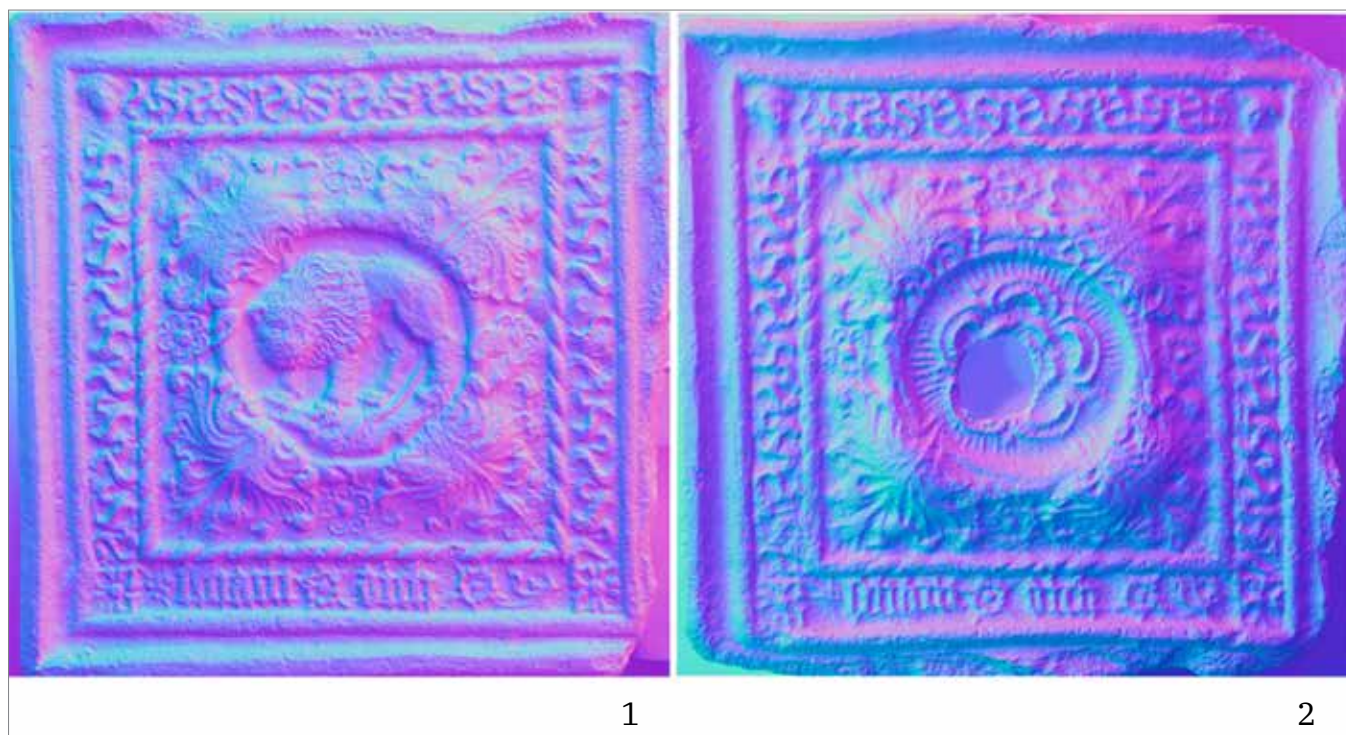
Obr. 23. Bílý fragment z Ivančic, přeložený přes modrý z Lipnice. Odchytky podobnosti jsou vizualizovány pomocí škálového modelu přeloženého přes původní modely.



Obr. 24. Vybrané 3D modely jedinců javornické adorace přeložené přes sebe.



Obr. 25. Překryv modelů referenčních jedinců vyjádřený barevnou škálou přeloženou přes mračna bodů reprezentující oba povrchy (červená značí nejmenší shodu – což v tomto případě je dáno tím, že část reliéfu s rukou Madony na referenčním kachli z Ivančic chybí).



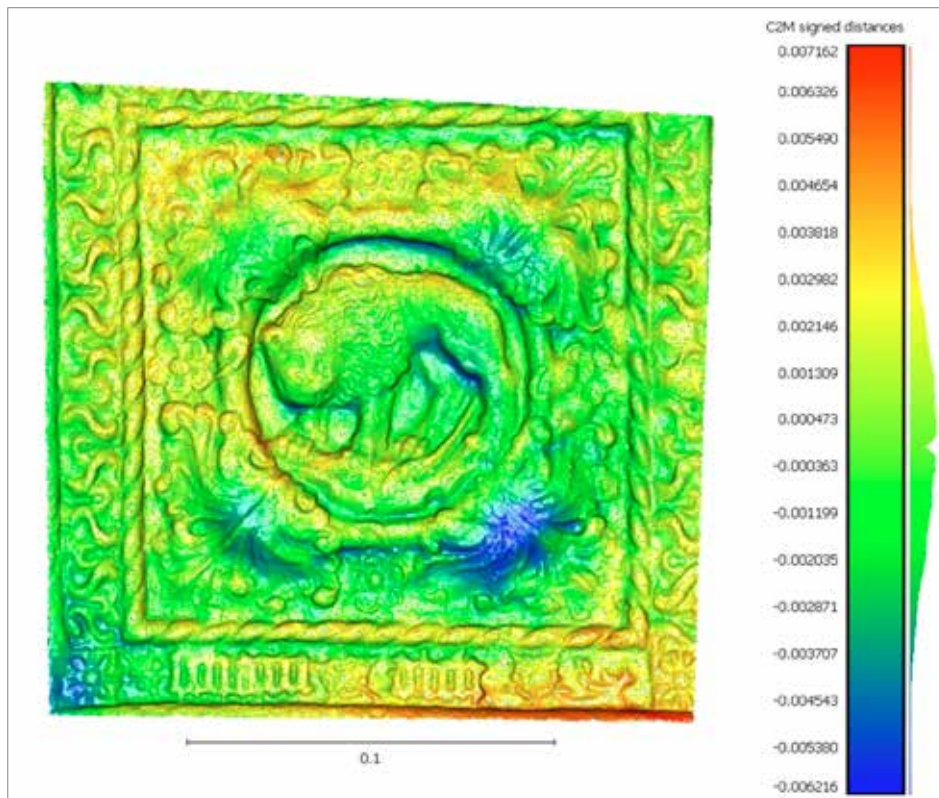
Obr. 26. 1 – Centrální motiv provinilý lev (Brno, Panská 6); 2 – centrální motiv rozeta (Vyškov).



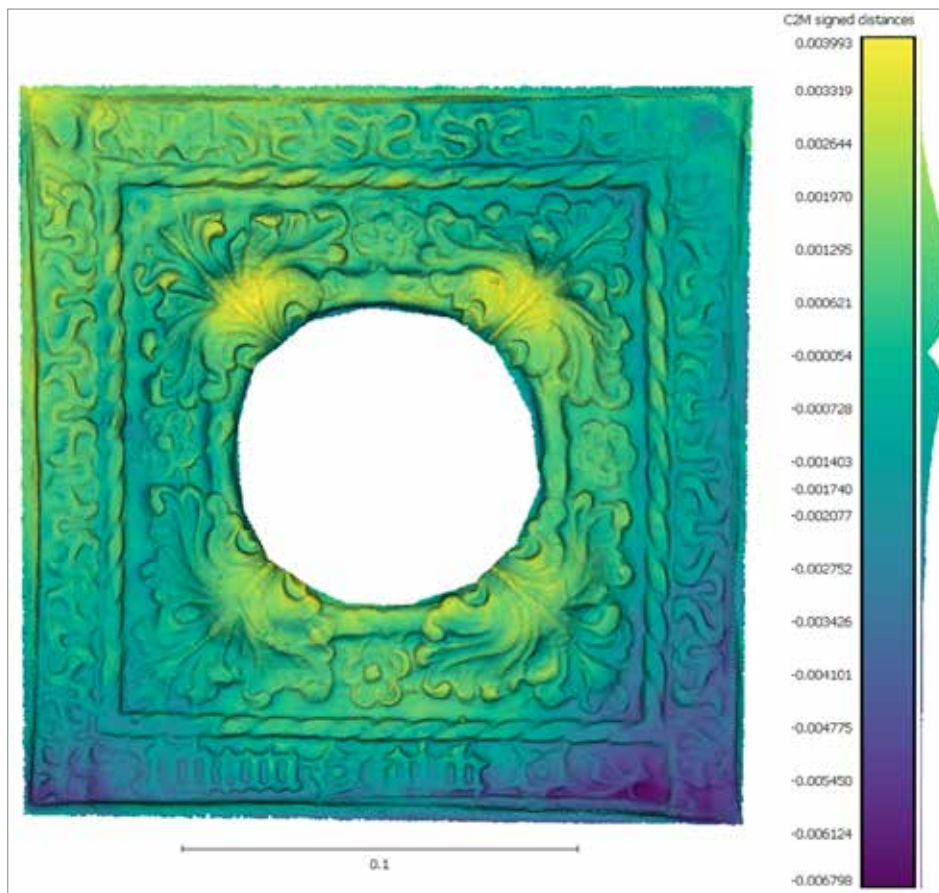
Obr. 27. Kachle s motivem provinilého lva, 3D model standardizovaného vzhledu, velikost se liší v řádu několika milimetrů. 1 – Brno, Panská 6; 2 – Brno, Radnická; 3 – Brno, Zámečnická 1 (srov. kap. 4e).

me vyslovit hypotézu, že autoři otiskli středověký kachel do nějakého dobově dostupného materiálu (sádry?), který zachoval původní rozměry originálu. Z takto vzniklé formy pak vyráběli keramické kachle z materiálu zvlhčeného patrně ve 30% poměru, který se při sušení a částečně i během výpalu smrskl o 10%. Kdyby otiskli původní kachel do hlíny, aby získali keramickou negativní formu, muselo by být zmenšení kachlů dvojnásobné.

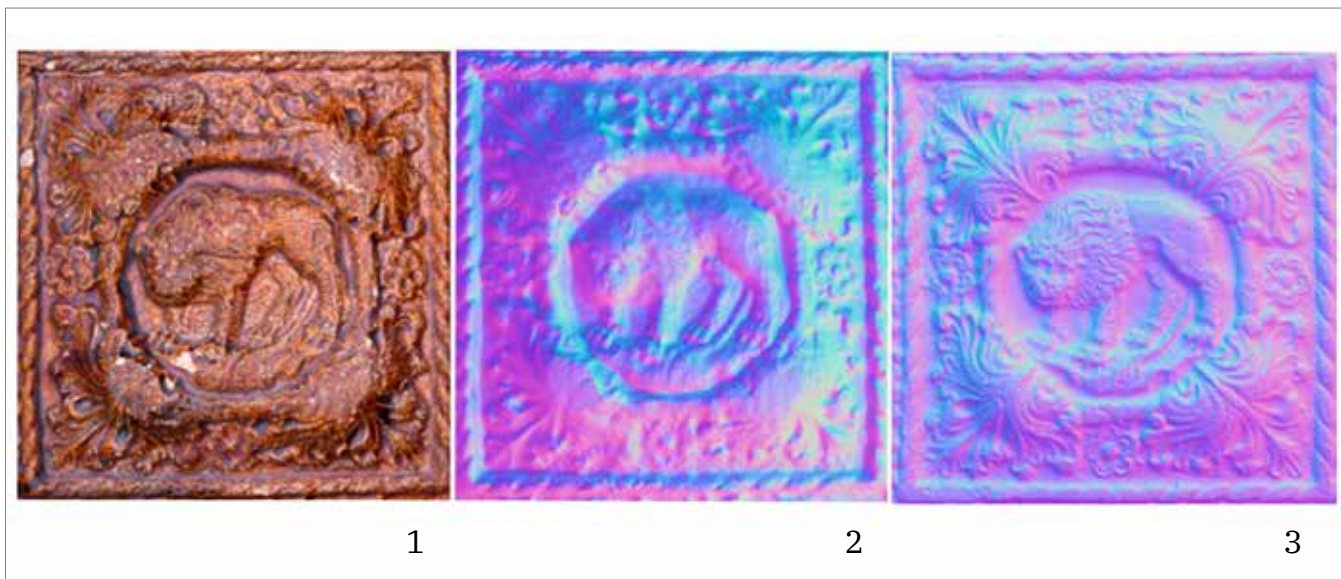
Pouhé srovnání velikosti však není dostačující, pro doplnění výpovědní hodnoty modelu je nutné také porovnat proporce morfologie artefaktu. Vzhledem k zalití reliéfu glazurou není možné porovnat detaily prostřednictvím cloud-to-cloud komparace a je vhodnější použít srovnání prostřednictvím RTI. To proběhlo vzhledem k odlišným rozměrům prostřednictvím překryvu RTI snímkových vrstev (obr. 32), nikoliv prostřednictvím srovnání pozic kótovaných vrcholů. Z výsledku je patrné, že proporcionalita reliéfního motivu zůstala zachovaná (byť se opět v detailu liší – jiná matrice). V důsledku toho je možné označit a potvrdit glazovanou skupinu jako sekundární kopii z původního motivu.



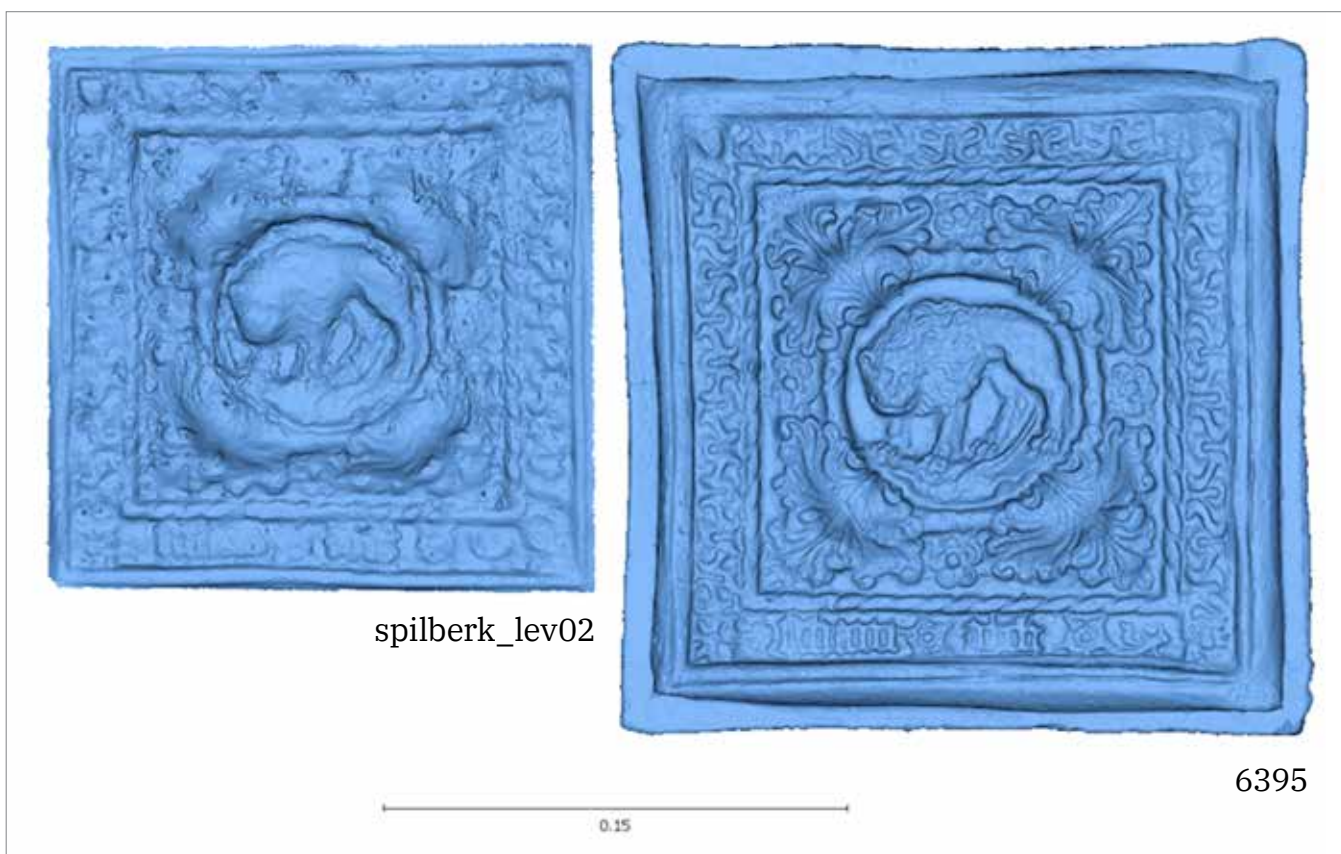
Obr. 28. Cloud-to-cloud komparace podobnosti povrchů exemplářů z Brna, Panská 6 a Radnická.



Obr. 29. Cloud to cloud komparace podobnosti kachle s motivem provinišlého lva (Brno, Radnická) a rozety (Vyškov).



Obr. 30. 1, 2 – Glazovaný kachel (Olomouc, Barviřská): 1 – detail glazury; 2 – identický výřez detailu, normálová mapa dokumentující malou plasticitu povrchu zalitého glazurou; 3 – rezný kachel (Brno, Radnická), stejný výřez detailu normálové mapy pro srovnání výzdoby.



Obr. 31. Velikostní srovnání modelů Spilberk\_lev02 a Brno, Radnická, které činí cca 10%.



Obr. 32. Překrytí RTI snímkových vrstev, podkladový model Brno, Radnická, přes něj Spilberk\_lev02.

### 3.6 Souhrn

Výpovědní schopnost moderních digitálních technologií je naprosto jasná a nezpochybnitelná (Yilmaz et al. 2007). Nedestruktivní povaha, snadná manipulace s digitalizovaným materiálem a jeho bezproblémové sdílení napříč vědeckým spektrem je činí dalšími nezbytnými nástroji moderního archeologa. Aplikace jakékoliv, byť moderní a trendy metody bez jasného cíle by byla samoúčelná. Vzhledem k náročnosti akvizice dat, požadavkům na velké úložiště dat, pořizovací ceně vybavení a nutnosti školené obsluhy se zatím jedná o užitečnou, nicméně masově neaplikovatelnou metodu, kterou je nutné cíleně a přesně využívat jako podpůrnou techniku pro validaci našich již formulovaných hypotéz (Yang et al. 2020).

Prostřednictvím porovnání 3D modelů je možné odhalit drobné detaily povrchu a definovat shody, či případné rozdíly v reliéfu povrchu mezi různými jedinci nesoucími stejný výzdobný motiv. Tyto změny lze definovat buď prostřednictvím vyznačení bodů/oblastí zájmu, které informaci nesou, nebo prostřednictvím vytvoření škálové mapy, definující míru podobnosti zarovnaných oblastí. Díky digitální povaze 3D modelu je možné z hlediska vzájemné proporcionality nedestruktivně a časově efektivně srovnávat i jedince nestejných velikostí a rozdíl jejich velikostí exaktně definovat. Díky tomu je možné přiřknout jedinci jeho místo ve výrobním řetězci, tj. o kterou tvůrčí iteraci se jedná (např. podle Vitanovský 2001).

V případě, že není možné použít k analýze 3D model, lze komparovat povrchové vlastnosti artefaktů prostřednictvím výsledků plynoucích z metody RTI. Ta umožňuje vizualizovat a měřit artefakty velmi precizně prostřednictvím detailního záznamu 2D reliéfu a opakovatelné možnosti vyvolat různorodé světelné podmínky na povrchu artefaktu, které umožní podrobně zkoumat jeho povrch.

---

## 3 DOCUMENTATION

One of the most representative commodities of the medieval and modern ceramic production are relief-decorated stove tiles, in which we can follow up the content and symbolism of decoration motifs as an evidence of material and spiritual culture at the time of their origin. From a technological point of view, it is possible to define the development of production procedures, both in the construction of tiles themselves, and in the construction of entire heating devices. However, problems arise when we try to find out how technological novelties and relief motifs have spread among stove builders. Apart from natural scientific analyses, which have long been used to solve this question (e.g. Loskotová–Hložek 2017), we also searched for the possibilities of analysing the relief decoration on tiles from a technological and not from an art historical perspective. For this purpose, we had to document the reliefs in order to obtain exact data, which were not yet provided by the standard methods of archaeological research.

No matter whether we follow up the technical or the decorative aspects of these ceramic goods, we must suppose that the relationship between them is so symbiotic that they considerably influence one another. The technical and manufacturing characteristics determine and, to a certain extent, limit the relief design. It is evident that tiles were a valuable commodity, which also became widespread in residential interiors of lower social classes in late medieval times. The potential of this type of artefacts consists in their distribution over the major part of Europe and therewith also in a statistically significant number of specimens. Extreme technological solutions of several production procedures (e.g. openwork design) with their high time, material and mainly technology demands put high requirements on professional qualification because the applied procedures most probably far surpassed the possibilities of ordinary potters.

Leaving aside that every ceramic/stove-making workshop most probably had its own assortment of moulds for production of frontal heating panels of stove tiles with many specific decoration motifs, we must take into consideration that this branch of ceramic production has also produced copies of reliefs. We can suppose that it was partly given by the demand for a particular decoration motif, and partly by the effort to make the production cheaper and faster because the first phase of the manufacturing process, namely the woodcut negative for the making of a tile mould, dropped out. The production of pirate copies may have facilitated the distribution of products outside the original target group and region. Although the following text pays attention to individual decoration motifs, such as the Adoration of the Christ Child or the Guilty lion, we should not forget that the thematic design of medieval stoves was composed of a whole series of motifs that combined the partial symbolism of individual reliefs into a single unit. The research is also focused on the definition of connecting elements of relief decoration, which will enable to combine the tile series in variants and in supra-regional context.

The fast development of computational technology in the area of hardware and software enabled a great progress in digitisation of several analogue documentation techniques. Maybe none of the documentation methods described below has its origins in the field of archaeology. We can with high certainty say that these documentation methods were originally developed for technical, more precisely engineering disciplines (land surveying or mechanical engineering). However, archaeological community always relatively quickly grasped the opportunities offered by other disciplines and used them with more or less success. One of them is Image-Based Modelling (Alshawabkeh–Haala 2004). The method, which previously used analogue photographs, elementary geometrical and goniometrical considerations and provided valid data for more than hundred years, is now in its digital form very often used to collect data for metrical analyses. For example, Image-Based Modelling was already used to document and analyse cultural and historical monuments at the beginning of the twentieth century (Wilczek et al. 2014). The benefits of this method are also emphasized and accentuated by the current trend in archaeology.

### 3.1 Research questions

The aim of this case study is to examine the applicability of freely available optical documentation methods and to increase the exploitability of information potential of archaeological artefacts. Among these commonly used methods of archaeological analysis are: drawing and photographic documentation, a technique resulting in three-dimensional data (Image-Based Modelling – IBM, or 3D scanning) and RTI – Reflectance Transformation Imaging.

For decades already, drawing documentation of artefacts has an absolutely unshakeable position in archaeological practice. It enables to suppress unimportant parts of an object and, the other way round, capture and emphasize the

substantial parts. The use of this method for subsequent analytical processing of data is therefore disputable because the record of reality might not be faithful and objective enough. Seen from this perspective, the largest plus thus paradoxically turns into a minus. Although each of the above-mentioned methods is to a certain extent determined by the personal traits and specifics of the documentalist who projects his/her own skills and experience into the results, this method is the most subjective one.

Photographic documentation, on the other hand, seems to be objective because it only creates durable images by recording light on a stable medium. But it is not so – it is also here that the image of an artefact is influenced by the method and technique used. The spatial properties of a photographed artefact depend on the lenses and cameras used. This phenomenon can of course be partly compensated by using various software filters and rectification calibrations. However, it is still true that photographic image is a very easily susceptible platform, creating space for a spatial data readout error (Kosmelová–Nosek 2020).

The techniques of 3D data extraction naturally comprise more methods, such as computed tomography (CT) or 3D X-ray, but these variants of acquiring spatial data are not very frequent in archaeological practice (for reason of their expensiveness and difficult accessibility), despite their great potential for this discipline. We could also add here the contact digitiser, but this method was already surpassed by 3D scanning or image-based modelling. This category of documentation methods is intended for an accurate recording of spatial data (within the possibilities of the hardware and software used), because the captured data are primarily expressed in spatial coordinates, which can be used for further analyses. This method is very suitable for the investigation of morphology and surface of artefacts, because the data can indeed be displayed only in their spatial form, without colour information which can often be confusing for the observer. The 3D recording method used with this case study was image-based modelling instead of a 3D scanner. The main reasons for this choice were: flexibility in documentation of morphologically variable artefacts, time effectiveness, the possibility of using a polarising filter for the scanning of artefacts with reflexive surface, and the quality of acquired texture, which is a photorealistic layer covering the surface of a 3D model and making it visually faithful to the original.



Fig. 1. Example of fragmentary material on a detail of relief decoration from two specimens of tiles (Ostrava–Kostelní).



These points, together with good resolution and accuracy of the record and mainly the purchase price of necessary equipment, make the image-based modelling ideal for documentation of archaeological artefacts.

A specific intersection of the above-mentioned techniques might be the RTI – Reflectance Transformation Imaging. It is a method of imaging with controlled illumination, where an object is photographed from a stationary camera position, but light is projected from different directions. Lighting information from the images is mathematically synthesized to generate a mathematical model of the surface, enabling a user to re-light the RTI image interactively and examine its surface on a screen. Although this method is mainly suitable for flat artefacts and spatially voluminous objects with multi-level morphology, it is a very accurate and detailed method of how to record the spatial information of an artefact, paradoxically enough, with no influence of light and colour of the original artefact.

The above-mentioned methods of recording the shape and other visual properties of artefacts are investigated in this case study both separately and simultaneously, in order to test the suitability of their combination. The aim is to find out which of these methods and synergies are applicable, which of them have some problems, and which are completely unsuitable for creation of source materials for further analyses.

However, this all is only a matter of technology of data collection in the future. From an archaeological point of view, it is important that this method might help to define and follow up the original source of the analysed relief, production lines and at the same time also pirate copies (the moulds for these specimens were made from imprints of the final tile). The newly acquired data, in addition to natural scientific analyses, represent another validation tool with certain information value for the fundamental problem of localising the primary and secondary production centres and following up the transfer of commodities – raw material as well as finished ware.

The aim is to formulate a methodical approach, which will analyse the morphology of a specific type of archaeological artefacts and will define its affiliation with certain production branch of a particular decoration element.

### 3.2 Method

To verify the properties and suitability of individual recording techniques, two sets of artefacts from different locations were chosen. The artefacts exhibit different optical features, but some of them might be of the same origin. It is a set of stove tiles bearing the motif of Adoration of the Christ Child (see Chap. 4b) and a set of tiles with the motif of Guilty lion (Fig. 2; see Chap. 4e).

These sets were chosen because of an adequate number of tested specimens. All of them also bear an identical area, which is large enough to eliminate random errors in determining the level of inter-similarity. The specimens with the motifs of Adoration of the Christ Child and Guilty lion are quantified in Tab. 1.



Fig. 2. 1 – Visualisation of a fragment with the motif of Adoration of the Christ Child in its original form, with Virgin Mary kneeling on a two-cusped arch (Velké Meziříčí); 2 – visualisation of a reduced motif of Adoration of the Christ Child (Javorník); 3 – visualisation of the relief motif of Guilty lion (Brno).

Motif	Location	Number of pieces
Guilty lion	Brno	5
Guilty lion	Olomouc	1
Guilty lion – stove	Brno – Špilberk	2
Adoration of the Christ Child	Javorník – Jánský vrch	26
Adoration of the Christ Child	Velké Meziříčí	1
Adoration of the Christ Child	Lipnice nad Sázavou – hrad	1
Adoration of the Christ Child	Ivančice	1

Tab. 1. Quantification of tested specimens.



Fig. 3. Tile stove with the motif of Guilty lion in what is now the wine tavern at Špilberk Castle in Brno.

The inter-comparison is particularly interesting with stove tiles from the “adoration” group, because they come from remote geographic regions. The situation in the case of artefacts from the “lions” group is different because the examined set of specimens from Brno was extended by another specimen from Olomouc and by two tiles from a still standing stove at the Špilberk Castle in Brno. The last mentioned two pieces were included in comparative tests because it can be reasonably supposed that they are copies of some medieval originals. The stove was built during the World War II within a rebuilding of the room in the south-eastern corner of the castle to a dining hall for non-commissioned officers (Fig. 3, see also Chap. 4e). The comparative analysis thus might indicate, from which original the copy was made, or whether or not the copies were made from more specimens.

The comparison of differences or concordances in artefact morphology is carried out at several levels. The first level is a comparison of metrical quantities of the documented artefact, the second level is an assessment of similarity in specific surface anomalies (surface deformation, manufacturing traces etc.), which may indicate the same production procedure, or even an identical mould or matrix which gave rise to the tile. The accuracy of tested procedures with regard to the assessment of metrical analysis proved to be relatively easy to evaluate. The drawing, photographic or other layouts (visualisations) were confronted with the original at specific places. The reliability of the second comparative category was more difficult to evaluate because the results of applied methods are in principle very different. Therefore it was necessary to be subjective and to approach every artefact and method separately.

It turned out that drawing is not able to sufficiently capture the complex shape of relief decoration. Moreover, it was not possible to reliably capture the spatial information of an artefact. The accuracy, particularly in complicated segments of the relief, varied with a deviation of several millimetres, which is by far not a satisfactory result.



Fig. 4. Differences in colour and appearance of specimens bearing the same motif.

The readout of surface anomalies from photographic documentation was not conclusive, either. Although the images were formally correctly freed from the distortion caused by the lens used (software Affinity Photo, Serif company) and were subsequently referenced in the ImageJ programme (developed by Wayne Rasband), the optical properties, such as texture and illumination of the documented artefact, hindered an adequately accurate evaluation.

When 2D photographic images shall be used as a base for the readout of spatial properties and analysis of the artefact surface, as shown on the process of application of the RTI method described below, we achieve much better results when the evaluation is based on data without the texture component. In this case, the surface morphology is revealed much more reliably. For this reason, the analysis was made using the image-based modelling and RTI methods.

### 3.3 Data collection – Image-Based Modelling

This spatial documentation method has been successfully and with increasing intensity used in archaeology for several decades already (e. g. De Reu et al. 2014, or McCarthy 2014) and is rightfully valued for its qualities. Its application consists in a geometric reconstruction of documented objects by evaluating the spatial data from multiple photographic images. The method identifies in these pictures identical specific points (pixels or their clusters), which help to determine the position of the measuring stand (the place from which the photograph was taken) in space (see Fig. 5).

On the basis of the focal length of photographs, the software can calculate spatial depth of the 3D record. By assembling a sufficient number of measuring images that were taken from an adequate number of positions around the photographed object (see Fig. 6), it is then possible to reconstruct the entire spatial information of the documented context.

This process enables to reconstruct very accurately the overall form of an artefact, from its geometry (capturing the surface morphology of the artefact) to the texture (capturing its appearance, colour and other visual qualities, which are not included in a common spatial description; Fig. 7).

The data for virtual reconstruction of an artefact were collected with the help of a standardised method using an automated turntable and a set of cameras Nikon D7200 with a Nikkor macro lens with a fixed 60 mm focus. Standard camera settings (when not given by the specific properties of an artefact) were f/18 aperture and ½ shutter speed, ISO 100. The evaluation of data, as described in the appendix, was carried out with the Agisoft Photoscan Pro software (version 1.6. by the Agisoft company). The reconstructed 3D model of the artefact was adjusted to reach the total of 2.5 million polygons, which is an empirically verified sufficient number of polygons, giving a mesh resolution suitable to preserve an adequate detail of the surface that is necessary for its thorough examination (similar to Peña-Villasenín et al. 2019).

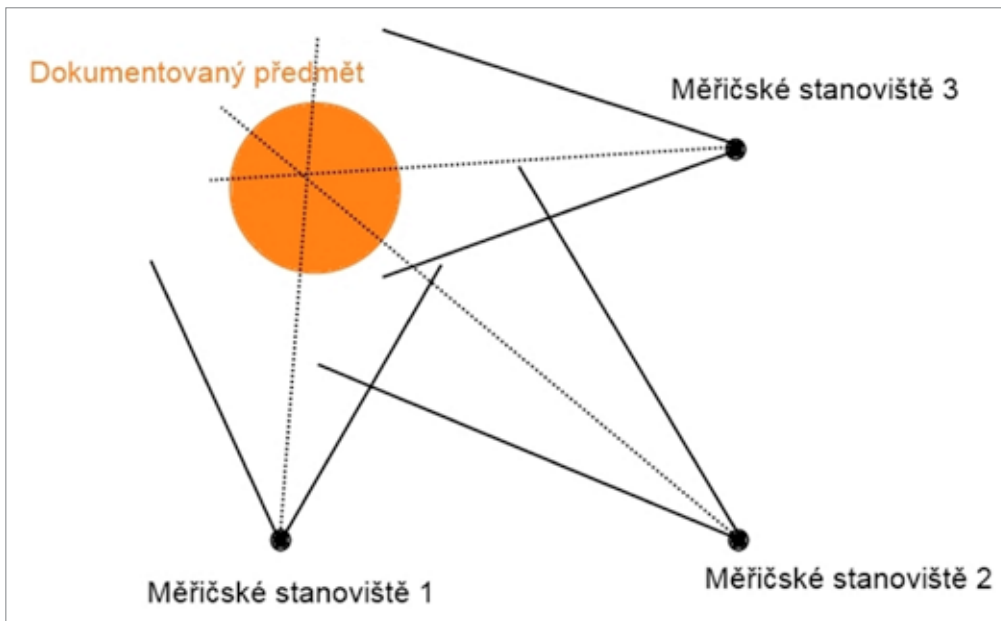


Fig. 5. Triangulation of horizontal positions of photographs based on the image overlap.

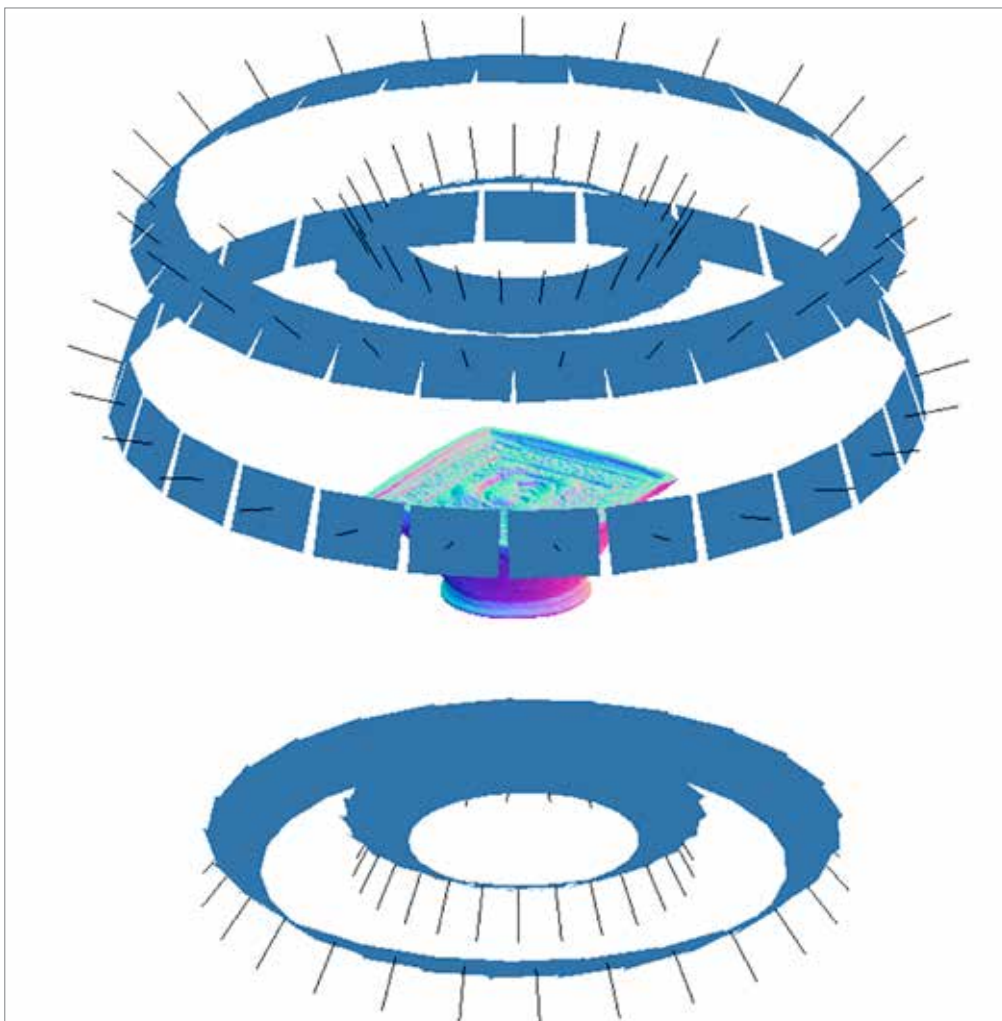


Fig. 6. The shift of measuring circles and their spatial distribution, the position of images is marked in blue.

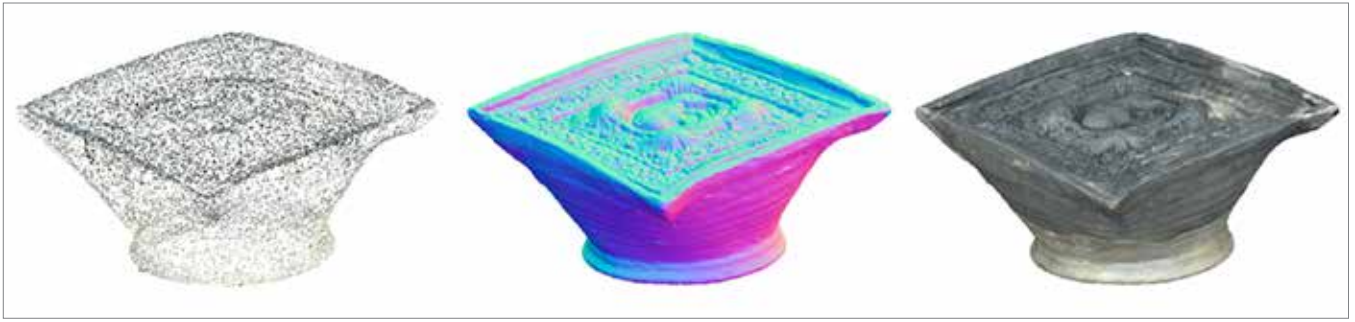


Fig. 7. Visualisation phases of a 3D model.

### 3.4 Data collection – RTI

This computational method derives information on the shape, surface and colour of objects from photographs and enables to interactively re-light the captured artefact from any position selected by the user. This changing interplay of light and shadow in the image discloses fine details of the object's surface, which makes this method ideal for examining

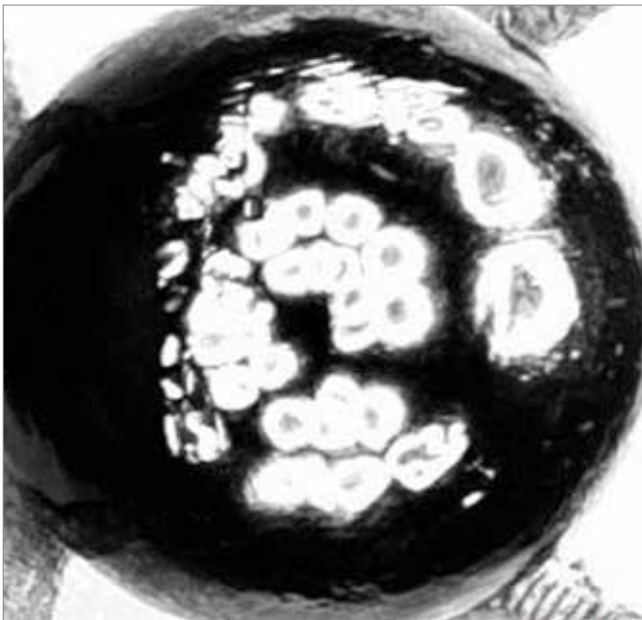


Fig. 8. Reflections of the light source rotating around the marker and an artefact at various angles and positions.

the decoration or manufacturing traces on artefacts (e. g. Newman 2015).

The data were evaluated using the RTI Builder software (developed by Cultural Heritage Imaging). However, the data collection method is nearly the same also when the evaluation is made with some other programme. It is based on the principle where a stationary artefact is photographed by a camera in fixed position and the only changing factor is the position of the light source. This position is recorded with the help of a reflexive sphere, which serves as a measurement marker of the intensity and direction of light shed on an artefact (Fig. 8).

With regard to the fact that this method records an artefact with the help of documentation photographs, it enables to capture not only the object's geometry but also its colour. The images are therefore equipped with a calibration colour chart, which enables to reconstruct back the accurate colour of an artefact. If we align the chart with the upper edge of the artefact, we can use it as a reference scale. This way we can derive from the image also spatial data on the captured area.

Since the method is very sensitive to the surrounding light conditions, pictures must be taken so that the reference sphere, from which the reflectance of the light source is calculated, is directly illuminated by no other light than that with controlled motion.

As shown in Fig. 12, the motion of the light source along the artefact is an invaluable tool for examination of the object's relief surface. Each change of the position of light falling on the surface discloses the relief details in a different way and highlights the traces which are otherwise difficult to observe. The smooth motion of light along the artefact and its repeatability and at the same time recordability count among the greatest advantages of this documentation technique. The positives of this method are easy to recognize and are described above. Among the negatives we must name the possible dependence of the image accuracy on the lens used. However, this weakness can be remedied by calibrating the images according to EXIF data in an external programme (for example Affinity). The lens distortion is thus controllable and it must not necessarily be projected into resulting data. The image quality is also influenced by the ISO values used and, for example, by the aperture size during data acquisition (this can be partly prevented by calibrating the lens at a particular focal length – e. g. Gajski et al. 2016). Important is that the mutual position of the artefact and the camera must not change, otherwise a whole series of images will be devalued.



Fig. 9. Imaging area for the RTI method. Colour chart – artefact – reference marker.



Fig. 10. Specular visualisation with well visible relief and shading on the artefact.



Fig. 11. Normal visualisation with well visible relief and traces on the artefact's surface.

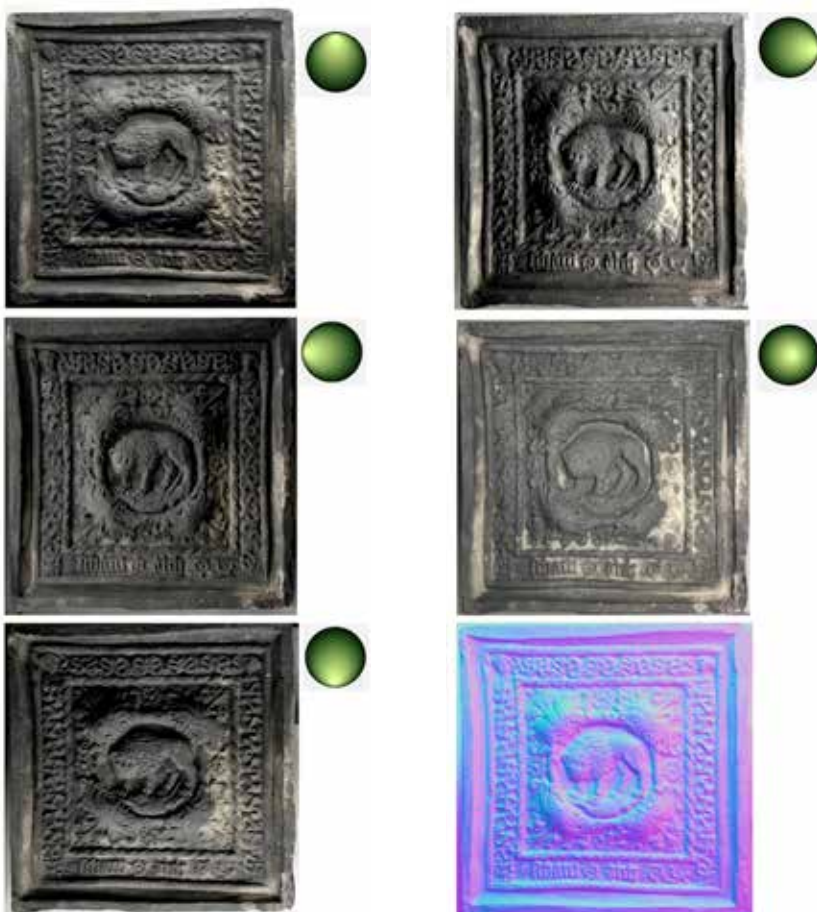


Fig. 12. Various directions of the light falling on the artefact's surface, whose orientation is visualised on the sphere on the right. Bottom right is a normal visualisation, which shows the complete visible morphology of an artefact, including various manufacturing traces and use-wear marks.

The only factor which cannot be influenced is the image quality given by the lens properties at a particular setting. Even high-quality lenses may adversely affect the peripheral areas of an image. Therefore it is suitable to not photograph an area of an artefact through the entire camera frame but to leave a certain distance in peripheral regions. This way we can mostly avoid a distortion of the interest area and an uneven quality of data.

The data in our case were collected with a Nikon D750 camera using a Nikkor macro lens with a fixed 60mm focus. Standard camera settings (when not given by the specific properties of an artefact) were  $f/10$  aperture and  $\frac{1}{2}$  shutter speed, ISO 100.

### 3.5 Data evaluation

By using both of the above-mentioned documentation techniques we get an excellent combination of data, where the image-based modelling provides complex morphological information on an artefact, including a generally accurate image of decoration, and RTI is then used with interest areas, where it can identify manufacturing traces, whole relief parts etc. By combining these techniques we can thus achieve a relatively complex investigation of metrical characteristics and morphology of a tile (Figs. 13 and 14).

Although the surface resolution in both visualisations made with the above-mentioned two methods seems to be very similar, a closer look at details reveals that the RTI method is more suitable for a thorough examination of the surface. However, this method can only be used for the documentation of flat areas and it is not able to depict various areas of an artefact at the same time.

Nevertheless, we must keep in mind that such resolution and quality of data could not yet be achieved in our discipline few years ago. It is thus a considerable shift forward in the methodology of examining the morphology of artefacts.

The original intent was to find out possible similarities and relationships between tiles by a comparison of 3D models of their frontal heating panels, in which the possible shape correlation can be best defined. The aim is to follow up differences and concordances in relief decoration on 3D models and then define possible identity of specimens. It is theoretically also possible to determine the similarity on the basis of technological traces, for example on the basis of technical construction of a complete specimen, but this methodical approach would be very difficult to apply due to uniqueness of material and its less common occurrence, fragmentariness and incompleteness. We must also keep in mind that the production sequence comprises a separate making of wheel-thrown tile bodies and relief-decorated frontal heating panels and their subsequent completing, which would secondarily enable to follow up the same technical solutions in tiles with completely different relief decoration.

However, in the course of time this approach proved to be hardly applicable because the comparative material is so fragmentary that it is very difficult to find a suitable area with sufficient information value for a software comparison. Even in the case of data with high resolution and accuracy of record we thus work with models which do not provide

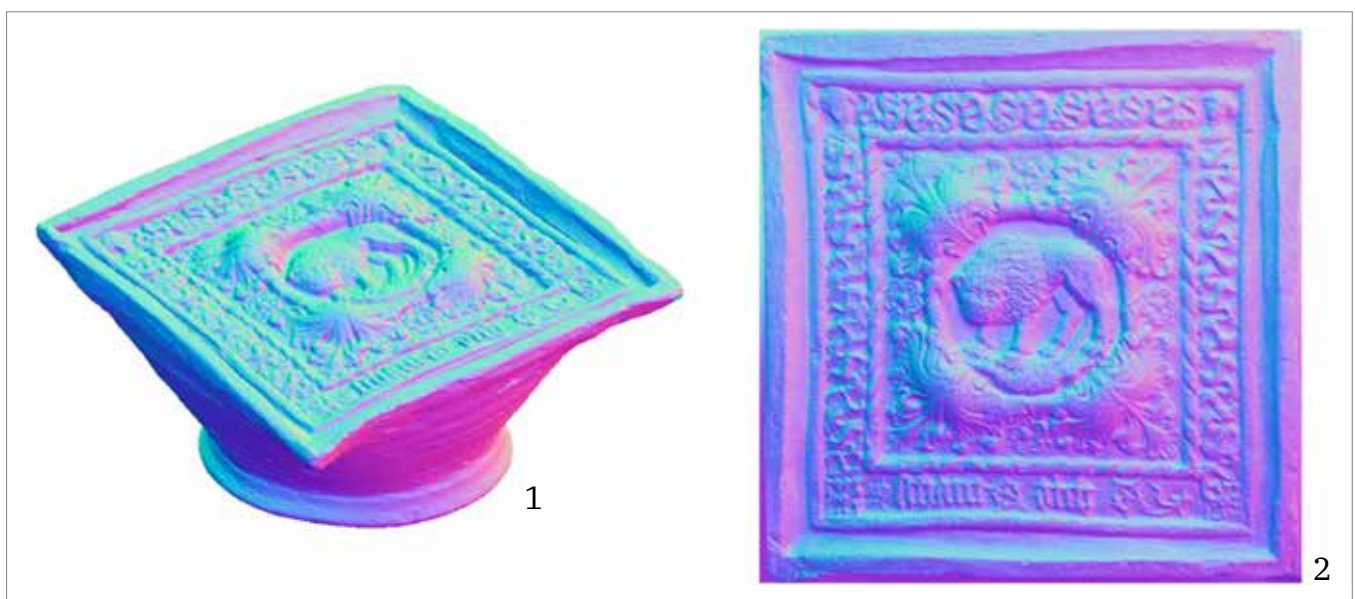


Fig. 13. 1 – 3D model with depicted normals; 2 – RTI normal visualisation.





Fig. 14. Comparison of resolution in the applied methods. 1 – SfM; 2 – RTI.

the range of forms and reduces the extent of a comparable sample, are author's adjustments, which have supplemented, remade (Fig. 16.3) or trimmed (Fig. 16.2) the decoration motif.

The relief of the specimens from Ivančice and Lipnice nad Sázavou (Fig. 18.1, 2) contains well readable details, which are evident in a comparison with the specimens from Velké Meziříčí (Fig. 18.3) and Javorník (Fig. 18.4, 5) – the relief of specimens 1 and 2 is much more detailed and bears traces of a thorough elaboration. Its absence in specimens 4 and

enough space for possible comparison (Fig. 15). With regard to the fragmentariness of documented artefacts we thus do not always get a sufficient data overlap for a reliable analysis.

The compared area must be adequately large to provide the same level of detail. The condition is valid when the models of particular artefacts are compared directly with one another instead of using their elastic comparison to generate an average model, which would serve as the basic comparative sample. However, such a model is difficult to extract from that fragmentary material and it would not be suitable for the objectives of this research. Even if the fragmentariness would not matter and we would find among the specimens sufficiently large areas to be compared, we must keep in mind that ceramic tiles, although in a mass production, exhibit relatively large individual differences caused by the manufacturing process. The frontal heating panels are thus variously deformed in all axes and the most marked differences are visible in the axis perpendicular to the front of the tile (Fig. 17). Unfortunately, these differences do not create any specific pattern with concordances, so that we cannot identify whether or not it is some specific evidence of one part of the production sequence or a particular production method.

The comparative process encompasses not only relief concordances but also manufacturing traces that emerged during shaping of the relief (Fig. 16.1). Among them are deformations caused by tipping the still malleable clay body out from the mould, or traces of contact of the material with the manufacturer's hands or tools.

Another significant factor, which considerably extends

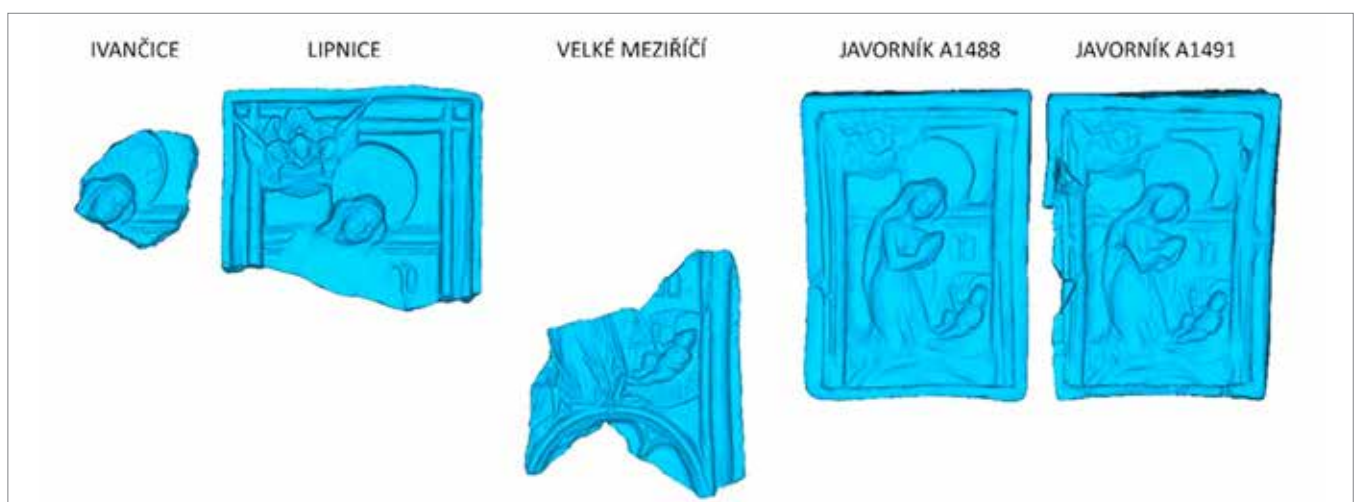


Fig. 15. Identical motif on the surface of various tile fragments.

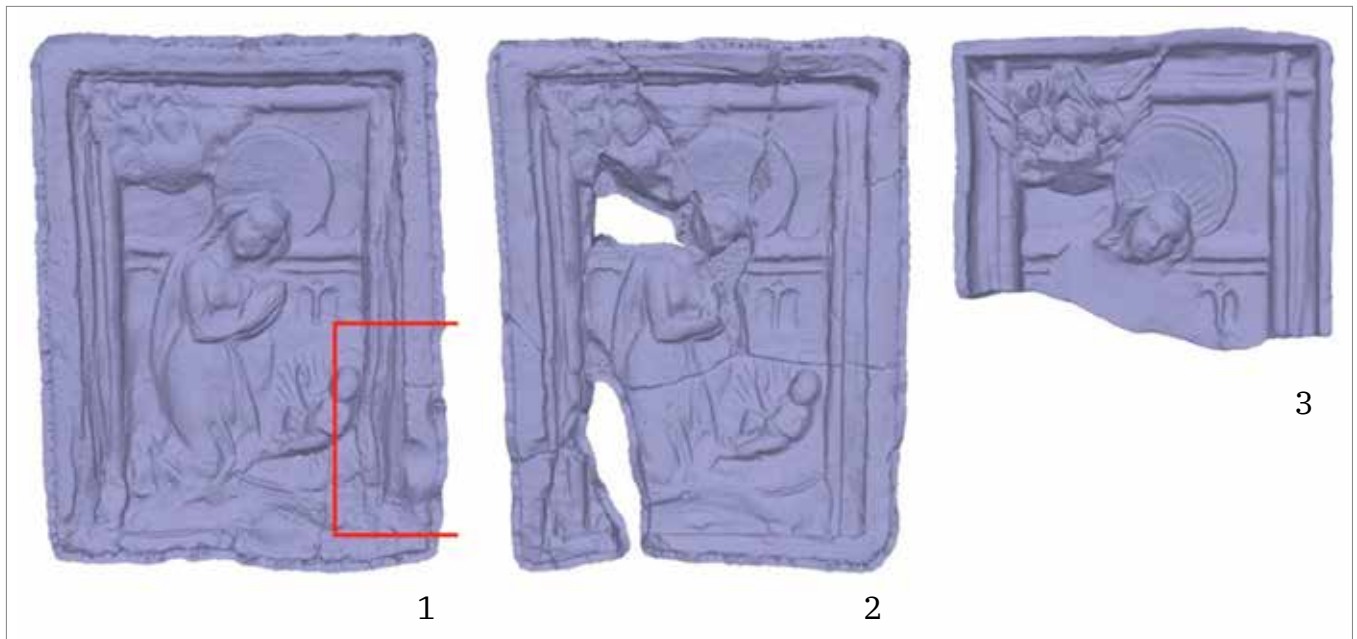


Fig. 16. Various types of adjustment of the decoration relief. 1, 2 – Javorník; 3 – Lipnice.

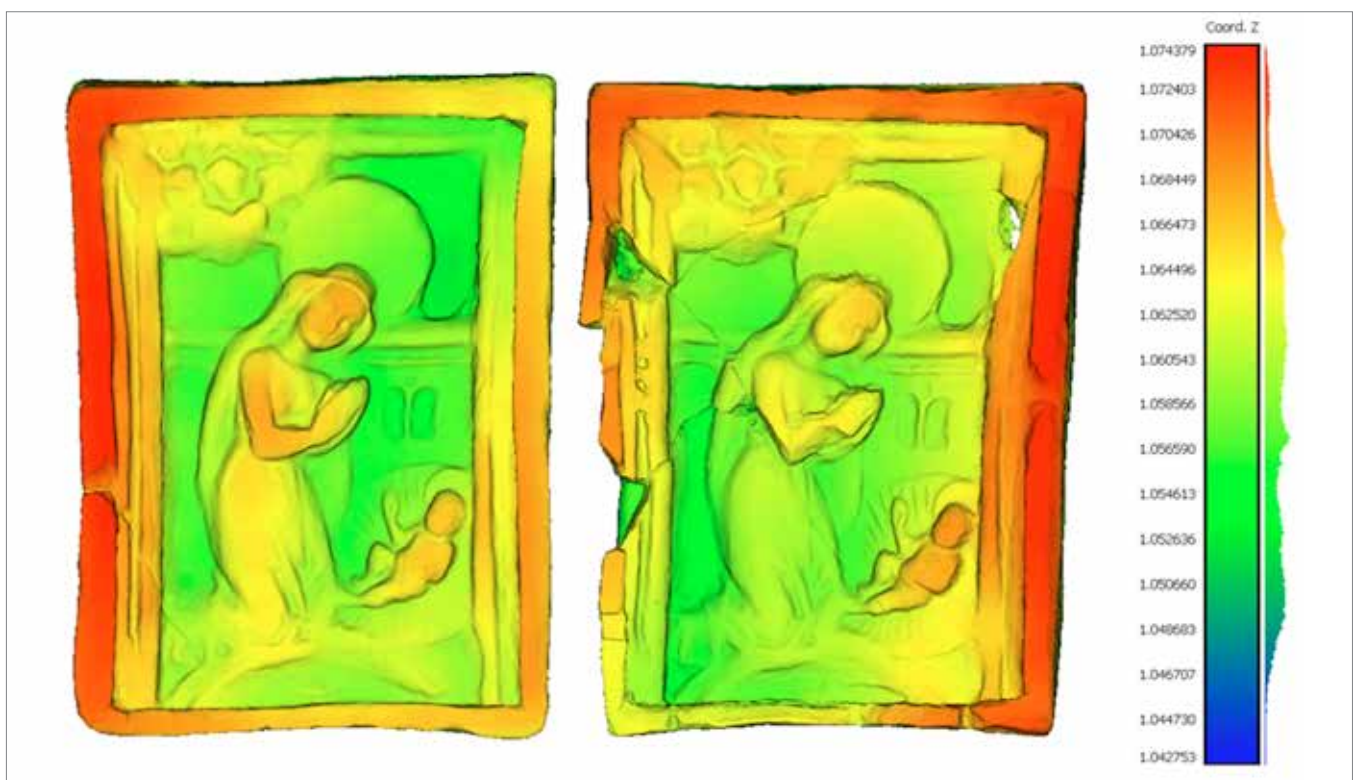


Fig. 17. Visualisation of the height map of a model and different deformations of the original frontal heating panel.

5 might be given by the abrasion of the mould or the original version from which they were derived, or by the production procedure used (Ernée–Vítanovský 2003, 548). This is particularly evident in a comparison with the specimens from Javorník, mainly on the aureole and on the design of angels. Specific shift in the morphology of tiles is visible on the specimen from Velké Meziříčí, which evidently had different proportions than the variant from Javorník (figures are positioned on a complete arch). The format of the tiles from Javorník was most probably adjusted for being used with some other stove construction. The Adoration motif on the original series of tiles in rectangular format is set into an identical

framing based on a two-cusped arch. Rounded bars projecting from the arch are crossed in the upper corners of the panel. Individual figures of all reliefs are positioned on this arch. In the specimens from Javorník, only the upper part of the arch is preserved. Another evidence of a different production is the overall proportional reduction of the specimens from Javorník by approximately 18% against the other tiles. Also different is the condition and low sharpness of decoration details. The reason thereof might be the abrasion of the original, from which the form/forms for the Javorník collection were made by impression. The analytical process described below at least partly responds to our search for the way of how the ceramic tiles and their possible subsequent copies were manufactured.

For a better orientation and visualisation, from the most extensive set of tiles (at least 26 specimens) with the motif of Adoration of the Christ Child from Javorník – Jánský vrch we chose only a few most complete specimens, which were compared and preliminarily classified as identical with small variations. The comparison of discovered types and groups of tiles is herewith more apparent.

As it is evident from Fig. 17, the frontal heating panel of tiles is variously deformed. It was visualised in the Cloud Compare software by superimposition of the height map to the models, which were identically oriented on the basis of specific points found in all specimens. In these two specimens, for example, we can say that the artefacts are laterally deformed by torsion against the central axis. This is an important detection because the comparative shape analysis would find out considerable deviations in these two specimens, even if they would be produced with the same mould.

Similarly, the specimens of the Javorník group and the other specimens cannot be primarily inter-compared on the basis of different dimensions with parallel maintenance of the same proportions (Fig. 18). Even if we would take into consideration possible degree of shrinkage of clay material in the course of the manufacturing process, the difference is so distinct that we can suppose a secondary production. Experimental tile production has proved a shrinkage caused by drying, and less by firing, within the interval of 7–10%. In the case of copied tiles, where the mould is made from the imprint of a finished product, the reduction in these secondarily produced tiles varies within the interval of 14–20% against the original specimen (Mikšík–Hanykýř–Hazlbauer 1986, 512, on this also Hazlbauer 1986, 502). On the basis of a coefficient of measured partial distances between specific points on the relief we can thus define the degree of shrinkage, or rather the differences between individual specimens. Thanks to this, we can subsequently hypothesize whether it is a primary, secondary or tertiary imprint, ordered from the largest to the smallest one.

So, when we carry out a size comparison of 3D models and then suppose the existence of at least two different variants (the reduced one from Javorník and the original one, identified with all the other specimens), we can make an indicative superimposition of 3D models, which reveals other irregularities as well as concordances in the geometry. The alignment of models was based on the registration of specific points situated in the overlapping areas of fragments, with a priority increasing towards the middle of the tile (where the smallest distortion is caused by the manufacturing deformation of the tile), for example on parts of figures or on architectonic elements.

The visualisation (Fig. 19) shows that the fragments from Lipnice and Ivančice can be aligned identically – they differ neither by their dimensions nor by the relief. The tile from Velké Meziříčí, on the other hand, corresponds to the previous two specimens in its size, so that it can be registered with the help of identical elements, but the marginal ledge

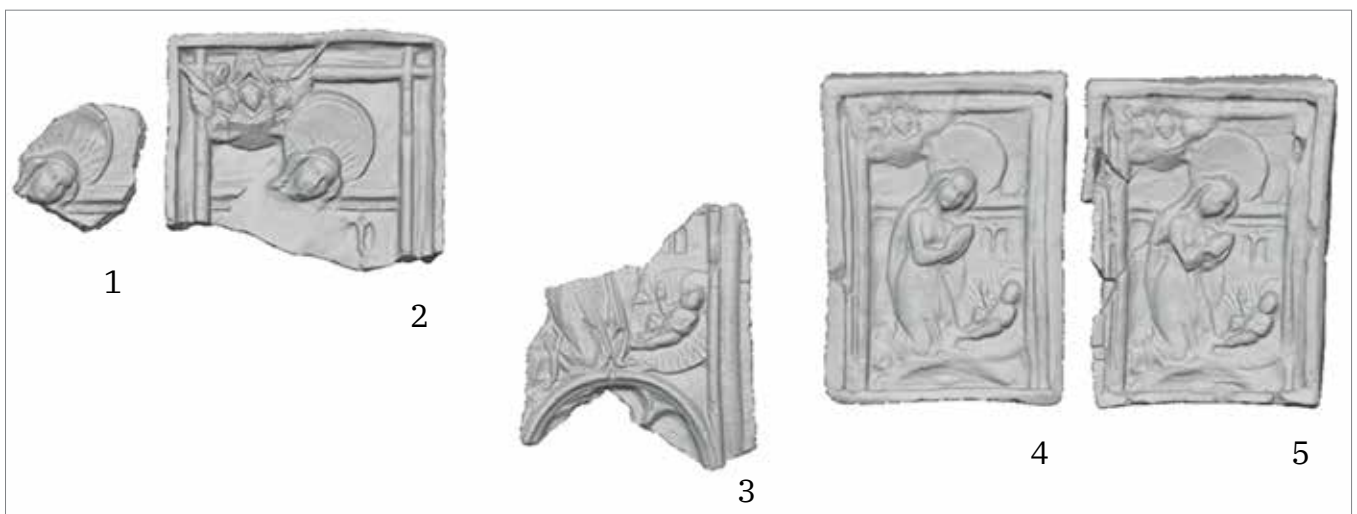


Fig. 18. The depicted motif of Adoration with parallel maintenance of spatial proportions, visualised by the underlying raster. 1 – Ivančice; 2 – Lipnice; 3 – Velké Meziříčí; 4, 5 – Javorník.

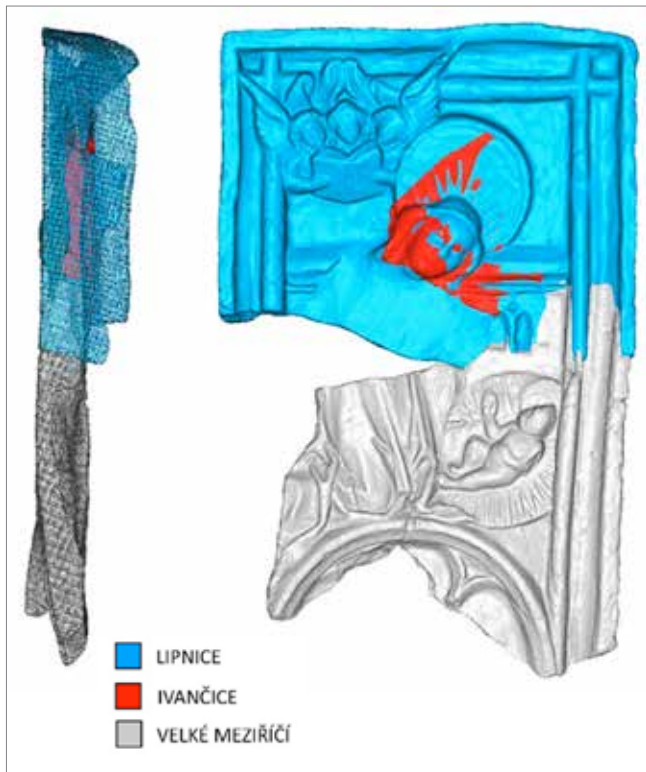


Fig. 19. Alignment and registration of superimposed models from the group of unreduced tiles with Adoration of the Christ Child.

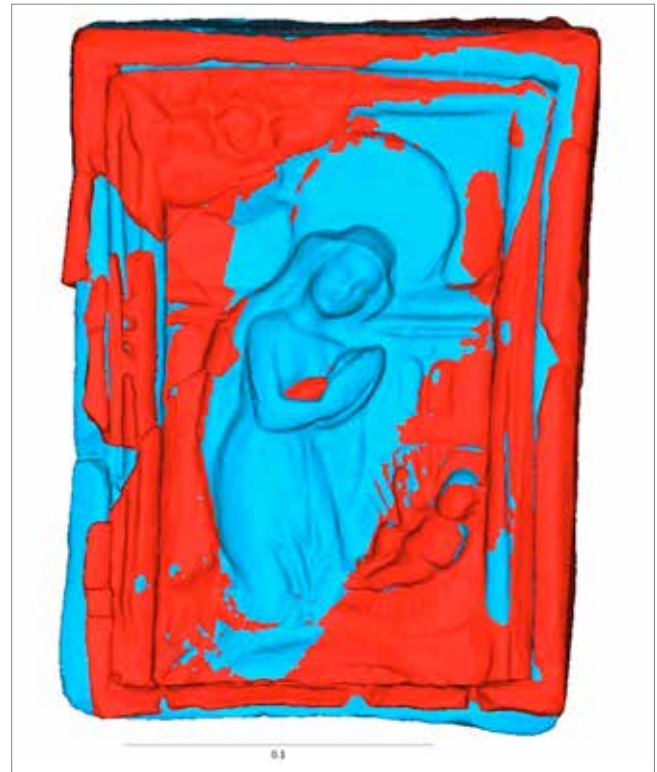


Fig. 20. Alignment and registration of superimposed models from the reduced Javorník group with Adoration of the Christ Child.

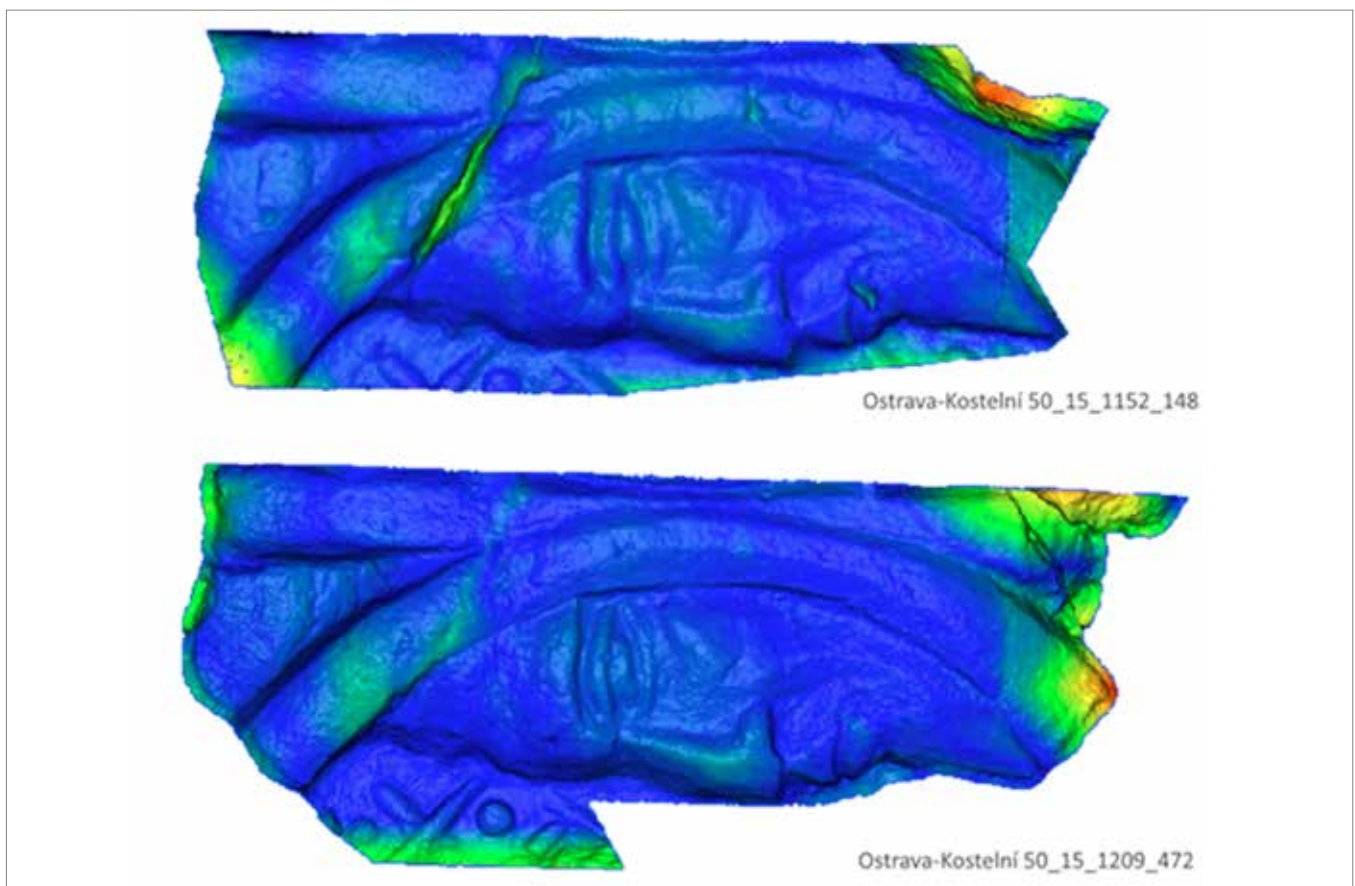


Fig. 21. Visualisation of errors in the comparison matrix caused by fissures and missing parts of fragments.

already exhibits a deviation. However, this deviation is probably not caused by the manufacturing deformation but rather by an insufficient corresponding area and by the deformation of relief in the place of registered orientation markers. We can thus conclude that only the first two fragments are probably identical.

The specimens from the Javornik group, which show a high similarity both in a metrical comparison and in the identical design of the decoration motif, also were superimposed on the basis of specific registration points (Fig. 20). The registration of 3D models was again made with the CloudCompare software without scaling the models, so we can say that the specimens are of the same origin. Visible differences are mainly observed on the marginal ledges of the frontal heating panel and are caused by the deformation of the artefact during the manufacturing process.

However, the 3D analysis, which was demonstrated on several specimens with Adoration of the Christ Child, has evident shortcomings – the determination of concordance is subjective, and the results are considerably influenced by the size of the overlapping specific area and by deformations of individual specimens. A step towards better accuracy might be, under specific circumstances, the use of the method of a surface calculating algorithm, which compares 3D data from various models with one another. The point clouds with similar resolution and density are registered in superimposition, similarly as it was with the first analysis, and a concordance between their surfaces is searched – in this case between the nearest neighbours. The result is defined by a transformation matrix and visualised through a height map showing the concordance rate. This method is demonstrated below on the example of a morphological comparison of two similar fragments from Ostrava (Fig. 21).

Despite the indisputable accuracy and “hardness” of resulting data, the cloud-to-cloud method of 3D data comparison adopts from its material all the shortcomings, from which the first presented analysis of superimposed 3D models has suffered. The colour chart showing a concordance (blue – major concordance of compared surfaces through to red – minimum concordance) is influenced by areas of the point cloud which cannot be identical – fissures in the artefact, its



Fig. 22. The use of reference markers on the surface of a frontal heating panel.

manufacturing deformations and others. The concordance in details is thus outshined by these anomalies. Although the models were previously freed from non-overlapping areas with the help of the Blender editing software, it is neither possible nor acceptable, with regard to accuracy, to reduce all data in this manner.

The suggested solution is thus represented by the last method, which is not targeted at measurement of the surface as a whole, but at registration of reference markers on the surface of the frontal heating panel – not only decoration elements, but also all raised anomalies, which can be found identically in 1 to N specimens (Fig. 22). It is the same principle which criminal investigators use in dactyloscopic analysis, searching for identical points on papillary lines, or anthropologists in osteological analysis of identical features on the surface of skeletal material.

This method, when applied, eliminates a whole area of data. It follows up only the concordances of their parts forming non-random anomalies, thus eliminating the errors caused by the deformation of clay material during production or post-deposition processes. The secondary adjustment of the relief, change of overall proportions of the tile or abstraction of one part of the relief to be used with some other motif also can be captured. Identical details should thus reveal the original model or a whole sequence of alterations.

The same method was also used to compare the fragments with Adoration of the Christ Child from Lipnice and Ivančice, in order to validate the applicability of the procedure. The two models were adequately reduced only to a selected matching area. Their inter-comparison clearly showed that the contours of the figure, aureole and building elements have nearly the same curves. The only striking difference between the models are the rays of the aureole, which appear in different numbers and at different angles. This is the only point at which the models markedly differ from one another. It is undoubtedly an evidence that these two specimens have at least one of the initial production phases common. The question of why they differ in fine decoration details cannot be clearly answered with the help of a 3D surface analysis. Nevertheless, we can formulate a hypothesis, which would confirm the suggested tile manufacturing procedure after M. Vitanovský (2000). He supposed that the motif was primarily captured in a wooden negative, from which subsequently the production matrix was made. The products would exhibit identical size features that are common to multiple specimens (original matrices). After impression from the wooden negative, they could be additionally elaborated in minute detail, as it probably was with the specimens from Lipnice and Ivančice.

Another comparison of identically aligned specimens is offered in the case of the group from Javorník. Using the same method of superimposition as demonstrated on the previous examples, we can generally say that the decoration reliefs are not spatially different, which is mainly visible in the contours of figures (Fig. 24).

Although from the previous analysis follows that the models of the group from Javorník and of the other groups differ in size, for the comparison of their different size we can make a correlation test of mutual proportionality in matching areas, in this case only in a fragment of Madonna's face and its surroundings (Fig. 25). On the basis of registration of specific points it was defined that the specimens of the Javorník group are smaller by approximately 18% (i. e. according to a translation matrix, the reference model reached a size of 0.284 towards the group Lipnice–Ivančice). We can thus hypothesize that the tiles from Javorník represent an evidence of production with the help of a secondary matrix and a secondary positive from an already finished tile, which corresponds to the detections by Z. Hazlbauer (1986, 498). The entire process of spatial analysis can be ideally demonstrated on a set of relief tiles with the motif of Guilty lion. They comprise two variants – the first one with lion (Fig. 23.1) and the second one with rosette (Fig. 26.2). Only the central decoration motif changes, while the margins of tiles with ledges and other décor remain unchanged.

The visual similarity is very distinct, but the methodical procedure cannot be carried out until this seeming correlation is confirmed in reality. This can be done with multiple methods. The first possible method is a comparison of distances of specific points between tiles (Fig. 27; similar procedure, although with no digital measurements, was applied e. g. by Ernée–Vitanovský 2003).

The second method, which at the same time follows up the correlation of concordance in morphological structure of scanned artefacts, is the cloud-to-cloud comparison of the surface of 3D models of artefacts (methodologically described and defined above). This comparison was made between all models with the same motif, in the defined area of the central motif, with a very similar result. Although the models differ from one another in minute details, the general characteristics of the motif and their mutual proportionality exhibit a high concordance rate (Fig. 28). Thanks to this, it will be possible to compare this group of reliefs with the motif of Guilty lion through a single defined representative (Brno, Radnická) with the central motif of a Rosette.

When we compare tiles with different elements of the central décor, it is necessary to remove these defining areas, otherwise they would completely debase the comparison matrix by their extreme values. Despite the absence of figural motif, or at least a part thereof, it is possible to compare these specimens with the help of the marginal ledge and other

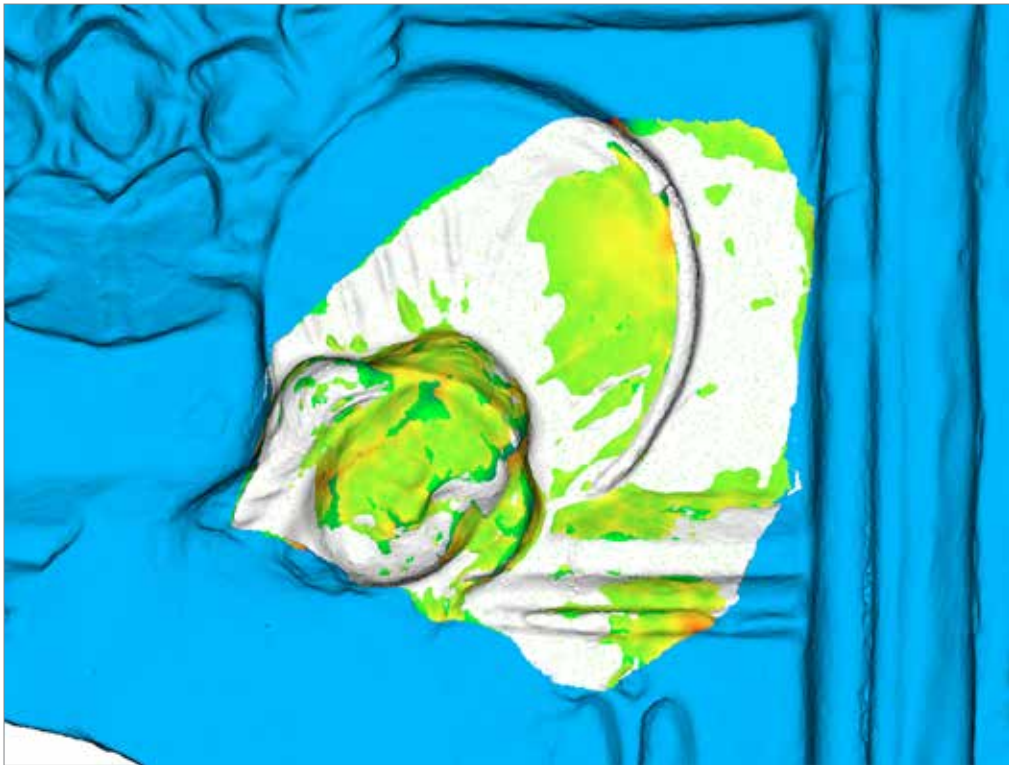


Fig. 23. White fragment from Ivančice superimposed to the blue fragment from Lipnice. The deviations of similarity are visualised with the help of a scale model overlaying the original models.

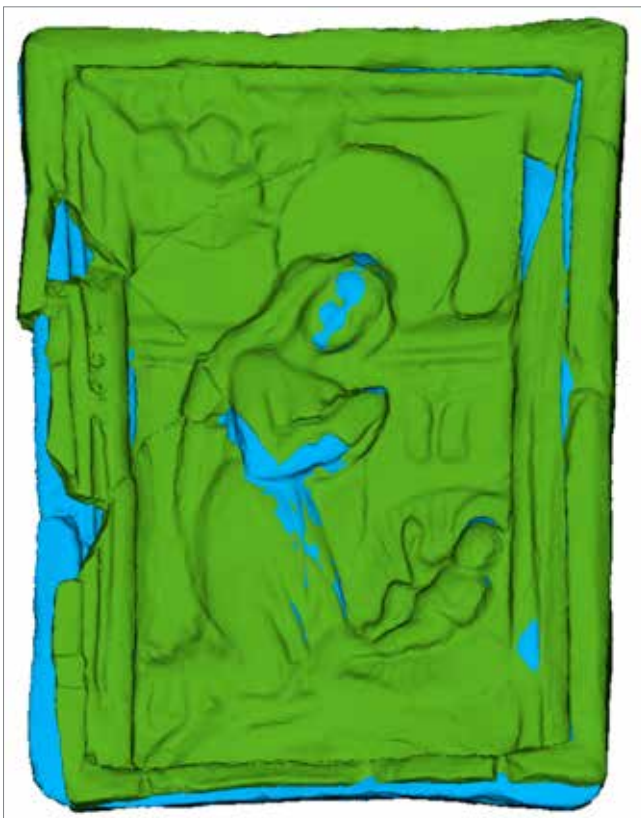


Fig. 24. Superimposition of selected 3D models of specimens with Adoration from Javorník.

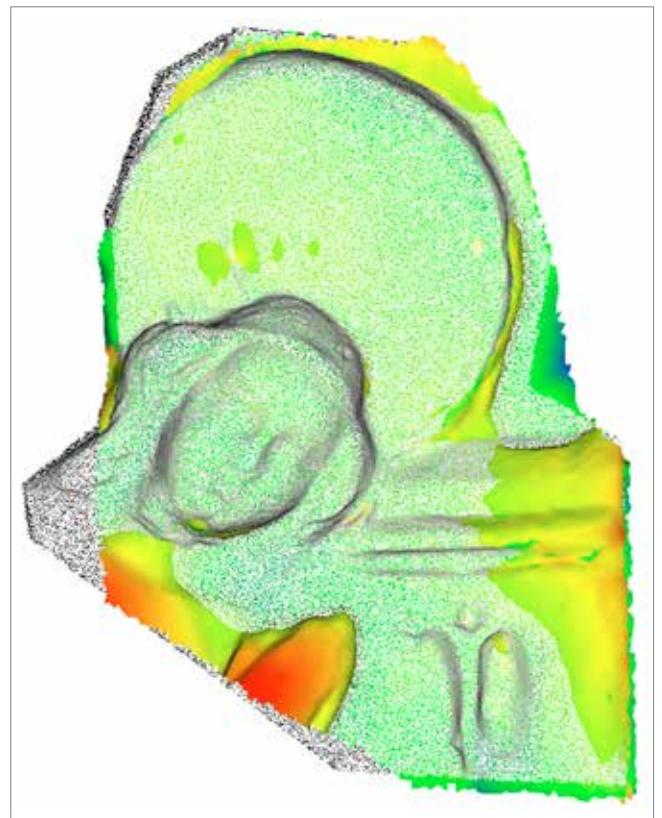


Fig. 25. Overlap of models of reference specimens, expressed by a colour scale that is superimposed to point clouds representing both surfaces (red signifies the smallest concordance in a place where one part of the relief with Madonna's hand on the reference tile from Ivančice is missing).

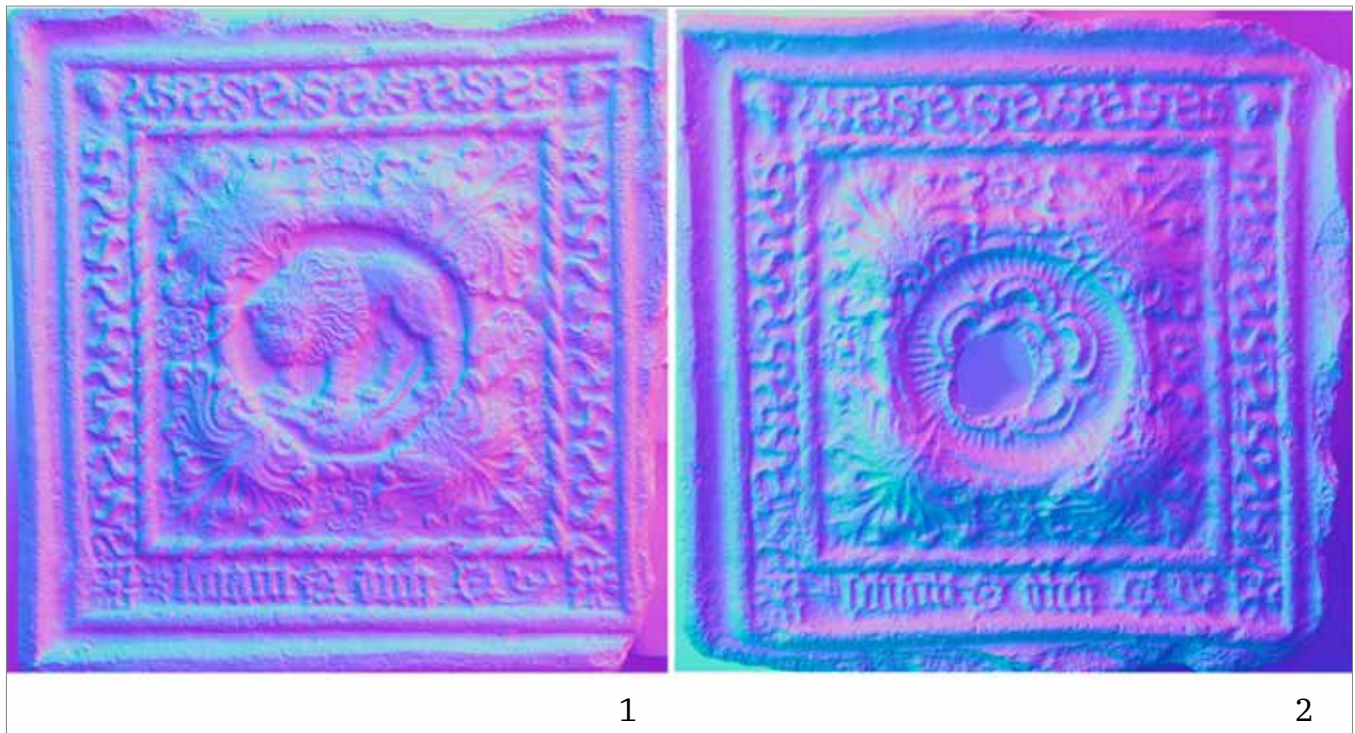


Fig. 26. 1 – Central motif of a guilty lion (Brno, Panská 6); 2 – central motif of a rosette (Vyškov).



Fig. 27. Tiles with the motif of Guilty lion, 3D model of standardised design, the size differs by several millimetres. 1 – Brno, Panská 6; 2 – Brno, Radnická; 3 – Brno, Zámečnická 1 (cf. Chap. 4e).

elements. As a result, the artefacts exhibit a high concordance of similarity in general morphology, but they differ in details. However, this is probably caused by a different mould or manufacturing procedure.

Not all the tiles with the motif of guilty lion could be satisfactorily compared using the comparison of 3D model surface and the reason was as follows. Glazed tiles exhibit a certain loss of detail in their geometry because small depressions on the frontal heating panel are often completely covered with glaze. This is not apparent at first glance because the large thickness of the glaze layer, which was hardened by firing, makes in these depressions an optical impression of shaded drapery, so that the impression of depth remains (see Fig. 30.1, 2). However, a thorough examination reveals that the detail is not preserved and it could only be studied with a method which is able to distinguish the material density (i. e. not an optical method, such as image correlation, but, for example, the computing tomography). This fact thus complicates an objective examination of artefacts from the perspective of spatial analysis of the 3D model, so it is



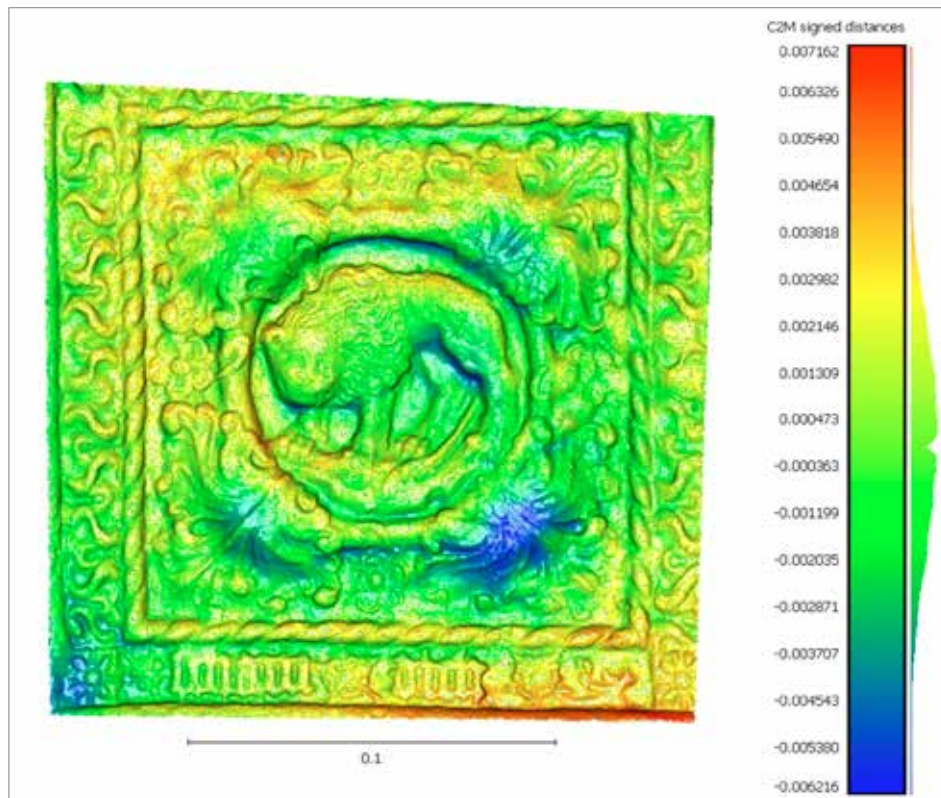


Fig. 28. Cloud-to-cloud comparison of surface similarity in the specimens from Brno, Panská 6 and Radnická streets.

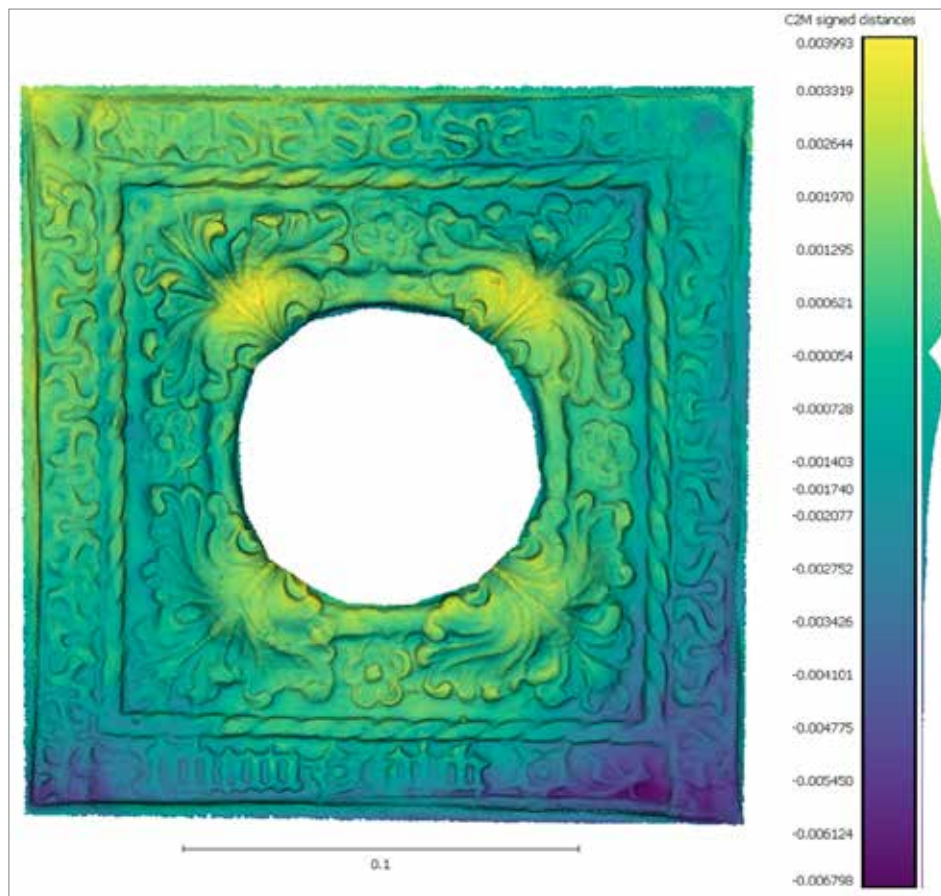


Fig. 29. Cloud-to-cloud comparison of similarity in tiles with the motif of guilty lion (Brno, Radnická) and rosette (Vyškov).

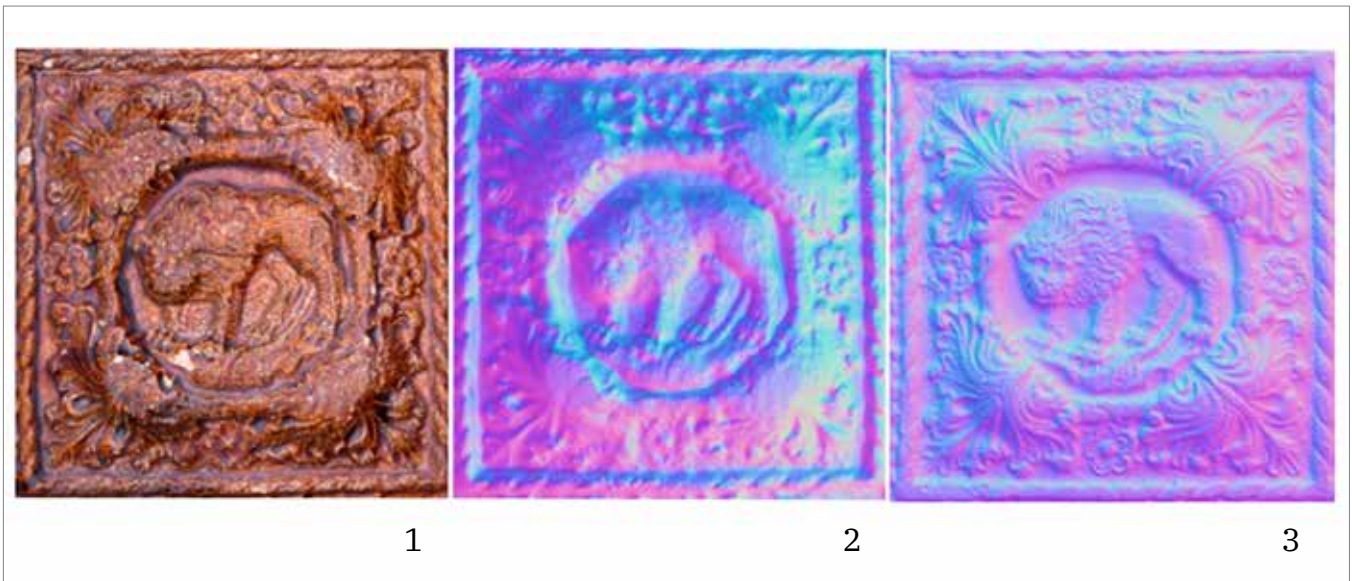


Fig. 30. 1, 2 – glazed tile (Olomouc, Barvířská): 1 – glaze detail; 2 – identical section of detail, normal map documenting the low plasticity of glazed surface; 3 – unglazed tile (Brno, Radnická), the same section of detail of the normal map for a comparison of decoration.

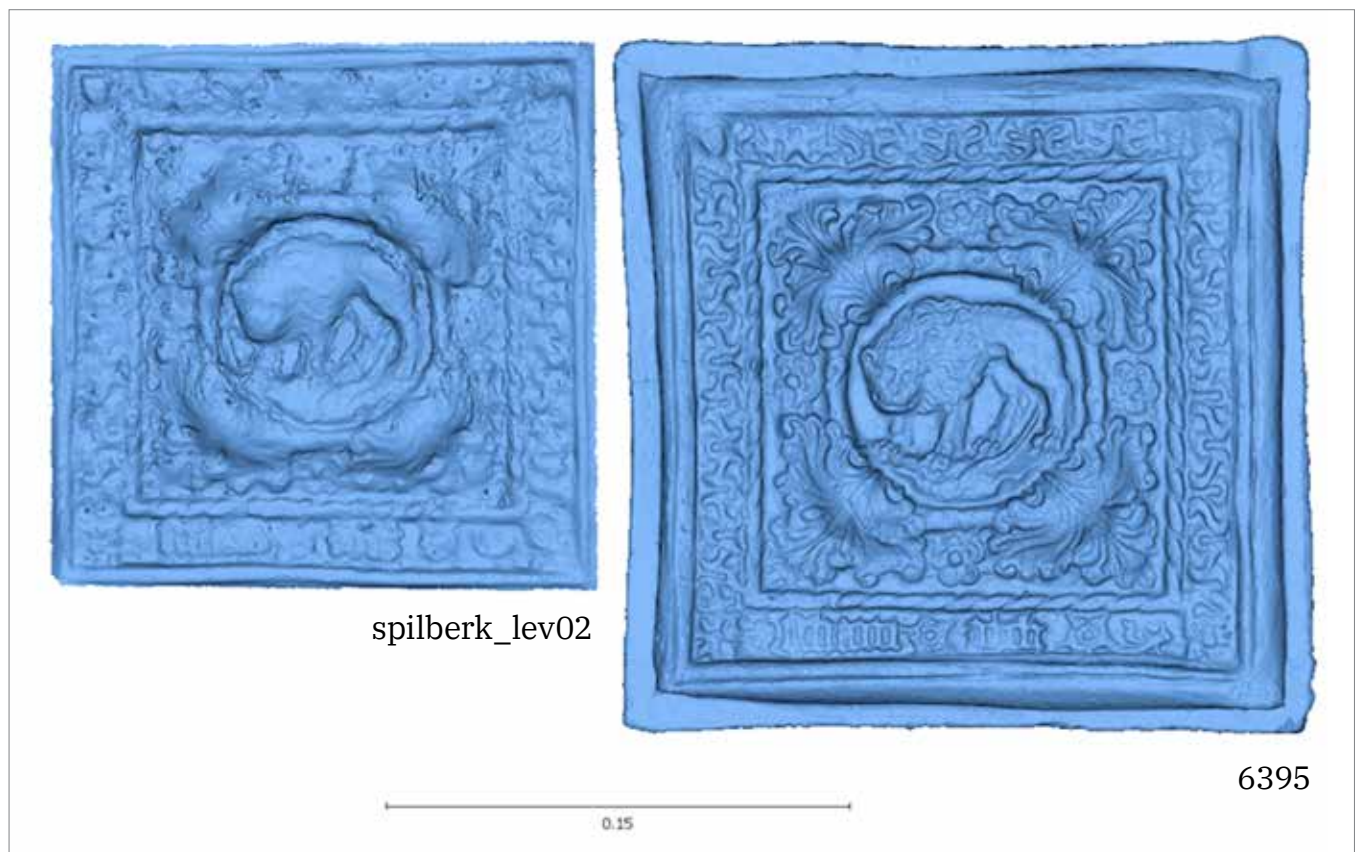


Fig. 31. Size comparison of models Spilberk\_lev02 and Brno, Radnická, the difference is approximately 10%.

more suitable to analyse the RTI outputs. As it is evident from Fig. 29, this method often does not provide a greater detail, either. However, by a combination of various settings of light conditions we can achieve at least partial accentuation of the relief plasticity (e. g. Bennison-Chapman-Hager 2018).

The method of comparing the morphology of artefacts with the help of RTI is demonstrated on the example of tiles incorporated in a stove at Špilberk Castle in Brno. These stove tiles are glazed, thus being an ideal material for a case study. In order to enhance the accuracy, it is always good to verify the exact dimensions of RTI outputs by a comparison with several measured unifying points on 3D models. From the group of individual isolated tiles we chose the model of a tile from Radnická Street in Brno as a reference specimen. From the group at Špilberk, we chose the tile Spilberk\_lev02 (with regard to its morphological identity with the remaining tiles of the stove, confirmed by previous analysis) without any more specific identifier. It is already evident at first glance that the artefacts are absolutely different in size. From the translation matrix followed that the difference is approximately 10% (Fig. 31). This value varies around the upper limit of results achieved by the Hazlbauer's team (Hazlbauer et al. 1986) – from this, we can draw a hypothesis that the authors impressed a medieval tile into some material available at that time (plaster?), which maintained the original dimensions. Afterwards, they used this mould to produce ceramic tiles from a material probably moistened at 30%, which then shrunk by 10% during drying and partly also during firing. If they would have impressed the original tile into clay to acquire a ceramic negative mould, the size reduction of tiles would be twice as large.

However, mere size comparison is not sufficient. It is also necessary to compare the proportions of artefact morphology to supplement the information value of the model. Since the relief is coated with glaze, the details cannot be compared using the cloud-to-cloud comparison. More suitable for this purpose is a comparison with the help of RTI, which was conducted using the superimposition of RTI image layers (Fig. 32) instead of aligning the positions of specific vertices.



Fig. 32. Superimposition of RTI image layers, base model Brno, Radnická overlaid by Spilberk\_lev02.

From the result is evident that the proportionality of the relief motif was maintained (although it differs in detail again – different matrix). Therefore we can classify and confirm the glazed group as a secondary copy of the original motif.

### 3.6 Summary

The information potential of modern digital technologies is clearly evident and indisputable (Yilmaz et al. 2007). Their non-destructive character, easy handling of digitised material and its problem-free sharing throughout the scientific spectrum makes them another useful tool of modern archaeologists. The application of any method, even a modern and trendy one, would be purposeless without clearly defined goals. With regard to the difficulty of data collection, demands for a large data storage capacity, high purchase price of equipment and the necessity of trained staff, this useful method is not yet widely applicable. It must be used purposefully and exactly as a supporting technique for validation of our previously formulated hypotheses (Yang et al. 2020).

The 3D model comparison is able to reveal minute details of the surface and define the concordances or possible differences in the surface relief between various specimens bearing the same decoration motif. These changes can be defined either by selecting points/areas of interest that bear the information, or by making a scale map, defining the concordance rate of aligned areas. The digital character of 3D models enables to compare also specimens of different size in a non-destructive and effective way. The difference in their size can be exactly defined, which helps to identify the position of individual specimens within the production sequence, i.e. to determine which creative iteration they represent (e. g. after Vitanovský 2001). When a 3D model cannot be used for analysis, it is possible to compare the surface properties of artefacts with the help of results acquired by the RTI method. This method enables to visualise and measure artefacts very accurately using a detailed record of the 2D relief. It also enables to generate various light conditions on the surface of an artefact, which enable to thoroughly examine its surface.