

Obr. 1 Drak se zavěšeným fotoaparátem (foto V. Brůna)

## Využití KAP (*Kite Aerial Photography*) při dokumentaci výzkumu v Abúsíru

*Vladimír Brůna*

Metody dálkového průzkumu Země (DPZ) zaujímají v archeologickém výzkumu významnou roli, neboť poskytují nový a v mnoha situacích netradiční úhel pohledu na zkoumanou archeologickou lokalitu (Cowley 2011; Gojda 2004; Mozas-Calvache *et al.* 2012; Parcak 2009; Wiseman – El-Baz 2007). V závislosti na měřítku zachycují její strukturu a vzájemné prostorové vazby mezi archeologickými objekty a okolním prostředím. Snímkování se v DPZ provádí v různých výškových hladinách, z družic ve výškách 700 km nad zemským povrchem, přes letecké nosiče s výškou v řádu stovek a tisíců metrů až např. k sedmimetrové výšce snímání archeologické situace z monopodu. Z obecného hlediska můžeme rozdělit metody DPZ podle technologií pro pořizování zdrojových dat, kterými jsou fotografický přístroj, radar, LiDAR, multispektrální, hyperspektrální a panchromatický senzor. Vedle tradičních satelitních a leteckých nosičů se v posledních letech začínají používat i bezpilotní letecká zařízení, která se v odborné literatuře označují zkratkou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Tato platforma je charakteristická použitím leteckých modelů bez lidské posádky (Chiabrando *et al.* 2011) a s ní souvisí i pojem SFAP (*Small Format Aerial Photography*) používaný pro maloformátové letecké snímání s využitím filmových materiálů o formátu 35 nebo 70 mm či jejich digitálních ekvivalentů (Aber *et al.* 2010). Jedná se o dálkově ovládané letecké systémy: modely letadel, helikoptéry a v poslední době speciální bezpilotní systém (*drone* či kopter).<sup>1</sup> Výhodou je snížení nákladů na pořizování snímků, operativnost a dostupnost.

## Úvod

Do kategorie jednodušších, ale v žádném případě ne podstatných snímacích systémů řadíme upoutané balony a létající draky. Právě z říditelného balonu se podařilo získat první fotografii Paříže z výšky již v roce 1858 (Newhall 1969). Balon jako platforma pro SFAP byl použit německými archeology při archeologickém výzkumu Sirwah v Jemenu (Aber *et al.* 2010: 98) a pro fotogrammetrické snímání při archeologickém výzkumu Cerrillo Blanco v jižním Španělsku (Mozas-Calvache *et al.* 2012). Zde se pomocí totální stanice Leica zjišťovala prostorová poloha fotografického přístroje v okamžiku snímání a tím byla získána potřebná data pro následné fotogrammetrické zpracování. V roce 2002 byl připraven balonový systém i pro snímání v Abúsíru, ale z důvodu bezpečnosti (letecký koridor nad Abúsírem) nemohl být použit.

Další jednoduchou platformou pro snímání je drak. V odborné literatuře se označuje tento snímací systém jako KAP (*Kite Aerial Photography*) a byl použit jako jeden z prvních pro SFAP (Aber *et al.* 2010). Již v roce 1880 použil draka pro snímání Arthur Batut (1890). V novodobé archeologické praxi se využívá snímání z draka při dokumentaci výzkumu v Súdánu (Žurawski 1993, 1995, 2005; Chagny – Hesse 2007; Bitelli *et al.* 2001) a Jordánsku (Reinhard 2012). V tuzemsku se v archeologii využívá drak výjimečně, neboť jsou dobře dostupná data letecká a v posledních letech systémy UAV.

Specifické podmínky archeologického výzkumu v Egyptě a Súdánu, které provádí Český egyptologický ústav FF UK v Praze, zužují využití metod dálkového průzkumu Země na satelitní záznamy, např. pro oblast Abúsír–Sakára–Dahšúr jsou pořízeny záznamy z let 2003, 2010 a 2012 ze systému QuickBird a WorldView 2 (Bárta – Brůna 2010). Letecké snímky jak historické, tak současné jsou pro české archeologické koncese v Egyptě a Súdánu v podstatě nedostupné z finančních a bezpečnostních důvodů, resp. pro pouštní oblasti patřící k vojenskému prostoru Egypta nebyly letecké záznamy pořizovány vůbec. I když jsou pořízená satelitní data v kategorii velmi vysokého prostorového rozlišení,<sup>2</sup> družice QuickBird má rozlišení 0,6 m v panchromatickém pásmu a 2,4 m v multispektrálním pásmu, pro archeologickou dokumentaci jsou nutné záznamy ve velkém měřítku, záznamy, které jsou pořizovány z malé výšky. Z bezpečnostních důvodů nebylo povoleno snímání z upoutaného balonu naplněného heliem. Použití švédské věže a monopodu při dokumentaci archeologického výzkumu bylo jednorázové, neboť prašné prostředí a ztížené podmínky poškodily snímovací zařízení. Jako jednoduché východiště pro získání snímků z výšky se na podzim 2012 ukázalo využití upoutaného draka se zavěšeným fotoaparát.

## Metoda KAP

Základním principem je vynesení fotoaparátu do vzduchu pomocí draka. Přístroj je ovládán buď dálkově, nebo automaticky a má exponovat fotografie ze vzduchu. Fotografická soustava může být velmi jednoduchá, složená ze spouštěcího mechanismu s jednorázovým fotoaparát, až po velmi složité rádiově ovládané přístroje a digitální

fotoaparáty s vestavěnou GPS. Nejjednodušší systém byl poprvé použit při dokumentaci archeologického výzkumu v Abúsíru (podzim 2012), poté v egyptské Západní poušti v oblasti El-Ríz (prosinec 2012) a při geofyzikálním průzkumu archeologické lokality Usli v Súdánu (únor 2013).

## Aplikace při archeologickém výzkumu

Specifické podmínky při archeologickém výzkumu v Egyptě i v Súdánu ovlivňují výběr použitých technologií. Prašné prostředí, vysoké teploty, bezpečnostní rizika a vlastní organizace výzkumu neumožňují při sběru dat použití standardních metod, jako je tomu v tuzemském prostředí. Proto jsou voleny jednoduché metody a jednou z nich je využití draka jako nosiče.

Pro snímání byl použit jednošňůrový drak Elliot Rhombus Mega Power Sled o rozměrech 300 × 170 cm, se šňůrou dlouhou cca 200 m, rozsah větru 2–5 Bft, výztuhy GFK 2 mm. Na vlastní šňůru byl umístěn držák fotoaparátu, který byl upraven pro přístroj Canon PowerShot D10. Jedná se o kompaktní fotoaparát, který je voděodolný a podle údajů výrobce snese běžné nárazy při pádu na zem, je prachotěsný a pracuje při vysokých i nízkých teplotách. Velikost čipu je 1/2,3" (CCD) / 12,1 Mpx. Dobíjecí baterie vydrží 3–4 hodiny snímání a na SD kartu je možno uložit 4500 snímků při maximálním rozlišení a velikosti 3,5 MB ve formátu JPEG.

Optimální rozsah síly větru je pro tohoto draka 2–5 Bft. Z důvodu zátěže (nosič s fotoaparát) je nutná vyšší rychlost. Ke startu snímovacího systému je potřeba dvou osob, z nichž jedna ovládá draka a druhá připraví fotoaparát ke snímání a dohlíží na bezpečný start. Systém snímání je nastaven tak, že každých deset sekund je provedeno exponování a fotoaparát se v závěsu otočí o 90° v horizontální rovině. Zaostření fotoaparátu je na nekonečno a je zvolen jednoduchý automatický režim. To platí pro optimální podmínky pro fotografování, tedy slunečno. V případě snímání za zhoršených podmínek je nutné program exponování upravit.

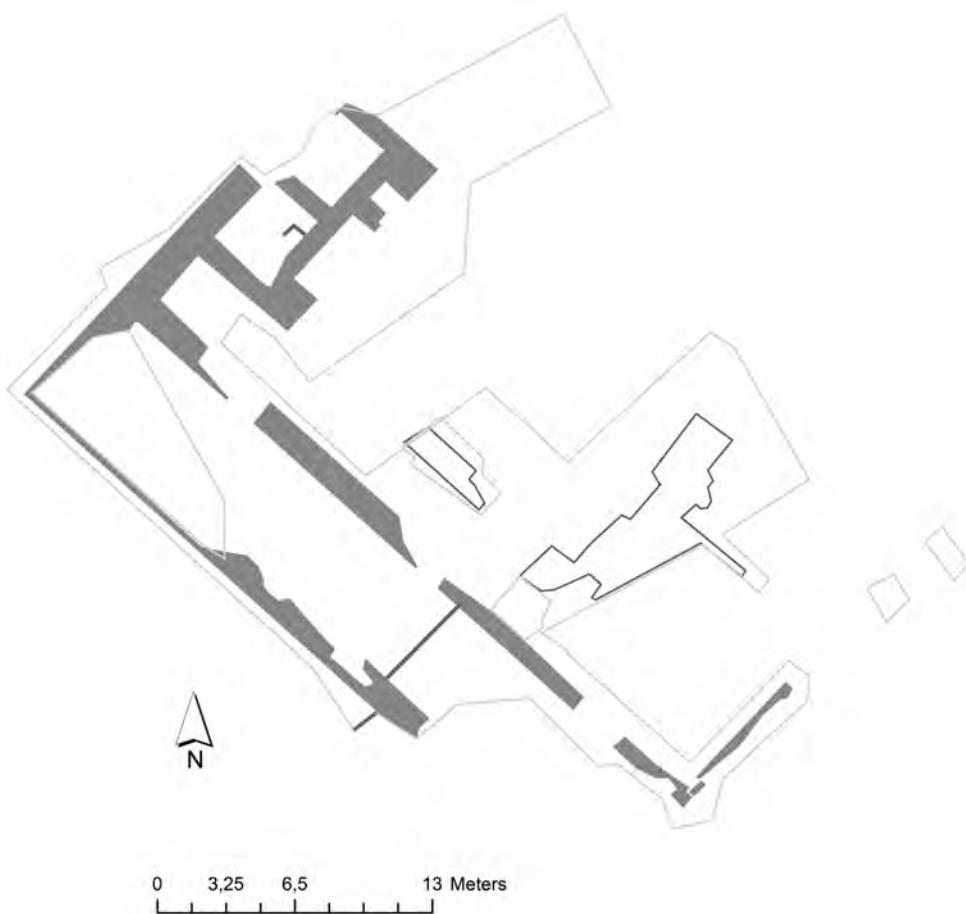
Konstrukce draka umožňuje jeho provoz i za špatných povětrnostních podmínek. Během praktického použití bylo zjištěno, že i při náhlých změnách směru a síly větru lze draka udržet ve vzduchu a bezpečně s ním přistát. Při snímání je vedle povětrnostních podmínek důležitá spolupráce s dalšími osobami, které poskytují informace o poloze fotoaparátu, zda je nad objektem či nikoli, a korigují pohyb osoby, která draka ovládá. Bylo zjištěno, že při dobrých podmínkách je použitelnost záběrů na hranici 40 % a při podmínkách zhoršených klesá pod 20 %.

## Úprava obrazu

Z množiny pořízených záběrů jsou nejprve odstraněny ty, které jsou neostře, mají špatný úhel záběru a jsou mimo zájmovou oblast. Poté se kontroluje detailní ostrost při zvětšení a opět jsou některé záběry odstraněny. Následně se záběry třídí podle obsahu. Vyhodnocuje se, zda zobrazují kompletní objekty nebo jen jejich části a zda jsou provedené s přibližně kolmou osou. To je důležité pro další zpracování a tvorbu např. fotomozaiky apod. Protože kvalita obrazu odpovídá použitému fotoaparátu (rozlišení, zkreslení, zachycení obrazu atd.), jsou snímky, které odpovídaly požadavkům, upravovány v prostředí programu Adobe Photoshop.



Obr. 2 Lokalizace archeologického výzkumu ve východním Abúsíru – struktury AS 70–73 (Bárta – Brúna 2010)



Obr. 3 Plán výzkumu struktur AS 70–73 z geodetického zaměření (V. Brúna – L. Varadzin)



### Geodetické zaměření a snímkování archeologického výzkumu struktur AS 70–73 ve východní části Abúsíru

V říjnu 2012 probíhal pod vedením Ladislava Varadzina archeologický výzkum objektů AS 70–73 ve východní části Abúsíru, jihovýchodně od pyramidového pole (obr. 2) (viz Varadzin – Bárta v tomto čísle: 27–30). Jednalo se o odkryv na ploše cca 45 × 30 m. Snímkování bylo provedeno společně s geodetickým zaměřením výzkumu dne 21. 10. 2012.

#### Geodetické zaměření

Nezbytnou součástí každého výzkumu v Abúsíru je jeho geodetická dokumentace a následná implementace do archeologické mapy. Na konci výzkumu struktur AS 70–73 bylo za tímto účelem uskutečněno ve spolupráci s vedoucím výzkumu geodetické zaměření. Pomocí geodetické totální stanice Leica TCR 805 s příslušenstvím bylo provedeno zaměření podrobných bodů včetně orientace v lokálním souřadnicovém systému. Množina prostorových bodů (x, y, h) byla následně vizualizována v prostředí programu ArcGIS a ve spolupráci s vedoucím výzkumu byly vykresleny povinné spojnice bodů a tím i celkový plán výzkumu (obr. 3).

#### Snímkování pomocí draka

Snímkování proběhlo ve stejný den jako geodetické zaměření výzkumu, a to mezi 12. – 13. hodinou. Celkem bylo získáno 88 záběrů, z nichž bylo pro špatnou kvalitu vyřazeno 48 záběrů. Zbýlé byly následně analyzovány a byl proveden úzký výběr těch, které splňují kritéria kvality záznamu (ostrost), geometrické kvality (osa záběru přibližně kolmá k zemskému povrchu) a obsahu snímku (archeologický výzkum, podíl v ploše minimálně 60 %). Na obr. 4 je ukázka jednoho vybraného záběru.

#### Úprava snímku a jeho propojení s geodetickým plánem

Jak bylo zmíněno v metodologické části, kvalitu snímku ovlivňuje mnoho parametrů a pro jeho další využití je nutná úprava, která probíhala v prostředí programu Photoshop, v němž byly provedeny následující kroky:

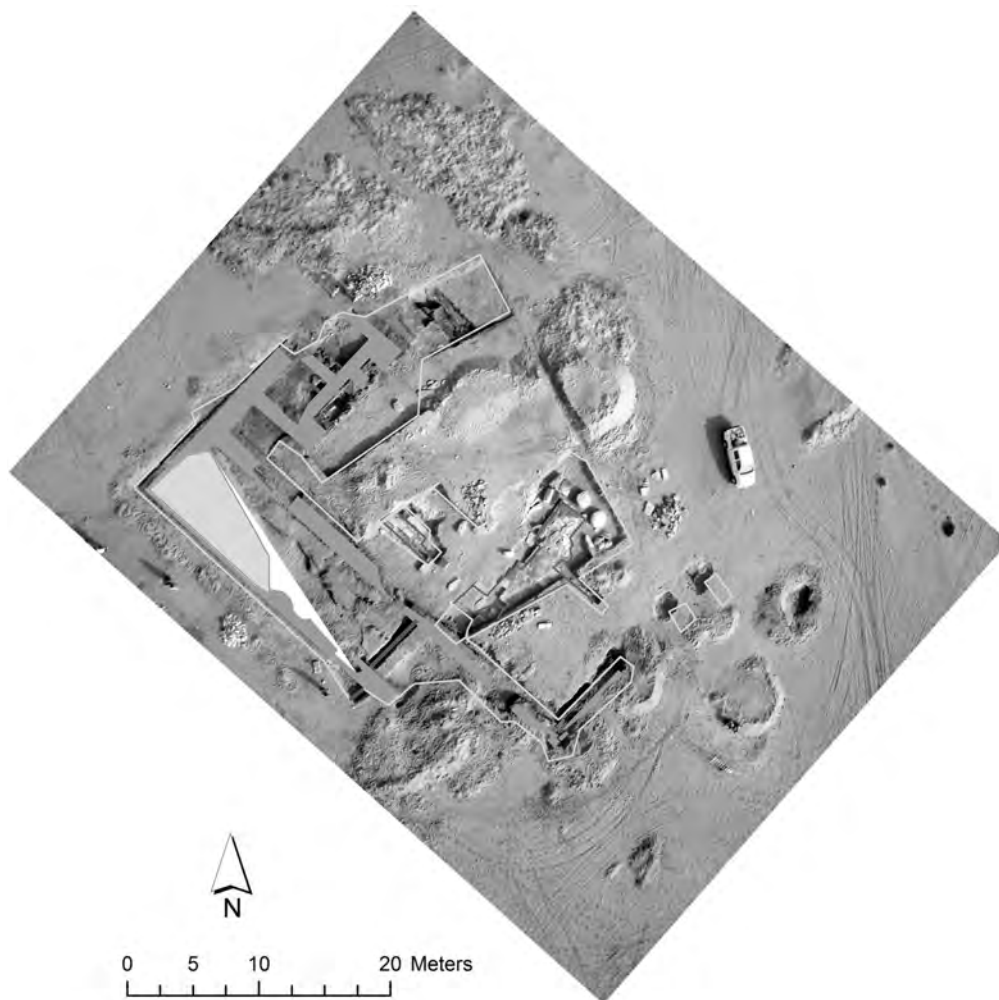
- výchozí formát snímku JPEG byl převeden do formátu TIFF 16 bit;
- pomocí funkce *převzorkování* byl obraz po 10% krocích zvětšován až na velikost 56 × 42 cm v rozlišení 300 DPI;
- pomocí funkce *jas x ostrost* byla provedena konečná úprava snímku.

Již takto upravený snímek poskytuje archeologovi komplexní pohled na zkoumanou lokalitu a její prostorovou strukturu, vizuální interpretací je schopen rozeznat jednotlivé struktury, bloky, části výzkumu, barevnou odlišnost cihlových zdí, vápencových bloků ad. V této formě může být snímek publikován jako základní pohled na archeologický výzkum.

Abychom mohli na snímku provádět měření (vzdálenosti, ploch), je nutné ho srovnat do centrální promítací projekce. V praxi to znamená, že na základě znalosti prostorové polohy vličovacích bodů v terénu a jejich identifikace na snímku je provedena georeference. Tuto metodu obsahuje většina GIS a CAD programů, kdy se do prostředí programu importuje georeferencovaný snímek a následně se ztotožní množina vličovacích bodů v dané souřadnicové soustavě s odpovídajícími body na snímku. Minimální počet pro transformaci jsou tři body, ale v praxi se používá více bodů rovnoměrně rozložených v rámci celého snímku. Po ztotožnění je provedena transformace a snímek, který je v rastrovém formátu, se automaticky upraví (posun, otočení, změna velikosti obrazového prvku – pixelu). Součástí výpočtu transformace je i tabulka polohové chyby v každém bodě. V našem případě, kdy jsme srovnávali výše uvedený snímek s totožnými body

Obr. 4 Základní snímek výzkumu struktur AS 70–73 po úpravě (foto V. Brůna)





Obr. 5 Georeferencovaný snímek s vektorovým geodetickým plánem (V. Brůna)

na geodetickém plánu, chyba nepřesáhla 15 cm. Georeferencovaný snímek s vektorovým geodetickým plánem má orientaci a měřítko, a je tudíž využitelný pro měření (obr. 5).

V případě většího územního rozsahu archeologického výzkumu jsou snímky, které se vzájemně překrývají, postupně transformovány opět na základě vličovacích bodů, a tak vzniká jednoduchá fotomozaika a po georeferenci s měřítkem fotoplán (obr. 6).

#### Geodetické zaměření a snímkování archeologického výzkumu struktur AS 67 a AS 68 v jižním Abúsíru

Ve stejném termínu, tedy v říjnu 2012, bylo rovněž provedeno zaměření a snímkování výzkumu hrobového komplexu princezny Šeretnebtj (Vymazalová – Dulíková 2013) a hrobky AS 67 (Arias *et al.* 2013). Geodetické zaměření a snímkování bylo provedeno stejnou metodou jako u předcházejícího objektu AS 70–73. V prostředí programu ArcGIS byl vytvořen základní plán výzkumu a na základě výběru vhodných záběrů ze snímkování bylo geodetické měření propojeno s geodetickým plánem. Z důvodu absence kvalitních snímků z celé plochy výzkumu se podařilo připojit pouze několik snímků.

#### Tvorba 3D modelu

Trojrozměrné zobrazení terénu, objektů a předmětů a jejich vizualizace se postupně stává součástí mnoha vědních

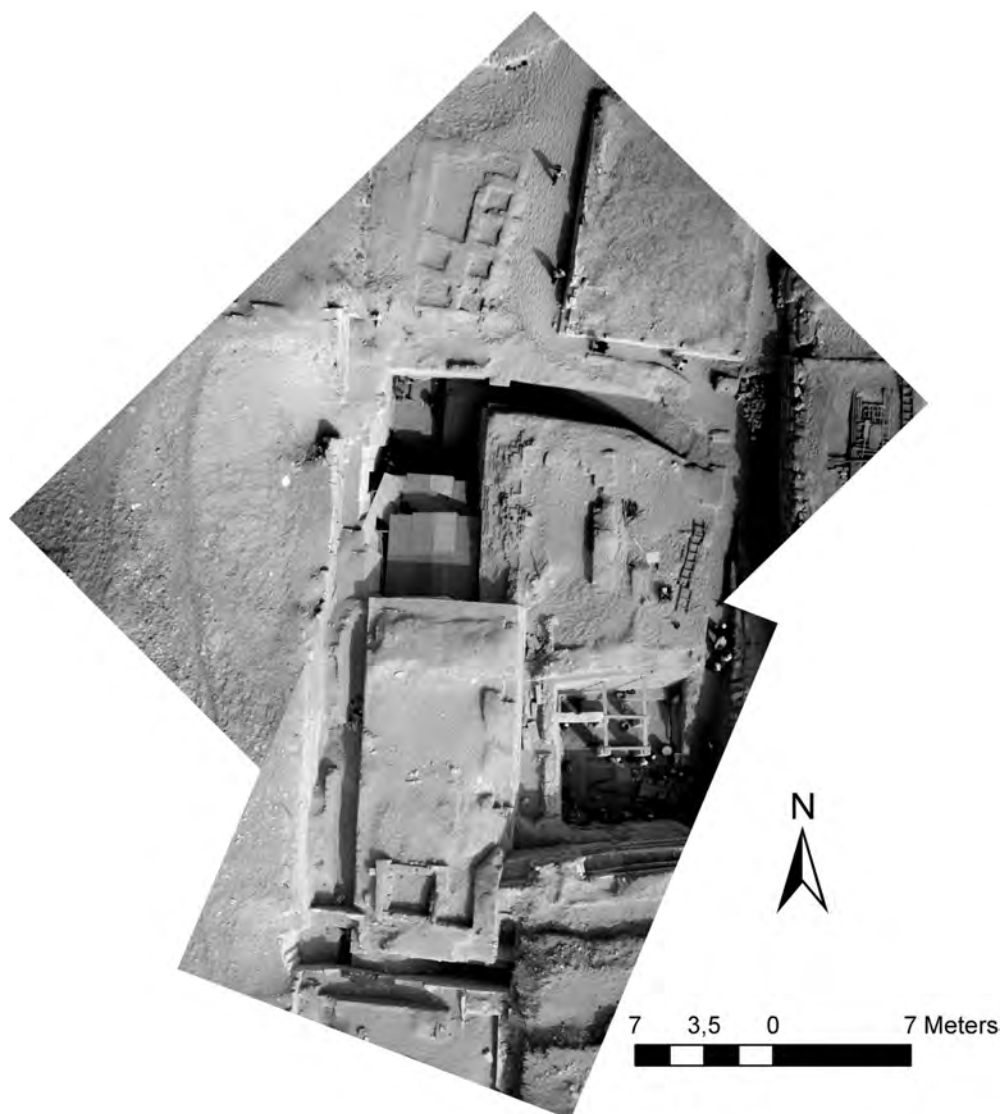
oborů, archeologii nevyjímaje. Jednoduchá aplikace,<sup>3</sup> která je založena na metodě průsekové fotogrammetrie, vytvoří z množiny snímků objektu a jejich parametrů (jsou uloženy v souboru EXIF) 3D model. Podmínkou je vzájemné překrytí jednotlivých snímků, které zobrazují jednotlivé části objektu. Ze snímkování pomocí draka v jižní části Abúsíru v okolí hrobového komplexu AS 68 byl vybrán soubor fotografií a v prostředí výše uvedeného programu proběhlo vytvoření 3D modelu terénu (obr. 7). Program umožňuje vytvoření ortorektifikované textury, která společně s připraveným povrchem ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě vytváří vhodný materiál pro použití v CAD programech.

#### Závěr

Využití platformy upoutaného draka jako nosiče fotoaparátu přineslo archeologickým výzkumům v Abúsíru nová data z jiného úhlu pohledu (z výšky). S ohledem na specifické podmínky výzkumu v Egyptě se tato UAV metoda ukázala jako přínosná, jelikož není nákladná a zařízení je jednoduché a odolné vůči nepříznivým vlivům při používání v terénu. Snímky po výběru a následné úpravě doplňují satelitní záznam, geodetické zaměření a terénní dokumentaci. Jsou také využitelné při prezentacích a propagaci výzkumu. Od října 2012 byl drak využit i při snímkování v egyptské Západní poušti (oblast El-Ríz, Bír Šoviš



Obr. 6 Fotoplán pilířového dvora princezny Šeretnebej (AS 68), hrobky lékaře Ptahhotepa (AS 36) a mastaby neznámého majitele (AS 31) (V. Brůna)



Obr. 7 3D model terénu hrobového komplexu AS 68 (foto V. Brůna)

a Ain Chabata), v únoru roku 2013 při geofyzikálním výzkumu v Usli (Súdán; Bárta *et al.* v tomto čísle: 12–17) a v dubnu roku 2013 při archeologickém výzkumu hrobky vysokého hodnostáře Kakaibaefa (AC 29) v centrálním Abúsíru, který vedl Jaromír Krejčí (Krejčí v tomto čísle: 17–27). Snímky z uvedených lokalit se nyní zpracovávají a výběr se stane součástí datového archivu Českého egyptologického ústavu FF UK. První výsledky ukázaly přínos této metody při dokumentaci archeologického výzkumu v Egyptě a její pravidelné využití při budoucích výzkumech lze jen doporučit.

### Poznámky:

- <sup>1</sup> Více na <http://www.mensuro-aero.cz>.
- <sup>2</sup> Prostorové (geometrické) rozlišení představuje minimální velikost objektu, který lze na družicovém snímku identifikovat. Zpravidla je reprezentováno velikostí jednoho bodu (pixelu) v digitálním záznamu.
- <sup>3</sup> Aplikace dostupná na <http://www.123dapp.com/catch>.

### Literatura:

- Aber, James S. – Marzolf, Irene – Ries, Johannes B.: 2010 *Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications*, Amsterdam – London: Elsevier Science.
- Arias Kytmarová, Katarína – Havelková, Petra – Jirásková, Lucie – Sůvová, Zdeňka – Bárta, Miroslav: 2013 „Záhady hrobky AS 67. Jedna hrobka pro dvě generace?“, *Pražské egyptologické studie* 10, s. 82–96.
- Bárta, Miroslav – Brůna, Vladimír: 2010 *Satelitní atlas pyramid. Satellite Atlas of the Pyramids*, Praha: Dryada.
- Batut, Arthur: 1890 *La photographie aérienne par cerf-volant*, Paris: Gauthier-Villars et fils.
- Bitelli, G. – Unguendoli, M. – Vittuari, L.: 2001 „Photographic and photogrammetric archaeological surveying by a kite system“, in: Alpuente, Jesús *et al.* (eds.). *Proceedings of the 3rd International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin. Alcalá de Henares, 9-14 July 2001*, Alcalá de Henares: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, s. 538–543.
- Cowley, David C. (ed.): 2011 *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*, Brusel: Europae Archaeologiae Consilium [EAC occasional paper 5. Occasional publication of the Aerial Archaeology Research Group 3].
- Gojda, Martin: 2004 „Archeologie a dálkový průzkum“, in: Kuna, Martin *et al.* *Nedestruktivní archeologie*, Praha: Academia, s. 49–115.
- Chagny, Bernard Noël – Hesse, Albert: 2007 „Soudan 1994–2006: Photographies archéologiques sous cerf-volant avec Francis Geus“, in: Gratién, Brigitte (ed.). *Mélanges offerts à Francis Geus. Égypte-Soudan*, Lille: Université Charles de Gaulle-Lille [Cahiers de recherches de l'Institut de papyrologie et d'égyptologie de Lille 26], s. 47–59.

- Chiabrando, F. – Nex, F. – Piatti, D. – Rinaudo, F.: 2011 „UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: two tests in the Piedmont region (Italy)“, *Journal of Archaeological Science* 38/3, s. 697–710.
- Mozas-Calvache, A. T. – Pérez-García, J. L. – Cardenal-Escarcena, F. J. – Mata-Castro, E. – Delgado-García, J.: 2012 „Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms“, *Journal of Archaeological Science* 39/2, s. 521–530.
- Newhall, Beaumont: 1969 *Airborne Camera: The World from the Air and Outer Space*, New York: Hasting House.
- Parcak, Sarah H.: 2009 *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, London: Routledge.
- Reinhard, Jochen: 2012 „Things on Strings and complex computer algorithms. Kite Aerial Photography and Structure from Motion Photogrammetry at the Tulul adh-Dhahab, Jordan“, *AARGnews, The Newsletter of the Aerial Archaeology Research Group* 45 (September 2012), s. 37–41.
- Vymazalová, Hana – Dulíková, Veronika: 2013 „Výzkum hrobového komplexu princezny Šeretnebet v jižním Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* 10, s. 26–34.
- Wiseman, James R. – El-Baz, Farouk (eds.): 2007 *Remote Sensing in Archaeology*, New York: Springer [Interdisciplinary Contributions to Archaeology].
- Żurawski, Bogdan: 1993 „Low altitude aerial photography in archaeological fieldwork: the case of Nubia“, *Archaeologia Polona* 31, s. 243–256.
- 1995 „From Jebel Moya to Old Dongola. 80 years of aerial photography in Sudan“, in: Kunow, Jürgen (ed.). *Luftbildarchäologie in Ost- und Mitteleuropa. Aerial Archaeology in Eastern and Central Europe*, Potsdam: Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte [Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3], s. 305–315.
- 2005 „Miracles of Banganarti. Polish archaeological discoveries in Sudan“, *Focus on Archaeology* 1/5, s. 20–23.

### Abstract:

#### The application of KAP (Kite Aerial Photography) in the documentation of the excavations at Abusir

The article is devoted to the application of the KAP (*Kite Aerial Photography*) system in the process of documentation of the archaeological excavations at Abusir. It is a method of long-distance survey from a low height that represents an additional source of information next to the satellite images with a high resolution. In the Egyptian conditions, the KAP partly substitutes the inaccessible aerial photography. The detailed images of the excavations provide archaeologists with a complex overview of the target area, and therefore stand for an important part of the archaeological documentation, side by side with the geodetic plan.