

Kosmelová, Natália; Nosek, Vojtěch

Porovnanie digitálnych a klasických archeologických dokumentačných metód na príklade stredovekých šachových figúrok

Studia archaeologica Brunensia. 2019, vol. 24, iss. 2, pp. 29-74

ISSN 1805-918X (print); ISSN 2336-4505 (online)

Stable URL (DOI): <https://doi.org/10.5817/SAB2019-2-2>

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/142689>

Access Date: 27. 11. 2024

Version: 20220831

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

Porovnanie digitálnych a klasických archeologických dokumentačných metód na príklade stredovekých šachových figúrok

Digital and analogue documentation approaches in archaeology: Chess pieces as a case study

Natália Kosmelová / Vojtěch Nosek

Abstrakt

Článok vychádza z bakalárskej práce Natálie Kosmelovej (2018). Prináša štandardnú súčasnú dokumentáciu drobných archeologických predmetov, rovnako tak popisuje dokumentáciu súboru pomocou vybraných 3D záznamových médií a vyhodnocuje možný prínos tohto druhu dokumentácie pre vedecké a prezentačné účely. Zároveň sú v článku komparované bežné aj inovatívne techniky. Záverom článku sú demonštrované možnosti publikácie, vizualizácie a prezentácie kultúrneho dedičstva. Skúmanú problematiku dopĺňajú vyhotovené 3D modely.

Kľúčové slová

Šachové figúrky, 3D fotogrametria, obrazovo-orientované modelovanie, 3D skenovanie, vrcholný stredovek, prezentácia archeologických nálezov, vizualizácia reality

Abstract

The article is based on the bachelor thesis of Natália Kosmelová (2018). The article describes the standard documentation of small archaeological finds used nowadays and also describes the documentation of the collections by chosen 3D data recorders. At the same time it evaluates the possible contribution of this type of documentation for scientific and presentational purposes. In the article innovate and routine techniques are simultaneously compared. In conclusion, the possibilities of publications, visualizations and presentation of cultural heritage are demonstrated. The researched topic is supplemented by finished 3D models.

Key words

Chess pieces, 3D photogrammetry, Image-based modelling, 3D scanning, High Middle Ages, presentation of archaeological finds, reality visualization

1. Úvod

Pri každom vedeckom výskume zisťujeme, overujeme, kontrolujeme a vytvárame nové závery. Výsledkom sú nové poznatky a hlavne nové spôsoby skúmania, ktoré umožňujú vedecký posun. S určitosťou môžeme povedať, že s vyvíjajúcou sa vedou sa vyvíja aj jej metodológia, a teda spôsob skúmania (Kuna 2004, 11). V dôsledku kladenia vyššieho zreteľa na nedeštruktívne metódy v archeológii, v kombinácii so stále väčšou dostupnosťou výpočtovej techniky, rastie popularita trojrozmernej dokumentácie a tiež rozvoj inovatívnych dokumentačných techník (napr. Gilboa – Kolomenkin – Tal – Shimshoni 2013). Tieto by sme v predkladanej štúdií priblížili a následne aj popísali na vlastných skúsenostiach, pretože pre budovanie metodológie sú vždy najdôležitejšie vlastné skúsenosti a hlavne skúsenosti odborníkov, ktorí danú disciplínu opakovane uskutočňujú (Neustupný 2007, 17).

Hlavným cieľom článku je snaha zhrnúť problematiku využívania vybraných dokumentačných techník (kresba, fotografia a trojrozmerný záznam získaný pomocou 3D fotogrametrie a 3D skenera) v našom odbore s ich možnými prínosmi a úskaliami. Vybrané dokumentačné techniky sú testované a porovnávané na súbore stredovekých šachových figúrok.

Metódy nie sú porovnané len medzi sebou navzájom, ale komparované sú aj výsledky jednotlivých inovatívnych metód s odstupom času za cieľom poukázania na rýchlo vyvíjajúce sa technológie s vyzdvihnutím ich prínosu pre náš odbor.¹ Možný prínos tohto druhu dokumentácie je vyhodnotený ako pre vedecké tak aj reprezentatívne účely.

Výsledné priestorové modely, zhotovené pomocou 3D fotogrametrie, sú uložené vo formáte .obj na online platforme Sketchfab (<https://sketchfab.com/eNka44>), a sú taktiež súčasťou bakalárskej diplomovej práce (Kosmelová 2018). Záverom sú na príklade digitalizovaného sú-

boru artefaktov a inšpiratívnych projektov demonštrované možnosti publikácie, vizualizácie a prezentácie kultúrneho dedičstva.

2. Práca v ateliéroch a obecný úvod do problematiky porovnávajúcich dokumentačných metód

Veľká časť výskumu bola realizovaná v ateliéroch Masarykovej univerzity, a to konkrétne v 3D ateliéri Ústavu archeologie a muzeologie na Filozofickej fakulte a v Laboratóriu morfológie a forenzej antropológie na Přírodovědecké fakulte MU.

Práca v 3D ateliéri zahŕňala vyhotovenie fotografických snímok figúrok, ich úpravu, kalibráciu, testovanie nastavenia programu Agisoft PhotoScan (spoločnosti Agisoft), a samotnú tvorbu modelov. Práca v Laboratóriu morfológie a forenzej antropológie spočívala vo vyhotovení trojrozmerného záznamu šachových figúrok pomocou 3D skenera NextEngine a programu NextEngine ScanStudio (spoločnosti NextEngine). Finálna tlač figúrok bola uskutočnená na Ústave výpočetní techniky MU.

Zaoberali sme sa dokumentáciou v zmysle vizuálneho a priestorového zachytenia podoby archeologických artefaktov, a to čo najpresnejším, najdetailnejším a najprehľadnejším spôsobom. V súčasnosti existuje v porovnaní s minulým storočím pochopiteľne viac spôsobov vizuálneho záznamu a tak vznikajú v priebehu archeologického bádania otázky kedy a ktorú metódu uplatniť, aby bádateľ dosiahol čo najrelevantnejších výsledkov. K dnes už klasickým dokumentačným metódam, ako je kresba a fotografia, sme pre potreby vzájomného porovnávania v tomto článku pridali trojrozmerné záznamy vyhotovené pomocou 3D fotogrametrie a 3D skenera, ako zástupcov novej generácie dokumentačných techník a uchovávaní informácií o artefaktoch a archeologických situáciách.

Kresba predstavuje najstaršiu dokumentačnú techniku vôbec. Do 19. storočia však mala skôr umelecký charakter, kresby boli štylizované, bolo na nich zachytené množstvo nepodstatných informácií ako pozadie, odlesky a podobne (Griffiths – Jenner – Wilson 1990, 6). V dnešnej dobe sa kresebná dokumentácia snaží úplne eliminovať umeleckosť a blíži sa technickej kresbe s cieľom priniesť čo najviac relevantných a presných informácií.

Medzi nevýhody kresebnej dokumentácie patrí fakt, že pri jej tvorbe dochádza ku ovplyvňovaniu a skresleniu reality samotným dokumentátorom, ktorý či už chcene alebo nechcene vnáša do kresby svoju interpretáciu, subjektívny názor a kladie dôraz na rôzne aspekty predmetu. V minulosti bolo považované za výhodu možnosť potlačenia určitých vlastností predmetu alebo naopak ich vyzdvihnutie a zvýraznenie. Avšak v momente, kedy je artefakt nenávratne poškodený, alebo stratený a možnosť ho ďalej študovať je len z dochovanej kresebnej dokumentácie, sú možnosti skutočného odborného štúdia, výskumu a nových interpretácií takmer znemožnené.

Výsledná kresba býva do veľkej miery ovplyvnená schopnosťami a zručnosťou dokumentátora verne zaznamenať realitu. Nie každý zvláda presné technické kreslenie a vďaka tomu aj inak schopný dokumentátor nemusí dokázať terénnu situáciu alebo artefakt zdokumentovať natoľko presne, aby výsledná kresba zodpovedala realite. Takmer vždy tak ide skôr len o schematizovanú vizualizáciu, ktorá je síce pre dokumentáciu predmetu prínosná, no nemala by však hrať v jeho zaznamenaní pre ďalšie generácie hlavnú úlohu. Kresebná dokumentácia však nie je ovplyvňovaná len schopnosťami a prístupom dokumentátora, ale aj jeho vybavením, podmienkami, časovými možnosťami, poveternostnými vplyvmi a ďalším. Ako ďalšie mínus je možné uviesť, že jeden človek aj po niekoľkých pokusoch nikdy nenakreslí jednu terénnu situá-

ciu či artefakt celkom totožne. V tom aspekte sa táto metóda záznamu líši od fotodokumentácie, kedy fotoaparátom môžeme pri dodržaní pravidiel docieľiť niekoľko relatívne totožných a minimálne skreslených fotografií (napr. Frouz – Králík 2015).

Fotodokumentácia, ako druhý porovnávaný záznam reality, sa rozvíjala od 19. stor., kedy bola v roku 1839 objavená fotografia, aj keď prvé experimenty prebehli o niekoľko rokov skôr (Skopec 1956, 10). Od svojich počiatkov, kedy bolo vyhotovenie fotografie pomerne náročné a tento úkon vyžadoval znalosť chémie a podobných hlavne technických disciplín, prekonala fotografia výrazný pokrok, a dnes patrí k neodmysliteľným dokumentačným technikám v mnohých vedných odboroch vrátane archeológie.

Dnešné variabilné a prispôsobiteľné technické prostriedky fotografie umožňujú významne podporiť terminologický popis archeologickej situácie alebo artefaktu prostredníctvom farebného a priestor ponímajúceho obrazového záznamu. Vzhľadom k tomu, že náš spôsob poznávania je výrazne spojený so zrkovými vnemami farebnej a priestorovej povahy, obrazová dokumentácia predstavuje veľmi podstatný prvok v orientácii v dokumentovaných javoch (Frouz – Králík 2015, 5). Oproti kresebnej dokumentácii má tú výhodu, že nám dokáže poskytnúť objektívnejší a presnejší obraz daného artefaktu alebo danej nálezovej situácie. Presné zachytenie objektu však dosiahneme len s dodržaním všetkých pravidiel pri nastavení prístroja, svetla, finálnej úpravy a podobne. Rovnako ako pri iných spôsoboch dokumentácie spojených s rozvojom elektronických médií je nutné zavedenie medziodborového dialógu. Aby bola fotografia prínosná, musí rešpektovať potreby archeológie, ktoré sa dajú bez archeologického vzdelania a znalosti zmyslu technickej a štandardizovanej fotografie len odhadovať. Toto pravidlo platí aj obrátene, kedy pri rešpektovaní

archeológovi často neznámych fotografických pravidiel a postupov, môže fotografia predstavovať omnoho efektívnejší a archeologicky hodnotnejší nástroj, než za aký sa obyčajne považuje (Frouz – Králík 2015, 5).

Mohlo by sa zdať, že na rozdiel od kresebnej dokumentácie nedochádza k žiadnemu skresleniu reality. Povahu fotografie ale tiež ovplyvňuje fotograf, a to svojimi technickými schopnosťami a zručnosťami, svojim osobným prístupom a odborným pohľadom na tému, ktorá je fotograficky spracovaná. Fotografia síce zachytáva povrchovú textúru, farebnosť a je možné vyhotoviť niekoľko pohľadov, no možná nevýhoda fotodokumentácie spočíva v nemožnosti vyhotovenia rezov predmetov, ktoré vytvárajú lepšiu predstavu o tvare predmetu. Mnoho bádateľov v archeológii stále nepovažuje fotografiu za alternatívu ku kresebnej dokumentácii kvôli rôznym formám deformácie obrazu. K týmto deformáciám patrí hlavne použitie objektívov rôznych ohniskových vzdialeností a iné posuny, ktoré vyplývajú z optických a záznamových vlastností fotografickej techniky (Frouz – Králík 2015, 7). Správna fotografia by mala byť doplnená tzv. objektivizačnými informačnými prvkami (Frouz – Králík 2015, 8), ktoré umožňujú lepšie pochopenie fotografického záznamu. Sú to informácie, ktoré sú previazané so snímkom, a ktoré nám ju pomáhajú presnejšie definovať, alebo určiť. Z vyššie popísaných dôvodov tak môžeme konštatovať, že fotografický záznam je pre archeológiu neodmysliteľným spôsobom dokumentácie a aj naďalej bude hrať v archeológii významnú úlohu.

Medzi jednu z najmladších metód využívanú pre záznam archeologických objektov a situácií patrí 3D fotogrametria. Môžeme povedať, že ide o meračskú metódu umožňujúcu modelovanie v 3D priestore s využitím 2D snímok (Kasser – Egels 2002, 1). Virtuálne trojrozmerné modely predstavujú nástroj, ktorým môžeme uchopiť priestorové aj formálne vlastnosti archeologic-

kých prameňov v ich úplnom celku (Švejnoha 2010, 109).

Popularita a využitia trojrozmerných dát spočíva hlavne v jasnej a jednoduchej prezentácii výsledkov z archeologických výskumov širšej verejnosti, ktorá nemá predstavivosť vycvičenú dlhým pôsobením v odbore. Zároveň narastá aj kvalita grafických výstupov pre vnútorné potreby odboru (Malina 2008, 221). Aj napriek možnému širokému využitiu v archeológii, napr. pri dokumentácii malých hnuťelných predmetov, nehnuteľných objektov až po celkovú virtuálnu rekonštrukciu historickej krajiny (napr. Karasik – Smilansky 2008; Gruen 2008), nachádzame v tomto odbore trojrozmerné modely, aj kvôli dôvodom uvedeným ďalej, stále pomerne málo.

Dosiahnutie dostatočne vysokej presnosti a rozlíšenia modelu je vo veľkej miere závislé na metóde merania podkladov v ateliéri alebo v teréne a následnom spracovaní na počítači. Tu sa kvalita výstupu odvíja od typu vybraného softvéru a tým aj vo zvolenom spôsobe post-processingu. V súčasnej dobe existuje stále sa zväčšujúce množstvo softvérov (uvádzame len príklady najpoužívanejších), ktoré môžeme rozlíšiť na dva základne typy:

1. *fungujúce na osobnom počítači* (Agisoft PhotoScan, PhotoModeler, Pix4D), ktoré počítajú modely priamo na počítači užívateľa. Ich veľkou výhodou je možnosť zasahovať do každého kroku modelovania a ovplyvňovať ho podľa potreby a preferencie. Nevýhodou je veľká náročnosť na hardvérovú výbavu počítača, s ktorým sa pracuje,
2. *tie, ktoré fungujú na báze Cloud computingu* (Recap, Agisoft Metashape). Majú však nevýhodu v nemožnosti ovplyvniť tvorbu modelu. Ich potencionálny problém spočíva tiež v autorských právach k 3D modelom, ktoré podľa License Agreementu získavajú spoločnosti prevádzkujúce *Cloud computing* službu.²

Oba uvedené typy programov sa potom ešte delia na platené (Agisoft PhotoScan) a na neplatené (Zephyr).³

Špeciálnym typom programov sú tie, ktoré slúžia predovšetkým k editácii zhotovených modelov. Tie sa opäť delia na komerčné (3D Studio MAX, Rhinoceros 3D) a na voľne stiahnuteľné (MeshLab, Blender).

Medzi klady trojrozmernej fotogrametrie patrí virtuálne meranie objektu, kedy môžeme vytvoriť rezy, zmerať objem, plochu a všetky proporcie bez fyzického dotyku a hlavne akejkoľvek deštrukcie skúmaného predmetu. Do využitia trojrozmerných modelov spadá tiež prezentácia vývoja objektov, kde pracujeme s viacerými možnosťami interpretácie jedného objektu a ktoré sú vizuálne atraktívne. Rovnako tak je častá potreba prekonať fragmentárnosť a objekt zobrazíť v úplnosti.⁴ Veľká výhoda tejto metódy je jej relatívna časová nenáročnosť v teréne, kde sa namiesto zdĺhavého kreslenia terénnej situácie alebo objektov vyhotovia len fotografie pre následný 3D model.

Medzi potencionálne nevýhody môže patriť zachytenie povrchu alebo hrúbky daného predmetu či situácie. Je preto nutné prispôbiť postup pri vyhotovovaní snímok konkrétnym potrebám.

Je tiež potrebné zmieniť, že pri vyhotovovaní trojrozmerných modelov je dôležitý kvalitný hardvér (notebook aj fotoaparát) a tiež softvér, ktorý môže byť finančne náročnejší, pokiaľ nejde o frivér. Oproti klasickým 3D skenerom je táto čiastka ale zanedbateľná a únosná.

Ako možné negatívum, sa podľa nevýhody spojené s povrchom a hrúbkou predmetu.

Posledná metóda, ktorá bola porovnávaná je 3D skenovanie. 3D skenery sú zariadenia, ktoré dokážu preniesť priestorovú informáciu skutočného predmetu do virtuálneho trojrozmerného modelu. Fungujú na princípe zhromažďovania údajov o tvare a vzhľade snímaného predmetu pomocou rôznych technológií (napr. optické

skenovanie, CT skenovanie alebo laserové 3D skenovanie).

Technológia 3D skenovania bola pôvodne vyvinutá primárne pre priemyselné využitie a v archeológii je síce relatívne populárna, no pre svoju náročnosť na financie a na obsluhu nie je masovo rozšírená. Ide o digitálnu technológiu umožňujúcu vytvoriť priestorový model trojrozmerného objektu. Existujú rôzne typy 3D skenerov, ktoré fungujú na rôznych princípoch snímacej technológie. Ďalej je možné ich deliť na bezkontaktné a dotykové. Ako už z názvu vyplýva, bezkontaktné 3D skenery budú informácie o objekte získavať bez kontaktu s predmetom a teda optickým spôsobom. Optické metódy môžeme ďalej rozdeliť podľa toho, či na objekt niečo vysielajú alebo nie (*Navrátil 2016*, 31). Tieto metódy sa ďalej delia na aktívne a pasívne, pričom aktívne sa opäť delia podľa toho, aká fyzikálna vlastnosť je využitá pre výpočet modelu. Je to napríklad metóda triangulácie, ktorá dokáže vypočítať priestorový bod na základe známeho uhlu medzi projektorom a snímačom, známej vzdialenosti projektoru od snímača a známej polohy meraného bodu na snímači (*Navrátil 2016*, 31). Jednou z najpoužívanejších metód je *Time of Flight*, skrátene *ToF*, a ako už názov vypovedá je založená na meraní času odrazeného vyslaného lúča od objektu a jeho vrátenie späť na snímač. Používa sa tiež laserové skenovanie, avšak v súčasnej dobe sú tieto 3D skenery pri dokumentácii kultúrneho dedičstva na ústupe z dôvodu vysokej ceny a nedostatkov, ktoré sú v porovnaní s inými 3D dokumentačnými metódami príliš obmedzujúce (*Nosek 2014*, 6).

Vzniknuté 3D modely sú nepochybne veľkým pokrokom v archeologickom spôsobe dokumentácie a prezentácie artefaktov. Sú vhodné k využitiu v online múzejných katalógoch, ako učebné pomôcky a v neposlednom rade sú obrovským prínosom pri modernizácii a popularizácii nielen múzeí. Popularita takéhoto

druhu dokumentácie rastie hlavne pre svoju nedeštruktívnu povahu a relatívne ľahký prístup k zdigitalizovanému artefaktu. Užívateľ je schopný s priestorovým modelom manipulovať, priblížiť si rôzne detaily a prehliadnuť si artefakt zo všetkých strán bez nutnosti fyzického prístupu ku nemu. Rovnako tak je možné získať priestorové dáta o trojrozmerných modeloch a podrobiť ich ďalším analýzám.

Veľkou výhodou 3D modelov je možnosť presnej metrickej analýzy, rezov a pri nádobách je možnosť získať aj vnútorný objem. Momentálne sa experimentuje s možnosťou generovania automatickej kresby z 3D modelov (napr. *Wilczek a kol. doposiaľ nepublikované; Porter – Roussel – Soressi 2016*).

Limity 3D skenovania v archeológii zatiaľ spočívajú hlavne v textúre. Niektoré typy 3D skenerov zachytávajú presný geometrický tvar, avšak povrchová textúra je pre nich stále pomerne ťažko zaznamenateľná. Najvýraznejšie sa tento nedostatok prejavuje pri tmavých a lesklých predmetoch. Ako problém pri niektorých 3D skeneroch sa tiež javí zachytenie tvaru pri malých alebo tenkých tvaroch, pretože sa na nich svetelné vzory, či už laserové, alebo binárnej štruktúry, rozptyľujú alebo sú pohlcované.⁵

3. Dokumentované artefakty

V článku je porovnanie dokumentačných metód skúmané na príklade siedmich stredovekých šachových figúrok, pričom všetky boli zapožičané zo zbierok Múzea mesta Brna. Z celkového počtu figúrok spracovaných v našej práci je šesť vyrobených z dreva a jedna z kosti. Drevené figúrky boli objavené behom výskumu benediktínskeho prepoštvstva „Na Luhu“ v roku 1973, kedy bola bližšie preskúmaná kamenná studňa v Brne – Komárove (*Kochan – Sedláčková – Vachůt 2015*). Studňa bola po strate svojej pôvodnej funkcie využívaná ako odpadová jama

a s kombináciou zavodneného prostredia bolo možné dochovanie týchto unikátnych drevených nálezov.

Kostená figúrka objavená samostatne, pochádza rovnako ako drevené figúrky z Brna. Bola objavená pri záchrannom archeologickom výskume, ktorý predchádzal výstavbe parkovacieho domu na Panenskej ulici, ktorá ústi do hornej časti Dominikánskeho námestia. Bol uskutočnený pod vedením Mgr. Petra Holuba a neskôr pod vedením Mgr. Pavla Staňka zo spoločnosti Archaia z.ú. Torzo kostenej figúrky bolo na základe miesta nálezu predbežne datované do prvej polovice 13. storočia.⁶

Dokumentácia materiálu a jeho degradácia

Materiál hrá veľmi dôležitú úlohu pri výbere tej ktorej dokumentačnej techniky, a preto je dôležité aby o ňom bolo v krátkosti pojednané. Čo sa týka dreva, to je obecné v archeologických nálezoch zastúpené len vo veľmi nízkej miere. Ak sa drevo podarí dochovať, je to dôsledok vhodnej prirodzenej konzervácie, ktorá však má na materiál výrazný vplyv a mení jeho vnútornú štruktúru (*Zelinger – Šimunková – Kotlík 1982, 137*). Zníženie materiálovej pevnosti a pružnosti sa prejavuje väčším drevom, ktoré je následne pri neopatrnnej manipulácii veľmi jednoduché poškodiť. V prípade skúmaných figúrok sa deštrukcia materiálu spôsobená nasýtením vodou, prejavila stratou pórovitosti a mäkkosťou materiálu. Oproti pôvodnému suchému drevu sú figúrky pravdepodobne zmenšené, čo je zapríčinené stratou celulózy, ktorá podlieha účinkom mikroorganizmov, a to vedie práve ku zmenšeniu povrchu a k zväčšovaniu dutín v dreve (*Págo 1985, 55*). Aby sa predišlo praskaniu dreva a ďalšej degradácii, je nutná jeho konzervácia. V archeológii sa najčastejšie využíva metóda

Inv. č.	Materiál	Hmotnosť (g)	Výška (cm)	Priemer hlavičky (cm)	Priemer podstavy (cm)
304131	Drevo	44	5,4	3,5	3,8
304432	Drevo	17	5,9	3	3
304133	Drevo	29	4,5	3,4	3,5
304134	Drevo	15	4,8	2,4	3,2
304135	Drevo	26	5,5	2,9	3
304136	Drevo	18	5	2,8	2,2
442309	Kosť	16	4,1	1,8	2,1

Tab. 1. Tabuľka s inventárnymi číslami, materiálom, hmotnosťou a rozmermi figúrok (Kosmelová 2018, 22).

Tab. 1. Table with inventory numbers, material, weight and dimensions of chess pieces (Kosmelová 2018, 22).

bez predchádzajúcej dehydratácie, ktorá spočíva v impregnácii vodou nasýteného dreva vo vodnom roztoku polyetylén glykole, skrátene v PEG-u, ktorá bola využitá aj pri konzervácii týchto šiestich drevených figúrok.

Od vyzdvihnutia drevených figúrok ubehlo 46 rokov, pričom prvého spracovania sa dočkali v roku 2014, kedy súbor na základe analýzy autora ani po 40. rokoch nevykazoval stopy závažnej degradácie (Kochan 2014, 56). V súčasnej dobe sú však figúrky veľmi krehké, objavujú sa na nich stopy degradácie povrchu a drevo mäkne. Figúrky sú náchylné k praskaniu a drveniu ich častí. Je potrebná extrémne opatrná manipulácia.

Kosť predstavuje jednu z najpevnejších typov biologického materiálu. Konzervácia kostených predmetov sa odvíja od stavu a tiež od charakteru ich využitia. Iné postupy sa využívajú pre konzerváciu materiálu, ktorý bude v budúcnosti podrobený antropologickým a archeologickým analýzám a iné postupy sa volia pre predmety, ktoré budú slúžiť pre múzea ako reprezentačný materiál. Kostrové pozostatky pochádzajúce z archeologických výskumov sú vyzdvihované v rôznom stave zachovania. V niektorých prípadoch sa využíva metóda in situ zaliatím do sadry. Bežne sa nálezy ošetrujú len rýchlym umytím vo vode a dôkladným usušením na

vzduchu. V niektorých prípadoch sa následne pristúpi k ošetrovaniu predmetu prostriedkami na báze organických polymérov, ktoré spevnia štruktúru kosti, sú bezfarebné a stabilné (Johnson 1994, 221). Je nutné brať v úvahu, že takýto charakter konzervácie je nenávratný a mohol by skresliť chemické analýzy. Pre predmety, ktoré budú využité k ďalším analýzám, sa využíva očistenie čistou vodou, alebo aplikácia len povrchového náteru (Smith 2003). Analyzovaná figúrka však žiadnu konzerváciu nepodstúpila a na základe informácie od pracovníkov Múzea mesta Brna, bola len umytá vodou, bez ďalších zásahov.

Bližšie informácie o inventárnom čísle, materiáli, rozmeroch a hmotnosti figúrok sú uvedené v Tab.1.⁷

4. Metódy a ich analýza

Nasledujúca kapitola obsahuje detailne popísaný postup, metódy, čas potrebný k vyhotoveniu, spracovanie a výpočtovú náročnosť. Cieľom je na základe vlastnej skúsenosti zhodnotiť finančnú a časovú náročnosť jednotlivých postupov dokumentácie.



Obr. 1. Pomôcky, ktoré boli využité pri kresbenej dokumentácii. Foto: N. Kosmelová.

Fig. 1. Drawing utensils. Photo: N. Kosmelová.

Kreslenie

Táto metóda je ako jediná finančne nenáročná na výbavu. Pri kresbe boli využité základné kresliace pomôcky ako: bežný kancelársky papier, pauzovací papier, mikroceruzku s tuhou 0,5 mm, stredne tvrdú bielu gumu, 2 technické perá značky Faber-Castell a 4 dokumentačné fixky (svetlostále) značky Centropen s hrúbkou 0,1 mm, 0,3 mm, 0,5 mm a 0,7 mm. K presnej technickej kresbe boli ďalej potrebné: šubléra, pravítka, profilovací hrebeň a dentálny vosk.

Pri vyhotovení kresieb sa postupovalo podľa schémy navrhutej po konzultácii s Mgr. Soňou Plchovou.⁸ Každá figúrka bola najskôr načrtnutá a detailne zmeraná. Následne boli na papier prenesené pomocné čiary pre dodržanie presných rozmerov figúrok. Na zakreslenie profilov bol použitý profilovací hrebeň a dentálny vosk. Výsledné kresby boli prekreslené dokumentačnými perami na pauzovací papier a následne aj zdigitalizované. Pri skenovaní bola ku predmetom priložená mierka. Dôležité bolo manuálne nastaviť parametre

skenovania v ovládači a v rozšírených nastaveniach. Skenovala sa v čiernobiely režime, aby sme predišli šumu a sivým odtieňom. Dosiahnutie čo najostrejších kresieb bolo docielené výstupným rozlíšením 600 DPI a nastavením výstupnej veľkosti na 100%. Kvôli finálnej úprave v grafickom editori a lepšej manipulácii boli naskenované súbory uložené vo formáte TIF. Ako grafický editor bol zvolený Adobe Photoshop CS6 (spoločnosť Adobe Systems), kde boli zarovnané figúrky podľa pomocných čiar a vymazané drobné nečistoty vzniknuté pri skenovaní. Editácia pozostávala tiež z logického usporiadania figúrok, upravenia mierky a pridania popisných čísel.

Náročnosť na spracovanie je samozrejme individuálna. Autorke štúdie, ako relatívne neskúsenej dokumentátorky, trval celý proces kreslenia (náčrt, pomeranie všetkých rozmerov, kresba na papier, prekreslenie kresby na pauzovací papier) 7 figúrok aj s konzultáciami približne 15 hodín. Editácia v grafickom editore zabrala približne ďalšie 3 hodiny.



Obr. 2. Potrebné vybavenie využívané na fotodokumentáciu. Digitálna zrkadlovka značky Canon Eos 500D, makrokružok Canon Extension Tube EF 12 II, objektív Canon EF-S 18–200 mm f/3.5–5.6 IS, fotostolík, statív a svetla (Kosmelová 2018, 43).

Fig. 2. Photographic documentation equipment used. Digital camera Canon Eos 500D, macro ring Canon Extension Tube EF 12 II, lens Canon EF-S 18–200 mm f/3.5–5.6 IS, photo table, tripod and studio lights (Kosmelová 2018, 43).

Fotodokumentácia

Pri fotodokumentácii sa obvyčajne objavuje predstava, že takýto spôsob dokumentovania spočíva v namierení objektívu na snímaný predmet a v stlačení spúšte. Pre získanie kvalitne vyhotoveného záznamu je však potrebné mať hneď na začiatku ujasnený koncept a účel fotografie. Na tomto základe si dokumentátor pripraví potrebné vybavenie, zvolí prostredie a nachystá fotený objekt. V našom prípade sa jednalo o vyhotovenie fotografií šachových figúrok, ktoré mali byť použité na porovnanie so staršími fotografiami a rovnako tak mali slúžiť pre demonštráciu a následný popis dokumentácie.

Všetky fotografie figúrok boli vyhotovené digitálnou zrkadlovkou, značky Canon EOS 500D v 3D ateliéri na ÚAM. Vzhľadom k veľkosti figúrok, kedy najmenšia merala približne 4 cm a najväčšia figúrka okolo 6 cm, bol použitý objektív Canon EF-S 18–200 mm f/3.5–5.6 IS, ktorý má 11x rozsiahly zoom. Pri fotografovaní

bolo použité vybavenie, ktoré sa nachádza v ateliéri; plastová podložka pre fotografovanie, tzv. fotostolík s hladkým pozadím a bez hrany, statív a podložka na ktorú boli figúrky kvôli ľahšej manipulácii umiestnené. Eliminácia tieňov bola dosiahnutá niekoľkými svetelnými zdrojmi. Figúrky boli fotografované na neutrálnom bielom pozadí. Bolo vyhotovených viac pohľadov a objekty boli fotografované s mierkou.

Pre sedem figúrok bolo vyhotovených celkom 71 snímok. Na prvých 26 snímkach bol použitý makro kružok Canon Extension Tube EF 12 II, pomocou ktorého bolo dosiahnuté relatívne vysokého stupňa špecifických detailov figúrok.⁹ Aj napriek použitiu dvoch svetelných zdrojov, miera ostrosti nebola zvýšená, čo sa prejavilo ostrým popredím a postupným rozostrením vzdialenejších častí snímaného objektu. Snaha o nárast miery ostrosti bola docielená fotografovaním zo statívu, ktorý bol pevne dotiahnutý a tiež s využitím o pár sekúnd oneskorenej spúšte kvôli eliminácii otrasov. Na fotoaparáte bola

Typ fotoaparátu	Digitálna jednooká zrkadlovka (DSLR)
Rozmery	128,8 x 97,5 x 61,9 mm
Typ senzoru	CMOS APS-C 22,3 x 14,9 mm
Maximálne rozlíšenie	15,1 efektívnych Mpx, 4752 x 3168
Citlivosť	ISO 100 až 12800
Výstupný formát	RAW, JPEG
Celkový počet megapixelov	15.5 Mpx
Čas uzávierky	Min. 1 / 4000 s - max. 30 s

Tab. 2. Technické parametre digitálnej zrkadlovky (Kosmelová 2018, 44).

Tab. 2. Technical parameters of the digital reflex camera used (Kosmelová 2018, 44).

Veľkosť obrázku	APS-C
35 mm film ekvivalentnej ohniskovej vzdialenosti	29 - 320
Zorný uhol (horzntl., vertl., diagnl.)	64°30' - 6°30', 45°30' - 4°20', 74°20' - 7°50'
Konštrukcia objektívu (prvky/skupiny)	16.XII
Počet čepielok membrány	6
Minimálna clona	22 - 38 (36)
Minimálna zaostrovacia vzdialenosť (m)	0.45
Maximálne priblíženie (x)	0,24 (pri 200 mm)
Stabilizátor obrazu	4-krokový
Aktivátor AF	Mikro Motor
Max. priemer x dĺžka (mm)	78,6 x 102
Hmotnosť (g)	595
Priblíženie - medzikružok EF12 II	0,39 - 0,06
Clona objektívu	EW-78D

Tab. 3. Zobrazenie technických parametrov objektívu (Kosmelová 2018, 44–45).

Tab. 3. Technical parameters of the lens used (Kosmelová 2018, 44–45).

vypnutá stabilizácia obrazu, ktorá sa používa hlavne pri fotografovaní z ruky, no pri fotografovaní zo statívu a s dlhším časom má opačný efekt. Ďalej sa ostrosť objektu dá docieľiť nastavením dlhšieho času a pri pokročilejších digitálnych zrkadlovkách aj predsklopením zrkadla.

Ďalším problémom, ktorý vznikol pri fotografovaní, bolo objavenie chromatickej aberácie, ktorá je pravdepodobne zapríčinená nedostačujúcimi povrchovými úpravami skiel v objektíve. Moderné zoomové objektívy obsa-

hujú veľké množstvo šošoviek a vďaka tomu je chromatická chyba obzvlášť na kraji snímky výrazným problémom, pretože šošovky lámu svetlo každej farby odlišne. Táto chyba sa prejavuje farebným lemovaním kontrastných hrán (Kráľ 2010, 85). Problém bol však jednoducho odstránený pomocou softvéru Adobe Photoshop Lightroom (spoločnosť Adobe Systems) v sekcii Chromatic Aberration, kde boli menené hodnoty u jednotlivých farieb pokiaľ nebolo dosiahnuté čo najvyššie potlačenie aberácie.

Fotoaparát

Výrobca fotoaparátu	Canon
Model fotoaparátu	Canon EOS 500D
Clonové číslo	F/20
Čas expozície	1/2 s
Rýchlosť ISO	ISO-100
Odchýlka expozície	0 krok
Ohnisková vzdialenosť	110 mm
Maximálna clona	
Režim merania	So zdvôraznením stredu
Vzdialenosť objektu	
Režim blesku	Bez blesku, vynútené
Energia blesku	
35 mm ohnisková vzdialenosť	

Obr. 3. Nastavenie hodnôt fotoaparátu (Kosmelová 2018, 46).

Fig. 3. Camera settings (Kosmelová 2018, 46).

Nasledujúcich 45 snímok bolo zhotovených (viď obrázok 4) bez makrokrúžku s nastavením nasledujúcich hodnôt (viď obrázok 3).

Fotografie boli pracovne roztriedené do dvoch kategórií; na doplnkové a hlavné. Do prvej spadali fotografie, ktoré boli vyhotovené s pomocou makro krúžku. Tieto fotografie poskytujú zaujímavé informácie a detaily objektov, nevyjadrujú však ich podstatné črty. Hlavné snímky naopak predstavujú celkovú charakteristiku artefaktu z hľadiska požadovaného účelu.

Následný postprocessing bol vykonaný v dvoch grafických programoch; Adobe Photoshop CS6 a Adobe Photoshop Lightroom, kedy boli fotografie v konečnom dôsledku rozmiestnené na A4, upravené a popísané.¹⁰ Proces vyhotovenia všetkých fotografií v ateliéri



Obr. 4. Proces vzniku fotografií v 3D ateliéri. Foto: N. Kosmelová.

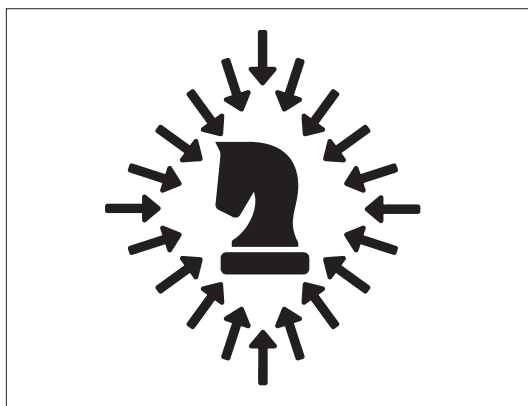
Fig. 4. Photo acquisition process. Photo: N. Kosmelová.

trval hodinu. Následná editácia (zjednotenie mierky a pozadia, pripojenie identifikačných čísel a tvorba výslednej A4) zabrala hodinu práce, vo výsledku tak práca celej fotodokumentácie zabrala 2 hodiny.

3D Fotogrametria

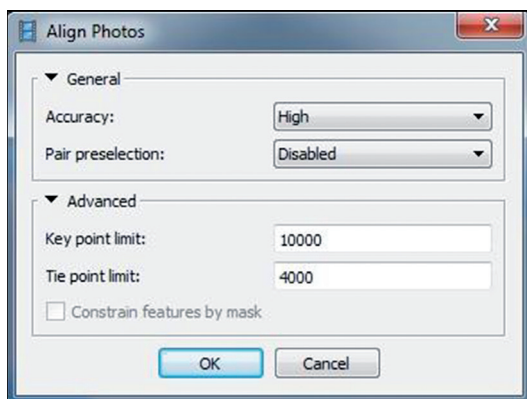
Vybavenie, ktoré je potrebné k vyhotoveniu trojrozmerného modelu pomocou 3D fotogrametrie je totožné s vybavením potrebným k fotodokumentácii. Na nafotenie dokumentovaných artefaktov bolo opäť využité vybavenie 3D ateliéru ÚAM, fotoaparát značky Canon EOS 500D a notebook Lenovo IdeaPad B580.

Postup bol nasledovný; ako prvé bolo potrebné získať fotografie, ktoré boli snímané zo



Obr. 5. Zvolený princíp rozvrhnutia jednotlivých pozícií okolo dokumentovaných figúrok (Kosmelová 2018, 48).

Fig. 5. Arrangement of individual stands around the documented chess pieces. (Kosmelová 2018, 48).



Obr. 6. Nastavenie, ktoré bolo použité k zarovnaní (Kosmelová 2018, 49).

Fig. 6. Settings used for alignment (Kosmelová 2018, 49).

statívu s využitím časovača kvôli zamedzeniu drobným otrasom. Kvôli ľahšej manipulácii bolo zvolené umiestnenie artefaktov na rotujúcu podložku. Pre vytvorenie trojrozmerných modelov šachových figúrok bola zvolená metóda konvergentného snímkovania, ktoré spadá do viacsnímkovovej fotogrametrickej metódy, založenej na princípe čo najväčšieho prekryvu fotografií. Ideálne prekrytie fotografií je 60% a viac (Plzák 2016, 101). Pre docielenie čo najpresnejšieho modelu bolo vyhotovených 60 snímok; 20 snímok z čelného pohľadu, 20 snímok spodnej časti a 20 snímok hlavičky figúrky, t.j. figúrky boli rotované na podložke po 18° (viď obrázok 5). Ak bolo potrebné pri vyhotovovaní fotografií spodnej a vrchnej časti, niektoré figúrky boli kvôli stabilizácii uložené do polystyrénovej formy.

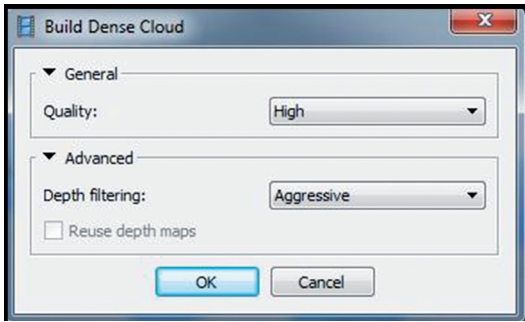
Aby bola zaistená čo najvyššia kvalita výsledných modelov, vzdialenosť fotoaparátu od figúrky sa menila len v rade milimetrov. Clona, čas expozície a ISO ostávali vždy rovnaké. Nastavenie clony bolo 16, čas expozície 1/6 s. a ISO malo hodnotu 100. Niektoré softvéry vyžadujú pevnú ohniskovú vzdialenosť, na čo treba brať ohľad.

Ako výpočtový softvér bol využitý program Agisoft PhotoScan (spoločnosti Agisoft), ktorý model počíta priamo na počítači samotného užívateľa (parametre notebooku viď tabuľka č. 4).

Pred využitím programu Agisoft Photoscan, ale aj iných softvérov je dobré si fotoaparát s objektívom skalibrovať. V prípade Agisoftu bola kalibrácia vykonaná pomocou Agisoft Lens. Pri tomto procese je nafotená čierno biela šachovnica na monitore z viacerých smerov a po spracovaní programom získame kalibračné hodnoty objektívu, ktoré následne využívame v projekte Photoscanu.

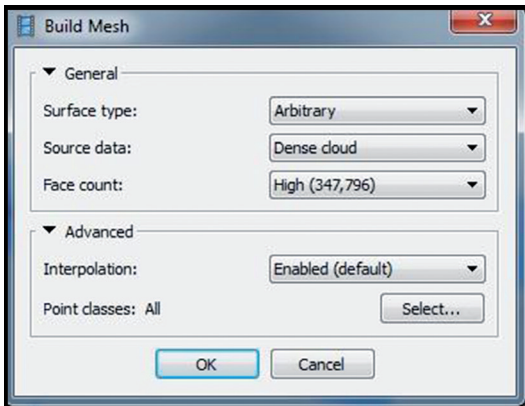
Prvým krokom pri samotnom modelovaní je nahranie fotografií do programu a ich vymaskovanie. Veľkou výhodou pri popisovanom programe je to, že nový nástroj, ktorý uľahčuje vymaskovanie dokáže previesť odmaskovanie z jednej fotografie a následne podľa nej odmaskuje všetky ostatné snímky.

Druhým krokom je zarovnanie a vypočítanie vonkajšej a vnútornej orientácie snímky, ktoré docielime funkciou *Align* (viď obrázok 6). Špeciálny algoritmus, ktorý funguje na báze triangulácie nájde na jednotlivých fotografiách spoločné body a pomocou nich dokáže spočítať



Obr. 7. Nastavenie použité pri výpočte mračna bodov, tzv. Dense cloud (Kosmelová 2018, 49).

Fig. 7. Settings used for dense cloud reconstruction (Kosmelová 2018, 49).



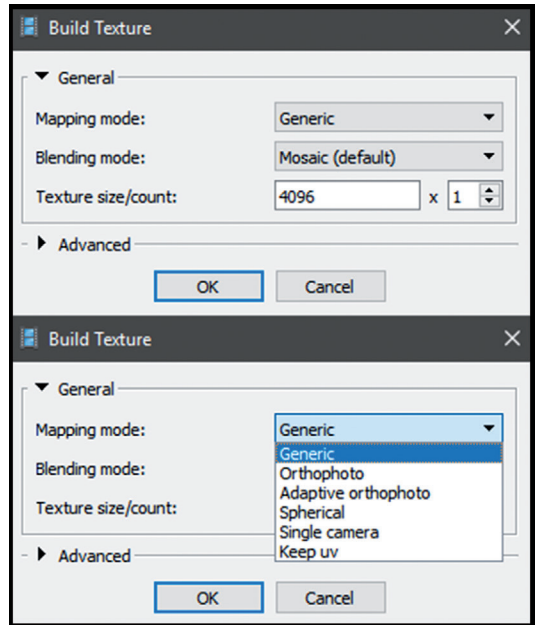
Obr. 8. Nastavenie použité pri výpočte polygonovej siete, tzv. Mesh (Kosmelová 2018, 49).

Fig. 8. Settings used for mesh reconstruction (Kosmelová 2018, 49).

pozíciu jednotlivých pohľadov na dokumentované figúrky. Ak ide o ručné určenie bodov, je vhodné dávať okolo dokumentovaného objektu dobre viditeľné značky.

Na základe triangulácie je vypočítaný tzv. *Dense cloud* (viď obrázok 7), alebo mračno bodov, kedy má každý bod v priestore svoje x, y a z súradnice. Následne je z mračna bodov vypočítaná polygonálna sieť (viď obrázok 8), kde sme zvolili nastavenie arbitrary, ktorá vypočíta ľubovoľné mračno bodov.

Posledným krokom je výpočet textúry modelu. Ide o najvrchnejšiu vrstvu pokrývajúcu celý



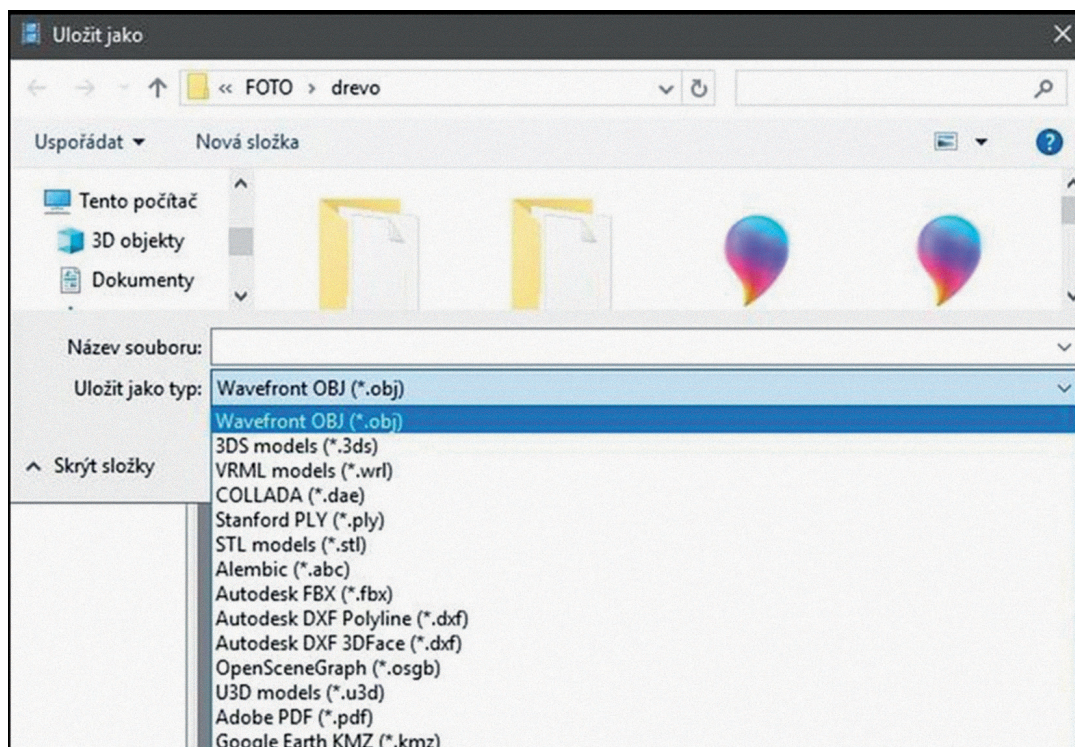
Obr. 9. Znáznornenie nastavenia použitého pre výpočet textúry a jej možnosti (Kosmelová 2018, 50).

Fig. 9. Settings used for calculation of texture and its other possibilities (Kosmelová 2018, 50).

povrch digitálnej kópie artefaktu. Textúra predstavuje jednu z najdôležitejších aspektov, ktoré nám trojrozmerný model môže priniesť. Je tvorená na základe fotografií, ktoré sú aplikované na model pomocou definovaných bodov (Nosek 2014, 157). V tomto kroku je tiež možné počítať ortofoto plán, pohľad z osy z a pod. (viď obrázok 9).

Výsledné modely sa dajú exportovať do rôznych formátov, pričom pre potreby práce sme zvolili formáty .obj a .ply, kvôli ich širšiemu využitiu a podpore v rôznych programoch, ktoré sme následne využívali k editácii alebo domodelovaniu.

Problémom, ktorý sa objavil pri vytváraní niektorých trojrozmerných modelov spočíval v tom, že niekedy sa objavil okolo modelov biely prstenec, ktorý bolo možné odstrániť pomocou nástroja *Blending mod*, ktorý v prostredí digitálneho editovania grafiky predstavuje spôsob,



Obr. 10. Ukážka rôznych formátov, v ktorých je možné model uložiť (Kosmelová 2018, 50).

Fig. 10. Various formats, in which the model can be saved (Kosmelová 2018, 50).

akým sú dve vrstvy zmiešané. Pri jeho nastavení na minimálnu intenzitu vznikla ostrejšia textúra a biely prstenec bol eliminovaný. Keďže tento problém sa zistil hlavne pri figúrkach, ktoré mali menšiu stabilitu a pre ich nafotenie musela byť použitá polystyrénová podložka, pre zmiernenie spomínaného prstenca sa nafotila nová séria fotiek, kedy boli figúrky na podložku umiestnené vodorovne.

Proces nafotenia všetkých fotografií pre modeláciu trojrozmerného modelu zabral celkovo 3 hodiny čistého času. Samotné modelovanie vo veľmi veľkej miere závisí na výpočtovej sile používaného hardvéru. Pre porovnanie uvádzam čas, za ktorý bol model vypočítaný na notebooku Lenovo IdeaPad B580 v kontraste s časom, keď bol počítaný na notebooku HP Elite Book 8770w (viď parametre v tabuľke č. 4.), ktorý bol zvolený pre svoje vhodnejšie technické špecifi-

kácie. Celkový čas výpočtu figúrok od nahrania fotografie po vytvorenie textúry predstavoval v prípade notebooku, značky Lenovo IdeaPad B580 5 hodín, pričom na notebooku HP Elite Book 8770 w len 40 minút. Časy sú uvádzané pre výpočet modelu jednej figúrky, ktorá si vyžiadala priemerný počet snímok. Časy sa samozrejme môžu líšiť v závislosti na nutnosti zapojenia viacej či menej fotografií do procesu – tak, aby ich hustota pokrývala viac či menej komplexný tvar dokumentovaného artefaktu.

3D Skenovanie

V rámci testovania a porovnávania rôznych dokumentačných metód bolo vyskúšaných aj niekoľko 3D skenerov. Jedným z nich bol aj laserový 3D skener NextEngine, ktorý bol zvolený pre

Notebook	HP EliteBook 8770w	Lenovo IdeaPad B580	Lenovo IdeaPad Z560
Procesor	2,7 GHz	2,2 GHz	2,4 GHz
RAM	16 GB	4 GB	4 GB
Grafická karta	AMD Radeon HD 7700M 1024 MB	Intel HD Graphics 3000	Nvidia GeForce 310M

Tab. 4. Porovnanie parametrov jednotlivých notebookov, použitých pri výpočte (Kosmelová 2018, 51).

Tab. 4. Comparison of parameters of individual notebooks used for calculations (Kosmelová 2018, 51).



Obr. 11. Pre účely 3D skenovania bol použitý 3D skener NextEngine s rotačnou podložkou a HP ProBook 4740s (Kosmelová 2018, 52).

Fig. 11. For 3D scanning was used 3D scanner NextEngine with rotary table and HP ProBook 4740s (Kosmelová 2018, 52).

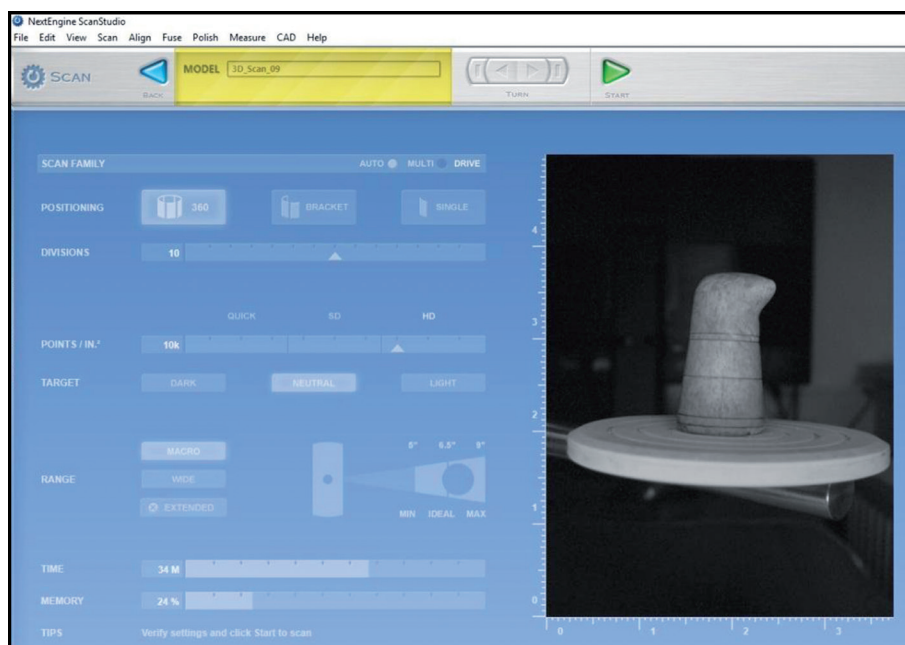
vyhotovenie 3D modelov vďaka svojmu intuitívnemu a jednoduchému ovládaniu, doplnenému relatívnou kvalitou záznamu a dostupnosťou. Medzi jeho hlavné výhody patrí zaznamenávanie povrchových farebných vlastností objektov, ktoré bolo jedným z hlavných kritérií výberu.

Súčasťou prístroja je otočný stolček, ktorý podľa potreby 3D skenovania sám objekt rotuje. Samotný 3D skener má v sebe zabudovanú kameru, ktorá zaznamenáva pohyb laserového lúča po povrchu daného objektu. 3D Skener je ovládaný pomocou jednoduchého programu NextEngine ScanStudio, ktorý po otvorení v notebooku automaticky aktivuje 3D skener.

Program je po užívateľskej stránke veľmi príjemný. Po zadaní príkazu skenovať sa objaví

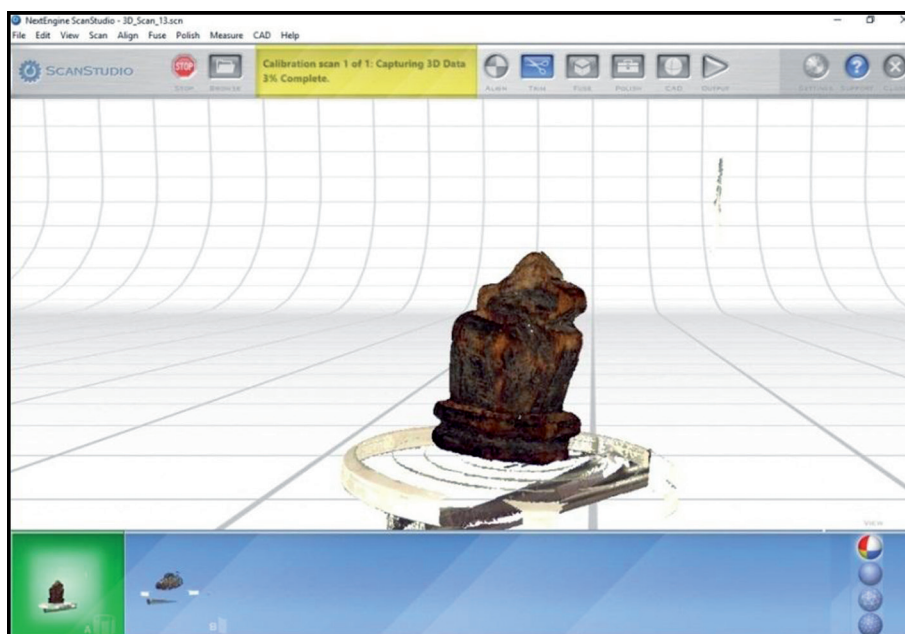
tabuľka s nastaveniami a s náhľadom na daný objekt, ktorý sa mení podľa nastavenia v tabuľke (viď obrázok 12). Aby bol obraz čo najostrejší 3D skenovaný predmet je žiaduce umiestniť na stred a skontrolovať jeho vzdialenosť od 3D skenera.

V prvej kolónke *Positioning* je nastavenie systému snímania. Na výber je snímanie 360°, ktoré sníma objekt po celom jeho obvode. Túto možnosť sme používali najčastejšie. Pri 3D skenovaní niektorých figúrok sa stalo, že strany boli občas zle zachytené, alebo program prestal pracovať. V týchto prípadoch bola vybraná druhá možnosť, kedy bol doskenovaný len určitý pohľad. Posledná možnosť predstavuje naskenovanie jednotlivého pohľadu, ktorú



Obr. 12. Uživatelské rozhranie programu NextEngine so vstupnými možnosťami 3D skenovania (Kosmelová 2018, 53).

Fig. 12. User interface of the NextEngine software with used values (Kosmelová 2018, 53).



Obr. 13. Proces skenovania. Figúrka zobrazená pred čistením od pozadia a drobných nečistôt (Kosmelová 2018, 54).

Fig. 13. Scanning process. 3D model is viewed with undesirable surrounding noise (Kosmelová 2018, 54).

sme ale nevyužívali. *Divisions* nám udáva koľko skenov má byť vyhotovených. Všeobecne platí, čím viac, tým je model viac detailnejší, no opäť s vyšším počtom rastie aj náročnosť celého procesu. *Points* predstavuje počet použitých bodov na palec. Ideálne by bolo, ak by ich bolo 40 000, ale medzi nastavením *Standard* a *Hard* je dosť skok čo sa týka náročnosti na počítač. Po testovaní rôzneho nastavenia boli všetky figúrky naskenované v režime najslabšieho HD, ktorý bol úplne dostačujúci.

Target bol pri prvom 3D skenovaní nastavený na *Dark*, kvôli povrchu figúrok, no 3D skenovanie muselo byť pozastavené kvôli príliš tmavej textúre a režim bol zmenený na *Neutral*.

Range je nastavenie veľkosti 3D skenovaného objektu. Pre naše účely bolo použité nastavenie makro, kedy boli objekty najviac ostré.

Vedľa trojrozmerného skenovania povrchu pomocou niekoľkých laserových lúčov zaznamenáva zabudovaná kamera aj povrchové informácie. Informácie sú zaznamenané pomocou farebnej fotografie, z ktorej je po dokončení 3D skenovania vytvorená textúra objektov. Po vyhotovení fotografií začína samotný 3D sken. Kamery zabudované v 3D skeneri zaznamenávajú deformáciu povrchu, ktorá je vo výsledku spojená do trojrozmernej súradnicovej siete. Pri zaznamenávaní figúrok boli vyhotovené vždy dva skeny; jeden kedy bola os figúrky horizontálne a druhý, kedy bola os figúrky vertikálne. Oba pohľady trvalo naskenovať približne 40 minút.

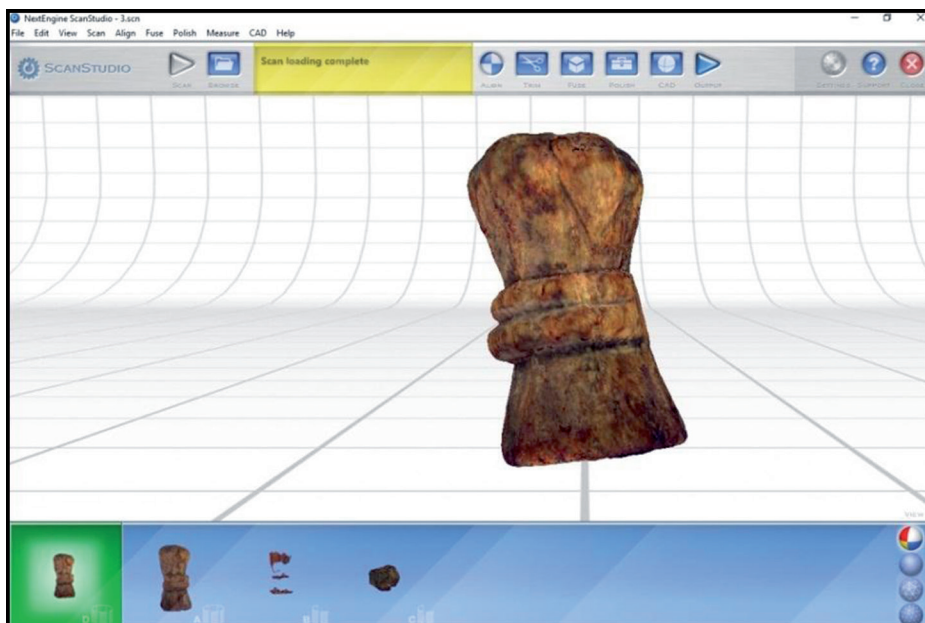
V momente, kedy boli doskenované oba pohľady, bolo treba pripraviť figúrky k zlúčeniu. Táto príprava pozostáva z orezania podložky a možných nečistôt, ktoré pri 3D skenovaní vznikli. Použitý bol jednoduchý a rýchly polygonálny nástroj a jeho pomocou boli odstránené všetky nečistoty okolo modelu a podložka, na ktorej boli figúrky skenované. Prípadne na drobné a malé nečistoty bol používaný nástroj kolečko, ktorý funguje podobne ako guma v kreslení. Program NextEngine ScanStudio

(spoločnosti NextEngine) bohužiaľ neumožňuje odmaskovanie jedného objektu, ktorý by bol následne aplikovaný na ostatné.

Po orezaní, začistení a pripravení skenov na ďalšiu manipuláciu nasledoval proces spojenia dvoch vyhotovených skenov. V základnej verzii programu nedokážu byť 3D skeny, ktoré nie sú v jednej polohe, voči sebe zarovnané. Preto úkon bola využívaná funkcia *Three point alignment*, kde sa prenášajú 3 farebné markery do konkrétnych miest, ktoré si na dvoch 3D skenoch odpovedajú a program si na základe určenia týchto miest sám presne vie dopočítať výsledný tvar. Zarovnávanie voči sebe trvá relatívne krátku dobu, ktorá predstavovala približne päť minút. Program s každým z 3D skenov pohybuje a snaží sa ich čo najviac priblížiť, aby boli čo najpresnejšie. Po spojení dvoch skenov vznikol požadovaný trojrozmerný model.

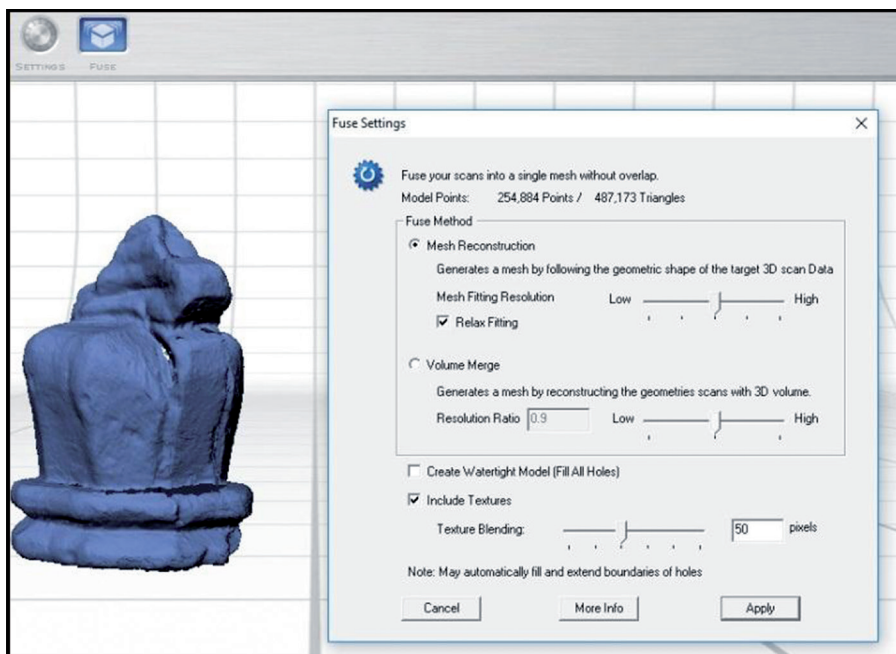
Na doplnenie dier v modeloch bola použitá funkcia *Fuse*, pomocou ktorej boli postupne doplnené vzniknuté medzery. Proces funguje na princípe umelého doplnenia vytvorenej blanky do miesta, ktoré bolo zle naskenované. Hlavne kvôli tlači je dobré, aby vznikla ucelená sieť. Do nastavenia je nutné zadať požadovanú toleranciu odchylky pre decimáciu. Takéto zjednodušenie modelu zmenší jeho veľkosť. Napríklad 2 000 600 bodov v našom prípade bolo zredukovaných na 1 000 300 bodov. Program vykoná inteligentnú simplifikáciu, ktorá pridá viac bodov v detailnejších oblastiach a uberie body vo väčších rovinách. Hlboké medzery však funkcia nevyplnila, skôr ich bolo potrebné prepojiť s iným, detailnejším 3D skenom. Všeobecne boli pri všetkých modeloch ale diery pekne doplnené, zakryté a výsledný model bol jednotný.

Výsledné modely je možné uložiť v rôznych formátoch, my sme ich exportovali vo formáte .obj, kvôli zjednoteniu všetkých modelov. Všetky modely boli ukladané do samostatného priečinka, kde bolo uložených okolo 40 súborov. Vždy sa v priečinku nachádzal jeden hlavný



Obr. 14. Model po spojení všech naskenovaných částí A, B a C (Kosmelová 2018, 55).

Fig. 14. The final model created by merging all partial scans A, B and C (Kosmelová 2018, 55).



Obr. 15. Známenie dier v modeli a použitého nastavenia pri funkcii Fuse, na ich dopočítanie (Kosmelová 2018, 56).

Fig. 15. Holes and the Fuse algorithm settings used to fill them (Kosmelová 2018, 56).



Obr. 16. Modrou farbou vyznačené diery v modeli, ktoré sa budú dopočítavať (Kosmelová 2018, 56).

Fig. 16. Holes in mesh to be filled are marked in blue (Kosmelová 2018, 56).

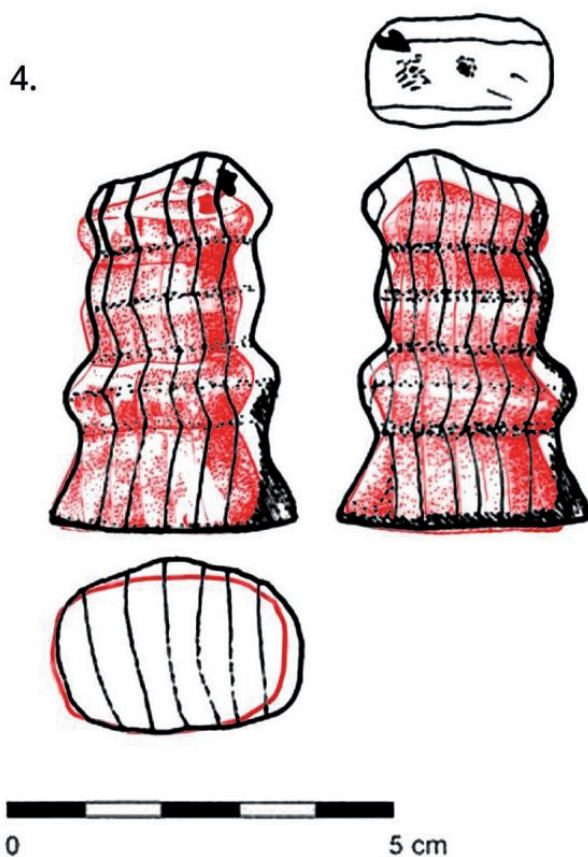
súbor a jeho textúry. Pridružené súbory, z ktorých vznikol výsledný model je možné vymazať. Čo sa týka veľkosti modelov, prvý mal 212 MB, no pri 3D skenovaní ďalších figúrok sme veľkosť znížili na polovicu.

Proces vyhotovenia jednej naskenovanej figúrky trval približne 4 hodiny. Skenovanie 7 figúrok a ich editácia zaberala približne 35 hodín práce.

Analýza vhodnosti použitých metód

Pri dokumentácii artefaktov boli celkovo využité 4 metódy, ktoré budú následne zhodnotené s vyzdvihnutím ich pozitívnych a negatívnych aspektov. Dovolíme si upozorniť, že táto komparácia je platná pre zvolené vybavenie, či už softvérové alebo hardvérové.

Výhody kresby spočívali vo finančnej nenáročnosti potrebného vybavenia a v uskladnení vyhotoveného záznamu. Ako výhodu môžeme vyzdvihnúť prepracovaný systém značiek a schém využívaných pre úpravu povrchu



Obr. 17. Znázornenie subjektívnych nepresností pri kresbe a chýb v meraní artefaktov. Na figúrke je tiež viditeľný rozdiel v skúsenosti s technikou kresby, ktorá sa prejavuje hlavne na tieňovaní (Kosmelová 2018, 58).

Fig. 17. Inaccuracies and errors in artefact drawings caused by creator's subjectivity. There is visible difference in drawing technique which is noticeable at shading part (Kosmelová 2018, 58).

a tieňovanie, ktoré sú dohodnuté a platia prakticky skoro všade. Veľkou výhodou je rozvinutie kresby do plochy, ktoré sa používa väčšinou pri keramike.¹¹ V našom prípade sa jednalo o možnosť detailného prekreslenia a zväčšenia pekných detailov na figúrkach. Pozitívom je možnosť pripojiť rezy predmetom, ktoré však nemusia byť 100% presné. Pri kresebnej dokumentácii je tiež možnosť rekonštrukcie, ktorá je vyznačená odlišne od zbytku kresby. Väčšinou ide o odlišenie prerušovanou čiarou.

Naopak veľkou nevýhodou kresby je už spomínaná subjektivita, nepresnosť a prílišná schematizácia, ktoré súvisia hlavne so skúsenosťami dokumentátora a so zložitosťou kresleného tvaru. Ani skúsení kresliči sa mnohokrát nevyhnú subjektívizácií, pretože aj keď sa snažia zachytiť objekt čo najvernejšie so starostlivým meraním a vytrénovanou pozornosťou, každý z nich vkladá do kresby svoj tzv. kresličský rukopis (Orton – Tyers – Vince 1993, 93). Aby sme názorne demonštrovali podiel subjektivity, kedy rovna-

ká figúrka môže byť nakreslená úplne odlišne dvoma autormi pripájame porovnanie kresieb z roku 2015 a našich kresieb z roku 2018, na ktorých vidieť veľké odchýlky (viď obrázok 17). Vo výsledku môžeme povedať, že kresba je vo veľkej miere ovplyvnená osobou kresliča, aj keď sa snažíme o čo najväčšiu objektivitu a presnosť v meraní. Veľké negatívum je nutná znalosť technického kreslenia a určitý talent, ktorý nie všetci archeológovia majú a u neskúsených kresličov je veľké riziko skreslenia. Ďalšia nevýhoda sa viaže ku publikácií kresieb, ktoré boli vyhotovené rôznymi autormi. V takomto prípade je len veľmi ťažké zabrániť odlišnému štýlu, kvôli už spomínanému kresličskému rukopisu, ktorý má každý dokumentátor iný. Kresby tiež môžu pôsobiť nesúrodne hlavne kvôli odlišnostiam v šrafúre, tieňovaní, hrúbke čiar a podobne. Pri meraní rozmerov figúrok bola zistená veľká nevýhoda pri kontakte s materiálom, kedy pri figúrkach z mäkkého dreva nemohol byť použitý profilovací hrebeň. Figúrke z kosti profilovací hrebeň ani použitie dentálneho vosku ku získaniu jej profilu nevedelo. Drevené figúrky vyžadovali extrémne opatrnú manipuláciu, pretože by oceľové zúbky hrebeňa mohli v nich zanechať odtlačky, alebo ich úplne zničiť. Hrebeň bol teda ručne tvarovaný tak, aby vôbec neprišiel do kontaktu s figúrkou, čo bolo časovo dosť náročné a zdĺhavé. Pri kreslení drevených figúrok nebol vôbec použitý vosk, kvôli možnému zanechaniu stôp na dreve. Ako nevýhodu tiež uvádzame celkom pracný spôsob vyhotovenia a čas neskúseného kresebného dokumentátora, ktorý predstavuje 18 hodín čistého času.

Pri fotografií máme možnosť s dobrým nasvietením objektívne zachytiť daný artefakt aj s jeho farebnosťou a textúrou. Ako nevýhoda sa všeobecne uvádza vysoká cena fotoaparátov a príslušenstva, no z reálneho pohľadu je tento argument irelevantný, pretože v dnešnej dobe má už každá inštitúcia, ústav alebo múzeum vlastný kvalitný fotoaparát. Rovnocennosť zo-

brazenia je uvádzaná ako ďalšia nevýhoda fotodokumentácie. Zástancovia tradičnej kresby sa zhodujú väčšinou na tom, že fotografia nerozlišuje to, čo je podstatné a nepodstatné. Ako príklad uvediem rytinu kozorožca na bridlicovej doske, kde je na kresbe zreteľnejšie vidieť rytinu, pričom na fotografií je pozorovateľná len nevýrazne (podľa Valoch – Láznicková – Galetová 2009, 121). Dovolili by sme si uviesť protiargument a to ten, že nie je možné, aby bol kresebný dokumentátor vzdelaný vo všetkých odvetviach archeológie a na základe toho si nemyslíme, že každý kresebný dokumentátor má „cit“ na zvýraznenie onej podstatnej informácie pri všetkých druhoch artefaktov. Ide teda znovu o subjektívne vnímanie dokumentátora, pričom fotografia dokáže zachytiť daný predmet vo vysokom rozlíšení relatívne bez skreslenia a pomocou grafických softvérov môžu byť detaily následne zvýraznené.

Metóda 3D fotogrametrie je vhodná ako pre dokumentáciu terénnych situácií a väčších objektov, tak aj pre menšie, ktoré vyžadujú detailnú dokumentáciu. Je tiež vhodná pre zaznamenanie jednoduchých rovín, ako aj pre členité artefakty s množstvom výstupkov. Veľkou výhodou tejto metódy pri dokumentácii výskumov alebo väčších objektov sú poznateľné časové úspory v teréne. Opäť dôležitá výhoda pre nedeštruktívny prieskum spočíva v získaní rezov, objemu a iných dát bez fyzického dotyku s predmetom. Medzi jej prednosťami patrí vysoká presnosť.

Do potencionálnych nevýhod patrí cena. Nehovoríme však explicitne o nevýhode, pretože cena sa mení v závislosti od toho, aký softvér je využívaný. Pri využití frivéru môže tak byť rovnaká ako pri fotodokumentácii. Pri využití platených profesionálnych softvérov je cena pochopiteľne vysoká.

Medzi nevýhody patrí náročnosť na výpočtovú silu používaného hardvéru. V našom prípade výpočty prebiehali celkovo na troch



Obr. 18. Znáozornenie zahĺbených rýh na figúrkach zreteľne viditeľných na fotografií v porovnaní s kresbou. Foto: N. Kosmelová, kresba: L. Chatrná 2015 (*Kosmelová 2018, 59*).

Fig. 18. Engraving visualisation in comparison of a photograph and a drawing. Photo: N. Kosmelová, drawing: L. Chatrná 2015 (*Kosmelová 2018, 59*).

	Kresba	Fotografia	3D Fotogrametria	3D Skenovanie
Potrebné vybavenie	●	●●	●●	●●●
Potrebné znalosti dokumentátora	●●●	●●	●●●	●●
Čas vyhotovenia	●●●	●	●●	●●●
Finančná náročnosť	●	●●	●●	●●●
Objektivita	●	●●	●●●	●●●
Presnosť	●	●●●	●●●	●●●
Reálna podoba s originálom	●●	●●●	●●●	●●●
Možnosť rekonštrukcie	●●	●	●●●	●●●
Rezy predmetom	●●●	●	●●●	●●●

Tab. 5. Tabuľka znázorňuje graficky podkapitolu Analýza použitých metód. Bola vytvorená na základe empirie autorky, ktorá bola do každého odvetvia zaškolená odborníkom.¹² Tabuľka je len ilustračná, pracuje s dostupným vybavením Ústavu archeológie a muzeológie, Laboratória morfologie a forenzní antropologie a nesnaží sa tak postihnúť všetky možnosti daných metód (*Kosmelová 2018, 61*).

Vysvetlivky: ● nízka náročnosť/ presnosť, ●● stredne veľká náročnosť/ presnosť, ●●● veľká náročnosť/ presnosť.

Tab. 5. Table with graphic representation of the subchapter Analysis of the Methods Used results. This only reviews author's experience with equipment and methods used in 3D laboratory of Department of Archaeology and Museology and Laboratory of morphology and forensics anthropology. ● low sophistication ●● medium sophistication ●●● high sophistication. (*Kosmelová 2018, 61*).

notebookoch; Lenovo IdeaPad B580, Lenovo IdeaPad Z560, no pre ich nedostačujúci výkon bol následne zvolený notebook HP EliteBook 8770w. Proces nafotenia a samotné modelovanie aj s úpravami každej figúrky zabralo na prvých dvoch notebookoch 50 hodín. Celkový čas je opäť relatívny, pretože závisí na výpočtovej sile. Pri vyhotovení všetkých výpočtov na notebooku HP EliteBook 8770w by mohol byť čas výpočtu neporovnateľne nižší, odhadujúc na 8 hodín celkového času aj s nafotením všetkých figúrok a úpravou.

Poslednou použitou metódou je 3D skenovanie. Výsledný trojrozmerný naskenovaný model spracovaný v programe NextEngine ScanStudio je o niečo viac zahladený ako by bolo potrebné. Program totižto spriemeroval všetky 3D skeny dohromady a vznikol model s menším rozlíšením. Nextengine má tiež tendenciu veci prifukovať a modely sú objemovo najväčšie.

3D Skener NextEngine fungoval relatívne dobre na drevené figúrky, tiež na figúrku z kosti a všeobecne na kostrové pozostatky. Špecificky nie je moc dobrý na niektoré tmavšie materiály s podpovrchovým trieštením. Je to ale prípad od prípadu.

Vzniknuté modely neboli síce naskenované úplne dokonale, ale väčšinou chýbali skôr detaily. Nestalo sa, že by bolo miesto, ktoré by úplne chýbalo. Miestami bola sieť modelu dierovaná, pretože sa na figúrkach vyskytujú jemné štrbinky, kde sa laser nemal ako chytiť a tak vznikli drobné medzery. Figúrky sú však dosť nepravidelné, takže tento problém nevznikal často. Poznateľne horšie je to pri 3D skenovaní symetrických objektov.

Nevýhodu vidíme v nie úplne dokonalej textúre, ktorá sa však dá upraviť či zosvetliť externe v Photoshope ako textúrová mapa. Vzniknutá pôvodná textúra sa nedá porovnať s 3D fotogrametriou, pretože je miestami matná a flakatá.

Medzi najvýraznejšiu nevýhodu 3D skenovania je práve cena 3D skenerov, ktorá sa pohybuje v radách od 1000 € pre dostatočne kvalitné a presné skenery. Samozrejme platí, čím viac profesionálny skener, tým stúpa aj jeho cena. Proces vyhotovenia všetkých 7 figúrok síce trval 35 hodín, čo je v porovnaní s kresbou o 17 hodín viac, no musíme si uvedomiť, že proces skenovania nevyžaduje neustálu prítomnosť dokumentátora a reálny čas, ktorý človek strávi nastavovaním 3D skenera je pri 17 hodinách práce kreslenia zanedbateľný.

5. Výsledky a kritika staršej metódy spracovania

Pre demonštráciu rýchleho pokroku v technológiách sa autori tiež zamerali na porovnanie starších a novších trojrozmerných dát z 3D fotogrametrie a 3D skenovania. Staré modely figúrok boli počítané pomocou 3D Software object Modeller (spoločnosti Creative Dimension Software Limited) v roku 2012 a skenované pomocou 3D skenera Mephisto EOSScan (Innovative Solutions) v roku 2014.¹³ Pre zhotovenie nových dát pre 3D fotogrametriu bol využitý už spomínaný softvér Agisoft Photoscan a na skenovanie 3D skener NextEngine ScanStudio. Aj napriek tomu, že od zhotovenia starších 3D modelov prešiel pomerne krátky čas, môžeme vidieť markantný posun v technológiách a ich výstupoch.

3D Fotogrametria

Staršie modely sa skladajú z výrazných geometrických obrazcov. Plocha povrchu je členená na jednotlivé rovné geometrické plôšky a nepôsobí plynulým ani akurátnym dojmom. Celkovo však modely pomerne dobre kopírujú celkový tvar figúrok. Nepresnosti sa prejavujú hlavne po

priblížení a pri pohľade na detail. V celkovom pohľade vyčnívajú hlavne prílišné ostrosti hrán povrchových plôch, ktoré napomáhajú nerealistickému lomu svetla a príliš nápadnej geometrickej hre tieňov. Zanikajú v nich tiež jednotlivé drobné detaily figúrok.

Textúry vykazujú dobrú kresbu detailov dreva. Pri bližšom pohľade sa rapídne znižuje kvalita textúry, kedy vychádza najavo ich neostroť a malé rozlíšenie, ktoré tak celkovo nedovoľuje príliš detailnú prácu s modelmi figúrok.

Obecne by sa dalo povedať, že nové modely vykazujú vyšší stupeň detailov aj presnosti a nie sú tak geometrické. Jasnosť textúr zase hovorí v prospech starších modelov, ale to môže byť dané aj tým, že v dobe vyhotovenia prvej verzie modelov boli figúrky svetlejšie a až neskôr došlo k ich stmavnutiu a tým strate detailov pri fotodokumentácii. Staršie textúry vykazujú horšiu kvalitu a ostrosť, v porovnaní s novo vyhotovenými.

3D Skener

Staršie skenovanie ukazuje tvarovo veľmi presné modely figúrok, zobrazenie detailov na vysokej úrovni, vrátane drobných nuáns. Drobné hrany detailov sú však často príliš zaguľatené, čo vo výsledku môže pôsobiť umelo, a nepripomínať figúrky ručne vyrobené z dreva. Novo vyhotovené modely majú o niečo vyššiu presnosť hrán, výsledok viac zodpovedá realite a model vecne zachycuje skenovanú skutočnosť.

Staršie textúry vykazujú vysokú kvalitu rozlíšenia a ostrosti, ale strácajú na detaile. Otázku vyvoláva aj odlišné farebné tónovanie figúrok, ktoré sa od starších fotogrametrických textúr nelíši len tmavšími odtieňmi, ale všeobecne inou farbou, čo je dané iným nasvetením artefaktov pri fotografovaní. Nové textúry zo skenera vykazujú povrchové závady, farebné nepresnosti a chyby. Textúra má adekvátne rozlíšenie, ale miera chýb ju činí takmer nepoužiteľnú.

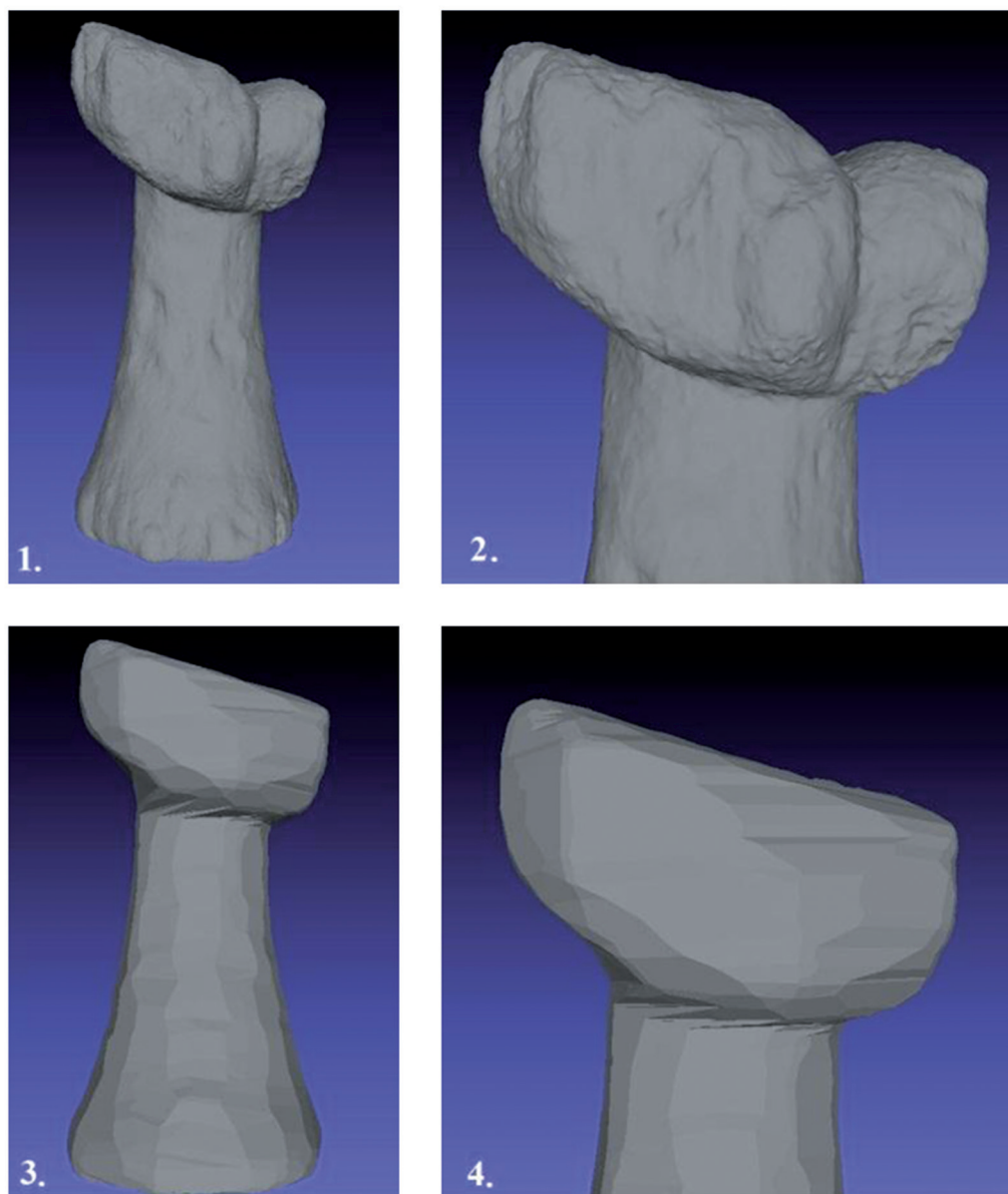
3D Fotogrametria vs. 3D Skener

Textúra pri 3D fotogrametrickej metóde dáva veľmi solídny povrch s dobrou kresbou detailov, ostrosťou a rozlíšením. Naproti tomu, figúrky z 3D skenera majú veľké množstvo chýb, takže textúra sa nedá bez zásahu v externom programe (PhotoShop) použiť pre účely skúmania predmetu. Geometria a presnosť modelov sú veľmi podobné. 3D fotogrametria zachytáva viac povrchových detailov a nerovnosti. Povrch od 3D skenu je hladší. Naproti tomu dokáže metóda skenovania zachytiť hlbšie nerovnosti na figúrke vernejšie než metóda fotogrametrická. Model vyhotovený pomocou 3D skenu tak vykazuje hlbšie zárezy a väčšiu hĺbku povrchového reliéfu oproti 3D fotogrametrii.

Porovnanie pomocou CloudCompare

Pre porovnanie použitých metód dokumentácie archeologického artefaktu bol použitý aj voľne šíriteľný program CloudCompare, verzia 2.9.1.¹⁴ Ten je primárne určený pre porovnávanie dvoch referencovaných mračien bodov. Výsledky z programu pomôžu pri všeobecnom zhodnotení jednotlivých metód vyhotovenia modelu archeologického artefaktu. Do prostredia programu boli nahrané dva modely rovnakej figúrky (pre potreby tejto kapitoly budeme demonštrovať figúrku č. 1) – jeden fotogrametrický, jeden vytvorený pomocou laserového skenovania. Modelom bola zjednotená mierka (funkcia *Match scales*), potom boli umiestnené zhruba cez seba (*Match bounding-box centers*) a nakoniec boli presne referencované (*Fine registration*). V niektorých prípadoch bolo nutné kroky opakovať, aby došlo k dostatočne presnému výsledku.

Po detailnom referencovaní modelov bol vykonaný výpočet rozdielového rastra oboch



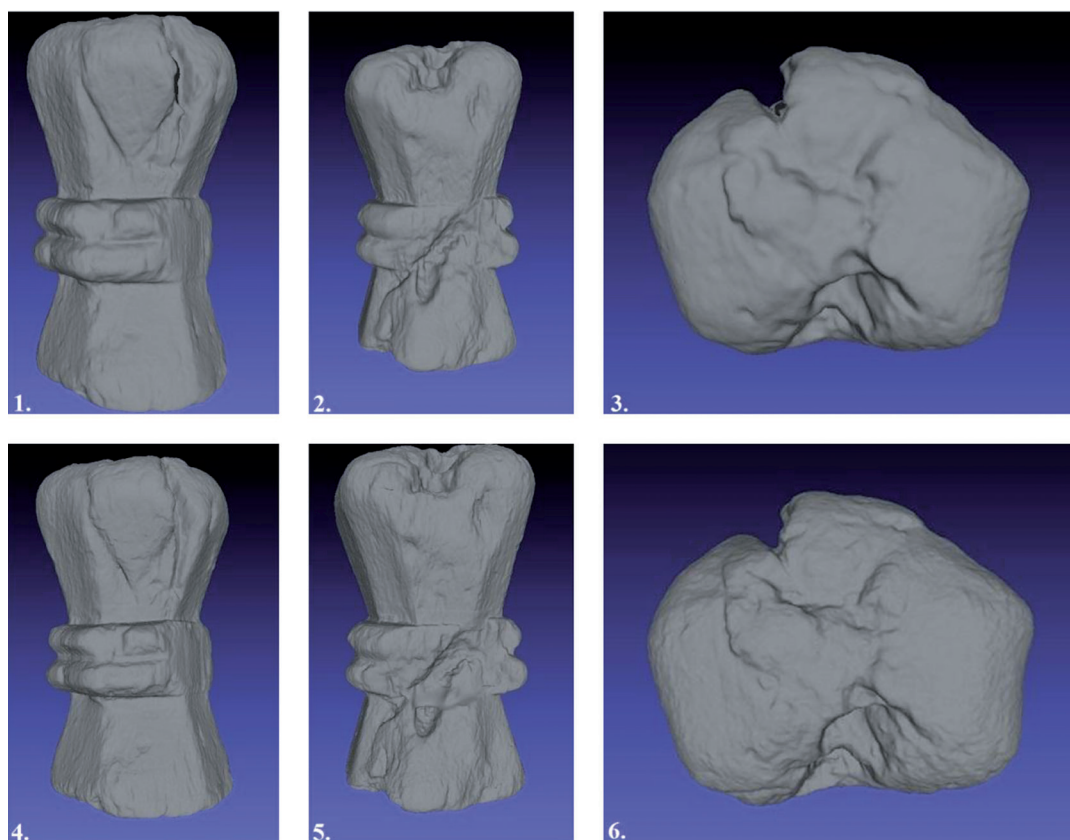
Obr. 19. Porovnanie starých a nových modelov bez textúry na figúrke č. 2, ktorá bola vybraná ako reprezentatívna. 1. Nový model figúrky, 2. Detail nového modelu figúrky, 3. Starý model figúrky, 4. Detail starého modelu figúrky (Kosmelová 2018, 63).

Fig. 19. Picture comparing old and new models without texture on chess piece No. 2. 1. New mesh 2. New mesh closeup 3. Old mesh 4. Old mesh closeup (Kosmelová 2018, 63).



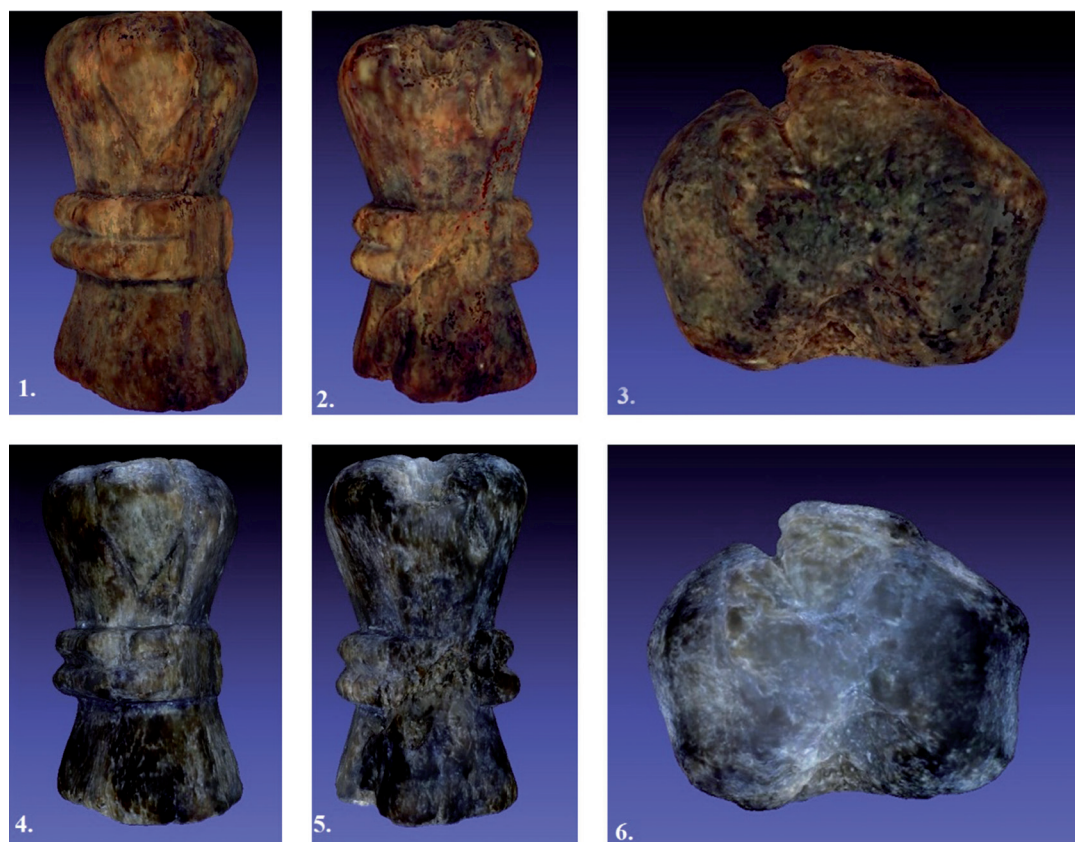
Obr. 20. Porovnanie starých a nových modelov s textúrou na figúrke č. 2, ktorá bola vybraná ako reprezentatívna. 1. Nový model figúrky, 2. Detail nového modelu figúrky, 3. Starý model figúrky, 4. Detail starého modelu figúrky (Kosmelová 2018, 63).

Fig. 20. Picture comparing old and new models with texture on chess piece No. 2. 1. New mesh 2. New mesh closeup 3. Old mesh 4. Old mesh closeup (Kosmelová 2018, 63).



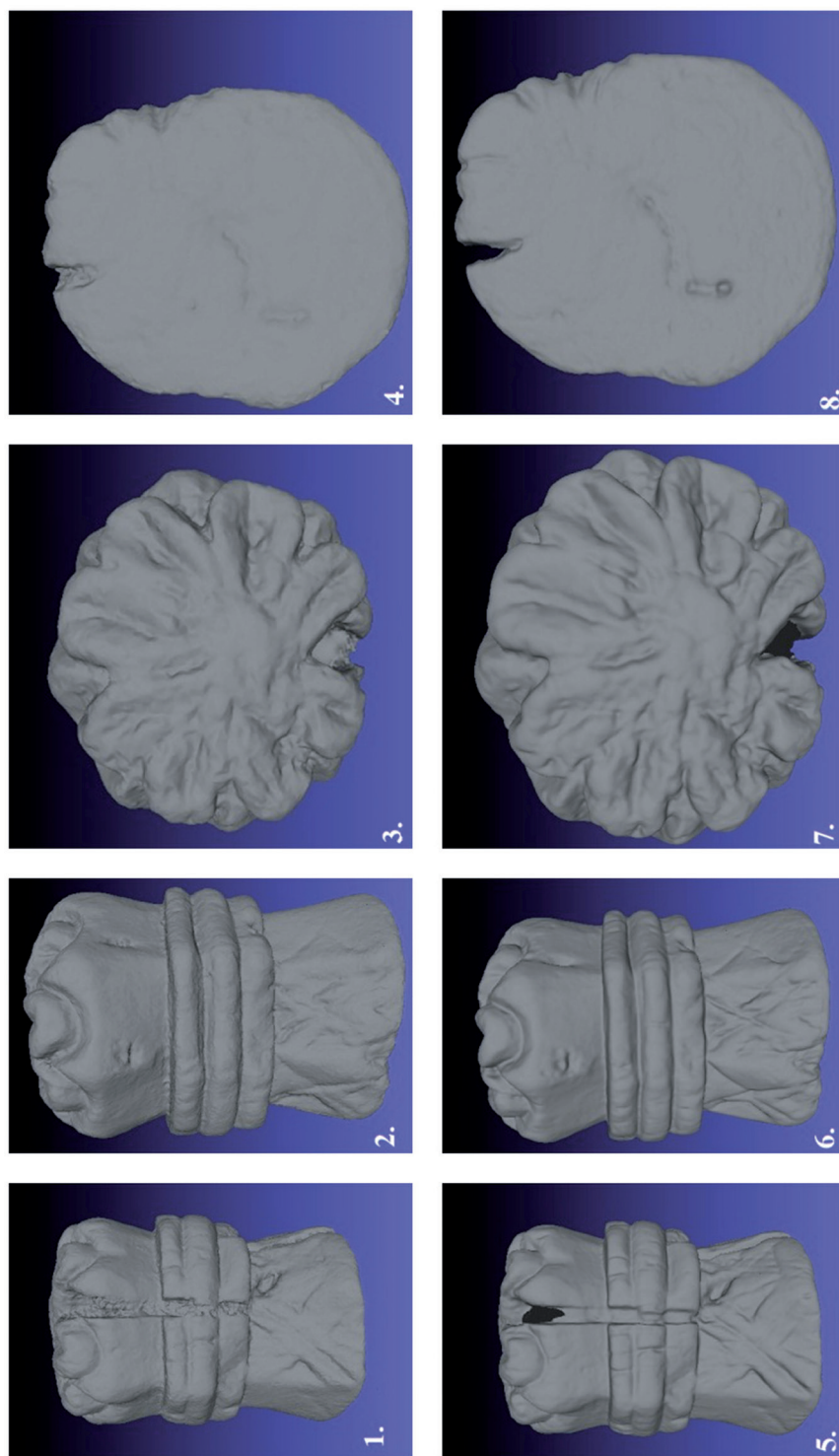
Obr. 21. Porovnanie starých a nových modelov bez textúry na figúrke č. 5, ktorá bola vybraná ako reprezentatívna. 1. Nový model figúrky – predná strana, 2. Nový model figúrky – zadná strana, 3. Nový model hlavičky figúrky, 4. Starý model figúrky – predná strana, 5. Starý model figúrky – zadná strana, 6. Starý model hlavičky figúrky (Kosmelová 2018, 64).

Fig. 21. Picture comparing old and new models without texture on chess piece No. 5. 1. New mesh – front face 2. New mesh – backface 3. New mesh – chess piece head 4. Old mesh – front face 5. Old mesh – back face 6. Old mesh – chess piece head (Kosmelová 2018, 64).



Obr. 22. Porovnanie starých a nových modelov s textúrou na figúrke č. 5, ktorá bola vybraná ako reprezentatívna. 1. Nový model figúrky – predná strana, 2. Nový model figúrky – zadná strana, 3. Nový model hlavičky figúrky, 4. Starý model figúrky – predná strana, 5. Starý model figúrky – zadná strana, 6. Starý model hlavičky figúrky (Kosmelová 2018, 65).

Fig. 22. Picture comparing old and new models with texture on chess piece No. 5. 1. New mesh – front face 2. New mesh - backface 3. New mesh – chess piece head 4. Old mesh – front face 5. Old mesh – back face 6. Old mesh – chess piece head (Kosmelová 2018, 65).



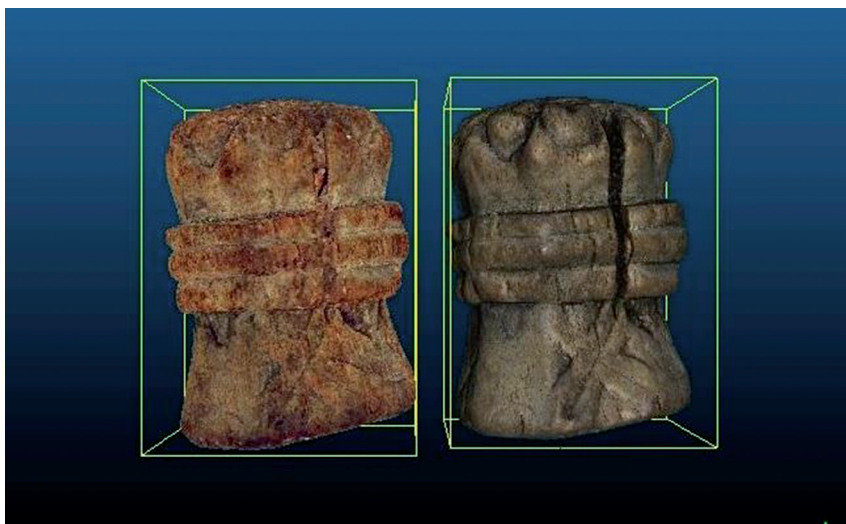
Obr. 23. Porovnanie nových modelov z 3D fotogrametrie a z 3D skenovania bez textúry na figurke č. 1, ktorá bola vybraná ako reprezentatívna. 1. 3D fotogrametria – predná strana, 2. 3D fotogrametria – zadná strana, 3. Hlavička figurky z 3D fotogrametrie, 4. Spodná časť figurky z 3D fotogrametrie, 5. 3D skener – predná strana, 6. 3D skener – zadná strana, 7. Hlavička figurky z 3D skenovania, 8. Spodná časť figurky z 3D skenovania (Kosmelová 2018, 66).

Fig. 23. Picture comparing new models without texture from 3D photography and 3D scanning on chess piece No. 1. 1. 3D Photogrammetry – front face 2. 3D Photogrammetry – back face 3. 3D Photogrammetry – chess piece head 4. 3D Photogrammetry – chess piece bottom 5. 3D Scanner – front face 6. 3D Scanner – back face 7. 3D Scanner – chess piece head 8. 3D Scanner – chess piece bottom (Kosmelová 2018, 66).



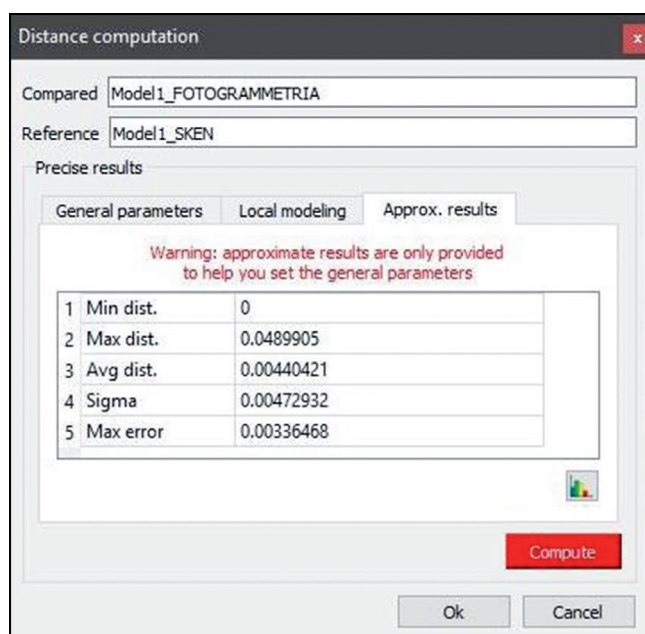
Obr. 24. Porovnanie nových modelov z 3D fotogrametrie a z 3D skenovania s textúrou na figurke č. 1, ktorá bola vybraná ako reprezentatívna. 1. 3D fotogrametria – predná strana, 2. 3D fotogrametria – zadná strana, 3. Hlavička figurky z 3D fotogrametrie, 4. Spodná časť figurky z 3D fotogrametrie, 5. 3D skener – predná strana, 6. 3D skener – zadná strana, 7. Hlavička figurky z 3D skenovania, 8. Spodná časť figurky z 3D skenovania (Kosmelová 2018, 66).

Fig. 24. Picture comparing new models with texture from 3D photogrammetry and 3D scanning on chess piece No. 1. 1. 3D Photogrammetry – front face 2. 3D Photogrammetry – back face 3. 3D Photogrammetry – chess piece head 4. 3D Photogrammetry – chess piece bottom 5. 3D Scanner – front face 6. 3D Scanner – back face 7. 3D Scanner – chess piece head 8. 3D Scanner – chess piece bottom (Kosmelová 2018, 66).



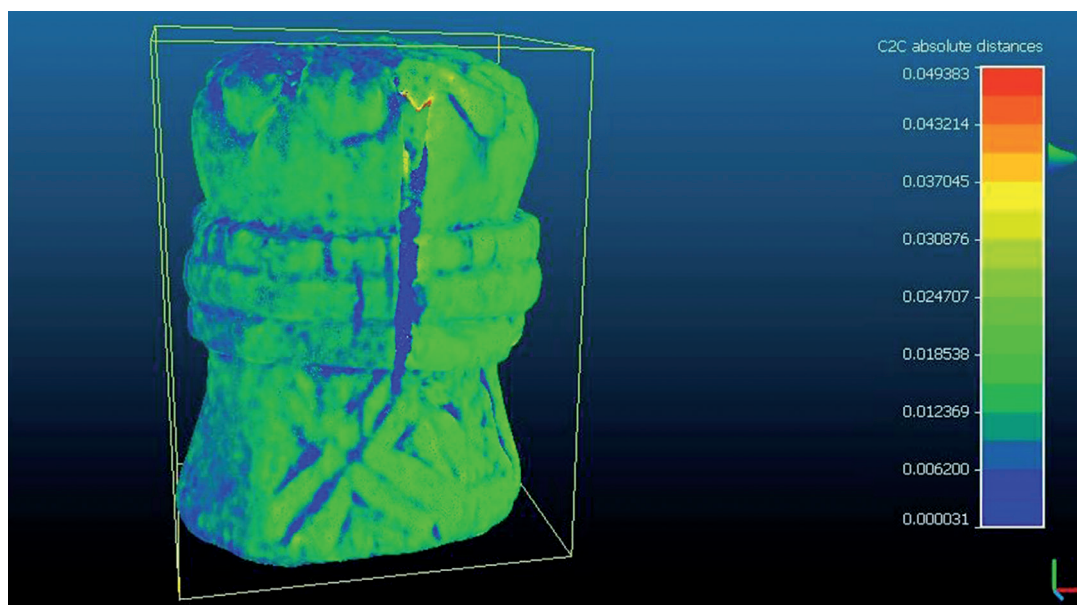
Obr. 25. Modely nahrané do prostredia programu CloudCompare, vľavo sken, vpravo 3D fotogrametria (Kosmelová 2018, 67).

Fig. 25. Models imported into the CloudCompare software. Left from 3D scan, right made by 3D photogrammetry (Kosmelová 2018, 67).



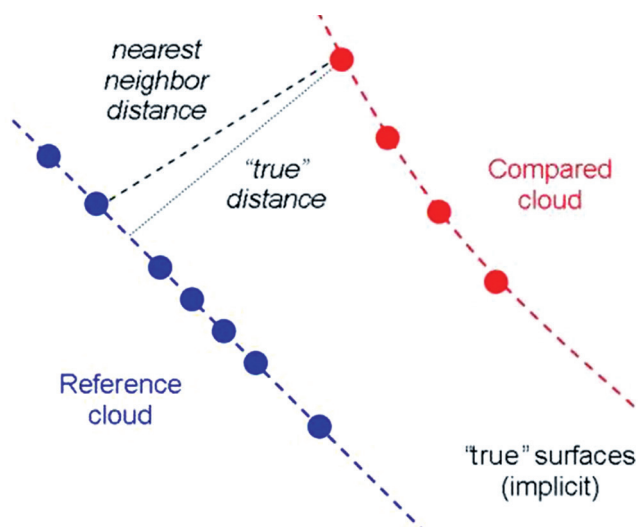
Obr. 26. Výpočet vzdialenosti povrchov oboch modelov (Kosmelová 2018, 68).

Fig. 26. Computing the distance between model surfaces (Kosmelová 2018, 68).



Obr. 27. Porovnanie povrchu modelov v programe CloudCompare. Modrá farba ukazuje, že model vyhotovený pomocou laserového skenovania vernejšie zachycuje hĺbku reliéfu povrchu figúrky (Kosmelová 2018, 68).

Fig. 27. Mesh comparison using CloudCompare software. Blue color indicates that 3D scanned mesh is more accurate in detail of depth (Kosmelová 2018, 68).



Obr. 28. Teoretická ukážka výpočtu vzdialenosti povrchu referencovaných modelov v programe CloudCompare (Kosmelová 2018, 69).

Fig. 28. Visualisation of cloud to cloud distance measurement principle using CloudCompare software (Kosmelová 2018, 69).



Obr. 29. Ukážka vytlačených 3D figúrok. Foto: N. Kosmelová.

Fig. 29. 3D printed chess pieces. Photo: N. Kosmelová.

mračien bodov (modelov) pomocou funkcie *Cloud/Mesh Distance*.

Najskôr bol zvolený referenčný a porovnávaný model. Ako referenčný bol vybraný model vyhotovený pomocou laserového skenovania. Následne automaticky prebehol približný výpočet vzdialenosti mračien bodov oboch modelov. Po nastavení parametrov výpočtu vzdialeností (nastavenie podľa *Boháč 2014*, 58–61) bol vykonaný konečný výpočet a výsledok zobrazený pomocou farebného histogramu.

Z výsledkov porovnania modelov vyplýva pomerne veľká vzájomná presnosť oboch modelov. K najväčším chybám dochádza pri porovnaní hlbších miest na povrchu modelu. V miestach hlbších povrchových reliéfov je presnosť zachytenia hĺbky pomocou fotogrametrického modelu nižšia, než u modelov vyhotovených pomocou laserového skenovania, ktorý tak dokáže vernejšie zachytiť geometriu

povrchu figúrky v porovnaní so skutočnosťou. Je to však za cenu niekoľkonásobne vyššej dátovej náročnosti modelov.

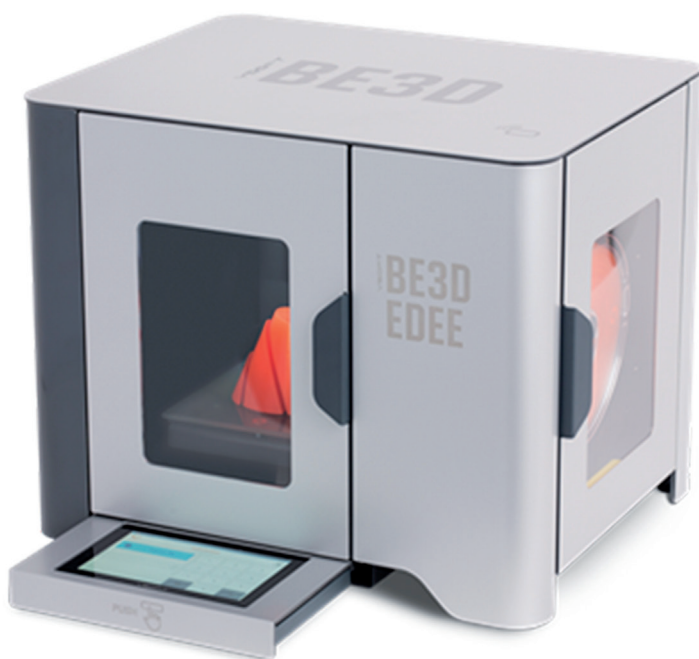
3D tlač figúrok

Figúrky boli experimentálne vytlačené na Ústave výpočetní techniky za odbornej pomoci Alexandra Kolovratníka. Tlač prebehla na 3D tlačiarňi eDee (spoločnosti Ysoft). Tlačiareň je ovládaná cez integrovaný zatiahnuteľný dotykový sedempalcový displej. Tlačiareň tlačí s Ysoftom certifikovaným PLA filamentom. Bohužiaľ nebolo možné využiť iný filament, ktorý by imitoval materiál (drevo a kosť), z ktorého sú figúrky vyrobené. Niektoré figúrky museli byť tlačené ako dva modely, a až následne zlepené do jedného modelu, kvôli ich komplikovanejším tvarom.

Model	eDee
Technológia tlače	FFF (Fused Filament Fabrication)
Oblasť tlače	150 x 150 x 150 mm
Priemer trysky	0,4 mm (predpokladaná životnosť 1500 h)
Typ tiskovej podložky	Sklenená, vyberateľná
Kalibrácia	Automatická
Bezpečnostné prvky	Zámky dvierok, snímač tiskové podložky
Rozmery celkom	496 x 414 x 397 mm
Hmotnosť	27,5 kg
Doporučené prevádzkové podmienky	15& - 30°C (59 - 86°F), max. 60% vlhkosť
Napájanie	Externý zdroj napájania 24 V/3,75 A (90 W, vstup 230 V/110 V)

Tab. 6. Špecifikácia parametrov použitej 3D tlačiarne (Kosmelová 2018, 70).

Tab. 6. Technical parameters of the 3D printer used (Kosmelová 2018, 70).



Obr. 30. Použitá 3D tlačiareň (Kosmelová 2018, 70).

Fig. 30. Used 3D printer (Kosmelová 2018, 70).

6. Diskusia

V súčasnej dobe môžu archeológovia a nielen oni, zhromažďovať obrovské množstvo 3D údajov. S ich narastajúcou popularitou a rozmachom je na mieste otázka ich trvácnosti, udržateľnosti a prístupnosti takéhoto typu a množstva dát.

Definíciu, ktorá by presne vystihovala, čo sú to trvácne dáta vôbec nie je ľahké vytvoriť. Vo veľmi zjednodušenom poňatí by sme mohli tvrdiť, že sú to také dáta, ktoré pokračujú do budúcnosti (*Richards – Risetto – Schwerin 2017, 38*). Táto definícia je však veľmi otvorená a vedie k ďalším otázkam typu; ako dlho musia dáta pokračovať do budúcnosti, aby boli udržateľné a trvalé? Môžu byť dáta uložené na zastaranom hardvéri označené ako trvácne? Ak by sme budúcnosť považovali za nekonečnú, dá sa vôbec takáto trvácnosť docieľiť? S popularizáciou 3D dát je tiež nutné mať na pamäti otázky senzitivít dát, ich autorstva a ochrany

Veľkosť dát, ktoré musia byť uložené variuje na základe metódy, ktorou boli zozbierané. Požiadavky na skladovanie sa teda tiež rôznia a aby sme zabezpečili ich udržateľnosť, musia byť adekvátne skladované, čo predstavuje nemalú finančnú investíciu. Tu vyvstáva množstvo otázok, počnajúc tým v akom formáte budú dáta skladované, končiac tým, aké dáta budú vlastne uchovávané. V súčasnej dobe je evidovaných 366 koncoviek 3D formátov a tento počet stále nie je finálny, pretože podľa nových potrieb užívateľov neustále rastie.¹⁵ Rôzne formáty ponúkajú rôzne výhody, ktoré si tvorca modelu volí na základe preferencií ešte pred tvorbou modelu. Na stránke tiež môžeme vidieť popularitu daných formátov zoradených zostupne, pričom v archeológii sú všeobecne najviac rozšírené formáty obj, .ply a .stl (*Richards – Risetto – Schwerin 2017, 40*).¹⁶ Ďalšia komplikácia prichádza s rozhodnutím, aké dáta budeme skladovať. Rozlišujeme dva typy modelov; prvý

predstavuje povedzme základný model, vyhotovený zo zozbieraných archeologických dát spracovaných skenerom, fotogrametriou a podobne. Do druhého typu spadajú rekonštrukcie a vizualizácie toho, ako daný objekt alebo artefakt mohol vyzeráť v minulosti (*Richards – Risetto – Schwerin 2017, 39*). Do oboch typov zasahuje svojimi rozhodnutiami človek, ktorý model vyhotovuje. Ku tomu sa viažu tri komplikácie, ktoré je nutné zohľadniť pri výbere toho, aké dáta budeme uchovávať:

- 1) pre model existuje niekoľko možných interpretácií,
- 2) samotné modelovanie zahŕňa súbor možností vychádzajúcich z parád, ktoré sú pri procese tvorby modelov nejakým spôsobom korigované a upravované,
- 3) softvér využívaný pri tvorbe modelov je stále aktualizovaný a niektoré jeho nové verzie nie sú vždy kompatibilné so staršími verziami.

Je teda nutné ukladať všetky dáta a verzie programov? Hlavne s uchovávaním starších verzií softvérov je obrovský problém, pretože staršie verzie všeobecne obsahujú viac chýb, môžu byť bezpečnostným rizikom, ponúkajú menšie množstvo užívateľského obsahu a funkcií a hlavne nie je možné ich opätovná legálna inštalácia. Všetky tieto skutočnosti je potrebné diskutovať medzi odborníkmi, zainteresovanými inštitúciami a zriaďovateľmi. Bolo by potrebné vypracovať štandardy, podľa ktorých bude rozhodnuté o uchovávaní dát.¹⁷

So skladovateľnosťou dát úzko súvisí aj ich prístupnosť a ochrana. Niektoré archeologické dáta sú citlivé a prístupnosť k nim si žiada otvorený prístup k údajom, ktoré často nemusia byť vhodné pre širokú verejnosť. Ich sprístupnenie môže napríklad viesť k vandalizmu, vykrádaniu, alebo k narušeniu duševného vlastníctva niektorých spoločenstiev (*Frank – Kriesberg – Yakel – Faniel 2015, 2*). Možné riešenie tohto typu

problému opäť ponúkol *MayaArch3D Project*, ktorý zvolil niekoľko úrovní používateľského prístupu; verejnosť, externý výskumník, interný výskumník, člen projektu *MayaArch3D* a administrátor. Pre verejnosť sú viditeľné len strážené archeologické lokality a naopak, až po zadaní prístupového hesla sú viditeľné nechránené. Týmto spôsobom docielili požadovanú publikáciu a viditeľnosť dát. Každá z úrovní prístupu má pochopiteľne iné právomoci počínajúc viditeľnosťou vybraných lokalít, končiac prístupom ku všetkým dátam a možnosťou ich editácie.

S problémom uskladnenia a prístupu k dátam sa v archeológii nestretávame len pri trojrozmerných dátach. S prezentáciou vizuálne zaujímavých dát a ich uskladnenia sa stretávame aj pri digitalizácií, ktorá sa v tomto storočí stáva viac a viac populárnou a hlavne potrebnou. Pod procesom digitalizácie chápeme sériu úkonov, kedy sa prevádzajú analógové dokumenty (obrázky, správy z výskumov, kresby profilov a podobne) do digitálnej podoby (Kenney – Rieger 2000, 8). V archívoch, múzeách, knižniciach a depozitároch sú uchovávané obrovské množstvá informácií, ktoré sú jednak ťažko prístupné, jednak degradujú a hrozí ich strata.¹⁸

Vzhľadom k uľahčeniu prístupu a kvôli zamedzeniu nenávratnej straty informácií v nich obsiahnutých sa pristupuje k vyhotoveniu ich digitálnej kópie.¹⁹ Obrovskou výhodou je práca s veľkými súborami, sprístupnenie ťažko dostupných, krehkých, vzácnych a hlavne vzdialených dokumentov. Takýto prístup môže byť umožnený viacerým ľuďom naraz a tak nie je pri nich nutná, častokrát dlhá čakacia doba. Pri potrebe je možné zdigitalizované materiály graficky upraviť tak, aby vynikli dôležité informácie, farba, nápisy a podobne.

Problém s online alebo s digitalizovanými dátami, rovnako ako s niektorými trojrozmernými dátami, môže spočívať v nedôvere v ich autenticitu, ktorá môže byť pozmenená. Pomer-

ne jednoduché a účinné riešenie s dôverou pri trojrozmerných modeloch môže byť farebné odlíšenie originálnych dát od tých, ktoré boli domodelované na základe písomnosti, rôznych plánov a podobných informácií.

Prezentácia a popularizácia vedeckej práce a jej výsledkov je, dovoľme si tvrdiť, jedna z najdôležitejších činností, od ktorej sa odvíja celkový pohľad na daný odbor medzi širokou verejnosťou. Nemáme v úmysle popierať dôležitosť publikácie odborných článkov a ich výsledkov, no v súčasnej dobe je nezmyselné predpokladať, že uloženie nájdených artefaktov do múzeí a publikovanie článku po niekoľkých rokoch od výskumu je dostačujúcim spôsobom prezentácie odboru. Kľúčovým prvkom, na ktorý by sa mal dávať zreteľ je vzťah s verejnosťou, teda komunikácia, ktorá smeruje väčšinou mimo odbornú skupinu ľudí. Archeologické dáta vždy priťahovali záujem ľudí a 3D prezentácia výsledkov môže tento záujem mnohonásobne prehĺbiť. Cieľom je docieľiť u ľudí tzv. *Wow effect*, niečím nezvyčajným a vizuálne atraktívnym (Plzák 2016, 25). To však neznamená, že takáto forma podania výsledkov nemôže obohatiť aj členov profesnej sféry, ktorí si medzi sebou môžu napríklad preposielať skúmané artefakty v zlomkovom čase.²⁰ Trojrozmerné dáta umožňujú rýchly prístup, analýzy, ktoré by bolo nereálne vykonať na originálnom artefakte a pomerne dobrú manipuláciu s predmetmi. Zaujímavú možnosť predstavuje domodelovanie poškodených predmetov, kedy môžu byť vymodelované ich jednotlivé časti, následne spojené a pomocou 3D tlačiarne vytlačené. Aplikácia týchto inovatívnych metód zberu informácií môže byť tiež využitá pri archeologických výskumoch a ich priebežnej dokumentácii.

Hlavným úmyslom prezentácie je oboznámenie širšej verejnosti s prácou archeológov, jej významom a dôležitosťou. V súčasnej, technologicky orientovanej dobe, nie je adekvátne predpokladať, že prezentácia výsledkov v múzeu, kde je pri predmete malá popíska



Obr. 31. Ukážka virtuálnej prehliadky v prostredí The MayaArch3D Project. Návštevník sa môže virtuálne prechádzať celou lokalitou, približovať si zaujímavé objekty a rovnako tak vidieť 3D modely významných artefaktov (Kosmelová 2018, 76).

Fig. 31. Example of a virtual tour in the MayaArch3D Project. It is possible to have a virtual tour through the site, zoom to points of interest and examine 3D models of digitized artefacts (Kosmelová 2018, 76).

a v každej miestnosti sa nachádza veľké množstvo artefaktov je pre verejnosť dostačujúca. Takéto predmety dokážu zaujať skutočných nadšencov, no určite neoslovia veľkú časť populácie a tak múzeá, ktoré neprichádzajú s inováciami strácajú na popularite. Trojrozmerné dáta, vizualizácia a virtuálna realita výrazne pomáhajú v popularizácii odboru.²¹ Takýto typ prezentácie je samozrejme veľmi finančne aj časovo náročný. V súčasnej dobe môže byť aplikovaný bohužiaľ len pri dlhodobých a dobre finančne zaistených archeologických projektoch a výskumoch. Dôležitým predpokladom je otvorenosť bádateľov voči inováciám a diskusií o voľbe nových postupov. Ďalší spôsob, ako uplatniť nové postupy ponúkajú rôzne granty a súťaže. Pri vizualizácii a prezentácii je rozhodujúca forma, miesto a načasovanie, na čo tiež treba myslieť.

Existuje veľké množstvo spôsobov prezentácie trojrozmerných dát. Najjednoduchšia publikácia je cez online 3D prehliadače digitálnych modelov. Za takýmto účelom vznikajú virtuálne

múzea, v ktorých sú trojrozmerné modely vložené do virtuálnych galérií a pomocou klávesnice a myši je možné po pripojení na internete ľubovoľné prehliadanie zo všetkých uhlov.²²

Väčšina populácie ale stále preferuje osobný kontakt s predmetom, na ktorý môže reálne siahnuť. Fyzický kontakt, alebo hmatový vnem je stále dôležitý a vďaka nemu si ľudia dokážu lepšie uvedomiť niektoré súvislosti. Pri prezentácii artefaktov je väčšinou tento vnem nemožný, vzhľadom na krehkosť alebo cenu predmetov. Možnosť siahnuť na predmet je v niektorých prípadoch umožnená vďaka replikám, ktoré je však finančne pomerne náročné vyhotoviť. Alternatívu predstavuje práve 3D tlač, kedy je možné artefakt neobmedzene duplikovať alebo vytlačiť v zmenšenej alebo zväčšenej podobe.

Nakoniec by sme radi upozornili na niektoré zaujímavé projekty, ktoré sa zameriavajú na inovatívny spôsob prezentácie a vo svete 3D môžu byť veľkou inšpiráciou. Jeden z najznámejších projektov spájajúci v sebe archeológiu, geografické informačné systémy, 3D dáta

a virtuálnu realitu je už spomínaný *The Maya-Arch3D Project*. Konkrétne ide o 3D-GIS, ktorý integruje 3D modely miest, krajiny a objektov a prezentuje tak dôležité mesto mayskej civilizácie, Copán.²³ Z nášho prostredia nemôžeme opomenúť český projekt *Dwarf digital archaeology*, ktorý vytvára 3D vizualizácie, animácie a tiež virtuálnu realitu.²⁴ Ďalej napríklad *Historium Brugge*, ktoré predstavuje moderný typ múzea, ktoré spojilo archeologické nálezy, historické správy a moderné technológie na prezentáciu stredovekých Brug. Múzeum vŕhne návštevníka pomocou špeciálnych efektov, virtuálnej reality a hudby do histórie príbehu tak, až má pocit, že ho sám prežil.²⁵ *The 3D Giza Project* umožňuje virtuálnu prehliadku 3D rekonštrukcie pyramíd v Gize a ich okolia.²⁶ Nakoniec projekt, *Rome Reborn*, predstavuje kompletný model antického Ríma s rekonštrukciami významných budov a pamiatok, na vrchole jeho najväčšej slávy.²⁷

7. Záver

Cieľom predkladaného článku, ktorý v sebe spája archeológiu a výpočtovú techniku, bolo zdokumentovanie drobných archeologických predmetov súčasnými aj inovatívnymi metódami a ich následné porovnanie. V článku sa nachádza podrobný popis 4 dokumentačných techník: kresby, fotografie, 3D fotogrametrie a 3D skenovania a ich vybavenia, postupov a zhodnotenie náročnosti pre každú vybranú metódu.

Každá z popisovaných metód má svoje výhody ale aj nevýhody, a preto nie je možné dogmaticky prehliasiť jednu z testovaných dokumentačných techník za jedinú správnu, ktorá by bola ultimátnym nástrojom, odpovedajúcim na všetky kladené otázky či požiadavky. Ako z našich záverov vyplýva, ideálnou cestou je prienik niekoľkých dokumentačných metód, ktoré

pružne reagujú na náročnú výzvu, ktorou dokumentácia archeologického materiálu bezpochyby je. Pre docielenie požadovaného výsledku je vhodná ich vzájomná kombinácia dopĺňajúca prípadné slepé miesta, ktoré nie sú jednotlivé metódy schopné pokryť.

Pre našu dokumentáciu drobných archeologických artefaktov vyšla jednoznačne najlepšie 3D fotogrametria. Na rozdiel od testovaného 3D skenera ponúka lepšie textúry, ktoré sú práve v archeológii, pri nemožnosti fyzického kontaktu s predmetom, veľmi dôležité. Táto metóda vychádza tiež najlepšie čo sa týka pomeru ceny a výsledkov.

Treba však mať stále na pamäti, že akýkoľvek záznam je len formou interpretácie a osoba vyhotoviteľa sa v ňom obyčajne prejaví, hoci aj len v malej miere. Pri procese kresby a fotografovania sa vo výsledku premietajú technické schopnosti, osobný prístup, ale aj odborný vŕhad do tematiky, ktorá je spracovávaná. Pri trojrozmerných modeloch by sme mohli argumentovať podobne, čo sa týka ľudského zásahu počas jednotlivých krokov, no veľkosť zásahu je maximálne potlačená na úkor presnosti technológie. Pri kresbe napríklad, vytvárame kresbu úplne nanovo, pričom pri 3D fotogrametrii je zásah tvorca omnoho menší, čo činí 3D fotogrametriu omnoho dôveryhodnejšou. Čo sa však týka subjektivity a zásahu človeka, tie sú najmenšie pri 3D skenovaní.

Článok okrem trojrozmerných dát, ich vlastností a využití v archeológii pojednáva v krátkosti o možnostiach ich uskladnenia a tiež možnosti publikácie, alebo vizualizácie a prezentácie kultúrneho dedičstva. Na podporu popularizácie a prezentácie vlastnej práce boli vytlačené 3D modely šachových figúrok, podľa technologickej špecifikácie popísanej v článku.

Na záver by sme radi dodali, že do budúcnosti majú trojrozmerné technológie určite čo ponúknuť vďaka rýchlo sa vyvíjajúcim technológiám. Moderná technika so svojou akcelerujúcou

evolúciou s určitým oneskorením preniká tiež do archeológie a pamiatkovej starostlivosti a prináša nám početné možnosti, ako našu prácu zjednodušovať, inovovať a hlavne lepšie sprístupniť ako odborníkom, tak predovšetkým širokej verejnosti. Spomenieme napríklad hmatové rukavice Gloveone, ktoré by mohli činnosť vo virtuálnom prostredí po zmyslovej stránke výrazne priblížiť reálnej práci so skutočnými ar-

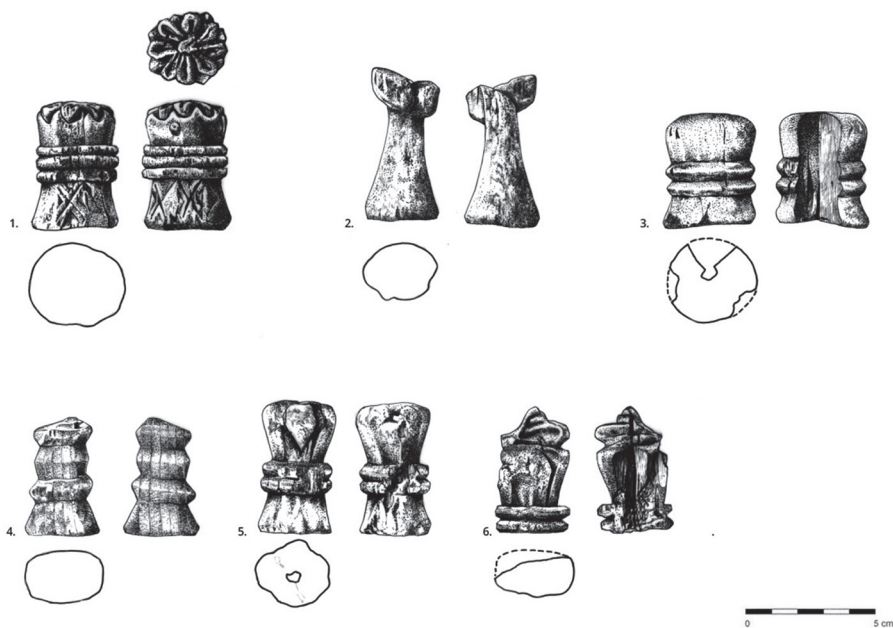
tefaktmi.²⁸ Tým by sa stali obrovským prínosom hlavne v archeológii, či už pri bádani, alebo pri prezentácii našej činnosti.

Všetky komparované metódy majú svoj veľký potenciál, či už pre bádateľské použitie, alebo pre popularizačné. Je len na nás, ako dobre sme schopní ich využiť a získané výstupy prezentovať širokej verejnosti, voči ktorej máme zodpovednosť za prezentáciu vedy.

- 1) Výsledky starších dát 3D fotogrametrie a 3D skenovania, ktoré sú porovnávané s novými dátami, sú k dispozícii od Mgr. Vojtěcha Noska (ÚArchMuz FF MU). Pre účel porovnania kresebnej dokumentácie boli k dispozícii staršie kresby od Lei Chatrnej (Muzeum města Brna), ktoré boli porovnávané s novými kresbami. Rovnako tak boli využité k porovnaniu nových fotografií staršie fotografie od Mgr. Šimona Kochana (ÚArchMuz FF MU) z roku 2013, ktoré sú tiež použité pri hodnotení degradácie figúrok.
- 2) Rada programov ponúka svojim potencionálnym užívateľom veľké množstvo edícií a typov licencií, ktoré potom dovoľujú jeden program zaradiť do viacerých kategórií. Rozradenie programov tak nie je možné chápať dogmaticky, ale slúži len na ukážku.
- 3) Programy sa rýchlo vyvíjajú a s nimi sa môžu meniť aj ich licenčné podmienky. Prípadne jeden program môže byť dostupný vo viacerých verziách, z ktorých si môže používateľ vybrať jemu používateľsky najviac vyhovujúcu variantu.
- 4) Prekonanie fragmentárnosti alebo viacero možností interpretácií by mnoho bádateľov mohlo označiť aj za možnú nevýhodu. Mnoho z nich sa opiera len o fakty a možné vizuálne interpretácie striktné oddeľujú od reálnej vedy.
- 5) Pri popise skúsenosti s prácou s 3D skenermi vychádzame z ústnych informácií Mgr. Mikoláše Jurdy, Ph.D. (ÚAntr Biol PřF MU) a Mgr. Vojtěcha Noska.
- 6) Za ústnu informáciu ďakujem Mgr. Petrovi Holubovi (Múzeum města Brna) a Mgr. Pavlovi Staňkovi (Archiaia z.ú.). Na inventári z výskumu na Panenskej ulici pracuje Múzeum mesta Brna, a bohužiaľ v súčasnosti nie je ešte dostupná nálezová správa.
- 7) Pre zväzovanie figúrok bola použitá kuchynská váha značky Emos TY3101B, ktorá váži s presnosťou na 1 gram a na meranie bola využitá šubléra, pravítko a krajčírsky meter.
- 8) Kresebná dokumentátorka na ÚArchMuz FF MU.
- 9) Makro kružítko umožňuje zaostriť na objekt z menšej vzdialenosti, vďaka čomu vieme vytvoriť detailnejší záber, avšak kvôli zväčšeniu vzdialenosti objektu od tela fotoaparátu dochádza k úbytku svetla, ktoré sa dostáva na snímač fotoaparátu.
- 10) Presný postup editácie je popísaný v bakalárskej práci autorky (Kosmelová 2018, 46–47).
- 11) Napríklad grécka keramika s maľovanou zoomorfnou výzdobou (Boardman 1998, 125).
- 12) Pre kresbu to bola Mgr. Soňa Plchová (ÚArchMuz, FF, MU), pre 3D fotogrametriu Mgr. Vojtěch Nosek (ÚArchMuz, FF, MU) a pre 3D skenovanie Mgr. Mikoláš Jurda, Ph.D. (ÚAntr - Biol, PřF, MU).
- 13) Modely boli k dispozícii od Mgr. Vojtěcha Noska.
- 14) <https://www.danielgm.net/cc/>.
- 15) Zoznam aktuálnych 3D formátov dostupný na https://fileinfo.com/filetypes/3d_image.
- 16) Posledná z nich však nedokáže niesť textúru.
- 17) *The MayaArch3D Projekt* vyvinul open source program v ktorom sú testované 4 nástroje umožňujúce skladovať, upravovať, analyzovať a vizualizovať dáta rôznych formátov a rozlíšenia, slúžiace zatiaľ ako prototypy (Reindel – Isla – Otten – Gorbahn – Schwerin 2014).
- 18) Ako príklad straty veľkého množstva predmetov a výsledkov z výskumu uvedieme rozsiahly požiar v Mikulčiciach z roku 2007, kedy boli nenávratne zničené nielen cenné predmety z depozitára, ale aj celá dokumentácia päťdesiatročného výskumu, ktorý tým pádom akoby vôbec ani neprebehol. Je nutné dodať, že prehliadanie akútne zlého stavu budovy stálo život strážnika.
- 19) Ako príklad je možné uviesť nový projekt Akadémie vied ČR Švédská knižní kořist z Čech a Moravy 1646–1648, zameriavajúci sa na katalógizáciu a digitalizáciu dokumentov odcudzených z Čiech behom Tridsaťročnej vojny (<https://www.knizni-korist.cz/>).

- 20) Pre príklad opäť uvidíme zaujímavý projekt *The Maya Music Project*, ktorý výrazne pomáha pri skúmaní hudobných nástrojov v mayskej civilizácii. Väčšina nálezov je umiestnená v múzeách, zbierkach a laboratóriách naprieč celou Mezoamerikou, čo neskutočne sťažuje skúmanie a prípadné porovnávanie artefaktov z rôznych zbierok činí skoro nereálnym (Katz 2016, 31). Výskumník by potreboval množstvo povolení pre špeciálny prístup do rôznych inštitúcií, cestovať do rôznych lokalít a manuálne by musel v každej inštitúcii prechádzať zbierky, pretože nástroje môžu byť zaradené v rôznych kolekciiach. Vďaka projektu má prístupné 3D modely, ktoré si prípadne môže vytlačiť.
- 21) Opäť by sme radi demonštrovali na príklade projektu *The Maya Music Project* (Katz 2017, 36), počas ktorého boli študentom rozdane repliky hudobných nástrojov, o ktorých si mali dohľadať všetky dostupné archeologické informácie a vo výsledku ich mali odprezentovať svojim spolužiakom aj s pokusom o zahranie na daný artefakt. Tento projekt dosiahol medzi študentmi 80% úspešnosť pri učení sa o hudobných artefaktoch mayskej civilizácie a 87% úspešnosť pri popularizácii a záujme o archeológiu (Katz 2017, 36).
- 22) Napríklad Archeologické 3D virtuálne múzeum (<http://www.archaeo3d.com/virtualni-muzeum/>).
- 23) Viac informácií o projekte na <https://mayaarch3d.org/en/>.
- 24) Viac informácií o projekte na <https://www.dwarfdigital.cz/index.php/archeologie/>.
- 25) Viac informácií o projekte na <https://www.historium.be/en>.
- 26) Viac informácií o projekte na <http://giza.fas.harvard.edu/>.
- 27) Viac informácií o projekte na <https://www.romereborn.org/>.
- 28) Viac informácií na <https://avatarvr.es/>.

Obrazová príloha



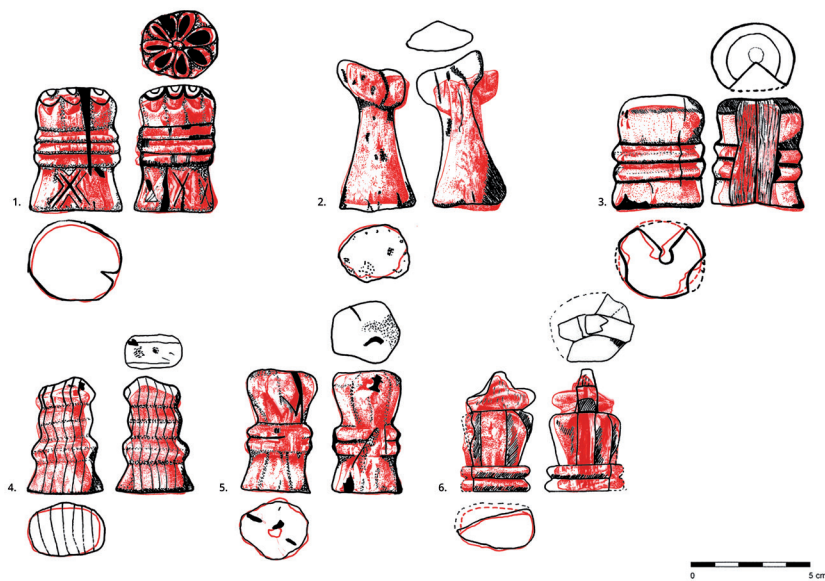
Obr. 32. Staršia kresebná dokumentácia šachových figúrok. Upravená tabuľka kvôli potrebe zjednotenia číslovania. Kresba: L. Chatrná (Kosmelová 2018, 101).

Fig. 32. Old drawing of chess pieces. Plate has been edited according to need of unified of numbering of chess pieces. Drawing: L. Chatrná (Kosmelová 2018, 101).



Obr. 33. Nová kresebná dokumentácia šachových figúrok. Kresba: N. Kosmelová (Kosmelová 2018, 102).

Fig. 33. New drawing of chess pieces. Drawing: N. Kosmelová (Kosmelová 2018, 102).



Obr. 34. Subjektivita dvoch kresebných dokumentátorov a chyby vzniknuté pri meraní artefaktov. Viditeľné rozdiely v skúsenostiach dokumentátorov. Zdroj: N. Kosmelová 2018.

Fig. 34. Subjectivity of two drawers and the artefact measurement errors. Visible differences in the expertise of individual drawers. Source: N. Kosmelová 2018.



Obr. 35. Upravená tabuľka staršej fotografickej dokumentácie pre potrebu zjednotenia číslovania figúrok. Foto: Š. Kochan.

Fig. 35. A plate with older documentary photos modified for the needs of a unified numbering of chess pieces. Photo: Š. Kochan.



Obr. 36. Nová fotografická dokumentácia šachových figúrok. Foto: N. Kosmelová.

Fig. 36. New photographic documentation of chess pieces. Photo: N. Kosmelová.



FIGÚRKA Č. 1.



FIGÚRKA Č. 2.



FIGÚRKA Č. 3.



FIGÚRKA Č. 4.



FIGÚRKA Č. 5.



FIGÚRKA Č. 6.



FIGÚRKA Č. 7.

Obr. 37. Vygenerované QR kódy pre 3D modely získané pomocou 3D fotogrametrie (Kosmelová 2018, 105).

Fig. 37. QR codes for 3D models acquired by 3D photogrammetry (Kosmelová 2018, 105).

Použitá literatúra a zdroje

- Boháč, O. 2014:* Optické korelační systémy – průzkum a zhodnocení aktuálního stavu. Rukopis diplomové práce uložené v ČVUT, FSV, obor Geodézie a kartografie, vedoucí práce Ing. Jindřich HO-DAČ, Ph.D. Praha.
- Boardman, J. 1998:* Early Greek Vase Painting, Londýn: Thames and Hudson.
- Frank, R. – Kriesberg, A. – Yakel, E. – Faniel, I. 2015:* Looting hoards of gold and poaching spotted owls: data confidentiality among archaeologists & zoologists. *Proc. Assoc. Inf. Sci. Technol.* 52 (1), 1–10.
- Frouz, M. – Králík M. 2015:* Fotografie v biologické antropologii. Brno.
- Gilboa, A. – Kolomenkin, M. – Tal, A. – Shimshoni, I. 2013:* Computer-based, automatic recording and illustration of complex archeological artifacts. In: Hunt, C. O. – Klein, R. G. – Rehren, Th. – Torrence, R. (eds.): *Journal of Archaeological Science* 40, 1329–1339.
- Gruen, A. 2008:* Image-based 3D recording and modeling of landscapes and large Cultural Heritage sites. In: *Training Seminars on Research Planning, Conservation, Characterization and Management in Archaeological Sites*. Bologna.
- Griffiths, N. – Jenner, A. – Wilson, Ch. 1990:* Drawing Archaeological Finds. Salisbury.
- Johnson, J. S. 1994:* Consolidation of Archaeological Bone. *Journal of Field Archaeology* 21, 221–233.
- Karasik, A. – Smilansky, U. 2008:* 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. *Journal of Archaeological Science* 35/5, 1148–1168.
- Kasser, M. – Egels, Z. 2002:* Digital Photogrammetry. New York.
- Katz, J. 2016:* The Maya Music Project: Analysis and documentation of ancient Mayamusical artifacts. *Studien Zur Musikarchäologie* X, 257–261.
- Katz, J. 2017:* Digitized Maya Music: The creation of a 3D database of Maya musical artifacts. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 6, 29–37.
- Kenney, A. R. – Rieger, O.Y. 2000:* Moving theory into Practice. Digital imaging for libraries and archives. Mountain View. RLG.
- Kochan, Š. 2014:* Nálezový soubor ze středověké studny benediktinského probošství v Brně Komárově. Rukopis diplomové práce uložené v ÚAM FF MU Brno, vedoucí práce Mgr. Jana Mazáčková, Ph.D. Brno.
- Kochan, Š. – Sedláčková, H. – Vachůt, P. 2015:* Nálezový soubor ze středověké studny benediktinského probošství v Brně-Komárově. *Pravěk* NŘ 23, 231–287.
- Kosmelová, N. 2018:* Aplikácia inovatívnych metód dokumentácie drobných archeologických artefaktov. Rukopis diplomovej práce uložené na ÚAM FF MU Brno, vedúci práce Mgr. Vojtěch Nosek. Brno.
- Kuna, M. 2004:* Nedestruktivní archeologie: Teorie, metody a cíle. Praha.
- Král, M. 2010:* Adobe Photoshop Lightroom 2. Praha.
- Malina, O. 2008:* Poznámky k možnostem 3D rekonstrukcí v archeologii, In: Macháček, J. (ed.): *Počítačová podpora v archeologii* 2. Brno – Praha – Plzeň, 212–216.
- Navrátil, R. 2016:* Technologie skenování ve 3D [online, e-skripta]. [cit. 2018–06–26]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie-skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>
- Neustupný, E. 2007:* Metoda archeologie. Plzeň.
- Nosek, V. 2014:* Srovnání možností 3D fotogrammetrie a 3D skeneru při dokumentaci archeologických artefaktů. Rukopis diplomové práce uložené na ÚAM FF MU Brno. Vedúci práce Mgr. Dagmar Vachůtová, Ph.D. Brno.
- Orton, C. – Tyers, P. – Vince, A. 1993:* Pottery in Archaeology. Cambridge.
- Plzák, J. 2016:* Moderní dokumentační metody archeologických faktů, rkp. Dizertační práce uložené na Západočeské univerzitě v Plzni.
- Págo, L. 1985:* Úvod do muzejní konzervace a restaurování. Skripta FF UJEP, Brno.
- Porter, S. – Roussel, M. – Soressi, M. 2016:* A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field: Lithic Examples from the Early Upper Paleolithic Sequence of Les Cottés (France). *Advances in Archaeological Practice*, 4(1), 71–86.
- Reindel, M. – Isla, J. – Otten, H. – Gorbahn, H. – Schwerin, J. 2014:* Archäologische Forschungen

in Peru und Honduras im Jahr 2013. Zeitschrift für Archäologie Außereuropäischer Kulturen 6, 289–308.

Richards-Rissetto, H. – Schwerin, J. 2017: A Catch 22 of 3D Data Sustainability: Lessons in 3D Archaeological Data Management & Accessibility. Journal of Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage 6, 38–48.

Smith, C. W. 2003: Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artifact Stabilization. College Station.

Škopek, R. 1956: Fotografie v našich službách. Praha.

Švejnoha, J. 2010: Fotogrametrická dokumentace archeologických terénních výzkumů. Acta Faculty of Philosophical Sciences of the University of Plzeň 1, 109–117.

Valoch, K. – Lázníčková-Galetová, M. 2009: Nejstarší umění střední Evropy. Brno.

Zelinger, J. – Šimůnková, E. – Kotlík, P. 1982: Chemistry in Work of the Conservator. Academia, Praha.

Wilczek, J. a kol. Prostorová dokumentace artefaktů a vytváření 3D modelů [online, rozpracovaná e-skripta]. [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: <https://elf.phil.muni.cz/elf3/mod/folder/view.php?id=159222>

Zoznam použitých internetových odkazov

Projekt Akademie věd ČR Švédská knižní kořist z Čech a Moravy 1646–1648. <https://www.knizni-korist.cz/>

Platforma na ktorej sú uložené 3D modely. <https://sketchfab.com/eNka44>

Cloud Compare. <https://www.danielgm.net/cc/>

Archeologické 3D virtuálne múzeum.

<http://www.archaeo3d.com/virtualni-muzeum/>

Ukážka virtuálnej prehliadky v prostredí The Maya Arch3D Project. http://3dom.fbk.eu/repository/files/vt_copan/index-EN.html

Odkaz na oficiálne stránky Maya Arch 3D. <http://www.mayaarch3d.org/language/en/sample-page/>

Odkaz na oficiálne stránky Dwarf digital. <https://www.dwarfdigital.cz/index.php/archeologie/>

Odkaz na oficiálne stránky Historium Brugge. <https://www.historium.be/en>

Odkaz na oficiálne stránky The 3D Giza Project. <http://giza.fas.harvard.edu/>

Odkaz na oficiálne stránky Rome Reborn. <https://www.romereborn.org/>

Hmatové rukavice Gloveone. <https://avatarvr.es/>

Zoznam 3D formátov. https://fileinfo.com/file-types/3d_image

Digital and analogue documentation approaches in archaeology: Chess pieces as a case study

The article is based on the still unpublished Bachelor's thesis by Natália Kosmelová. Thematic focus is laid on the methods of documentation of archaeological artefacts with emphasis on the comparison of standard documentation techniques and innovative digitisation approaches, such as 3D scanning or photogrammetry. Their use is studied from the perspective of technical difficulty, time demands and applicability to diverse archaeological material. The article is also extended by the evaluation of benefits of these new approaches from the viewpoint of their use as a promotion tool and improvement of accessibility of unique artefacts to general public.

Standard documentation methods used with archaeological artefacts are drawing and photographing. New digital methods include 3D scanning (3D scanners used: Mephisto EOSScan and NextEngine) and photogrammetry (software used: 3D Software Object Modeler and Agisoft Photoscan Pro). All these approaches were applied to a reference set of prestigious artefacts – seven high medieval chess pieces from the territory of Brno. Six wooden pieces come from excavations of the Benedictine Provostry in Komárov and the last piece is made from bone and comes from excavations in the Panenská Street. All tested methods proved suitable for documentation of these materials and confirmed the necessity of a complex documentation of artefacts, which despite conservation suffer from degradation of their structure and morphology.

The evaluation of applicability and demands of individual methods was conducted by the authors in the form of personal observation. All approaches were evaluated for the necessary equipment, staff competence, time and financial demands, fidelity of the result compared to the original, achieved accuracy, possible subjective influence on the result, and the possibility of using the result for subsequent scientific analysis.

The article describes both the elaborated and applied documentation methods, and the knowledge based on the authors' empiricism and personal observation. It also comprises a list of technical equipment, appliances and their technical parameters. The documentation results are partly attached as pictorial supplements and partly published online on the Sketchfab 3D visualisation platform. Emphasis is also put on criticism of older results of 3D documentation, which were acquired by the authors in 2012 and 2014 using the methods available at that time. It is evident that the progressive development of this documentation branch should be monitored and reflected as quickly as possible to document artefacts with the best suitable and best possible method. Standard methods like drawing or photographing of course cannot yet be left out from the documentation process, but the possibilities of new digitisation methods must be used. Besides their great visualisation and popularisation potential, they also offer a large space for scientific analysis in the field of morphological and archaeometric studies of artefacts.

Bc. et Bc. Natália Kosmelová

• Ústav archeologie a muzeologie,
Filozofická fakulta, Masarykova univerzita,
A. Nováka 1, 602 00 Brno, Česká republika
428255@mail.muni.cz

Mgr. Vojtěch Nosek

• Ústav archeologie a muzeologie,
Filozofická fakulta, Masarykova univerzita,
A. Nováka 1, 602 00 Brno, Česká republika
330862@mail.muni.cz



Toto dílo lze užít v souladu s licenčními podmínkami Creative Commons BY-SA 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>). Uvedené se nevztahuje na díla či prvky (např. obrazovou či fotografickou dokumentaci), které jsou v díle užity na základě smluvní licence nebo výjimky či omezení příslušných práv.