SPECIFIKA GEODETICKÝCH METOD V EGYPTSKÉ ARCHEOLOGII



Vladimír Brůna

Kniha se věnuje roli geodézie v archeologickém výzkumu se zaměřením na archeologii v podmínkách Egypta. Dokumentační metody tvoří důležitou část terénního archeologického výzkumu, přičemž v posledních desetiletích se začínají prosazovat moderní postupy a technologie. V oblasti geodézie se používají výkonné totální stanice s integrovaným GPS přijímačem a laserovým skenerem.

Teoretická část přibližuje specifika geodetických metod, vliv přírodních podmínek na měření a na přístroje a rovněž administrativní omezení. V krátkosti se věnuje historii a současnosti využívání metod geodézie v české egyptologii, začátkům využívání geodetických a fotogrammetrických metod při výzkumech v Núbii v 60. letech minulého století, začátkům prací na pyramidovém poli v Abúsíru, dokumentaci hrobky Ptahšepsese a budování egyptské geodetické sítě. Rovněž jsou stručně popsány některé moderní metody sběru a zpracování dat, jako jsou dálkový průzkum Země, geofyzikální metody, mapování pomocí GPS, terestrické laserové skenování, využití GIS a 3D modelování pomocí průsekové fotogrammetrie.

Praktická část popisuje proces komplexní dokumentace vybraného archeologického objektu – jedná se o hrobku hodnostáře Tije v severní Sakkáře – metodou geodetického měření, terestrického laserového skenování a průsekové fotogrammetrie. Samostatná kapitola je věnována problematice komparace historické dokumentace s novými daty.

FACULTY OF ARTS
Charles University



FILOZOFICKÁ FAKULTA
Univerzita Karlova

SPECIFIKA GEODETICKÝCH METOD V EGYPTSKÉ ARCHEOLOGII

Vladimír Brůna

Pražské egyptologické studie
Suplementa, 2026

Tato publikace byla podpořena projektem Univerzity Karlovy na podporu vědy „Cooperatio – vědní oblast Archeologie“ realizovaným na filozofické fakultě a dotací Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR č. 1-VEG 2025, MSMT-1612/2025-8.

Pražské egyptologické studie. Suplementa, 2026
Vladimír Brůna
Specifika geodetických metod v egyptské archeologii

Recenzovali
Prof. Mgr. Miroslav Bárta, Dr.
Ing. Marcel Brejcha, Ph.D.
Ing. et Ing. Milan Větrovský, Ph.D.

Obálka: kresba Jolana Malátková, Archiv Českého egyptologického ústavu FF UK

Vydavatel: Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, nám. Jana Palacha 2, Praha 1

Vyrobila Togga, s. r. o., Praha

© Vladimír Brůna, 2026
© Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, 2026
Illustrations © Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, 2026: Archiv Českého egyptologického ústavu, 2026
Photographs © Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, 2026: Archiv Českého egyptologického ústavu, 2026

ISBN 978-80-7671-220-1 (online : pdf)

OPEN ACCESS

Obsah

Úvod — 9

1 Přehled o současném stavu řešené problematiky — 11
  1.1 Dokumentační metody v archeologickém výzkumu — 11
  1.2 Role geodézie v archeologii — 26

2 Metoda komplexní dokumentace vybraného archeologického objektu — 43
  2.1 Hrobka hodnostáře Tije v severní Sakkáře — 43
  2.2 Metoda dokumentace — 47
  2.3 Geodetické přístroje a pomůcky — 47
  2.4 Souřadnicové připojení Tijovy hrobky a tvorba bodového pole — 50
  2.5 Geodetické měření — 57
  2.6 Prostorové terestrické laserové skenování — 64
  2.7 Průseková fotogrammetrie — 69

3 Komparace dostupné historické dokumentace — 71
  3.1 Metoda — 71
  3.2 Komparace historických plánů se současným stavem — 72
  3.3 Metoda identifikace hrobky Ptahšepsese v severní Sakkáře — 75

4 Dokumentace podzemí mastaby Neferherptaha v jižním Abúsíru — 79
  4.1 Specifika měření v podzemí — 79
  4.2 Důlní měřictví v egyptské archeologii — 80
  4.3 Metoda dokumentace šachty č. 3 mastaby Neferherptaha — 81

5 Poznámka k propojení metod geodézie, průsekové fotogrammetrie a pozemního laserového skenování — 95

Závěr — 97

Přílohy

Geodetická dokumentace archeologického výzkumu v Egyptě – metodický návod — 99
Chronologické členění dějin starého Egypta — 102

Seznam zkratek — 103
Seznam obrázků — 104
Seznam tabulek — 107

Bibliografie — 108
Věcný rejstřík — 112
Jmenný rejstřík — 113
Resumé — 114
Summary — 116
Zusammenfassung — 118



Kvarcitový (křemencový) blok z rekonstruované Červené kaple, která dnes stojí v Open Air Museu v Karnaku. Scéna zobrazuje královnu Hatšepsut a bohyni Sešat při rituálu vyměřování stavby.

„Tento král (Sesostris) prý též zemi mezi všechny Egypťany rozdělil, dada každému stejný díl čtverhranný; z těchto statků měl své důchody, přikázav, aby se mu každoročně poplatek odváděl. Jestliže komu z jeho pozemků řeka (Nil) kus urvala, šel ke králi a zvěstoval mu, co se stalo; král pak vysílal lidi, aby dohlédli a vyměřili, oč se jeho statek zmenšil, aby příště poměrný poplatek odváděl. Tak se *zeměměřictví* vynašlo, jež potom dle mého zdání do Řecka přišlo. Slunečné hodiny, sloupy časoměrné (gnomony) a rozvržení dne na dvanáctero částí přijali Řekové od Babylónských.“[1]

Hérodotos

1 Kolman, Arnošt, *Dějiny matematiky ve starověku*, Academia, Praha, 1968, s. 71–72.

Úvod

Vznik vědního oboru nazvaného archeologie se datuje od konce 17. století. Archeologové studují minulost člověka a společnosti na základě archeologických pramenů a nedílnou součástí archeologického terénního výzkumu je dokumentace studovaného území (lokality, koncese). Dokumentačních metod zobrazení a převodu reálného stavu výzkumu do analogové či digitální formy je celá řada, počínaje slovním popisem přes náčrt a jednoduchý plánek až po fotografie studovaných archeologických objektů a artefaktů. V posledním čtvrtstoletí je patrný zásadní vliv nových metod a postupů pro sběr a zpracování dat nazývaných *geotechnologie*[2] a směřování ke komplexní digitalizaci archeologického výzkumu. Základní dokumentační metodou však zůstává ta nejstarší a nejjednodušší, kdy si archeolog sám dokumentuje výzkum s využitím jednoduchých měřických pomůcek (pásmo, olovnice, skládací metr, geodetický hřeb, milimetrový papír), pomocí nichž vytváří půdorysné plány, řezy a ty doplňuje detailními prvky archeologické situace, které následně interpretuje a analyzuje.

Při této metodě hraje významnou roli osobní pohled archeologa, který vkládá do tvorby dokumentace své dovednosti, zkušenosti a znalosti. S tím souvisí možný problém vlastní interpretace objektu, která je subjektivní a je pravděpodobné, že jiný archeolog by analýzu situace a její grafické znázornění provedl více či méně odlišně. Tato skutečnost je však archeologické obci známa a případné odlišnosti či chyby lze v procesu dokumentace a interpretace minimalizovat. Na tomto místě by mohla přijít otázka: Nestačí tyto jednoduché metody archeologovi k jeho bádání? Potřebuje ke své práci nové geoinformační technologie a metody sběru prostorových dat?

Archeologie je často pojímána jako konzervativní věda, ve které se nové metody uplatňují velmi pomalu. Osobní zkušenost doktoranda s více než třicetiletou spoluprací s archeology v tuzemsku, v Egyptě a v Súdánu mi dává jednoznačnou odpověď. Ano, aplikovat v archeologickém výzkumu nové geotechnologie, digitální metody a další novinky, které rozvoj IT a obecně digitalizace přináší, má smysl. Má to však také několik úskalí. Je třeba si uvědomit, že digitální dokumentační metody jsou pouhým *nástrojem/prostředkem*, který přináší nový typ prostorových dat (např. terestrické laserové skenování, TLS), netradiční pohledy na archeologický výzkum metodou dálkového průzkumu Země (DPZ), možnost prostorových analýz a syntéz v prostředí geografického informačního systému (GIS) a celkové zrychlení procesu dokumentace.

Jsou-li nové digitální metody pouze nástrojem/prostředkem pro sběr prostorových dat, je na místě otázka, co se s těmito daty bude provádět následně. Klíčem je soubor otázek a zadání ze strany archeologa, na které právě s pomocí získaných údajů společně s geoinformatikem hledá odpovědi. V případě absence zadání často ztrácí smysl hromadění materiálně a finančně nákladných dat. Jsou případy, kdy někteří badatelé vzhlížejí k moderním dokumentačním geotechnologiím, očekávají od nich rychlé řešení a vytvářejí si iluze o jejich výjimečnosti

2 Geotechnologie souvisejí s pojmem geoinformatika a zahrnují soubor metod sloužících ke sběru a analýze digitálních prostorových dat. Řadíme sem geodézii, digitální kartografii, GIS, DPZ, laserové skenování, 3D modelování, průsekovou fotogrammetrii, mapové portály s archeologickou tématikou ad.

a dokonalosti.[3] Proto je potřeba kritického pohledu na data, jejich verifikaci a interpretaci. Z tohoto důvodu je nezbytná úzká spolupráce archeologa a geoinformatika. Jeden klade otázky a druhý hledá pomocí nástrojů/programů cestu k jejich řešení, k odpovědím.

Oblast aplikace geotechnologií v archeologickém výzkumu je velmi rozsáhlá a každá metoda by vydala na samostatné podrobné zpracování. Proto se v této práci zabývám pouze jednou z metod a tou je metoda geodézie a její využití ve specifických podmínkách archeologického výzkumu v Egyptě. Nejde však o izolovanou metodu dokumentace, naopak je úzce spjata s dalšími geotechnologiemi, které jsou vzájemně propojené a na sobě závislé.

Hlavním cílem této práce je prezentace specifických geodetických metod a jejich praktické aplikace při dokumentaci v egyptské archeologii. Zaměřuje se na geodetické metody a jejich specifika, jež doplňuje o dílčí úlohy s využitím dalších geoinformačních technologií (GIS, CAD, DPZ, TLS, PFTGM).[4] Pro úspěšnou aplikaci uvedených metod je nezbytné jejich vzájemné propojení. Dokumentační metody zde prezentuji na praktické úloze komplexní dokumentace hrobky hodnostáře Tije v severní Sakkáře, který byl objeven v roce 1860 a u něhož chybí podrobná měřická a plánová dokumentace. Druhým objektem, který byl geodeticky dokumentován, je šachta č. 3 s pohřební komorou objektu AS65 v jižním Abúsíru.

První kapitola je věnována dokumentačním metodám používaným v archeologii. Každá z nich je stručně charakterizována a připojena ukázka/příklad. Druhá část se detailněji zaměřuje na roli geodezie v archeologii a samostatně v archeologii egyptské, její specifika a metodické postupy, včetně historických základů. Dále jsou popsány geodetické činnosti na abúsírské koncesi (geodetická síť abúsírské nekropole) i jejich historický vývoj. Krátce je diskutována otázka přesnosti a propojení geodézie s jinými oblastmi geoinformatiky.

Klíčová část práce obsahuje přehled geodetických postupů při dokumentaci hrobky hodnostáře Tije v severní Sakkáře (tvorba sítě geodetických bodů, souřadnicové připojení hrobky, měření jejích nadzemních a podzemních částí). Pro srovnání geodetického měření s dalšími dokumentačními metodami byl použit 3D model hrobky pořízený terestrickým laserovým skenováním a v dílčí části i dokumentace metodou průsekové fotogrammetrie (PFTGM).

V další kapitole přibližuji, jak přesně byla hrobka dokumentována v různých obdobích od roku 1860 po současnost, zejména co se týče dokumentace jejích podzemních částí. Snažím se hledat odpovědi na otázku, jak bylo podzemí vybudováno. Dále popisuji, jakým způsobem byl na základě metody geodetického měření a laserového skenování vytvořen prostorový model šachty s pohřební komorou a následně provedena analýza vzájemných prostorových vztahů v rámci objektu AS65. Na závěr podávám srovnání uvedených dokumentačních metod, vysvětluji jejich přínos pro archeologickou dokumentaci a snažím se nastínit budoucnost archeologické digitální dokumentace v egyptské archeologii.

3 ČIBERA, Jan, *Geodézie v archeologii*, bakalářská práce, Katedra archeologie FF ZU Plzeň, 2011.

4 Veškeré zkratky jsou uvedeny v seznamu zkratek na s. 103.

1 Přehled o současném stavu řešené problematiky

1.1 DOKUMENTAČNÍ METODY V ARCHEOLOGICKÉM VÝZKUMU

Rozhodnutí, kde začít archeologický výzkum na lokalitě tak, aby dával smysl a byl maximálně efektivní, vedlo v posledních dvaceti letech k postupnému využívání nových metod vhodných pro identifikaci a dokumentaci archeologických objektů – jedná se především o dálkový průzkum Země, geofyzikální měření na lokalitách, využití geografických informačních systémů, počítačové 3D modelování, průseková fotogrammetrie, digitální geodézie a kartografie, včetně využívání satelitních přijímačů GPS k určení polohy pozorovatele na zemském povrchu.[5]

Tyto metody a jejich syntéza přinesly a stále přinášejí důležité a cenné odpovědi na doposud neznámé otázky směřující k vývoji lokality v čase i v prostoru a tvoří neodmyslitelnou součást archeologického terénního výzkumu. Stejně tak intenzivní a smysluplné uplatňování těchto postupů má za cíl poznání a evaluace vědeckého potenciálu zkoumaného území jako takového. Díky tomu je možné každý budoucí výzkum zaměřovat tak, aby přinášel co nejvíce možných informací a umožňoval formulovat poznání o doposud nepoznaných nebo málo známých kapitolách z dějin staroegyptské civilizace.[6]

METODA GEODÉZIE[7]

Jednou z nejstarších dokumentačních metod používaných v archeologickém výzkumu je metoda geodézie. Hlavním cílem geodetického měření je určit polohu konkrétního bodu v daném souřadnicovém systému, a právě geodetické metody představují při archeologické dokumentaci základní nástroj. Pomocí GTS se provádí přímý sběr prostorových dat, zpravidla ve formátu: číslo bodu a souřadnice X, Y, Z. Obrázek 1 zobrazuje měření s GTS v podzemí Tijovy hrobky. Důležité je každému měřenému bodu přidat atributová data (hrana, pata, lomový bod, půdorys) a také pečlivě vést polní zápisník. To následně usnadní práci se získanými údaji při tvorbě buď polohopisné mapy, nebo prostorového modelu (drátěný model objektu). Po jednoduché úpravě souboru souřadnic se provádí import do prostředí GIS nebo CAD programů s následnou vizualizací a tvorbou grafických výstupů.[8]

---

5 BRŮNA, Vladimír, „Úloha geoinformatiky při archeologickém výzkumu v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie*, 2002, s. 43–47; JEFFREYS, David – TAVARES, Anna, „An integrated mapping project for the Saqqara plateau and escarpment“, *Archiv Orientální*: 6, 2000; MATHIESON, Ian, „The National Museums of Scotland Saqqara survey report 1990–2000“, in: Miroslav Bárta a Jaromír Krejčí (eds.), *Abusir and Saqqara in the Year 2000*, Prague: Academy of Sciences of the Czech Republic, Oriental Institute [Archiv Orientální, Supplementa IX], 2000, s. 33–42.

6 BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Odkrývání neviditelného – užití nových technologií při zkoumání staroegyptské civilizace“, in: Miroslav Bárta (eds.), *Sluneční králové*, Národní muzeum Praha, s. 303–313.

7 Detailnější pojednání o roli geodetických metod při archeologickém výzkumu obsahuje kapitola 1.2.

8 PROCHÁZKA, Jaromír – ŠVEC, Mojmír, „Vývoj geodetické sítě na území české koncese v Abúsíru a jeho výškopisná mapa 1:2000“, *Pražské egyptologické studie* II/2003, s. 144–154; HOGG, Alexander –



Obrázek 1 Geodetická totální stanice při měření hrobky hodnostáře Tije

Geodetická měření vytvářejí základní databázi podrobných bodů pro tvorbu a aktualizaci archeologických map a plánů pomocí metod digitální kartografie. V prostředí GIS a CAD programů, které se v archeologii používají více než čtvrtstoletí, se provádí vizualizace, kresba, analýzy a syntézy prostorových dat jak ve formě vektorové, tak i rastrové.

KARTOGRAFIE A VÝZNAM MAPOVÝCH PODKLADŮ PRO POZNÁNÍ LOKALITY

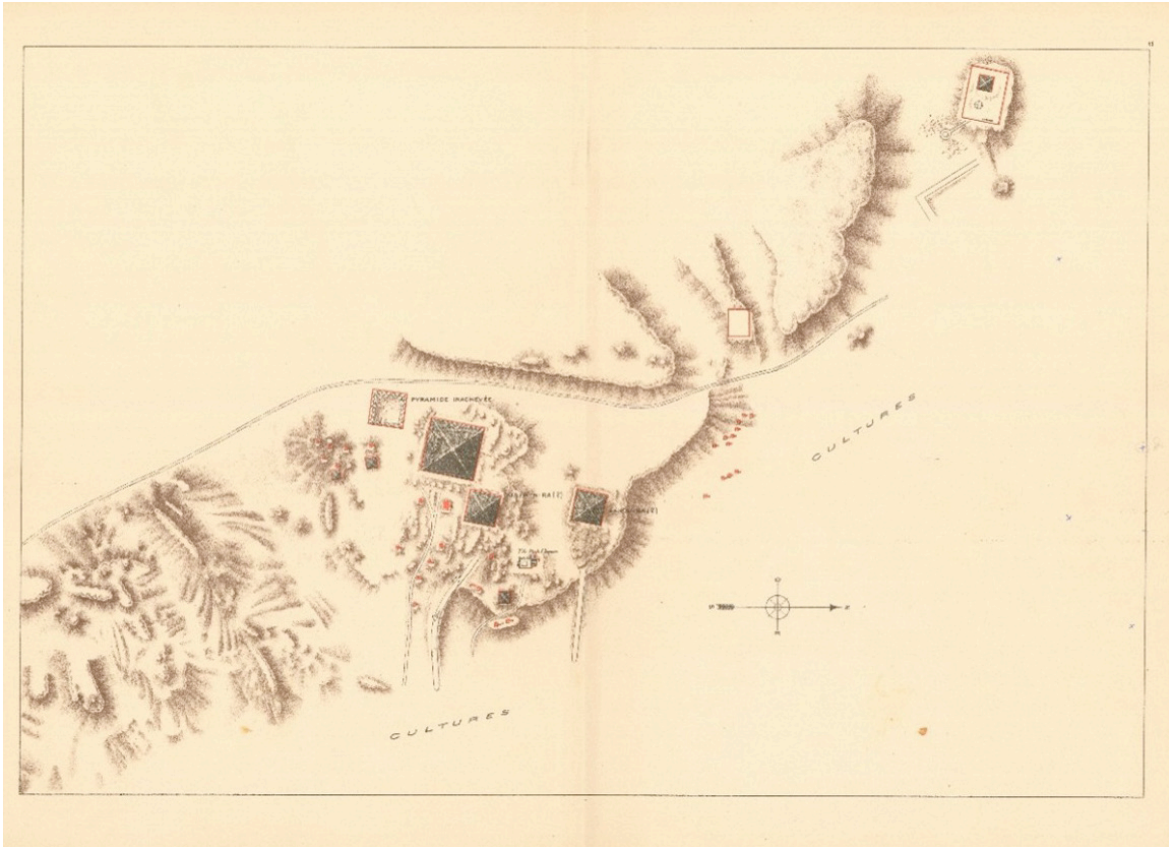
Tvorba plánů a map úzce souvisí s archeologickým výzkumem a kartografické metody umožňují v různých měřítcích zobrazit nejen detail archeologického výzkumu, ale zejména pomocí mapování zobrazit prostorovou strukturu celé zkoumané lokality. Na území abúsírské koncese a v jejím blízkém okolí probíhal archeologický výzkum již od první poloviny 19. století. Jedním z výsledků jsou i původní archeologické mapy a plány, které zobrazují území v daném čase a struktuře.

Abúsír s okolními lokalitami je zobrazován na mapách a plánech již od 19. století. To je velice důležitý fakt, protože tyto podklady nám umožňují rekonstruovat prostorovou

HUBERT, Arthur, *Surveying for Archaeologists and Other Fieldworkers*, London: Routledge library [editions: Archaeology 34], 2016; PROCHÁZKA, Jaromír – BRŮNA, Vladimír, „Výškopisná archeologická mapa 1:2000 území české koncese v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* III/2004, s. 121–125.

strukturu historické krajiny a srovnáním map z různých období dokážeme určit i její časoprostorový vývoj. Neocenitelnou pomocí je rovněž identifikace objektů, které byly sice prozkoumány v minulosti, ale o jejichž umístění se informace nedochovaly. V tomto případě jsou původní mapové podklady k nezaplacení, neboť někdy lze pomocí měřických metod podle nich určit alespoň přibližnou polohu zobrazených objektů a v daném místě provést základní terénní průzkum.

Mezi klíčové mapové zdroje zachycující proměny lokality Abúsír v čase tak patří mapa z Description de l'Egypte vzniklá na základě zkoumání Napoleonovy expedice do Egypta z let 1809–1828, mapa abúsírských pyramid od Johna S. Perringa z roku 1842, mapa pohřebišť Abúsíru, Sakkáry a Dahšúru od Karla R. Lepsia z let 1849–1858 (obrázek 3), mapa severní a centrální Sakkáry s polohou zkoumaných hrobek francouzským egyptologem Augustem Mariettem publikovaná v roce 1889, mapa pyramidových polí Abúsíru, Sakkáry a Dahšúru Jacquese de Morgana z roku 1897 (obrázek 2), mapa severní a centrální Sakkáry amerického egyptologa George A. Reisnera z roku 1936 a souvislé mapování egyptského ministerstva pro památky z roku 1978 v měřítku 1:5000.[9]



Obrázek 2 Abúsírská nekropole na mapě de Morgana (1897)[10]

9 BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Satellite Atlas of the Pyramids", *Dryada Publishing, the Czech Institute of Egyptology Prague & Magazine Archelogie CR*, Praha 2006.

10 Tamtéž.



Obrázek 3 Mapa Sakkáry a Abúsíru (Lepsius, Karl L., 1849–1858)[11]

DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

Pokud dokumentujeme vlastnosti objektu bez přímého fyzického kontaktu, hovoříme o dálkovém průzkumu Země (DPZ). Ten zaujímá v archeologickém výzkumu významnou roli, neboť poskytuje nový a v mnoha situacích netradiční úhel pohledu na zkoumanou archeologickou lokalitu. Využití metod DPZ má v archeologii mnohaletou tradici a v posledních letech je úspěšně doplněno o nové snímací systémy, radar a laserový skener LIDAR.[12]

Data dálkového průzkumu zachycují v závislosti na měřítku prostorovou strukturu zkoumaných objektů v dané oblasti a vzájemné vazby mezi archeologickými objekty a okolním prostředím. Snímkování se provádí v různých výškových hladinách, od výšky družice 450 km (systém QuickBird) nad zemským povrchem přes letecké nosiče s výškou v řádu stovek metrů až například k 7metrové výšce snímání archeologické situace z monopodu. Vzhledem k omezením na území Egypta se v terénní praxi na abúsírské koncesi nejlépe osvědčilo satelitní

11 BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Satellite Atlas of the Pyramids", *Dryada Publishing, the Czech Institute of Egyptology Prague & Magazine Archelogie CR*, Praha 2006.

12 KUNA, Martin a kol., *Nedestruktivní archeologie*, Academia, Praha, 2004; MOZAS-CALVACHE, Antonio, T. et al., „Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms", *Journal of Archaeological Science* 39(2), 2012, s. 521–530; PARCAK, Sarah, *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, London: Routledge, 2009; WISEMAN, James R. – FAROUK, El-Baz (eds.), *Remote Sensing in Archaeology*, New York: Springer Science & Business Media, 2007; GOJDA, Martin, *Archeologie a dálkový průzkum*, Academia, Praha, 2017.

snímkování, snímkování z draka, ze švédské věže a z monopodu. Každá z těchto metod má své přednosti a svá omezení, ale všechny archeologům poskytují velmi důležitá data.

Satelitní snímkování na povrchu Země má za sebou velice dlouhou tradici. První fotografie Země z vesmíru byly pořízeny již v roce 1946 pomocí rakety V-2 z výšky cca 100 km. O více než 57 let později byl Český egyptologický ústav jedním z prvních archeologických pracovišť v Egyptě, které objednalo systematické detailní snímkování pyramidových polí. Snímkování území zajistila společnost DigitalGlobe, která přeprogramovala svůj satelitní systém QuickBird vypuštěný v roce 2001 a pořídila snímky oblasti o ploše 64 km^2 zahrnující lokality (od severu k jihu) Abu Ghuráb, Abúsír, Sakkára a Dahšhúr, kde se nachází většina pyramid z období Staré a Střední říše. Jednotlivé scény, ze kterých se následně složil obraz celého území, byly v panchromatické (rozlišení 0,61 m) a v multispektrální (rozlišení 2,44 m pro blízké infračervené pásmo) formě. Ucelený přehled o tomto projektu podává publikace *Satelitní Atlas Pyramid* z roku 2006, která obsahuje soubor historických map doplněný barevnými a černobílými satelitními snímky.[13]

Později byla tato databáze doplněna ještě záběry ze satelitu WorldView 2 vypuštěného v roce 2009. Satelitní snímky s rozlišením 0,46 m na pixel (obrázek 4 a 5) umožnily i mapování škod způsobených vykradači pohřebišť, kteří po dobu několika týdnů pracovali během Arabské revoluce na různých lokalitách po celé zemi včetně Abúsíru. Konkrétně právě v Abúsíru bylo pomocí intepretace satelitního snímku s následnou verifikací v terénu identifikováno na 200 zlodějských vkopů. Analýzou satelitních dat jsou získávány základní informace o prostorové struktuře archeologických objektů na lokalitě a také predikovány polohy nových objektů, které je možno v terénu vytyčit a provést terénní šetření.

Terénní náčrty lze nahradit fotografováním z konstrukce, pro níž se vžilo pojmenování „švédská věž". Její užívání se datuje k roku 1964 a v podmínkách české archeologie se práce s ní ujala tak rychle, že při příležitosti konání Světového archeologického kongresu v roce 1966 v Praze byly již prezentovány výsledky výzkumu neolitického sídliště v Bylanech u Kutné Hory, který byl proveden právě s jejím využitím.[14] Praktické a účelné užití věže se prokázalo především při výzkumech městských jader, a to ať středověkých parcel nebo hřbitovů. Zkreslení obrazu optikou objektivu bylo korigováno výškou věže a hustotou bodů při georeferenci[15] jednotlivých snímků. Ty se dříve vystřihovaly ručně a nalepovaly do plánu bodů zhotoveného geodetem. V současnosti se provádí jejich digitalizace a v prostředí softwaru Adobe Photoshop se obrázek georeferencuje na body importované z GIS programu. Zároveň zůstává nutnost umisťovat body pro georeferenci v různých výškových hladinách daných prostorovou situací. Užitím fotogramu během velkých terénních odkryvů můžeme dosáhnout potřebné rychlosti a přesnosti terénní plánové dokumentace (obrázek 6 a 7).

Do kategorie jednodušších, ale v žádném případě ne nepodstatných snímacích systémů řadíme upoutané balóny a létající draky. Právě z řiditelného balónu se podařilo získat první

13 BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Satellite Atlas of the Pyramids", *Dryada Publishing, the Czech Institute of Egyptology Prague & Magazine Archelogie CR*, Praha 2006.

14 SMETÁNKA, Zdeněk, „Slovanské sídliště v Bylanech u Kutné Hory", *Archeologické rozhledy*, 1965, roč. 17, č. 3, s. 358–367.

15 Transformace vnitřních souřadnic vektorových nebo rastrových dat do daného souřadnicového systému.



Obrázek 4 Abúsír na snímku z WorldView 2

fotografii Paříže z výšky již v roce 1858.[16] V roce 2002 byl připraven balónový systém i pro snímkování v Abúsíru, ale z důvodu bezpečnosti (letecký koridor nad Abúsírem) nemohl být použit.

16 NEWHALL, Beaumont, *Airborne Camera: The World from the Air and outer Space*, New York, Hastings House, 1969.



Obrázek 5 El Ries na snímku z WorldView 2

O deset let později byla vyzkoušena jiná metoda, jak dostat fotoaparát do vzduchu nad zkoumanou lokalitu. Jako nosič posloužil upoutaný drak, na jehož nosné lanko se umístil ve speciálním závěsu fotoaparát. V odborné literatuře se tento snímací systém označuje jako KAP (Kite Aerial Photography). Fotoaparát exponuje v daném intervalu pomocí elektronické spouště, která je součástí sestavy. Ta může být velmi jednoduchá, sestávající ze spouštěcího



Obrázek 6 Fotomozaika Intiho hrobky

mechanismu s jednorázovým fotoaparátem, až po velmi složité rádiově ovládané přístroje a digitální fotoaparáty s vestavěnou GPS.[17] Jednodušší systém byl poprvé použit při dokumentaci archeologického výzkumu v Abúsíru na podzim roku 2012 (obrázek 8 a 9) a následně

17 ŻURAWSKI, Bogdan, „From Jebel Moya to Old Dongola", *Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg* 3, 1995, s. 305–315.



Obrázek 7 Fotomozaika Hetepiho hrobky

pak v egyptské Západní poušti – oblasti El-Rízu a při geofyzikálním průzkumu archeologické lokality Usli v Súdánu v roce 2013.[18]

18 BRŮNA, Vladimír, „Využití KAP (Kite Aerial Photography) při dokumentaci výzkumu v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* XI/2013, s. 37–43.



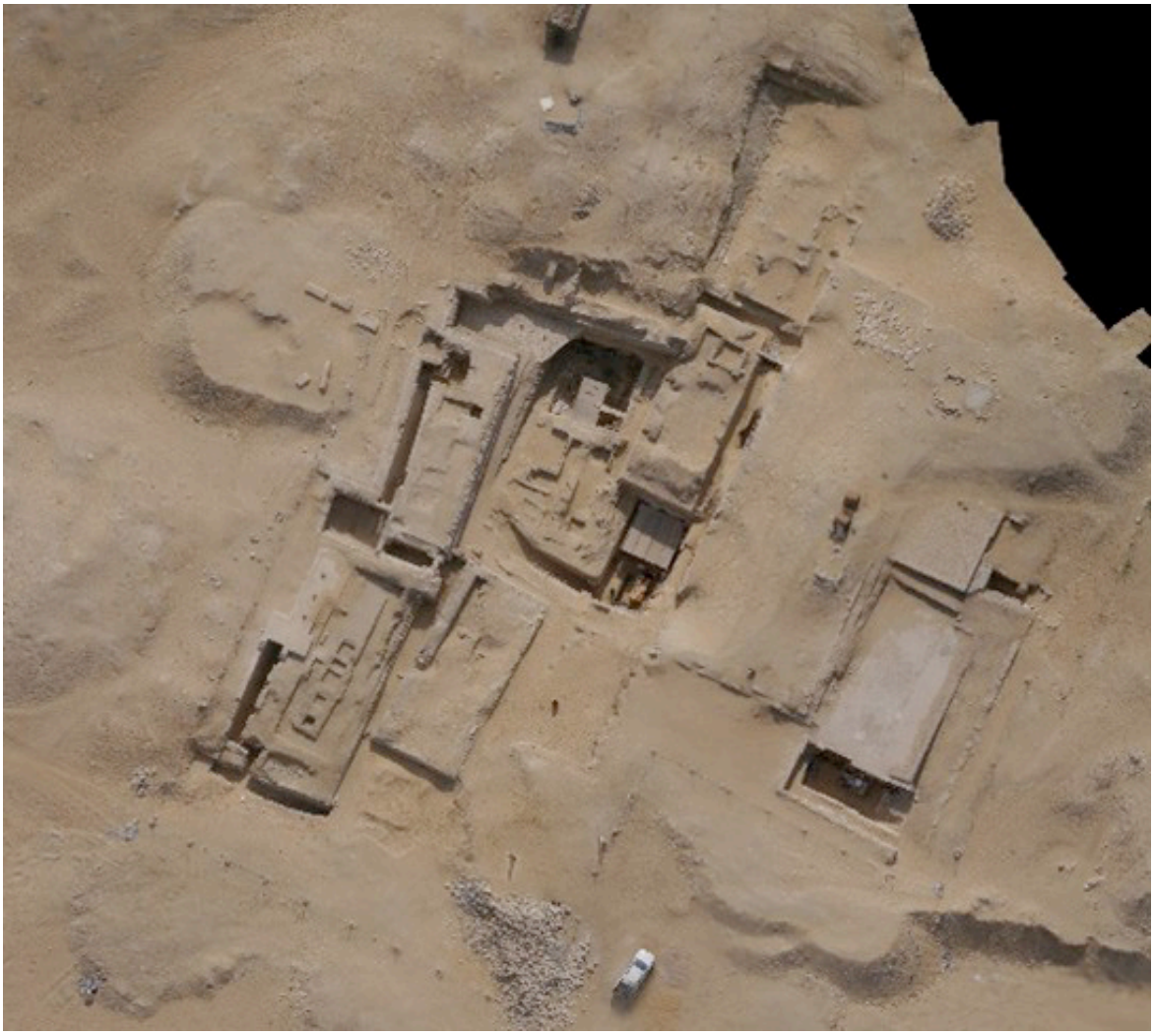
Obrázek 8 Fotomozaika výzkumu AS70

GEOFYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ

Mezi nedestruktivní metody archeologického výzkumu patří geofyzika, která pomocí několika druhů přístrojů a metod umožňuje archeologům nahlédnout pod zemský povrch, aniž by museli provádět odkryv a tím narušit terénní reliéf. První využití geofyzikálních měření v Abúsíru se datuje do výkopové sezóny 1978/1979, kdy byly jejich prostřednictvím identifikovány pyramidové komplexy královny Chentkaus II. a panovníka Raneferefa.[19] Další proběhlo v roce 2002, kdy identifikaci archeologických struktur pod povrchem umožnilo opakované použití zejména magnetometru nebo geofyzikálního radaru, jejichž prostřednictvím byly zmapovány vybrané části lokality Abúsír – oblast abúsírského rybníku, Jižního Abúsíru nebo šachtových hrobek v západní části koncese.[20] V letech 2007–2009 proběhlo v pořadí třetí geofyzikální měření na celkem 11 vybraných lokalitách za využití dvou metod, georadarové a magnetometrické (obrázek 11).

19 HAŠEK, Vladimír – VERNER, Miroslav, „Uplatnění geofyziky při archeologickém výzkumu aridního území u Abúsíru“, *Archeologické rozhledy* XXXIII, 1981, s. 306–316.

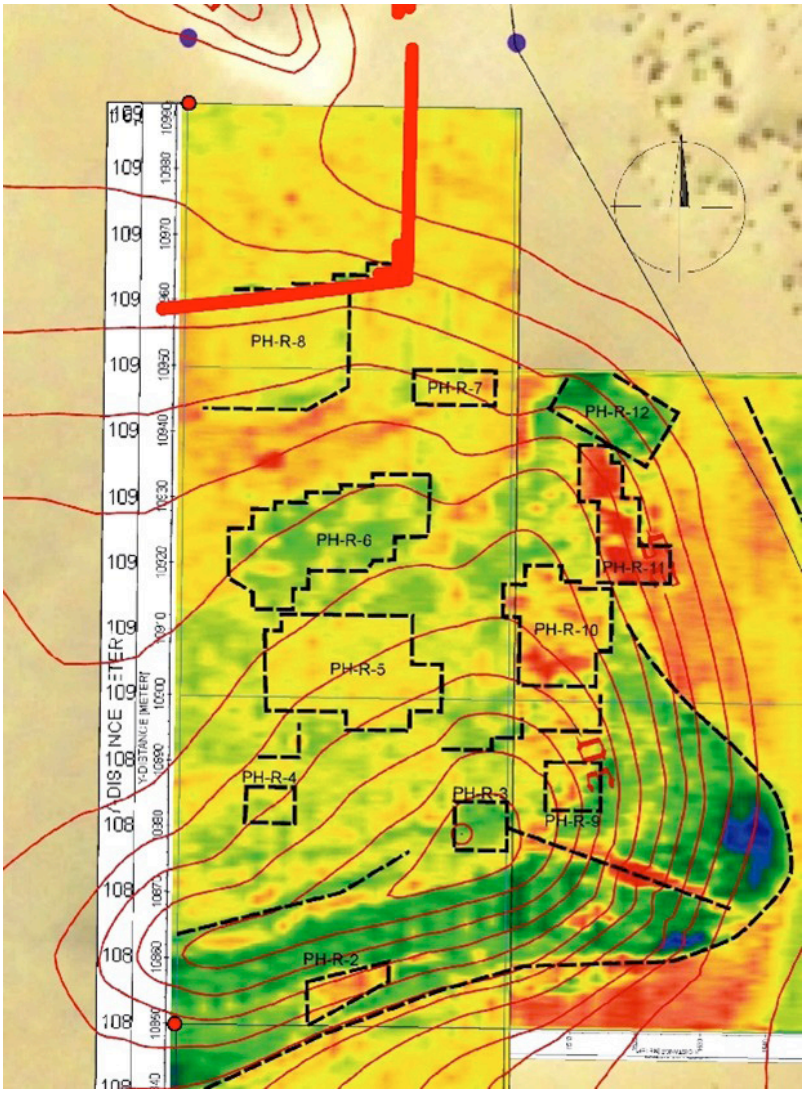
20 BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír – KŘIVÁNEK, Roman, „Research at South Abusir in 2001–2002 – Methods and Results“, *Památky Archeologické* XCIV/2003, s. 49–82.



Obrázek 9 Fotomozaika jižní Abúsír

Georadarová metoda je založena na principu vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění do země a sledování časového průběhu procházejících a odražených vln v radarových řezech, které vznikají postupným posunem systému vysílací a přijímací antény po jednotlivých profilech. V radarových řezech je patrný průběh jednotlivých rozhraní, lokálních nehomogenit a případných diskontinuit v řezu. Vlnový obraz je ovlivněn lokálními nehomogenitami (především pevné podzemní objekty, zdivo, sutě, kovové objekty, zvodnělý nebo silně jílovitý materiál apod.), které se projevují v radarových časových řezech charakteristickými změnami v registrovaném signálu. Vzhledem k homogenitě podloží a jeho charakteru (nízká hladina vlhkosti) je dosah této metody omezen na přibližně jeden metr (obrázek 10).

Magnetometrická metoda mapuje lokální prostředí z hlediska lokálních změn intenzity zemského magnetického pole a umožňuje sledovat především změny v distribuci feromagnetických materiálů v podložních zeminách a horninách. Významné akumulace magnetického materiálu představují v zemním prostředí zejména umělé objekty odlišného litologického



Obrázek 10 Výsledky geofyziky u AC27

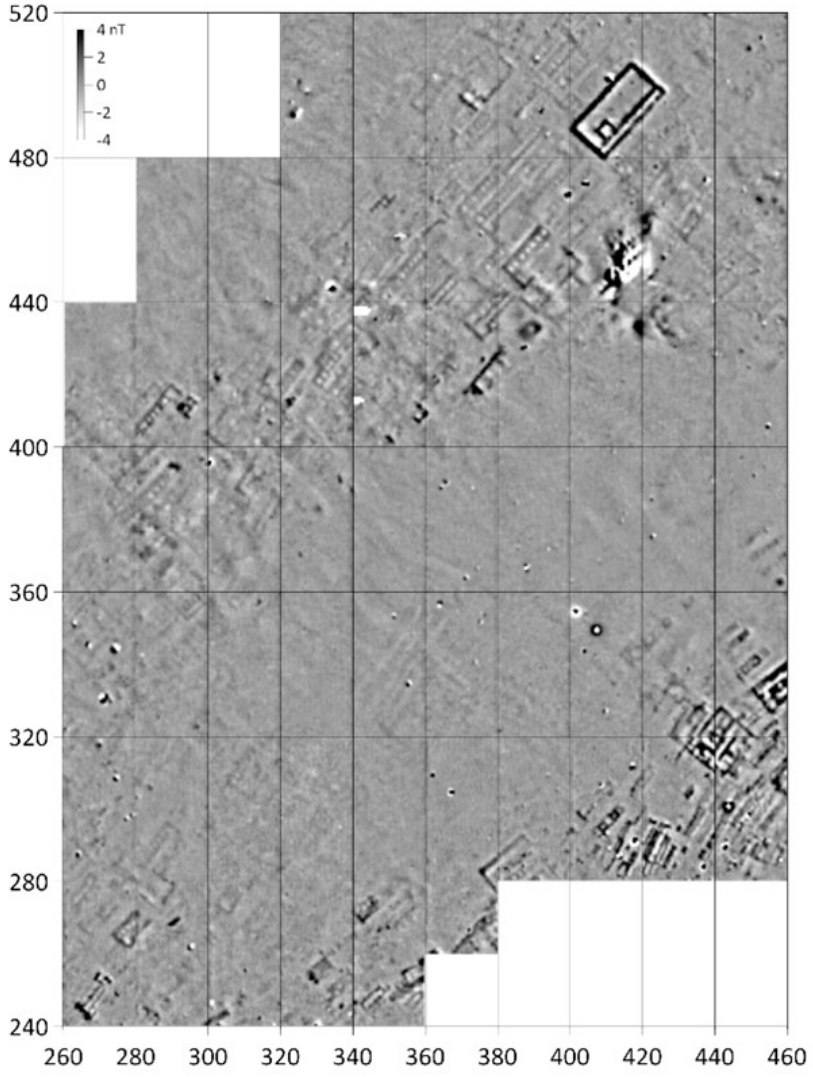
složení. Umělé objekty charakteru zdiva vytvářejí v přirozeném magnetické poli převážně kladné anomálie, které tvarově odpovídají základům nebo půdorysům hledaných objektů.[21]

METODA PRŮSEKOVÉ FOTOGRAMMETRIE

Průseková fotogrammetrie je prvním vývojovým stupněm pozemní fotogrammetrie a fotogrammetrie samotné. Její vývoj se datuje od roku 1859, kdy Aime Laussedat poprvé použil tuto měřickou techniku na mapovací práce v Paříži. Tato metoda využívá protínání vpřed z úhlů a je řešena prostřednictvím měřických snímků.[22] Digitální snímky jsou získány buď

21 HERBICH, Tomasz, „Geophysical methods and landscape archaeology", *Egyptian Archaeology* 41, 2012, s. 11–14.

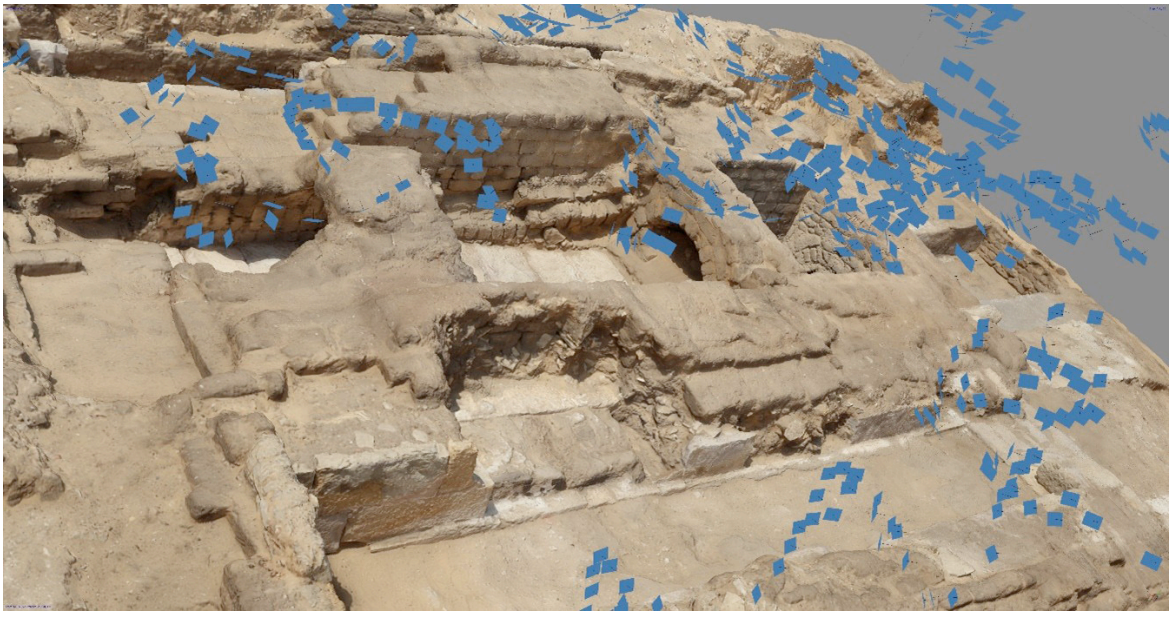
22 GÁL, Pavel, *Fotogrammetria*, SNTL Bratislava, 1954.



Obrázek 11 Mapa objektů zjištěných geofyzikálním měřením

přímo digitálním kalibrovaným fotoaparátem, nebo kvalitním fotoaparátem s využitím jeho kalibrace. Základ tvorby 3D modelu objektu tvoří množina fotografických snímků, které byly pořízeny z různých míst tak, aby obsáhly kompletní plochu objektu s překryvy. Cílem je nalezení polohy dvou odpovídajících si bodů na dvou a více snímcích bez zásahu operátora a zapsání jejich snímkové souřadnice. Zpracování množiny fotografických snímků probíhá ve specializovaných programech, např. Agisoft Metashape nebo Autodesk ReCap Photo.[23] Na vytvořeném 3D modelu lze provádět měření objektu, výstup pro 3D tiskárnu nebo pro prezentaci připravit 3D model formátu PDF (obrázek 12).

23 BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – MAREK, Zdeněk – VĚTROVSKÁ, Barbora, *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*, Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015.



Obrázek 12 Prostorová struktura snímků pro 3D model hrobky AC34

LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

V posledních letech se v archeologii hojně využívá metoda 3D laserového skenování pomocí leteckých (LIDAR), terestrických a ručních skenerů.[24] Stejně jako u metody dálkového průzkumu a geofyziky se jedná o nedestruktivní způsob dokumentace objektu. Laserové skenování obecně umožňuje velmi přesnou a objektivní dokumentaci jakéhokoliv artefaktu či objektu ve velice krátkém čase a šetří tak čas potřebný na dokumentaci přímo v terénu. Jeho další nepopiratelnou výhodou je, že takto zaznamenaná data jsou k dispozici na jakémkoliv místě a nabízí téměř nekonečné množství následných analýz.

Laserové skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování, vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor a libovolných terénů 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, který lze po úpravách přenést například do CAD systému nebo jiných programů, které pracují s 3D (obrázek 13). Většina skenovacích systémů využívá nejmodernější pulsní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou.[25]

24 LASAPONARA, Rosa et al., „Flights into the past: full-waveform airborne laser scanning data for archaeological investigation", *Journal of Archaeological Science* 38(9), 2011, s. 2061–2070; BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – BÁRTA, Miroslav, „Laserové skenování Duaptahovy skalní hrobky v jižním Abúsíru", *Pražské egyptologické studie* XIII/2014, s. 31–37.

25 AXELSSON, Peter, „Processing of laser scanner data – algorithms and application", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2–3), 1999, s. 138–147; MILS, Jon, *3D Laser Scanning for Heritage,* London: English Heritage, 2011.



Obrázek 13 Kultovní prostor v Intiho hrobce



Obrázek 14 Skenování v pohřební komoře

Mezi výhody těchto progresivních technologií patří: 1. detailní zaměření stávajícího stavu s výrazně vyšší produktivitou práce, 2. významné zkrácení práce v terénu při podstatně vyšší bezpečnosti, 3. měření může probíhat za plného provozu, popř. s výraznou redukcí délky odstávky náročných provozů na minimum, 4. rychlé zpracování 3D modelů, při použití odpovídající techniky a programového vybavení (obrázek 14). Pomocí ručního 3D skeneru byly rekonstruovány významné nálezy z abúsírské nekropole.[26] Terestrický 3D skener Faro Focus a ruční skener Faro FreeStyle byly využity při dokumentaci a srovnávací analýze v podzemí pyramidy Djedkarea v jižní Sakkáře.[27]

1.2 ROLE GEODÉZIE V ARCHEOLOGII

Tvorba písemného a grafického záznamu je od nepaměti nedílnou součástí archeologického výzkumu. Záznam zkoumané situace, nákres polohy jednotlivých artefaktů, jejich rozměry, tvorba pohledů, řezů a další grafické výstupy, utvářejí komplexní pohled na zkoumanou lokalitu. Archeolog si vždy klade otázku, kde, kdy a v jakém rozměru se nachází zkoumaná lokalita i s jejími detaily, včetně prostorových vazeb na objekty v okolí.

Základním cílem geodetických metod v archeologické dokumentaci je určení prostorové polohy podrobných bodů zobrazující jednotlivé archeologické objekty, artefakty a související výsledky antropogenní činnosti. Určení prostorové polohy probíhá v lokálním nebo světovém souřadnicovém systému, zpravidla v pravoúhlých souřadnicích (X, Y, Z).

Jaká je tedy role geodézie v archeologii? Publikačních zdrojů není mnoho, v tuzemsku položil základy Ing. Miloslav Šimana, který shrnuje hlavní geodetické metody, výpočty, výškopisná a polohopisná měření ad.[28] Více než půlstoletí stará publikace je dodnes pro archeology cenným zdrojem informací o základních měřických postupech. Popis aplikovaných geodetických metod je nejčastěji součástí výzkumných prací, technických zpráv a článků, týkajících se konkrétních archeologických výzkumů,[29] stejně jako propojení analýzy historických map, geodézie, geofyziky a leteckého snímku.[30] V novějších publikacích tvoří metoda geodézie součást celého komplexu dokumentačních metod.[31] Její roli v archeologii, včetně praktických příkladů,

26 NOVOTNÝ, Vítězslav – HEGRLÍK, Ludvík, „Three-dimensional scanning of selected artefacts", in: Miroslav Bárta et al., *The Tomb of the Sun priest Neferinpu (AS 37)*, Charles University in Prague, Faculty of Arts [Abusir XXIII], Prague, 2014, s. 195–198.

27 MEGAHED, Mohamed – VYMAZALOVÁ, Hana – BRŮNA, Vladimír – MAREK, Zdeněk, „Die Pyramide des Djedkare-Isesi in 3-D", *Sokar – Das Ägyptische Pyramidenzeitalter* 32, 2016, s. 40–51.

28 ŠIMANA, Miloslav, *Geodesie v archeologické praxi*, Zprávy ČSSA, Supplément 9, Praha, 1971.

29 SMETÁNKA, Zdeněk – KLÁPŠTĚ, Jan, „Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých osad", *Archeologické rozhledy* 31, 1979, s. 614–639; SMETÁNKA, Zdeněk – KLÁPŠTĚ, Jan, „Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých vsí na Černokostelecku", *Památky archeologické* 72, 1981, s. 416–458; ŠIMANA, Miloslav, „Geodetická dokumentace mohylových pohřebišť", in: A. Beneš, J. Michálek a P. Zavřel (eds.), *Archeologické nemovité památky okresu České Budějovice* I, Praha 1999, s. 193–195; ŠIMANA, Miloslav, „Provádění geodeticko-topografického průzkumu na zaniklých středověkých osadách", *Archeologické rozhledy* 31, 1979, s. 631–639.

30 SMRŽ, Zdeněk – MEDUNA, Petr – BRŮNA, Vladimír – KŘIVÁNEK, Roman, „Polní fortifikace z 18.–19. století u obce Poplze, okr. Litoměřice", *Archeologické rozhledy* LI, Praha, 1999, s. 335–345.

31 KUNA, Martin a kol., *Nedestruktivní archeologie*, Academia, Praha, 2004; GOJDA, Martin – JOHN, Jan a kol., *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny*, Katedra archeologie FF ZU Plzeň, 2013; GOJDA, Martin, *Archeologie a dálkový průzkum*, Academia, Praha, 2017.

uspořádal ve své bakalářské práci Jan Čibera.[32] A je třeba také zmínit aplikace geodetických metod při dokumentaci historických památek.[33]

Obdobná situace jako v tuzemské literatuře panuje i v zahraničních publikacích, kde je geodézie rovněž jednou ze součástí dokumentačních metod.[34] Frank Bettess publikoval komplexní příručku zeměměřictví pro archeology,[35] která obsahuje základní postupy měřických prací při archeologickém výzkumu, a navázal tak na publikaci zabývající se geodetickými metodami v archeologické praxi.[36]

SPECIFIKA GEODETICKÝCH PRACÍ V EGYPTSKÉM ARCHEOLOGICKÉM VÝZKUMU

Jaké jsou vlastně důvody proč se zabývat tématem specifických geodetických metod v egyptské archeologii? Předně se velmi málo badatelů věnuje problematice geodézie v procesu archeologického výzkumu v Egyptě. Metoda geodézie je brána jako samozřejmost, jako součást vlastního výzkumu, a i tak je proto na ni nahlíženo. To, že se geodet musí vypořádat s mnoha nástrahami, které jsou pro egyptskou archeologii typické, je často okrajové téma. Každé pohřebiště, každá hrobka, šachta, objekt kladou množství otázek a geodet si tak často počíná jako herec na jevišti, který zapomene text a je nucen improvizovat. V takových chvílích musí bezodkladně vystoupit ze zásad metodik a pouček, technické normy nevyjímaje, a soustředit se na jediný cíl, a tím je určit prostorovou polohu podrobných bodů objektu tak, aby mohl následně archeologovi předat jejich databázi pro tvorbu plánů, map a 3D modelů v měřítku, zachycujícím co nejvěrněji danou situaci. Převod reálného světa, v našem případě se může jednat o archeologický objekt, do formy analogové a digitální podléhá v archeologické dokumentaci určitým pravidlům, jak podrobně bude prováděno měření podrobných bodů, jakou metodou, v jakém měřítku ad.

Terénní práce v egyptské archeologii mají svá specifika, kterými se liší od archeologických výzkumů v jiných částech světa. A to nejen specifika aplikovaných geodetických metod, ale i charakteru postupů archeologického výzkumu, průběžné dokumentace, priorit terénních prací a dalších omezujících procesů. Aspekty ovlivňující geodetické práce v egyptské archeologii můžeme rozdělit následovně:

32 ČIBERA, Jan, *Geodézie v archeologii*, bakalářská práce, Katedra archeologie FF ZU Plzeň, 2011.

33 PAVELKA, Karel et al., *Modern Processing Capabilities of Analog Data from Documentation of the Great Omayyad Mosque in Aleppo, Syria. Damaged in Civil War*, ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2017), s. 561–565; VESELÝ, Jan, *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*, Národní památkový ústav, edice odborné a metodické publikace, svazek 9, Praha, 2014.

34 DREWETT, Peter, L., *Field archaeology: an introduction*, Routledge, 2012; HESTER, R. Thomas – SHAFER, Harry et al., *Field methods in archaeology*, Routledge, 2016; JOHNSON, Paul – MILLETT, Martin (edd.), *Archaeological Survey and the City*, Cambridge University, Faculty of Classics, Oxford: Oxbow Books, 2013; NORMAN, Sir Joseph, L., *Surveying for Archaeologists*, Macmillan and Company, London, 1909, s. 120.

35 BETTESS, Frank, *Surveying for Archaeologist*, University of Durham, 1984.

36 REYNOLDS, David, „Surveying for Archaeologists and other Fieldworkers, By A. H. A. Hogg", *Archaeological Journal*, 137:1, 1980, s. 499–501.

a) přírodní podmínky
b) stav archeologického výzkumu
c) logistika expedice
d) úloha geodeta

Archeologické expedice probíhají pravidelně v jarních a podzimních měsících, kdy jsou podmínky v poušti relativně stálé. Na průběh geodetických prací a vlastní měření mají velký vliv meteorologické podmínky – vysoká teplota, vlhkost vzduchu (zejména při měření v podzemí), prašnost, směr a rychlost větru a znečištění ovzduší. Vysoké teploty znemožňují měření dlouhých záměr (chvění vzduchu), omezují využití geodetických přístrojů, např. laserový skener se na přímém slunci přehřívá a skenování je časově omezeno. Stejný problém je i u geodetických totálních stanic.

V určitých fázích archeologického výzkumu je nutná spolupráce geodeta, neboť je potřeba zaměřit průběžný stávající stav výzkumu anebo na konci výzkumu provést celkové zaměření zkoumaného objektu. Po zaměření jsou jak povrchové, tak i podpovrchové archeologické objekty z důvodu bezpečnosti zasypány. Zaměřování objektů na povrchu představuje tu jednodušší variantu. Problémy často nastávají při dokumentaci podzemí a míst, která jsou nebezpečná (šachty, hrobky, sestupné chodby, pohřební komory aj.). Jakmile se odkryjí podzemní prostory, vzduch, který do nich vniká, začne vysušovat stěny a strop a může nastat jejich zborcení. Jsou situace, kdy má geodet na zaměření objektu jen jeden pokus a při pozdějším zjištění měřických chyb není možné se k situaci vrátit zpět. Proto je důležitá velká pečlivost při přípravě a vlastním procesu měření. Geodet je často pod časovým tlakem, například v situacích, kdy je potřeba na konci pracovního dne výzkum zakrýt a zabezpečit do druhého dne proti poškození a zlodějům. Při měření nepřístupných podrobných bodů anebo v situaci, kdy je situace riziková, se používá měření bez použití odrazného hranolu.

Geodetické metody použité v egyptské archeologii jsou ve spojitosti s popsanými omezeními klíčové. Každý objekt, podzemní prostor, místnost, pohřební komora jsou samy o sobě specifické/jedinečné. Proto je na geodetovi, aby si definoval takový postup měření, jenž povede k úspěšnému výsledku. V českém prostředí existují normy a vyhlášky, kterými je povinen se řídit a dodržovat je. Situace v egyptské archeologii je však odlišná. Dalo by se říci, že každý zaměřovaný objekt je samostatným geodetickým projektem. Před geodetem tak stojí několik důležitých úkolů, od výběru geodetických stanovisek, zahuštění bodového pole, vytvoření volných stanovisek, definování polygonových pořadů až po vlastní měření podrobných bodů.

Vždy je nutno vidět hlavní cíl a tím je určení prostorových souřadnic jednotlivých bodů, ze kterých se poté vytváří 2D plán, mapa a 3D model dokumentovaného objektu. Hledat cesty řešení, často improvizovat a nereflektovat na zavedené standardní metodiky v geodetickém měření je každodenní činností geodeta na archeologickém výzkumu v Egyptě. A právě vybranými aplikovanými geodetickými postupy a metodami v egyptské archeologii se zabývá tato práce, která je představuje, popisuje, analyzuje a předkládá jejich výsledky a výstupy.

Samostatnou kapitolu omezení geodetických činností v Egyptě tvoří stávající předpisy a pravidla, která omezují dovoz a využití nejen geodetických přístrojů. Jako příklad můžeme uvést omezení využívání vlastních geodetických GPS (archeologická koncese je v blízkosti vojenských prostor a je zakázáno využití radiových spojení, které GPS přijímače potřebují). Řešením je zadání měření egyptské firmě, které je však finančně nákladné, stejně jako u využití

UAV dronů,[37] které je v Egyptě přísně zakázáno a jedinou možnost opět představuje objednání komerčního dodavatele.

DOKUMENTOVANÉ OBJEKTY V EGYPTSKÉ ARCHEOLOGII

Na území Abúsíru se archeologické památky vyskytují na povrchu a pod povrchem terénu, v podzemí. Cílem je dokumentovat zkoumané objekty během archeologického výzkumu základními geodetickými metodami a vytvářet tak jejich detailní prostorovou evidenci. Geodetická dokumentace tvoří stěžejní soubor dat pro tvorbu archeologické mapy.

Absence geodetické sítě, především v pouštních oblastech, vyvolává potřebu využití přijímačů GPS pro mapování zkoumaných archeologických struktur. Znalost jejich prostorové polohy a vzájemných vazeb mezi objekty je důležitá při tvorbě archeologických map doplněných o základní topografické prvky. Pro mapování jsou využívány GPS přijímače, které mají menší přesnost, řádově jednotky metrů, ale pro potřeby archeologie jsou dostačující.[38] Tam, kde existuje geodetická síť pevných bodů, se všechna měření provádějí v souřadnicích této sítě a role GPS podstatně klesá. To je i případ Abúsíru, kde byla vytvořena lokální geodetická síť a v roce 2017 byla přeměřena a transformována do WGS84, včetně geodatabáze obsahující zdokumentované objekty na abúsírské koncesi.[39]

Objekty na povrchu terénu je možné rozdělit na:

a) Objekty již archeologicky prozkoumané a zdokumentované: Většinou se skládají z nadzemní a podzemní části. Obvykle jde o jednotlivé šachty, celé hrobky, pyramidové komplexy nebo šachtové hrobky. Každý z uvedených objektů se na povrchu terénu projevuje odlišnou charakteristikou – např. viditelným zdivem, vykopanou hlušinou, povrchovým shlukem fragmentů různých skupin artefaktů apod. Tyto objekty byly v době jejich zkoumání dokumentovány, existují základní plány a náčrty, ale opětovnou dokumentací s využitím moderních metod (TLS, PFTGM) a komplexní digitalizace získávají archeologové nová data, informace a nové úhly pohledu na studovanou památku. Jako příklad lze uvést šachtový pohřební komplex Iufa, kde byl pomocí geodetického měření a laserového skenování vytvořen 3D model hrobky, včetně souvisejících struktur (spojovací chodby, šachty).

b) Objekty, u kterých se provádí výzkum a jsou postupně odkrývány: To se týká těch, které se nacházejí jak na povrchu terénu (mastaby), tak pod povrchem (šachty a pohřební komory). Metoda je stejná jako u měření v předcházejícím bodě. Geodet dokumentuje postup odkrývání zkoumaných objektů dle požadavků archeologa. Na závěr výzkumu, kdy jsou odkryty a vyčištěny, se provádí konečná geodetická dokumentace. U části objektů je možné měření v případě potřeby opakovat a doplňovat. Jsou však takové, které se dokumentují pouze jednou, především nezajištěné šachty a pohřební komory, u nichž je opakování měření nemožné. Proto se klade velký důraz na správnost a komplexnost zaměření a okamžitou kontrolu výsledků. V posledních letech doplňuje geodetické měření i pozemní 3D laserové skenování, které urych-

37 UAV je zkratka pro anglické *Unmanned Aerial Vehicle*.

38 BRŮNA, Vladimír, „Mapování oázy El- Hajéz", *Studia Oecologica*, VI, 2007 s. 14–19.

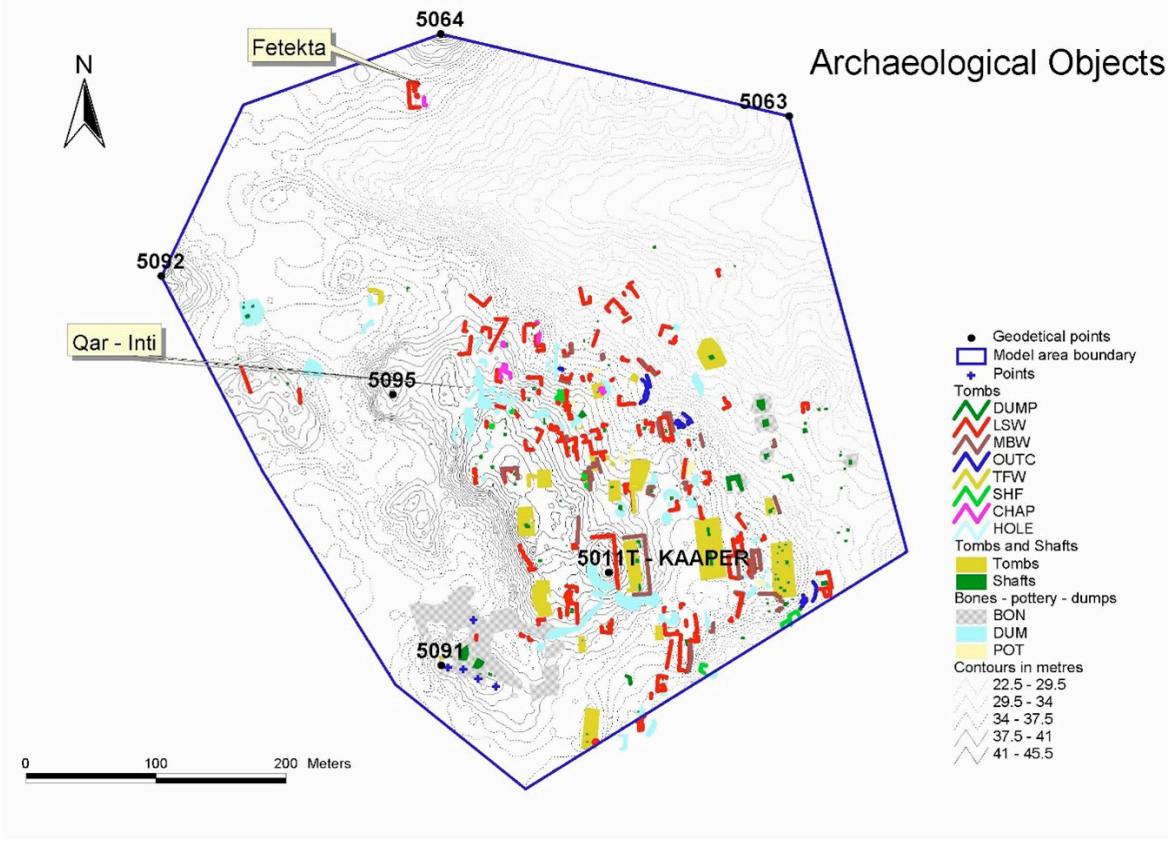
39 BRŮNA, Vladimír – ODLER, Martin – BÁRTA, Miroslav – MEGAHED, Mohamed, „New geodetic control network of Czech concession at Abusir", *Prague Egyptological Studies* XXI/2018, Prague, s. 125–128.

luje zaměření v případech, kdy je objekt nestabilní anebo nelze některé části dokumentovat geodeticky.

c) Předchozí body a) a b) souvisejí s klasickou destruktivní archeologií, to znamená, že se fyzicky zasahuje do terénu a zkoumaných objektů. Na druhou stranu existují nedestruktivní způsoby výzkumu,[40] jež zahrnují metody DPZ, geofyzikální a geochemická měření, povrchové sběry, analýzu reliéfu pomocí LIDAR a další postupy, které mají klíčový význam pro řešení otázek prostorové struktury archeologických objektů, jejich četnost a hustotu.

Během povrchového průzkumu na lokalitě jižní Abúsír byla identifikována a zaznamenána pouhou subjektivní interpretací terénu celá řada cenných archeologických dat o objektech nebo jejich příznacích. Jednalo se o půdorysy a zdiva hrobek (z vápence, cihel z nilského bahna a tafly), dále o výsypky, koncentrace keramiky, areály lidských a zvířecích kostí, čočky vátého písku a izolované artefakty (např. koncentrace zlomků kamenných nádob). Celkem bylo zdokumentováno a klasifikováno na 150 objektů.

Dokumentace interpretovaných archeologických památek byla provedena geodetickou metodou – podrobným měřením. Výsledkem je mapa identifikovaných archeologických objektů v jižním Abúsíru (obrázek 15).



Obrázek 15 Archeologická mapa jižního Abúsíru, interpretované objekty

40 KUNA, Martin a kol., *Nedestruktivní archeologie*, Academia, Praha, 2004.



Obrázek 16 Viditelné struktury hrobek po dešti v jižním Abúsíru

Výsypky a akumulace keramiky zase označují místa, kde zřejmě ve vzdálené minulosti probíhala intenzivní zlodějská činnost. V některých případech máme doloženy výsypky, ale samotné archeologické objekty nejsou na povrchu zřetelné, výsypka se tak stává prakticky jediným nepřímým dokladem existence povrchově bezpříznakového objektu. Výsledná sestava tematických vrstev archeologických objektů byla importována do prostředí GIS-geodatabáze a jedním z výstupů je i lokalizace archeologických objektů na 3D modelu terénu.

Pro identifikaci archeologických struktur může pomoci déšť, který se vyskytuje v jarních a podzimních měsících. Pokud je po dešti, rychlost vsaku a výparu vody nám ukáže struktury cihlových zdí. Tyto příznaky se velmi krátce objeví na povrchu a pomocí GPS je možno určit souřadnice a v budoucnosti provést zkušební sondy (obrázek 16).

Získaná prostorová data jsou implementována do prostředí geografického informačního systému (GIS), nástroje, který je využíván v mnoha oblastech lidské činnosti zabývajících se geodaty a studiem krajinného prostoru. GIS si našel své pevné místo v archeologii a v jeho prostředí jsou vizualizována a analyzována prostorová data a informace o archeologických objektech a jevech, včetně okolního prostředí.[41]

41 WESTCOTT, Konnie – BRANDON, Joe L. (eds), *Practical Applications of GIS for Archaeologist*, London: Taylor & Francis, 2000.

HISTORIE A SOUČASNOST GEODÉZIE V ČESKÉ EGYPTOLOGII

V roce 1962 se geodeti z ČVUT zúčastnili 3. expedice Československého egyptologického ústavu Karlovy univerzity v Egyptě. Cílem této expedice bylo hledání ztraceného Jižního chrámu v Táfě v Núbii. V souvislosti se stavbou Asuánské přehrady byly do Núbie pozvány archeologické týmy z celého světa, aby se podílely na záchraně archeologických památek, z nichž část byla zdokumentována a zůstala na původním místě a část byla přesunuta mimo zátopové území. Úkolem expedice byl epigrafický výzkum, studium antropologie původního obyvatelstva Núbie, archeologické práce a dokumentace těch objektů, které nebyly přesunuty. Úkol geodetů spočíval v dokumentaci současného stavu památek v oblasti Táfy a Kertási, včetně hledání ztraceného Jižního chrámu, kterému předcházela důkladná analýza dostupných podkladů, jež posloužila ke stanovení metody hledání. Na základě 110 let staré daguerrotypie Teynarda a půdorysu chrámu, jehož autorem byl anglický cestovatel Laver z let 1826–1838, byla pomocí fotogrammetrické metody určena poloha chrámu. Následně byl proveden archeologický výzkum a dokumentace odkrytých struktur.[42] Stručnou informaci o aplikaci geodézie při archeologickém výzkumu v Egyptě popisují ve svém článku Jaromír Procházka a Mojmír Švec.[43]

Expedice v Núbii provedla ještě výzkum římské pevnosti v Kertási, kde geodeti zaměřili ohradní zdi a vnitřní struktury. Už první účast geodetů na archeologické expedici ukázala důležitost aplikace geodetických a fotogrammetrických metod v archeologickém výzkumu. Při ukončení prací v Núbii bylo další zastávkou expedice pyramidové pole v Abúsíru, neboť na základě výsledků archeologických prací v Núbii nabídla egyptská památková správa vedoucímu československé expedice výběr nové koncese a volba padla na Abúsír.

Geodetické práce probíhaly do roku 2001 vždy v pravidelných několikaletých intervalech. Zahrnovaly zejména budování a údržbu bodového pole v místním souřadnicovém systému, polohopisné zaměřování odkrytých archeologických objektů a struktur, včetně postupného polohopisného a výškopisného zaměření území Abúsíru.[44] Výsledkem je výškopisný plán v měřítku 1:2000 se základním intervalem vrstevnic 1 metr.[45] Součástí geodetických prací byla i metoda pozemní fotogrammetrie aplikovaná při výzkumu v Núbii[46] a při zaměřování komplexu mastaby Ptahšepsese.[47] V roce 2001 byla expedice vybavena geodetickými totálními stanicemi

42 TLUSTÝ, Jan – VOSIKA, Otakar, „Hledání ztraceného Jižního chrámu v Nurii geodetickými metodami“, *Geodetický obzor* sv. 9/51, č. 7, Praha, 1963, s. 184–189.

43 PROCHÁZKA, Jaromír – ŠVEC, Mojmír, „Vývoj geodetické sítě na území české koncese v Abúsíru a jeho výškopisná mapa 1:2000“, *Pražské egyptologické studie* II/2003, s. 144–154.

44 Blíže o budování geodetické sítě, její přesnosti a metodách měření in PROCHÁZKA, Jaromír – ŠVEC, Mojmír, „Vývoj geodetické sítě na území české koncese v Abúsíru a jeho výškopisná mapa 1:2000“, *Pražské egyptologické studie* II/2003, s. 144–154.

45 ŠVEC, Mojmír – VOSIKA, Otakar, „Geodézie v egyptologii“, *Stavební obzor* 2, Praha, 1992, s. 18–22; VOMELOVÁ, Martina, *Vyhodnocení geodetických prací v české archeologické koncesi u Abúsíru v EAR*, diplomová práce, ČVUT, Praha, 1996; PROCHÁZKA, Jaromír – BRŮNA, Vladimír, „Výškopisná archeologická mapa 1:2000 území české koncese v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* III/2004, s. 121–125.

46 TLUSTÝ, Jan – VOSIKA, Otakar, „Hledání ztraceného Jižního chrámu v Núbii geodetickými metodami“, *Geodetický obzor* sv. 9/51, č. 7, Praha, 1963, s. 184–189.

47 MARTINÁK, Vladimír, „The Survey of the Xth Expedition of the Czechoslovak Institute of Egyptology, Charles University“, in: Miroslav Verner (ed.), *Preliminary Report on Czechoslovak Excavations in the Mastaba of Ptahshepses at Abusir*, Prague: Charles University, 1976, s. 39–45.

a všechna měření byla importována do prostředí GIS a CAD, kde probíhalo zpracování a vizualizace dat. Geodetické bodové pole v Abúsíru bylo zaměřeno v lokální souřadnicové síti a v ní probíhala všechna geodetická měření. Souhrnný popis archeologických výzkumů od 60. let minulého století uspořádal Ladislav Bareš.[48] V současné době je dokončen základní mapový podklad – *Archeologická mapa Abúsíru*, která obsahuje výškopis, polohopis a archeologické objekty.[49]

Od 60. let minulého století byli členy archeologických expedic do Egypta geodeti, kteří se zúčastnili záchranných výzkumů v Núbii[50] a začínali pracovat na území koncese v Abúsíru. Prvním objektem zkoumaným v Abúsíru byla mastaba vezíra Ptahšepsese v roce 1961 (obrázek 17). Jedná se o rozlehlou vápencovou mastabu s výjimečnými prvky architektury, pohřebiště na východ od Niuserreovy pyramidy z období 5. dynastie obsahující sekundární pohřby z 1. tisíciletí př. Kr.



Obrázek 17 Geodetické práce v hrobce vezíra Ptahšepsese v Abúsíru v roce 1961

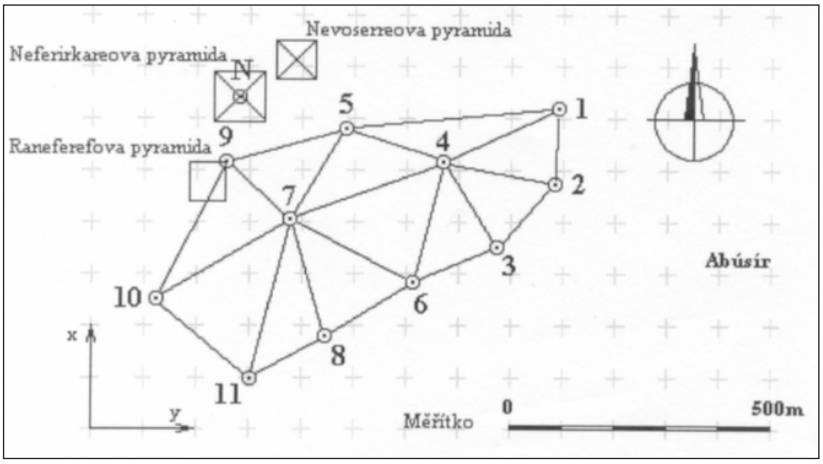
48 BAREŠ, Ladislav, „Šedesát let českých (československých) archeologických výzkumů v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie*, XXIV/2020, s. 49–63.

49 Mapa na webu Brůna a kol. http://bruna.geolab.cz/bruna/files/pes/Barta_M_et_al_2020_Map_of_archaeological.pdf.

50 TLUSTÝ, Jan – VOSIKA, Otakar, „Hledání ztraceného Jižního chrámu v Núbii geodetickými metodami“, *Geodetický obzor* sv. 9/51, č. 7, Praha, 1963, s. 184–189.

GEODETICKÉ BODOVÉ POLE ARCHEOLOGICKÉ KONCESE V ABÚSÍRU

Základem tvorby geodetické dokumentace je existence sítě pevných bodů buď v lokální, nebo ve světové souřadnicové soustavě. Na archeologické koncesi ČEgÚ FF UK v Abúsíru byla v osmdesátých letech minulého století vybudována pracovníky Katedry speciální geodézie Stavební fakulty ČVUT v Praze lokální geodetická síť se základními body 5011 (Kaaper) a 5000 N na vrcholu pyramidy Neferirkarea (obrázek 18). V roce 2001 byla tato síť, která obsahovala celkem 23 geodetických stabilizovaných bodů, kompletně přeměřena a vyrovnána. Soubor geodetických bodů se využívá na všech třech dílčích částech koncese (AC, AW a AS).



Obrázek 18 První část geodetické sítě v abúsírském pyramidovém poli v roce 1985[51]

V posledních letech byla však většina geodetických bodů zničena a jejich absence omezuje možnosti geodetického měření, včetně přesnosti. Proto bylo rozhodnuto abúsírské geodetické bodové pole obnovit a zároveň vybranou skupinu geodetických bodů (stávajících a nových) zaměřit pomocí přijímače GNSS (globální navigační satelitní systémy) v systému UTM 36N WGS84.

Geodetická síť byla obnovena a zaměřena pomocí přístroje Leica VIVA GNSS až v roce 2017 externí egyptskou firmou. Transformací byly určeny souřadnice bodů bodového pole v souřadnicovém systému UTM 36N WGS84. Tím se zjednodušila práce s daty z externích zdrojů a všechna geodetická měření již dnes probíhají v této světové souřadnicové soustavě.[52]

Před vlastním zaměřením byla provedena analýza stávajícího bodového pole a návrh rozmístění nových bodů. Aby se zamezilo možnosti poškození, byla zvolena nová metoda stabilizace pomocí měřických mezníků (obrázek 19). Celkem bylo touto metodou stabilizováno 16 geodetických bodů. Postup stabilizace:

51 PROCHÁZKA, Jaromír – BRŮNA, Vladimír, „Výškopisná archeologická mapa 1:2000 území české koncese v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* III/2004, s. 121–125.

52 BRŮNA, Vladimír – ODLER, Martin – BÁRTA, Miroslav – MEGAHED, Mohamed, „New geodetic control network of Czech concession at Abusir“, *Prague Egyptological Studies* XXI/2018, Prague, s. 125–128.

a) vyhloubení jámy
b) zatlučení mezníku, včetně plastové hlavy
c) zalití betonem po hlavu mezníku
d) pomocí turistické GPS zaměření zeměpisných souřadnic pro snadné dohledání bodu v terénu
e) zahrnutí bodu pískem



Obrázek 19 Stabilizace geodetického bodu

Zaměření metodou dálkového určování polohy a orientace pomocí signálů z globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) provedl pracovník egyptské geodetické firmy Hi-Tech Surveying Cairo Ing. Hišám dne 19. dubna 2017. Použil statickou metodu měření, která má jednu stanici základní a druhou přenosnou. Systém se skládal ze 2 jednotek Leica VIVA GNSS. Jedná se o třífrekvenční kompaktní GNSS přijímač s integrovanou anténou (obrázek 20). K následnému zpracování dat – postprocessingu – byl použit program Leica GeoOffice. Celkem bylo zaměřeno 17 bodů a výsledné rovinné i zeměpisné souřadnice jsou uvedeny v tabulce 1.

Pomocí GPS technologie byly určeny zeměpisné a rovinné souřadnice u 17 bodů, z toho bylo 9 geodetických stávající lokální souřadnicové sítě a 8 nově stabilizovaných. Aby bylo možno určit souřadnice UTM 36N WGS84 u všech bodů spadajících do koncese Abúsír, byl v programu Carlson Survey určen transformační klíč pomocí 9 zaměřených stávajících bodů (tabulka 2). Obrázek 21 zobrazuje prostorovou strukturu bodů použitých k transformaci.



Obrázek 20 GPS přijímač na geodetickém stativu při observaci

Dále byla použita 3D Helmertova prostorová lineární konformní podobnostní transformace s vyrovnáním koeficientů podle metody nejmenších čtverců. Tato tzv. sedmiprvková transformace obsahuje 7 parametrů, které ji definují. Jedná se o 3 posuny ve směru souřadnicových os, 3 rotace podle souřadnicových os a 1 měřítkový koeficient, které dohromady tvoří transformační klíč (tabulka 3).

V tabulce 3 uvedený transformační klíč představuje základ pro přepočet všech bodů v souřadnicích lokálního souřadnicového systému do systému UTM 36N WGS84. Od podzimu 2017 jsou všechna geodetická měření a měření pomocí GPS prováděna v novém souřadnicovém systému. Obrázek 21 zobrazuje 9 geodetických bodů použitých k transformaci, obrázek 22 pak všechny body zaměřené pomocí GNSS a body, které byly zaměřeny geodeticky pomocí GTS. Na obrázku 23 vidíme strukturu geodetické sítě v Abúsíru a vzájemnou viditelnost mezi body.

Obnova geodetické sítě v Abúsíru a její transformace do systému UTM 36N WGS84 zajistila datovou kompatibilitu s jinými zdroji (satelitní data, topografická a tematická data, GIS data – ESRI databáze, mapy a plány ostatních expedic). Vytvořený transformační klíč byl použit ke komplexní transformaci všech podrobných bodů z abúsírské lokality, tzn. všech měření provedených v lokální geodetické síti ČVUT. Zároveň byla do obou totálních stanic uložena nová databáze geodetických bodů, které slouží pro podrobné geodetické zaměřování archeologického výzkumu.

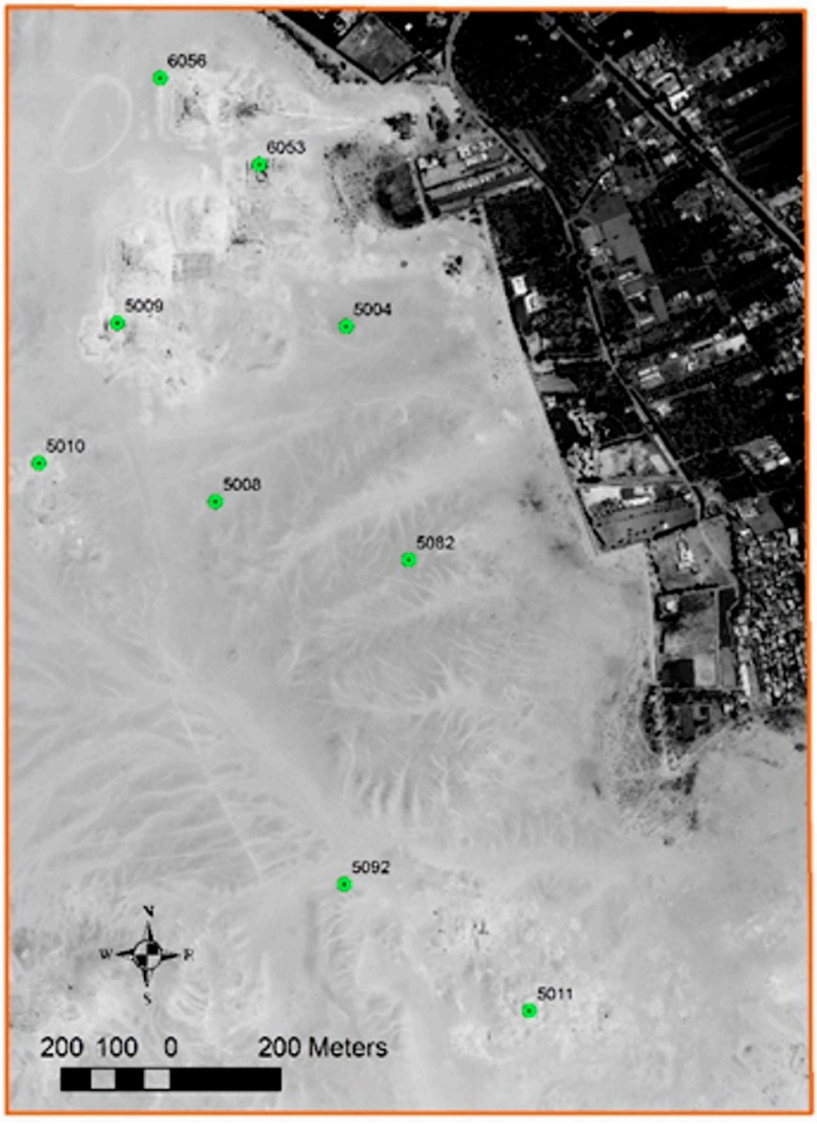
Date:	19-4-2017
To : Czech Institute of Egyptology	
Final coordinates of 17 control points observed and processed in Abusir area:	

WGS84 Coordinates :			
Point Id	**Latitude**	**Longitude**	**Ellip. Hgt.**
5004	29° 53‘ 38.44741“ N	31° 12‘ 22.68429“ E	51,0874
5008	29° 53‘ 27.84861“ N	31° 12‘ 13.90371“ E	64,3175
5009	29° 53‘ 38.44657“ N	31° 12‘ 07.00146“ E	72,2642
5010	29° 53‘ 29.98429“ N	31° 12‘ 01.77167“ E	73,9697
5011	29° 52‘ 57.67201“ N	31° 12‘ 35.96986“ E	61,1391
5064	29° 53‘ 11.09349“ N	31° 12‘ 31.21905“ E	57,3859
5082	29° 53‘ 24.54365“ N	31° 12‘ 27.22840“ E	64,4388
5092	29° 53‘ 05.07554“ N	31° 12‘ 23.15434“ E	58,6833
5093	29° 53‘ 14.27262“ N	31° 12‘ 12.91957“ E	61,0258
5097	29° 52‘ 55.33969“ N	31° 12‘ 26.77844“ E	68,5923
5098	29° 53‘ 02.44833“ N	31° 12‘ 41.97974“ E	46,0508
5100	29° 53‘ 32.97421“ N	31° 12‘ 30.16990“ E	52,1242
5102	29° 53‘ 08.92106“ N	31° 12‘ 39.33882“ E	43,5568
5103	29° 53‘ 47.05906“ N	31° 12‘ 07.91483“ E	68,614
5105	29° 53‘ 00.29015“ N	31° 12‘ 33.07652“ E	60,9497
6044	29° 53‘ 48.06174“ N	31° 12‘ 16.56524“ E	61,4535
6056	29° 53‘ 53.13953“ N	31° 12‘ 09.68566“ E	53,4235
UTM36 Coordinates			
Point Id	**Easting**	**Northing**	**Ellip. Hgt.**
5004	326804,024	3308392,698	51,087
5008	326563,375	3308070,070	64,318
5009	326383,314	3308399,246	72,264
5010	326238,939	3308140,912	73,970
5011	327140,874	3307131,783	61,139
5064	327019,853	3307546,977	57,386
5082	326919,249	3307962,738	64,439
5092	326800,601	3307365,076	58,683
5093	326530,441	3307652,516	61,026
5097	326893,157	3307063,820	68,592
5098	327304,401	3307276,323	46,051
5100	327002,207	3308221,061	52,124
5102	327236,650	3307476,702	43,557
5103	326411,964	3308664,018	68,614
5105	327064,504	3307213,598	60,950
6044	326644,498	3308691,259	61,454
6056	326462,396	3308850,475	53,424

Tabulka 1 Souřadnice bodů zaměřených pomocí GNSS

	WGS84 (UTM36)			Lokální souřadnicový systém Abúsír		
Point Id	**Easting**	**Northing**	**Ellip. Hgt.**	**Easting**	**Northing**	**Hgt.**
5004	326804,024	3308392,698	51,087	1277,814	10913,129	36,009
5008	326563,375	3308070,070	64,318	1042,203	10586,790	49,240
5009	326383,314	3308399,246	72,264	857,045	10913,147	57,180
5010	326238,939	3308140,912	73,970	716,705	10652,597	58,895
5011	327140,874	3307131,783	61,139	1634,219	9657,540	46,050
5082	326919,249	3307962,738	64,439	1399,706	10484,990	49,357
5092	326800,601	3307365,076	58,683	1290,359	9885,534	43,596
6044	326644,498	3308691,259	61,454	1113,68	11209,19	46,38
6056	326462,396	3308850,475	53,424	929,12	11365,58	38,34

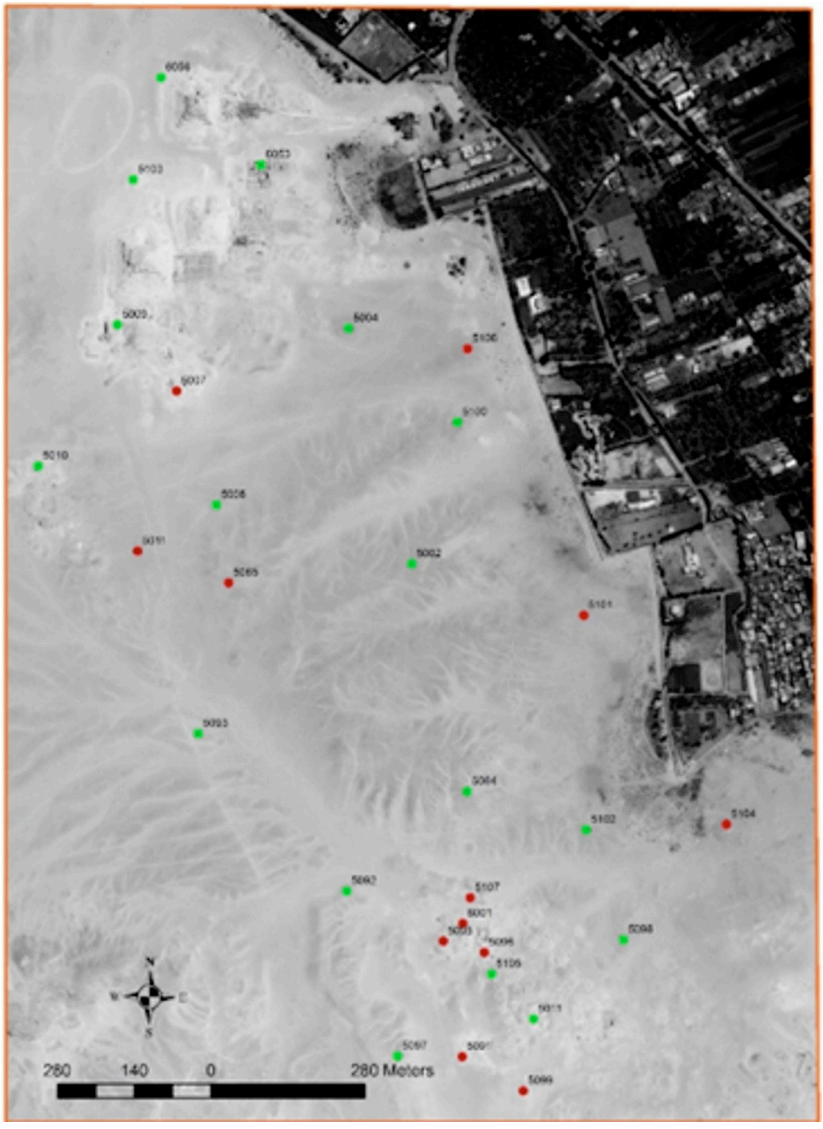
Tabulka 2 Seznam souřadnic bodů použitých k transformaci



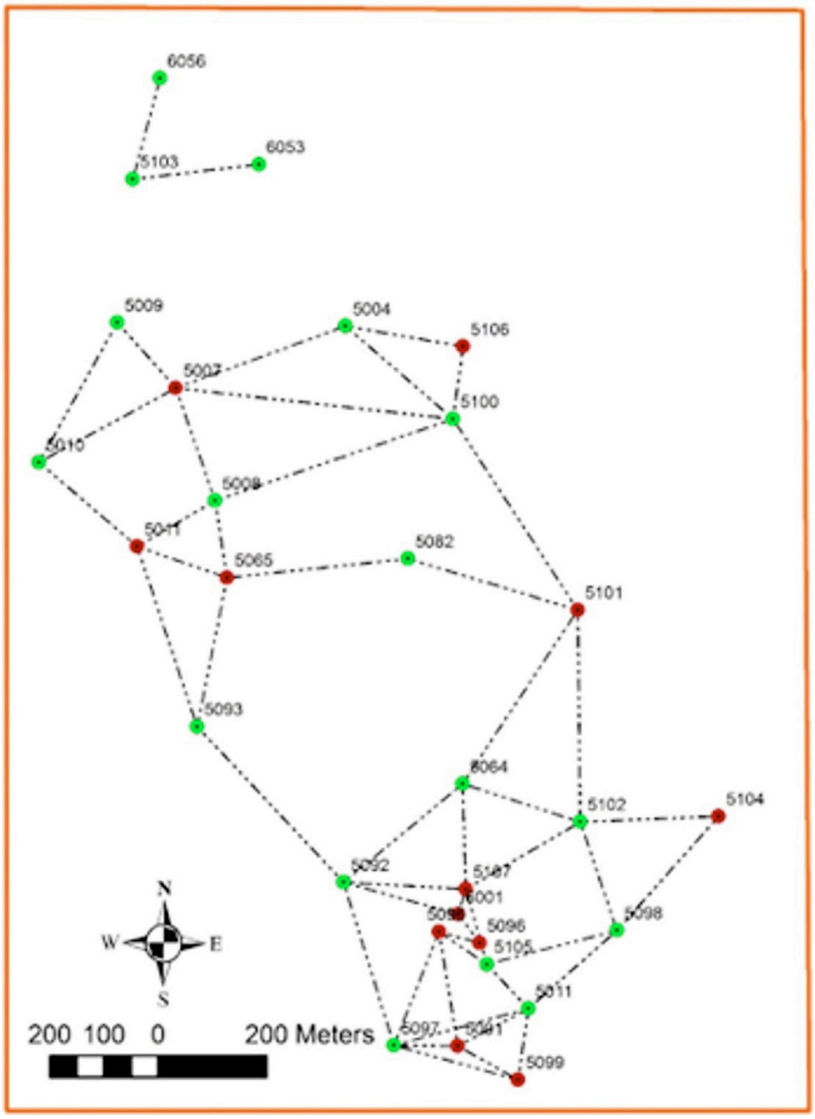
Obrázek 21 Geodetické body použité k transformaci

Dx	325357.0432	Ry	0.725956
Dy	3297501.1797	Rz	-1292798.653680
Dz	15.1296	Scale (ppm)	- 42.8102
Rx	0.992333		

Tabulka 3 Transformační klíč – Helmert 7 Parameter



Obrázek 22 Geodetické body zaměřené GNSS a body zaměřené geodeticky



Obrázek 23 Struktura geodetické sítě v Abúsíru a vzájemná viditelnost mezi body

POZNÁMKA K PŘESNOSTI GEODETICKÝCH METOD V EGYPTSKÉ ARCHEOLOGII

V praxi považujeme za samozřejmost, že veškeré geodetické práce provádíme s předepsanou metodou a stanovenou přesností měření. Tato přesnost je ale pro různé typy prací odlišná. Při měření v inženýrské geodézii měříme na milimetry, při geometrických plánech na centimetry a při sběru dat pro GIS často stačí určení polohy i v metrech (hranice lesa, areál rozptýlené zeleně). Každé geodetické měření by mělo obsahovat i analýzu přesnosti výsledků a nezávislou kontrolu, jinými slovy potvrdit správnost dosažených výsledků, včetně chyb. Obecně u geodetické dokumentace archeologického výzkumu nelze vycházet z pravidel platných pro klasickou geodézii dle stanovených norem. Objekty v archeologii jsou různorodé, často se velmi obtížně identifikuje bod na objektu, který má být zaměřen, a archeologové nezřídka při tvorbě plánů výzkumu dokreslují situace ručně, neboť přímá spojnice mezi dvěma body

není v praxi tvořena přímkou. I přes toto omezení je nutné analyzovat dosažené přesnosti a hledat potenciální chyby.

Jak je to tedy s přesností v archeologickém výzkumu? Archeologové mají často požadavek na *vysokou* přesnost. Ale když se jich zeptáte, jak vysokou přesnost mají na mysli, odpovědi se nedočkáte. V egyptské archeologii začínáme od nuly. A tou je stávající geodetická síť, která se mění v čase a prostoru. Po každé expedici zjišťujeme zničení několika stabilizovaných geodetických bodů. Podmínky pro jejich náhradu jsou velmi omezené. Od podzimu 2022 je k obnově nově stabilizovaného geodetického bodu používán přijímač GPS Trimble Catalyst DA2 (obrázek 24). Tento GPS systém poskytuje korekční služby a algoritmy, které pomáhají dosáhnout požadovanou přesnost sběru dat. Stačí zvolit vhodné subskripce přesnosti – 60 cm, 30 cm, 10 cm a 1 cm. Trimble Catalyst využívá stávající sítě RTX, Trimble VRS Now případně SBAS, a umožňuje tím zajistit vysokou přesnost se širokým celosvětovým pokrytím.[53]



Obrázek 24 Přijímač GPS Trimble Catalyst DA2 na vrcholu pyramidy Neferirkare

53 Https://geotronics.cz/trimble-catalyst-da2.

Praxe ukázala, že využití GPS sestavy s centimetrovou přesností může za daných podmínek nahradit klasické geodetické GPS sestavy (base station and rover) nebo měření bodů geodetické sítě pomocí vteřinové geodetické totální stanice. Ani jednu z možností nemá expedice k dispozici. Roční zkušenost se systémem GPS Trimble Catalyst DA2 ukázala, že když se použije nastavení centimetrové přesnosti, výtyčka s GPS anténou se umístí do trojnožky a provede se měření několikrát během 15 minut, je střední chyba menší než 2 cm.

Ale vraťme se k problematice přesnosti geodetických metod v egyptské archeologii. Při budování nebo obnově geodetického bodového pole je logicky požadována nejvyšší přesnost. Přesnost měření podrobných bodů při zaměřování nadzemních a podzemních částí archeologického objektu odpovídá použité GTS. Na expedici používáme geodetickou totální stanici Leica TCR805, jež má 5“ úhlovou přesnost a měří podrobné body bez použití odrazného hranolu. Tento typ přístroje odpovídá požadavkům na měření podrobných bodů v egyptské archeologii.

Vedle charakteristiky GTS je nutné vyjmenovat i další aspekty, které ovlivňují přesnost měření. Většinou se jedná o přírodní vlivy, významnou roli hraje i figurant, který umisťuje výtyčku s hranolem na měřené podrobné body. Pokud nedodržuje svislost výtyčky, chyba může být i několik centimetrů. Stejně tak, když se používá výtyčka o výšce hranolu 2 metry a výše. A v neposlední řadě je důležité umístění hranolu na správné místo, které určuje archeolog, včetně pečlivého zápisu charakteristik podrobného bodu do polního zápisníku.

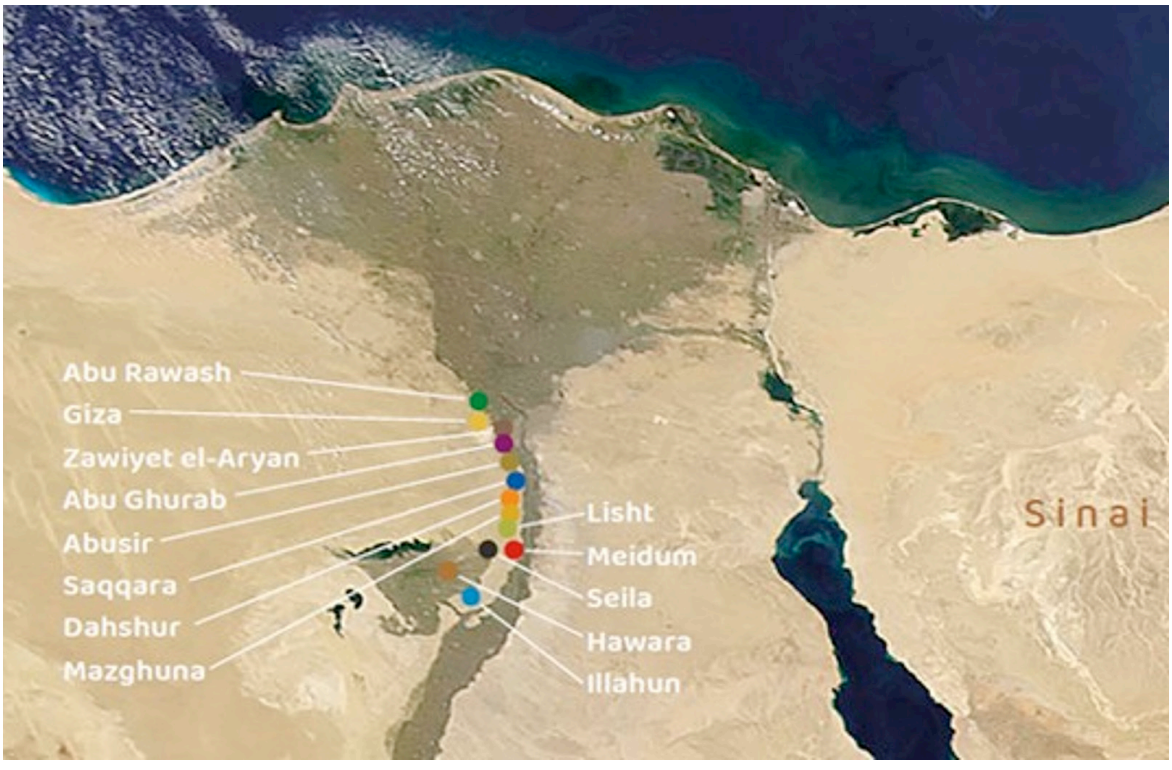
2 Metoda komplexní dokumentace vybraného archeologického objektu

Protože hlavním cílem této práce je prezentace specifik geodetických metod v egyptské archeologii, je nejlepším příkladem popis zpracování geodetické dokumentace na vybraném archeologickém objektu, to znamená od jeho výběru a stručného historického popisu přes jednotlivé kroky řešení až k výstupům.

V roce 2018 prof. Miroslav Bárta z ČEgÚ předložil instituci American Research Center in Egypt (ARC) v Káhiře[54] projekt, jehož hlavním cílem byla komplexní dokumentace hrobového komplexu (mastaby) hodnostáře Tije v severní Sakkáře. I když mastabu zkoumalo od jejího objevu v roce 1860 několik expedic a egyptologů, chyběla dokumentace, včetně podrobného geodetického plánu nadzemních a podzemních částí hrobového komplexu a objektů s ním souvisejících. Nové metody dokumentace, jako je TLS, PFTGM a digitální fotografická dokumentace, byly výchozím předpokladem pro řešení projektu.

2.1 HROBKA HODNOSTÁŘE TIJE V SEVERNÍ SAKKÁŘE

V období Staré říše (cca 2700–2180 př. Kr.) vznikla pyramidová pole. Na dolním Nilu patří mezi nejvýznamnější Gíza, Abúsír, Sakkára, Dahšúr a Mejdúm. Jejich význam spočívá



Obrázek 25 Pyramidová pole v dolním Egyptě

54 Https://cultureincrisis.org/projects/the-world-of-ty.



Obrázek 26 Poloha hrobky hodnostáře Tije na satelitním snímku a kresba jeho hlavy

v rozloze a počtu pyramid, mastab a hrobových komplexů. Strukturu jmenovaných pyramidových polí doplňují další, sice s menší rozlohou a počtem objektů, ale stejně důležité (obrázek 25).[55]

Hrobový komplex hodnostáře Tije[56] v severní Sakkáře pochází z období 4. dynastie a je jednou z nejznámějších hrobek Staré říše. Mastaba, označená jako N°60 (podle Jacquese de Morgana) nebo D22 (podle Mariette), se nachází několik set metrů severozápadně od stupňovité pyramidy Džosera a asi 250 metrů severovýchodně od vchodu vedoucího do Serapea (obrázek 26). Serapeum je soubor podzemních galerií (katakomb), kde byli pohřbeni býci Apis, kteří jsou považováni za posvátné jako živý obraz boha Ptaha z Memphisu.

Na obrázku 26 je ve výřezu detail hrobky. Je viditelná pouze hlavní chodba, ze severu přístup schodištěm a koridorem do hrobky. Ostatní části jsou pod úrovní terénu a ve sloupovém dvoře je vstup do podzemí, kde se nachází pohřební komora se sarkofágem. V textu budu prostor pod povrchem označovat jako hlavní část hrobky, která se skládá z pilířového dvora, skladu, spojovací chodby, kaple a dvou serdábů, z nichž jeden těsně přiléhá ke kapli na jihu hrobky a druhý k severovýchodní zdi pilířového dvora. Oba jsou přístupné pouze otvorem ve stropu.



Obrázek 27 Hrobka hodnostáře Tije (Dümichen 1868)

55 Ucelený přehled všech pyramidových polí je uspořádán v publikaci BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír (eds.), *The Pyramid Fields of Ancient Egypt: A Satellite Atlas*, Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, 2021.

56 V literatuře se používá i jméno TI nebo Cej.

Tijova hrobka byla objevena v roce 1860 francouzským egyptologem Augustem Mariettem, který nechal odkrýt hlavní i podzemní části.[57] Hodnostář Tij žil za vlády několika faraonů, z nichž posledním byl Niouserre, na konci 25. a začátku 24. století před Kr. Byl manželem Nefer-hetep-es (Neferhetepes) a také správcem kadeřnictví Velkého domu, což mu umožnilo přístup na královský dvůr.



Obrázek 28 Hrobka hodnostáře Tije z roku 1878[58]

Hrobka byla částečně vyčištěna, jak ukazuje fotografie pořízená Dümichenem v roce 1868. „Zázrak Sakkáry" (Emmanuel de Rouge) přitáhl zájem mnoha egyptologů, mezi které patřili např. Maspero, Steindorff, Montet, Vandier, Epron, Daumas, Goyon, Wild a další.

57 MARIETTE, Auguste – MASPERO, Gastono, *Les mastabas de l'ancien empire: fragment du dernier ouvrage de A. Mariette*, F. Vieweg, 1889.

58 „Mastaba-tomb of Ty, Saqqara, Auguste Mariette's discoveries in Egypt, engraving from L'Egypte, by Gaston Maspero, illustration from L'Illustration", *Journal Universel*, No 1979, Volume LXXVII, January 29, 1881, DeA/Veneranda Biblioteca Ambrosiana, Milan.

2.2 METODA DOKUMENTACE

První krok v projektu představovala analýza historických a recentních dostupných podkladů – publikací, plánů (obrázek 29 a 30), náčrtů, fotografií a elektronických zdrojů. Z pohledu výkresové dokumentace chybí detailní plány hrobového komplexu, dostupné jsou pouze základní plány a náčrty mastaby, ve všech případech jako součást publikací. Vybrané zdroje se digitalizovaly a tím byla vytvořena základní digitální databáze.

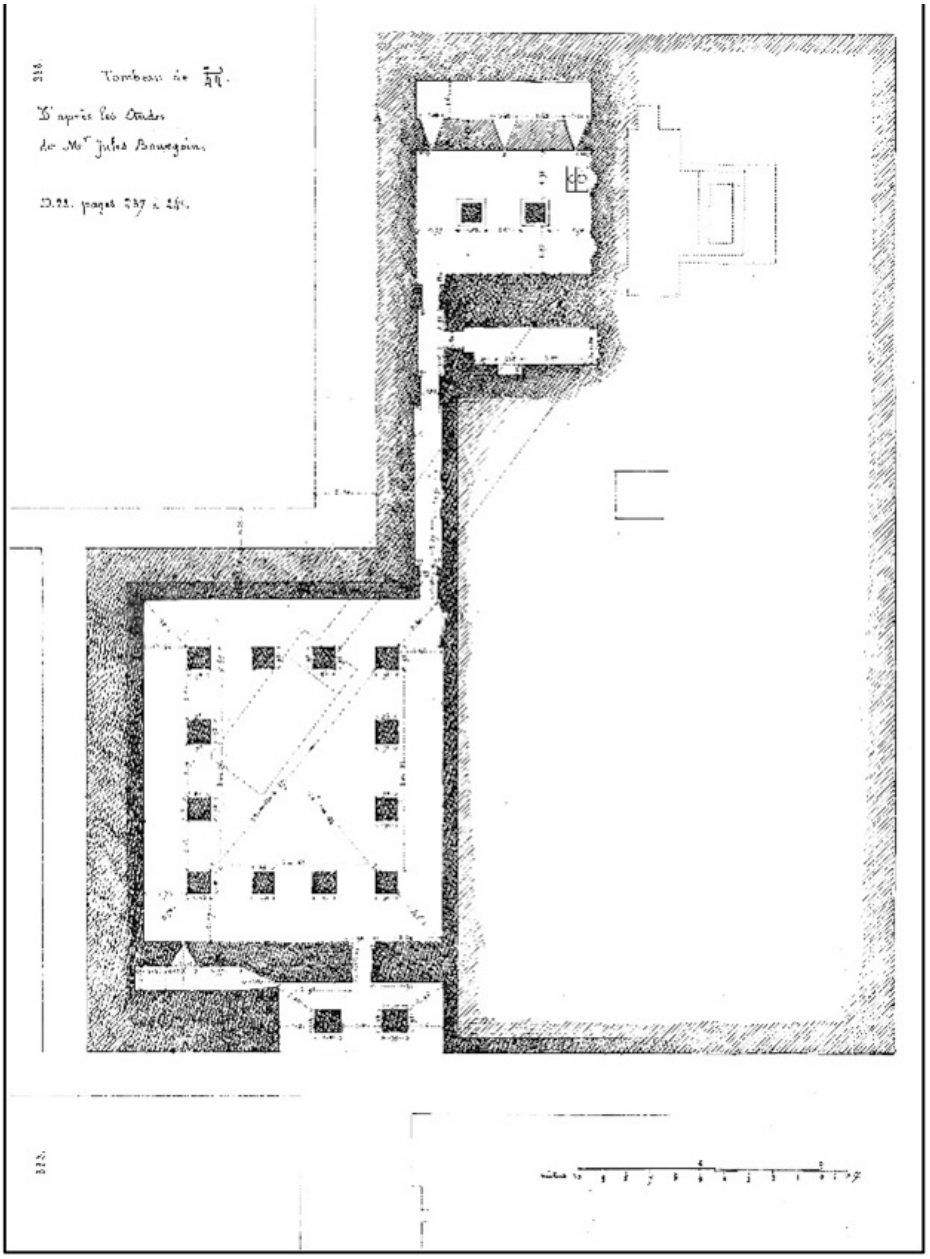
Dalším krokem byla příprava a realizace geodetického zaměření mastaby, která není izolovaná, naopak na ní přiléhají další hrobky v blízkém okolí. Často mají společné stavební prvky. Geodetické zaměření se skládalo z vlastního měření geodetickou totální stanicí, pozemního laserového skenování a průsekové fotogrammetrie. Dokumentace proběhla v následujících krocích:

a) vybudování bodového pole v okolí a uvnitř hrobového komplexu s připojením ke stávajícímu geodetickému bodovému poli v Abúsíru a v severní Sakkáře
b) přenesení pevných bodů do podzemí hrobky
c) postupné geodetické zaměřování podrobných bodů ve všech částech hrobového komplexu
d) zpracování naměřených dat a tvorba drátěného modelu
e) pozemní laserové skenování ve všech částech hrobového komplexu
f) zpracování mračen bodů a vytvoření 3D modelu
g) použití průsekové fotogrammetrie v části hrobky, kterou nelze dokumentovat geodeticky, a vytvoření 3D modelu
h) propojení geodetických dat s daty ze skenování a průsekové fotogrammetrie při závěrečné úpravě 3D modelu
i) současně i zdokumentování objektů souvisejících s hrobovým komplexem s cílem vytvoření prostorové struktury pohřebiště

2.3 GEODETICKÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY

Od roku 2001 jsou na archeologickém výzkum ČEgÚ využívány dvě geodetické totální stanice, a to GTS Leica TCR307 s přesností 7“ a novější Leica TCR805 s přesností 5“. Geodetické měření bylo provedeno v letech 2018–2021 (projekt byl prodloužen z důvodu covidu). V roce 2020 byla pořízena nová GTS Leica TS07 s přesností 1“ určená zejména na měření v geodetické síti Abúsíru a Sakkáry, ale celní podmínky dovozu geodetických přístrojů zabránily jejímu převozu do Egypta, a proto je používána při terénní výuce studentů egyptologie. Řešením je pořízení GTS přímo v Egyptě od autorizované firmy.

Obě starší GTS jsou pravidelně podrobovány kontrole v autorizovaném servisu firmy Leica v Káhiře a jediný problém představují baterie, které se musí měnit každé dva roky. V současnosti funguje stanice Leica TCR307 jako záložní, pro případ poškození GTS Leica TRC805. Obě jmenované GTS mají funkci bezhranolového měření, které se využívá v podzemních i nadzemních prostorách a v místech, která jsou pro figuranta nepřístupná nebo nebezpečná. Jediná konektivita s počítačem je zajištěna pomocí kabelu přes sériový port. Častý problém způsobuje propojení s novými OS Windows, absence oficiálních ovladačů vyžaduje pomoc od spolupracující firmy v ČR (GEFOS). Více než 20letá zkušenost s GTS Leica však ukázala odolnost těchto přístrojů i ve velmi těžkých podmínkách.

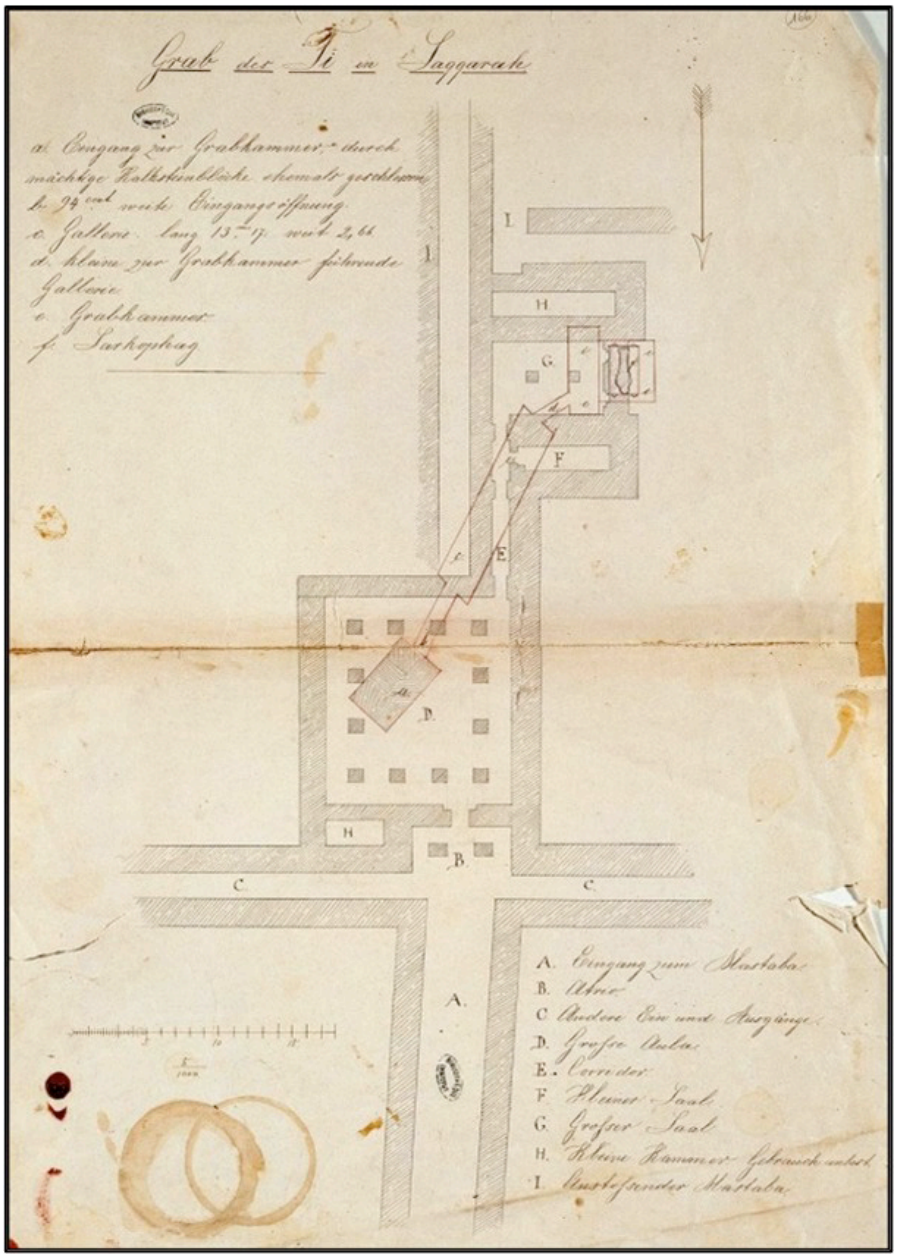


Obrázek 29 Plán hrobky hodnostáře Tije (Mariette)[59]

Součást geodetické sestavy tvoří také výtyčka se základním hranolem, výtyčka s mini hranolem, který je vhodný do malých prostor, a výtyčka o maximální výšce 4 metry používaná pouze v případech, kdy se měřené podrobné body nacházejí v hloubce a jiná možnost zaměření není.

Pro rychlé měření uvnitř hrobek se používá sestava ručního laserového dálkoměru Leica DISTO S910 pro 3D měření s kamerou, dotykovým displejem a fotoaparátem, který je vybaven Bluetooth, sklonoměrem a množstvím výpočetních funkcí. Dálkoměr lze propojit s telefonem

59 MARIETTE, Auguste – MASPERO, Gastono, *Les mastabas de l'ancien empire: fragment du dernier ouvrage de A. Mariette*, F. Vieweg, 1889.



Obrázek 30 Plán hrobky hodnostáře Tije (Mariette)[60]

(IOS, Android) pomocí funkce Leica DISTO™ Plan a ukládat zaměřované body přímo do aplikace. Obsáhlejší charakteristika a popis dovedností sestavy jsou dostupné na internetových stránkách firmy GEFOS.[61]

V roce 2010 byl na abúsírské koncesi poprvé použit pozemní laserový skener. První výsledky okamžitě ukázaly nové směry v dokumentaci archeologického výzkumu. V roce 2012 byl pořízen laserový skener FARO Focus 3D, který má integrovanou baterii a vysoký výkon.

60 Archiv ČEgÚ.
61 Https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/laserove-dalkomery/disto-s910.

S jeho využitím byly dokumentovány hrobky v Abúsíru a v Sakkáře. Problém nastal při skenování v podzemí, kde se vířil jemný prach, a protože má skener aktivní chlazení (ventilátor), došlo k jeho nevratnému poškození. V roce 2018 byl zakoupen nový přístroj Leica BLK360 G1, který má pasivní chlazení, vysokou odolnost pro vnitřní i vnější použití a ochranu proti vodě a prachu IP54 (podle normy IEC 60529).[62] S jeho pomocí bylo v lednu 2019 provedeno první skenování v Tijově hrobce a od té doby je používán pravidelně nejen pro potřeby ČEgÚ.

Další použitou metodou je metoda průsekové fotogrammetrie (PFTGM), která představuje první vývojový stupeň pozemní fotogrammetrie a fotogrammetrie samotné. Její vývoj se datuje od roku 1859, kdy Aime Laussedat poprvé použil tuto měřickou techniku na mapovací práce. Na konci 19. století se průseková fotogrammetrie začala používat při topografickém mapování, zejména v horských oblastech.[63] Hlavní předností této metody je její jednoduchost a nízké náklady. Základní pomůcku tvoří fotografická komora, dnes digitální fotoaparát nebo telefon s fotoaparátem, a specializovaný výpočetní program.

Průseková fotogrammetrie využívá řešení úlohy protínání vpřed z úhlů a je řešena prostřednictvím měřických snímků. Digitální snímky se získávají buď přímo digitální komorou (digitálním kalibrovaným fotoaparátem), nebo kvalitním fotoaparátem, příp. fotoaparátem v mobilním telefonu. Je možné využít kalibraci fotoaparátu pomocí programu Agisoft Lens.[64] Současná technologie automatického digitálního zpracování fotogrammetrických snímků využívá princip obrazové korelace dvou subobrazů. Cílem je nalézt polohu dvou odpovídajících si bodů bez zásahu operátora a zapsat jejich snímkové souřadnice. Pod pojmem korelační analýza si lze představit algoritmus, který hledá totožné body na dvou snímcích, jež byly pořízeny každý z jiného místa. Algoritmus využívá skutečnosti, že každý bod (pixel) je stejně jako jeho okolí unikátní, a proto platí předpoklad jeho nalezení i na dalších snímcích.[65]

Metodu průsekové fotogrammetrie s pomocí programu Agisoft Metashape Standard dnes archeologové často používají pro rychlou dokumentaci zkoumaného objektu.[66] Zejména v případech, kdy výzkum rychle postupuje a je nutno zachytit stav objektu, který bude v krátké době nevratně odstraněn nebo zasypán. Pro průsekovou FTGM při výzkumu Tijovy hrobky byl použit kompaktní fotoaparát Canon EOS M6 s pevným ohniskem 50 mm a telefon iPhone 12 Pro Max 256 GB, resp. iPhone 14 Pro Max 512 GB.

2.4 SOUŘADNICOVÉ PŘIPOJENÍ TIJOVY HROBKY A TVORBA BODOVÉHO POLE

Základním předpokladem pro každé geodetické měření je existence pevných geodetických bodů v blízkosti zaměřovaného objektu. Tijova hrobka se nachází v severní Sakkáře, v oblasti,

62 Více technických informací je na internetových stránkách firmy GEFOS, https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/3d-laserove-skenery/blk360-g1.

63 GÁL, Pavel, *Fotogrammetria*, SNTL Bratislava, 1954; MENŠÍK, Miroslav, *Geometrické základy fotogrammetrie*, Matematická knižnice, SPN Praha, 1966.

64 Https://www.agisoft.com.

65 BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – MAREK, Zdeněk – VĚTROVSKÁ, Barbora, *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*, Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015.

66 Agisoft LLC. Agisoft PhotoScan User Manual [online]. C2016 [cit. 30. 12. 2023]. Dostupný na: <https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_en.pdf>.

kde před rokem 2019 probíhaly jen rozlohou lokální a počtem objektů malé výzkumy. Až projekt dokumentace Tijovy hrobky s sebou přinesl potřebu geodetických bodů v okolí hrobky. Historicky jsou v oblasti Sakkáry stabilizované geodetické body z roku 1988, kdy stabilizaci a měření provedla káhirská univerzita (v 90. letech minulého století).

V průběhu let byla tato síť obnovována, doplňovaly se nové body nebo se nahrazovaly body zničené. Správa tohoto bodového pole ani souhrnná publikace vypovídající o stavu této sítě bohužel neexistují. Expedice velmi často používají pro dokumentaci svých výzkumů lokální souřadnicový systém. V roce 2002 popsala stav sítě, včetně plánu její prostorové struktury a tabulky souřadnic, expedice Národního muzea Skotska.



Obrázek 31 Bod sítě UTM 36N Hayford



Obrázek 32 Bod bodového pole v Abúsíru

Geodetické bodové pole v Sakkáře bylo vybudováno v souřadnicovém systému Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 36 North, Hayford 1909 Ellipsoid (známý je také jako International Ellipsoid 1924, obrázek 31). Geodetická síť v Abúsíru byla zaměřena v roce 2017 a všechna podrobná měření byla transformována do souřadnicového systému Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 36N, World Geodetic System 1984 (WGS84, obrázek 31).[67]

Protože jmenované souřadnicové systémy mají různé elipsoidy, je i rozdíl v souřadnicích. Tomuto tématu se věnoval projekt pod vedením Dr. Elaine Sullivan z University of Carolina v Santa Cruz, USA. Na jaře 2018 provedla její expedice měření na stávajících bodech geodetické sítě v centrální a severní Sakkáře. Porovnáním hodnot souřadnic UTM 36N Hayford, které byly získány z archivu Egyptské památkové správy a ze zpráv ostatních expedic, a výsledků měření pomocí GPS v systému UTM 36N WGS84 byly získány hodnoty rozdílů v souřadnicích (Easting, Northing) a výšce (Elevation), jež jsou uvedeny v následující tabulce 4.[68]

Benchmark Name	UTM 36N WGS84 Easting (m)	UTM 36N WGS84 Northing (m)	WGS84 Elevation (m)	
M006	327896,22	3305260,41	76,62	
M005	327760,09	3305330,04	76,02	
L1	327831,80	3305309,32	76,51	
L1	327831,80	3305309,33	76,51	
L1	327831,80	3305309,33	76,51	
L1	327831,80	3305309,33	76,50	
L2	327767,24	3305250,63	75,97	
T1	327950,33	3306720,81	70,93	
T3	327422,12	3306360,58	70,78	
T4	327637,45	3305976,97	78,42	
T5	328447,10	3305719,66	72,06	
T7	327596,43	3305519,52	88,30	

Tabulka 4 Tabulka bodů zaměřených expedicí Dr. Sullivan v systému UTM 36N WGS84 a UTM 36N Hayford

67 BRŮNA, Vladimír – ODLER, Martin – BÁRTA, Miroslav – MEGAHED, Mohamed, „New geodetic control network of Czech concession at Abusir“, *Prague Egyptological Studies* XXI/2018, Prague, s. 125–128.

68 Podrobný popis projektu, jeho metody a výsledků je v článku SULLIVAN, Elaine – HARROWER, Michael, „High-Precision GPS survey to investigate ancient ground horizons at Saqqara“, Scientific Report submitted to Annales du Service des Antiquités de l'Egypte. Nepublikováno, získáno výměnou za článek o abúsírské geodetické síti v roce 2019.

METODA MĚŘENÍ GEODETICKÉHO PŘIPOJENÍ A JEJÍ KONTROLA

Protože je abúsírské bodové pole v systému UTM 36N WGS84, všechny geodetické práce při dokumentaci Tijovy hrobky byly vedeny ve stejném souřadnicovém systému. Na začátku terénních prací v roce 2018 nebyl k dispozici geodetický přijímač GPS, ale pouze GTS Leica TCR 805. Postupovalo se tak, že nejprve byly v okolí hrobky stabilizovány 3 body (700, 701 a 702) a ty byly postupně zaměřeny z dvou nejbližších bodů abúsírské sítě, jejichž souřadnice se určily přímým měřením systémem GPS v roce 2017, stejným způsobem byly následně vybrány i body pro orientaci.[69]

Zaměření se provedlo ze základního bodu geodetické sítě stabilizovaného na vrcholu u hrobky Kaapera (bod 5011, také označen jako T11 v systému UTM 36N Hayford) s orientací na body 5097, 5098 a 5105, a poté z bodu 5097 ležícího na hřebenu Japan Hill s orientací na body 5092, 5105 a 5011. Grafické znázornění polohy bodů ukazuje obrázek 33.

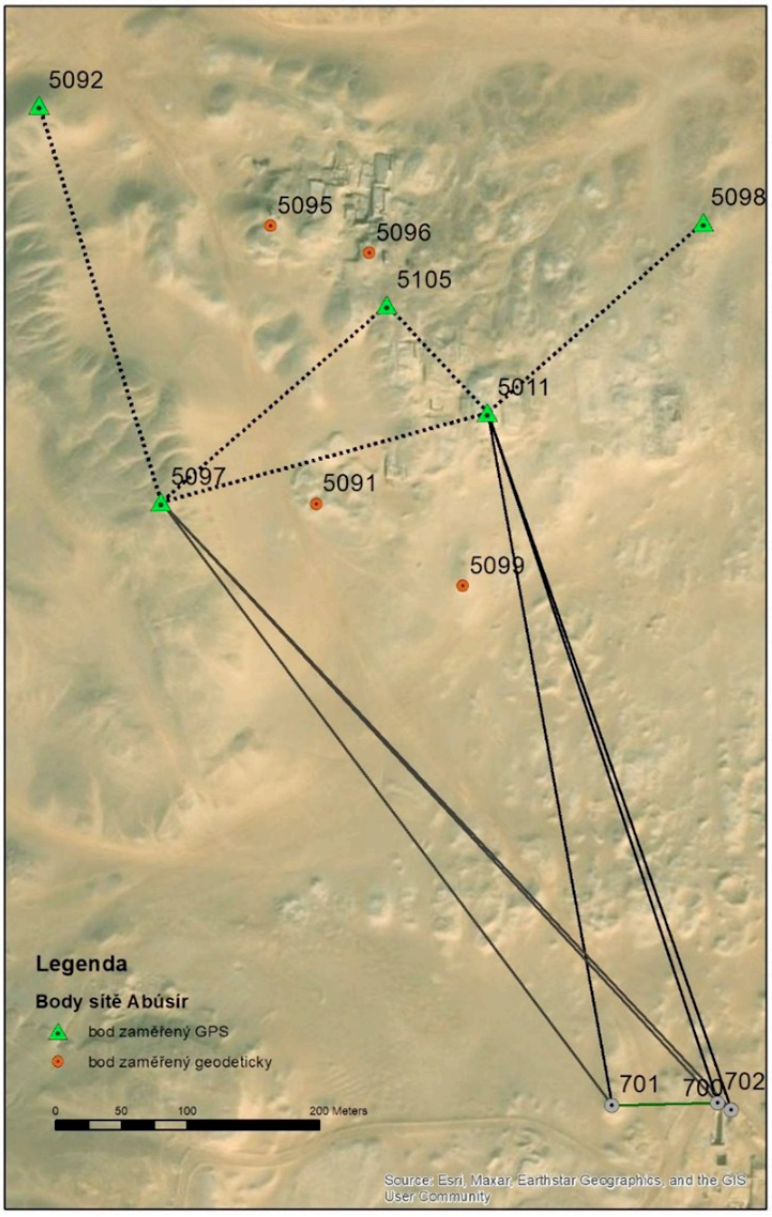
UTM 36N Hayford Easting (published)	UTM 36N Hayford Northing (published)	UTM 36N Hayford Elevation (m) (published)		E offset (m) (Hayford to WGS84)	N offset (m) (Hayford to WGS84)	Elevation offset (m) (Hayford to WGS84)
327818,38	3305292,48	61,26	*	77,84	-32,07	15,36
327682,37	3305362,33	60,84	*	77,72	-32,29	15,18
327754,05	3305341,44	61,15	*	77,75	-32,12	15,36
327754,05	3305341,44	61,15	*	77,75	-32,11	15,36
327754,05	3305341,44	61,15	*	77,75	-32,11	15,36
327754,05	3305341,44	61,15	*	77,75	-32,11	15,35
327689,45	3305282,98	61,15	*	77,79	-32,34	14,82
327875,79	3306751,44	56,16	◦	74,54	-30,63	14,77
327346,25	3306393,47	55,87	◦	75,87	-32,89	14,91
327560,88	3306009,49	63,50	◦	76,56	-32,52	14,92
328370,06	3305750,80	57,13	◦	77,04	-31,14	14,93
327519,07	3305552,14	73,37	◦	77,35	-32,62	14,93

Měření bylo z časových důvodů provedeno pouze jednou a výsledné souřadnice bodů 700, 701 a 702 byly použity pro všechna další měření a vytyčování geodetických a podrobných bodů v hrobce hodnostáře Tije. Souřadnice ze dvou stanovisek jsou uvedeny v tabulce 5, v tabulce 6 jsou výsledné souřadnice vzniklé průměrem ze dvou měření. Největší chyba byla naměřena ve výšce u bodu 702 a činila 7,8 cm.

69 BRŮNA, Vladimír – ODLER, Martin – BÁRTA, Miroslav – MEGAHED, Mohamed, „New geodetic control network of Czech concession at Abusir“, *Prague Egyptological Studies* XXI/2018, Prague, s. 125–128.

Point Id	Easting (m)	Northing (m)	Elev. (m)
700	327 325,811	3 306 602,436	53,950
700	327 325,773	3 306 602,370	53,924
701	327 235,325	3 306 605,539	54,991
701	327 235,283	3 306 605,489	54,913
702	327 315,280	3 306 607,559	53,134
702	327 315,258	3 306 607,489	53,028

Tabulka 5 Souřadnice z prvního měření v roce 2018 ze stanovisek 5011 a 5097



Obrázek 33 Struktura bodů pro souřadnicové připojení hrobky hodnostáře Tije

Číslo bodu	Easting (m)	Northing (m)	Ellip. Hgt. (m)
700	327 325,792	3 306 602,403	53,937
701	327 235,304	3 306 605,514	54,952
702	327 315,269	3 306 607,524	53,081

Tabulka 6 Seznam souřadnic bodů 700, 701 a 702 z měření v roce 2018

V roce 2019 bylo provedeno kontrolní měření stejnou metodou a s použitím stejných bodů stanovisek a bodů k orientaci. V té době byla většina geodetického měření v Tijově hrobce dokončena, cílem proto nebylo opravovat původní hodnoty, ale jejich kontrola. Naměřené hodnoty souřadnic a jejich odchylky jsou uvedeny v tabulkách 7, 8, 9 a 10.

Point Id	Easting (m)	Northing (m)	Elev. (m)
700	327 325,757	3 306 602,375	53,907
700	327 325,785	3 306 602,363	53,900
701	327 235,275	3 306 605,504	54,921
701	327 235,282	3 306 605,495	54,913
702	327 315,254	3 306 607,503	53,055
702	327 315,250	3 306 607,490	53,054

Tabulka 7 Souřadnice z kontrolního měření v roce 2019 ze stanovisek 5011 a 5097

Point Id	ΔE (m)	ΔN (m)	Δ El. (m)
700	0,028	-0,012	-0,007
701	0,007	-0,009	-0,008
702	-0,004	-0,013	-0,001

Tabulka 8 Odchylky u jednotlivých bodů – měření ze stanovisek 5011 a 5097 v roce 2019

Point Id	Easting (m)	Northing (m)	Elev. (m)
700	327 325,771	3 306 602,369	53,904
701	327 235,279	3 306 605,500	54,917
702	327 315,252	3 306 607,497	53,055

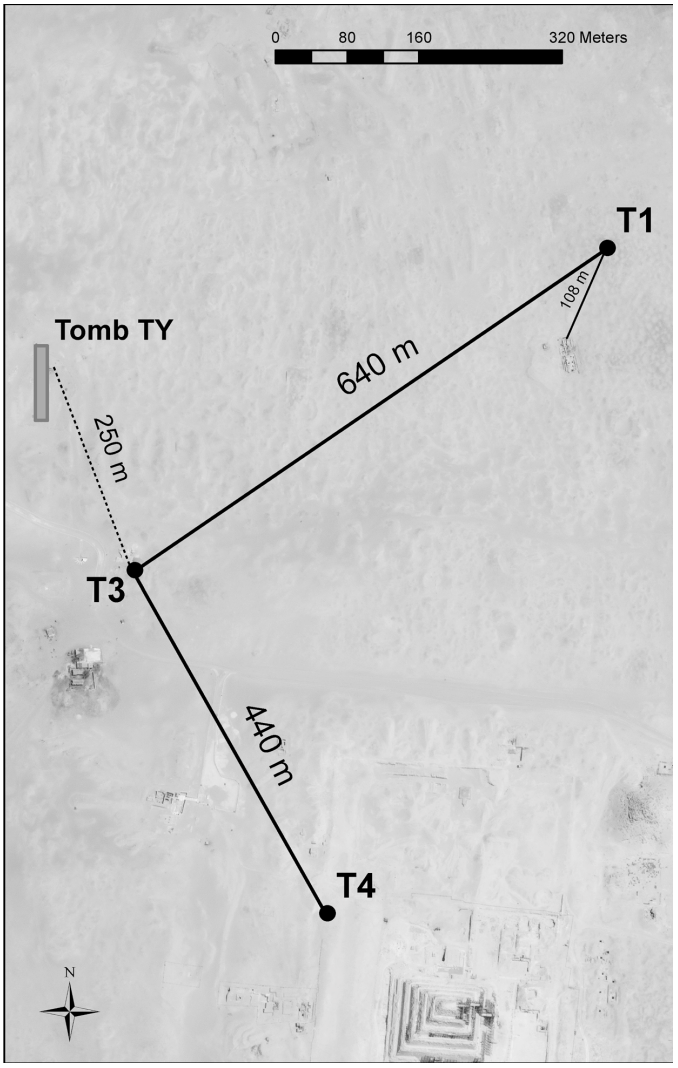
Tabulka 9 Souřadnice bodů 700, 701 a 702 – průměr ze dvou měření v roce 2019

Point Id	ΔE (m)	ΔN (m)	Δ El. (m)
700	0,021	0,034	0,034
701	0,025	0,015	0,035
702	0,017	0,027	0,026

Tabulka 10 Odchylky u jednotlivých bodů z měření v roce 2018 a z kontrolního měření z roku 2019

Odchylky v souřadnicích na bodech 700, 701 a 702 se pohybují v rozmezí do 3 cm. Vezmeme-li v úvahu, za jakých podmínek a s jakým přístrojovým vybavením se měřilo, můžeme přesnost určení souřadnic tří základních bodů považovat za dostatečnou.

V roce 2021 bylo provedeno další kontrolní měření z jednoho bodu stávající geodetické sítě v severní Sakkáře. Stanovisko přístroje bylo na bodě T3 s orientací na body T1 a T4. Více geodetických bodů nebylo k dispozici. Pro výpočet se použily souřadnice bodů z projektu Dr. Sullivan.[70] Na obrázku 34 jsou zobrazeny jednotlivé body – stanovisko a body orientace, včetně vzdáleností. Měření probíhalo ve třech termínech při různých stavech prostředí – za vysoké teploty přesahující 35 °C, v podzimním období, kdy bylo ovzduší vysoce znečištěné, a v období, kdy byla teplota do 30 °C a dobrá viditelnost. První dvě měření zcela očekávaně obsahovala odchylky více než 15 cm, jelikož bylo obtížné cílení na jeden hranol, a proto byla vyloučena.



Obrázek 34 Stanovisko T3 a orientační body T1 a T4 při zaměření bodů 700, 701 a 702 u Tijovy hrobky

70 SULLIVAN, Elaine – HARROWER, Michael, „High-Precision GPS survey to investigate ancient ground horizons at Saqqara", Scientific Report submitted to Annales du Service des Antiquités de l'Egypte. Nepublikováno, získáno výměnou za článek o abúsírské geodetické síti v roce 2019.

Point Id	Easting (m)	Northing (m)	Elevation (m)
700	327 325,638	3 306 602,371	53,861
701	327 235,132	3 306 605,401	54,877
702	327 315,107	3 306 607,491	53,011

Tabulka 11 Souřadnice bodů určených z bodu T3 s orientací na body T1 a T4

Point Id	ΔE (m)	ΔN (m)	Δ El. (m)
700	0,154	0,032	0,076
701	0,172	0,113	0,075
702	0,162	0,033	0,070

Tabulka 12 Odchylky na bodech 700, 701 a 702 z měření z roku 2018 a 2019[71]

Výsledky posledního měření jsou uvedeny v tabulce 11. Ačkoli probíhalo za příznivých podmínek, rozdíly jsou větší, zejména ve východním směru, až 17 cm. Do budoucna by určitě bylo zajímavé měření zopakovat, upřesnit si s Dr. Sullivan detaily GPS a získat další data.

2.5 GEODETICKÉ MĚŘENÍ

Po stabilizaci a zaměření základních bodů 700, 701 a 702 byly postupně vytyčovány a zaměřovány další pevné body uvnitř hrobky tak, aby bylo možné dokumentovat jak nadzemní, tak i podzemní části hrobky. Geodetické body byly stabilizovány pomocí hřebů do podlahy (obrázek 35) a v okolí hrobky zabetonováním (obrázek 36). Při zaměřování jednotlivých bodů uvnitř hrobky byl používán minihranol a metoda měření bez hranolu.



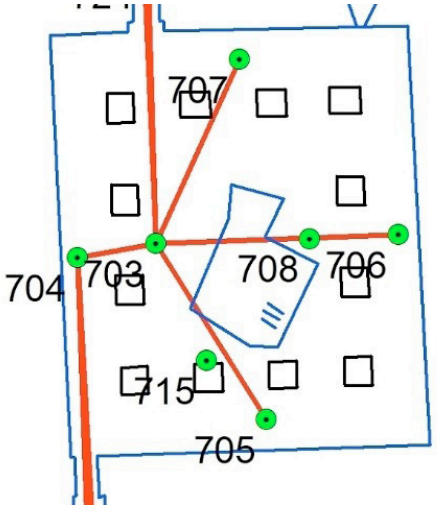
Obrázek 35 Stabilizace bodu pomocí hřebu

71 Tamtéž.

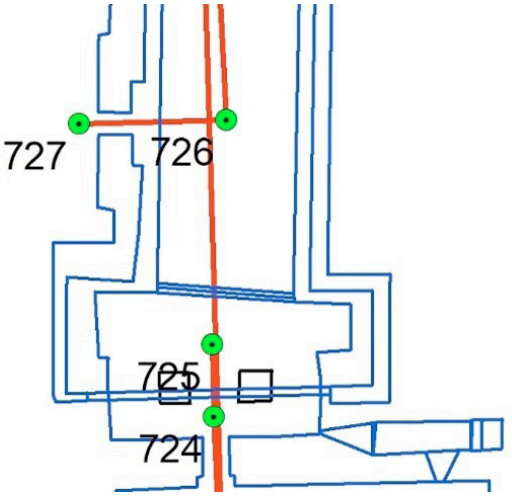


Obrázek 36 Stabilizace bodu pomocí geodetické značky

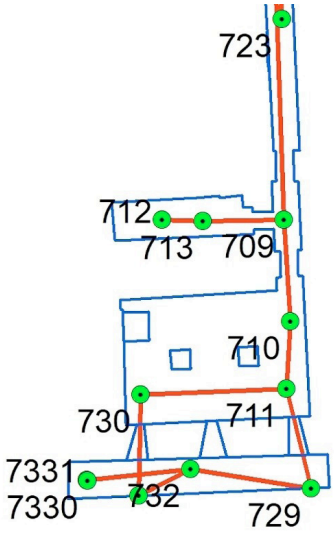
Z bodu 702 s orientací na body 700 a 701 byl zaměřen bod 703 nacházející se na západní straně pilířového dvora. Z něj byly postupně zaměřeny další body 704, 705, 706, 707 a 708, tím byl pilířový dvůr pokryt. Bod 708 byl umístěn tak, aby bylo možné vytyčení dalšího na podlahu sestupné chodby do pohřební komory (obrázek 37 a 38). Následně byly z bodu 704 zaměřeny body 709, 710 a 711. Tím byl pokryt koridor vedoucí do kaple a provedena příprava na vytyčení bodů do skladu, které byly zaměřeny z bodu 709. Aby bylo možno zaměřit koridor, bylo bodové pole doplněno o bod 723 (obrázek 39).



Obrázek 37 Geodetické body ve dvoře hrobky

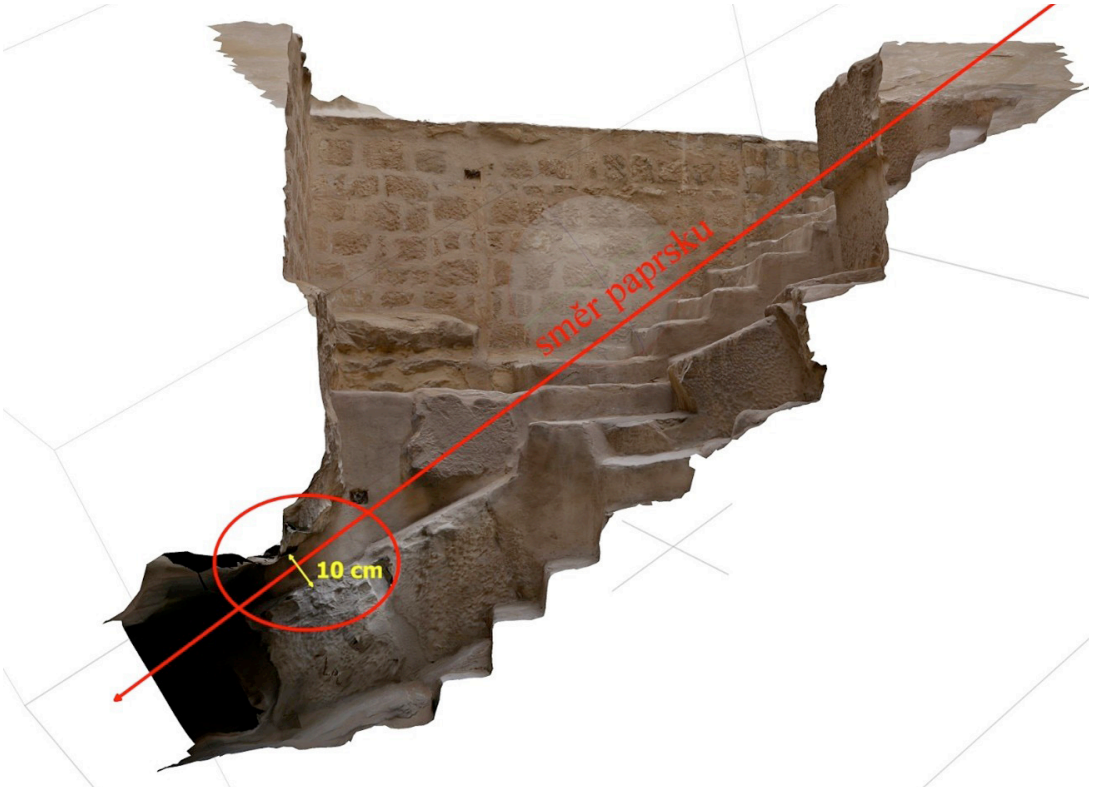


Obrázek 38 Geodetické body ve vstupu do hrobky



Obrázek 39 Geodetické body v kapli, serdábu a ve skladu

Součástí hrobky je i její rozsáhlé podzemí, do kterého se vstupuje po schodech v pilířovém dvoře. Aby bylo možno i tyto podzemní prostory zdokumentovat, byly ze stanoviska 708 zaměřeny stabilizované body 715 na podlaze sestupné chodby a tři body 716, 717 a 718 ve schodišti, určené pro orientaci. Samotné stabilizování a zaměření bodu 715 bylo složité, neboť na podlahu sestupné chodby, která má v řezu rozměry 1x1 m, byl pouze 10 cm široký průhled, skrz nějž byl veden laserový paprsek (obrázek 40).

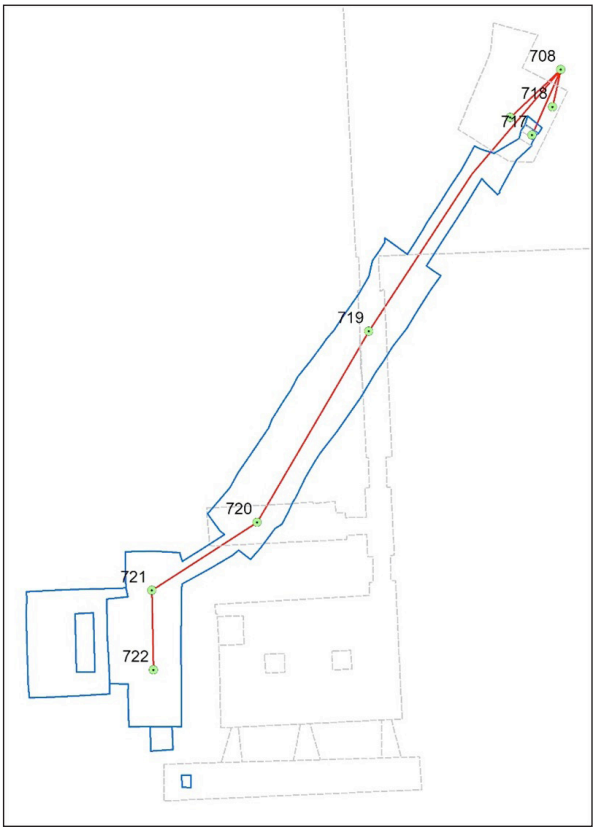


Obrázek 40 Řez vstupu do podzemí a směr zaměření pevného bodu

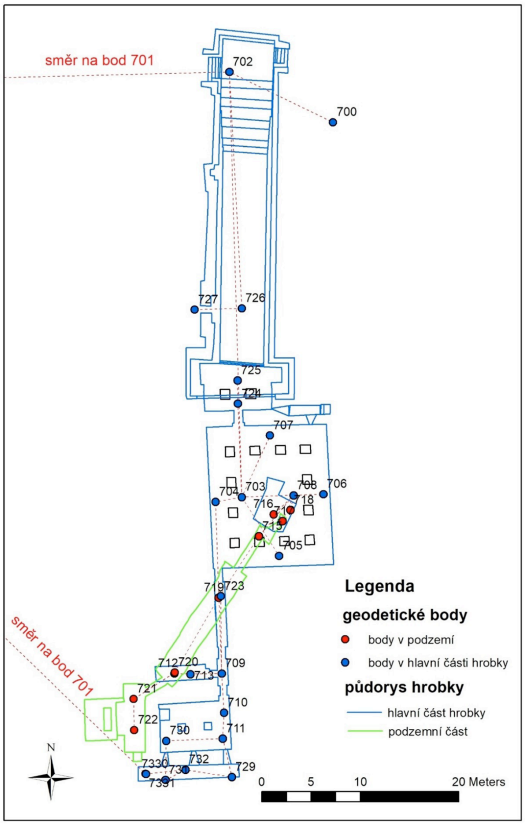
Na základě stabilizovaných a zaměřených bodů z předešlého dne se pokračovalo v podzemních prostorech hrobky. Dva body (719, 720) se pomocí hřebů stabilizovaly ve spojovací chodbě a z bodu 720 se zaměřil bod 721 v pohřební komoře, resp. v podlaze pohřební komory. Posledním pevným bodem byl bod 722 zaměřený z bodu 721, taktéž v pohřební komoře (obrázek 41).

Je třeba zdůraznit, že popisovaný postup je pro dokumentaci v egyptské archeologii specifický, v tomto případě chybí kontrola (připojení z druhé strany), neboť to podmínky měření nedovolují. Proto je nutno měření provádět pomalu a s velkou pečlivostí.

Během dne bylo zaměřeno kompletní podzemí se spojovací chodbou, sestupnou chodbou a pohřební komorou. Nutno podotknout, že celý objekt se měřil za účelem vypracování drátěného modelu objektu v prostředí CAD 3D. Takže vedle půdorysu byly zaměřovány podrobné body i v prostoru celé hrobky, rohy, linie stropu a půdorys sarkofágu. V měření se pokračovalo na jednotlivých stanoviscích a cílem bylo zaměřit podrobné body pro tvorbu zmíněného modelu. V polním zápisníku jsou definovány povinné spojnice a vše bylo zpracováno v prostředí CAD Carlson. Na obrázku 42 jsou zobrazeny všechny pevné body v hlavní části hrobky i v jejím podzemí.



Obrázek 41 Struktura geodetických bodů v podzemí hrobky

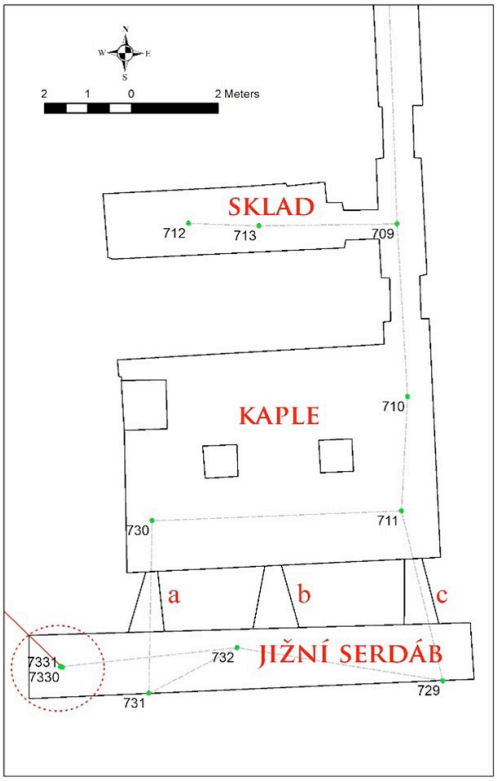


Obrázek 42 Geodetická síť hrobky hodnostáře Tije

Jedno z pravidel v geodézii říká „Jedno měření = žádné měření!“ Specifika geodetických metod v archeologii (souhrnně zpracovaná v úvodu druhé části první kapitoly této práce) ukazují, jak obtížné je dodržování platných norem a metod při geodetickém měření v egyptské archeologii. V průběhu výzkumu není zpravidla prostor pro opakování a zpětnou kontrolu výsledků.

Při dokumentaci Tijovy hrobky proto byly hledány možnosti, které by kontrolu některého měření umožnily.

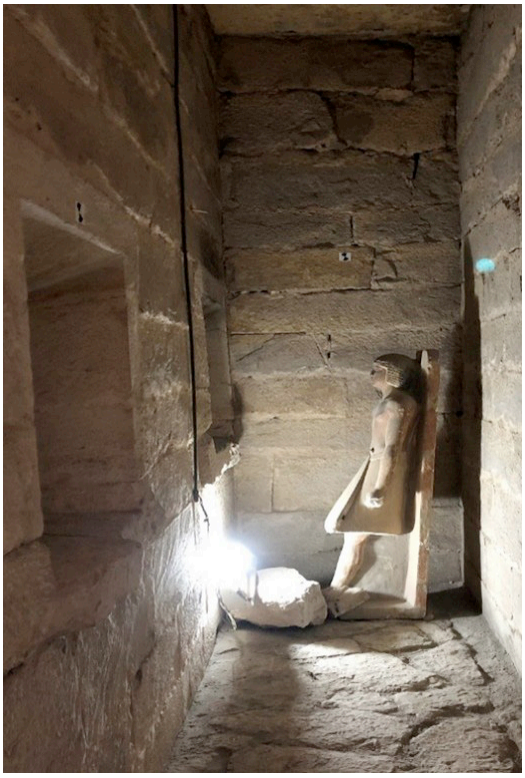
Geodetické bodové pole vybudované pro měření hrobky má více než 30 stanovisek. Je rozmístěno v horní části i v podzemí. Jednotlivé body byly zaměřovány postupně jako volné polygonové pořady, doplněné o další body určené polární metodou – rajónem. Prostorová struktura sítě je rozmanitá a možnost kontroly se naskytla při zaměření serdábu u jižní strany kaple (obrázek 43), se kterou je propojen třemi úzkými okny a, b a c (obrázek 44). Ze stanovisek 711 a 730 byly v jižní stěně serdábu zaměřeny a stabilizovány body 729 a 731. Zaměření serdábu bylo provedeno z volného stanoviska 732 s orientací na body 729 a 731. Vedle podrobných bodů byly zaměřeny i vlícovací body pro georeferenci mračen bodů z terestrického laserového skenování (obrázek 45).



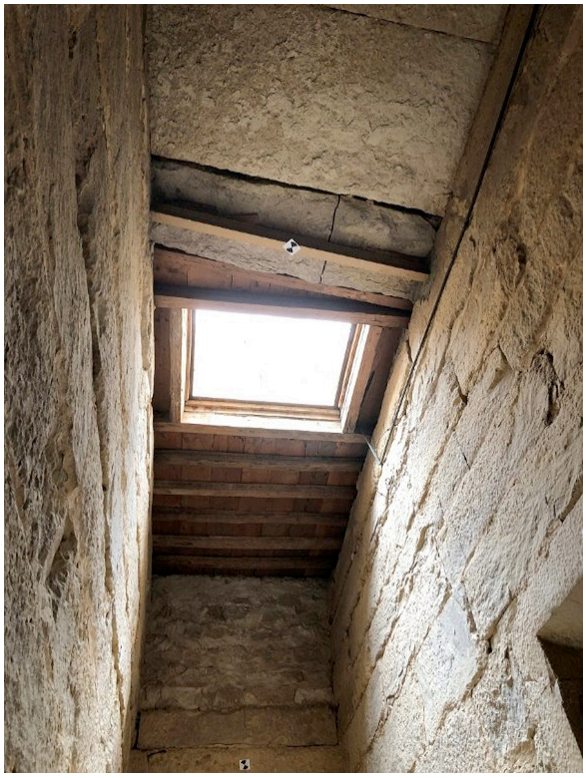
Obrázek 43 Jižní serdáb



Obrázek 44 Průhled do serdábu z kaple



Obrázek 45 Vnitřek jižního serdábu



Obrázek 46 Horní vstup do jižního serdábu

Při čištění serdábu došlo k odkrytí zabetonovaného otvoru ve stropu na západní straně (obrázek 46) a z volného stanoviska 732 byl zaměřen bod 7331 tvořený hřebem v dřevěném trámu. Následně byl ten samý hřeb zaměřen podruhé ze stanoviska 701 a označen jako bod 7330. Tím se získaly souřadnice stejného bodu z jiného stanoviska. V tabulce 13 jsou uvedeny souřadnice z obou měření a jejich rozdíly.

Point Id	Easting (m)	Northing (m)	Elev. (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	Δ El.(m)
7331	327 306,750	3 306 536,108	55,402	0,039	0,018	0,093
7330	327 306,789	3 306 536,090	55,309			

Tabulka 13 Souřadnice bodů ze dvou měření a jejich odchylky

Byla určena polohová odchylka z dvojice měření dPol = $\sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$ = 0,043 m a empirická střední souřadnicová chyba z dvojice měření dle vztahu $Sxy = \frac{\sqrt{\Delta E^2+\Delta N^2}}{2}$ = 0,022 m. Rozdíl v souřadnicích je v poloze maximálně 3,9 cm a ve výšce 9,3 cm. Lze tedy konstatovat, že ve specifických podmínkách egyptského archeologického výzkumu je chyba v měření pro potřeby archeologické dokumentace dostačující.

Geodetické bodové pole uvnitř hrobky a v jejím okolí tvoří 32 stabilizovaných bodů, které posloužily jako stanoviska, na kterých byly po centraci, horizontaci a orientaci postupně měřeny podrobné body. Protože cílem dokumentace bylo vytvoření 3D modelu hrobky, byly

postupně zaměřovány podrobné body, jejichž spojením vznikl drátěný model (wireframe). Uvnitř hrobky se používala funkce měření bez hranolu a v některých případech byl použit minihranol. Současně se vedl polní zápisník, do kterého se zapisovaly charakteristiky podrobných bodů a jejich vzájemné vztahy a body, které mají být spojeny povinnými spojnicemi.

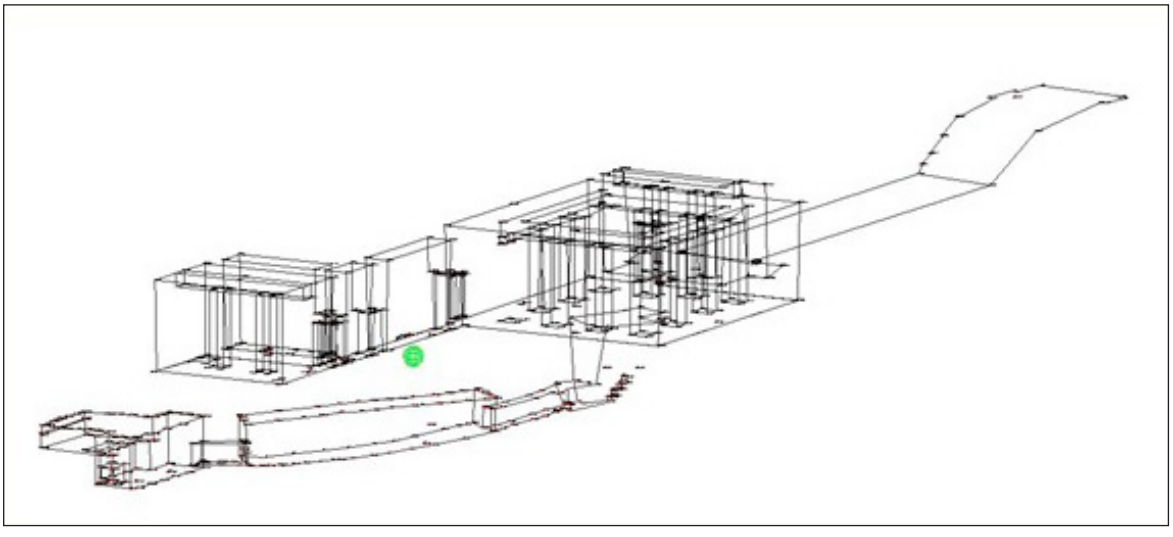
Stejně jako u modelace povrchů terénu hrají povinné spojnice důležitou roli i u dokumentace staveb. Jedná se o body, které po spojení pomocí linie vytvářejí hmotu objektu. Například spodní čtyři rohy místnosti tvoří její půdorys, stejbě jako rohy u stropu, přičemž po spojení s odpovídajícími body získáváme 3D drátěný model celé místnosti.

Databáze geodetických bodů byla po importu z geodetické totální stanice upravena do textového souboru *.txt ve formě CB, Y, X, H. Vlastní tvorba modelu byla provedena v prostředí programu Carlson Mining 2017. Jedná se o jeden z mnoha modulů programu, který byl doplněn o modul Point Cloud a Survey. Vytvoření drátěného modelu objektu má několik fází. Součástí programu je modul CAD – IntelliCAD, do kterého se importují textové soubory, vytváří se soubor souřadnic *.cdr a vlastní soubor CAD *.dwg.

Body jsou vizualizovány jak ve 2D prostoru, tak je s nimi možno pracovat i v 3D prostoru. Při vizualizaci se provede výběr značky bodu a přiřadí se jeho číslo CB. To je klíčové pro kreslení linií a polygonů, kdy se jednotlivé body spojují pomocí nástroje 3D křivka a postupně se vytváří drátěný model objektu.

Body mohou být spojovány jednotlivě, anebo lze jejich propojení usnadnit zápisem čísla bodu prvního a následujících, kdy se 3D křivka vytváří automaticky a linie se uchycuje přímo na definované body. Toto umožňuje velmi efektivní vytváření kresby. Podmínkou je správnost řazení bodů, které jsou spojovány, při jejich postupném měření. V tomto případě rovněž platí poučka, že „někdy méně znamená více“, neboť přílišné množství prostorových bodů zvyšuje nepřehlednost pro zpracovatele.

Důležitou roli hraje také vedení přehledného polního zápisníku, který v případě nejasností poskytne důležité údaje. Výsledný drátěný model vidíme na obrázku 47.



Obrázek 47 Drátěný model hrobky hodnostáře Tije

2.6 PROSTOROVÉ TERESTRICKÉ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

Druhou dokumentační metodu při průzkumu hrobky hodnostáře Tije představovalo prostorové laserové skenování. Tato bezkontaktní metoda sběru dat využívá laserového paprsku, který je rozkmitán pomocí zdroje a otočného zrcadla. Metoda a použitý přístroj byly popsány výše.

METODA A POSTUP MĚŘENÍ

Plán skenování Tijovy hrobky byl rozdělen do několika dílčích částí. Ve skenované části hrobky se provedla instalace vlícovacích bodů ve formě černobílých značek, jejich geodetické zaměření z bodů stávající geodetické sítě a základní fotografická dokumentace. Stanoviska skeneru byla zvolena tak, aby na sebe jednotlivá mračna bodů navazovala. V místech, kde bylo dostatečné světlo, příp. byla místnost nasvícena, skener vedle sběru mračna bodů provedl i záznam textury ve formátu HDR. Skenování bylo nastaveno na nejvyšší stupeň rozlišení a doba sběru dat na jednom stanovisku trvala okolo 7 minut.

Skener Leica BLK360 se ovládá buď stisknutím hlavního tlačítka přímo na přístroji, anebo pomocí wifi propojení s tabletem Apple iPad 12 Pro s instalovaným programem Leica Cyclone FIELD 360. Skener se ovládá na dálku, včetně nastavení a kontroly naskenovaných mračen bodů. V průběhu skenování lze v programu provádět jejich spojování a tím je zajištěna kontrola pokrytí skenovaného objektu. Zařízení disponuje celkem třemi bateriemi, které vydrží při stálém výkonu přes 6 hodin.



Obrázek 48 Skenování v sestupné chodbě do pohřební komory

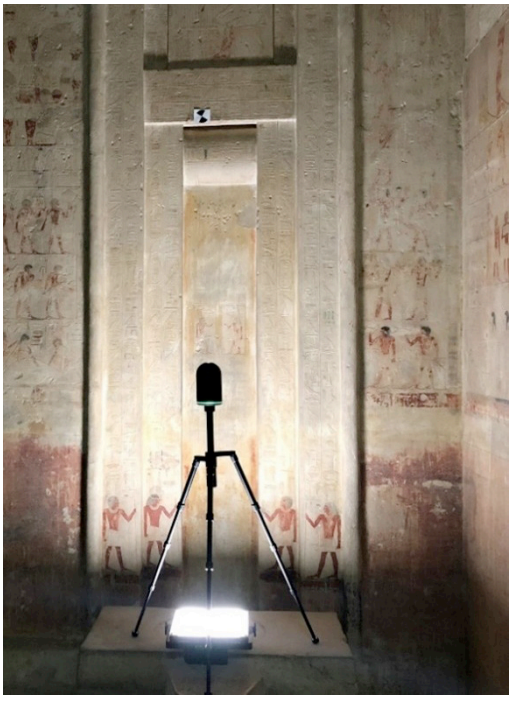


Obrázek 49 Skener nad šachtou do pohřební komory

Obrázky 48 až 52 představují různé situace měření se skenerem. Skenování se provádí ze vzdálenosti od cca 60 centimetrů, s čímž se muselo předem počítat a vytvořit více stanovisek tak, aby byl pokrytý celý skenovaný objekt. Při skenování vedlejší šachty (obrázek 49) byl skener použit v poloze „hlavou dolů". Jeho výhodou je, že díky své velikosti může pracovat ve velmi malých prostorech. Abychom mohli snímat z větší výšky, byl stativ se skenerem umístěn v klasickém geodetickém stativu (obrázek 52) a rovněž byla vyzkoušena varianta bez stativu, kdy byl přístroj usazen pomocí fotografického šroubu na pevnou podložku.



Obrázek 50 Skenování v pohřební komoře



Obrázek 51 Skenování v kapli



Obrázek 52 Skenování v pohřební komoře

ZPRACOVÁNÍ DAT

Skenování probíhalo během jarní expedice v roce 2019, kdy se podařilo nasnímat zhruba 85 % prostoru hrobky, a pokračovalo v roce 2021, kdy se dokončoval archeologický výzkum objektů k hrobce přilehlých. Tabulka 14 obsahuje údaje o počtu dnů skenování, počet stanovisek a objem všech dat v základním formátu *.blk.

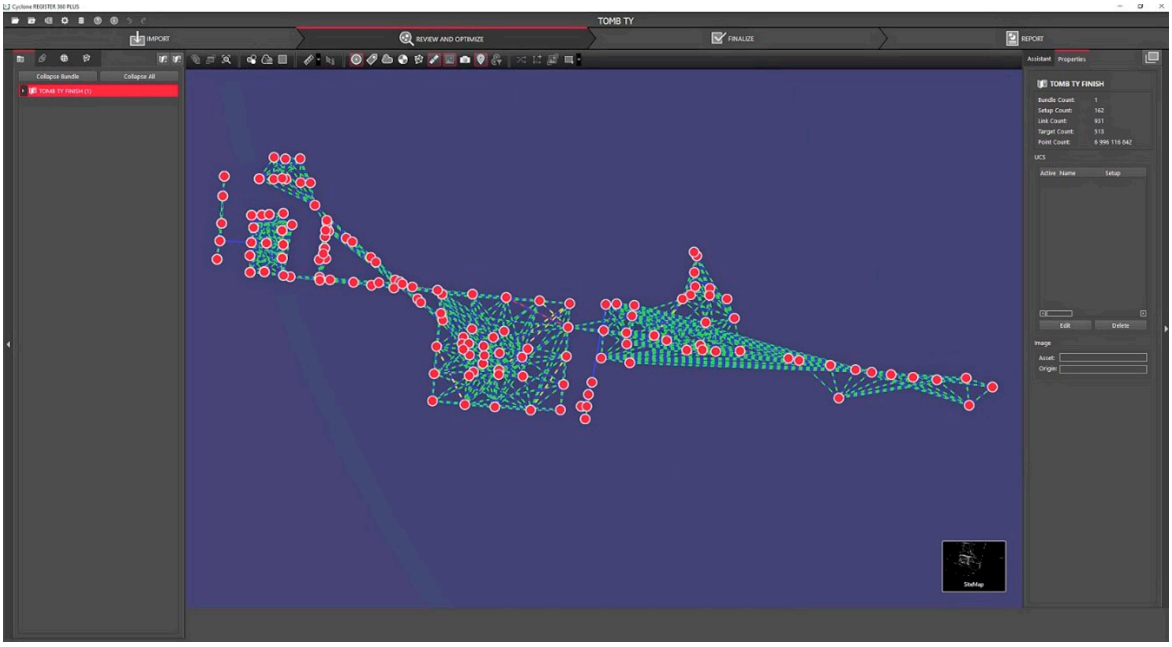
Podařilo se získat povolení k otevření serdábu na severní straně hrobky, což byla poslední část celého komplexu. Serdáb byl zaměřen geodeticky a bylo provedeno jeho skenování. Strukturu stanovisek skeneru znázorňuje obrázek 53.

Rok	Počet dnů	Počet stanovisek	Objem dat
2019	13	153	86 GB
2021	2	15	13 GB

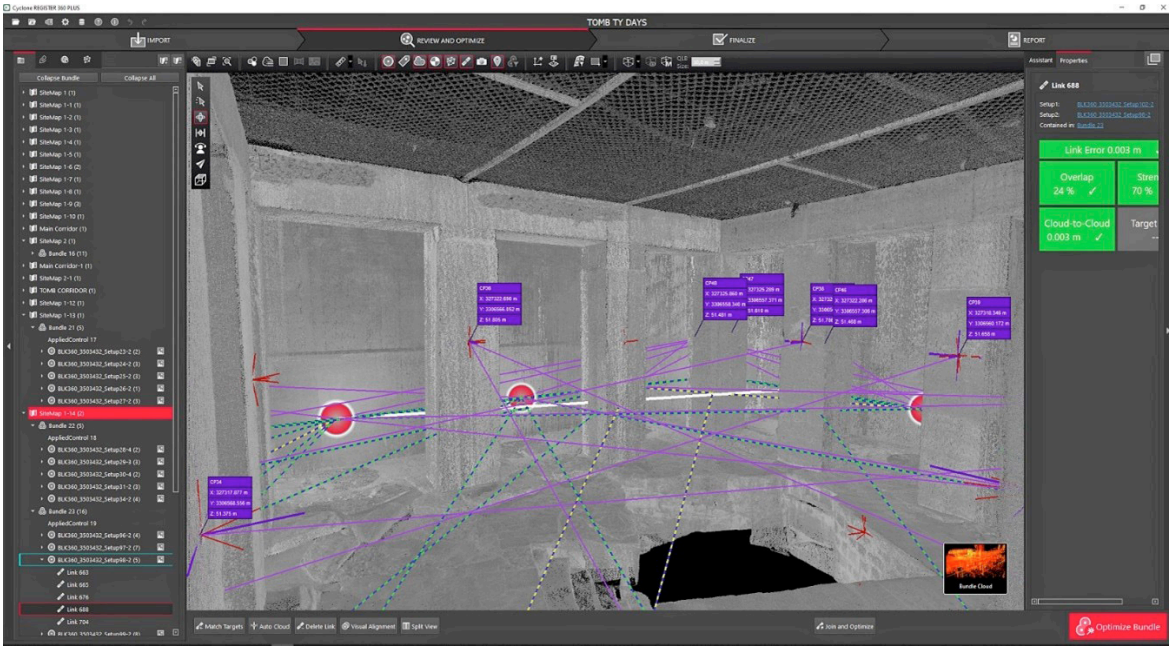
Tabulka 14 Počet dnů skenování, počet stanovisek skeneru a objem dat

Data ze skenování byla zpracována v programu Cyclone REGISTER 360 PLUS, který disponuje komplexním řešením pro registraci mračen bodů a přípravu dat ze senzorů Leica Geosystems i třetích stran.[72] Zpracování mračen bodů bylo prováděno postupně, po jednotlivých částech hrobky (obrázek 54). Po založení nového projektu se mračna bodů z jedné části hrobky impor-

72 Https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/3d-laserove-skenovani/software/cyclone-register-360-plus.

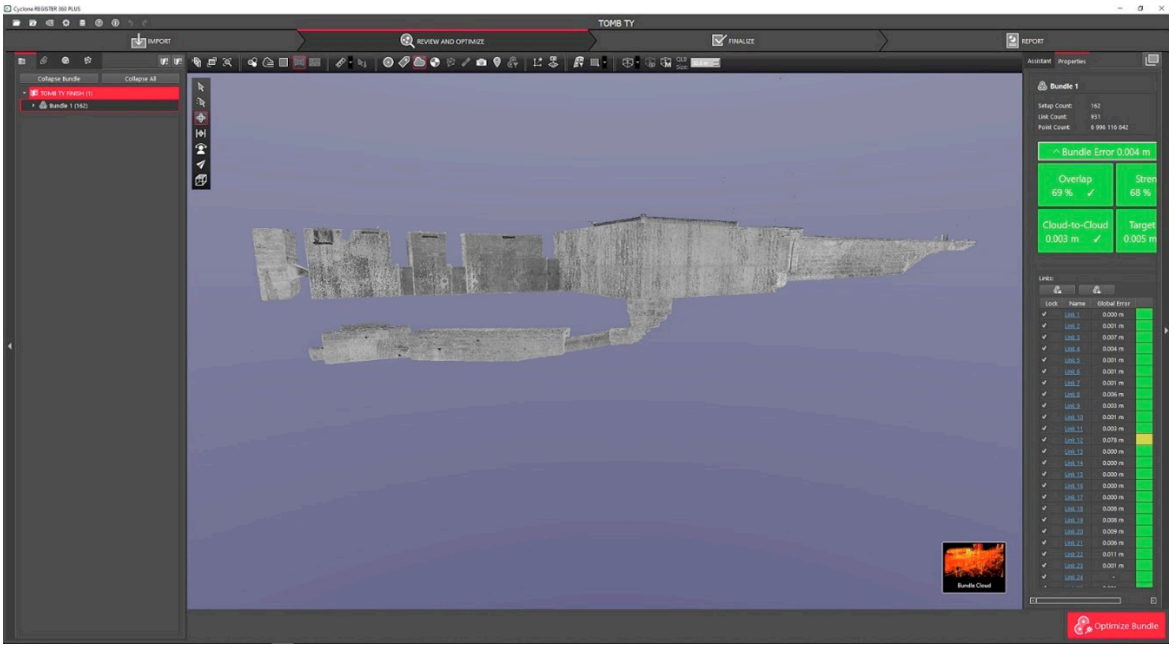


Obrázek 53 Struktura stanovisek skeneru v hrobce hodnostáře Tije

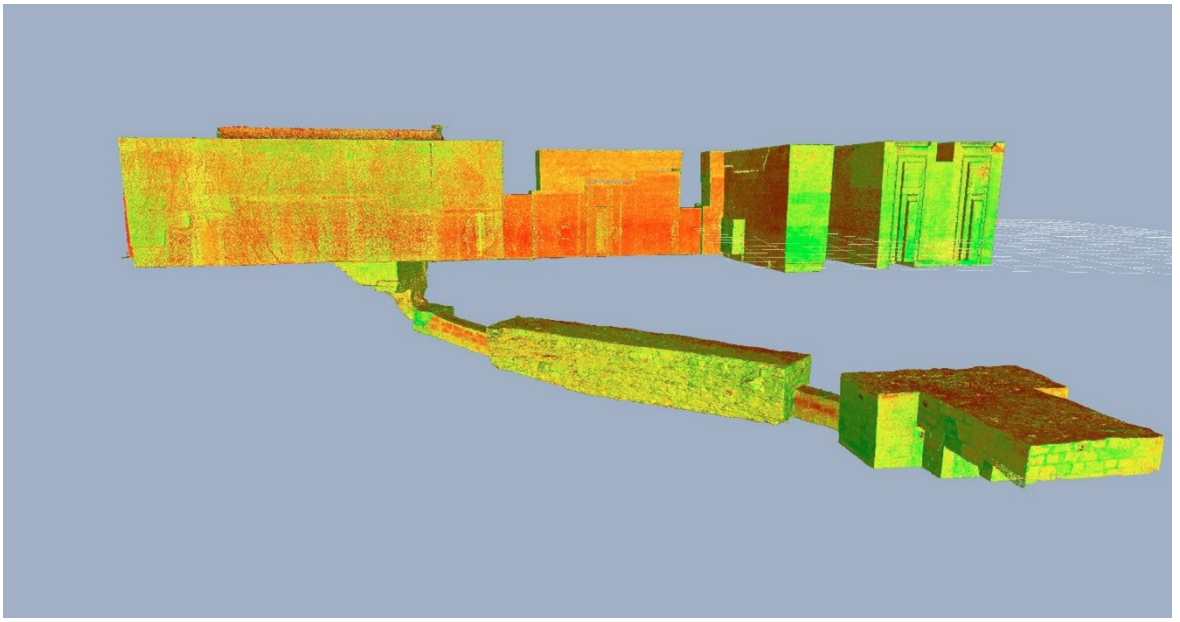


Obrázek 54 Prostředí programu Leica Cyclone 360

tovala do adresáře (SiteMap), následoval přenos textového souboru se seznamem souřadnic vlícovacích bodů, a poté se jednotlivá mračna postupně skládala k sobě, buď pomocí nástroje Cloud-to-Cloud, nebo na základě vlícovacích bodů, až vzniklo jedno mračno (Bundle). Následovala kontrola propojení, vyčištění a uložení georeferencovaného modelu samostatné části hrobky. Když byly všechny její části v jednotlivých Bundle zpracovány, následovalo jejich spojení do jednoho kompletního modelu (obrázek 55), který byl importován ve formátu E57



Obrázek 55 3D model hrobky hodnostáře Tije

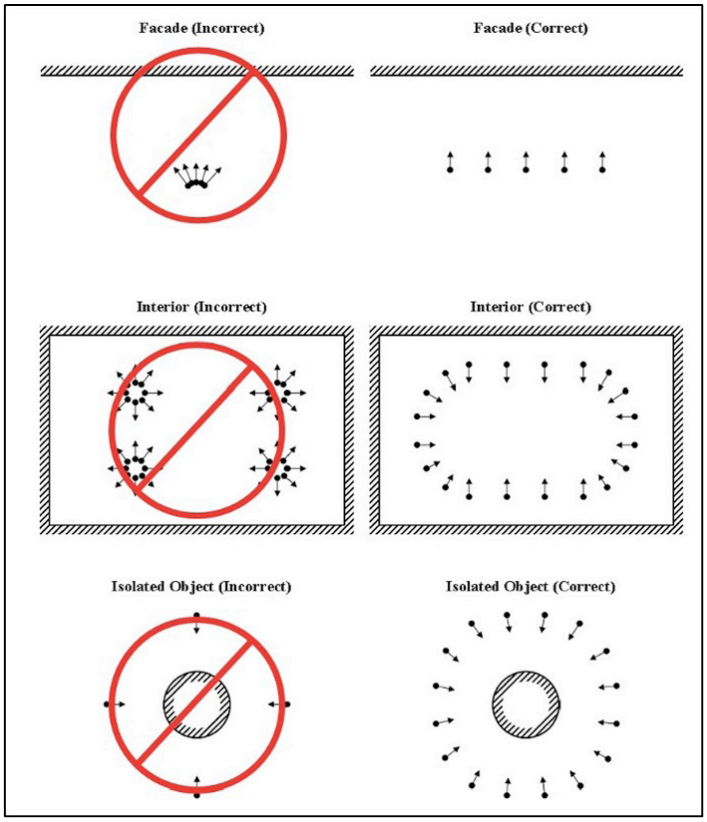


Obrázek 56 Boční pohled ze západu na hrobku hodnostáře Tije

a načten do programu Autodesk ReCap, jež má prostředí ideální pro koncového uživatele. Ten pak může s pomocí jednoduchých nástrojů provádět základní měření délek, sklonu, zjišťovat rozměry půdorysu, řezy hrobkou a výsledky exportovat s měřítkem do grafických programů k dalšímu zpracování. Standardně se v ČEgÚ používá program Adobe Illustrator, ve kterém se vytvářejí podklady pro publikace. Na obrázku 56 vidíme celou hrobku vyjádřenou funkcí *intenzita*. Kompletní model se skládá z 21 Bundle a 162 stanovisek skeneru.

2.7 PRŮSEKOVÁ FOTOGRAMMETRIE

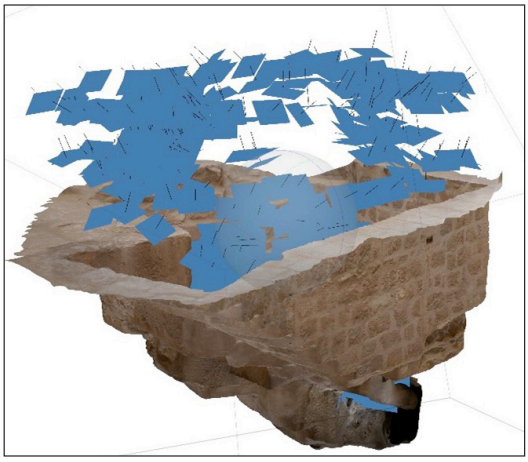
Základní charakteristiku průsekové fotogrammetrie jsem popsal výše. Při dokumentaci hrobky hodnostáře Tije byla tato metoda použita pro vytvoření 3D modelu vstupu do podzemí, modelu šachet na západní straně hrobky a hlavního koridoru. Vstup do podzemí je situován ve sloupovém dvoře. Samotný vstup se obtížně dokumentuje geodetickou metodou, proto byla použita průseková fotogrammetrie. Pro sběr fotografií v tomto případě sloužil kompaktní fotoaparát Canon EOS M6 s pevným ohniskem 50 mm.



Obrázek 57 Metoda fotografování pro 3D model objektu

Model byl vytvořen v prostředí programu Agisoft Metashape,[73] který je často využíván pro tvorbu 3D modelu objektů, pro zpracování fotografií ze snímkování UAV a při dokumentaci památek. Jednou z jeho výhod je, že hotový model lze exportovat do formátu 3D PDF a výsledné 3D modely jednoduchou formou prezentovat. Na obrázku 57 vidíme metodu fotografování pro tvorbu 3D modelu. Na obrázcích 58 a 59 jsou zobrazeny výsledky dokumentace vstupu do podzemí, včetně poloh fotoaparátu. Na obrázku 60 je pohled na 3D model pěti šachet na západní straně Tijovy hrobky a poslední obrázek 61 ukazuje hlavní vstup do hrobky, hlavní koridor.

73 Agisoft LLC. Agisoft PhotoScan User Manual [online]. C2016 [cit. 30. 12. 2023]. Dostupný na: <https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_en.pdf>.



Obrázek 58 Polohy fotoaparátu při sběru dat



Obrázek 59 Boční pohled na 3D model vstupu do podzemí



Obrázek 60 Pohled shora na soustavu šachet na západní straně hrobky hodnostáře Tije



Obrázek 61 Vstupní koridor do hrobky hodnostáře Tije

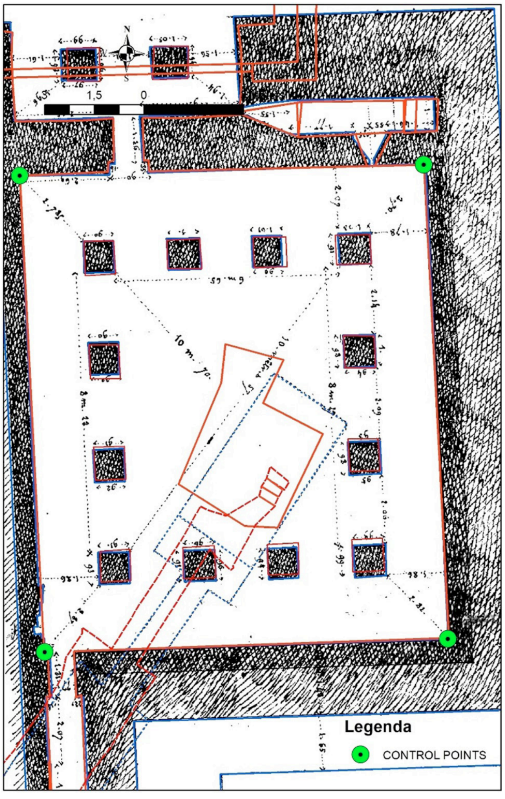
3 Komparace dostupné historické dokumentace

U většiny archeologických výzkumů, které byly prováděny v Abúsíru a Sakkáře v 19. století, buď zcela chybí, nebo není úplná plánová dokumentace – plány, mapy a náčrty. Většinou jsou dostupné pouze jednoduché plány a náčrty obsažené v publikacích, u některých publikací jsou mapové přílohy umístěny na samostatných listech.

Cílem této části práce bylo shromáždění dostupných plánů a náčrtů hrobky, jejich import do prostředí GIS a vzájemná komparační analýza s výsledkem geodetického zaměření. Bylo nalezeno šest různých plánů/náčrtů Tijovy hrobky z různých zdrojů a v různé kvalitě. Znalost historického stavu a komparace se stavem současným (geodeticky zaměřeným) je důležitá nejen pro pochopení stavebních postupů při budování hrobky, zároveň může archeologům sloužit jako zdroj inspirace při definování dalších otázek týkajících se zkoumaného objektu.

3.1 METODA

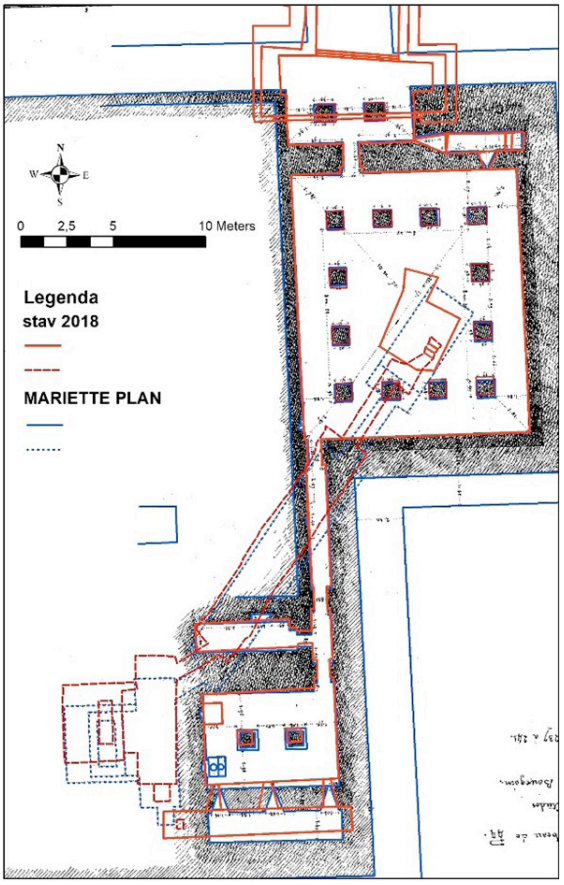
Všechny shromážděné podklady obsahují pilířový dvůr a základní půdorys horní a podzemní části hrobky. Abychom mohli provést vzájemnou komparaci plánů, bylo potřeba definovat základní body pro jejich georeferenci. Vycházíme z předpokladu, že půdorys pilířového dvora je zaměřen (zobrazen) ve správných rozměrech. Proto byly všechny plány georeferencovány na jeho čtyři rohy (obrázek 62). Georeference plánů byla provedena v prostředí GIS programu ESRI ArcMap a každý plán byl poté vektorizován do formátu SHP.



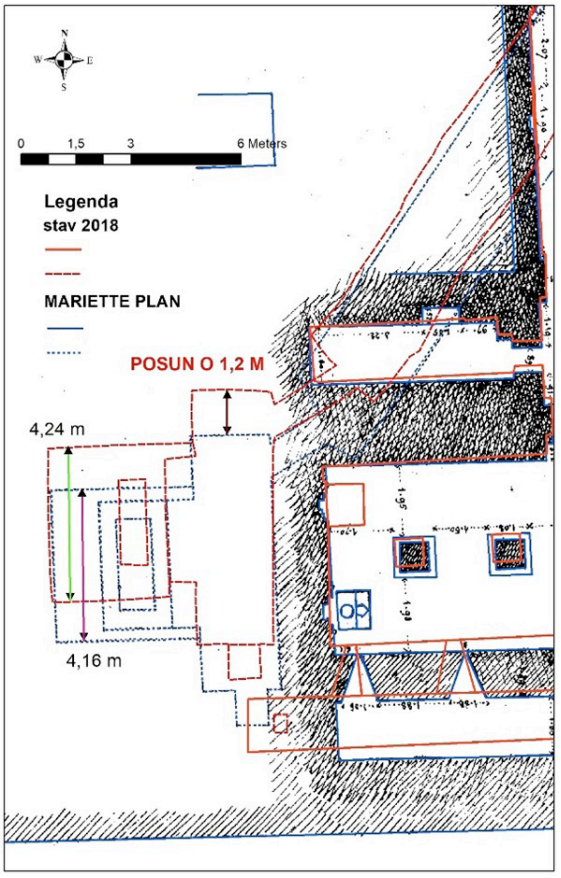
Obrázek 62 Vlícovací body pro georeferenci historických plánů

3.2 KOMPARACE HISTORICKÝCH PLÁNŮ SE SOUČASNÝM STAVEM

Jednotlivé plány byly v prostředí GIS porovnány s výsledkem geodetického měření z roku 2018. Při komparaci byly použity i rastrové formy historických plánů – plán Augusta Marietta z roku 1865 a Georga Steindorffa z roku 1913.

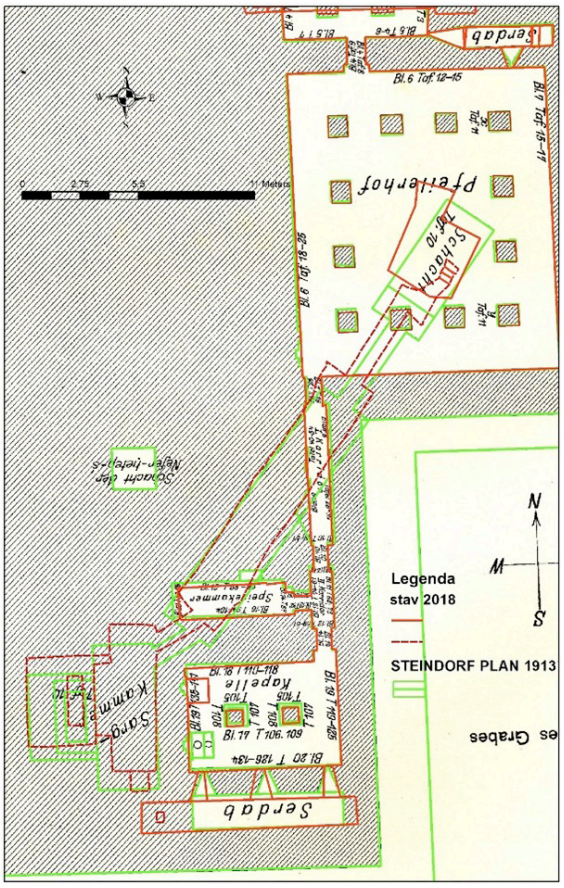


Obrázek 63 Komparace plánu z roku 2018 a plánu Augusta Marietta z roku 1865

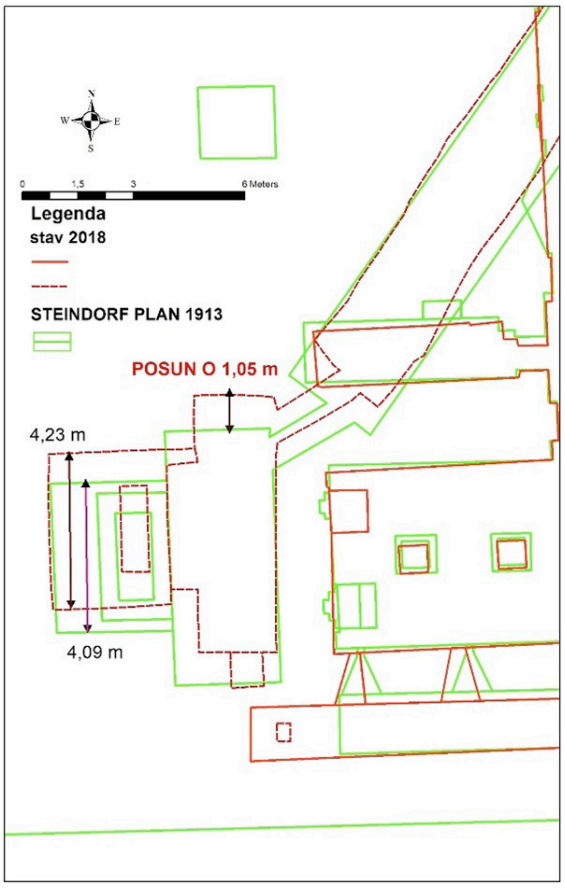


Obrázek 64 Detail komparace plánu Augusta Marietta z roku 1865

Komparace výsledků z geodetického měření v roce 2018 a plánu Augusta Marietta přinesla následující výsledky. Horní část hrobky (kaple, sloupový dvůr, spojovací chodba) vykazovala vysokou shodu (obrázek 63), u podzemní části hrobky, kde by se předpokládaly větší odchylky, byl zaznamenán pravý opak. Posun půdorysu pohřební komory byl 1,20 m, u rozměru délky výklenku pro sarkofág byl rozdíl 0,08 m. I u podzemní spojovací chodby byly odchylky v půdorysech minimální (obrázek 64). Pokud vezmeme v úvahu, že měření plánu proběhlo v letech 1860–1865, vyvstává množství otázek, jak je vůbec možné, že Mariette a jeho tým dokázali za použití jednoduchých měřických pomůcek pro měření vytvořit tak dokonalý plán podzemí.



Obrázek 65 Komparace plánu z roku 2018 a plánu Georga Steindorfa z roku 1913



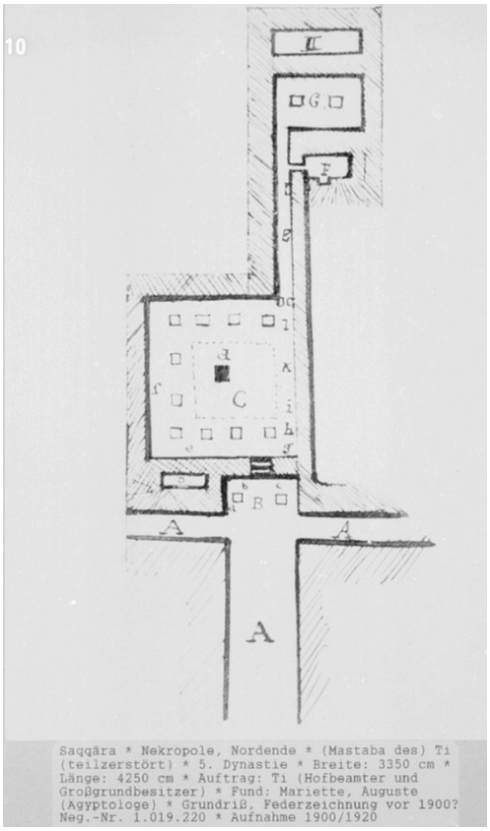
Obrázek 66 Detail komparace plánu Georga Steindorfa z roku 1913

Pro druhý příklad komparace byl využit plán z publikace Georga Steindorfa.[74] V horní části hrobky (kaple, sloupový dvůr, spojovací chodba) byla stejně jako u plánu Marietta nalezena vysoká shoda (obrázek 65). U podzemní části hrobky byl posun půdorysu pohřební komory 1,05 m, u rozměru délky výklenku pro sarkofág byl rozdíl 0,14 m. I u podzemní spojovací chodby byly odchylky v půdorysech minimální (obrázek 66).

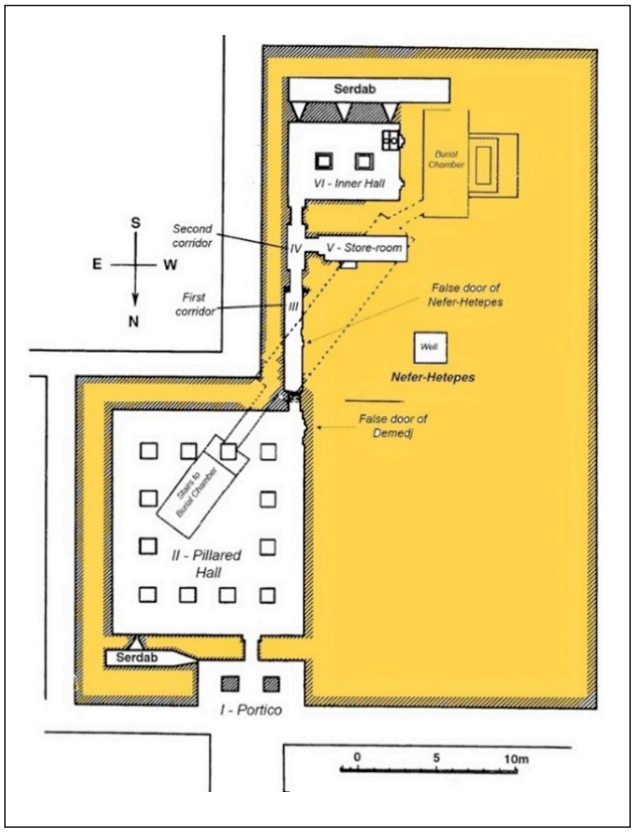
V případě, že porovnáme dosažené výsledky u uvedených komparací, můžeme jak u plánu Marietta, tak Steindorfa konstatovat vysokou shodu. Je velmi pravděpodobné, že Steindorf převzal a překreslil plán Marietta, stejně jako to udělali ve svých publikacích i další autoři. Několik plánů prezentují obrázky 67, 68, 69 a 70.[75]

74 STEINDORFF, Georg, *Das Grab des Ti*, J.C. Hinrichs, Leipzig, 1913, First edition, In-2, 12 pages, 143+20 plates.

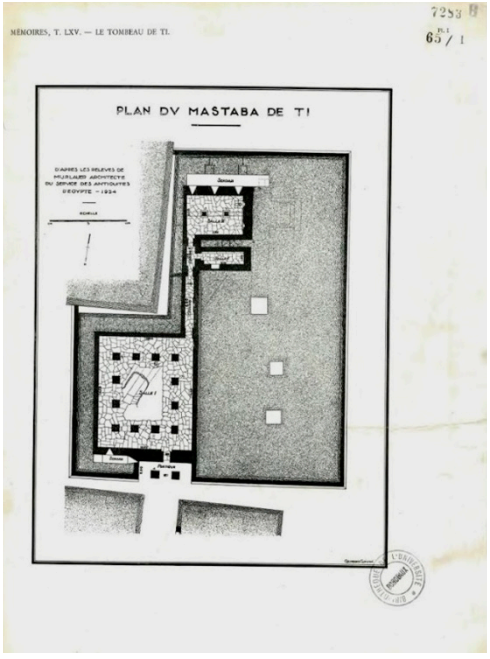
75 Archiv ČEgÚ.



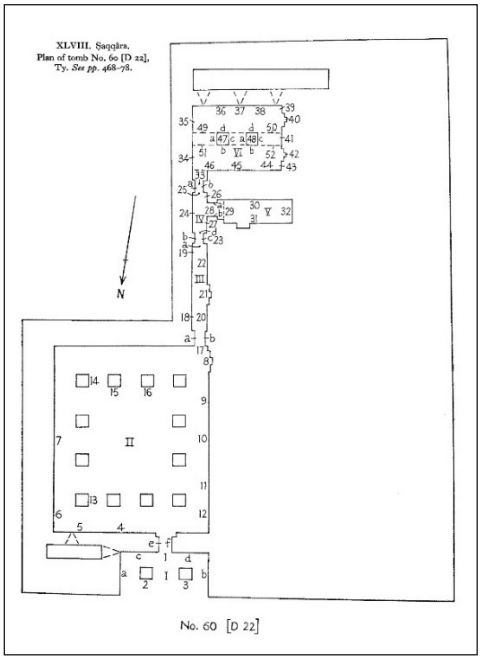
Obrázek 67 Plán hrobky hodnostáře Tije



Obrázek 68 Plán hrobky hodnostáře Tije



Obrázek 69 Plán hrobky hodnostáře Tije



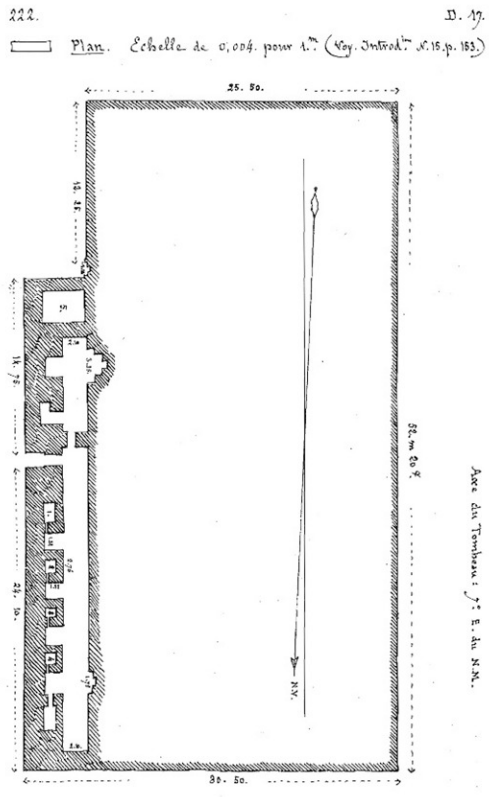
Obrázek 70 Plán hrobky hodnostáře Tije

U dvou plánů/náčrtů chybí zákres podzemí a i půdorysy některých místností jsou zakresleny chybně. Z výzkumu dalších hrobek nacházejících se v okolí Tijovy hrobky, například hrobka Ptahšepsese C1, hrobka Nimatrea D17 (obrázek 71) a dalších, se dochovaly v publikaci Marietta pouze jednoduché plánky a náčrty, které neobsahují všechny detaily.

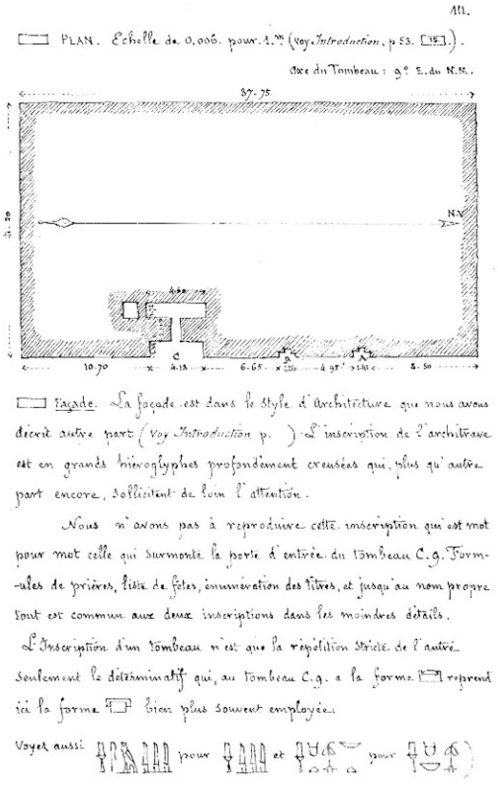
3.3 METODA IDENTIFIKACE HROBKY PTAHŠEPSESE V SEVERNÍ SAKKÁŘE

Při plánování archeologického výzkumu je důležité provést analýzu s využitím veškerých forem dostupných historických podkladů. Na základě i jednoduchých plánů a náčrtů s minimálním obsahem lze při znalosti rozměrů hrobky, její orientace a případně dalších zakreslených prvků identifikovat hrobku v terénu, například interpretací satelitního snímku a terénní rekognoskace.

Takovým příkladem je i identifikace již zmíněné hrobky Ptahšepsese v severní Sakkáře. Z jednoduchého plánu (obrázek 72) byly odečteny rozměry hrobky a umístění kaple. Předem se vědělo, že nepravé dveře (obrázek 73), které byly v kapli a které Mariette při výzkumu vyzvedl, byly jedny z největších ze Staré říše. Dnes jsou součástí egyptologické sbírky Britského muzea.



Obrázek 71 Plán Nimatrea C17[76]



Obrázek 72 Plán Ptahšepsese C1[77]

76 MARIETTE, Auguste – MASPERO, Gastono, *Les mastabas de l'ancien empire: fragment du dernier ouvrage de A. Mariette*, F. Vieweg, 1889.

77 Tamtéž.



Obrázek 73 Nepravé dveře Ptahšepsese

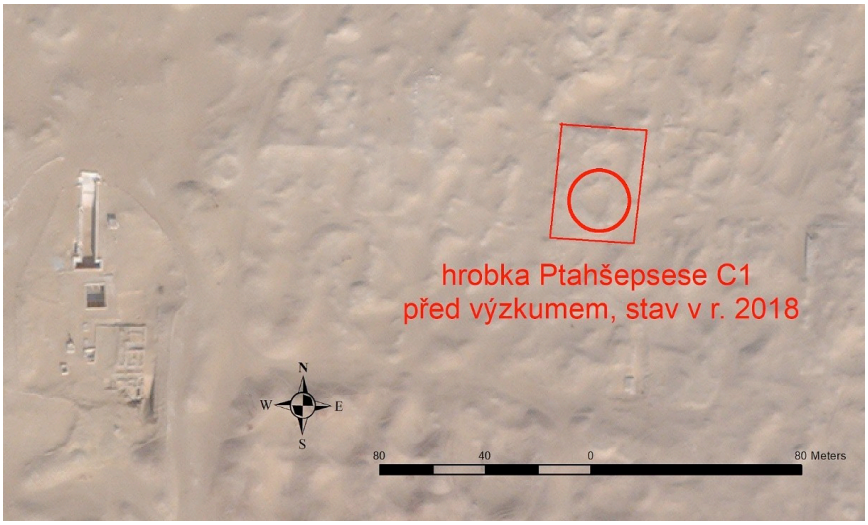


Obrázek 74 Poloha hrobky Ptahšepsese

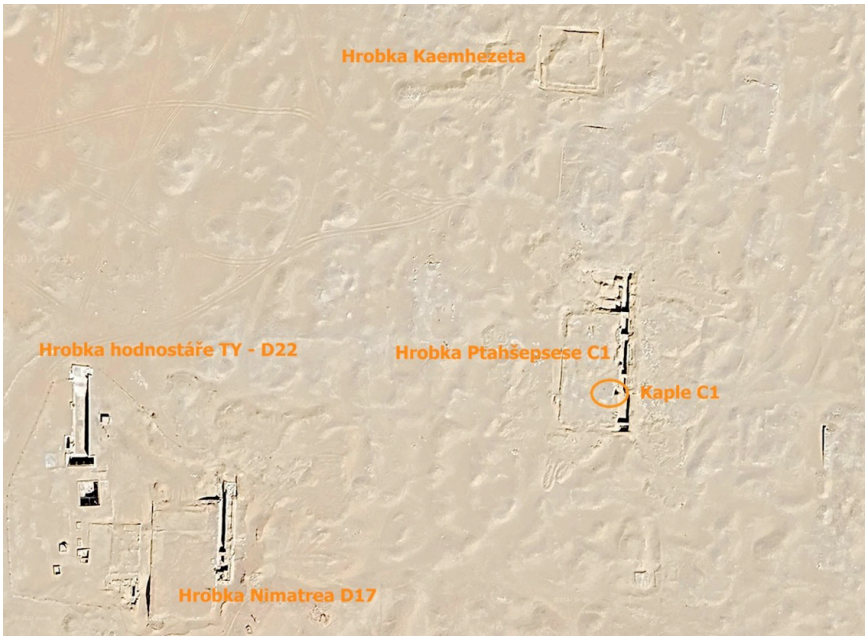
Intepretací satelitního snímku z roku 2018 (obrázek 75) a terénním průzkumem (obrázek 74) byla identifikována struktura, u které byly patrné rohy – severovýchodní a jihovýchodní. Jejich vzdálenost odpovídala rozměrům z plánu Augusta Marietta. Také byly nalezeny dílčí části zdi a prohlubeň, která vznikla při vyzvedávání nepravých dveří a nacházela se v prostoru kaple zakreslené na plánku. Tyto indicie ukázaly na pravděpodobnou polohu hrobky Ptahšepsese.

V roce 2022 a 2023 probíhal archeologický výzkum, který potvrdil správnost předpokladu, že se jedná o hrobku Ptahšepsese. Postupně byly odkryty a zdokumentovány další části, hlavní koridor, sestupná chodba do pohřební komory, na jihu serdáb, kaple (bez nepravých dveří) a niky ve východní zdi. Celý komplex byl detailně geodeticky zaměřen, proběhlo i laserové skenování a fotografická dokumentace. Jeden z výsledků tohoto průzkumu tvoří kompletní plán hrobky Ptahšepsese C1 uvedený na obrázku 77.

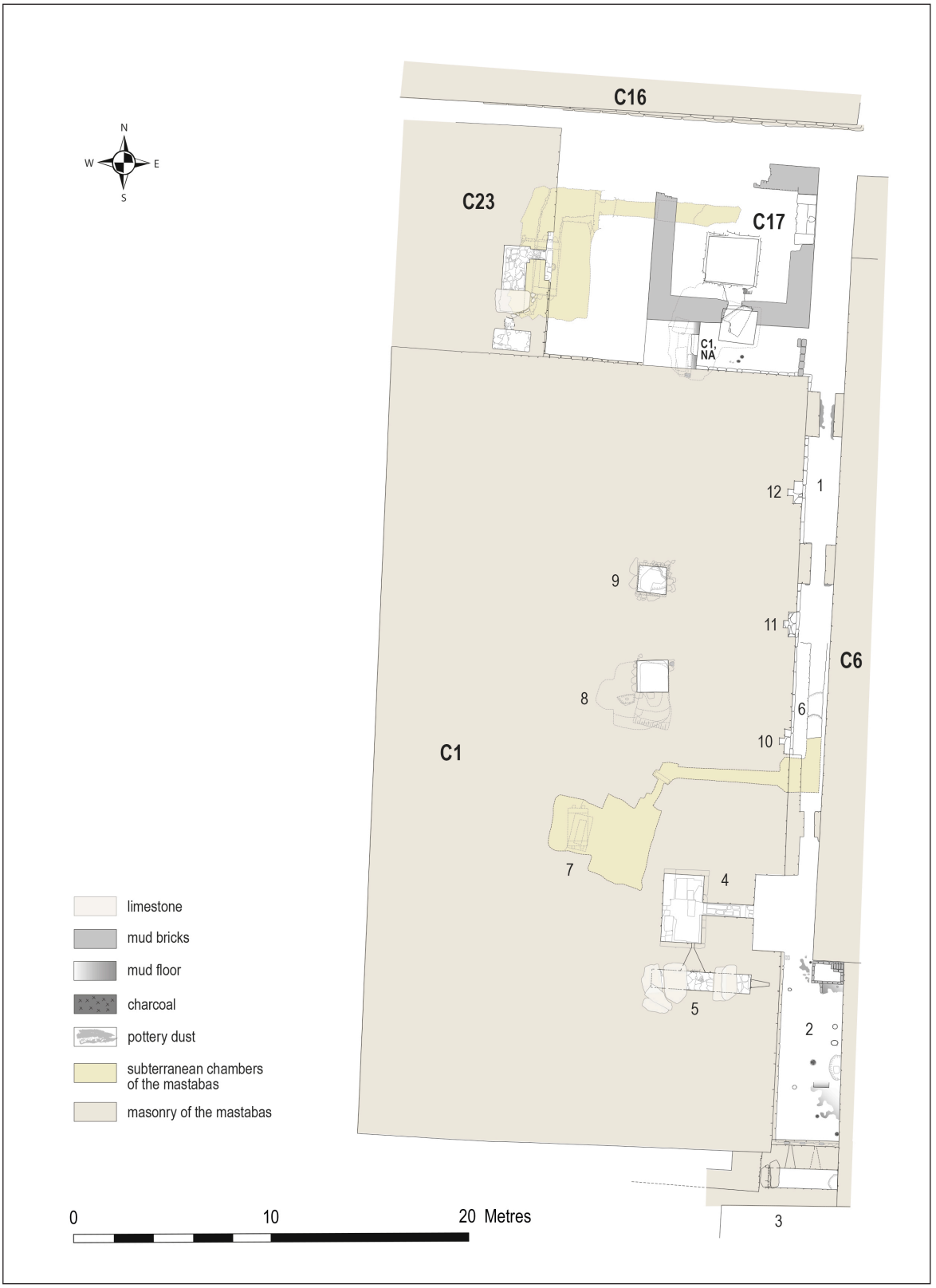
Současný stav struktury hrobek v okolí Tijovy hrobky zobrazuje satelitní snímek na obrázku 76. Na východ od Tijovy hrobky byla nalezena a dokumentována hrobka D17 Nimatrea, v roce 2023 skončil výzkum hrobky Ptahšepsese a začal výzkum hrobky na severu, jejíž majitel se jmenoval Kaemhezet.



Obrázek 75 Hrobka Ptahšepsese interpretovaná na satelitním snímku z roku 2018



Obrázek 76 Zkoumané hrobky v severní Sakkáře, stav v roce 2023



Obrázek 77 Plán hrobky Ptahšepsese

4 Dokumentace podzemí mastaby Neferherptaha v jižním Abúsíru

Geodézií nazýváme nauku o vyměřování a zobrazování jednotlivých částí nebo i celého povrchu Země. Pokud provádíme zaměřování a zobrazování podzemních děl a prostor, hovoříme o důlním měřictví. Historie důlního měřictví se datuje od poloviny 16. století, kdy Georg Bauer, známější jako Georgius Agricola, popsal ve své slavné knize *De re metallica libri XII* (*Dvanáct knih o hornictví a hutnictví*) práci s kompasem při zaměřování podzemních děl.[78] Vedle zmíněného kompasu byly k měřickým pracím používány další přístroje, jako Jakubovy hole, astroláby a dřevěné či později kovové kvadranty nebo sextanty, které obsahovaly verniery k přesnějšímu odečítání úhlů.[79]

Důlní měřictví je nauka o sběru prostorových dat pro zhotovování důlních map a plánů, o postupech při jejich kreslení, o vytyčování povrchových i důlních objektů na hornickém závodě, o zjišťování množství zásob užitkových nerostů v ložisku, o sestavování technických podkladů pro plánování otvírky, přípravy a dobývacích prací, o metodách kontroly hospodaření s užitkovým nerostem a o sledování vlivů dobývacích prací na povrchové nebo důlní objekty.[80] V oblasti inženýrských činností, zejména při budování tunelů, se jedná zejména o vytyčovací práce, výpočty kubatur, sledování postupů ražby a její přesnosti, kontroly a konečné dokumentace. Při těchto činnostech jsou základní geodetické měřické metody doplňovány novými technologiemi, jako je laserové skenování a 3D modelování.[81]

Při každém měření je třeba pohlížet i na účel a význam zaměřovaných skutečností a na možnost budoucího využití naměřených výsledků. Používají se metody a postupy zajišťující dostatečnou vnitřní kontrolu nebo alespoň dva různé, na sobě nezávislé způsoby, případně dvakrát nezávisle opakovaný stejný způsob měření[82].

4.1 SPECIFIKA MĚŘENÍ V PODZEMÍ

Pro měření v podzemí je nutné využití specifických přístrojů, metod a měřických postupů. Vedle právních předpisů existuje mnoho podkladů a metodik, jak takové měření provádět. V Čechách máme v oblasti hlubinného dobývání nerostných surovin, výstavby tunelů a podzemních děl a také v oblasti poznávací, např. mapování jeskyní, dlouhodobé historické zku-

78 Digitalizovaná verze vydání Georgii Agricolae De re metallica libri XII z roku 1556 vydaného v Basileji u Frobena, https://archive.org/details/georgiiagricolaeooagri, zdroj: https://knihovna.vsb.cz/cs/fondy/o-knihovnim-fondu/agricola/.

79 LUKEŠ, Jan, *Důlní měřictví a mapování*, SNTL, Praha, 1963, s. 10.

80 ČECHURA, František – NESET, Karel, *Kurs důlního měřictví. Vybrané kapitoly pro důlní měřiče*, SNTL Praha, 1953; ČERNOTA, Pavel – STAŇKOVÁ, Hana – DANDOŠ, Rostislav, *Připojovací a usměrňovací měření Jámou ČSA 2 a Jámou Mír 5*, Uhlí-Rudy-Geologický průzkum. Zaměstnavatelský svaz důlního a naftového průmyslu, 2014, s. 16–19.

81 LATO, M. J. – DIEDERICHS, M. S., „Mapping shotcrete thickness using LiDAR and photogrammetry data: Correcting for over-calculation due to rockmass convergence“, *Tunnelling and Underground Space Technology* 41(0): 2014, s. 234–240.

82 Vyhláška ČBÚ 435/1992 Sb. O důlně-měřické dokumentaci ve znění pozdějších předpisů.

šenosti.[83] V posledním čtvrtstoletí přicházejí požadavky na dokumentaci podzemních prostor i z oblastí netradičních, jako jsou archeologie, památková péče, ochrana životního prostředí ad.

Pro měření v důlních podmínkách se používají geodetické přístroje a pomůcky vybavené doplňky nutnými pro práci v podzemí, například mimostředný (excentrický) dalekohled (teodolity mívají pro měření strmých záměr kromě hlavního dalekohledu i pomocný excentrický dalekohled, který se používá, je-li sklon záměry větší než dovoluje průměr krytu alhidády), speciální očnicové hranoly pro strmé dovrchní záměry, osvětlení nitkového kříže, včetně osvětlení teodolitu a také trojpodstavcové soupravy, které mají využití při krátkých polygonových stranách, kdy se nepříznivě projevuje vliv chyb v dostředění přístroje na měřený úhel.

4.2 DŮLNÍ MĚŘICTVÍ V EGYPTSKÉ ARCHEOLOGII

V egyptské archeologii je jednou ze specifických úloh dokumentace podzemních prostor, které jsou zpravidla tvořeny svislými šachtami hlubokými až 20 metrů, šachticemi,[84] horizontálními chodbami, různými místnostmi (sklad, serdáb, kaple) a pohřebními komorami, jež obsahují sarkofág, často s výbavou složenou z různých archeologických artefaktů (keramika, kosterní pozůstatky, rituální předměty). Tato velmi úzce specializovaná problematika dokumentace je v egyptské archeologii popisována jen okrajově. Badatelé se zaměřují na podzemní prostory pyramid a jejich prostorovou strukturu[85] nebo na klasické geodetické metody zaměřování archeologických objektů na povrchu.[86] Podzemní prostory se dokumentují pomocí nejjednodušších metod, jako je měření pásmem, skládacím metrem nebo ručním laserovým dálkoměrem. Postupně se vytváří zákres situace ve velkém měřítku na milimetrový papír a průběžně se také provádí fotodokumentace, od zachycení archeologické situace *in situ* po závěrečnou fotodokumentaci vyklizené hrobky nebo pohřební komory.

Dalo by se říci, že uvedená jednoduchá metoda dokumentace podzemí požadavky archeologa splňuje. Díky ní zná rozměr komory, hloubku šachty, její rozměry a má bohatou fotodokumentaci. Jaký má tedy důvod k tomu zkoušet další metodu, se kterou mu kromě toho, že vyžaduje drahé přístrojové vybavení a přítomnost geodeta, navíc chybí zkušenosti? Pokud bychom se dívali na dokumentaci jednoho objektu, jeho šachty a pohřební komory izolovaně od ostatních objektů, tak nám stačí jednoduchá metoda. Na povrchu si archeolog zaměří horní hranu šachty a vloží ji do základního plánu.

Jednotlivé archeologické objekty však nejsou na pohřebišti izolovány, často tvoří různorodou prostorovou strukturu, jež archeologovi umožňuje, aby rozšířil své poznání. Znalost umístění zkoumaných objektů nejen na povrchu, ale i v podzemí mu pomáhá odpovědět si na otázky, jak jsou orientovány pohřební komory, v jaké hloubce, jaká je mezi šachtami vzdálenost a mnoho dalších.

---

83 HROMAS, Jaroslav, *Základy speleologického mapování*, Zlatý kůň a ČSS, 1998.

84 Úklonná šachta malého průřezu a malé hloubky.

85 El SALAM, M. E. A., *Construction of underground works and tunnels in ancient Egypt*, Tunnelling and Underground Space Technology 17(3), 2002, s. 295–304.

86 ŠIMANA, Miloslav, *Geodesie v archeologické praxi*, Zprávy ČSSA, Supplément 9, Praha, 1971; ŠIMANA, Miloslav, „Provádění geodeticko-topografického průzkumu na zaniklých středověkých osadách", *Archeologické rozhledy* 31, 1979, s. 631–639.

Geodetická metoda dokumentace podzemí na abúsírské koncesi ČEgÚ byla poprvé použita na podzim roku 2001 v jižním Abúsíru při výzkumu komplexu vezíra Kara a odkryvu šachet s pohřebními komorami na dvoře jeho hrobky. Šachty a pohřební komory Senendžemíba a Kara juniora byly dokumentovány geodetickou totální stanicí Leica TCR 307 (GTS), jednou z prvních, jež měřila bez odrazného hranolu. Právě tato její vlastnost se ukázala jako nezbytná při zaměřování podzemních prostor. První pokusy probíhaly formou pokus–omyl. Bylo nutné se naučit stavět podlážku pro totální stanici tak, aby byla zajištěna stabilita stativu s přístrojem. Další úkol spočíval v přípravě minimálně tří geodetických bodů, aby bylo možné určení volných stanovisek nad šachtou.

Samostatnou kapitolu představovalo řešení problému, jak přenést z horní hrany šachty body na její dno. Zkoušela se olovnice, ale tato metoda se neosvědčila, jelikož hloubka byla příliš veliká a speciální důlní olovnice nebyly k dispozici. Proto se přikročilo k využití laserové centrace v totální stanici. Laserový paprsek se nastavil na nejvyšší intenzitu, promítl se na dno šachty a bod se stabilizoval pomocí hřebíku.

S nástupem nových geotechnologií, jako je například pozemní (terestrické) laserové skenování (TLS), se podzemní prostory začínají stále více dokumentovat právě touto bezkontaktní metodou,[87] pro kterou jsou však i nadále nezbytná geodetická měření.

4.3 METODA DOKUMENTACE ŠACHTY Č. 3 MASTABY NEFERHERPTAHA

V jižním Abúsíru se setkáváme se situacemi, kdy dokumentujeme skalní hrobky[88] a podzemní objekty ležící v rámci hrobových komplexů (mastab) s vertikální šachtou zakončenou na spodní části pohřební komorou. V této části je popsána metoda dokumentace šachty č. 3 v komplexu mastaby lékaře Neferherptaha v jižním Abúsíru.

ODKRÝVÁNÍ ŠACHTY A POHŘEBNÍ KOMORY

V úvodu této práce jsem popsal specifické podmínky v egyptské archeologii a jejich vliv na archeologický výzkum, včetně vlivu na metody dokumentace. Vedle působení pouštního prostředí se jedná i o specifické prostředí podzemních prostor. Šachty v jižním Abúsíru mají zpravidla čtvercový půdorys 1,5–2,0 x 1,5–2,0 m a hloubku od 3 do 20 metrů. Jsou vykopány v tafle a pouze s minimálním zajištěním proti destrukci. Otevřením podzemních prostor dochází k umožnění přístupu vzduchu, což způsobuje jejich rychlé vysychání a postupnou destrukci. Proto musí být proces dokumentace urychlen, ale zároveň proveden velmi pečlivě, neboť ve většině případů se nelze vrátit a napravovat případné chyby. Práce v tomto prostředí je velmi riziková a rozhodující slovo má vždy předák dělníků (reis), který má z terénních prací v egyptské poušti mnohaleté zkušenosti.

87 BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – BÁRTA, Miroslav, „Laserové skenování Duaptahovy skalní hrobky v jižním Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* XIII/2014, s. 31–37; LATO, M. J. – DIEDERICHS, M. S., „Mapping shotcrete thickness using LiDAR and photogrammetry data: Correcting for over-calculation due to rockmass convergence“, *Tunnelling and Underground Space Technology* 41(0), 2014, s. 234–240.

88 BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – BÁRTA, Miroslav, „Laserové skenování Duaptahovy skalní hrobky v jižním Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* XIII/2014, s. 31–37.

Vlastní výzkum šachty začíná postupným odebíráním zásypu do košíků a od zhruba 3 metrů hloubky se instaluje rumpál, pomocí kterého se košíky s materiálem vytahují (obrázek 78). Při větších hloubkách se využívají elektrické vrátky, které vyčištění šachty a komory urychlí (obrázek 79).



Obrázek 78 Rumpál nad šachtou



Obrázek 79 Elektrický vrátek nad šachtou

Musí se postupovat velmi opatrně a rychlost vybírání materiálu nesmí být na úkor případné ztráty nebo přehlédnutí archeologických artefaktů. V průběhu vybírání zásypu probíhá kontrola na jejich přítomnost. Většinou se jedná o zlomky keramiky, které se čistí a ukládají, a zároveň se provádí jejich základní popis. Pokud má šachta původní zásyp, mohou se v ní nacházet i celé nerozbité kusy keramiky.

Jakmile se u šachty blíží její dno a je obnažen strop pohřební komory, postup se zpomalí. V tu chvíli musí být v místě přítomen archeolog, který postupně kontroluje odkrývanou situaci a řídí si postup vyčištění pohřební komory. Pokud jsou viditelné nějaké archeologické artefakty, provádí se základní fotografická dokumentace *in situ*, včetně jednoduchého zákresu. Vždy záleží na dané situaci, každý objekt, šachta i pohřební komora jsou odlišné, a proto se volí postup odpovídající aktuálnímu stavu.

Po odstranění zásypu a vyčištění komory přichází na řadu základní archeologická dokumentace, jako je identifikace nálezů, fotografování a jednoduché zakreslení, které archeolog vytváří ručně na milimetrový papír v určeném měřítku odměřováním jednotlivých částí komory pomocí jednoduchého měřidla nebo laserového ručního dálkoměru. Tato činnost je nezbytná, neboť podmínky mohou být velmi rizikové a do šachty může být další vstup zakázán, jelikož se v co nejkratším čase musí zasypat, aby nedošlo k její celkové destrukci. V případě, že jsou podmínky v podzemí vhodné pro další dokumentační práce, je možné realizovat geodetické zaměření a laserové skenování.

NEFERHERPTAHOVA MASTABA V JIŽNÍM ABÚSÍRU (AS65)

Na podzim roku 2010 byl proveden výzkum jihovýchodně od mastaby soudce Intiho a jeho otce, vezíra Kara.[89] Byla zde objevena a prozkoumána kamenná mastaba vrchního lékaře Neferherptaha, kterou označujeme jako AS65 (obrázek 80).[90] Mastaba o rozměrech zhruba 18 × 9 m obsahuje dvůr, tři místnosti, kapli a dvě šachty označené čísly 1 a 2.

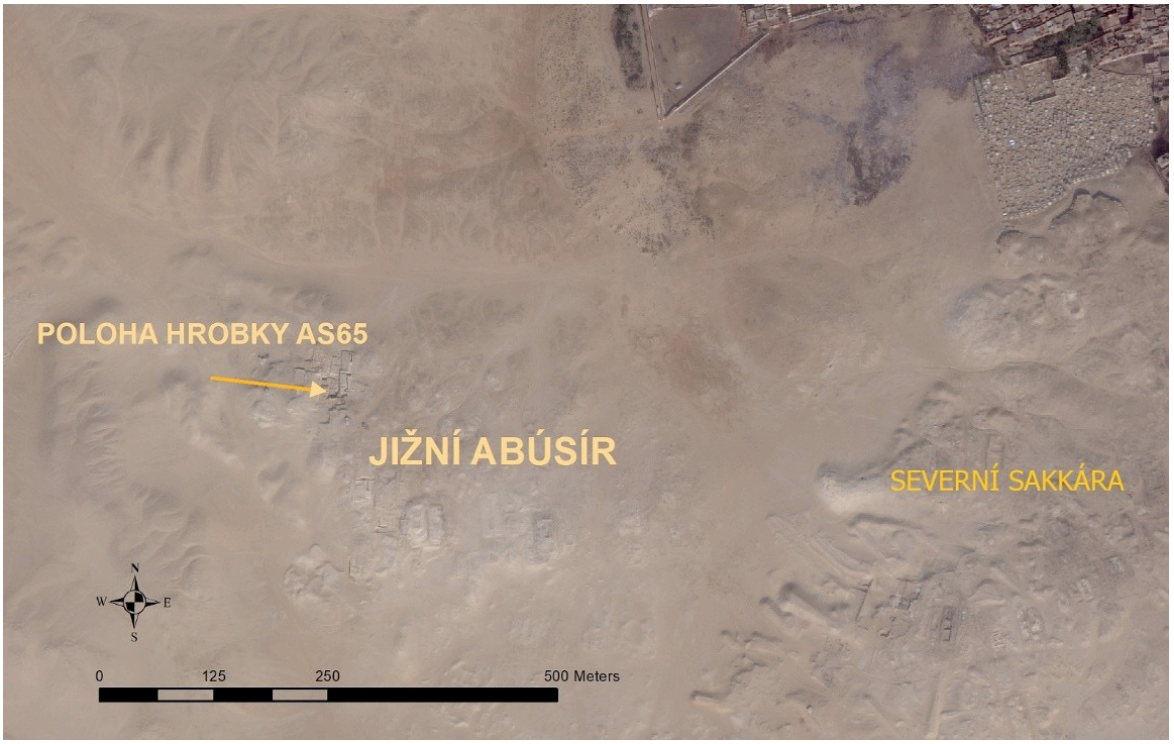
Výzkum v roce 2010 proběhl bez účastni geodeta a tak bylo podzemí šachty č. 1 a 2 dokumentováno pouze základní metodou ve velkém měřítku na milimetrový papír, čímž vznikl orientační plán hrobky, který obsahoval její jednotlivé části (obrázek 81).

V roce 2012 pokračoval archeologických výzkum v jejím nejbližším okolí. Byly zkoumány navazující struktury a odkrývána okolní archeologická situace. Plán hrobky z roku 2010 není kompletní, mimo jiné neobsahuje šachtu č. 3, která byla identifikována a dokumentována až v roce 2016. Terénní výzkum vedl rakouský archeolog Peter Jánosi, který dokumentoval další odkryté nadzemní části hrobky a vytvořil podrobný plán doplněný o nové struktury, včetně šachty č. 3.[91]

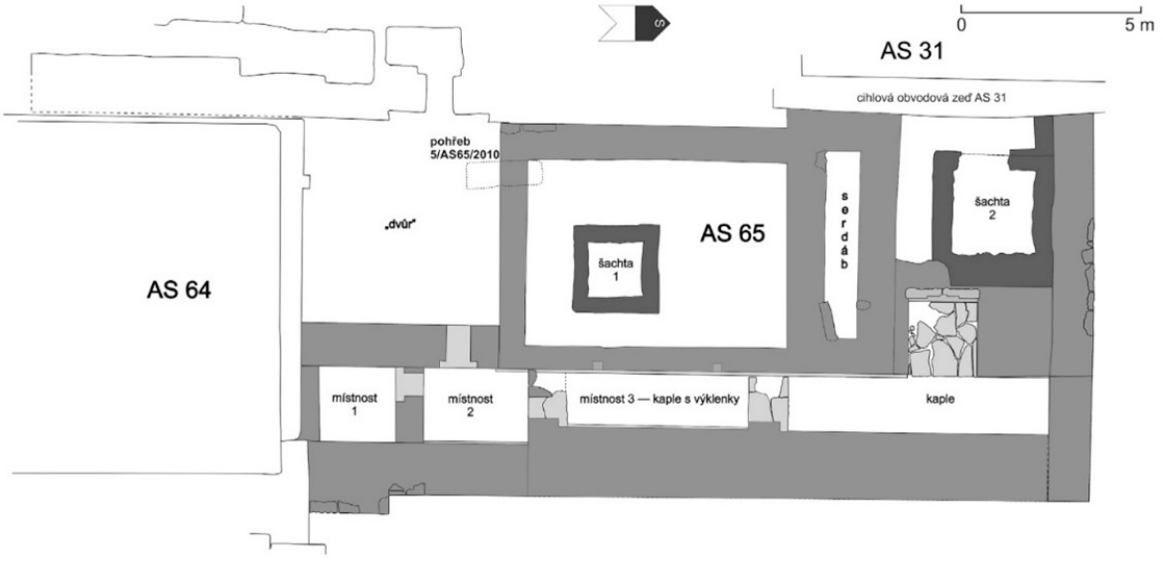
89 BÁRTA, Miroslav, „Tomb Complex of the Vizier Qar, his Sons Qar Junior and Senedjemib, and Iykai", *Abusir South II*, Praha: Dryada [Abusir XIII], 2009.

90 DULÍKOVÁ, Veronika – ODLER, Martin – HAVELKOVÁ, Petra, „Archeologický výzkum hrobky lékaře Neferherptaha", *Pražské egyptologické studie* VIII/2011, s. 9–16.

91 JÁNOSI, Peter, „The mastaba of the chief physician, Nfr-hr-Pth (AS65)", *Prague Egyptological Studies* XIX/2017, s. 27–36.



Obrázek 80 Poloha hrobky AS65 na satelitním snímku



Obrázek 81 Základní plán hrobky AS65 z roku 2010[92]

92 DULÍKOVÁ, Veronika – ODLER, Martin – HAVELKOVÁ, Petra, „Archeologický výzkum hrobky lékaře Neferherptaha", *Pražské egyptologické studie* VIII/2011, s. 9–16.

Šachta č. 3 byla objevena v podzimní sezóně roku 2016, nachází se zhruba na severojižní ose hrobky AS65, ale jak se ukázalo, její funkce byla druhořadá. Ústí šachty má rozměry 1,75 m × 1,65 m. Hloubka od horního dochovaného okraje na dno byla 10,5 m. Od horního okraje do hloubky 3,6–3,8 m jsou stěny zpevněny nepálenými cihlami. Výplň obsahovala obvyklé úlomky keramiky, kousky vápence a písek, ale také části vápencových bloků pocházející z obložení AS65. K zásypu šachty tedy muselo dojít najednou, když byla hrobka již poškozena/rozebrána. Vysvětlující popis bloků a jejich význam shrnul ve svém článku Peter Jánosi.[93]

Na dno šachty navazuje jednoduchá úzká pohřební komora orientovaná sever–jih a otevřená na západ, o velikosti max. 4,35 m × 2,16 m × 1,45 m. V komoře byly nahromaděny vápencové úlomky, písek, bahno a větší kusy přírodního materiálu ze skály spadlé ze stropu a z bočních stěn. Stěny byly jen hrubě opracovány, podlaha se svažovala od severu k jihu, což znamená, že komora byla opuštěna před dokončením. Žádné stopy po pohřbu či hrobové výbavě se zde nenacházely, pouze byly nalezeny kusy keramiky. V severovýchodním rohu přímo pod stropem je průlom o velikosti 31 cm × 30 cm, pravděpodobně do sousední pohřební komory šachty č. 2. Z toho, že šachta č. 3 nebyla dokončena a nenacházel se zde žádný hrob, usuzujeme, že zřejmě nikdy nebyla použita pro pohřeb.[94]

Geodetické měření bylo provedeno v lokálním souřadnicovém systému abúsírské geodetické sítě pomocí totální stanice Leica TCR805, která umožňuje měření bez použití odrazného hranolu. Pokud to podmínky dovolují, je snaha o zaměření podzemí v daném souřadnicovém systému, za dodržení pravidla přenosu a stabilizace alespoň dvou bodů na dně šachty pomocí hřebů.

Přenos bodů do podzemí probíhal tak, že nad ústím šachty byla nainstalována dřevěná podlaha s otvorem a totální stanice byla dvakrát umístěna v takové poloze, aby se pomocí laserového centrovače promítly dva body na dno šachty v co největší vzdálenosti od sebe (obrázek 82). Souřadnice X a Y obou bodů (stanovisek) na dně šachty byly určeny metodou volného stanoviska záměrami na body geodetické sítě a jejich nadmořská výška (Z) byla vypočtena z rozdílu výšky horního stanoviska a hloubky šachty určené pásmem.

S jakou přesností byly dva pevné body přeneseny na dno dokumentované šachty, můžeme ověřit například výpočtem vzdálenosti mezi body pomocí souřadnic a následně provést kontrolu změřením této vzdálenosti pomocí pásma. V našem případě byl rozdíl mezi výpočtem ze souřadnic a změřením 3,5 cm, což bylo pro potřeby dalšího měření dostačující. Nutno podotknout, že každá šachta a pohřební komora je odlišná a postup zaměření je vždy velmi specifický a časově náročný. Často je nutné stavět dvě nezávislé podlážky nad šachtou, jednu pro totální stanici a druhou pro měřiče.

Po stabilizaci dvou bodů na dně šachty byla do podzemí fyzicky přemístěna totální stanice se stativem a umístěna tak, aby bylo možné nastavit volné stanovisko se zaměřením na zmíněné dva body. Jakmile byla provedena orientace, postupně se zaměřily podrobné body v pohřební komoře (obrázek 83) a provedl se záznam jejich charakteristik do polního deníku. Měření probíhalo bez použití odrazného hranolu pouze z jednoho stanoviska.

93 JÁNOSI, Peter, „The mastaba of the chief physician, Nfr-hr-Pth (AS65)“, *Prague Egyptological Studies* XIX/2017, s. 27–36.

94 Tamtéž.



Obrázek 82 Geodetická totální stanice nad šachtou č. 3



Obrázek 83 Měření v pohřební komoře nad šachtou č. 3

ZPRACOVÁNÍ DAT A TVORBA DRÁTĚNÉHO MODELU

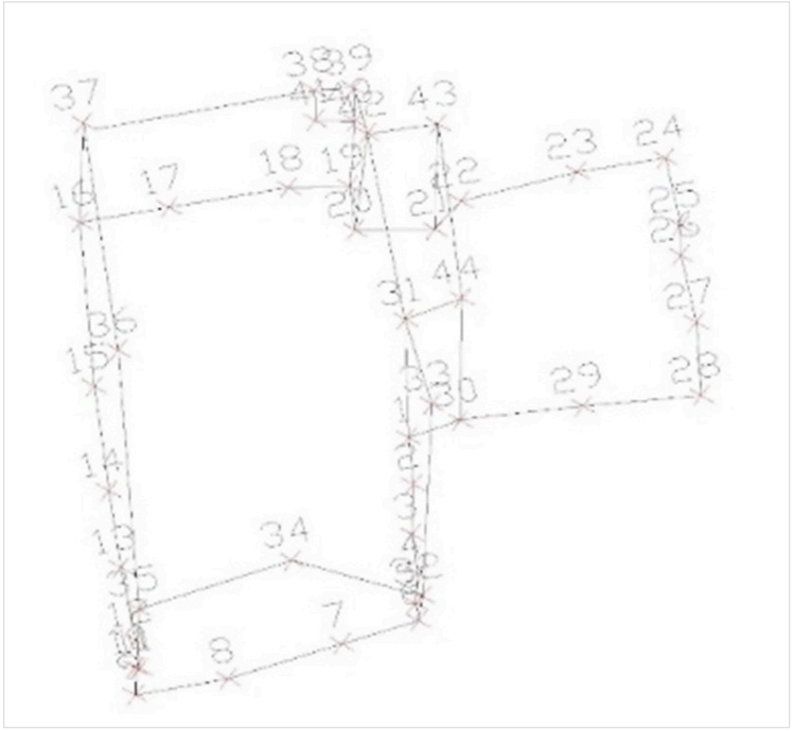
Z totální stanice byly exportovány souřadnice podrobných bodů ve formátu ASCII ve tvaru CB, X, Y a Z. Souřadnice se stanovily v lokální souřadnicové soustavě a pro převod do systému WGS84 byla v prostředí programu Carlson Underground provedena Helmertova transformace.[95] Následně se množina prostorových bodů spojila liniemi a vznikl drátěný model pohřební komory a půdorysu šachty (obrázky 84 a 85).

LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

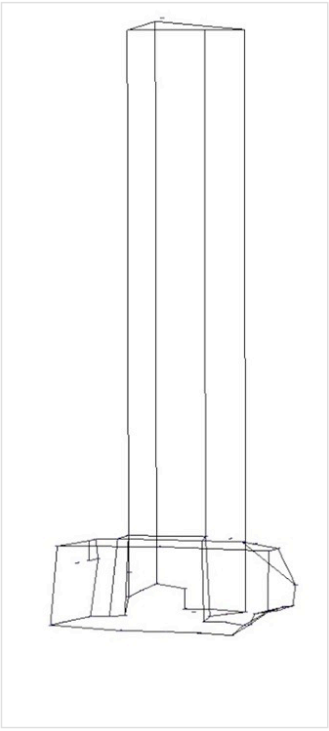
V posledních dvou dekádách se v egyptské archeologii začínají využívat nové dokumentační technologie. Jednou z nich je 3D laserové terestrické skenování. Na rozdíl od geodetické metody, která zaznamenává podrobné body selektivně, je laserové skenování neselektivní. Během sekundy je do prostoru vypuštěna množina paprsků, které se po dopadu na objekt odrazí a vracejí se zpět do skenovacího systému. Výhodou tohoto způsobu je rychlá a detailní dokumentace objektu ve 3D.[96]

95 BRŮNA, Vladimír – ODLER, Martin – BÁRTA, Miroslav – MEGAHED, Mohamed, „New geodetic control network of Czech concession at Abusir“, *Prague Egyptological Studies* XXI/2018, Prague, s. 125–128.

96 BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – BÁRTA, Miroslav, „Laserové skenování Duaptahovy skalní hrobky v jižním Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie* XIII/2014, s. 31–37.



Obrázek 84 Půdorys šachty s pohřební komorou



Obrázek 85 Drátěný model pohřební komory a šachty

POSTUP SKENOVÁNÍ

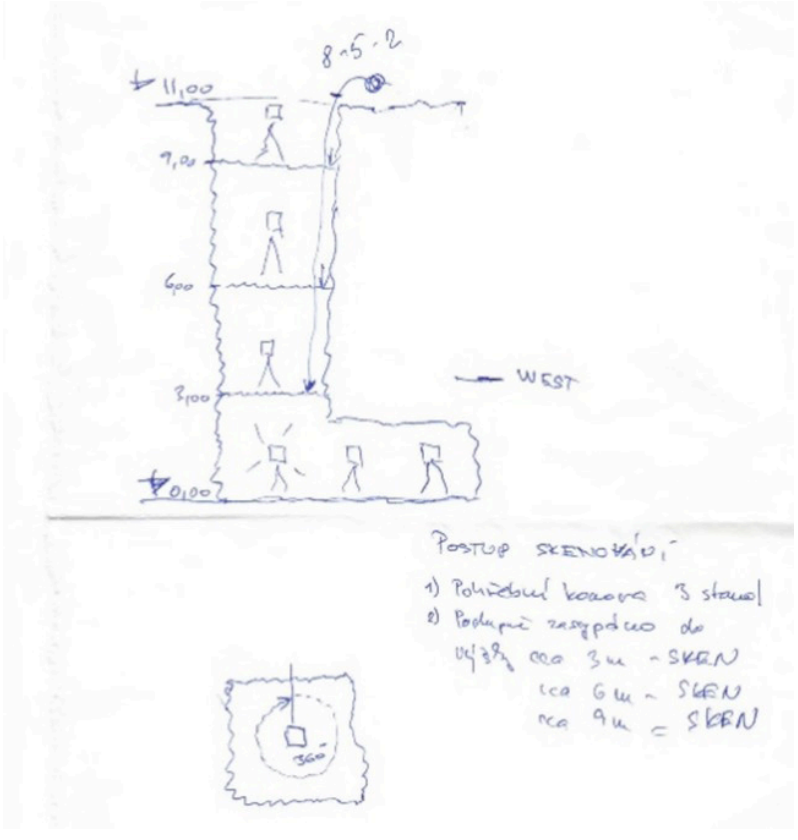
Po geodetickém zaměření šachty č. 3 objektu AS65 bylo provedeno laserové skenování pomocí přístroje Faro Focus 120 D. Na stěny v pohřební komoře a na západní stěnu šachty v její dolní části se umístily fotogrammetrické terče (č. 16–19), jejichž prostorová poloha se geodeticky zaměřila. Protože pohřební komora je pravidelná a menších rozměrů, postačovala pouze dvě stanoviska skeneru a třetí bylo na dně šachty.

Stěny šachty, která je hluboká zhruba 11 metrů, jsou hrubé, s přesahy a převisy. Skenováním z jednoho stanoviska umístěného na dně šachty lze velmi obtížně zachytit jejich tvar. Nejjednodušší metodou skenování šachty a jejích stěn bylo průběžné snímání v různých výškových úrovních. Proto byla zvolena metoda postupného zasypávání šachty, čímž vznikly tři platformy pro skener v různých výškových úrovních. Šachta byla zasypána v první úrovni zhruba ve třech metrech, jakmile se usadil prach a nastaly vhodné podmínky pro skenování, byl proveden sběr bodů. Následně se navršily další tři metry zásypu, opět proběhl sběr dat a to celé ještě jednou naposledy (obrázek 86).

Rozmanitá struktura stěn šachty neumožňovala umístění a zaměření vlícovacích bodů, pouze na spodní část podlážky se podařilo umístit bod, který byl před skenováním geodeticky zaměřen ze dna šachty. Dokumentace pomocí laserového skeneru trvala více než 6 hodin, protože se vždy dlouho čekalo na usazení prachu a vytvoření vhodných podmínek. Pohřební komora a šachta byly snímány ze šesti stanovisek a získali jsme celkem 7 skenů, jelikož na jednom stanovisku proběhly dva skeny v různé výšce stativu (obrázek 87).



Obrázek 86 Příprava skenování v druhé úrovni šachty



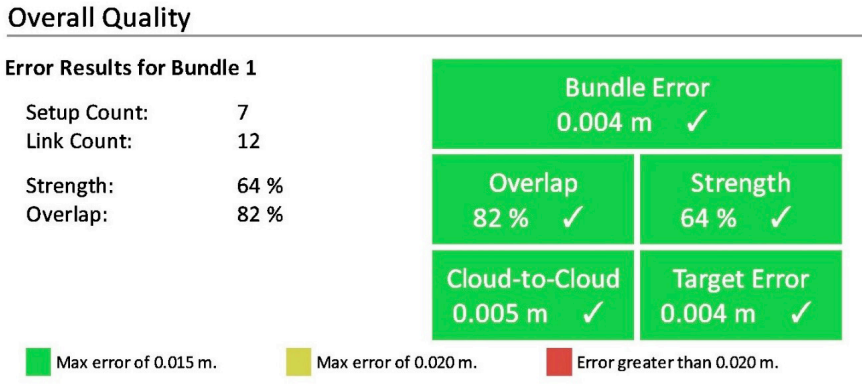
Obrázek 87 Polní náčrt postupu skenování

ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Pro zpracování výsledků laserového skenování a vytvoření výsledného prostorového modelu pohřební komory a šachty byl použit program Cyclone Register 360, do kterého se importovaly jednotlivé skeny v základním formátu *.fls ze skeneru Faro 120D. Postup zpracování mračen bodů probíhal následovně:

a) základní kontrola jednotlivých souborů mračen bodů
b) identifikace vlícovacích bodů a přiřazení souřadnic
c) spojení tří souborů z pohřební komory a dna šachty, včetně jejich georeference
d) napojení skenů z jednotlivých výškových úrovní
e) tvorba celkového 3D modelu šachty s pohřební komorou

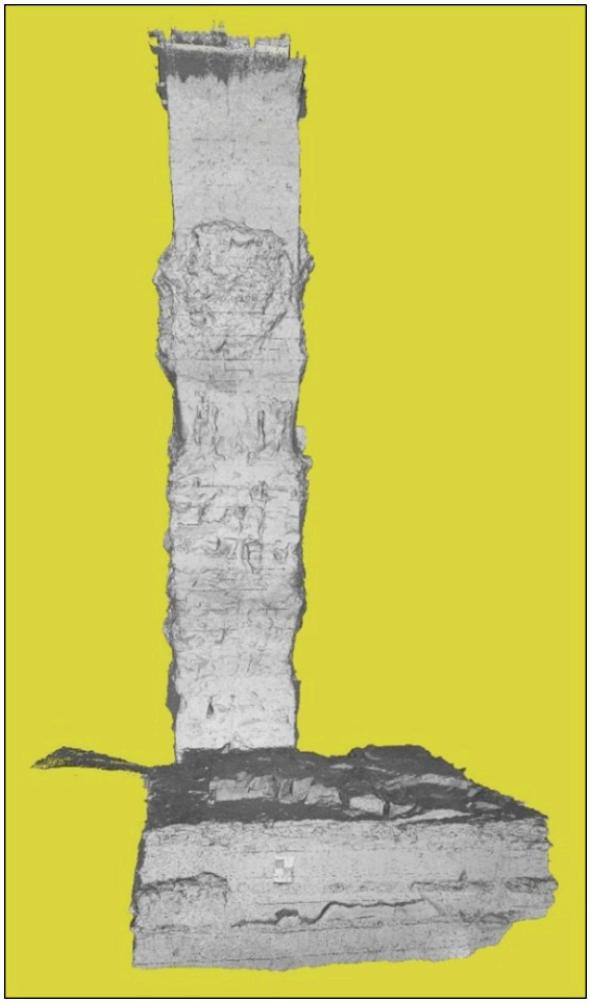
První krok představovala základní kontrola mračen bodů, při které byly vymazány ty body, jež vznikly různými šumy, a jednotlivá mračna se připravila pro spojení. Následovalo provedení registrace mračen na prvních třech stanoviscích pomocí vlícovacích bodů. V této fázi byl výsledek dílčího 3D modelu bez větších odchylek. Další krok spočíval v připojení mračna bodů z prvního vyvýšeného stanoviska. Zde jsme měli k dispozici pouze fotogrammetrický terč umístěný na spodní straně dřevěné podlážky. Z důvodu ostrého světla, které pronikalo do šachty, však nebylo možné tento bod identifikovat. Proto byla použita metoda spojení dvou mračen bodů – *cloud to cloud*. Stejný postup jsme zvolili i u zbývajících mračen. Záznam o zpracování dat vidíme na obrázku 88.



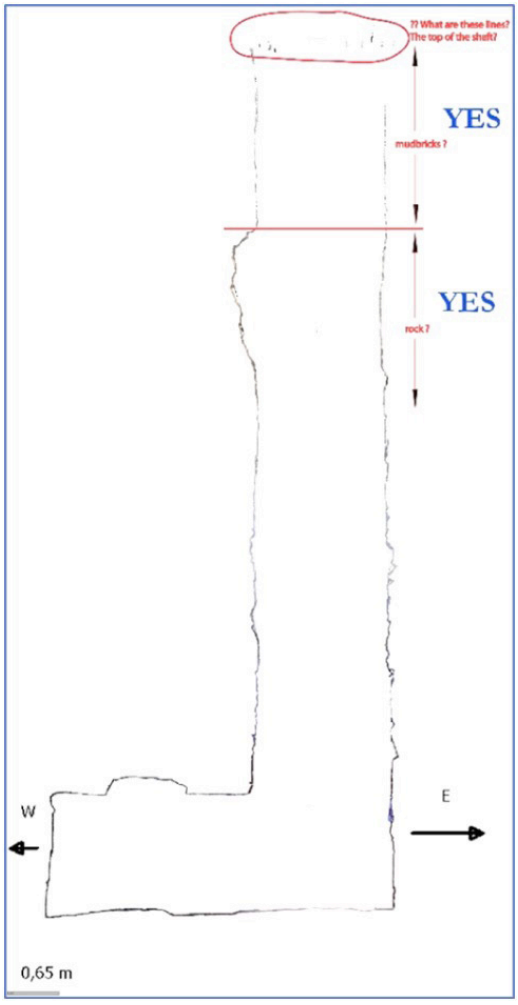
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	AS65_burial_chamber_3013	AS65_burial_chamber_3014	95 %	0.004 m
Link 5	AS65_burial_chamber_3014	AS65_burial_chamber_3015	55 %	0.007 m
Link 6	AS65_burial_chamber_3013	AS65_burial_chamber_3015	56 %	0.006 m
Link 7	AS65_burial_chamber_3016	AS65_burial_chamber_3015	86 %	0.006 m
Link 9	AS65_burial_chamber_3017	AS65_burial_chamber_3016	100 %	0.002 m
Link 10	AS65_burial_chamber_3015	AS65_burial_chamber_3017	86 %	0.006 m
Link 11	AS65_burial_chamber_3018	AS65_burial_chamber_3017	84 %	0.005 m
Link 12	AS65_burial_chamber_3016	AS65_burial_chamber_3018	86 %	0.005 m
Link 13	AS65_burial_chamber_3019	AS65_burial_chamber_3018	99 %	0.004 m
Link 14	AS65_burial_chamber_3015	AS65_burial_chamber_3019	69 %	0.007 m
Link 15	AS65_burial_chamber_3016	AS65_burial_chamber_3019	85 %	0.005 m
Link 16	AS65_burial_chamber_3017	AS65_burial_chamber_3019	85 %	0.005 m

Obrázek 88 Záznam o zpracování dat v programu Leica Cyclone 360

Vytvořený 3D model (obrázek 89) tvoří podklad pro provádění operací, jako je například vytváření podélných profilů a příčných řezů (obrázek 90), objemové výpočty, vizualizace a další analýzy. V případě řešeného objektu šachty č. 3 mastaby Neferherptaha v jižním Abúsíru byl výsledek výpočtu její kubatury 47,3 m³.



Obrázek 89 Pohled na model z východu

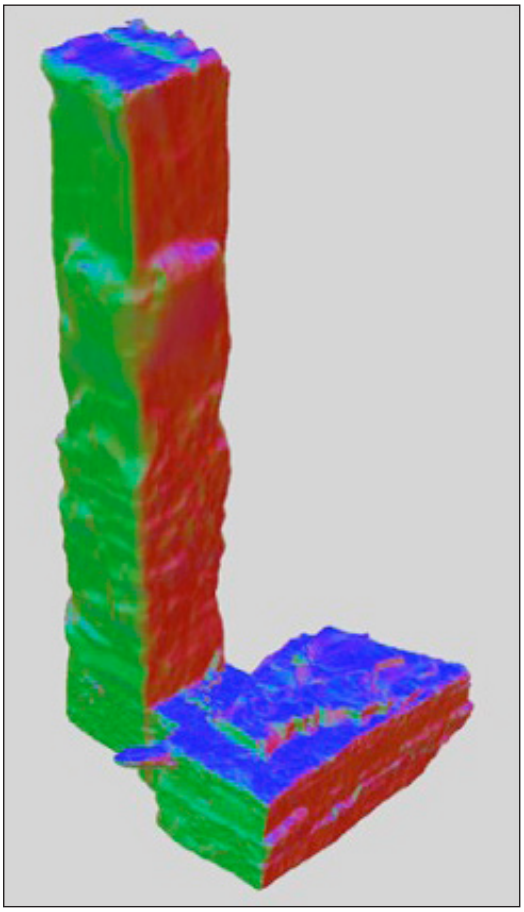


Obrázek 90 Řez šachtou a pohřební komorou

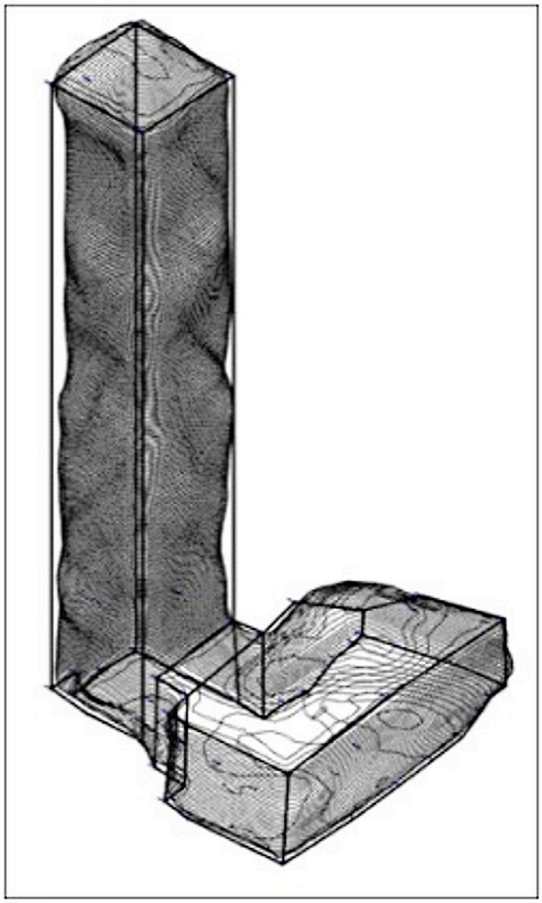
Na obrázku 91 je znázorněna situace sklonů normálových ploch na stěnách AS65. Na obrázku 92 je zobrazení 3D modelu tohoto objektu formou horizontálních řezů, které byly vytvořeny jako základní entita CAD – 3D Polyline takovým způsobem, aby je bylo možné využít v dalších návazných softwarových aplikacích.

CO JE ZA SEVERNÍ STĚNOU POHŘEBNÍ KOMORY?

Výhodou laserového skenování je schopnost laserových paprsků pronikat a odrážet se zpět i skrz velmi úzké prostupy. Často jde o praskliny v blocích nebo prostor mezi bloky, které mají



Obrázek 91 Barevná interpretace sklonů normálových ploch



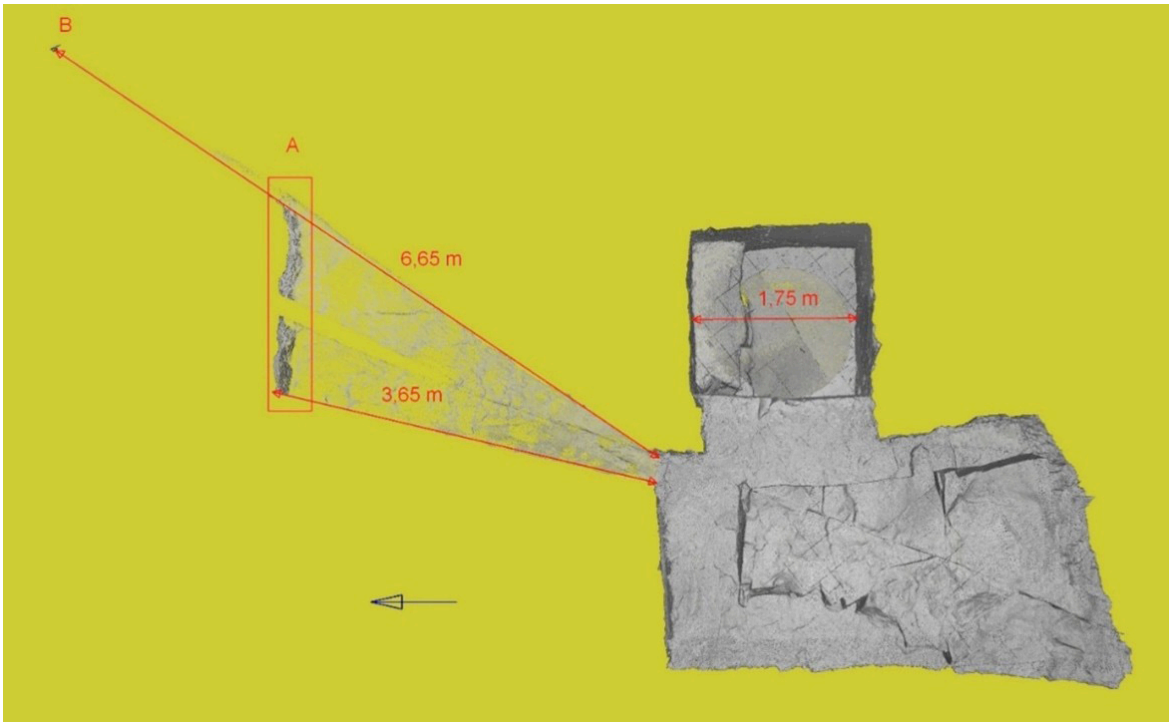
Obrázek 92 Prostorová interpretace ve formě horizontálních řezů

pouze několik milimetrů. V posledních sezónách se množí případy, kdy byly díky interpretaci mračen bodů zjištěny prostory za zdí a pomohlo to nasměrovat terénní práce.

V případě šachty č. 3 objektu AS65 se po vytvoření 3D modelu objevily odlehlé body mračna (obrázek 93), vytvořené průnikem svazků laserových paprsků otvorem v pohřební komoře při jejím skenování (obrázek 94). Je zřejmé, že tato skutečnost potvrzuje přítomnost dalších navazujících podzemních prostor.

Jedná se o prostory zkoumané v předchozích letech při výzkumu hrobky AS65 na sever od šachty č. 3, které jsou součástí šachty č. 2 a souvisejícího podzemí. Jak bylo uvedeno výše, z důvodu absence geodeta byly v roce 2010 podzemní prostory šachty č. 2 dokumentovány pouze základní metodou, kresbou v měřítku na milimetrový papír. Na základě výsledků dokumentace z let 2010 a 2016 byl sestaven plán hrobky AS65 (obrázek 95).[97] Podzemní části jsou vyznačeny čárkovanou čarou. Abychom mohli provést komparaci výsledků dokumentace z předchozích let s výsledky laserového skenování, byl do plánu vsazen půdorys upraveného 3D modelu pohřební komory, který obsahuje odlehlé oblasti mračna bodů.

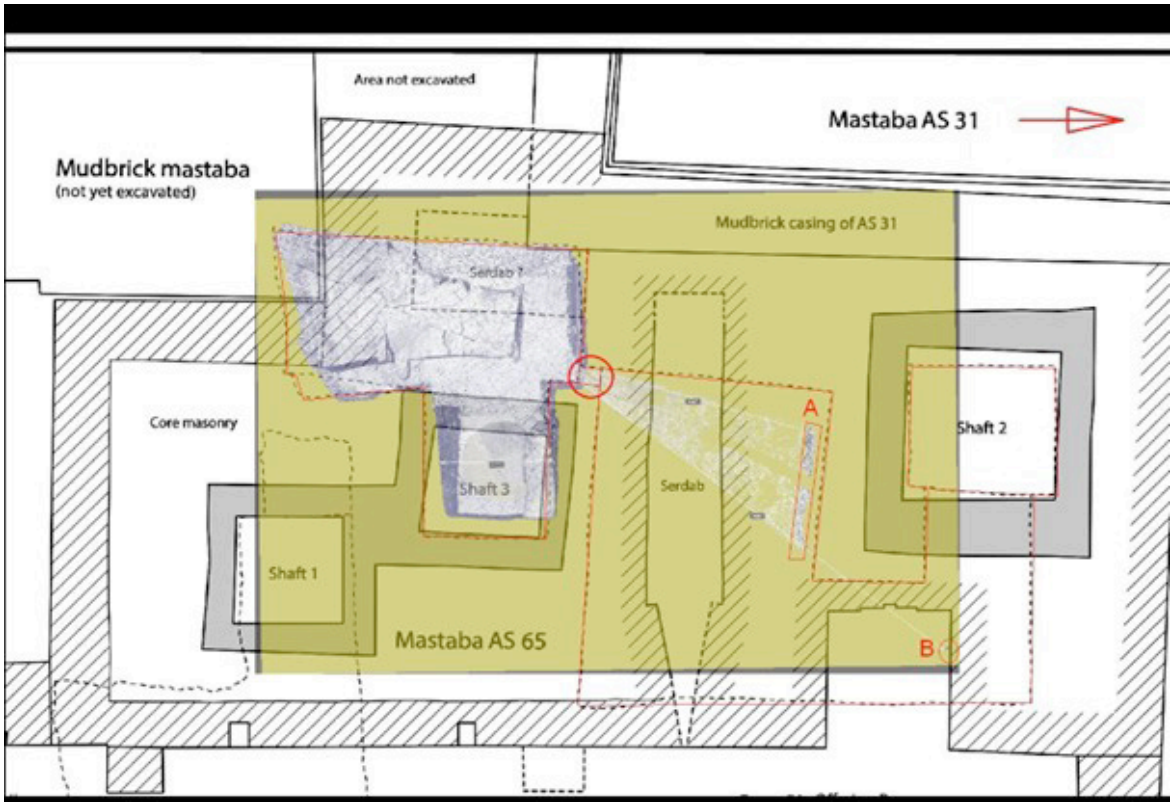
97 JÁNOSI, Peter, „The mastaba of the chief physician, Nfr-hr-Pth (AS65)“, *Prague Egyptological Studies* XIX/2017, s. 27–36.



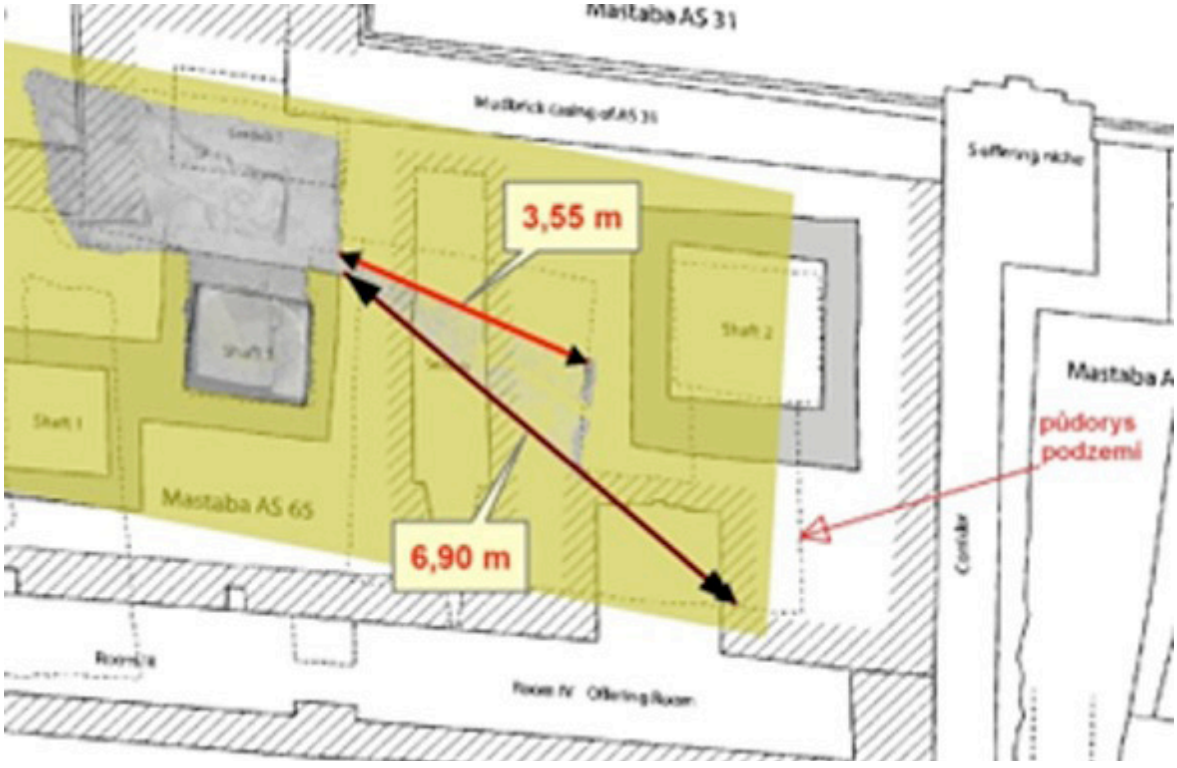
Obrázek 93 Vzdálenosti průniku paprsků skeneru mimo šachtu č. 3



Obrázek 94 Otvor v severní stěně pohřební komory šachty č. 3



Obrázek 95 Srovnání půdorysu 3D modelu a plánu AS65

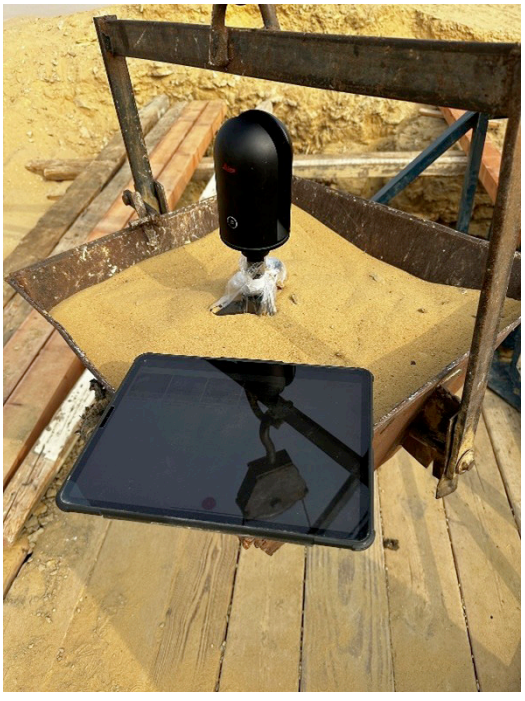


Obrázek 96 Vzdálenosti průniku paprsků po georeferenci 3D modelu a plánu AS65

Porovnáme-li hodnoty vzdáleností průniku paprsků skeneru z modelu (obrázek 93) a z umístění modelu do plánu (obrázek 96), je rozdíl v kratší délce 10 cm a v delší délce 25 cm. S přihlédnutím k metodě plánu šachty č. 2 (měřeno pomocí oměrek) to značí vysokou shodu a potvrzuje existenci vedlejších podzemních prostor.

Jak již bylo řečeno několikrát, dokumentace podzemních prostor v egyptské archeologii má svá specifika. Nelze hledat souvislosti mezi jednotlivými dokumentovanými objekty. Každý objekt, situace a prostorová struktura jsou odlišné. Hlavním cílem dokumentace je přenést souřadnicový systém do podzemí a na něj napojit geodetické měření a laserové skenování. Velmi obtížné, ne-li nemožné v egyptských podmínkách, je použití klasických připojovacích metod, jak je známe z oblasti důlního měřictví. Ve většině případů se využívá k přenesení bodu do podzemí laserová olovnice z totální stanice. Dva stabilizované body na dně šachty slouží poté ke geodetickému připojení a následně k měření podrobných bodů. Využívá se vlastnost totální stanice, tzn. měření bez odrazného hranolu. Vlastní zpracování obnáší vytvoření povinných spojnic a celkového 3D drátěného modelu. Stejné je to u laserového skenování, kdy se na jednotlivých stanoviscích skeneru zaměří mračna bodů, které jsou následně spojeny a georeferencovány na základě vlícovacích bodů.

Na podzim roku 2023 byla vyzkoušena nová metoda dokumentace šachty pomocí laserového skenování. Jednalo se o šachtu a pohřební komoru hodnostáře Kaemhezeta v severní Sakkáře. Aby se urychlily dokumentační práce, byl skener Leica BLK360 umístěn na stativu v ocelové vaně sloužící k dopravě materiálu ze šachty. Skener byl usazen v písku a na laně se páskou vytvořily po dvou metrech značky. Pomocí motoru byla vana postupně spouštěna a v každých dvou metrech provedeno skenování. V současnosti jsou získaná data před zpracováním a připravuje se jejich publikace.



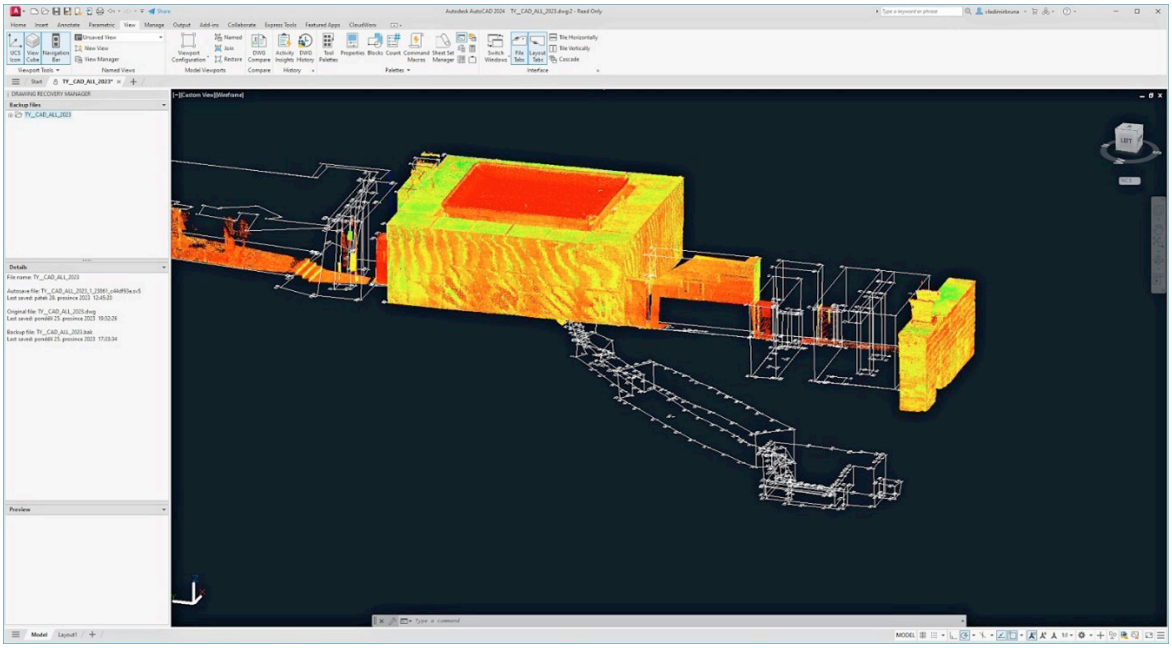
Obrázek 97 Skener v ocelové vaně



Obrázek 98 Skener při sběru dat

5 Poznámka k propojení metod geodézie, průsekové fotogrammetrie a pozemního laserového skenování

Jak jsem již zmínil v úvodu této práce, popisované metody dokumentace nejsou izolované, ale naopak vzájemně propojené. Základ tvoří geodetická metoda používaná k údržbě geodetického bodového pole, sběru podrobných bodů a vytyčování, například pro geofyzikální měření. Další je průseková fotogrammetrie, která nabývá čím dál více na významu, a poslední důležitou metodou je pozemní laserové skenování. Doplníme-li tyto tři zmíněné postupy o využití přijímače GPS pro mapování a metodu dálkového průzkumu, dostaneme soubor metod určených pro sběr prostorových dat, které se vzájemně doplňují a jejichž výsledkem jsou data, jež následně importujeme například do prostředí GIS nebo CAD, kde se datové soubory upraví, analyzují a vytvářejí se různé výstupy dle požadavku archeologa.



Obrázek 99 Propojení drátěného modelu a dat v programu AutoCAD

Výstupy jsou prezentovány například v prostředí internetu v programu ArcGIS Online.[98] V případě, že máme archeologické objekty dokumentované ve stejném souřadnicovém systému, můžeme je navzájem propojovat a analyzovat. Často je možné k dokumentaci použít pouze jednu metodu a s její pomocí sestavit celkový model objektu.

98 BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír – BAREŠ, Ladislav – KREJČÍ, Jaromír – DULÍKOVÁ, Veronika – ODLER, Martin – VYMAZALOVÁ, Hana, „Mapa archeologických objektů v Abúsíru“, *Pražské egyptologické studie*, XXIV/2020, s. 19–42.

V celém procesu přípravy dokumentace archeologického výzkumu – zahrnujícím sběr dat, jejich zpracování, vizualizaci, analýzu a syntézu, tvorbu výstupů a zpřístupnění výsledků v prostředí internetu – je nezbytná vzájemná spolupráce geodeta (geoinformatika) a archeologa. Nové technologie poskytují nové druhy dat, jsou rychlejší, přesnější, ale bez definice cílů a otázek nastolených ze strany archeologa tato data zůstanou pouhými gigabajty uloženými v datovém skladu.

Závěr

Již od samého vzniku archeologie jako vědního oboru byly její nedílnou součástí dokumentační metody. Textový popis, grafický záznam, fotografie, náčrt, plán a mapa archeologického výzkumu představují hlavní výsledky archeologické práce. Právě na základě zdokumentované situace a studia archeologických pramenů hledá archeolog odpovědi na své otázky.

Jednou ze základních metod při dokumentaci každého archeologického výzkumu je geodézie. Jejím cílem je určení prostorové polohy podrobného bodu v dané souřadnicové soustavě. Právě podrobný bod, resp. množina bodů, tvoří výchozí databázi pro tvorbu plánů, 3D modelů a archeologických map. V posledních desetiletích se okruh metod sběru prostorových dat rozšiřuje. Vedle geodézie je druhou nejstarší dokumentační metodou v archeologii intepretace leteckých fotografií (v případě rozlehlých lokalit satelitních snímků) a sběr dat z nízkých výšek pomocí UAV. Ke slovu se rovněž začíná dostávat prostorové laserové skenování a průseková fotogrammetrie.

Hlavním důvodem ke zpracování předkládané práce bylo poukázat na problematiku a zejména specifika geodetických metod v egyptské archeologické praxi. Roli geodézie v egyptologickém výzkumu zatím není věnována dostatečná pozornost, přitom se jedná o roli klíčovou. Znalost prostorové struktury archeologických objektů, jejich polohového a výškového členění, je důležitá pro interpretaci a poskytuje archeologovi jiný úhel pohledu na zkoumanou lokalitu.

Teoretická část práce přibližuje současný stav aplikace geodetických metod při tvorbě archeologické dokumentace a stručně se zmiňuje i o dalších metodách sběru dat. Samostatná kapitola se věnuje roli geodézie v archeologii a zaměřuje se na specifika, se kterými se v egyptské archeologii setkáváme. Popisuje historii a současnost geodézie v české egyptologii a typy objektů, které jsou s jejím využitím dokumentovány. Teoretickou část doplňuje problematika geodetického bodového pole na české koncesi v Abúsíru od vzniku geodetické sítě v roce 1961 až po současnost. Důležitý přelom znamenal převod sítě z lokálního souřadnicového systému do UTM 36N WGS84.

Praktická část se zaměřuje na metodu dokumentace vybraného archeologického objektu, kterým je hrobka hodnostáře Tije v severní Sakkáře. Během dvou archeologických expedic byla tato hrobka geodeticky zaměřena a doplněna o pozemní laserové skenování. Vybrané části byly dokumentovány pomocí průsekové fotogrammetrie. Samostatná kapitola je věnována komparaci historických map a plánů se současným zdokumentovaným stavem, ze které vyplynulo, že nejstarší plány hrobky od objevitele Augusta Marietta mají vysokou míru korelace s daty naměřenými o 160 let později.

Dále se praktická část práce zabývá způsoby dokumentace vybrané šachty č. 3 s pohřební komorou, která je součástí hrobky AS65 v jižním Abúsíru a která byla dokumentována geodetickou metodou – přenesením dvou bodů z povrchu na dno šachty a poté pomocí laserového skenování. U této metody se používají postupy z oblasti důlního měřictví. Právě tato analogie je patrná zejména při dokumentaci podzemních prostor archeologických objektů a jejich souřadnicového připojení.

Závěrečná část obsahuje krátkou poznámku k propojení metod geodézie, laserového skenování a průsekové fotogrammetrie. Praxe totiž ukazuje důležitost propojování jednotlivých

způsobů dokumentace. Před archeologickým výzkumem a v jeho průběhu je klíčový výběr metody a úzká spolupráce s archeologem, to on definuje otázky a zadání. Každá situace na výzkumu je jiná, a proto je nutné přesně určit postup dokumentace. V egyptské archeologii většinou neplatí, a ani nemohou platit, pravidla pro geodetickou činnost, jak je známe v tuzemsku. Geodet je vždy ovlivněn místními podmínkami, kterým se musí přizpůsobit, aby dospěl k požadovanému výsledku. Často se při měření musí rozhodnout, jak danou situaci dokumentovat, velmi rychle, a proto je nucen improvizovat.

Budoucnost dokumentačních metod v archeologickém výzkumu v Egyptě je zcela jistě digitální, již několik let se staré záznamy digitalizují a stejně tak se vytvářejí digitální mapy a plány. Je však dobré mít stále na paměti, že geodézie, DPZ, GIS, GPS, PFTGM jsou pouze nástroje/prostředky ke sběru a vizualizaci dat. Podstatné je, jak se tyto nástroje dají využít k nalezení odpovědí na otázky, jež definují archeologové.

Přílohy

GEODETICKÁ DOKUMENTACE ARCHEOLOGICKÉHO VÝZKUMU V EGYPTĚ

(Metodický návod pro pracovníky Českého egyptologického ústavu FF UK Praha)

Geodetické měření je jednou ze základních metod používaných při dokumentaci archeologického výzkumu v Egyptě a v Súdánu. Její výstupy jsou doplňovány i dalšími daty získanými pomocí jiných způsobů dokumentace, jako je např. dálkový průzkum, laserové skenování, průseková fotogrammetrie ad. Tento metodický materiál si klade za cíl blíže seznámit s problematikou geodetického měření pracovníky ústavu, kteří se aktivně podílejí na terénním výzkumu, neboť je to právě archeolog, kdo tvoří nedílnou součást týmu při tvorbě dokumentace, a je to především on, kdo má rozhodovat o tom, co je nutné dokumentovat.

VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY

Od prvních expedic ústavu byl jejich účastníkem geodet, který pomocí měřických metod v počátku vytvářel pouze analogovou dokumentaci. S postupem času se dokumentační metody vyvíjely a v současné době se používají geodetické totální stanice (GTS), které dovedou zaměřit podrobné body s i bez použití odrazného hranolu, a výstupy se provádějí jak ve 2D, tak i v 3D digitální formě.

METODA GEODETICKÉHO MĚŘENÍ

Podstatou geodetického měření je, po základních úkonech na stanovisku (horizontace, centrace a orientace), zaměření jednotlivých podrobných bodů, jako jsou horizontální úhel, zenitová vzdálenost, šikmá délka ad. Ze jmenovaných naměřených veličin určí totální stanice prostorové souřadnice jednotlivých podrobných bodů a soubory naměřených bodů jsou exportovány ve struktuře:

ID – číslo bodu
X (East) – souřadnice X
Y (North) – souřadnice Y
Z (Height) – výška bodu v daném souřadnicovém systému

Výstupem je databáze např. ve formátu *.txt, která je importována do prostředí GIS nebo CAD programu, kde je provedena vizualizace a následně další kroky zpracování podrobných bodů.

TERÉNNÍ PRÁCE PŘI GEODETICKÉM MĚŘENÍ

V předchozím textu této práce byl velmi stručně popsán postup získání prostorových souřadnic jednotlivých bodů a jejich následné zpracování. Nezbytnou podmínkou pro objektivní vytvoření výsledného archeologického plánu či mapy je pečlivá práce geodeta u totální stanice

(zadání správných dat, přesné provedení přípravy na stanovisku, orientace a postupné měření podrobných bodů).

Neméně důležitou roli hraje archeolog, který provádí archeologický výzkum, řídí dělníky a spolupracuje s předákem ohledně postupu prací. Je to právě on, kdo by měl umět „číst" terén a archeologickou situaci, definovat postup měření podrobných bodů a vést polní náčrt se záznamem měřených bodů.

Jestliže archeolog usoudí, že situaci na lokalitě, která se většinou nemůže opakovat, je nutno geodeticky zaměřit, geodet s figurantem (ideálně školený pomocník z řad egyptských dělníků nebo student) připraví totální stanici na stanovisku, a to buď na stabilizovaném známém geodetickém bodě, nebo vytvořením volného stanoviska. Jakmile je geodet připraven k vlastnímu měření, archeolog spolu s figurantem postupně obcházejí podrobné body, na které je umisťována tyč s odrazným hranolem, případně jsou nepřístupné podrobné body měřeny bez použití hranolu laserovou metodou. Důležitá je součinnost měřického týmu nad shodou číslování podrobných bodů, proto je zpravidla každý desátý měřený bod vzájemně kontrolován.

Archeolog, který dovede číst archeologickou situaci, postupně určuje pořadí měření jednotlivých podrobných bodů a zároveň vede polní záznamník, jenž se skládá z jednoduchého náčrtu situace a záznamu ve formuláři (viz níže), který je podstatný pro tvorbu 3D kresby objektu v prostředí CAD programu. Do formuláře se píší jednotlivé body, linie (z bodu do bodu, tzv. povinná spojnice, např. hrana, pata, půdorys, řez) nebo polygony (začáteční a koncový bod jsou totožné). Do poznámky je poté možno doplnit typ prvku (zeď, šachta, půdorys, řez). Objektivní a podrobné vedení polního náčrtu a formuláře je nezbytné pro tvorbu plánu v prostředí GIS a CAD.

Tento stručný metodický návod je určen pro archeology ústavu a navržený postup je používán od podzimní expedice 2020. Z výše uvedeného vyplývá důležitost role archeologa při geodetické dokumentaci archeologického výzkumu. Platí následující pravidla:

a) precizně vedený zápis a záznam je podmínkou pro tvorbu plánu či mapy archeologické situace;
b) důležitá je spolupráce geodeta (měří a následně vytváří plán v prostředí GIS a CAD), archeologa a v terénu i figuranta;
c) geodet od totální stanice nemá přehled o tom, co je právě měřeno, za výběr místa bodu, jeho popis a definici povinných spojnic bodů plně zodpovídá archeolog;
d) výsledek je založen na subjektivním pohledu archeologa, na jeho zkušenostech z práce v terénu a grafických dovednostech, dále je nezbytná znalost základních pravidel dokumentačních metod; dovednost čtení archeologické situace lze získat pouze a jen dlouholetou praxí v terénu a z té zároveň vyplývá, že někdy méně naměřených bodů znamená více.

FIELD NOTE

Czech Institute of Egyptology

Page .....

Date	Archaeologist	Surveyor	Figurant
Location		**Archaeological Object**	

Point	Line or Poly		Element type
Id	from point Id.	to point Id.	

Tabulka 15

CHRONOLOGICKÉ ČLENĚNÍ DĚJIN STARÉHO EGYPTA

Predynastická doba	**(cca 4500–3150 př. Kr.)**
0. dynastie	(? – 3150 př. Kr.)
Raně dynastická doba	**(cca 3150–2700 př. Kr.)**
1. dynastie	(cca 3150–2930 př. Kr.)
2. dynastie	(cca 2930–2700 př. Kr.)
Stará říše	**(cca 2700–2180 př. Kr.)**
3. dynastie	(cca 2700–2630 př. Kr.)
4. dynastie	(cca 2630–2510 př. Kr.)
5. dynastie	(cca 2510–2365 př. Kr.)
6. dynastie	(cca 2365–2180 př. Kr.)
První přechodná doba a začátek Střední říše	**(cca 2180–1994 př. Kr.)**
7. dynastie	(cca 2180–2170 př. Kr.)
8. dynastie	(cca 2170–2160 př. Kr.)
9./10. dynastie	(cca 2160–2137 př. Kr.)
11. dynastie	(cca 2137–1994 př. Kr.)
Střední říše	**(cca 1994–1797 př. Kr.)**
12. dynastie	(cca 1994–1797 př. Kr.)
Druhá přechodná doba	**(cca 1797–1543 př. Kr.)**
13. dynastie	(cca 1797–1634 př. Kr.)
14. dynastie	
15. dynastie	(hyksóská, cca 1634–1526 př. Kr.)
16. dynastie	
17. dynastie	(cca 1634–1543 př. Kr.)

Nová říše	**(cca 1543–1080 př. Kr.)**
18. dynastie	(cca 1543–1292 př. Kr.)
19. dynastie	(cca 1292–1186 př. Kr.)
20. dynastie	(cca 1186–1078 př. Kr.)
Třetí přechodná doba	**(cca 1078–745 př. Kr.)**
21. dynastie	(cca 1078–945 př. Kr.)
22. dynastie	(945–715 př. Kr.)
23. dynastie	(818–715 př. Kr.)
24. dynastie	(cca 728/727–720 př. Kr.)
Pozdní doba	**(715–332 př. Kr.)**
25. dynastie	(núbijská, 745–664 př. Kr.)
26. dynastie	(sajská, 665–525 př. Kr.)
27. dynastie	(1. perská nadvláda, 525–404 př. Kr.)
28. dynastie	(404–399 př. Kr.)
29. dynastie	(399–380 př. Kr.)
30. dynastie	(380–343 př. Kr.)
31. dynastie	(2. perská nadvláda, 343–332 př. Kr.)
Řečtí vládcové	(332–305 př. Kr.)
Ptolemaiovská doba	(305–30 př. Kr.)
Římská doba	(30 před Kr. – 395 po Kr.)
Byzantská doba	(395–640)
640 – dobytí Egypta Araby	

Seznam zkratek

ČESKÉ ZKRATKY

ČEgÚ	Český egyptologický ústav
ČVUT	České vysoké učení technické
DPZ	Dálkový průzkum Země
GIS	Geografický informační systém
GTS	Geodetická totální stanice
IT	Informační technologie
PFTGM	Průseková fotogrammetrie

CIZOJAZYČNÉ ZKRATKY

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAD	Computer Aided Design
DXF	Drawing Exchange Format
GPS	Global Position System
SHP	Shape File ESRI Format
TLS	Terrestrial Laser Scanning
UAV	Unmanned aerial vehicle

Seznam obrázků

Obrázek 1: Geodetická totální stanice při měření hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 2: Abúsírská nekropole na mapě de Morgana (1897)
Obrázek 3: Mapa Sakkáry a Abúsíru (Karl L. Lepsius, 1849–1858)
Obrázek 4: Abúsír na snímku z WorldView 2
Obrázek 5: El Ries na snímku z WorldView 2
Obrázek 6: Fotomozaika Intiho hrobky
Obrázek 7: Fotomozaika Hetepiho hrobky
Obrázek 8: Fotomozaika výzkumu AS70
Obrázek 9: Fotomozaika jižní Abúsír
Obrázek 10: Výsledky geofyziky u AC27
Obrázek 11: Mapa objektů zjištěných geofyzikálním měřením
Obrázek 12: Prostorová struktura snímků pro 3D model hrobky AC34
Obrázek 13: Kultovní prostor v Intiho hrobce
Obrázek 14: Skenování v pohřební komoře
Obrázek 15: Archeologická mapa jižního Abúsíru, interpretované objekty
Obrázek 16: Viditelné struktury hrobek po dešti v jižním Abúsíru
Obrázek 17: Geodetické práce v hrobce vezíra Ptahšepsese v Abúsíru v roce 1961
Obrázek 18: První část geodetické sítě v abúsírském pyramidovém poli v roce 1985
Obrázek 19: Stabilizace geodetického bodu
Obrázek 20: GPS přijímač na geodetickém stativu při observaci
Obrázek 21: Geodetické body použité k transformaci
Obrázek 22: Geodetické body zaměřené GNSS a body zaměřené geodeticky
Obrázek 23: Struktura geodetické sítě v Abúsíru a vzájemná viditelnost mezi body
Obrázek 24: Přijímač GPS Trimble Catalyst D2 na vrcholu pyramidy Neferirkare
Obrázek 25: Pyramidová pole v dolním Egyptě
Obrázek 26: Poloha hrobky hodnostáře Tije na satelitním snímku a kresba jeho hlavy
Obrázek 27: Hrobka hodnostáře Tije (Dümichen 1868)
Obrázek 28: Hrobka hodnostáře Tije z roku 1878
Obrázek 29: Plán hrobky hodnostáře Tije (Mariette)
Obrázek 30: Plán hrobky hodnostáře Tije (Mariette)
Obrázek 31: Bod sítě UTM 36N Hayford
Obrázek 32: Bod bodového pole v Abúsíru
Obrázek 33: Struktura bodů pro souřadnicové připojení hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 34: Stanovisko T3 a orientační body T1 a T4 při zaměření bodů 700, 701 a 702 u Tijovy hrobky
Obrázek 35: Stabilizace bodu pomocí hřebu
Obrázek 36: Stabilizace bodu pomocí geodetické značky
Obrázek 37: Geodetické body ve dvoře hrobky
Obrázek 38: Geodetické body ve vstupu do hrobky
Obrázek 39: Geodetické body v kapli, serdábu a ve skladu
Obrázek 40: Řez vstupu do podzemí a směr zaměření pevného bodu

Obrázek 41: Struktura geodetických bodů v podzemí hrobky
Obrázek 42: Geodetická síť hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 43: Jižní serdáb
Obrázek 44: Průhled do serdábu z kaple
Obrázek 45: Vnitřek jižního serdábu
Obrázek 46: Horní vstup do jižního serdábu
Obrázek 47: Drátěný model hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 48: Skenování v sestupné chodbě do pohřební komory
Obrázek 49: Skener nad šachtou do pohřební komory
Obrázek 50: Skenování v pohřební komoře
Obrázek 51: Skenování v kapli
Obrázek 52: Skenování v pohřební komoře
Obrázek 53: Struktura stanovisek skeneru v hrobce hodnostáře Tije
Obrázek 54: Prostředí programu Leica Cyclone 360
Obrázek 55: 3D model hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 56: Boční pohled ze západu na hrobku hodnostáře Tije
Obrázek 57: Metoda fotografování pro 3D model objektu
Obrázek 58: Polohy fotoaparátu při sběru dat
Obrázek 59: Boční pohled na 3D model vstupu do podzemí
Obrázek 60: Pohled shora na soustavu šachet na západní straně hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 61: Vstupní koridor do hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 62: Vlícovací body pro georeferenci historických plánů
Obrázek 63: Komparace plánu z roku 2018 a plánu Augusta Marietta z roku 1865
Obrázek 64: Detail komparace plánu Augusta Marietta z roku 1865
Obrázek 65: Komparace plánu z roku 2018 a plánu Georga Steindorfa z roku 1913
Obrázek 66: Detail komparace plánu Georga Steindorfa z roku 1913
Obrázek 67: Plán hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 68: Plán hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 69: Plán hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 70: Plán hrobky hodnostáře Tije
Obrázek 71: Plán Nimatrea C17
Obrázek 72: Plán Ptahšepsese C1
Obrázek 73: Nepravé dveře Ptahšepsese
Obrázek 74: Poloha hrobky Ptahšepsese
Obrázek 75: Hrobka Ptahšepsese interpretovaná na satelitním snímku z roku 2018
Obrázek 76: Zkoumané hrobky v severní Sakkáře, stav v roce 2023
Obrázek 77: Plán hrobky Ptahšepsese
Obrázek 78: Rumpál nad šachtou
Obrázek 79: Elektrický vrátek nad šachtou
Obrázek 80: Poloha hrobky AS65 na satelitním snímku
Obrázek 81: Základní plán hrobky AS65 z roku 2010
Obrázek 82: Geodetická totální stanice nad šachtou č. 3
Obrázek 83: Měření v pohřební komoře nad šachtou č. 3
Obrázek 84: Půdorys šachty s pohřební komorou

Obrázek 85: Drátěný model pohřební komory a šachty
Obrázek 86: Příprava skenování v druhé úrovni šachty
Obrázek 87: Polní náčrt postupu skenování
Obrázek 88: Záznam o zpracování dat v programu Leica Cyclone 360
Obrázek 89: Pohled na model z východu
Obrázek 90: Řez šachtou a pohřební komorou
Obrázek 91: Barevná interpretace sklonů normálových ploch
Obrázek 92: Prostorová interpretace ve formě horizontálních řezů
Obrázek 93: Vzdálenosti průniku paprsků skeneru mimo šachtu č. 3
Obrázek 94: Otvor v severní stěně pohřební komory šachty č. 3
Obrázek 95: Srovnání půdorysu 3D modelu a plánu AS65
Obrázek 96: Vzdálenosti průniku paprsků po georeferenci 3D modelu a plánu AS65
Obrázek 97: Skener v ocelové vaně
Obrázek 98: Skener při sběru dat
Obrázek 99: Propojení drátěného modelu a dat v programu AutoCAD

Seznam tabulek

Tabulka 1: Souřadnice bodů zaměřených pomocí GNSS
Tabulka 2: Seznam souřadnic bodů použitých k transformaci
Tabulka 3: Transformační klíč – Helmert 7 Parameter
Tabulka 4: Tabulka bodů zaměřených expedicí Dr. Sullivan v systému UTM 36N WGS84 a UTM 36N Hayford
Tabulka 5: Souřadnice z prvního měření v roce 2018 ze stanovisek 5011 a 5097
Tabulka 6: Seznam souřadnic bodů 700, 701 a 702 z měření v roce 2018
Tabulka 7: Souřadnice z kontrolního měření v roce 2019 ze stanovisek 5011 a 5097
Tabulka 8: Odchylky u jednotlivých bodů – měření ze stanovisek 5011 a 5097 v roce 2019
Tabulka 9: Souřadnice bodů 700, 701 a 702 – průměr ze dvou měření v roce 2019
Tabulka 10: Odchylky u jednotlivých bodů z měření v roce 2018 a z kontrolního měření z roku 2019
Tabulka 11: Souřadnice bodů určených z bodu T3 s orientací na body T1 a T4
Tabulka 12: Odchylky na bodech 700, 701 a 702 z měření z roku 2018 a 2019
Tabulka 13: Souřadnice bodů ze dvou měření a jejich odchylky
Tabulka 14: Počet dnů skenování, počet stanovisek skeneru a objem dat

Bibliografie

Agisoft LLC. Agisoft PhotoScan User Manual [online]. C2016 [cit. 30. 12. 2023]. Dostupný na: < https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_en.pdf>.

AXELSSON, Peter, „Processing of laser scanner data – algorithms and application", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2–3), 1999, s. 138–147.

BAREŠ, Ladislav, „Šedesát let českých (československých) archeologických výzkumů v Abúsíru", *Pražské egyptologické studie*, XXIV/2020, s. 49–63.

BÁRTA, Miroslav, „Tomb Complex of the Vizier Qar, his Sons Qar Junior and Senedjemib, and Iykai", *Abusir South II*, Praha: Dryada [Abusir XIII], 2009.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Altägyptische Pyramidenfelder von oben", *Sokar*, Das Ägyptische Pyramidenzeitalter, Nr. 15, 8. Jahrgang/2.Halbjahr 2007, Verlag Michael Haase, Berlin, s. 62–70.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Odkrývání neviditelného – užití nových technologií při zkoumání staroegyptské civilizace", in: Miroslav Bárta (eds.), *Sluneční králové*, Národní muzeum Praha, s. 303–313.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír – KŘIVÁNEK, Roman, „Research at South Abusir in 2001–2002 – Methods and Results", *Památky Archeologické* XCIV/2003, s. 49–82.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Satellite Atlas of the Pyramids", *Dryada Publishing, the Czech Institute of Egyptology Prague & Magazine Archelogie CR*, Praha 2006.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír (eds.), *The Pyramid Fields of Ancient Egypt: A Satellite Atlas*, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy, 2021.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír – BAREŠ, Ladislav – KREJČÍ, Jaromír – DULÍKOVÁ, Veronika – ODLER, Martin – VYMAZALOVÁ, Hana, „Mapa archeologických objektů v Abúsíru", *Pražské egyptologické studie*, XXIV/2020, s. 19–42.

BÁRTA, Miroslav – BRŮNA, Vladimír – BAREŠ, Ladislav – KREJČÍ, Jaromír – DULÍKOVÁ, Veronika – ODLER, Martin – VYMAZALOVÁ, Hana, „Map of archaeological features in Abusir", *Prague Egyptological Studies* XXV, 2020, s. 7–34.

BÁRTA, Miroslav – JIRÁSKOVÁ, Lucie – KREJČÍ, Jaromír – ODLER, Martin – BRŮNA, Vladimír – HAVELKOVÁ, Petra – SŮVOVÁ, Zdeňka, „Tomb of Kairsu discovered in Abusir (AC 33)", *Prague Egyptological Studies* XXV/2020, s. 35–58.

BÁRTA, Miroslav – VARADZIN, Ladislav – JANÁK, Jiří – MYNÁŘOVÁ, Jana – BRŮNA, Vladimír, „The temple of Ramesses II in Abusir", *EGYPTIAN ARCHAEOLOGY*, ISSUE 52, SPRING 2018, s. 10–14.

BETTESS, Frank, *Surveying for Archaeologist*, University of Durham, 1984.

BRŮNA, Vladimír, „Úloha geoinformatiky při archeologickém výzkumu v Abúsíru", *Pražské egyptologické studie*, 2002, s. 43–47.

BRŮNA, Vladimír, „Mapování oázy El- Hajéz", *Studia Oecologica*, VI, Ústí nad Labem 2007, s. 14–19.

BRŮNA, Vladimír, „Metoda ověření orientace staveb v Gíze, Abúsíru a Héliopoli", in: Jaromír Krejčí a Lenka Suková (eds.), *Kapitoly z dějin egyptské archeoastronomie*, Praha: Český egyptologický ústav FF UK, 2008, s. 58–67.

BRŮNA, Vladimír, *Role geoinformatiky při archeologickém výzkumu v Egyptě*, Mezinárodní konference GEOS, 2007, Praha.

BRŮNA, Vladimír, „Využití KAP (Kite Aerial Photography) při dokumentaci výzkumu v Abúsíru", *Pražské egyptologické studie* XI/2013, s. 37–43.

BRŮNA, Vladimír – BÁRTA, Miroslav, „Mapování staroříšských hrobek v severní Sakkáře", *ArcRevue* 1/2023, ARCDATA, s. r. o., Praha, 2023, s. 3–5.

BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – BÁRTA, Miroslav, „Laserové skenování Duaptahovy skalní hrobky v jižním Abúsíru", *Pražské egyptologické studie* XIII/2014, s. 31–37.

BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – FROUZ, Martin – FROUZOVÁ, Martina – MAREK, Zdeněk – VĚTROVSKÁ, Barbora, *Metodika 3D, dokumentace a vizualizace interiérů památkových objektů*, certifikovaná

metodika, osvědčení č. 132 MK ČR, OVV č. j. MK 26482/2016 OVV, sp. zn. MK-S 146/2012 OVV ze dne 13. 4. 2016, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem 2016, databáze NUŠL.

BRŮNA, Vladimír – BREJCHA, Marcel – MAREK, Zdeněk – VĚTROVSKÁ, Barbora, *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek*, Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015.

BRŮNA, Vladimír – MAREK, Zdeněk – DULÍKOVÁ, Veronika – HAVELKOVÁ, P., *Podobu starých Egypťanů pomáhá odhalit 3D modelování*, 26. 6. 2014, http://muzeum3000.nm.cz/veda/podobu-starych-. egyptanu--pomaha-odhalit-3d-modelovani.

BRŮNA, Vladimír – MAREK, Zdeněk – VĚTROVSKÁ, Barbora, *Spatial scanning during field archaeological research in Abusir (Egypt) by technology FARO Freestyle 3D*, ABUSIR AND SAQQARA IN THE YEAR 2015, PRAGUE JUNE 22–26, 2015.

BRŮNA, Vladimír – KOŠÁREK, Petr – BAREŠ, Ladislav – JANÁK, Jiří – LANDGRÁFOVÁ, Renata, „Unusual methods of archaeological documentation in the specific conditions of the Abusir shaft tombs", in: R. Landgráfová, L. Bareš a D. Míčková, *The shaft tomb of Menekhibnekau II: Texts. Abusir XXIX*, Czech Institute of Egyptology, Prague 2022, s. 347–354.

BRŮNA, Vladimír – ODLER, Martin – BÁRTA, Miroslav – MEGAHED, Mohamed, „New geodetic control network of Czech concession at Abusir", *Prague Egyptological Studies* XXI/2018, Prague, s. 125–128.

BRŮNA, Vladimír – PACINA, Jan, *Role geotechnologií v montánní archeologii*, ArchaeoMontan, Cíl 3, 2014, ÚAPPSZČ Most, s. 31–38.

BRŮNA, Vladimír – SUKOVÁ, Lenka, „Využití 3D ručního skeneru při dokumentaci archeologických památek v Súdánu", in: M. Kuchařík, L. Gál a J. Koštial, *Počítačová podpora v archeologii* III., Sborník příspěvků z deváté konference konané v Litomyšli 19.–21. 5. 2010, Praha, TerraVerita, s. r. o.

ČECHURA, František – NESET, Karel, *Kurs důlního měřictví. Vybrané kapitoly pro důlní měřiče*, SNTL Praha, 1953.

ČERNOTA, Pavel – STAŇKOVÁ, Hana – DANDOŠ, Rostislav, *Připojovací a usměrňovací měření Jámou ČSA 2 a Jámou Mír 5*, Uhlí-Rudy-Geologický průzkum. Zaměstnavatelský svaz důlního a naftového průmyslu, 2014, s. 16–19.

ČIBERA, Jan, *Geodézie v archeologii*, bakalářská práce, Katedra archeologie FF ZU Plzeň, 2011.

DREWETT, Peter, L., *Field archaeology: an introduction*, Routledge, 2012.

DULÍKOVÁ, Veronika – ODLER, Martin – HAVELKOVÁ, Petra, „Archeologický výzkum hrobky lékaře Neferherptaha", *Pražské egyptologické studie* VIII/2011, s. 9–16.

El SALAM, M. E. A., *Construction of underground works and tunnels in ancient Egypt*, Tunnelling and Underground Space Technology 17(3), 2002, s. 295–304.

GÁL, Pavel, *Fotogrammetria*, SNTL Bratislava, 1954.

GOJDA, Martin – JOHN, Jan a kol., *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny*, Katedra archeologie FF ZU Plzeň, 2013.

GOJDA, Martin, *Archeologie a dálkový průzkum*, Academia, Praha, 2017.

HAŠEK, Vladimír – VERNER, Miroslav, „Uplatnění geofyziky při archeologickém výzkumu aridního území u Abúsíru", *Archeologické rozhledy* XXXIII, 1981, s. 306–316.

HERBICH, Tomasz, „Geophysical methods and landscape archaeology", *Egyptian Archaeology* 41, 2012, s. 11–14.

HESTER, R. Thomas – SHAFER, Harry et al., *Field methods in archaeology*, Routledge, 2016.

HOGG, Alexander – HUBERT, Arthur, *Surveying for Archaeologists and Other Fieldworkers*, London: Routledge library [editions: Archaeology 34], 2016.

HROMAS, Jaroslav, *Základy speleologického mapování*, Zlatý kůň a ČSS, 1998.

JÁNOSI, Peter, „The mastaba of the chief physician, Nfr-hr-Pth (AS65)", *Prague Egyptological Studies* XIX/2017, s. 27–36.

JEFFREYS, David – TAVARES, Anna, „An integrated mapping project for the Saqqara plateau and escarpment", *Archiv Orientální*: 6, 2000.

JOHNSON, Paul – MILLETT, Martin (edd.), *Archaeological Survey and the City*, Cambridge University, Faculty of Classics, Oxford: Oxbow Books, 2013.

KOLEJKA, Jaromír – MISÁKOVÁ, Lucie – BRŮNA, Vladimír, „Application of the Czech mandscape research experience in the desert environment to support archaeological study", *Geografie* 115, č. 3, Praha 2010, s. 347–360.

KUNA, Martin a kol., *Nedestruktivní archeologie*, Academia, Praha, 2004.

LASAPONARA, Rosa et al., „Flights into the past: full-waveform airborne laser scanning data for archaeological investigation", *Journal of Archaeological Science* 38(9), 2011, s. 2061–2070.

LATO, M. J. – DIEDERICHS, M. S., „Mapping shotcrete thickness using LiDAR and photogrammetry data: Correcting for over-calculation due to rockmass convergence", *Tunnelling and Underground Space Technology* 41(0): 2014, s. 234–240.

LUKEŠ, Jan, *Důlní měřictví a mapování*, SNTL, Praha, 1963, s. 10.

MARIETTE, Auguste – MASPERO, Gastono, *Les mastabas de l'ancien empire: fragment du dernier ouvrage de A. Mariette*, F. Vieweg, 1889.

MARTINÁK, Vladimír, „The Survey of the Xth Expedition of the Czechoslovak Institute of Egyptology, Charles University", in: Miroslav Verner (ed.), *Preliminary Report on Czechoslovak Excavations in the Mastaba of Ptahshepses at Abusir*, Prague: Charles University, 1976, s. 39–45.

MATHIESON, Ian, „The National Museums of Scotland Saqqara survey report 1990–2000", in: Miroslav Bárta a Jaromír Krejčí (eds.), *Abusir and Saqqara in the Year 2000*, Prague: Academy of Sciences of the Czech Republic, Oriental Institute [Archiv Orientální, Supplementa IX], 2000, s. 33–42.

MEGAHED, Mohamed – BRŮNA, Vladimír, *Djedkare's Pyramid in 3d: New Documentation Methods for the. King's Burial Apartments*, Edal VI • 2017, OKAA 7 Old Kingdom Art and Archaeology, International Conference Proceedings 2017, Vol. 1: 464, s. 166–179.

MEGAHED, Mohamed – VYMAZALOVÁ, Hana – BRŮNA, Vladimír – MAREK, Zdeněk, „Die Pyramide des Djedkare-Isesi in 3-D", *Sokar – Das Ägyptische Pyramidenzeitalter* 32, 2016, s. 40–51.

MENŠÍK, Miroslav, *Geometrické základy fotogrammetrie*, Matematická knižnice, SPN Praha, 1966.

MILS, Jon, *3D Laser Scanning for Heritage,* London: English Heritage, 2011.

MOZAS-CALVACHE, Antonio, T. et al., „Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms", *Journal of Archaeological Science* 39(2), 2012, s. 521–530.

NEWHALL, Beaumont, *Airborne Camera: The World from the Air and outer Space*, New York, Hastings House, 1969.

NORMAN, Sir Joseph, L., *Surveying for Archaeologists*, Macmillan and Company, London, 1909, s. 120.

NOVOTNÝ, Vítězslav – HEGRLÍK, Ludvík, „Three-dimensional scanning of selected artefacts", in: Miroslav Bárta et al., *The Tomb of the Sun priest Neferinpu (AS 37)*, Charles University in Prague, Faculty of Arts [Abusir XXIII], Prague, 2014, s. 195–198.

ODLER, Martin – PETERKOVÁ HLOUCHOVÁ, Marie – HAVELKOVÁ, Petra – SŮVOVÁ, Zdeňka – ARIAS KYTNAROVÁ, Katarína – BRŮNA, Vladimír – JIRÁSKOVÁ, Lucie, „A new tomb of transitional type from Abusir South: mastaba of Nyankhseshat (AS 104)", *Prague Egyptological Studies* XXIII/2019, s. 49–82.

PACINA, Jan – BRŮNA, Vladimír, *Sběr prostorových dat s využitím bezkontaktních metod*, ArchaeoMontan, 2014, s. 69–76.

PARCAK, Sarah, *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, London: Routledge, 2009.

PAVELKA, Karel et al., *Modern Processing Capabilities of Analog Data from Documentation of the Great Omayyad Mosque in Aleppo, Syria. Damaged in Civil War*, ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017, s. 561–565.

PORTER & MOSS – MALEK, Jaromir, *Topographical Bibliography of Ancient Egyptian Hieroglyphic Texts, Reliefs and Paintings*, III Part. 2, Memphis: Saqqara to Dahshur, Griffith Institute, Oxford, 2003.

PROCHÁZKA, Jaromír – ŠVEC, Mojmír, „Vývoj geodetické sítě na území české koncese v Abúsíru a jeho výškopisná mapa 1:2000", *Pražské egyptologické studie* II/2003, s. 144–154.

PROCHÁZKA, Jaromír – BRŮNA, Vladimír, „Výškopisná archeologická mapa 1:2000 území české koncese v Abúsíru", *Pražské egyptologické studie* III/2004, s. 121–125.

REYNOLDS, David, „Surveying for Archaeologists and other Fieldworkers, By A. H. A. Hogg", *Archaeological Journal*, 137:1, 1980, s. 499–501.

ROEHRING, H. Catharine, „Methods of Tomb Survey“, in: Kent R. Weeks (ed), *Atlas of the Valley of the Kings*, The American University in Cairo Press, 2004.

SHENNAN, Stephen, *Experiments in the Collection and Analysis of Archaeological Survey Data: The East Hampshire Survey*, John Collis Publications, Sheffield, 1985.

SMETÁNKA, Zdeněk – KLÁPŠTĚ, Jan, „Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých osad“, *Archeologické rozhledy* 31, 1979, s. 614–639.

SMETÁNKA, Zdeněk – KLÁPŠTĚ, Jan, „Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých vsí na Černokostelecku“, *Památky archeologické* 72, 1981, s. 416–458.

SMETÁNKA, Zdeněk, „Slovanské sídliště v Bylanech u Kutné Hory“, *Archeologické rozhledy*, 1965, roč. 17, č. 3, s. 358–367.

SMRŽ, Zdeněk – MEDUNA, Petr – BRŮNA, Vladimír – KŘIVÁNEK, Roman, „Polní fortifikace z 18.–19. století u obce Poplze, okr. Litoměřice“, *Archeologické rozhledy* LI, Praha, 1999, s. 335–345.

SPENCER, Jeffrey, A., „Researches on the Topography of North Saqqâra“, *Orientalia*, vol. 43, 1974, s. 1–11.

STEINDORFF, Georg, *Das Grab des Ti*, J. C. Hinrichs, Leipzig, 1913, First edition, In-2, 12 pages, 143+20 plates.

STEWART, Michael, R., *Archaeology: Basic Field Methods*, Kendall/Hunt Publishers, Dubuque, Iowa, 2002.

SUKOVÁ, Lenka – BRŮNA, Vladimír – KROUŽEK, Jaroslav – NOVOTNÝ, Vít – KABELKA, Petr – HEGRLÍK, Jan, „Report on the 3D-Scanning and Photography Project“, *Studia Oecologica*, Vol. IV, Number 3, National Museum of the Sudan, Khartoum (24. 1.–4. 2. 2010), Ústí nad Labem 2010.

SULLIVAN, Elaine – HARROWER, Michael, „High-Precision GPS survey to investigate ancient ground horizons at Saqqara“, Scientific Report submitted to Annales du Service des Antiquités de l'Egypte. Nepublikováno, získáno výměnou za článek o abúsírské geodetické síti v roce 2019.

ŠIMANA, Miloslav, *Geodesie v archeologické praxi*, Zprávy ČSSA, Supplément 9, Praha, 1971.

ŠIMANA, Miloslav, „Geodetická dokumentace mohylových pohřebišť“, in: A. Beneš, J. Michálek a P. Zavřel (eds.), *Archeologické nemovité památky okresu České Budějovice* I, Praha 1999, s. 193–195.

ŠIMANA, Miloslav, „Provádění geodeticko-topografického průzkumu na zaniklých středověkých osadách“, *Archeologické rozhledy* 31, 1979, s. 631–639.

ŠVEC, Mojmír – VOSIKA, Otakar, „Geodézie v egyptologii“, *Stavební obzor* 2, Praha, 1992, s. 18–22.

TLUSTÝ, Jan – VOSIKA, Otakar, „Hledání ztraceného Jižního chrámu v Núbii geodetickými metodami“, *Geodetický obzor* sv. 9/51, č. 7, Praha, 1963, s. 184–189.

TOONEN, Willem – ODLER, Martin – ARIAS, Katarína – KREJČÍ, Jaromír – BRŮNA, Vladimír – BÁRTA, Miroslav – WILLEMS, Harco, „Short contribution on the past desert edge landscape at (Lake) Abusir, Egypt“, *Prague Egyptological Studies* XXV/2020, s. 103–110.

VACHALA, Břetislav – PROCHÁZKA, Jaromír, „Surveying in Egyptology“, *Göttinger Miszellen* 192, 2003, s. 67–82.

VACHALA, Břetislav – ŠVEC, Mojmír, „Geodetická dokumentace objektů odkrytých československým egyptologickým ústavem UK v Abúsíru“, in: *Geofyzika v archeologii a moderní metody terénního výzkumu a dokumentace*, Brno, 1989, s. 307–311.

VERNER, Miroslav – BRŮNA, Vladimír, „Why was the Fifth Dynasty cemetery founded at Abusir?“, in: Nigel Strudwick and Helen Strudwick (eds.), *Old Kingdom, New Perspectives: Egyptian Art and Archaeology* 2750-2150 BC, b/w & col illus, Oxbow Books, 2011.

VESELÝ, Jan, *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*, Národní památkový ústav, edice odborné a metodické publikace, svazek 9, Praha, 2014.

VOMELOVÁ, Martina, *Vyhodnocení geodetických prací v české archeologické koncesi u Abúsíru v EAR*, diplomová práce, ČVUT, Praha, 1996.

WESTCOTT, Konnie – BRANDON, Joe L. (eds), *Practical Applications of GIS for Archaeologist*, London: Taylor & Francis, 2000.

WISEMAN, James R. – FAROUK, El-Baz (eds.), *Remote Sensing in Archaeology*, New York: Springer Science & Business Media, 2007.

ŻURAWSKI, Bogdan, „From Jebel Moya to Old Dongola“, *Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg* 3, 1995, s. 305–315.

Věcný rejstřík

DOKUMENTOVANÉ OBJEKTY

AS65 10, 81–94, 97
hrobka hodnostáře Tije 10–12, 43–75, 77, 97
hrobka Ptahšepsese 75–78
mastaba Neferherptaha 10, 79–94, 97
mastaba Ptahšepsese 32–33
pohřební komora 10, 25, 28, 29, 45, 58, 60, 64–66, 72, 73, 77, 80, 81, 83, 85–87, 89–92, 94, 97
pyramidová pole 13, 15, 32, 34, 43, 45
serdáb 45, 59, 61, 62, 66, 77, 80
šachta č. 3 10, 81–83, 85–94, 97

GEODETICKÉ POJMY

drátěný model 11, 47, 60, 63, 86, 87, 94, 95
geodetické bodové pole 10, 11, 28, 29, 32–42, 47, 50–62, 64, 85, 95, 97, 100
Helmertova transformace 36, 39, 86
mračno bodů 24, 47, 61, 64–68, 89–94
podrobné body 12, 26–28, 36, 42, 47, 48, 53, 60–63, 85, 86, 94, 95, 97, 99, 100
povinné spojnice 60, 63, 94, 100
souřadnicové připojení 10, 47, 50–57, 79–81, 85, 86, 94, 97, 100
transformace 15, 29, 34–36, 38, 39, 52, 86
UTM 36N Hayford 51–53
UTM 36N WGS84 29, 34–38, 52, 53, 86, 97
vlícovací body 61, 64, 67, 71, 87, 89, 94

LOKALITY

Abúsír 10–16, 18–21, 24, 26, 29–42, 43, 47, 49–53, 56, 71, 79–94, 95, 97
Dahšúr 13, 43
Gíza 43
jižní Abúsír 10, 20, 21, 24, 30, 31, 79–94, 97
Núbie 32, 33
Sakkára 10, 11, 13–15, 26, 43–78, 94, 97
severní Sakkára 10, 43–78, 94, 97

METODY DOKUMENTACE

archeologická dokumentace 9–12, 18, 26, 27, 40, 43, 47, 49, 62, 80–83, 95–100
dálkový průzkum Země 9–11, 14–19, 24, 26, 30, 95, 98, 99
důlní měřictví 79–81, 94, 97
geodetická dokumentace 10–12, 26–29, 32–42, 43, 47, 50–63, 75–78, 79–86, 94–100
geodetické měření 10–12, 28, 29, 33–36, 40–42, 47, 50–63, 72, 73, 77, 79–81, 85, 86, 94, 95, 99, 100
geodézie 9–11, 26, 27, 32, 34, 40, 60, 79, 95, 97, 98
geofyzikální měření 11, 19–24, 26, 30, 95
GIS 9–12, 15, 31, 33, 36, 40, 71, 72, 95, 98–100
GNSS / GPS 11, 18, 28, 29, 31, 34–37, 39, 41, 42, 52, 53, 56. 57, 95, 98
průseková fotogrammetrie 9–11, 22, 23, 29, 43, 47, 50, 69, 70, 95, 97–99
terestrické laserové skenování 9, 10, 14, 24–26, 28, 29, 43, 47, 49, 50, 61, 64–68, 77, 79, 81, 83, 86–94, 95, 97, 99

PŘÍSTROJE A SOFTWARE

Agisoft Metashape 23, 50, 69
AutoCAD 95
Cyclone REGISTER 360 66, 67, 89
FARO Focus 26, 49, 87–89
geodetická totální stanice 11, 12, 28, 32, 36, 42, 47, 53, 63, 81, 85, 86, 94, 99, 100
Leica BLK360 G1 50, 64–66, 94
Leica TCR805 42, 47, 53, 85
Trimble Catalyst DA2 41, 42

Jmenný rejstřík

Bárta, Miroslav 11, 13–15, 20, 24, 26, 29, 33, 34, 43, 45, 52, 53, 81, 83, 86, 95
Lepsius, Karl R. 14
Mariette, Auguste 13, 45, 46, 48, 49, 72, 73, 75, 76, 97
Neferherptah 10, 79–94, 97
Ptahšepses 32, 33, 75–78
Reisner, George A. 13
Steindorff, Georg 46, 72, 73
Ty (Tij) 10–12, 43–75, 77, 97

Resumé

Předkládaná práce se zabývá problematikou využití geodetických metod v prostředí egyptské archeologie se zvláštním důrazem na jejich specifika, metodická omezení a praktickou aplikaci v terénních podmínkách Egypta. Dokumentační metody představují nedílnou součást archeologického výzkumu a významně ovlivňují možnosti interpretace archeologických pramenů. V posledních desetiletích dochází v archeologii k zásadnímu rozšíření spektra používaných metod, především v souvislosti s rozvojem digitálních geotechnologií, které umožňují rychlejší, přesnější a komplexnější záznam prostorových dat.

Cílem je prezentovat roli geodézie jako jedné ze základních dokumentačních metod archeologického výzkumu a poukázat na její specifické postavení v egyptské archeologii. Pozornost je věnována nejen samotným geodetickým metodám, ale také jejich propojení s dalšími geoinformačními technologiemi, zejména s průsekovou fotogrammetrií, pozemním laserovým skenováním, metodami dálkového průzkumu Země a geografickými informačními systémy. Práce zdůrazňuje, že uvedené metody nelze chápat izolovaně, ale jako vzájemně provázaný soubor nástrojů sloužících ke sběru, zpracování a interpretaci prostorových dat.

Teoretická část přináší přehled současného stavu dokumentačních metod v archeologickém výzkumu se zaměřením na geodézii a její uplatnění v egyptských podmínkách. Jsou zde popsána základní specifika geodetických prací v Egyptě, včetně vlivu přírodních podmínek, charakteru archeologických objektů, logistických omezení expedic a administrativních pravidel, která zásadním způsobem ovlivňují volbu metod i přístrojového vybavení. Samostatná kapitola je věnována historii a současnosti využívání geodetických a fotogrammetrických metod v české egyptologii, zejména na archeologické koncesi v Abúsíru, včetně vývoje a obnovy geodetické bodové sítě a její transformace do světového souřadnicového systému UTM 36N WGS84.

Praktická část je zaměřena na metodu komplexní dokumentace vybraného archeologického objektu, kterým je hrobka hodnostáře Tije v severní Sakkáře. Tento významný památkový objekt Staré říše byl v minulosti opakovaně zkoumán, avšak postrádal podrobnou a jednotnou měřickou dokumentaci nadzemních i podzemních částí. Práce detailně popisuje postup geodetického zaměření hrobky, tvorbu bodového pole, dokumentaci jednotlivých částí objektu a následné zpracování dat do podoby dvourozměrných plánů a trojrozměrných modelů. Geodetické měření je doplněno pozemním laserovým skenováním a průsekovou fotogrammetrií, které umožnily vytvoření detailního 3D modelu hrobového komplexu a přinesly nové možnosti prostorové analýzy.

Samostatná kapitola je věnována komparaci historické dokumentace Tijovy hrobky s výsledky současného geodetického zaměření. Porovnání plánů vzniklých v druhé polovině 19. a na počátku 20. století s novými daty ukázalo překvapivě vysokou míru shody, zejména u podzemních částí objektu. Tato skutečnost umožňuje lépe pochopit stavební postupy staroegyptských stavitelů i kvalitu historické dokumentační práce a zároveň poskytuje podněty pro další archeologickou interpretaci.

Další část se zabývá dokumentací podzemních prostor na příkladu šachty č. 3 mastaby lékaře Neferherptaha v jižním Abúsíru. Tato kapitola se soustředí na aplikaci geodetických metod v podmínkách srovnatelných s důlním měřictvím a popisuje specifické postupy přenosu

souřadnicového systému do podzemí, zaměřování pohřební komory a následné zpracování dat pomocí laserového skenování. Výsledkem je prostorový model umožňující detailní analýzu tvaru, objemu a vzájemných vztahů podzemních struktur.

Závěrečná část práce shrnuje přínos geodetických metod pro archeologickou dokumentaci v Egyptě a zdůrazňuje nezastupitelnou roli spolupráce mezi archeologem a geodetem. Práce ukazuje, že moderní digitální metody samy o sobě nepředstavují cíl, ale pouze nástroj, jehož skutečná hodnota spočívá ve správně formulovaných výzkumných otázkách a interpretaci získaných dat. Budoucnost archeologické dokumentace v Egyptě je nepochybně spojena s digitalizací a integrací různých datových zdrojů, avšak klíčovým faktorem zůstává odborné rozhodování a zkušenost badatele v terénu.

Summary

This dissertation is devoted to the application of geodetic methods in Egyptian archaeology, with particular emphasis on their specific methodological characteristics, practical limitations, and field-based implementation under the conditions of Egypt. Documentation methods represent a fundamental component of archaeological fieldwork and significantly influence the quality and scope of archaeological interpretation. In recent decades, archaeology has undergone a profound methodological transformation, driven primarily by the development of digital geotechnologies that enable faster, more accurate, and more comprehensive recording of spatial data.

The main aim of this dissertation is to present the role of geodesy as a key documentation method in archaeological research and to highlight its specific position within Egyptian archaeology. Attention is paid not only to geodetic methods themselves, but also to their integration with other geoinformation and geospatial technologies, particularly close-range photogrammetry, terrestrial laser scanning, remote sensing, and geographic information systems (GIS). The dissertation emphasizes that these methods should not be understood as isolated techniques, but rather as an interconnected set of tools for the acquisition, processing, and interpretation of spatial data.

The theoretical part provides an overview of the current state of documentation methods in archaeology, focusing on geodesy and its application under Egyptian field conditions. It discusses the specific challenges of geodetic work in Egypt, including environmental factors, the character of archaeological structures, expedition logistics, and administrative constraints that substantially affect the choice of methods and equipment. A separate chapter is devoted to the history and present use of geodetic and photogrammetric methods in Czech Egyptology, particularly within the archaeological concession at Abúsír, including the development, renewal, and transformation of the local geodetic control network into the global coordinate system UTM 36N WGS84.

The practical part of the dissertation focuses on the method of comprehensive documentation of a selected archaeological monument: the tomb of the official Ty in northern Saqqara. Although this important Old Kingdom monument had been investigated repeatedly since its discovery in the nineteenth century, it lacked detailed and unified metric documentation of both its above-ground and underground parts. The dissertation presents in detail the procedures of geodetic surveying, the establishment of a local control network, the documentation of individual architectural components, and the subsequent processing of the data into two-dimensional plans and three-dimensional models. Geodetic measurements are complemented by terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry, which enabled the creation of a highly detailed 3D model of the tomb complex and opened new possibilities for spatial analysis.

A separate chapter is devoted to the comparison of historical documentation of the tomb of Ty with the results of modern geodetic surveying. The comparison of plans produced in the second half of the nineteenth and early twentieth centuries with contemporary data revealed a surprisingly high degree of accuracy, particularly in the underground parts of the monument. This finding contributes to a better understanding of ancient Egyptian construction

practices as well as to the assessment of the quality of early archaeological documentation, and it provides a valuable basis for further archaeological interpretation.

Another major section of the dissertation addresses the documentation of underground spaces using the example of Shaft No. 3 in the mastaba of the physician Neferherptah in southern Abúsír. This chapter focuses on the application of geodetic methods under conditions comparable to mine surveying and describes specific procedures for transferring the coordinate system underground, surveying the burial chamber, and processing the data using terrestrial laser scanning. The resulting spatial model allows for a detailed analysis of the geometry, volume, and spatial relationships of underground structures.

The concluding part summarizes the contribution of geodetic methods to archaeological documentation in Egypt and emphasizes the indispensable cooperation between archaeologists and geodesists. The dissertation demonstrates that modern digital technologies are not an end in themselves, but tools whose true value lies in well-defined research questions and careful interpretation of the collected data. The future of archaeological documentation in Egypt is undoubtedly digital and increasingly integrative; nevertheless, expert decision-making and field experience remain essential. The dissertation thus contributes to a deeper methodological understanding of geodesy as a key component of archaeological research and highlights its importance for the study and interpretation of ancient Egyptian monuments.

Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit der Anwendung geodätischer Methoden in der ägyptischen Archäologie und legt dabei besonderen Wert auf deren methodische Besonderheiten, praktische Einschränkungen sowie auf ihre Umsetzung unter den spezifischen Feldbedingungen Ägyptens. Dokumentationsmethoden stellen einen grundlegenden Bestandteil archäologischer Feldforschung dar und beeinflussen maßgeblich die Möglichkeiten der Interpretation archäologischer Quellen. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Archäologie durch den Einsatz digitaler Geotechnologien grundlegend gewandelt, wodurch eine schnellere, präzisere und umfassendere Erfassung räumlicher Daten möglich geworden ist.

Ziel dieser Dissertation ist es, die Rolle der Geodäsie als zentrale Dokumentationsmethode der archäologischen Forschung darzustellen und ihre besondere Stellung innerhalb der ägyptischen Archäologie hervorzuheben. Neben den geodätischen Methoden selbst wird auch deren enge Verknüpfung mit weiteren Geoinformationstechnologien behandelt, insbesondere mit der Nahbereichsphotogrammetrie, dem terrestrischen Laserscanning, der Fernerkundung sowie geografischen Informationssystemen (GIS). Die Dissertation verdeutlicht, dass diese Methoden nicht isoliert zu betrachten sind, sondern ein miteinander verknüpftes Instrumentarium zur Erfassung, Verarbeitung und Interpretation räumlicher Daten bilden.

Der theoretische Teil der Arbeit bietet einen Überblick über den aktuellen Stand archäologischer Dokumentationsmethoden mit Schwerpunkt auf der Geodäsie und deren Anwendung unter ägyptischen Bedingungen. Er behandelt die spezifischen Herausforderungen geodätischer Arbeiten in Ägypten, darunter Umweltfaktoren, die Beschaffenheit archäologischer Strukturen, logistische Rahmenbedingungen archäologischer Expeditionen sowie administrative Einschränkungen, die die Wahl der Methoden und der technischen Ausstattung wesentlich beeinflussen. Ein eigenes Kapitel ist der Geschichte und Gegenwart geodätischer und photogrammetrischer Methoden in der tschechischen Ägyptologie gewidmet, insbesondere im Bereich der archäologischen Konzession von Abúsír. Dabei werden die Entwicklung, Erneuerung und Transformation des lokalen geodätischen Kontrollnetzes in das globale Koordinatensystem UTM 36N WGS84 dargestellt.

Der praktische Teil der Dissertation konzentriert sich auf die Methode der komplexen Dokumentation eines ausgewählten archäologischen Objekts, des Grabes des Würdenträgers Ty in der nördlichen Sakkara. Obwohl dieses bedeutende Monument des Alten Reiches seit seiner Entdeckung im 19. Jahrhundert mehrfach untersucht wurde, fehlte bislang eine detaillierte und einheitliche metrische Dokumentation sowohl der oberirdischen als auch der unterirdischen Bereiche. Die Dissertation beschreibt ausführlich die Vorgehensweise der geodätischen Vermessung, den Aufbau eines lokalen Festpunktnetzes, die Dokumentation einzelner architektonischer Elemente sowie die anschließende Verarbeitung der Daten zu zweidimensionalen Plänen und dreidimensionalen Modellen. Die geodätischen Messungen werden durch terrestrisches Laserscanning und Nahbereichsphotogrammetrie ergänzt, wodurch ein hochdetailliertes 3D-Modell des Grabkomplexes erstellt werden konnte und neue Möglichkeiten der räumlichen Analyse eröffnet wurden.

Ein eigenes Kapitel widmet sich dem Vergleich historischer Dokumentationen des Grabes des Ty mit den Ergebnissen moderner geodätischer Vermessungen. Der Abgleich von Plänen

aus der zweiten Hälfte des 19. und dem frühen 20. Jahrhundert mit aktuellen Daten zeigt eine überraschend hohe Übereinstimmung, insbesondere in den unterirdischen Bereichen des Monuments. Diese Erkenntnis trägt sowohl zu einem besseren Verständnis altägyptischer Baupraktiken als auch zur Bewertung der Qualität früher archäologischer Dokumentationsarbeiten bei und liefert zugleich eine wichtige Grundlage für weiterführende archäologische Interpretationen.

Ein weiterer zentraler Abschnitt der Dissertation behandelt die Dokumentation unterirdischer Räume am Beispiel von Schacht Nr. 3 der Mastaba des Arztes Neferherptah in Süd-Abúsír. Dieses Kapitel konzentriert sich auf den Einsatz geodätischer Methoden unter Bedingungen, die dem Markscheidewesen vergleichbar sind, und beschreibt spezifische Verfahren zur Übertragung des Koordinatensystems in den Untergrund, zur Vermessung der Grabkammer sowie zur Datenverarbeitung mittels terrestrischem Laserscanning. Das resultierende räumliche Modell ermöglicht eine detaillierte Analyse der Geometrie, des Volumens und der räumlichen Beziehungen unterirdischer Strukturen.

Der abschließende Teil der Arbeit fasst den Beitrag geodätischer Methoden zur archäologischen Dokumentation in Ägypten zusammen und betont die unverzichtbare Zusammenarbeit zwischen Archäologen und Geodäten. Die Dissertation zeigt, dass moderne digitale Technologien kein Selbstzweck sind, sondern Werkzeuge, deren tatsächlicher Wert in klar definierten Forschungsfragen und einer sorgfältigen Interpretation der erhobenen Daten liegt. Die Zukunft der archäologischen Dokumentation in Ägypten ist zweifellos digital und zunehmend integrativ; dennoch bleiben fachliche Erfahrung, methodisches Urteilsvermögen und Entscheidungen im Feld weiterhin von zentraler Bedeutung. Die Arbeit leistet somit einen Beitrag zum vertieften methodischen Verständnis der Geodäsie als wesentlicher Bestandteil archäologischer Forschung und unterstreicht ihre Bedeutung für die Untersuchung und Interpretation altägyptischer Monumente.

Vladimír Brůna (*1961) je geodet, kartograf a geoinformatik se specializací na archeologickou dokumentaci, geoinformační metody a studium historické krajiny. Od roku 2001 se podílí na archeologických expedicích Českého egyptologického ústavu FF UK v Egyptě, zejména v Abúsíru a Sakkáře, kde se věnuje geodetickému měření, tvorbě kartografických podkladů, práci s GIS, dálkovému průzkumu Země, laserovému skenování a digitální 3D dokumentaci. Ve své odborné činnosti se dlouhodobě zaměřuje na propojení geodézie, archeologie a digitálních metod dokumentace kulturního dědictví.

ISBN 978-80-7671-220-1