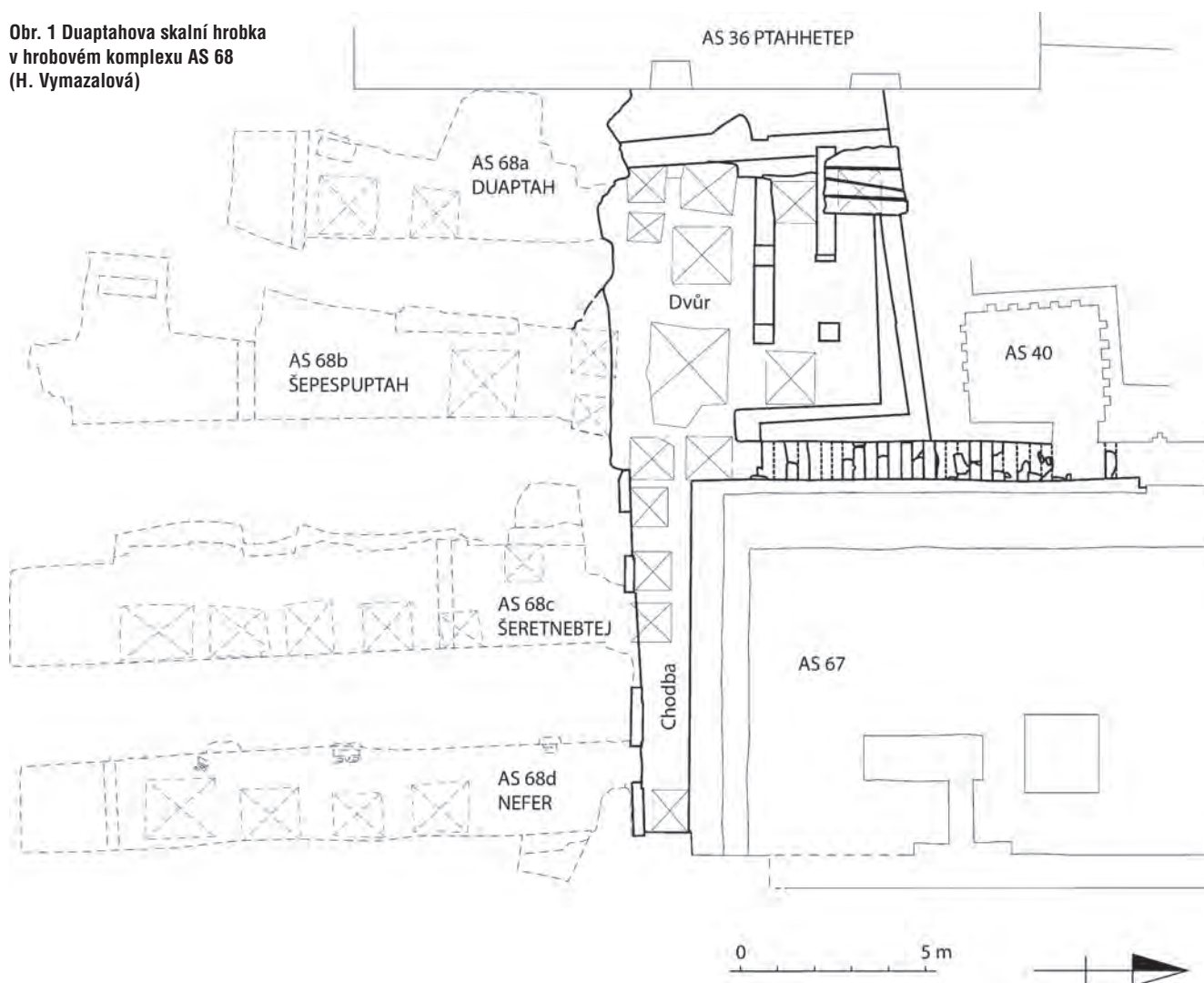


Obr. 1 Duaptahovalská skalní hrobka  
v hrobovém komplexu AS 68  
(H. Vymazalová)



## Laserové skenování Duaptahovalské skalní hrobky v jižním Abúsíru

*Vladimír Brůna – Marcel Brejcha – Miroslav Bárta*

Dokumentační metody tvoří nedílnou součást archeologického terénního výzkumu. Metod zobrazení a převodu reálného stavu výzkumu do analogové či digitální formy je velké množství. V posledním čtvrtstoletí je patrný zásadní vliv nových informačních technologií a směřování ke komplexní digitalizaci archeologického výzkumu. Základní dokumentační metodou však zůstává ta nejstarší a nejjednodušší, kdy archeolog sám dokumentuje výzkum pomocí jednoduchých měřicích pomůcek (pásmo, olovnice, skládací metr, milimetrový papír atd.). Při této metodě hraje významnou roli subjektivní pohled archeologa, jenž vkládá do tvorby dokumentačních podkladů své dovednosti, zkušenosti a znalosti. S tím souvisí možný problém vlastní interpretace objektu, která je subjektivní, a každý jiný archeolog by provedl interpretaci více či méně odlišně. Tato skutečnost je však archeologické obci známa a takové chyby lze minimalizovat.

### Úvod

Propojí-li se základní dokumentační metody s metodami geodetickými (nivelace, polohopisné měření), je možno

zmapovat větší území a získat jak výškopisné, tak i polohopisné informace o výzkumu. Pomocí moderních totálních stanic se provádí přímý sběr prostorových dat a poté import do prostředí programů pro následnou vizualizaci

a tvorbu grafických výstupů (Hogg 1980; Bettess 1992; Vachala – Procházka 2003; Howard 2006; Poslončec-Petrič *et al.* 2007). Geodetické metody jsou propojeny s tvorbou map a plánů, kdy se získaná prostorová data zpracovávají pomocí metod digitální kartografie (Di Giacomo *et al.* 2011). K nim patří geografické informační systémy (GIS), které jsou v archeologii používány více než dvacet pět let a slouží pro vizualizaci, analýzy a syntézy prostorových dat ve formě vektorové i rastrové. V GIS je možno pracovat ve 2D a 3D, a pokud se v prostředí GIS vizualizují data z různých časových úrovní, lze provádět časoprostorové analýzy změn zkoumaných objektů a prostředí, v němž se nacházejí (Westcott – Brandon 2000; Wheatley – Gillings 2002; Chapman 2006; Drummond *et al.* 2007; Ullah 2011).

Další významnou metodou v archeologii je dálkový průzkum Země (DPZ) z různých výškových úrovní. Kromě již velmi zřídka využívané švédské věže a monopodu se při dokumentaci používá systém *Kite Aerial Photography* (KAP), finančně dostupná a jednoduchá metoda, vhodná zejména pro složité podmínky (přírodní a bezpečnostní) v Egyptě a v Súdánu (Brůna 2013). Systémy *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) jsou v posledních letech masivně využívány pro svoji operativnost a přesnost sběru dat. Základnu metod DPZ doplňují tradiční letecké a satelitní záznamy s vysokým rozlišením (Goossens – Van Ranst 1998; Parcak 2004; Wiseman – El-Baz 2007; Al-Kheder *et al.* 2009; Eisenbeiss 2009; Parcak 2009; Lasaponara – Masini 2011; Colomina – Molina 2014).

Fotografie byla součástí archeologických výzkumů od svého vzniku a je stálíci používaných metod. S rozvojem digitální fotografie, vysokého rozlišení, a tím i zvýšení celkové kvality fotografie nastupují výpočetní metody pro tvorbu 3D modelů objektů a animace a tvorbu např. 3D panoramat (Núñez Andrés *et al.* 2012; Arbace *et al.* 2013; De Reu *et al.* 2013).

Jak DPZ, tak i fotografické metody jsou metodami bezkontaktními, mezi něž patří i fotogrammetrie a laserové skenování. Tyto nové metody výrazně rozšiřují potenciál dokumentace archeologických objektů a poskytují archeologům nové pohledy na studované objekty (Baltsavias 1999; Lamberts *et al.* 2007; Al-Kheder *et al.* 2009; Armesto-González *et al.* 2010; Cowley – Opitz 2013).

Cílem příspěvku je představit možnosti využití metody pozemního laserového skenování (TLS) při dokumentaci archeologického objektu.

## Laserové skenování

Laserové skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování, vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů atp. s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. Nasnímaný objekt je v prostředí specializovaného programu zobrazen ve formě mračen bodů, na jejichž základě je vytvořen model objektu. Ten lze poté po úpravách přenést například do CAD systému nebo jiných programů, jež pracují s 3D. Většina skenovacích systémů využívá nejmodernější pulsní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou (Axelsson 1999; Mills – Andrews 2011).

Mezi výhody těchto progresivních technologií patří:

- detailní zaměření aktuálního stavu s výrazně vyšší produktivitou práce;
- významné zkrácení práce v terénu při podstatně vyšší bezpečnosti;
- skutečnost, že měření může probíhat za plného provozu, popř. s výrazným zkrácením délky odstávky náročných provozů na minimum;
- rychlé zpracování 3D modelů při použití odpovídající techniky a programového vybavení.

V praxi jsou používány pozemní (terestrické) laserové skenovací systémy (TLS) a letecké laserové skenovací systémy, obecně hovoříme o LIDAR technologiích. Například letecký systém je složen z laserového skeneru, měřicí jednotky GPS, inerciální jednotky a řídicí jednotky spojené se zařízením pro ukládání dat. V praxi jsou některé systémy rozšířeny ještě o část snímající obraz – texturu skenovaného území. Jedná se buď o RGB skener, digitální videokameru s vysokým rozlišením, nebo digitální fotogrammetrickou kameru. Kromě tzv. mračen bodů tak zpracovatel získává i obrazovou informaci pro snadnější orientaci v měřeném prostoru a identifikaci měřených objektů. Snímek lze rovněž použít jako texturu na nově vytvořený 3D model.

## Teorie fungování laserových skenovacích systémů

Základním principem fungování laserového skeneru je prostorová polární metoda. Výsledkem výpočtu jsou 3D souřadnice měřeného bodu objektu v souřadnicovém systému skeneru, který je obecně orientován.

Pro naskenování bodů objektu se používá principů rozmitání laserového svazku, jejichž pomocí jsou na povrchu objektu měřeny body v profilech ve zvolené hustotě.

Takto zaměřené body tvoří tzv. mračno bodů. Pro zlepšení orientace uživatele při zobrazení je v některých systémech bod zobrazen nejen svou polohou, ale také barevně. Barva vyjadřuje intenzitu přijatého signálu při měření délek. Barevně jsou tedy odlišeny povrchy z různých materiálů, s různou úpravou a různou geometrickou konfigurací (Axelsson 1999; Mills – Andrews 2011).

Po získání mračna bodů následuje aproximace měřených bodů geometrickými entitami, tj. křivkami a plochami, případně tělesy. Jakkoli toto vyjádření zní jednoduše, jedná se o nejnáročnější část zpracování. Mnoho kreslicích systémů používá geometrii drátových modelů. Body zadané prostorovými souřadnicemi jsou spojovány přímkovými segmenty nebo kruhovými oblouky. Tím vzniká model prostorového objektu, který vypadá, jako by byl sestaven z drátů. Druhou možností je modelování objektu pomocí jednoduchých předdefinovaných objektů, tzv. primitiv. Tato primitiva jsou definována parametricky, svým matematickým vyjádřením. Mohou jimi být např. koule, kvádr, válec, kužel apod.

Takto vytvořený digitální model umožňuje měření, úpravy a další operace, ale z hlediska lidského vnímání může být nepřehledný, a proto se přistupuje k vizualizaci, jejíž výsledek slouží pro prezentační účely, ale hlavně usnadňuje orientaci modelu a dále umožňuje rozšíření modelu o další údaje, jako jsou materiály, textury, osvětlení apod.



Obr. 2 Jižní Abúsír, oblast AS 68 na snímku z *Kite Aerial Photography* (foto V. Brůna)

Dalším krokem zpracování modelu je tedy jeho vizualizace, která spočívá hlavně v přiřazení materiálů (jejich textur), osvětlení a zpracování zobrazení pomocí softwaru. Takto vytvořený model umožňuje mimo jiné virtuální prohlížení. Jednotlivé snímky jsou generovány s fotografickou kvalitou a lze je využít např. pro prezentaci modelu, zhodnocení vlivu nové zástavby na aktuální ráz krajiny apod.

Mimořádný význam má laserový skenovací systém v oblasti architektury, zejména při přípravě a zpracování dokumentace historických budov, a další široké uplatnění nachází v oblasti archeologie při zaměřování a dokumentaci zkoumaných i nalezených předmětů.

### Duaptahova hrobka

Duaptahova skalní hrobka v jižním Abúsíru (obr. 1 a 2) pochází přibližně z období vlády panovníka Niuserrea, jež spadala do 2. poloviny 25. stol. př. Kr. Jedná se o typickou skalní hrobku sestávající z dlouhé chodby vytesané ve skále (o délce 11 m a šířce 4 m). V západní stěně kaple se otevírá velká nika, hlavní místo kultu zesnulého. V podlaze kaple se pak nacházejí ústí dvou šachet vedoucích do pohřebních komor majitele hrobky a dalšího muže. Ty se nacházejí v hloubce několika metrů (Vymazalová – Dulíková 2012a, 2012b).

Svou velikostí patří hrobka v jižním Abúsíru mezi středně velké (Bárta 2011). Je součástí většího pohřebiště

patřícího členům jedné velké rodiny s významným postavením a velkým vlivem u královského dvora. Jednalo se o významné lékaře, kněze a úředníky. V případě Duaptaha víme, že šlo o „inspektora Velkého domu“, tedy člověka, který se pohyboval v blízkosti panovníka a měl na starosti každodenní provoz jeho sídla.

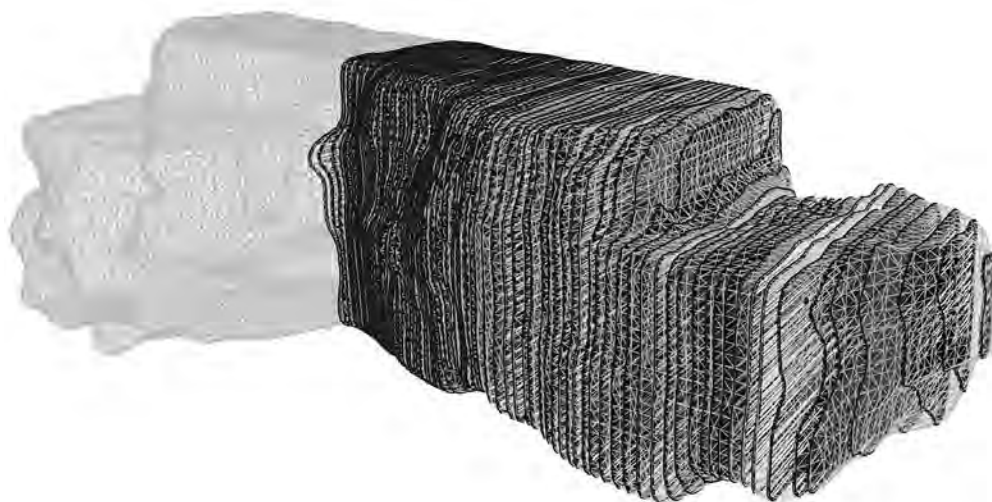
Duaptahova skalní kaple je jednou ze sedmi skalních kaplí nacházejících se na tomto uzavřeném pohřebišti. Pohřebiště jako celek, jeho koncept a uspořádání, je rovněž jedním z prvních dokladů vzrůstající moci rodin vlivných hodnostářů, kteří začínají dominovat státnímu aparátu. To konečně dokládá i fakt, že jeden z členů této rodiny (zřejmě Iti) si vzal za manželku královskou dceru Šeretnebtj, jejímž otcem byl právě Niuserre. Touto novou politikou si panovníci zavazovali vlivné hodnostáře a zajišťovali si jejich loajalitu (Bárta 2013).

Architektura a její výzkum a dokumentace tedy obsahují velkou množinu aspektů, které vedou nejen k lepšímu poznání její podstaty jako takové, ale velmi dobře dokládají i povahu a závažnost společenských změn.

### Sběr dat v terénu

Skenování na lokalitě jižní Abúsír probíhalo v květnu roku 2012. Během 14 pracovních dnů bylo skenováno celkem 12 objektů nacházejících se na zemském povrchu a v pod-

Obr. 3 Celkový pohled na 3D model Duaptahtovy hrobky (M. Brejcha)



zemí. Skalní hrobka královského inspektora Duaptaha, která je situována v pilířovém dvoře objektu AS 68, byla před vlastním skenováním vyčištěna. Skenování probíhalo v dopoledních hodinách a sběr dat byl proveden ze tří stanovisek. Ke sběru prostorových dat byl použit laserový skener FARO Focus3D.<sup>1</sup> Jeho hlavní výhodou je malá velikost a s ní spojená kompaktnost. Se svými rozměry 24 × 20 × 10 cm a hmotností pouhých 5 kg je FARO Focus3D nejmenším laserem ve své kategorii. Má dosah až 120 m a je velmi rychlý a přesný. Vytváří dokonale reálnou kopii prostoru s milimetrovou přesností při rychlosti měření až 976 000 bodů za sekundu. Má velmi jednoduché ovládání prostřednictvím dotykového displeje a možnost připojení k mobilnímu zařízení pomocí Wi-Fi. Skener byl umístěn na fotografickém stativu GITZO GT2531. Na každém stanovisku bylo skenováno kompletní horizontální zorné pole v rozsahu 360° a vertikální pole o velikosti 305°.

### Zpracování primárních dat

Výsledkem laserového skenování v Duaptahtově hrobce byla tři dílčí mračna prostorových bodů, která byla získána z jednotlivých stanovisek skeneru. S využitím prostorové transformace pomocí vřícovacích bodů bylo provedeno propojení těchto dílčích útvarů v jedno výsledné mračno bodů, které reprezentovalo geometrii analyzované hrobky. Samotná metoda pozemního laserového skenování (TLS) přináší velmi kvalitní prostorové i další informace o měřeném objektu. Vedle získaných souřadnic  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , tj. prostorové poloze jednotlivých bodů v rámci bodového mračna, to jsou zejména hodnoty RGB, jejich barva a intenzita odrazu jednotlivých světelných paprsků.

Charakteristickou vlastností mračna bodů jako výsledku laserového skenování je i jejich vysoká hustota, která v tomto případě oscilovala okolo 2 mm. Důležitým kritériem úspěšné přípravy dat pro vytvoření účelně využitelného 3D modelu je jejich správná generalizace, kdy je nutné vzít v úvahu skutečnost, že zpracovaný model bude dále využíván pro práci i v jednoduchých grafických programech. Počet zaměřených bodů v tomto případě překročil hranici sedmi milionů, a proto bylo za účelem snadné použitelnosti výsledného 3D modelu přikročeno k jejich redukci – generalizaci.

Měřítkem úspěšnosti této generalizace bylo nalezení takového počtu bodů, aby výsledná geometrie dokumentovaného objektu zůstala zachována v rámci zadané tolerance. V tomto případě byla tato tolerance stanovena na 3 cm.

Při zpracování bodového mračna pořízeného při laserovém skenování Duaptahtovy hrobky byla pro jeho generalizaci aplikována metoda vytváření tzv. *octree* objektů v programovém systému MeshLab. Výsledný model byl interpretován prostřednictvím polygonové sítě (tzv. *meshe*) ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN). Tato trojúhelníková síť je reprezentována celkem 23 434 vrcholy a 46 860 trojúhelníky. Výpočet objemu tělesa hrobky byl proveden profilovou metodou výpočtu objemů, která je reprezentována vztahem mezi plošnými obsahy sousedních příčných profilů ( $P_1$ ,  $P_2$ ) a jejich vzdálenostmi ( $d$ ) s následným součtem všech dílčích objemů v rámci zájmového objektu. Objem mezi dvěma sousedními profily je dán vztahem

$$V = d/3 (P_1 + P_2 + \sqrt{P_1P_2})$$

Z uvedeného matematického zápisu vyplývá skutečnost, že přesnost výpočtu výsledného objemu je nejvíce závislá na vzdálenosti mezi jednotlivými profily. Vytvoření příčných profilů v modelu hrobky představuje jen nenáročnou operaci s možností volby jejich libovolné rozteče. Při samotném výpočtu, kdy byla aplikována rozteč 5 cm mezi jednotlivými profily, měl výsledný objem hodnotu 55,35 m<sup>3</sup>. Největší změřená šířka hrobky byla 4,30 m, délka 9,34 m a výška 2,68 m (obr. 3).

### Využití vytvořeného 3D modelu

Zpracovaný 3D model vykazuje parametry objemového tělesa, se kterým je možné vytvářet řadu dalších operací.

Jedná se například o:

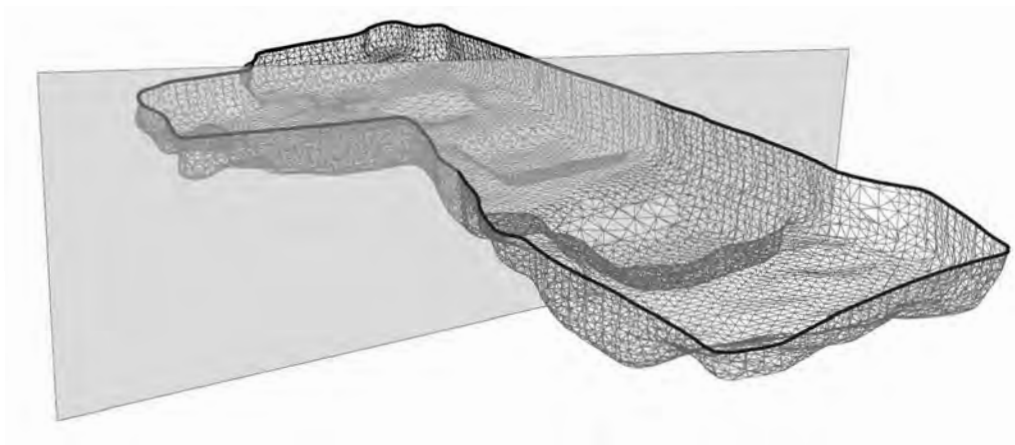
- výpočty objemu vybraných částí objektu;
- tvorbu horizontálních a vertikálních řezů dle požadavku zadavatele;
- převod do 2D – půdorys, řezy atd.

Velikost datového souboru obsahující celý model ve formátu DXF (obecný výměnný datový formát pro grafické objekty) je 8 MB. Na získaném prostorovém objektu byly

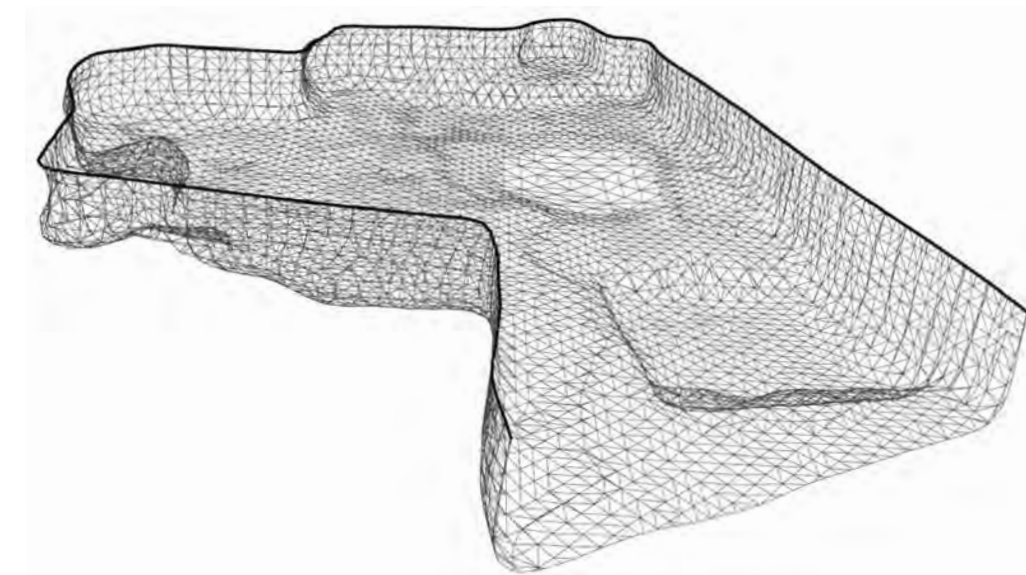
v prostředí programu Autodesk AutoCAD 2014 vytvořeny horizontální i vertikální řezy jako další prvky do souboru dat určených k dokumentaci podzemních prostor hrobky. Kontury jednotlivých řezů byly zapracovány do podoby grafické entity *3D polyline*, která je svými vlastnostmi (má v každém svém vrcholu souřadnici x, y, z) předurčena pro další návazné použití (obr. 4–6) v běžně používaných CAD

systémech a dalších grafických programech. Běžnou funkcí CAD systémů je vytváření řezů v libovolném místě, včetně jejich doplnění o popis geometrie a dalších informací.

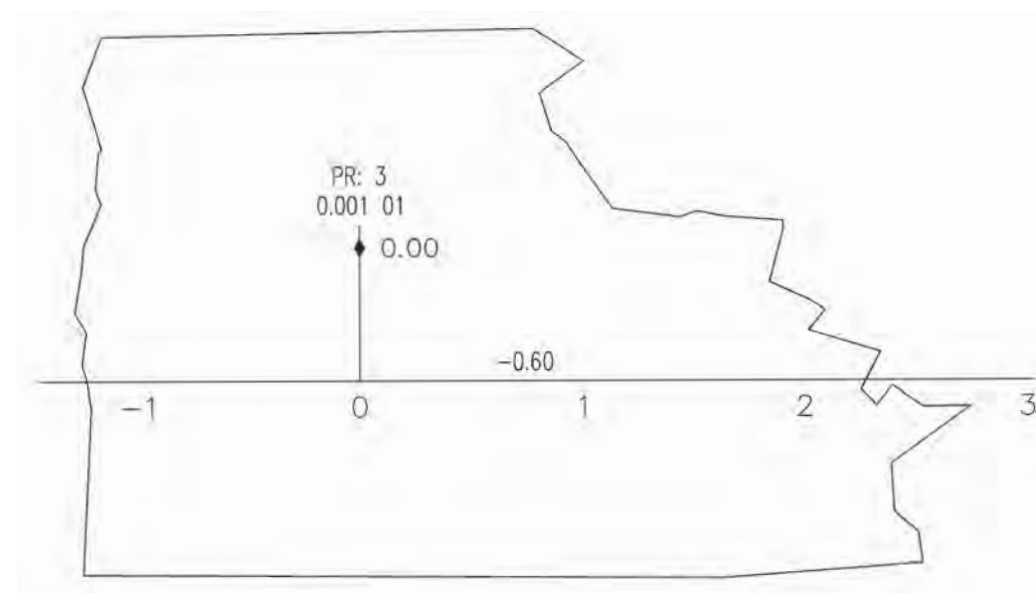
Vektorové zpracování v této formě je také předurčeno pro vytvoření prostorových vizualizací v interaktivní nebo statické formě. Jedním z hojně využívaných výsledků je formát 3D PDF.<sup>2</sup>



Obr. 4 Horizontální řez (M. Brejcha)



Obr. 5 Detail řezu (M. Brejcha)



Obr. 6 Příčný řez (M. Brejcha)

Uživatel má pomocí této aplikace k dispozici funkce pro navigaci ve 3D scéně, měření geometrie modelu, volbu režimů zobrazení a v neposlední řadě také vytváření vlastních řezů modelem. Samostatnou kapitolou je možnost vytváření datového předpisu (např. formát STL) pro 3D tiskárnu s následným vytvořením *hmotného* modelu dokumentovaného objektu v požadovaném měřítku, které již v současnosti nabízí většina CAD programů.

## Zhodnocení a závěr

Použití laserového skenování při dokumentaci vybraných objektů v Abúsíru ukázalo jednoznačný pozitivní přínos, zejména v rychlosti sběru dat, následném zpracování modelu a možnosti různých dílčích výstupů (výpočty, řezy, půdorysy). Použitý skener obstál i v těžkých terénních podmínkách. Prokázal spolehlivost při vysokých okolních teplotách, na přímém slunci při teplotě 45 °C, také při vysoké vlhkosti a prašnosti. Překážkou použití skeneru v Egyptě je samotný dovoz drahého přístroje a absence dalšího příslušenství (odrazné objekty), které je objemné.

Protože se jedná o bezkontaktní metodu sběru prostorových dat, nebyl nijak narušen vlastní objekt skenování (reliéf, polychromie ad.), na rozdíl od použití ručního skeneru při dokumentaci lebky Neferinpua, kdy bylo podmínkou nalepit na objekt reflexní body. Pomocí analýzy prostorového modelu byl zjištěn celkový objem skalní hrobky (55 m<sup>3</sup>), který vypovídá o množství odtěženého materiálu a poskytuje archeologovi velmi cennou informaci.

V rámci sběru prostorových dat byl skenován terén lokality v nejjižnější oblasti české archeologické koncese v Abúsíru a zádušní kaple v mastabě vezíra Ptahšepse.<sup>3</sup> Výsledky laserového skenování ukázaly přínos pro archeologický výzkum – sběr dat je rychlý a efektivní, s vysokou přesností. Otázkou zůstává následné zpracování dat – *post processing*, které je náročné na programové a přístrojové vybavení. Zejména je důležitá účast koncového uživatele – archeologa u vlastního zpracování a tvorby výstupů. Potvrdilo se, že laserové skenování jako metoda sběru prostorových dat nemůže být izolované od dalších dokumentačních metod a je nutné vzájemné propojení s geodetickými a fotogrammetrickými metodami. Pro egyptskou archeologii je použití laserového skenování přínosné a může při správné definici otázek přinést nové poznatky ve výzkumu.

## Poznámky:

<sup>1</sup> <http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/overview>.

<sup>2</sup> <http://egypt.geolab.cz/proj/abusir/duapta.htm>.

<sup>3</sup> <http://bruna.geolab.cz/projekty/egypt/abusir/ptahshesepes/3D/zkouska.swf>.

## Literatura:

Arbace, Lucia – Sonnino, Elisabetta – Callieri, Marco – Dellepiane, Matteo – Fabbri, Matteo – Idelson, Antonio Iaccarino – Scopigno, Roberto: 2013 „Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue“, *Journal of Cultural Heritage* 14/4, s. 332–345.

Armesto-González, Julia – Riveiro-Rodríguez, Belén – González-Aguilera, Diego – Rivas-Brea, M. Teresa: 2010 „Terrestrial laser scanning intensity

data applied to damage detection for historical buildings“, *Journal of Archaeological Science* 37/12, s. 3037–3047.

Axelsson, Peter: 1999 „Processing of laser scanner data-algorithms and applications“, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54/2–3, s. 138–147.

Baltsavias, P. Emmanuel: 1999 „A comparison between photogrammetry and laser scanning“, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54/2–3, s. 83–94.

Bárta, Miroslav: 2011 „A new Old Kingdom rock-cut tomb from Abusir and its Abusir-Saqqara context“, in: Strudwick, Nigel – Strudwick, Helen (eds.). *Old Kingdom, New Perspectives. Egyptian Art and Archaeology 2750–2150 BC*, Oxford – Oakville: Oxbow Books, s. 9–21.

2013 „Krásní knězi a tajemná princezna: tajemství rodinného pohřebiště v jižním Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* 10, s. 17–25.

Bettess, F.: 1992 *Surveying for Archaeologists*, Durham: University of Durham. Department of Archaeology (2. vydání).

Brůna, Vladimír: 2013 „Využití KAP (*Kite Aerial Photography*) při dokumentaci výzkumu v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* 11, s. 37–43.

Colomina, Ismael – Molina, Pere: 2014 „Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review“, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92, s. 79–97.

Cowley, David C. – Opitz, Rachel S. (eds.): 2013 *Interpreting Archaeological Topography. Airborne Laser Scanning, 3D Data and Ground Observation*, Oxford: Oxbow Books.

De Reu, Jeroen – De Smedt, Philippe – Herremans, Davy – Van Meirvenne, Marc – Laloo, Pieter – De Clercq, Wim: 2013 „On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice“, *Journal of Archaeological Science* 41, s. 251–262.

Di Giacomo, G. – Ditaranto, I. – Scardozzi, G.: 2011 „Cartography of the archaeological surveys taken from an Ikonos stereo-pair: a case study of the territory of Hierapolis in Phrygia (Turkey)“, *Journal of Archaeological Science* 38/9, s. 2051–2060.

Drummond, Jane – Billen, Roland – Joao, Elsa – Forrest, David (eds.): 2007 *Dynamic and Mobile GIS. Investigating Changes in Space and Time*, Boca Raton, FL: CRC Press.

Eisenbeiss, Henri: 2009 *UAV Photogrammetry*, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Switzerland, ETH Zurich (nepublikovaná disertační práce).

Goossens, Rudi – Van Ranst, Eric: 1998 „The use of remote sensing to map gypsiferous soils in the Ismailia Province (Egypt)“, *Geoderma* 87/1–2, s. 47–56.

Hogg, A. H. A.: 1980 *Surveying for Archaeologists and Other Fieldworkers*, London: Croom Helm [Croom Helm studies in archaeology].

Howard, Phil: 2006 *Archaeological Surveying and Mapping. Recording and Depicting the Landscape*, New York: Routledge.

Chapman, Henry: 2006 *Landscape Archaeology and GIS*, Stroud: Gloucestershire Tempus.

Al-Kheder, Sharaf – Al-Shawabkeh, Yahya – Haala, Norbert: 2009 „Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry“, *Journal of Archaeological Science* 36/2, s. 537–546.

Lambers, Karsten – Eisenbeiss, Henri – Sauerbier, Martin – Kupferschmidt, Denise – Gaisecker, Thomas – Sotoodeh, Soheil – Hanusch, Thomas: 2007 „Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru“, *Journal of Archaeological Science* 34/10, s. 1702–1712.

Lasaponara, Rosa – Masini, Nicola: 2011 „Satellite remote sensing in archaeology: past, present and future perspectives“, *Journal of Archaeological Science* 38/9, s. 1995–2002.

Mills, Jon – Andrews, David: 2011 *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*, Swindon: English Heritage (2. vydání).

- Núñez Andrés, María Amparo – Buill Pozuelo, Felipe – Regot Marimón, Joaquín Manuel – de Mesa Gisbert, Andrés: 2012 „Generation of virtual models of cultural heritage“, *Journal of Cultural Heritage* 13/1, s. 103–106.
- Parcak, Sarah H.: 2004 „Satellite Remote Sensing Resources for Egyptology“, *Göttinger Miszellen* 198, s. 63–78.
- 2009 *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, New York: Routledge.
- Poslončec-Petrić, Vesna – Frangeš, Stanislav – Triplat, Martina: 2007 „Connection of Geodesy and Archaeology in Modern Geovisualisation“, *Kartografija i geoinformacije* 6, s. 198–207.
- Ullah, Isac I. T.: 2011 „A GIS method for assessing the zone of human-environmental impact around archaeological sites: a test case from the Late Neolithic of Wadi Ziqlâb, Jordan“, *Journal of Archaeological Science* 38/3, s. 623–632.
- Vachala, Břetislav – Procházka, Jaromír: 2003 „Surveying in Egyptology“, *Göttinger Miszellen* 192, s. 67–82.
- Vymazalová, Hana – Dulíková, Veronika: 2012a „O princezně Šeretnebtj“, *Pražské egyptologické studie* 9, s. 10–17.
- 2012b „Sheretnebtj, a King's Daughter from Abusir South“, *Archiv Orientalní* 80/3, s. 339–356.
- Westcott, Konnie L. – Brandon, Joe R. (eds.): 2000 *Practical Applications of GIS for Archaeologists. A Predictive Modeling Toolkit*, Philadelphia: Taylor & Francis.
- Wheatley, David – Gillings, Mark: 2002 *Spatial Technology and Archaeology. The Archeological Applications of GIS*, London: Taylor & Francis.
- Wiseman, James – El-Baz, Farouk (eds.): 2007 *Remote Sensing in Archaeology*, New York: Springer.

## Abstract:

### Laser scanning of Duaptah's rock-cut tomb at Abusir South

Laser scanning, one of the non-contact methods of aerial data collection, has recently been introduced to the field of archaeological documentation. Its advantages are, above all, speed, accuracy and the volume of acquired data – so called point clouds. The scanners can perform documentation of hardly accessible or dangerous places on site where traditional methods fail. The disadvantages of point clouds processing include the need for high-performance hardware and specialised software, as a great mass of data is usually processed.

The article deals with the documentation of Duaptah's rock-cut tomb at Abusir South by terrestrial laser scanner Faro Focus3D, the methodology of data collection in the field and its subsequent processing and practical outputs (creation of sections, tomb volume calculation, etc.). Such analyses require the presence of an archaeologist who knows the terrain and can define individual tasks during the data processing, for instance the number of horizontal and vertical sections to be carried out, the distance between sections, and the volume of separate parts of tombs (serdab).