

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FILOZOFICKÁ FAKULTA
ARCHEOLOGICKÝ ÚSTAV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MOŽNOSTI VYUŽITÍ STOLNÍHO STACIONÁRNÍHO LASEROVÉHO
SKENERU PRO DOKUMENTACI MOVITÝCH ARTEFAKTŮ

Vedoucí práce: PhDr. Jan John, Ph.D.

Autor práce: Michael Sedlák

Studijní obor: Archeologie

Ročník: 2.

2016

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

České Budějovice 10. prosince 2016

Poděkování

V první řadě chci velmi poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce PhDr. Janu Johnovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky, které výraznou měrou přispěly k dokončení této práce.

Jmenovitě chci také poděkovat doc. Mgr. Ondřeji Chvojkovi, Ph.D., Mgr. Janu Mikešovi, Mgr. Martinu Ptákovi, Mgr. Tereze Šálkové, Bc. Haně Hojerové a Lubošovi Strachotovi za poskytnutí předmětů ke skenování, doc. PhDr. Jaromíru Benešovi, Ph.D. za cenné připomínky a pomoc, stejně tak Mgr. Bc. Václavu Vondrovskému, který mě inspiroval k tématu a zásadním způsobem tak ovlivnil moji práci, Ing. Pavlovi Spurnému za výraznou pomoc při korekci textu, Dr. Stephanu Rusdorfovi za poskytnutí demoverze softwaru TroveSketch a zejména pak mé rodině a manželce Tereze za nekonečnou podporu během mého bakalářského studia.

Anotace

Práce se snaží poukázat na možnosti využití trojrozměrné dokumentace laserovým stacionárním skenerem s přihlédnutím na standardy klasických dokumentačních metod. Stručně popisuje přehled současného stavu v oblasti 3D dokumentace a snaží se přiblížit problematiku trojrozměrného skenování.

Aplikací laserového skenování na souboru movitých artefaktů jsou zkoumány limity digitalizace v závislosti na materiálech a morfologii předmětů. Část práce také řeší porovnání této metody s dalšími dokumentačními postupy.

Klíčová slova: 3D skenování v archeologii, laserový skener, archeologická dokumentace, 3D dokumentace, virtuální artefakt, NextEngine

Annotation

The thesis tries to point out to opportunity of using of stationary three-dimensional laser scanner documentation with regard to standards of conventional documentary methods. It provides a brief recherche and describes the issue of three-dimensional scanning.

The limits of digitalization are observed by laser scanning application on the set of movable artefacts depending on the materials and morphology of objects. Part of this thesis describes comparison between this method and other possible documentation methods.

Key words: 3D scanning in archeology, laser scanner, archaeological documentation, 3D documentation, virtual artifact, NextEngine

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíle práce	9
3. Využití trojrozměrné dokumentace artefaktů v archeologii	10
4. Typy 3D skenerů	12
4.1. Dělení přístrojů podle způsobů snímání.....	12
4.1.1. Dotykové přístroje	12
4.1.2. Bezdotykové přístroje	12
4.2. Dělení podle mobility přístroje	12
4.2.1. Stacionární přístroje	12
4.2.2. Mobilní přístroje	13
4.3. Dělení podle způsobu digitalizace	13
4.3.1. Mechanické přístroje.....	13
4.3.2. Optické přístroje	13
4.3.3. Laserové přístroje	14
4.3.4. Destruktivní přístroje	14
4.3.5. Ultrazvukové přístroje	14
4.3.6. Rentgenové přístroje	14
4.3.7. Počítačová tomografie (CT) a magnetická resonance (MR)	15
5. Software	16
5.1. Svobodný software	16
MeshLab	16
FreeCad.....	16
GOM Inspect	17
3D-Tool Free Viewer	17
Blender	17
Adobe Reader	17
5.2. Komerční software	17
Geomagic Design	18
SimLab Composer	18
TroveSketch.....	18
5.3. Software určený pro záznam 3D modelů	18

ScanStudio HD	18
Agisoft PhotoScan Professional	21
5.4. Formáty souborů	22
6. Aplikace laserového skenování na souboru artefaktů	23
6.1. Metodologický úvod	23
6.1.1. Přístroj použitý k záznamu objektů do virtuální reality	23
6.1.2. Způsob vyhodnocení získaných dat.....	24
6.1.3. Rozdělení kategorií artefaktů	24
6.2. Digitální záznam a zpracování archeologického souboru.....	26
6.2.1. Kategorie A.....	26
6.2.2. Kategorie B	33
6.2.3. Kategorie C	39
6.2.4. Kategorie D.....	42
6.2.5. Kategorie E	44
6.2.6. Kategorie F	46
6.2.7. Kategorie G.....	47
6.2.8. Kategorie H.....	48
6.3. Vyhodnocení získaných dat	49
7. Problémy při vytváření a prezentaci 3D modelů.....	55
7.1. Hardware	55
7.2. Textura	55
7.3. Skenování detailu a ostrých hran	56
7.4. Skenování dutin.....	56
7.5. Měřítka	57
8. Správa dat	58
8.1. Databáze.....	58
8.2. Záznam metadat	58
9. Srovnání 3D skenování s dalšími dokumentačními metodami.....	63
10. Diskuse a závěr.....	66
11. Seznam zdrojů.....	68
11.1. Literatura	68
11.2. Další zdroje.....	69
12. Přílohy.....	71

12.1.	Seznam obrazových příloh	71
12.2.	Seznam tabulek.....	73
12.3.	Další přílohy	74

1. Úvod

Již od počátků vědeckého zájmu o archeologické kulturní dědictví vznikala potřeba zaznamenávat archeologické situace a nálezy. Kresba či fotografie, jakožto dokumentační forma, se stala nedílnou součástí archeologie a u řady artefaktů se stala jediným důkazem o jejich existenci. Dokumentace situací a nálezů tvoří v archeologii základní kámen výstupů bádání a pochopitelně se tak klade čím dál větší důraz na přesnost a detail. Je otázkou, zda tradiční dokumentační metody dokážou s tímto trendem držet krok. V zásadě je každá dokumentace subjektivní interpretací badatele ovlivněná jeho schopnostmi.

Avšak v dnešní době, kdy nálezů stále přibývá a sotva zbývá čas na jejich zpracování, vzniká další problém. Naskytá se otázka, zda je vůbec možné všechny movité artefakty pečlivě registrovat a zdokumentovat. Klasické metody dokumentace využívané v archeologii nejsou zdaleka přesné, často dochází k viditelným odchylkám a nepodávají kompletní výpovědní hodnotu o artefaktu, ale pouze její zprostředkovanou část. Vývoj technologií jde neustále kupředu a nové poznatky digitálního věku a s tím spojené využití počítačů se dotýkají prakticky všech vědních oborů. Bylo jen otázkou času, kdy i archeologové začnou využívat trojrozměrné dokumentační metody pro vědecké účely.

Spolu s fotogrammetrií se v poslední dekádě stále více rozšiřuje aplikace 3D skenování. Tato metoda dokumentace, jejíž přednosti převážně využívá reverzní inženýrství, ale i medicína, filmový průmysl a další odvětví, si našla cestu do řady vědních oborů, archeologie nevyjímaje.

2. Cíle práce

Na aplikaci nových technologií v každém oboru můžeme zpočátku často nahlížet spíše nekriticky. Uvědoměním si limitů a negativ nových přístupů proto snadněji zamezíme situaci, kdy se nacházíme ve slepé uličce. Novější a složitější metody nemusí vždy být využitelnější, detailnější či reprezentativnější. Na druhou stranu je beze smyslu i striktní odmítání nových metod. Odvolávání se na tradiční postupy léty ověřené, nejvíce využívané a v oboru hluboce zakořeněné působí negativně a vyvolává stagnaci ve vědě. Nosným pilířem adekvátního kritického vyhodnocení je vymezení problémů s novými postupy, v této práci aplikované na možnosti trojrozměrné dokumentace za pomoci laserového stacionárního skeneru. Do jaké míry je tato metoda funkční a využitelná a zda dostatečně nahradí stávající dokumentační postupy? Usnadní a urychlí 3D skenování dokumentaci artefaktů? Je aplikovatelná na všechny druhy archeologických památek?

Cílem této práce je snaha na tyto otázky odpovědět, zhodnotit využitelnost metody 3D skenování a její limity pro dokumentaci movitých artefaktů, poukázat na problémy spojené s trojrozměrnými virtuálními modely archeologických památek a porovnat tuto metodu s dalšími typy dokumentačních postupů. Pro snadnější pochopení textu je práce koncipována s co nejjednodušším výkladem technických specifikací.

3. Využití trojrozměrné dokumentace artefaktů v archeologii

Využití trojrozměrné vizualizace pro účely dokumentace archeologických movitých památek je stále více se rozšiřujícím trendem. Nárůst však není masový, vzhledem k vysoké pořizovací ceně skenovacích zařízení a softwaru je pro většinu institucí nemožné takové zařízení vlastnit. Na úvod je důležité položit otázku, má-li vůbec 3D dokumentace movitých památek pro archeologii význam. Stále se rozšiřující řada badatelů přichází v tomto směru se zajímavými výsledky, vznikají nadějně projekty i v České Republice. Příkladem je projekt s názvem „Archeologické 3D virtuální muzeum. Nové technologie dokumentace a prezentace neolitického sídelního areálu“, číslo projektu DF12P01OVV032, který kromě virtuální vizualizace nemovitých památek pracuje s obsáhlým archeologickým fondem. Vzniklo tak virtuální muzeum, které obsahuje přes 900 naskenovaných movitých artefaktů, které jsou zveřejněny pro širokou veřejnost a jsou rovněž vhodné k dalšímu zpracování. Projekt Archeologické 3D virtuální muzeum tak udává směr, kterým se mohou ubírat ostatní archeologické instituce při tvorbě 3D modelů (www.archaeo3d.com). S těmito modely pak lze provádět analýzy, které by jakoukoliv jinou metodou nebyly snadno zvládnutelné.

Obzvlášť velké pozornosti se v oblasti analýz 3D modelů těší zpracování keramického materiálu. Vznikají analýzy keramických nádob, kde se na rozsáhlém počtu fragmentů analyzují profily a průměry nádob pomocí počítačových algoritmů. Za využití komerčních přístrojů a softwaru lze efektivně skenovat stovky keramických vzorků (střepů) za den. Rychlostí i možnostmi tak překonává doposud nejužívanější formu dokumentace keramického materiálu, kterou je kreslení (*Karasik – Smilansky 2008*). S dokumentací fragmentů nádob se pojí i možnosti počítačového zobrazení, kde lze díky získanému profilu části nádoby virtuálně artefakt rekonstruovat (*Kampel – Sablatnig 2003*). Pro analýzu různých nápisů či výzdob těžko rozeznatelných pouhým okem se využívá i 3D laserová profilometrie, v níž vznikají pokusy o převod zobrazení do vektorového prostředí (*Montani – Sapin – Sylvestre – Marquis 2012*).

Jedním ze základních pilířů dokumentace je vizualizace artefaktu. V první řadě je potřeba zachytit, jak předmět vypadá. Kresba byla hlavním nositelem této informace. Ovšem se stále se zvyšujícími nároky na přesnost vyobrazení může jen těžce konkurovat digitálnímu záznamu. Ten lze transformovat do podoby klasické kresebné dokumentace, či zvýraznit reprezentativní prvky artefaktu. Nemalou výhodou je, že lze nastavit

libovolný úhel pohledu na artefakt a vytvořit z něj během pár kliknutí různé formy vizualizace (*Gilboa – Tal – Shimshoni – Kolomenkin 2013*).

Velkým pomocníkem pro zpracování keramického materiálu je možnost automaticky pomocí algoritmů skládat artefakty z fragmentů (*Papaioannou – Karabassi 2003*). Tato metoda by značně ušetřila čas každé instituci při zpracování velkého množství materiálu. Rovněž by se takto daly sestavovat objekty, u nichž je nesnadná fyzická manipulace. Jedná se o velké, těžké či velmi křehké předměty, jejichž počítačová rekonstrukce by velmi přispěla k utvoření celkového obrazu o účelnosti a morfologii artefaktů.

Snímání do trojrozměrné virtuální reality nachází uplatnění i pro štípanou kamennou industrii. Záznam tohoto druhu artefaktů představuje velký potenciál. Například pro měření délky, šířky v polovině délky či celé šířky byl vytvořen algoritmus, který zároveň dokáže vypočítat pozici těžiště, objem i plochu. Tento způsob měření odstraňuje nepřesnosti spojené s ručním měřením a umožňuje vytvoření zcela nové, objektivní typologie (*Grosman – Smikt – Smilansky 2008*). 3D dokumentace kamenných artefaktů také nabízí nový pohled na morfologické zkoumání. S využitím detailních snímků lze sledovat a porovnávat velké množství artefaktů, sledovat jejich stavbu a zkoumat technologický proces výroby (*Bretzke – Conard 2012*).

Nasazení 3D digitalizace se hojně rozrůstá i v oblasti dokumentace osteologických pozůstatků. Antropologický materiál je mnohdy velmi křehký a manipulace s lidskými ostatky mohou mít destruktivní účinek. Trojrozměrné snímání částí skeletu je ideálním kompromisem mezi zachováním ostatků a prováděním analýz. V tomto případě 3D skener nedokáže nahradit počítačovou tomografii (CT = Computed Tomography), poněvadž je omezen pouze na snímání vnějšího povrchu a ne vnitřních struktur objektu. Pro základní měření a analýzy je však tato metoda poměrně levná a dostačující, navíc přispívá k zachování lidských reliktnů (*Kuzminsky – Gardiner 2012*). Trojrozměrná dokumentace antropologického materiálu má využití i v odhadu pohlaví jedinců. Lze tak snadno porovnávat vedle sebe velké množství ostatků s velkou přesností (*Jandová – Šplíchalová – Urbanová 2015*).

Vhodnost této metody není omezena pouze na určitý typ artefaktů, provádění skenování a následná analýza jsou možné prakticky u jakéhokoliv artefaktu. Limitování jsme pouze použitým přístrojem. Nejnovější technologie však nemají takřka žádné omezení pro nasnímání jakéhokoliv předmětu. Další vývoj ukáže, stane-li se 3D skenování standardní dokumentační metodou.

4. Typy 3D skenerů

Skenovací zařízení je základní komponentou potřebnou k úspěšné digitalizaci artefaktu. Přístrojů pro záznam trojrozměrných dat je mnoho typů, ne každý je však vhodný pro dokumentaci kulturního dědictví. V této kapitole bude stručně popsáno základní dělení přístrojů pro trojrozměrnou digitální dokumentaci.

4.1. Dělení přístrojů podle způsobů snímání

4.1.1. Dotykové přístroje

Skenery tohoto typu, fungují na principu bezprostředního kontaktu senzoru zařízení se skenovaným objektem. Pro archeologické účely jsou tyto přístroje nevhodné, jelikož hrozí poškození samotného artefaktu, a rovněž kvůli nepříliš vysoké detailnosti, kterou mechanický senzor není schopen zaznamenat v takové míře, jako u přístrojů bezdotykových (*Šnajdárek 2008, 14*).

4.1.2. Bezdotykové přístroje

Bezdotyková zařízení jsou pro účely dokumentace archeologických objektů nejideálnější volbou. Snímají objekt z dálky, nepotřebují tedy fyzický kontakt s předmětem. Navíc se vyznačují vysokou detailností, neboť podrobně zaznamenávají velké množství bodů za účelem vysokého rozlišení, ať už je snímaná plocha jakkoliv velká.

4.2. Dělení podle mobility přístroje

4.2.1. Stacionární přístroje

Jedná se o skenovací zařízení, které je pevně staticky umístěno. K uspokojivému výsledku nesmí být s přístrojem během procesu skenování manipulováno. Skenovaný artefakt je před přístrojem umístěn na pevné či otočené podložce. Digitalizace větších objektů vzhledem k možnostem přístroje je pak problematická a časově náročná (*Šnajdárek 2008, 15*).

4.2.2. Mobilní přístroje

Mobilní zařízení, na rozdíl od stacionárního, je určeno k manipulaci, bez níž nelze skenování provádět kompletně. Objekt určený pro digitalizaci musí být pevně umístěn, aby nedocházelo ke zkreslení při skenování. Pro archeologii jsou ideální volbou takzvané ruční skenery. Jsou malé, lehce přenositelné a dokáží zaznamenat velké množství dat, použitelné jsou především pro vytváření modelů nemovitých archeologických objektů, poradí si však i s menšími movitými artefakty.

4.3. Dělení podle způsobu digitalizace

4.3.1. Mechanické přístroje

Tento typ přístrojů funguje na principu dotykového snímání povrchu objektu. Při snímání přístroj zaznamenává polohu a natočení ve specifických bodech a drahách pohyblivých kloubů ramene sondy, výstupem je pak tzv. mračno bodů (point cloud). Mechanické přístroje však nedokáží zaznamenávat texturu povrchu a vzhledem k časové náročnosti snímání a fyzickému kontaktu s artefaktem je tento způsob digitalizace pro archeologii nepříliš vhodný (*Šnajdárek 2008, 15-16*).

4.3.2. Optické přístroje

Optická zařízení digitalizují objekt pomocí dvojrozměrných snímků, pořízených videokamerou či fotoaparátem obsahující CCD snímač. Jaký počet těchto snímků má být pořízen, je závislé na složitosti plochy objektu. Čím členitější je povrch, tím více snímků z různých úhlů musíme pořídit, abychom docílili co nejkompletnějšího 3D modelu. Často se objekt označuje pomocnými body, které usnadňují kompletaci snímků do digitálního modelu. Pro jednodušší vykreslení je třeba vytvořit pozadí tak, aby bylo pokud možno co nejkontrastnější se skenovaným objektem, jenž pro lepší manipulaci je vhodné umístit na otočnou podložku řízenou manuálně či počítačem. Časté problémy, které znesnadňují snímání, jsou spojeny s objektem určeným k digitalizaci. Příliš lesklý nebo tmavý povrch může vytvářet znatelné odchylky. Vhodným nasvícením nebo nanesením difúzní barvy na objekt však lze tento problém vyřešit (*Skoupý 2007, 19-20*).

4.3.3. Laserové přístroje

Tato zařízení využívají ke snímání objektu vysílání laserového paprsku. Přístroj vypočítá dle odrazu a doby letu vzdálenost od objektu. Každou takto vypočítanou souřadnici reprezentuje bod. Z naskenovaného mračna bodů software vygeneruje polygonovou síť, která je virtuálním klonem reálného objektu. Samotný laserový skener ale nezaznamenává informaci o textuře, proto některé skenery obsahují kameru s CCD snímačem, který záznam textury zajišťuje (*Skoupy 2007, 21-22*). Pro účely dokumentace v archeologii jsou tyto přístroje vhodné, neboť disponují poměrně vysokou přesností.

4.3.4. Destruktivní přístroje

Při snímání destruktivními skenery dochází ke zničení skenovaného objektu. Ten se prvně vyplní kontrastním materiálem tak, aby byly vyplněny všechny dutiny, a následně je připraven na skenování, kdy po odfrézování tenké vrstvy materiálu skener objekt nasnímá a zpracuje v počítači (*Skoupy 2007, 23*). Nevýhodou této metody je kompletní destrukce objektu, v archeologii tedy nemá úplatnění, pro účely reverzního inženýrství je však vhodnou alternativou, neboť dokáže zaznamenat jinými přístroji prakticky nedostupné dutiny.

4.3.5. Ultrazvukové přístroje

Základem těchto přístrojů je generování ultrazvuku. Toto mechanické vlnění je vysíláno sondou s kovovým hrotem. Pomocí zvukových čidel dojde ke snímání a následnému převodu do prostorových souřadnic. Jedná se o levnou metodu trojrozměrné digitalizace, která s sebou bohužel přináší i vyšší míru nepřesnosti (*Šnajdárek 2008, 21*).

4.3.6. Rentgenové přístroje

Rentgenové skenery patří mezi zařízení nedestruktivní a fungují na stejném principu jako klasický rentgen, s tím rozdílem, že zde intenzita ionizujícího záření může být mnohonásobně vyšší než u lékařských přístrojů. Nevýhodou je vysoká nepřesnost (*Skoupy 2007, 24*).

4.3.7. Počítačová tomografie (CT) a magnetická resonance (MR)

Magnetická resonance a počítačová tomografie mají využití nejen v medicíně, průmyslu či geologii, pro skenování složitých objektů a dutin to jsou velmi přesné nedestruktivní metody snímání, jejichž základními nevýhodami jsou pořizovací cena, omezení na určité typy materiálů a nutnost umístění objektu do skenovacího zařízení (Skoupy 2007, 24).

5. Software

Abychom mohli s virtuálními modely provádět měření, analýzy, nebo je pouze prezentovat vědecké obci či veřejnosti, je využití softwaru nezbytnou součástí práce s virtuálními objekty. Některé počítačové programy určené pro vytváření modelů 3D skenerem nabízí řadu možností pro úpravu virtuálních objektů, nenabízí však pro potřeby archeologické dokumentace potřebné funkce. V takovém případě lze využít velké množství softwaru převážně určeného pro technické obory. Jedná se převážně o CAD (Computer aided design) software využívaný v největší míře ve strojírenství, stavebnictví a architektuře. Z celé řady programů jich je pro archeologii využitelných jen pár a nenabízejí specifické funkce použitelné pro dokumentaci artefaktů. V tomto směru zde vzniká potřeba vývoje softwaru speciálně určeného pro potřeby archeologie. Ačkoliv tyto programy již existují a neustále se rozvíjí, jejich pořizovací cena je finančně velmi nákladná, což může být pro množství institucí neodstranitelná překážka. Ideální variantou se stává využívání svobodného softwaru pro nekomerční užití.

5.1. Svobodný software

Tato zajímavá alternativa má několik druhů licencí, které se liší ve způsobu užívání. Obecně se však open source a dalším neplaceným druhům softwaru říká free software. Tento druh softwaru je nabízen zcela zdarma, oproti komerčnímu softwaru však většinou nedisponuje tak rozsáhlými možnostmi. Pro základní archeologickou dokumentaci a vizualizaci je však svobodný software dostačující.

MeshLab

Program MeshLab vyvíjený v Itálii je pravděpodobně nejznámějším free nebo také open-source software určený pro práci s 3D daty, využívají GNU GPL licenci. Nabízí širokou škálu možností úprav modelu, jeho měření a záznam do 2D zobrazení. Navíc podporuje vysoké množství formátů, které lze v programu importovat či do nich exportovat.

FreeCad

Tento svobodný software je určen převážně pro vytváření modelů, je však možné do něj naskenovaný objekt importovat a provádět řadu úprav, základní měření a vytváření

2D obrázků. Nabízí nemalou škálu funkcí a podobá se komerčním CAD programům, navíc je kompletně v českém jazyce a podporuje mnoho formátů.

GOM Inspect

GOM Inspect je také určen především pro účely technických oborů. Jeho omezení pouze na určité formáty bohužel snižuje jeho využitelnost. Nicméně je to další alternativa pro práci s 3D daty.

3D-Tool Free Viewer

Uživatelsky velice jednoduchý a přívětivý program, podporuje pouze formát STL určený pro tisk, nicméně co do funkčnosti je to dle autorova názoru vynikající pomocník, který v placené verzi podporuje další formáty a nabízí široký výběr funkcí. Lze v něm provádět řezy, které jsou ideálním nástrojem pro zjišťování přesného profilu nádob, měření vzdáleností nebo průměrů a vytváření 2D obrázků. Jelikož slouží pouze jako prohlížeč, nelze v něm provádět úpravy ani modely exportovat do jiných formátů

Blender

Program Blender je open-source software určený primárně pro tvorbu grafiky a animací. Lze však do něj importovat naskenované 3D modely, vytvářet měřítka či animace vhodné k prezentaci artefaktů.

Adobe Reader

Novější verze Adobe Reader je dobrým nástrojem pro prohlížení 3D modelů, nutné je předtím model exportovat do formátu *PDF*, jinak se model nezobrazí. V rámci tohoto programu lze provádět řezy a měření nebo měnit specifikace vizualizace.

5.2. Komerční software

Z názvu již vyplývá, že se jedná o software určený pro komerční užití. Licenci je nutné zakoupit, některé programy tak stojí řádově od tisíců až do několika desítek tisíc korun. Zajímavé mohou být levnější verze licencí určených pro studenty, školy a výzkum, které někteří vývojáři nabízejí, nebo zkušební trial verze, kde si po určitou dobu můžeme

vyzkoušet možnosti softwaru. V rámci této práce autor vyzkoušel dvě zkušební verze programů určených pro práci s 3D daty.

Geomagic Design

Geomagic Design je komerční program, který dokáže pracovat s velkým objemem dat. Nabízí všemožné možnosti úprav, je velmi přehledný a uživatelsky přívětivý.

SimLab Composer

Rovněž se jedná o software určený pro tvorbu 3D modelů. Jeho hlavní předností je možnost exportování modelů do formátu *PDF*.

TroveSketch

Velkým milníkem v oblasti trojrozměrné dokumentace archeologických nálezů se stal software TroveSketch, vyvinutý firmou 3DInsight GmbH. Vznikl z potřeby rychle a efektivně dokumentovat archeologický materiál. K otestování byla autorovi poskytnuta demoverze softwaru. Program je určen převážně pro zpracování keramických nádob, bez problému se v něm dá pracovat i s jinými artefakty. Jeho hlavní předností je jednoduchost uživatelského prostředí. Navíc nabízí potřebné funkce určené pro archeologickou dokumentaci. Zaznamenává míry, profily nádob, dokáže rozvinout povrch objektu do plochy a nabízí několik užitečných možností vyobrazení (*Plzák 2011, 81-97*). Software je stále ve vývoji, přesto nabízí širokou škálu možností vizualizace. I přes to, že je software prozatím dostupný pouze v německém jazyce, je v něm práce jednoduchá a intuitivní.

5.3. Software určený pro záznam 3D modelů

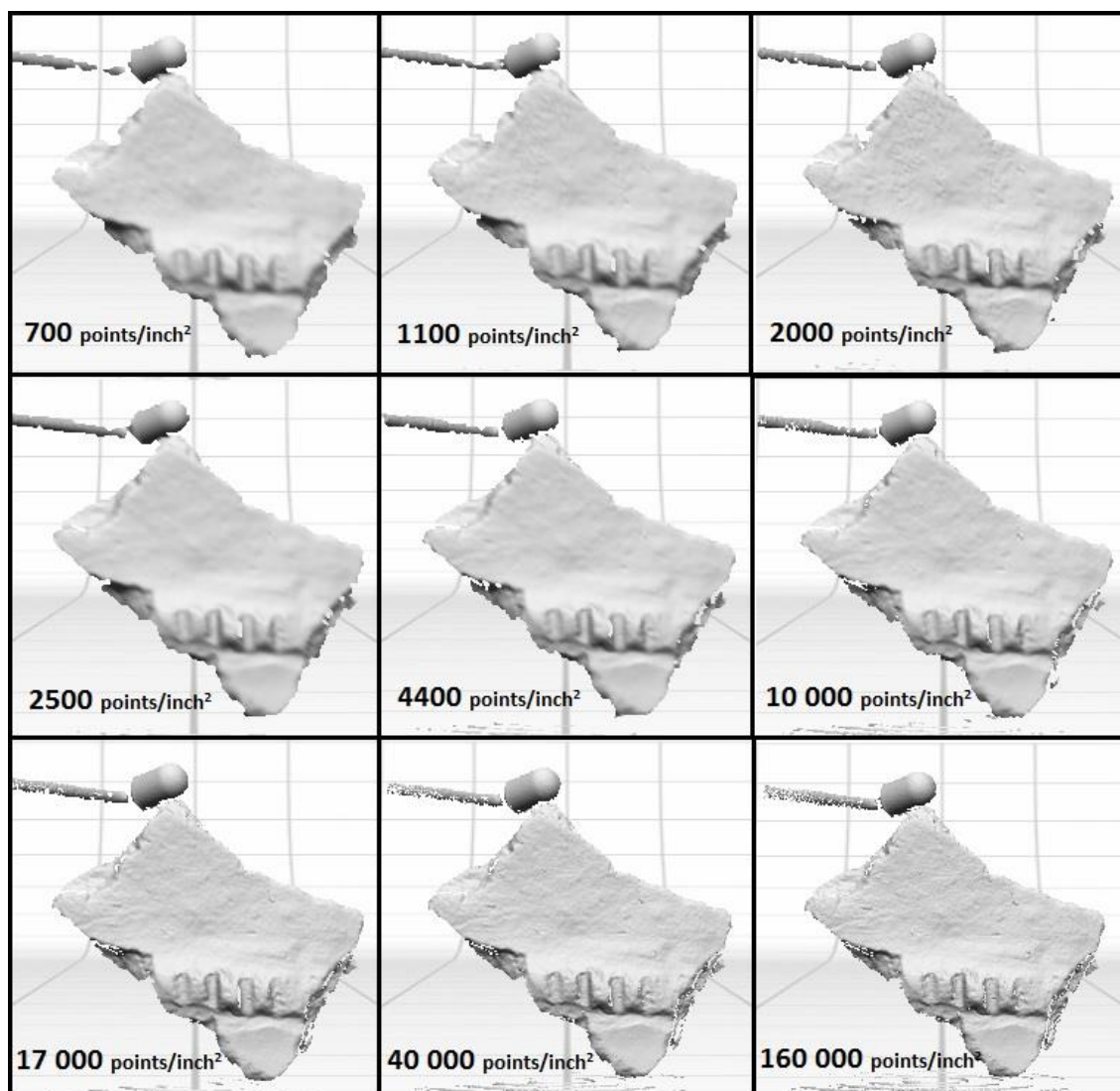
ScanStudio HD

Nejdůležitějším krokem celého skenování je počáteční nastavení softwaru určeného pro snímání 3D dat. Pro laserový skener NextEngine je standardně dodáván software ScanStudio HD. Program ve svém základu umožňuje editaci 3D modelu, v rozšiřujících balíčcích pak nabízí i CAD rozhraní.

Jak již bylo zmíněno, hlavní krok, který určuje výslednou podobu modelu, je již samo počáteční nastavení skeneru. Software ScanStudio HD umožňuje hned několik variant nastavení skenování. Chceme-li nejvyšší kvalitu zachycené textury, musíme po spuštění programu v horním menu kliknout na položku Scan a následně Settings. V zobrazeném okně v sekci Texture Capture Mode zvolíme nejvyšší možnou kvalitu, tedy Multi-Spectral. Tím zajistíme pokud možno co největší barevnou autentičnost artefaktu. Nastavení potvrdíme a můžeme nastavit specifikace samotného skenování. Ještě předtím je však nutné umístit předmět snímání před skener, nejlépe na otočný podstavec. Artefakt musí být pevně ukotven, aby nedošlo k byť jen nepatrnému pohybu, který by mohl mít za následek nezdařené sjednocení jednotlivých snímků a celý proces by se musel opakovat.

První možnost volby, která se v nastavení nabízí, je polohování. Musíme se rozhodnout, zda chceme artefakt naskenovat v 360° kolem své osy, ve 180° nebo chceme-li zachytit pouze samostatný snímek. Lze později ze samostatných snímků sestavit model, proces sjednocování skenů je ale časově náročný. Pro dokumentaci artefaktů je tedy nejlepší volbou skenování v 360°. Přístroj využívá otočného podstavce a jednotlivě naskenované snímky sám sjednotí. Nyní je třeba rozhodnout, kolik snímků bude zapotřebí k nasnímání artefaktu. Čím větší bude počet snímků, tím déle bude samotné skenování a následné zpracování trvat. Nejnižší množství počtu snímků, které lze naskenovat jsou čtyři, nejvyšší počet pak 16. U artefaktů, které mají složitější a členitější plochu, je vždy lepší zvolit větší množství snímků. Nejpodstatnější částí celého nastavení je volba rozlišení. Skener NextEngine nabízí hned několik variant rozlišení, závislých na vzdálenosti umístění od skeneru. Nejvyšší možné rozlišení, kterého lze dosáhnout je v pozici *Macro* a nabízí až 160 000 bodů na palec čtvereční (points/inch²). V sekci HD (High Definition) ještě máme na výběr 40 000 points/inch² a 17 000 points/inch². Sekce *SD* (Standard Definition) a *Quick* pro účely dokumentace autor spíše nedoporučuje, neboť hrozí riziko ztráty informací např. ve výzdobě keramických artefaktů. Avšak ani nejvyšší nastavitelná kvalita není mnohdy ideálním řešením. Příliš velké mračno bodů tvoří na povrchu modelu nežádoucí šum. Ideální řešení pro artefakty skenované v režimu *Macro* je 40 000 points/inch², v režimech *Wide* a *Extended* nejvyšší možné rozlišení. Další částí nastavení je určení odstínu předmětu. Pokud je tedy předmět tmavý až černý, zvolíme nastavení *Dark* v opačeném případě, kdy je předmět příliš světlý *Light*. Nabízí se ještě nastavit možnost *Neutral*, kterou autor využíval prakticky na všechny typy artefaktů. Poslední částí nastavení je vzdálenost od skeneru. Ta závisí na velikosti artefaktu. Lze

skenovat části větších předmětů i v pozici makro, zpracování je však mnohem časově náročnější a nemusí poskytovat uspokojivý výsledek.



Obr. 1: nastavení *Quick* (1. řada), nastavení *SD* (2. řada), nastavení *HD* (3. řada).

Když je skener nastaven můžeme spustit samotný proces skenování. Čas fotografování, skenování a zpracování jednotlivých snímků se liší v závislosti na nastavení rozlišení, které jsme zvolili. Pokud jsme zvolili nastavení *Quick* nebo *SD*, doba vytvoření jednoho snímku se pohybuje okolo 2-3 minut. U nastavení *HD* je čas trvání 4-5 minut. Celkový čas pak závisí na počtu snímků, které jsme nastavili.

Proběhlo-li skenování v pořádku, získáme virtuální model artefaktu. Laserový paprsek jen stěží obsáhne celou plochu artefaktu během jednoho skenování, a proto je nutné vytvořit další model artefaktu, tentokrát z jiného úhlu. V nastavení není doporučeno měnit nastavení rozlišení, odstínu a vzdálenosti. Můžeme změnit počet snímků, případně

si artefakt manuálně natočit do polohy, kterou je třeba vyplnit a zvolit pouze jeden snímek. Nestačí-li k úplnosti modelu ani druhý sken, lze navazovat dalšími skeny. Avšak je třeba mít na paměti, že při výsledném manuálním slepení skenů do jednoho modelu může příliš velké množství skenů znepřesnit finální 3D objekt. Manuální spojení dvou a více skenů se zahajuje tlačítkem *Align*. Pracovní plocha programu se rozdělí na dvě poloviny a v každém okně se nachází jeden sken. Propojení dvou nekompletních skenů je velice jednoduché, je však potřeba, aby na obou modelech byly minimálně tři výrazné, totožné body (například výzdoba, nápis). Různobarevné body, kterých musíme využít minimálně tři, maximálně devět, pak ideálně rozmístíme na pro oba skeny totožná místa tak, aby byly rovnoměrně po celé ploše modelů. Po rozmístění skeny zarovnáme tlačítkem *Align*.

Ještě před spojením je užitečné odstranit přebytečné objekty (např. stojan, na kterém je artefakt umístěn). Tento krok se provádí funkcí *Trim*. Nadbytečné části označíme a tlačítkem *Trim* se automaticky odstraní. Totéž je třeba udělat i s dalšími skeny.

Ořezaný a spojený model lze upravovat dalšími způsoby, například ho lze zjednodušit pomocí funkce *Fuze* nebo vyhladit povrch či zaplnit díry v objektu pomocí funkcí *Polish*.

Po provedených úpravách už stačí pouze model uložit. Program nabízí i několik nejpoužívanějších formátů, do kterých lze model exportovat. Software dále nabízí možnost využití CAD funkcí, které je ale nutné dodatečně dokoupit, neboť nejsou součástí základního setu.

Agisoft PhotoScan Professional

Ačkoliv je tato práce zaměřena na skenování archeologických movitých památek laserovým skenerem NextEngine, v rámci srovnání s dokumentačními metodami chtěl autor použít i ukázkou fotogrammetrie. Pro tento účel vyzkoušel trial verzi komerčního softwaru Agisoft PhotoScan. Práce v něm je velmi jednoduchá. Stačí pouze nahrát fotografie, které pomocí funkce *Align Photos* program sám přepočte do mračna bodů. Body lze snadno převést do polygonové sítě, můžeme zvolit i rozlišení. Z fotografií nelze vypočítat měřítko, velmi snadno jej lze vytvořit manuálně, je pouze potřeba fotografovaný objekt skenovat ještě s měřitelným objektem (např. výstřižek milimetrového papíru, fotografické měřítko). V programu pak označíme dva body, mezi

nimiž můžeme úsek změřit a zadáme vzdálenost mezi těmito body. V softwaru určeného pro úpravy tak lze bez problému provádět měření objektu.

5.4. Formáty souborů

Pokud zpracováváme naskenovaná data, vzniká automaticky potřeba tato data ukládat. Pro 3D modely se nabízí celá řada formátů, do kterých lze objekty exportovat. Je tedy čistě na koncovém uživateli, jaký formát při ukládání zvolí. Měl by být co nejvíce kompatibilní se softwarem, který jsme zvolili pro editaci a zkoumání modelu. Také záleží na tom, chceme-li model uložit s prezencí či absencí textury. Některé formáty texturu nepodporují, proto při převádění modelů je třeba dávat pozor, abychom nechtěně o část informací nepřišli.

Autor nejvíce využíval formát *Wavefront*. Jeho koncovka je *obj.* a jedná se o jednoduchý datový formát reprezentující 3D geometrii. Zachovává také texturu. Pro exportování do jiných formátů byl využíván převážně právě formát *Wavefront*. Další možností pro ukládání 3D modelů je formát *PLY* (Polygon File Format). Původně fungoval jako výstupní formát pro 3D data získaných ze skenerů. Uchovává informaci o textuře a lze jej ukládat buď v binárním, nebo ASCII kódu. Pro účely měření a řezů se stal nejpoužívanějším formát *STL* (Stereolithography). Podporuje ho velké množství programů. *STL* soubor popisuje pouze geometrii objektu, neobsahuje informace o textuře, proto se využívá především pro 3D tisk. Nabízí mutace v ASCII či binárním kódu. Formátů, které lze dál využívat je celá řada, například *Collada* (.dae), *XYZ*, *U3D*, *DWG*. První tři zmíněné formáty (*OBJ*, *PLY*, *STL*) jsou dle autorova názoru nejideálnější variantou. Je třeba zmínit, že modely lze ukládat do formátu *PDF*, který je vhodný především pro prezentaci a publikování modelů.

6. Aplikace laserového skenování na souboru artefaktů

Hlavním pilířem práce je testování trojrozměrného skenování na co nejširším okruhu archeologických movitých památek. Autor si položil zásadní otázku: Dokáže laserový skener nasnímat jakýkoliv typ artefaktu? Rozhodl se tedy laserový skener otestovat, zjistit jeho využitelnost a limity. Pro testování byla použita řada keramických artefaktů různých velikostí, barevných a reliéfních odlišností, z kovových předmětů byly využity převážně bronzové a železné předměty, vyzkoušeny byly také předměty stříbrné, jeden zlatý a rovněž jeden cínový. Svě zastoupení měly i kamenné artefakty, především štípaná industrie a dva kusy broušené industrie. Část fondu tvořily i skleněné předměty, jantar, sádrový odlitek a porcelán. Specifickou skupinu pak reprezentoval archeozoologický a antropologický materiál, proběhl pokus zaznamenat i archeobotanické nálezy. Zařazeny nebyly artefakty ze dřeva vzhledem k nedostupnosti reprezentativních vzorků. Během procesu pořizování 3D dat autor zaznamenával údaje o skenování, tedy nastavení přístroje, od kterého se odvíjí výsledek snímání, dále čas trvání pro pozdější analýzu porovnávání s ostatními dokumentačními metodami.

6.1. Metodologický úvod

6.1.1. Přístroj použitý k záznamu objektů do virtuální reality

K testování laserového skenování na souboru artefaktů měl autor k dispozici stacionární laserový skener Desktop 3D Scanner HD model 2020i od kalifornské firmy NextEngine sídlící v Santa Monice, která byla založena roku 2000. Časem se tento skener stal velice populární a využívaný v řadě oborů a to převážně díky příznivé ceně. V rámci 3D laserových skenerů patří tento přístroj mezi nejlevnější a zároveň velmi precizní zařízení na trhu. Tento skener digitalizuje objekt na principu aktivní triangulace, kdy dochází k nasvícení objektu laserovým paprskem, který je snímán prostřednictvím snímače. Místo, odkud paprsek vychází, snímač a nasvícený bod tak tvoří potřebný trojúhelník, který zaznamenává souřadnice bodu metodou triangulace (*Šnajdárek 2008, 33*). Přístroj také disponuje vestavěnou kamerou, určenou pro záznam textury a nechybí ani dva světelné zdroje pro co nejideálnější zachycení 2D fotografie, z které se textura následně zpracovává.

Minimální požadavky na systém jsou procesor 2GHz Dual-core, 2GB RAM, grafická karta 256MB, Windows XP/Vista 32bit. Pro skenování s tímto skenerem je třeba mít

výkonný počítač, neboť využívá velkou část operační paměti a 2GB RAM lze považovat za nedostačující. Zpracování trvá velmi dlouhou dobu, a dochází k problémům i při využití 3GB operační paměti. Z toho důvodu je doporučována operační paměť o velikosti 4GB a více (www.nextengine.com). Ke skeneru je standardně dodáván software ScanStudio HD a otočná podložka určená k umístění předmětu. Celý přístroj není prostorově náročný (cca 28 cm x 22,5 cm x 9,5 cm) a manipulace s ním je snadná. Nemá ani omezení co se týká dimenze snímaného objektu. Skenování větších předmětů (nad 50 cm) je však již časově náročnější. Přístroj umožňuje záznam v různých rozlišeních 3D modelu i textury, které se odvíjejí od nastavení softwaru ScanStudio HD. Maximální možné rozlišení, kterého lze u trojrozměrného modelu dosáhnout je 160 000 bodů na čtvereční palec v pozici *Macro*, a nejméně může zaznamenat 8 bodů na čtvereční palec v pozici *Extended*.

6.1.2. Způsob vyhodnocení získaných dat

Nutností bylo zvolit způsob porovnání pořízených dat. Jelikož každý ze skenovaných předmětů nese o sobě několik specifických informací, které nejsou v mnoha případech společné s ostatními předměty, nebylo možné zvolit objektivní formu srovnání. Autor kriticky hodnotí a porovnává data pouze okometricky, je tedy možnost, že nemusí vždy dojít k objektivnímu posouzení. Co se autorovi textu jeví jako nevhodné, může jinému badateli přijít jako dostačující a pochopitelně naopak. I tak se autor snažil posoudit a porovnat získaná data s co největším důrazem na objektivnost a použitelnost dat v oboru archeologie. Posouzení proběhlo ve dvou rovinách, hodnoceny byly textura a mesh (tedy vyplněné polygonové síť bez textury). Výsledky laserového skenování nebyly ani v jednom případě stoprocentní, hodnocení záviselo převážně na reprezentativnosti modelu a jeho textury, nikoliv na identickém vyobrazení objektu ve virtuální realitě.

6.1.3. Rozdělení kategorií artefaktů

Aby bylo srovnání jednotlivých typů artefaktů možné přehledně uskutečnit, je nutné artefakty začlenit do skupin. Autor zvolil způsob členění do kategorií, kde každá kategorie zastupuje specifický typ artefaktů podle materiálu. Autora zajímalo porovnání mezi jednotlivými kategoriemi, ale také mezi samotnými zástupci v dané skupině. Srovnání není příliš relevantní, jelikož počet objektů v kategoriích se významně liší. To je způsobeno omezenou kapacitou archeologického fondu, který byl k testování

poskytnut. Pro objektivní zhodnocení by bylo třeba daleko rozsáhlejšího množství archeologického materiálu a zároveň nutné vyvážené zastoupení objektů dokumentace v jednotlivých kategoriích. I přesto se autor pokusil výsledky co nejobjektivněji vyhodnotit a předpokládá, že pro objasnění možností a limitů 3D dokumentace laserovým skenerem bude zastoupení artefaktů dostačující. Kategorie byly označeny písmeny A až H, každá kategorie pak představuje určitý typ materiálu. Nejpočetnější kategorií A tvoří kovové artefakty, kategorií B keramické artefakty, kategorií C zastupuje kamenná industrie, kategorie D obsahuje objekty ze skla, osteologickému materiálu připadla kategorie E, archeobotanický vzorek tvoří kategorií F a ojedinělým zástupcem v kategorií G je jantar. Jedinou výjimku tvoří poslední kategorie H, která je zastoupena dvěma materiálově odlišnými objekty. Kategorie A, B a C jsou početně nejvíce zastoupeny a tvoří 72,5 % dokumentovaného fondu z celkového objemu 40 kusů. Z důvodu probíhajícího laboratorního zpracování, stavu výzkumu či nedostatku informací, jsou některé artefakty bez kontextu a inventárního čísla, na výsledek testování to však nemá žádný vliv. Rozměry jsou převážně udávány u objektů, jejichž nasnímání vykazovalo chyby a problémy. Bližší popis jednotlivých kategorií lze nalézt v kapitole 6.2.

Tab. 1: Přehled jednotlivých kategorií skenovaných artefaktů.

Kategorie	Typ	Počet objektů	Zastoupení v %
A	Kovové artefakty	14	35
B	Keramické artefakty	9	22,5
C	Kamenná industrie	6	15
D	Skleněné objekty	3	7,5
E	Osteologický materiál	4	10
F	Archeobotanický materiál	1	2,5
G	Jantar	1	2,5
H	Ostatní (sádra, porcelán)	2	5
Celkem	-	40	100

6.2. Digitální záznam a zpracování archeologického souboru

6.2.1. Kategorie A

První a zároveň nejpočetnější skupinu tvoří kovové artefakty. Z pohledu archeologie se jedná o jedny z nejatraktivnějších archeologických památek. Jejich rozmanitostí nejen ve tvarech ale i materiálech se dostatečně otestovala metoda 3D skenování.

Největší zastoupení v kategorii mají bronzové předměty, které tvoří přesně polovinu ze čtrnácti objektů kategorie A. Železné předměty mají tři zástupce, stříbrné dva, soubor obsahuje i jeden zlatý a jeden pravděpodobně cínový předmět. Jednotlivé předměty mají označení A1 až A14.

Objekt A1

Objekt A1 zastoupený bronzovou jehlicí z lokality Dívčí kámen (okr. Český Krumlov) s inv. č. A 6359 je dlouhý 7,6 cm, průměr průřezu těla je 2 mm. Záznam proběhl v režimu *Macro* v rozlišení 40 000 pónits/inch² s počtem 8 snímků. Výsledný model nebyl softwarem správně vyhodnocen v jednotnou polygonovou síť, a jako nekompletní je zcela nevhodný pro dokumentaci artefaktu.



Obr. 2: Virtuální model objektu A1 s texturou.

Objekt A2

Bronzový závěsek (bez kontextu) vysoký necelé tři centimetry byl skenován celkem čtyřikrát režimu *Macro* na nejvyšší rozlišení. Skeny obsahovaly od 5 do 6 snímků, snímky však nebyly správně propojeny ani u jednoho skenu a artefakt tak nebylo možné virtuálně rekonstruovat.



Obr. 3: Virtuální model objektu A2 s texturou.

Objekt A3

Velmi zajímavým artefaktem pro dokumentaci trojrozměrnou metodou byla část bronzové dýky z lokality Dívčí Kámen s inv. č. A 6356. Na otočeném podstavci byla celkem dvakrát z různých poloh skenována v *Macro* režimu při rozlišení 40 000 ponits/inch². Počet deseti snímků měl zajistit naskenování problematických částí předmětu. Povrch předmětu vykazoval značné množství nerovností a lesklých míst. Výsledný model tak má velké množství děr v polygonové síti, problémy byly zejména s naskenováním ostrých přechodů. Textura modelu není stejně jako mesh vhodná k prezentaci.



Obr. 4: Virtuální model objektu A3 s texturou.

Objekt A4

Ne příliš vydařeným výstupem byl model bronzové hřivny z Českých Budějovic – Mladé s inv. č. A 6291. Rozlišení 4400 ponits/inch² v režimu *Wide* je pro nezdobený předmět ideální volbou, přesto povrch obsahoval velké množství ruchů a děr. Problematické bylo také umístění předmětu do otočného stojanu tak, aby se zamezilo jeho

pohybu při otáčení podložky. Lesklý povrch předmětu pravděpodobně neumožnil vytvořit ideální digitální model artefaktu.



Obr. 5: Virtuální model objektu A4 s texturou.

Objekt A5

Skenování fragmentu bronzového náramku (bez kontextu) probíhalo za podobných podmínek jako u objektu A3. Jedinou změnou bylo nastavení šesti snímků pro jednotlivý sken. Finální model nevykazuje znatelné chyby v polygonové síti, textura bez výraznějších nepřesností v přechodech zaznamenává základní údaj o zbarvení předmětu a dá se považovat za reprezentativní.



Obr. 6: Virtuální model objektu A5 s texturou.

Objekt A6

Problematický výsledek přinesla bronzovaná náušnice plátovaná stříbrem nalezená v obci Sedlec s inv. č. A 27 985 (*John – Štěpánek 2012*). Skenování proběhlo v režimu *Macro* se standardním rozlišením 40 000 points/inch². Ačkoliv je povrch dobře zaznamenán, obsahuje řadu menších děr v pro paprsek slepých místech. V polygonové síti není viditelné plátování stříbrem a v textuře, jež je jediným možným nositelem této informace, je sotva znatelné.



Obr. 7: Virtuální model objektu A6 s texturou.

Objekt A7

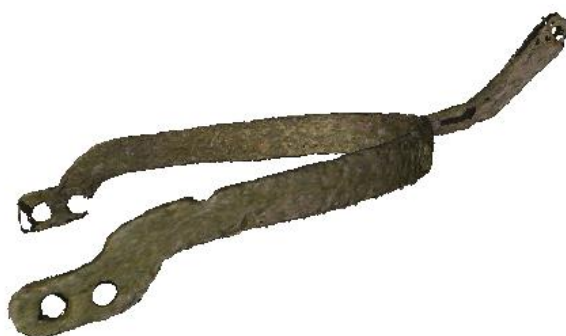
Bronzová spona (bez lokality, sbírka Ohrada) 4,2 cm dlouhá byla skenována čtyřikrát v režimu *Macro* v rozlišení 160 000 ponits/inch². Vydařil se pouze první sken, zbylé ostatní nebylo možné zpracovat do jednotné polygonové sítě. Problematické bylo nasnímání vinutí spony, jehož vnitřek není ideálně dostupný pro laserový paprsek. Ačkoliv model je tvořen pouze jedním skenem složeného z 10 snímků, obsahuje minimální množství nedostatků. Rovněž textura je poměrně kvalitně zaznamenána.



Obr. 8: Virtuální model objektu A7 s texturou.

Objekt A8

Železná ostruha (bez lokality, sbírka Ohrada) 15 cm dlouhá byla snímána dvěma skeny v různých úhlech režimu *Wide* při rozlišení 17 000 ponits/inch². Model obsahuje několik ne příliš výrazných děr v polygonové síti. Spolu s texturou tvoří vhodný digitální model artefaktu.



Obr. 9: Virtuální model objektu A8 s texturou.

Objekt A9

Železný nůž pocházející stejně jako objekt A7 a A8 ze sbírky Ohrada byl skenovaný v režimu *Wide* s rozlišením 4400 ponits/inch². Ze dvou skenů o pěti snímcích byl použitelný pouze první sken, v druhém se nepodařilo snímky sjednotit. Laserový paprsek si dokázal poradit i s přechodem v ostří a obsahuje minimální počet viditelných chyb. Rovněž se podařilo kvalitně zachytit texturu předmětu.



Obr. 10: Virtuální model objektu A9 s texturou.

Objekt A10

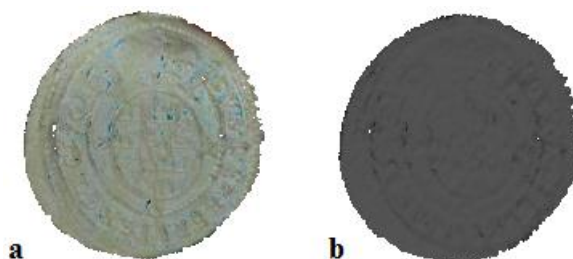
Železný hrot (bez kontextu) dlouhý cca 10 cm byl skenován 4x v různých úhlech, použitelné byly 3 skeny režimu *Macro* a rozlišení 40 000 points/inch² o sedmi, osmi a jedenácti snímcích. Složený model nevykazuje znatelné chyby v polygonové síti, textura je rovněž použitelná.



Obr. 11: Virtuální model objektu A10 s texturou.

Objekt A11

Blíže neurčená mince z výzkumu kostela sv. Mikuláše v Českých Budějovicích je jedním ze dvou zástupců stříbrných předmětů. Skenována byla v rozlišení 160 000 ponits/inch² režimu *Macro*, pro co nejvěrnější zachycení detailu. Čtyři snímky v jednom skenu se však nepodařilo softwaru spojit v jednotný model, mince byla příliš tenká. Nepodařilo se zaznamenat reliéf mince. Problém není v materiálu, ale v příliš drobném detailu ražby.



Obr. 12: Virtuální model objektu A11 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt A12

Ačkoliv tolar Ferdinanda Tyrolského objevený v kostele sv. Martina v obci Bošilec (bez inv. č.) je větší a má výraznější ražbu než objekt A11, potýká se s totožnými problémy v záznamu. Použito bylo stejné nastavení jako u objektu A11 s výjimkou počtu skenů a snímků v jednotlivých skenech. Ze dvou skenů obsahující šest a sedm snímků se nepodařilo vyhotovit kompletní virtuální model, kvalitně se nepodařilo zachytit ani reliéf a texturu mince.



Obr. 13: Virtuální model objektu A12 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt A13

Spirálka ze zlatého drátu (střední doba bronzová) s inv. č. A 35 289 pochází z depotu nalezeného u Chlumce u Olešína. Autor předmět skenoval celkem třikrát v *Macro* režimu na nejvyšší možné rozlišení. Počet snímků byl u prvních dvou skenů devět, u třetího jedenáct. Příliš komplikovaný tvar a tenký průměr drátu nebyl skener schopný zaznamenat. Ačkoliv se povedlo i přes svůj lesklý charakter texturu zaznamenat, mesh obsahuje příliš velké množství ruchů a děr a není vhodný k virtuální prezentaci a analýzám.



Obr. 14: Virtuální model objektu A13 s texturou.

Objekt A14

Kalich z Kájova (bez inv. č.), vysoký 20 cm a vyhotovený pravděpodobně z cínu, autor skenoval v rozlišení 4400 ponits/inch² režimu *Wide*. První tři skeny, každý o šesti snímcích, byly pro účely dokumentace nepoužitelné, nadějný byl až čtvrtý a pátý sken. Jejich sloučením vznikla polygonová síť, která se projevovala viditelnými ruchy. Texturu modelu znehodnocovaly překrývající se stíny. Tvar kalichu byl zachován, model se však nevyhovuje účelům dokumentace.



Obr. 15: Virtuální model objektu A14 s texturou.

6.2.2. Kategorie B

Předměty vyrobené z keramiky, převážně pak nádoby, jsou jednou z nejpočetnějších a nejsignifikantnějších archeologických památek. Není divu, že pro 3D skenování je keramický fond jednou z nejvíce digitalizovaných komodit.

K testování keramického materiálu měl autor k dispozici soubor devíti artefaktů. Tři z nich tvořily celé nádoby, k dispozici měl dva celé keramické kachle a jeden fragment renesančního kachle. Zbytek kategorie je zastoupen fragmenty keramických nádob. Vzorky jsou označeny B1 až B9.

Objekt B1

Pravěká nádoba z Bechyně s inv. č. A 3602 se svými rozměry (na výšku 9 cm, průměr 8,7 cm) se nevešla do polohy *Macro*, skenování tedy proběhlo v režimu *Wide* v rozlišení 17 000 points/inch². Četnost snímků autor volil dle potřeby. U prvního skenu pro kompletní neskenování kolem 360° osy bylo vhodné nastavení osmi snímků, u druhého skenu v jiné poloze pak šest snímků. Model však stále nebyl kompletní, laserový paprsek nenasnímal celý vnitřek nádoby. Pokus předmět co nejlépe napolohovat dopadl bezúspěšně. Profil nádoby obsahuje slepá místa, která skener není schopen zaznamenat. Model tak zůstal neúplný. Vnější plocha však byla naskenována velice slibně, výzdoba byla dobře zřetelná. Textura je nevyhovující a znehodnocuje výsledný model.



Obr. 16: Virtuální model objektu B1 s texturou.

Objekt B2

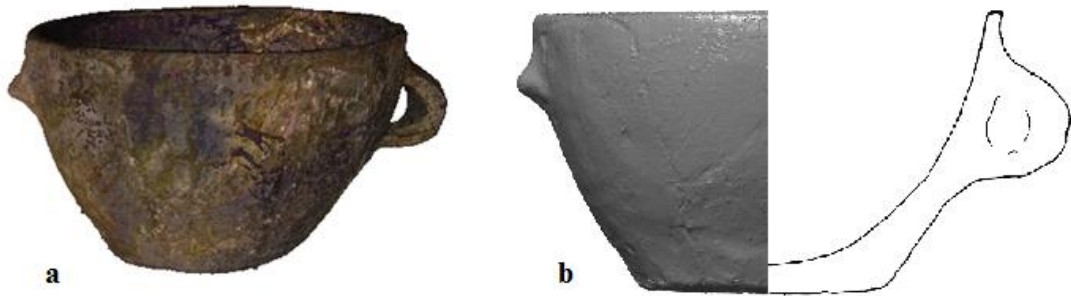
Podobný postup jako u objektu B1 autor zvolil u keramického hrnce s uchem s inv. č. H 68 (bez lokality) z období vrcholného středověku. Nastavení bylo ponecháno stejné jako u objektu B1, autor pouze zredukoval počet snímků u prvního skenu na šest. Nádoba byla tmavší, vykreslení polygonové sítě i textury bylo velmi podobné reálné fyzické předloze. Stejný problém, jako u předchozího snímání, nastal při skenování vnitřní plochy nádoby. Model byl vykreslen opět nekompletní, avšak s mnohem lepším výsledkem zejména v textuře.



Obr. 17: Virtuální model objektu B2 s texturou.

Objekt B3

Keramický hrnek s uchem z lokality Dívčí Kámen inv. č. A 7307 byl nasnímán na stejné nastavení jako objekty B1 a B2, s počtem snímků osm a kompletnost modelu zaručovaly tři skeny prováděné z různých poloh předmětu umístěného na otočné podložce. Virtuální artefakt neměl žádná slepá místa, vnitřek nádoby nebylo problematické nasnímat. Reprezentativně je použitelná i textura.



Obr. 18: Virtuální model objektu B3 a) s texturou b) bez textury s profilem nádoby.

Objekt B4

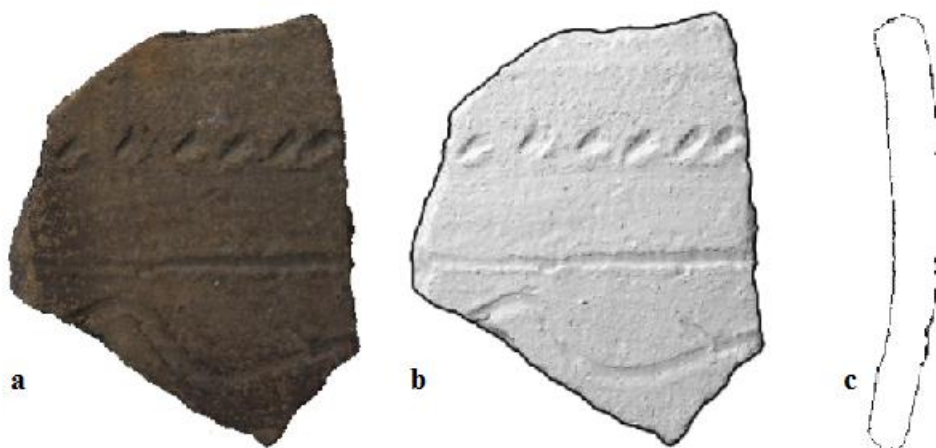
Fragment raně středověké zásobnice z povrchových sběru v Netolicích (bez kontextu) byl zaznamenán v rozlišení 17 000 points/inch² režimu *Wide*. Dva skeny po 6 snímcích byly optimální pro vytvoření celistvé polygonové sítě bez ruchů a děr. Světle hnědá textura odpovídá povrchu artefaktu bez výrazných vad.



Obr. 19: Virtuální model objektu B4 s texturou.

Objekt B5

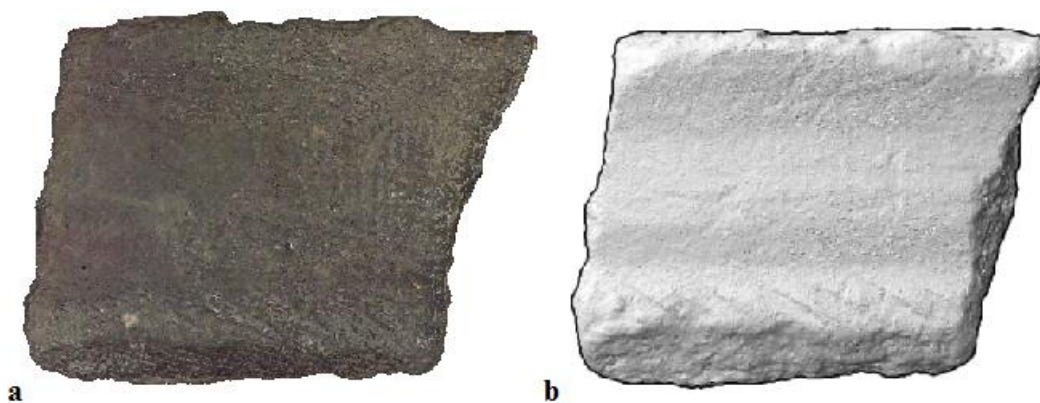
Druhý fragment keramické nádoby (bez kontextu, stejně jako objekt B4), již podstatně menších rozměrů, byl zdoben vpichy a vlnovkou. Autor nejdříve vyzkoušel rozlišení 160 000 points/inch² v režimu *Macro*. Po spojení dvou skenů (každý po šesti snímcích) byl povrch modelu příliš nevyvážený. Vznikly zde ruchy, které měla pravděpodobně na svědomí příliš hustá polygonová síť. Rozlišení následně snížil na 40 000 points/inch² a u každého skenu přidal snímky na konečný počet sedm. Po vypočítání modelu ze dvou skenů byl výsledek mnohem přijatelnější. Tmavě hnědý odstín artefaktu v textuře poznatelný byl, nicméně sama textura není pro prezentaci modelu vhodná. Jsou zde viditelné přechody mezi fotografiemi, které tvoří nevzhledné stíny, a sama textura zakrývá výzdobné prvky artefaktu, které jsou bez ní mnohem lépe viditelné.



Obr. 20: Virtuální model objektu B5 **a)** s texturou **b)** bez textury **c)** profil keramického fragmentu.

Objekt B6

Třetím fragmentem z Netolic (opět bez kontextu) byl zástupce tuhované keramiky. Nastavení bylo ponecháno stejné jako u objektu B5. Model byl po výpočtu identický s artefaktem. Tmavá textura byla dobře zachycena, kazů na ní bylo jen nepatrné množství. Přesto je pro účely dokumentace vhodnější zobrazovat model bez textury.



Obr. 21: Virtuální model objektu B6 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt B7

Autor měl k dispozici i kamnový prořezávaný kachel ze Slavonic (bez kontextu). Jeho velikost znemožňovala skenování na vzdálenost *Wide*, snímání tedy proběhlo v režimu *Extended* v rozlišení 2000 points/inch². Snímání vnitřku kachle však bylo možné jen v určitých polohách, přední prořezávaná část překážela v proniknutí paprsku do vnitřní části kachle. Ze šesti skenů byly pro koncový výstup použity pouze poslední dva skeny, každý po osmi snímcích. Příliš velké množství nenaskenovaných částí vnitřní plochy bylo pro vytvoření modelu nevhodné.



Obr. 22: Virtuální model objektu B7.

Objekt B8

Keramický kachel z Žatce, s inv. č. H255 bez bližšího kontextu, je větších rozměrů (přibližně 22 cm x 21 cm) a skenování tak probíhalo v poloze *Wide* s rozlišením 17 000 points/inch². Jako u všech předchozích artefaktů i zde autor vybral odstín *Neutral*.

Zvolen byl pouze jeden sken o pěti snímcích, pro kachel, kde nás primárně zajímá vizualizace reliéfu, je tato možnost dostačující. Polygonová síť nevykazuje výraznější chyby s výjimkou mezery v pravé části modelu. Ta je však způsobena nedostatečným množstvím snímků ve skenu. Pořízením dalších snímků lze nedostatek odstranit. V textuře bychom našly pouze drobné chyby, modely kachlů a vůbec předmětů s výraznou reliéfní výzdobou je však často lepší prezentovat bez textury (model v trojrozměrném interaktivním zobrazení viz **12.3. Příloha 3**).



Obr. 23: Virtuální model objektu B8 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt B9

Posledním zástupcem kategorie B je fragment renesančního kachle (bez kontextu). Snímán byl v režimu *Macro* na rozlišení 40 000 points/inch². Každý sken se skládal z 5 snímků, k vytvoření trojrozměrného modelu postačily pouze dva skeny. Reliéfní povrch byl poměrně detailně zaznamenán, textura hnědé barvy obsahovala nevhodné skvrny způsobené stíny vytvořenými při jejím fotografování a zhoršovala viditelnost reliéfní výzdoby.



Obr. 24: Virtuální model objektu B9 **a)** s texturou **b)** bez textury.

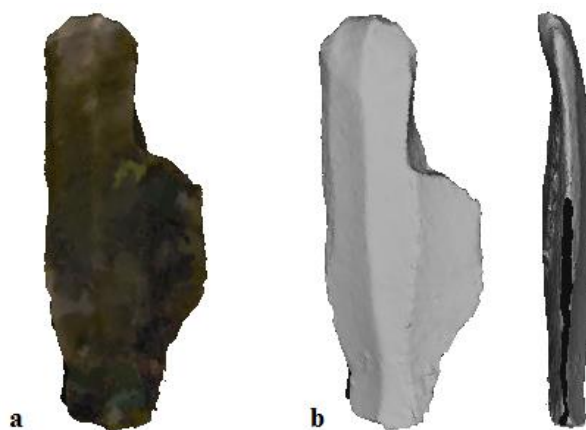
6.2.3. Kategorie C

Trojrozměrná dokumentace kamenné industrie nabývá čím dál větší obliby. Mohla by zpřesnit dokumentaci především štípané industrie. Předmětem testování bylo zjistit míru totožnosti modelu s reálným artefaktem. Využití přesných 3D modelů k analýzám by pro artefakty nejstaršího období pravěku nabízelo velké množství zcela nových možností.

Testovány byly čtyři kusy štípané industrie všechny snímány v režimu *Macro* a dva zástupci broušené industrie označené C5 a C6.

Objekt C1

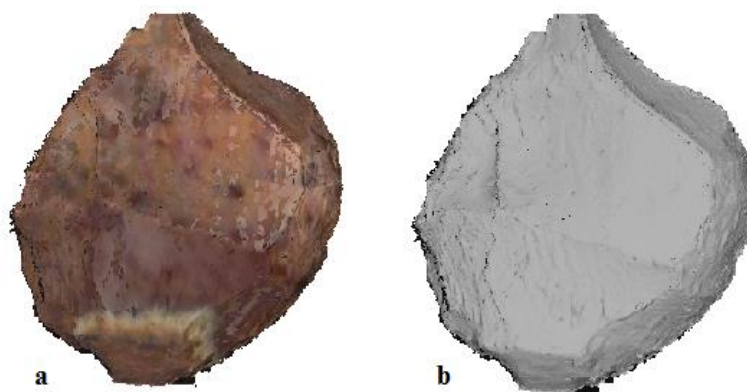
U mezolitické štípané industrie (rozměry 3,9 x 2,6 x 0,4 cm) nalezené sběrem u Plástovic (inv. č. A 27313) bylo nastaveno rozlišení 40 000 points/inch². Sken o deseti snímcích vytvářel příliš husté mračno naskenovaných bodů, které při procesu spojení v polygonovou síť vytvářelo chyby na povrchu modelu. Autor zadal opravný sken v rozlišení 17 000 points/inch² s počtem snímků sedm v každém ze dvou skenů. Po jejich spojení do výsledného modelu byl povrch hladší, přesto pořád vykazoval míru znečištění přebytečnými body. Model bylo nutné zjednodušit v režimu *Fuse*, který plochu trojrozměrného modelu vyčistil od nežádoucích ruchů. Textura nedá vyniknout morfologii artefaktu a je spíše na překážku finální digitalizaci (model v trojrozměrném interaktivním zobrazení viz **12.3. Příloha 4**).



Obr. 25: Virtuální model objektu C1 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt C2

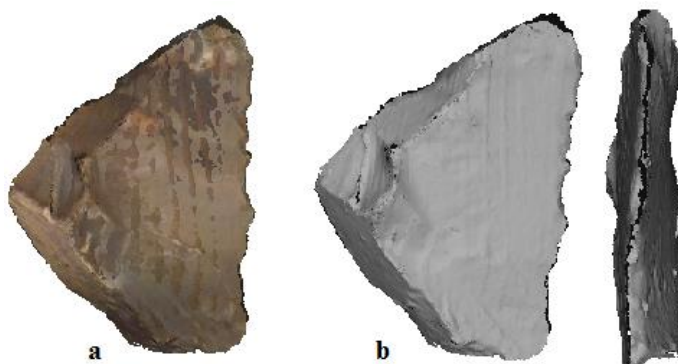
Mezolitické škrabadlo o rozměrech 3,1 x 2,8 x 0,5 cm (povrchový nález z Křemže s inv. č. A 26863) autor nastavil na nejvyšší možné rozlišení pro co největší nasnímání detailu. Aby nedošlo k vynechání hran předmětu, zvolil deset snímků pro první sken. Kvůli špatnému vypočtu se na modelu objevila řada nepřesností, bylo tedy nutné proces snímání opakovat. Druhý sken byl o poznání lepší, ale povrch nebyl hladký a neodpovídal fyzickému artefaktu. Textura vykazovala svůj klasický problém s překrýváním stínů.



Obr. 26: Virtuální model objektu C2 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt C3

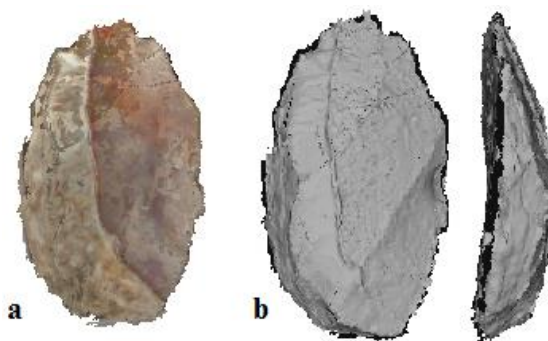
U jednoho zástupce souboru štípané industrie (rozměry 4 x 2,7 x 0,9 cm) z povrchových sběrů u obce Brloh (inv. č. A 27150) bylo snímání nastaveno v rozlišení 40 000 point/inch². I tento model artefaktu, stejně jako u objektu C2, však obsahoval výrazné chyby v povrchu i textuře.



Obr. 27: Virtuální model objektu C3 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt C4

Poslední test laserového skenování na souboru štípané industrie autor prováděl na malém úštěpu z Radomilic (inv. č. A 25587) o rozměrech 2 x 1,2 x 0,5 cm. Zvolil rozlišení 40 000 points/inch² a počet sedmi snímků na sken, aby došlo k menšímu zkreslení při výpočtu modelu. Vykreslení modelu bylo rovněž jako u objektů C2 a C3 problematické a neodpovídalo reálné předloze.



Obr. 28: Virtuální model objektu C4 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt C5

Model břidlicové sekerky z Dubu u Kondrace (bez inv. č.) byl zaznamenán v nejvyšším rozlišení v *Macro* módu. K výpočtu modelu bylo využito dvou skenů ze tří, každý vyhotoven z pěti snímků. Virtuální klon 7,5 cm dlouhé sekerky vykazoval nekompletní polygonovou síť pouze v oblasti ostří předmětu. Textura modelu se vyznačuje obvyklým problémem s překrýváním snímků, i přesto udává jasnou informaci o zbarvení artefaktu.



Obr. 29: Virtuální model objektu C5 s texturou

Objekt C6

Kamenný sekeromlat z Nové Bystřice (inv. č. A 24926) byl naskenován v pozici *Wide* na 4400 points/inch². Použity byly dva skeny po šesti snímcích. Výsledný model nemá na povrchu mesh vady a textura je kvalitní a bez nežádoucích stínů. Artefakt je svojí strukturou jednoduchý a tak skenování proběhlo bez problémů, nižší rozlišení nevytvářelo bodové znečištění. Jediným problematickým místem bylo skenování vrtaného otvoru, nastavením artefaktu do vhodných úhlů se tento problém dá vyřešit (model v trojrozměrném interaktivním zobrazení viz **12.3. Příloha 5**).



Obr. 30: Virtuální model objektu C6 s texturou.

6.2.4. Kategorie D

Specifickou skupinu tvoří skleněné předměty. Jedná se o poměrně vzácné nálezy v archeologickém kontextu, jejich zachování v digitální podobě by dozajista bylo velkým přínosem.

Zda je záznam skleněných objektů laserovým skenerem možný autor testoval na třech předmětech označených D1 až D3.

Objekt D1

Skleněný modře zabarvený korálek (bez kontextu) byl snímán v rozlišení 40 000 points/inch² v režimu *Macro*. Model je složen ze dvou skenů, každý po šesti snímcích. Vzhledem k drobným rozměrům předmětu se v síti objevují menší díry, laserový skener nedokázal nasnímat vnitřek otvoru korálku. Textura, ačkoliv není příliš kvalitní, nese základní informaci o barvě předmětu. Fyzická předloha byla matná a neprůhledná, proto se zde nevyskytovaly problémy typické pro modely objektů D2 a D3.



Obr. 31: Virtuální model objektu D1 s texturou.

Objekt D2

Na lahev z čirého skla zapůjčená ze soukromé sbírky snímaná v rozlišení 4400 points/inch² v režimu *Wide* bylo nutné před skenováním aplikovat pudr. Skleněný předmět nebyl laser schopný zachytit, paprsek prošel skrz lahev a vypočtená polygonová síť byla silně fragmentarizovaná. Po nanesení pudru dokázal laserový paprsek zachytit povrch předmětu, model přesto vykazoval množství děr v místech, kde byl pudr řídkce nanesen. Textura modelu není pro model vhodná vzhledem k nutné aplikaci materiálu pro zakrytí odlesků.



Obr. 32: Virtuální model objektu D2 s texturou.

Objekt D3

Testována byla ještě jedna lahev (opět ze soukromé sbírky) tentokrát zeleného odstínu. Nastavení snímkování bylo ponecháno stejné jako u objektu D2. Objekt D3 vykazoval stejné potíže jako přechozí model, bylo rovněž nutné nanést materiál zakrývající lesklé a průhledné povrchy. Textura modelu tím pádem byla znehodnocena a polygonová síť vykazovala značné množství děr.



Obr. 33: Virtuální model objektu D3 s texturou.

6.2.5. Kategorie E

Digitální dokumentace u antropologického a archeozoologického materiálu má dozajista širokou využitelnost. Vzhledem k tomu nemohly ve výčtu testovaných archeologických památek chybět ani osteologické objekty. Autor měl možnost dokumentovat dva antropologické a dva archeozoologické nálezy označené pro účely práce E1 až E4.

Objekt E1

Model části lidské lebky z Netolic (hrob 1/11, sonda 10, čtverec A) byl vyhotoven ze tří skenů (každý po dvanácti snímcích) v rozlišení 4400 points/inch² v režimu *Wide*. Polygonová síť vykazuje nedostatky pouze ve vnitřní oblasti neurocrania, které bylo pro laserový paprsek hůře dostupné. Textura trpí standardními nedokonalostmi, lze ji však v tomto případě použít.



Obr. 34: Virtuální model objektu E1 s texturou.

Objekt E2

Ze stejného hrobu jako objekt E1 pochází i stehenní kost pravé dolní končetiny. Pro kompletaci modelu stačili dva skeny po šesti snímcích v rozlišení 17 000 points/inch² v režimu *Wide*. Výsledek byl rovněž zdařilý, u textury platí to samé, co u objektu E1.



Obr. 35: Virtuální model objektu E2 s texturou.

Objekt E3

Archeozoologický nález lebky psa bez bližšího kontextu byl skenován režimu *Wide* s rozlišením 17 000 points/inch². Záznam proběhl ve dvou skenech o deseti snímcích, každý sken zaznamenával objekt z jiného úhlu. Po spojení obou skenů vznikl reprezentativní model s minimálním počtem děr a texturou bez výrazných ruchů.



Obr. 36: Virtuální model objektu E3 s texturou.

Objekt E4

Zápřstní kost tura domácího (délka 11,5 cm) byla snímána v rozlišení 160 000 points/inch² v režimu *Macro*. Na reálném předmětu se nachází zářezy, proto bylo zvoleno nejvyšší možné rozlišení, aby bylo možné tuto informaci digitálně zachytit. Ve finálním modelu (složeném ze tří skenů po sedmi snímcích) ani v textuře nelze však zářezy na povrchu rozpoznat. Polygonová síť je bez děr a textura je částečně použitelná.



Obr. 37: Virtuální model objektu E4 s texturou.

6.2.6. Kategorie F

Autor se pokusil i o skenování archeobotanického materiálu. Vzorčky byly tak drobné, že je laserový skener nedokázal vůbec zachytit. Nasnímat se podařilo jeden reprezentativní vzorek označený F1.

Objekt F1

Jediný exemplář archeobotanického souboru, který se podařilo laserovým skenerem nasnímat je pecka z broskve (bez kontextu). Skenování probíhalo v režimu *Macro*

s rozlišením 40000 points/inch². I přes členitou strukturu předmětu se ze dvou skenů po sedmi snímcích podařilo zhotovit realistický model s reprezentativní texturou.



Obr. 38: Virtuální model objektu F1 s texturou.

6.2.7. Kategorie G

Kategorie G je reprezentována artefaktem z jantaru. Pro potřeby testování by bylo třeba většího počtu jantarových předmětů, ke skenování však byl k dispozici pouze jeden artefakt označený G1.

Objekt G1

Jantarový korálek z Haklových Dvorů (inv. č. A 22129) byl čtyřikrát skenován v režimu *Macro* s nejvyšším rozlišením. Z části použitelné se zdály být pouze první (pět snímků) a čtvrtý sken (sedm snímků). Po spojení obou skenů model 1,2 cm velkého předmětu trpěl vysokou mírou nedostatků a děr v polygonové síti. Textura rovněž nezachycuje reálné zbarvení předmětu.



Obr. 39: Virtuální model objektu G1 s texturou.

6.2.8. Kategorie H

Poslední skupinu nezastupují archeologické artefakty. Autor se rozhodl pro co nejširší využití metody digitalizace zakomponovat i objekty, které nejsou nejčtenějšími archeologickými nálezy, ale může se jednat o předměty muzejních sbírek či zámeckých inventářů, které si digitalizaci rovněž zaslouží. Vybrány byly dva zástupci H1 a H2. Do výsledného srovnání však nebyly zařazeny, jelikož se nejedná primárně o archeologické movité památky.

Objekt H1

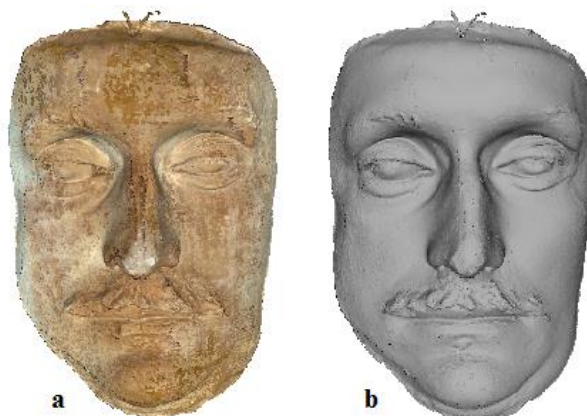
Ačkoliv artefakty z porcelánu nezastávají početnou úlohu v archeologických sbírkách, může se občas vyskytnout potřeba takovýto předmět zdokumentovat. Porcelánové předměty jsou velmi lesklé, což může odrážet laserové paprsky a znehodnotit tím výsledný model. Předmětem skenování byla figurka dukátníčka vyrobená v Míšni v 2. polovině 18. století. Předmět pochází ze sbírky státního zámku v Dačicích (inv.č D 13110). Figurku autor postavil na stojan do pozice *Macro*. Předmět byl morfologicky složitý, naskenování deseti snímků na rozlišení 40 000 points/inch² v prvním skenu bylo nejvhodnějším řešením. Pro úplnost bylo nastaveno snímání z jiné polohy. Po kompletaci skenů vykazoval model množství děr zejména v hůře dostupných místech. Překvapením bylo, že laserový paprsek dokázal vykreslit strukturu i pro takto lesklý předmět bez větších problémů. Rovněž i textura je reprezentativní.



Obr. 40: Virtuální model objektu H1 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Objekt H2

Posledním objektem skenování byla posmrtná maska pocházející z inventáře státního zámku v Dačicích. Sádrový odlitek (inv. č. D653) byl skenován ve dvou polohách (počet snímků u prvního skenu byl deset, u druhého skenu čtyři snímky) v režimu *Wide* s rozlišením 17 000 points/inch². Model je kvalitně zpracován, použitelný je pouze bez textury.



Obr. 41: Virtuální model objektu H2 **a)** s texturou **b)** bez textury.

6.3. Vyhodnocení získaných dat

V kategorii A byla úspěšnost vytvoření reprezentativních virtuálních modelů menší než 50%. U bronzových předmětů byl příčinou jak tvar předmětu, tak i lesk na jeho povrchu. Procentuálně jako nejvíce vydařené byly posouzeny artefakty ze železa, u kterých se nenaskytly žádné výrazné problémy. Stříbro jako materiál jde poměrně dobře zachytit, avšak drobný reliéf reprezentantů (mincí) nebyl skener schopen zaznamenat. Stejně tak problematický byl tvar zlaté spirálky. Lesk na objektu A14 se projevil jako šum v polygonové síti. Zásadní pro úspěšné vytvoření modelu byl hlavně tvar objektu.

Tab. 2: Přehled použitelnosti modelů kategorie A jako dokumentačního objektu.

Objekt	Materiál	Polygonová síť	Textura
A1	bronz	nevhodná	nevhodná
A2	bronz	nevhodná	nevhodná
A3	bronz	nevhodná	nevhodná
A4	bronz	nevhodná	nevhodná
A5	bronz	vhodná	vhodná
A6	bronz	vhodná	nevhodná
A7	bronz	vhodná	vhodná
A8	železo	vhodná	vhodná
A9	železo	vhodná	vhodná
A10	železo	vhodná	vhodná
A11	stříbro	nevhodná	nevhodná
A12	stříbro	nevhodná	nevhodná
A13	zlato	nevhodná	nevhodná
A14	cín?	nevhodná	nevhodná
Celková použitelnost modelů v %	-	42,8	35,7

Kategorie B se jeví jako jeden z neúspěšnějších příkladů pro tvorbu modelů. Zásadním nedostatkem byla absence polygonové sítě ve vnitřní ploše celých keramických nádob. Z tohoto důvodu byl autor nucen nádoby a ostatní předměty, které nebyly z větší části kompletní, označit jako nevhodné k použití pro dokumentaci, ačkoliv jejich vnější povrch byl věrně nasnímán. Úspěch výsledku opět závisel na morfologii artefaktů.

Tab. 3: Přehled použitelnosti modelů kategorie B jako dokumentačního objektu.

Objekt	Typ	Polygonová síť	Textura
B1	nádoba	nevhodná	nevhodná
B2	nádoba	nevhodná	vhodná
B3	nádoba	vhodná	vhodná
B4	fragment n.	vhodná	vhodná
B5	fragment n.	vhodná	vhodná
B6	fragment n.	vhodná	vhodná
B7	kachel	nevhodná	vhodná
B8	kachel	vhodná	vhodná
B9	fragment k.	vhodná	vhodná
Celková použitelnost modelů v %	-	66,6	88,8

Kategorie C byla zastoupena dvěma typy kamenných artefaktů: štípané industrie a broušené industrie. Zatímco modely broušených kamenných artefaktů neměly patrné chyby v polygonové síti, u štípané industrie nastává problém věrohodnosti jejich modelů. Nedostatky se projeví při snímání ostrých úhlů hran. Tento fakt znemožňuje zachycení např. drobných retuší. U objektů C1 až C4 byla plocha hrubě strukturovaná s větším množstvím chyb v polygonové síti. Modely nezobrazovaly reálný povrch předmětu, mesh bylo nutné upravit, tím však došlo k mírné deformaci modelů. Do jaké míry je takto upravený digitalizovaný artefakt schopen reprezentovat reálnou předlohu je nasnadě, u drobné štípané industrie je však jakákoliv úprava morfologie předmětu nevhodná pro účely dokumentace.

Tab. 4: Přehled použitelnosti modelů kategorie C jako dokumentačního objektu.

Objekt	Typ	Polygonová síť	Textura
C1	štíp. in.	vhodná	vhodná
C2	štíp. in.	nevhodná	nevhodná
C3	štíp. in.	nevhodná	nevhodná
C4	štíp. in.	nevhodná	nevhodná
C5	brouš. in.	vhodná	nevhodná
C6	brouš. in.	vhodná	vhodná
Celková použitelnost modelů v %	-	50	33,3

Snímání předmětů ze skla je pro laserový 3D skener vysoce problematické. Laserový paprsek nedokáže průhledné či vysoce lesklé předměty zachytit. Chybnému odrazu laserového paprsku můžeme zabránit aplikací materiálu, který předmět zmatní a zneprůhlední. Použití pudru či jiných materiálů však automaticky znehodnotí texturu a u některých vzácných artefaktů jej ani aplikovat nemůžeme. Pokud jsou skleněné předměty matné a neprůhledné (např. objekt D1), paprsek povrch artefaktu bez potíží zachytí.

Tab. 5: Přehled použitelnosti modelů kategorie D jako dokumentačního objektu.

Objekt	Typ	Polygonová síť	Textura
D1	matné sklo	vhodná	vhodná
D2	čiré sklo	nevhodná	nevhodná
D3	čiré sklo	nevhodná	nevhodná
Celková použitelnost modelů v %	-	33,3	33,3

Všechny čtyři vzorky kategorie E autor vyhodnotil jako vhodné pro dokumentační účely, i když s jistými limity. Ačkoliv textura je do jisté míry reprezentativní, vykazuje typické problémy s vrstvením fotografických snímků na sebe. Dalším omezením je nízká

detailnost polygonové sítě, kdy drobné zářezy či podobné informace lze jen stěží rozeznat.

Tab. 6: Přehled použitelnosti modelů kategorie E jako dokumentačního objektu.

Objekt	Typ	Polygonová síť	Textura
E1	antropo.	vhodná	vhodná
E2	antropo.	vhodná	vhodná
E3	archeozoolo.	vhodná	vhodná
E4	archeozoolo.	vhodná	vhodná
Celková použitelnost modelů v %	-	100	100

Laserové skenování archeobotanického materiálu v zásadě provádět nelze. Převážná část makrozbytků není větší než 5 mm a záznam je znemožněn už kvůli jejich rozměrům. Jakýkoliv pokus skenovat takto malé makrozbytky skončil neúspěchem. Autor vybral jediného dostupného zástupce (objekt F1), jehož model je dostatečně reprezentativní, v obecném pojetí však archeobotanické nálezy není vhodné laserovým skenerem dokumentovat.

Jantarových artefaktů by bylo zapotřebí daleko více, aby kategorie G mohla vykázat objektivnější výsledky. Objekt G1 kvůli své částečné průhlednosti laserový paprsek pohltil a model tak nemohl být zkompletován. Velké procento děr v polygonové síti vykazuje u objektu G1 podobné vlastnosti jaké má kategorie D.

Do závěrečného vyhodnocení není kategorie H zařazena, a to z důvodu, že se nejedná primárně o archeologické předměty. Pro představu je však dobré upozornit, že 3D dokumentace lze uplatnit i na nearcheologické muzejní sbírky či zámecké inventáře. Objekt H1 překvapil výsledným modelem. Jelikož se jedná o lesklý předmět, autor předpokládal odrazení laserového paprsku od povrchu objektu a chybný výpočet polygonové sítě. Do jaké míry je správné vyhodnocení mesh dílem náhody by odhalilo pouze další skenování porcelánových předmětů. U objektu H2 byl předpoklad vytvoření reprezentativního modelu již na samém počátku vzhledem k podobnosti povrchu s keramickými předměty.

Autor vyhodnotil aplikaci 3D laserového skenování movitých artefaktů dle svého subjektivního pohledu s přihlédnutím na běžné standardy dokumentace následovně. Modely objektů kategorie E jsou z celého souboru nejvíce reprezentativní. Skenování osteologického materiálu kromě tvaru předlohy není nikterak limitováno, stejně tak problémy záznamu předmětů kategorie B se omezily pouze na morfologický aspekt snímaného předmětu. U dalších kategoriích se lze setkat s potížemi při dokumentaci, které závisí jak na tvaru, tak na struktuře povrchu předmětu. Nejméně vhodné je pak využití 3D laserového skenování pro předměty ze skla a archeobotanický materiál.

Tab. 7: Výčet použitelných modelů jako dokumentačního objektu jednotlivých kategorií.

Kategorie	Množství použitelných polygonových sítí	Množství použitelných textur
A	6	5
B	6	8
C	3	2
D	1	1
E	4	4
F	1	1
G	0	0
Celkem z kategorií A-G (38)	20	21
Celkem v %	52,6	55,2

7. Problémy při vytváření a prezentaci 3D modelů

Trojrozměrná digitalizace artefaktů má velké přednosti. Je poměrně časově nenákladná a pro účely archeologie velmi přesná. Přesto se mohou vyskytnout chyby a problémy, které lze jen těžko odstranit, ale zároveň jsou pro výsledný výstup zásadní. Laserový skener od firmy NextEngine je dozajista vhodnou volbou, chceme-li se věnovat pořizování 3D modelů movitých památek. Má však své limity a s tím je nutno při výběru metody dokumentace počítat.

7.1. Hardware

Při testování, se občas vyskytl problém se zatížením operační paměti. Minimální systémové požadavky (procesor 2GHz Dual-core, 2GB RAM, grafická karta 256MB, Windows XP/Vista 32bit) nejsou ke skenování vhodné, proces zpracování nasnímaných bodů trval příliš dlouho i s operační pamětí 4GB, občas software přestal reagovat a proces skenování jsem byl nucen opakovat. Někdy také došlo k nesprávnému zpracování modelu, jednotlivé snímky skenu na sebe nenasazovaly, což mělo opět za následek opakování snímání. Samotný skener tedy k dokumentaci a úpravám nestačí, pro efektivní a rychlou práci s modely je třeba využívat i výkonný počítač, který je nutnou investicí.

7.2. Textura

Zachycení textury povrchu artefaktu nám podává informace, které nejsou zjistitelné pouze z polygonové sítě. U specifických artefaktů je to pak ta nejdůležitější část předmětů. Laserový skener NextEngine má schopnost pořizování textury, kterou během procesu skenování automaticky aplikuje na model. Textura se skládá z jednotlivých fotografií, které přístroj pořídí před každým snímkováním v jednotlivých skenech. V praxi tento krok vypadá tak, že přístroj si předmět nasvítí zepředu a poté vyfotografuje. Po naskenování metodou aktivní triangulace přístroj data zpracuje a vyhodnotí. Toto se opakuje, dokud nedojde k nasnímání celého modelu. Výsledný model má však zřídka použitelnou texturu. Je to způsobeno nasvícením objektu pouze zepředu. Skener totiž jednotlivé fotografie „lepí“ na model přes sebe. Nasvícením na okrajích vzniká nepatrný stín, který zasahuje do ostatních fotografických snímků a

barevně nekoresponduje. Model s texturou tak není vhodný pro výstupy a prezentace. Problém se autor snažil řešit nasvícením objektu dvěma lampami z boku po obou stranách. Textura se stala použitelnější, celý problém tento postup ale vyřešit nedokázal, u lesklých předmětů naopak byla tato závada daleko více znatelná. Pro zachycení barevnosti povrchu artefaktu je pořád hlavní dokumentační dominantou klasická fotografie. Je na zvážení, zda je nutné texturu využívat v dokumentaci trojrozměrným skenováním. Ve většině případů totiž textura zakrývá hlavní informace 3D modelů, tedy jejich plasticitu, kterou je míněna kupříkladu reliéfní výzdoba keramických nádob, či drobné retuše u štípané industrie. Pro zachycení odstínu artefaktu se nabízí mnohem vhodnější metody dokumentace.

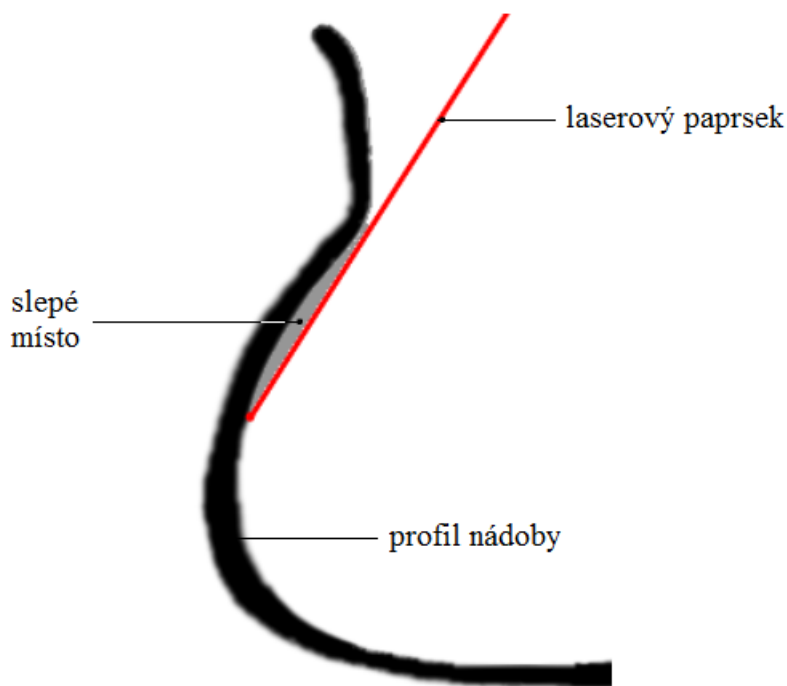
7.3. Skenování detailu a ostrých hran

Laserový skener se bohužel potýká s nejedním problémem. Pro určité artefakty s méně výrazným reliéfem, jako jsou mince, medaile, retušovaná štípaná industrie atd., je prioritou jejich dokumentace zaznamenání co nejvyšší podrobnosti. Detaily, které mají řádově desetiny milimetru, jsou laserovým skenerem od firmy NextEngine nezaznamenatelné. Proto pro mince a podobné artefakty s drobnou plastickou výzdobou je tato metoda nevhodná, neboť právě u těchto předmětů je navíc žádoucí zvýraznění jejich reliéfu. Stejný problém se vyskytl u drobných retuší na štípané kamenné industrii, u které je laserový paprsek nedokázal zachytit. Tím ztrácíme zásadní informaci o tomto druhu artefaktů. Skener se dále potýkal s potížemi u ostrých přechodů a tenkých předmětů, neboť je nebyl schopen zaznamenat. Na výsledném modelu se problém vyskytl v podobě nežádoucích děr.

7.4. Skenování dutin

Hlavní předností 3D modelu je možnost provádění řezů, aniž by došlo k fyzické újmě na artefaktu. Takto lze s maximální možnou přesností dokumentovat převážně profily nádob. Nasnímání vnitřku nádoby však není vůbec jednoduché a často se nemusí podařit. Laserový paprsek proniká do vnitřku nádoby pod určitým úhlem, k některým částem vnitřní stěny nemusí paprsek dolétnout a tím se vytváří slepá místa ve výsledném modelu. Můžeme je sice v softwaru vyplnit ručně, pravděpodobnost, že tímto krokem znehodnotíme výsledný model, je však vysoká. Tento problém se týká i malých průchozích otvorů např. u korálků či přeslenů, do takto úzkých dutin má laserový paprsek

problém se dostat. Někdy se tak ani za cenu pečlivého polohování předmětu nedokážeme se slepými místy vypořádat.



Obr. 42: Vyobrazení problému skenování slepých míst.

7.5. Měřítko

Jednou z výhod, kterou s sebou digitalizace artefaktů nese, je měřitelnost modelů v počítačovém rozhraní. Skenovací zařízení většinou automaticky vypočítá míry v jednotkách, které si většinou lze zvolit. Pro prezentaci 3D objektů je tato možnost povětšinou bezcenná, neboť není viditelná v prezentovaném modelu. Hledíme-li na prezentovaný digitalizovaný artefakt, který vedle sebe nemá viditelné měřítko, těžko si můžeme představit velikost předmětu. To může být poněkud zavádějící. Nabízí se dvě řešení. Před skenováním umístíme měřítko vedle artefaktu (například fotografické měřítko, krychli s přesně definovanými rozměry). Toto řešení je však nepraktické, fotografické měřítko v kontrastních barvách se nemusí správně vykreslit a prezentujeme-li artefakt bez textury, místo měřítka je nevzhledný jednobarevný pruh. Užitečnou metodou může být vytvoření měřítka v CAD softwaru a k naskenovanému objektu jej pouze připojit. Metricky přesné měřítko lze editovat dle potřeb tak, aby co nejlépe korespondovalo s modelem.

8. Správa dat

Dokumentace nejenom movitých artefaktů jakožto trojrozměrných virtuálních modelů je dnes v archeologii stále více se rozšiřujícím trendem a počet badatelů, kteří se věnují at' už fotogrammetrii či 3D skenování stále narůstá. Je proto velice důležité zamyslet se nad tím, jak s těmito daty zacházet a jak o nich uchovávat informace.

8.1. Databáze

Jedním ze stěžejních problémů, týkající se pořizování nejen trojrozměrných dat, je jejich správa a archivace. Aby pořizování těchto dat mělo smysl a nebylo pouze jednorázové, je nutné vzniklé soubory někam ukládat. Má-li se 3D skenování stát nedílnou součástí dokumentace archeologických objektů, je vzhledem k potenciálně velkému množství pořízených dat a jejich velikosti, která není nikterak malá, problematické jejich ukládání v osobních počítačích či externích discích. Jak tedy ukládání dat řešit? Nabízí se hned několik možností. Nejideálnější a pravděpodobně utopická myšlenka je vytvořit databázi v celostátním měřítku pod vedením jednoho ústavu, kam by každá instituce (univerzita, muzeum) věnující se tomuto druhu dokumentace mohla svá data posílat a sdílet je s ostatními. Pokud však předpokládáme, že se 3D skenování stane běžnou dokumentační metodou, vznikne ohromné množství modelů, jejichž správa bude časově a finančně velice náročná. Reálnější je možnost vytvoření menších samostatných databází jednotlivými institucemi. Vzájemně si pak data mohou poskytovat.

3D skenování není doposud tak rozšířenou dokumentační metodou, podvědomí o něm se však zvětšuje, a i když v nejbližší budoucnosti pravděpodobně nenahradí klasické formy dokumentace, je třeba pomýšlet na to, jak tato data co nejefektivněji uchovávat.

8.2. Záznam metadat

Vytváření trojrozměrných dat samo o sobě není dostačující pro práci s nimi. Hlavní problém nastává, chceme-li s virtuálními modely provádět analýzy, měření, úpravy apod. Při těchto operacích nám často mohou chybět údaje o okolnostech a postupech během pořizování trojrozměrného virtuálního modelu, jejichž neznalost do jisté míry může ovlivnit vyhodnocení dat. Je tedy potřeba pečlivě zaznamenávat a

uchovávat metadata neboli data o datech skenovaných (či jinou metodou vytvářených) digitálních 3D objektů. Vzhledem k narůstajícímu počtu virtuálních modelů v archeologii je tento krok velice důležitý hlavně kvůli evidenci. Každý virtuální artefakt by měl mít svůj záznamový protokol metadat, neboť v záplavě dat se můžeme velmi brzy přestat orientovat. Často totiž před sebou máme model artefaktu, s kterým sice můžeme pohybovat a zkoumat ho ve virtuální trojrozměrné realitě, ale nemáme k němu žádné doplňující informace. Musíme si uvědomit, že 3D model je do jisté míry co nejdělejší kopie artefaktu a pro specifické účely tak může poskytnout prakticky stejnou vypovídací hodnotu. Ačkoliv 3D model je sám o sobě souborem dat o artefaktu, i o něm bychom měli uchovávat informace stejně jako u jeho fyzické předlohy.

Pro tento účel se autor pokusil vytvořit záznamový protokol, který by měl být hlavní součástí každé evidence a databáze. Protokol je rozdělen celkem na 7 částí, kde každý oddíl je určen pro záznam specifického typu informací. Lze jej použít jako formulář (viz **12.3. Příloha 1, Příloha 2**), nebo jako součást databázové tabulky, která by byla vhodnější a přehlednější alternativou pro větší množství digitálních modelů.

I. Základní informace

Pro primární vedení záznamů a orientaci v databázi slouží první odstavec, obsahující hlavní údaje o samotném souboru. Prvotní informací v této části je pro nás název souboru. Měl by být koncipován takovým způsobem, aby bylo jasné, o jaký typ předmětu se jedná a zároveň byl vhodný pro přehlednou evidenci. Tento krok koncepce názvu je zcela individuální, avšak svou vypovídací hodnotou by měl být univerzálně platný. Pokud již samotný název bude mít ucelenou formu, vyhledání konkrétních souborů bude přehledné a jednoduché. Záleží čistě na našich preferencích, které údaje budou pro označení modelu stěžejní. Pro příklad by název pro 3D model keramické nádoby mohl vypadat takto: KE_nádoba_lokalita_inv.číslo. Zkratka KE označuje typ materiálu, v tomto případě keramiky, další část názvu konkretizuje artefakt, z názvu tedy vyplývá, že se jedná o keramickou nádobu. Třetí část předmět zasazuje do bližšího kontextu. Za lokalitu rovněž můžeme přidat i rok výzkumu. Závěrečnou informací je inventární číslo, které model spojuje s konkrétním fyzickým artefaktem. Části názvu lze poskládat libovolně, záleží na každém, jaký typ informací upřednostňuje a je pro přehled v databázi nejpodstatnější. Další podstatná informace je formát souboru. Pro uživatele, který chce modely využívat k analýzám, ke studijním účelům či prezentaci může být velice užitečné, existuje-li

soubor ve více formátech. Některý software podporuje pouze určité formáty, proto možnost výběru je příjemná. Pro představu, jak je model totožný s artefaktem, musíme znát rozlišení virtuálního modelu, neboť pokud je rozlišení příliš nízké, je velmi pravděpodobná ztráta informací například u výzdoby nádob apod. Následujícím údajem, který je neméně podstatný, je prezence či absence textury. U určitého typu artefaktů je textura tou nejdůležitější informací, proto by v záznamu tento údaj neměl být opomíjen. Pro zpracování dat a provádění měření je klíčová znalost měrné jednotky, v jaké byl model uložen. Soubor lze ukládat buď v milimetrech, centimetrech a dalších jednotkách, záleží vždy na možnostech softwaru a našich preferencích. Pro archeologické účely se však jako nejideálnější možnost autorovi jeví ukládat modely v milimetrech. Poslední část tohoto odstavce tvoří poznámky, které jsou využitelné pro doplňující údaje, například velikost souboru, výčet již provedených analýz apod.

II. Informace o artefaktu

Druhý odstavec je stejně důležitý jako první. Podává nám totiž informace o skenovaném artefaktu. Bez této znalosti by byl model informačně bezcenný a nevhodný pro evidenci, proto je třeba věnovat tomuto oddílu protokolu pozornost. První část (Materiál) nás seznamuje s tím, z jaké suroviny je artefakt zhotoven, druhá část (Popis artefaktu) je slovní interpretace předmětu. Stručný popis by měl obsahovat tvar, zbarvení, případně míry skenovaného objektu. Vhodné je také uvést, v jaké instituci se artefakt nachází a důležité je také zaznamenat inventární číslo. Zajisté není od věci zapsat nálezové okolnosti, tedy lokalitu, datum, okres, označení předmětu, sondu a vrstvu. Vhodné je si i poznamenat vedoucího výzkumu či nálezce.

III. Informace o zařízení

Abychom si utvořili představu, jak záznam ve formě 3D dokumentace probíhal, je nutné vědět, jakým přístrojem byla data pořízena. Typ přístroje má rozhodující vliv na podobě výsledného modelu. Proto je stěžejní informace, jaký přístroj jsme k dokumentování použili (Hardware). Zapisujeme tedy konkrétní model, ať už se jedná o 3D skener či fotoaparát. V případě skeneru je vhodné uvést, o jaký typ se jedná, tedy laserový, optický či jiný (Typ přístroje) a zda se jedná o zařízení statické či mobilní (Mobilita přístroje).

IV. Software

3D modelu v konečném výsledku vždy předchází množství úprav, pro prezentaci a další zkoumání nelze předkládat surová data. Z tohoto důvodu vždy musí docházet k menším či větším korekturám. Chceme-li si utvořit obraz, do jaké míry je model totožný s fyzickým artefaktem, musíme rovněž poznamenat, jaký software jsme použili (Použité programy), a jaké změny a úpravy jsme v těchto programech učinili (Popis zpracování a úprav virtuálního modelu).

V. Nastavení softwaru pro skenování

Vzhled 3D modelu ovlivňuje celá řada faktorů, ovšem tím nejpodstatnějším je již počáteční nastavení softwaru určeného pro skenování. Tento krok je velmi individuální, a pokud se rozhodneme tato data zapisovat, musíme vytvořit tuto část protokolu dle možností a specifikací daného softwaru. Autor pro program ScanStudioHD jednotlivé kroky nastavení poznamenal tak, jak jsou v anglickém jazyce, a umístil je do přehledné tabulky. V naprosté většině případů není jeden snímek dostačující k reprezentaci modelu a ke kompletaci je zapotřebí minimálně dvou skenů, proto první sloupec (Scan) určuje počet jednotlivých skenů. Můžeme je značit čísly či písmeny (v případě softwaru ScanStudioHD). Druhý sloupec (Positioning) určuje polohování, tedy v jakém rozmezí byl objekt skenován (např. 360°). Další části tvoří rozlišení modelu (Points/In.²), odstín skenovaného objektu (Target), vzdálenost mezi skenerem a artefaktem (Range) a poslední sloupec (Stav) indikuje výsledek skenování (použitelný/nepoužitelný).

VI. Vyhotovení

Předposlední odstavec záznamového protokolu tvoří pět oddělení (Zhotovitel, Instituce, Datum, Místo, Kontakt) a mají uživateli poskytnout možnost v případě nejasností, obrátit se na autora 3D modelu

VII. Poznámky

Závěrečná část je určena pro záznam méně podstatných okolností skenování či pro zápis údajů, které kvůli jejich charakteru nelze vložit do jiných částí protokolu. Vhodné je slovně poznamenat problémy, týkající se pořizování dat a jejich řešení.

Při tvorbě záznamového protokolu jsem se snažil neopomenout podstatné informace, které je zapotřebí znát, pracujeme-li s 3D modelem. Každý přístroj však má svá specifika a protokol tak není ve všech aspektech všeobecně platný. Ať už však vytváříme model jakýmkoliv způsobem, tedy fotogrammetrií, laserovým, optickým či jiným druhem skenování, měli bychom zmínit co možná nejširší spektrum informací.

9. Srovnání 3D skenování s dalšími dokumentačními metodami

V rámci aplikace laserového skenování se autor nemohl vyhnout zásadnímu tématu srovnání 3D dokumentace s tradičními metodami jakými jsou kresba a fotografie, ale i s modernějšími alternativami jakou nabízí například fotogrammetrie. Sledoval i časovou náročnost jednotlivých metod.

Proces nastavení skeneru a příprava modelu je krok velmi jednoduchý a rychlý. Objekt je třeba umístit na otočnou podložku pevně, aby nedocházelo ke změnám polohy během procesu skenování. Následkem toho by pak došlo k chybnému výpočtu polygonové sítě a celý proces bychom museli opakovat. Poté je nutné zvolit specifikace skenování v softwaru. Celý tento proces zabere pouze několik minut. Samotný průběh skenování je soběstačný, skener pracuje zcela automaticky. Vytvoření jednoho snímku skenu záleží na specifikaci, kterou jsme zvolili, u nižšího rozlišení se čas skenování pohybuje mezi dvěma až třemi minutami, u vyššího rozlišení pak do pěti minut. V tomto čase skener objekt vyfotografuje, nasnímá spektrum bodů a poté jej vygeneruje. Délka trvání vytvoření jednoho skenu záleží na dvou hlavních faktorech. Prvním faktorem je nastavení počtu snímků a rozlišení v rámci skenování. Čím více snímků zvolíme a čím větší bude mít výsledný model rozlišení, tím déle bude trvat zpracování objektu. Druhým faktorem je výkonost počítače. Rychlost vypočítávání modelů velmi závisí na výkonosti procesoru a velikosti operační paměti. Po naskenování pak zpravidla provádíme minimálně ještě jeden sken, tentokrát snímáme objekt z jiného úhlu. Následná nutnost odstranění nežádoucích objektů a propojení modelů vyžaduje opět manuální práci v softwaru. Celkové trvání úprav modelu zabere maximálně patnáct minut, ve výjimečných případech i více. Po všech těchto krocích získáme věrnou virtuální kopii artefaktu, se kterou můžeme dále pracovat. Celková doba manuální práce při tvorbě a úpravách modelu do ideální podoby tak zabere dvacet až třicet minut, při větším množství skenů může celý proces korektur trvat i hodinu a více.

Kresebná dokumentace závisí na schopnostech a zkušenostech kresliče. Drobnější artefakty, keramické fragmenty, lze s minimální odchylkou zakreslit během 5-10 minut. Oproti 3D modelům má však kresba tu nevýhodu, že zachycuje pouze určité pohledy na artefakt a nelze s nimi provádět rozsáhlé analýzy. Naopak nespornou výhodou kresebné dokumentace je zachycení detailů. (např. výzdoby), které v mnoha případech není skener schopen zaznamenat. Ideálním zvýrazněním podrobností artefaktu nám tak subjektivně

modifikovaná kresba může poskytnout daleko více zásadních informací než reálné vyobrazení.

To v zásadě platí i dokumentace pomocí fotografie. Tato metoda je nejrychlejší možnou dokumentací, odstraňuje problémy spojené se subjektivní vizualizací, jak tomu bývá u kresebné dokumentace. Je však omezená pouze na jeden pohled, k autentickému zachycení je také nutné mít vhodné zázemí.

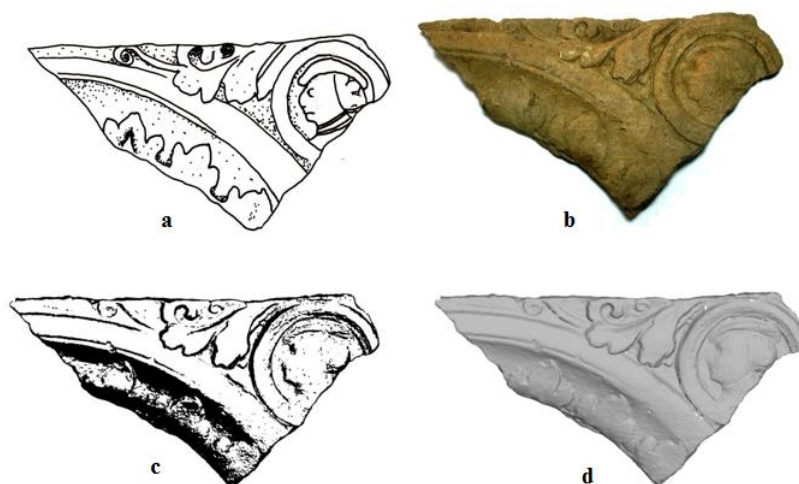
V porovnání s trojrozměrnou digitalizací laserovým skenerem může velice dobře obstát metoda fotogrammetrie. Vytváření modelů pomocí dvojrozměrných snímků je velice jednoduché a postačí k němu obyčejný digitální fotoaparát. Nutností je pouze software, který dokáže z 2D fotografií vytvořit trojrozměrné souřadnice.

Během srovnání autor měřil čas při provádění všech dokumentačních metod. Příprava objektu ke 3D skenování mu trvala průměrně jednu až dvě minuty. U kresebné dokumentace je proces přípravy přibližně stejně dlouhý. U dokumentace fotografií je nutné připravit vhodné světelné podmínky. Celkově proces přípravy a nastavení fotoaparátu zabere také pouze několik minut. Samotný proces pořízení dat je u 3D laserového skenování zcela automatický. U kresebné dokumentace tento krok zabral od pěti do třiceti minut v závislosti na morfologii artefaktu. Fotografování artefaktu trvalo maximálně jednu minutu. Při pořízení modelu metodou fotogrammetrie je nutné snímkovat předmět manuálně v okruhu 360° a to nejlépe hned z několika úhlů. Samotný proces závisí na pořízení počtu snímků a vhodném zázemí. V ideálním případě trvá fotografování předmětu pro metodu fotogrammetrie průměrně pět minut. Dalším procesem je nutnost úprav vytvořeného obrazu artefaktu. V prostředí trojrozměrného skenování je tento krok již výše popsán, jeho průměrná délka je přibližně pět až deset minut. Kresbu je nutné naskenovat do počítače a rovněž editovat. Proces úpravy je dlouhý přibližně pět minut. Fotografie si občas taky žádá jistou korekturu, často však nezabere více než deset minut.

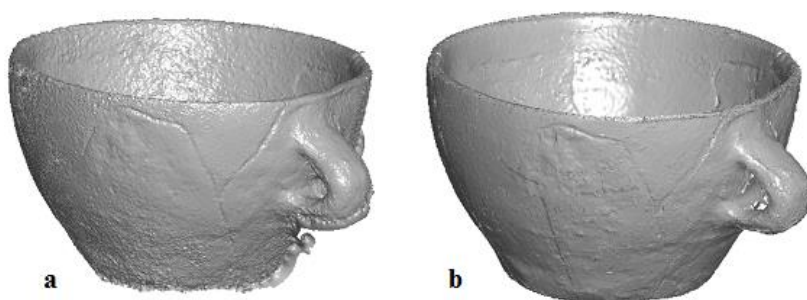
Autor naskenoval, nakreslil a vyfotografoval pět artefaktů jako srovnávací vzorek. U 3D dokumentace a fotografování mu každý záznam a úpravy artefaktu trvaly stejnou dobu, pět až patnáct minut u 3D dokumentace, u fotografie pět až deset minut. U kresby se čas zpracování lišil v závislosti na dokumentovaném artefaktu, nejrychleji se kreslila kamenná štípaná industrie, kresba zabrala pouhých deset minut i s úpravami, v rozmezí deseti až patnácti minutami byla rychlá i dokumentace keramického fragmentu a celé nádoby s uchem. Nejdéle mi trvalo nakreslit fragment zdobeného renesančního kachle. Čas strávený nad kresbou byl okolo třiceti minut. Výsledek však není uspokojivý, pro

větší přesnost by bylo zapotřebí mnohem více času. Vzhledem k ne příliš vhodným podmínkám se nepodařilo rekonstruovat kvalitní model pomocí metody fotogrammetrie. Objekt B3, jenž byl pro porovnání vybrán, je jako virtuální model nekompletní. Pro srovnání s metodou laserového skenování je však dostačující.

Porovnání časové efektivity lze jen stěží vyhodnotit objektivně. 3D skenování je mechanický proces, jehož délka je striktně definována užitou výpočetní technikou a nastavením parametrů snímání. Tento argument se dá aplikovat i na metodu dokumentace pomocí fotogrammetrie i fotografie, kde spíše záleží na vhodném vybavení a zkušenosti dokumentátora. Zcela individuální je na druhou stranu práce na kresebné dokumentaci, zde záleží na schopnostech a zkušenostech kresliče, ale také na druhu dokumentovaného artefaktu. Kresebná dokumentace tak může být zároveň nejrychlejší i časově nejnáročnější metodou. Srovnání časových efektivit jednotlivých přístupů v dokumentaci tak může být až příliš zavádějící, jelikož je ovlivňuje vysoké procento proměnlivých faktorů.



Obr. 43: Příklady typů dokumentačních metod na příkladu objektu B9 **a)** kresba **b)** fotografie **c)** upravený 3D model **d)** 3D model bez textury.



Obr. 44: Porovnání metod **a)** fotogrammetrie a **b)** laserového skenování na objektu B3.

10. Diskuse a závěr

Práce s 3D laserovým skenerem vybízí k jisté míře potlačení objektivitu při srovnávání virtuálního modelu a klasického pojetí dokumentace. Je třeba umírnit prvotní nadšení a pohlížet na vývoj technologií s kritickým odstupem. Jak je z aplikace laserového skenování na souboru movitých artefaktů patrné, laserové skenování není vhodné pro všechny typy předmětů. S mnohými materiály si laserový paprsek dokázal poradit jen stěží, u některých pak vůbec nedošlo k nasnímání částí povrchu. Na mnohem větší potíže naráží tato metoda dokumentace u složitějších tvarů, drobných reliéfů, tenkých hran, přechodů v ostrých úhlech a malých (pod 1 cm) předmětů. Laserový paprsek nedokáže zaznamenávat ani z části průhledné předměty, problémy má i se snímáním lesklých předmětů. Nutno přiznat, že autor pracoval pouze s jedním typem laserového skeneru, a výsledky práce nelze automaticky aplikovat na všechny typy laserových stacionárních skenerů. Testování však prokázalo limity dokumentace laserovým paprskem a je nutné s nimi při pořizování laserového skeneru pro virtuální záznam movitých památek počítat.

Nasadě je otázka, zda 3D skenování naplno nahradí klasické formy dokumentace. S jistotou lze konstatovat, že v blízké budoucnosti k tomu nedojde. Ačkoliv je trojrozměrná dokumentace nyní stále více využívána, zatím se jedná pouze doplňující metodu záznamu dat. Vývoj a zdokonalování 3D laserového skenování v archeologii má před sebou ještě dlouhou cestu. Sice již nyní nabízí široké spektrum zcela jedinečných možností práce s artefakty, není však nejdostupnější ani (ač se tak se může zdát) nejpřesnější metodou.

Na počátku práce autor definoval čtyři otázky, na které měla práce odpovědět. Do jaké míry je tato metoda funkční a využitelná? Nahradí stávající dokumentační postupy? Ušlechtlí a urychlí 3D skenování dokumentaci artefaktů? Je aplikovatelná na všechny druhy archeologických památek? Zhodnocení práce a zodpovězení těchto otázek se odvíjí od subjektivního pohledu autora. Jisté je, že metoda laserového trojrozměrného skenování je funkční pro dokumentaci archeologických movitých památek, její využití je limitováno pouze přístupem vědce k badatelské činnosti a k oslovení širší veřejnosti. Zcela jistě však v nejbližší době nenahradí léty prověřené dokumentační metody. I když jedná o co možná neobjektivnější druh záznamu, interpretace badatele promítnutá do výsledné dokumentace nám stále nabízí širší spektrum informací. S tím souvisí i fakt, že metoda 3D skenování má stále své limity v pořízení virtuálních modelů artefaktů a to jak v časové

efektivitě, tak ve své univerzálnosti. Bude ještě nějaký čas trvat, než tužku a papír zcela nahradí počítač a laserový emitor nebo optický sensor. A pravděpodobně k tomu ani nedojde, neboť každá metoda dokumentace má svá pozitiva i negativa. Dokumentace laserovým stacionárním skenerem je toho příkladem.

11. Seznam zdrojů

11.1. Literatura

Bretzke, K. - Conard, N. J. 2012: Evaluating morphological variability in lithic assemblages using 3D models of stone artifacts. Journal of Archaeological Science 39/12, s. 3741-3749.

Gilboa, A. - Tal, A. - Shimshoni, I. - Kolomenkin, M. 2013: Computer-based, automatic recording and illustration of complex archaeological artifacts. Journal of Archaeological Science, 40/2, s. 1329-1339.

Grosman, L. - Smikt, O. - Smilanski, U. 2008: On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. Journal of Archaeological Science 35/12, s. 3101-3110.

Jandová, I. - Šplíchalová, P. - Urbanová, M. 2015: Aplikace metod virtuální antropologie při určování pohlaví u fragmentárních kosterních nálezů. Studia Archaeologica Brunensia 20/1, s. 153-173.

John, J. – Štěpánek, I. 2012: Nález spirálové náušnice z přelomu starší a mladší doby železné na lokalitě Sedlec (okr. České Budějovice). Archeologické výzkumy v jižních Čechách 25, s. 243-247.

Kampel, M. - Sablatnig, R. 2003: Virtual reconstruction of broken and unbroken pottery. In 3-D Digital Imaging and Modeling, 2003. 3DIM 2003. Proceedings. Fourth International Conference on (pp. 318-325), IEEE.

Karasik, A. - Smilanski, U. 2008: 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. Journal of Archaeological Science 35/5, s. 1148-1168.

Kuzminsky, S. C. - Gardiner, M. S. 2012: Three-dimensional laser scanning: potential uses for museum conservation and scientific research. Journal of Archaeological Science 39/8, s. 2744-2751.

Montani, I. - Sapin, E. - Sylvestre, R. - Marquis, R. 2012: Analysis of Roman pottery graffiti by high resolution capture and 3D laser profilometry. Journal of Archaeological Science, 39/11, s. 3349-3353.

Papaioannou, G. - Karabassi, E. A. 2003: On the automatic assemblage of arbitrary broken solid artefacts. Image and Vision Computing 21/5, s. 401-412.

Plzák, J. 2011: Možnosti digitálního záznamu trojrozměrné reality pro využití v archeologii. Diplomová práce, KAR FF ZČU, Plzeň.

Skoupý, P. 2007: 3D optické měřicí a skenovací systémy pro strojírenství. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno.

Šnajdárek, L. 2008: Metody 3D laserového skenování obrobků ve výrobním procesu. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno.

11.2. Další zdroje

3D-Tool Free

Dostupné z: http://www.3d-tool.com/en_free-viewer-download.htm - 22. 1. 2016

Adobe Acrobat

Dostupné z: <https://acrobat.adobe.com/us/en/> - 8. 5. 2016

Agisoft Photoscan

Dostupné z: <http://www.agisoft.com/> - 27. 4. 2016

Archeologické 3D virtuální muzeum

Dostupné z: <http://www.archaeo3d.com/> - 10. 12. 2016

Autodesk 123D Catch

Dostupné z: <http://www.123dapp.com/catch> - 18. 4. 2016

Blender

Dostupné z: <https://www.blender.org/> - 15. 11. 2015

DAZ Studio

Dostupné z: <http://www.daz3d.com/home> - 27. 4. 2016

FreeCad

Dostupné z: <http://www.freecadweb.org/> - 15. 11. 2015

Geomagic Design

Dostupné z: <http://www.geomagic.com/en/> - 15. 11. 2015

GOM Inspect

Dostupné z: <http://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html> - 15. 11. 2015

MeshLab

Dostupné z: <http://meshlab.sourceforge.net/> - 22. 1. 2016

NextEngine – informace o laserovém skeneru

Dostupné z: <http://www.nextengine.com/> - 5. 3. 2016

SimLab Composer

Dostupné z: <http://www.simlab-soft.com/index.aspx> - 27. 4. 2016

TroveSketch – informace o softwaru

Dostupné z:

https://www.tu-chemnitz.de/informatik/HomePages/GDV/details.php?id_pro=56 - 18. 3. 2016

12. Přílohy

12.1. Seznam obrazových příloh

Obr. 1: nastavení *Quick* (1. řada), nastavení *SD* (2. řada), nastavení *HD* (3. řada).

Obr. 2: Virtuální model objektu A1 s texturou.

Obr. 3: Virtuální model objektu A2 s texturou.

Obr. 4: Virtuální model objektu A3 s texturou.

Obr. 5: Virtuální model objektu A4 s texturou.

Obr. 6: Virtuální model objektu A5 s texturou.

Obr. 7: Virtuální model objektu A6 s texturou.

Obr. 8: Virtuální model objektu A7 s texturou.

Obr. 9: Virtuální model objektu A8 s texturou.

Obr. 10: Virtuální model objektu A9 s texturou.

Obr. 11: Virtuální model objektu A10 s texturou.

Obr. 12: Virtuální model objektu A11 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Obr. 13: Virtuální model objektu A12 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Obr. 14: Virtuální model objektu A13 s texturou.

Obr. 15: Virtuální model objektu A14 s texturou.

Obr. 16: Virtuální model objektu B1 s texturou.

- Obr. 17:** Virtuální model objektu B2 s texturou.
- Obr. 18:** Virtuální model objektu B3 **a)** s texturou **b)** bez textury s profilem nádoby.
- Obr. 19:** Virtuální model objektu B4 s texturou.
- Obr. 20:** Virtuální model objektu B5 **a)** s texturou **b)** bez textury **c)** profil keramického fragmentu.
- Obr. 21:** Virtuální model objektu B6 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 22:** Virtuální model objektu B7.
- Obr. 23:** Virtuální model objektu B8 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 24:** Virtuální model objektu B9 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 25:** Virtuální model objektu C1 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 26:** Virtuální model objektu C2 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 27:** Virtuální model objektu C3 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 28:** Virtuální model objektu C4 **a)** s texturou **b)** bez textury.
- Obr. 29:** Virtuální model objektu C5 s texturou.
- Obr. 30:** Virtuální model objektu C6 s texturou.
- Obr. 31:** Virtuální model objektu D1 s texturou.
- Obr. 32:** Virtuální model objektu D2 s texturou.
- Obr. 33:** Virtuální model objektu D3 s texturou.
- Obr. 34:** Virtuální model objektu E1 s texturou.
- Obr. 35:** Virtuální model objektu E2 s texturou.
- Obr. 36:** Virtuální model objektu E3 s texturou.
- Obr. 37:** Virtuální model objektu E4 s texturou.
- Obr. 38:** Virtuální model objektu F1 s texturou.

Obr. 39: Virtuální model objektu G1 s texturou.

Obr. 40: Virtuální model objektu H1 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Obr. 41: Virtuální model objektu H2 **a)** s texturou **b)** bez textury.

Obr. 42: Vyobrazení problému skenování slepých míst.

Obr. 43: Příklady typů dokumentačních metod na příkladu objektu B9 **a)** kresba **b)** fotografie **c)** upravený 3D model **d)** 3D model bez textury.

Obr. 44: Porovnání metod **a)** fotogrammetrie a **b)** laserového skenování na objektu B3.

12.2. Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled jednotlivých kategorií skenovaných artefaktů.

Tab. 2: Přehled použitelnosti modelů kategorie A jako dokumentačního objektu.

Tab. 3: Přehled použitelnosti modelů kategorie B jako dokumentačního objektu.

Tab. 4: Přehled použitelnosti modelů kategorie C jako dokumentačního objektu.

Tab. 5: Přehled použitelnosti modelů kategorie D jako dokumentačního objektu.

Tab. 6: Přehled použitelnosti modelů kategorie E jako dokumentačního objektu.

Tab. 7: Výčet použitelných modelů jako dokumentačního objektu jednotlivých kategorií.

12.3. Další přílohy

Záznamový protokol metadat virtuálních modelů

1. Základní informace			
Název souboru:			
Formát:	<input type="checkbox"/> .ply <input type="checkbox"/> .obj <input type="checkbox"/> .stl <input type="checkbox"/> .u3d <input type="checkbox"/> .pdf <input type="checkbox"/> jiný:		
Textura:	<input type="checkbox"/> s texturou – rozlišení: dpi <input type="checkbox"/> bez textury		
Měrná jednotka:	<input type="checkbox"/> μm <input type="checkbox"/> mm <input type="checkbox"/> cm <input type="checkbox"/> dm <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> jiná:		
Poznámky:			
2. Informace o artefaktu			
Typ materiálu:			
Popis artefaktu:			
Instituce:			
Inventární číslo:			
Lokalita:		Sonda:	
Datum:		Čtverec:	
Okres:		Vrstva:	
Označení:		Vedoucí výzkumu:	
3. Informace o zařízení			
Hardware:	NextEngine Desktop 3D Scanner – Model 2020i		
Typ zařízení:	<input checked="" type="checkbox"/> laserový <input type="checkbox"/> optický <input type="checkbox"/> jiný:		
Mobilita:	<input checked="" type="checkbox"/> stacionární <input type="checkbox"/> mobilní		
4. Software			
Použité programy:			
Popis zpracování a úprav virt. modelu:			

Příloha 1: 1. část záznamového protokolu metadat

5. Nastavení softwaru pro skenování									
Program:		ScanStudio HD PRO (NextEngine)							
Scan	Positioning	Divisions	Points/in. ²	Target	Range	Start	Konec	Čas	Stav (Z/N)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
6. Vyhotovení									
Zhotovitel (kontakt):				Datum:					
Instituce:				Místo:					
Poznámky									

Příloha 2: 2. část záznamového protokolu metadat



Příloha 3: 3D model objektu B8



Příloha 4: 3D model objektu C1.



Příloha 5: 3D model objektu C6.