

ROLE GEOINFORMATIKY PŘI ARCHEOLOGICKÉM VÝZKUMU V EGYPTĚ

Ing. Vladimír Brůna

Laboratoř geoinformatiky FŽP UJEP, Dělnická 21, 434 01 Most
Český egyptologický ústav FF UK Praha, Celetná 20, 110 00 Praha
e-mail: bruna@geolab.cz; e-mail: vladimir.bruna@ff.cuni.cz

Abstrakt

Geoinformatika se v posledních letech uplatňuje i v tak konzervativním oboru jakým je archeologie. Autor již od 80.let minulého století spolupracuje s archeology a od roku 2001 je pravidelným účastníkem archeologických expedic do Egypta. Příspěvek pojednává o aplikaci geoinformačních technologií při archeologickém výzkumu Českého egyptologického ústavu FF UK Praha.

1 Úvod

Abúsír je významná archeologická lokalita ležící 20 km jižně od Káhiry na které probíhaly výzkumy již v 19. století. Československá egyptologická expedice zde zahájila výzkum na počátku 60. let minulého století a archeologický výzkum probíhá dodnes v pravidelných jarních a podzimních termínech na třech lokalitách - abúsírské pyramidové pole, oblast šachtových hrodek (Iufaa) a tzv. Abúsír jih.

V roce 2003 získal Český egyptologický ústav (ČEgÚ) koncesi k archeologickému výzkumu v egyptské západní poušti. Na období let 2003 – 2005 se podařilo zajistit ze soukromých českých zdrojů prostředky k vyslání tří expedic na výzkum dosud málo archeologicky probádané oázy El-Hajéz v tzv. Černé poušti asi 500 km jihozápadně od hlavního města Káhiry. Na základě unikátních výsledků podpořila na další 3 roky výzkum v této oblasti Grantová agentura ČR [1].

Nedílnou součástí archeologických výzkumů je tvorba dokumentace, na počátku výzkumů byla vytvářena ve formě jednoduchých skic a nákresů. S rozvojem geodézie a kartografie postupně vznikaly první plány a mapy v měřítku a výsledky geodetických měření při dokumentaci archeologických aktivit v krajině se staly samostatnou tématickou vrstvou v kartografických dílech.

S rozvojem nových technologií jak v geodézii, tak i v příbuzných oborech se rozšířily možnosti aplikace těchto metod v archeologii. Zpočátku konzervativní archeologie nahlížela na nové metody s nedůvěrou, ale s postupem času se *geoinformační technologie* (geografické informační systémy, digitální kartografie, geodézie, dálkový průzkum Země, GPS) stávají nedílnou součástí archeologického výzkumu.

2 Geoinformatika a její role v archeologickém výzkumu

Obecně se geoinformatika zaměřuje na vývoj a aplikaci metod pro řešení specifických problémů v geovědách se speciálním důrazem na geografickou – prostorovou polohu objektů. Základním prvkem je tzv. geoobjekt, t.j. objekt vztahující se k části prostoru na povrchu Země. Od ostatních objektů jej lze odlišit pomocí

- a) geometrie = prostorové polohy,
- b) topologie = prostorových vztahů,
- c) tematiky (atributů),
- d) dynamiky = časových změn.

Je třeba zdůraznit, že geoinformatika, resp. geoinformační technologie jsou pouze **prostředkem** pro podporu řešení stanovených cílů a hypotéz výzkumu. Prostředkem, který přináší nové úhly pohledu na řešené problémy, poskytuje netradiční postupy a dovednosti jak jednotlivé kroky řešení dokumentovat, interpretovat, provádět analýzy a syntézy.

V archeologické praxi jsou v posledních letech aplikovány metody a postupy z oblasti geoinformatiky, spolu s osvědčenými a klasickými geodetickými metodami je využíván geografický informační systém (GIS), počítačové 3D modelování, metody dálkového průzkumu Země (DPZ), digitální kartografie a použití satelitních přijímačů Global Position System (GPS) k určení polohy pozorovatele na zemském povrchu [2], [3], [4], [5], [6] a [7].

3 Historie geodetických prací v Abúsíru

Spolupráce geodetů a egyptologů má již více než čtyřicetiletou tradici. Začala v roce 1962 při záchranných výzkumech v Núbii [8] a poté pokračovala v oblasti československé (dnes české) koncese v Abúsíru.

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 (blíže o budování geodetické sítě, její přesnosti a metodách měření [9]). Výsledkem je výškopisný plán v měřítku 1 : 2 000 se základním intervalem vrstevnic 1 metr [10], [11], [12] a [13], blíže kapitola 4.1.

Součástí geodetických prací byla i metoda pozemní fotogrammetrie aplikovaná při výzkumu v Núbii [8] a při zaměřování komplexu mastaby Ptahšepsese [14].

4 Současný stav a aplikované metody

4.1 Měření výškopisu a polohopisu – Archeologická mapa Abúsíru

Výškopisná a polohopisná mapa jakékoliv archeologické lokality je jedním ze základních mapových podkladů pro archeologa. Obecně se v archeologické praxi využívají existující topografické mapy, situace v Egyptě je však odlišná. Dostupnost mapových podkladů je velmi omezena a pokud se podaří získat mapu, je většinou v malém, tedy pro archeologii nepoužitelném měřítku. Proto se při začátku výzkumu jak v Abúsíru, tak i v západní oáze přistoupilo k tvorbě polohopisné a výškopisné mapy.

Pro geodetická měření na českých koncesích v Egyptě se používá laserový elektronický dálkoměr LEICA TCR 307, od podzimu 2006 nový typ LEICA modelové řady TPS 800, model TCR 805. Jedná se o 5" dálkoměr, který umožňuje do vzdálenosti 170 m měření bez použití odrazného hranolu s přesností 3 mm + 2ppm. Tyto totální stanice umožňují měření na zemském povrchu i v podzemí. Jejich schopnost měření bez použití hranolu s sebou přináší další výhody, jako jsou zaměření nepřístupných bodů, měří pouze geodet bez figuranta, důležité zejména při měření rizikových prostor (pohřební komory a šachty). Kapacita totální stanice je řádově tisíce podrobných bodů za jeden den měření. Součástí stanice je geodetický software, který přímo v terénu počítá souřadnice podrobných bodů, určuje vytyčovací prvky, např. pro přípravu měření území geofyzikálními metodami.

Tvorba mapy proběhla v několika etapách. Nejprve byla vytyčena a stabilizována geodetická síť bodů, které tvořily základní bodovou databázi pro vlastní měření a tato síť se postupně rozšiřovala do současné podoby. Orientace souřadnicových os je +x – sever a +y – východ, počátek souřadnicového systému je zvolen tak, aby všechny souřadnice byly kladné [9].

Vlastní měření probíhalo od roku 1985, nejprve se provádělo pouze polohopisné měření a společně s topografickými prvky mapy byly zaměřovány i archeologické objekty v pyramidovém poli. Mapa zobrazující aktuální stav odkrytých historických objektů byla dokončena v roce 1990. V roce 1995 bylo rozhodnuto doplnit uvedené mapové dílo výškopisným vyjádřením terénu umožňujícím vytvoření prostorové představy zájmového území a prostorových vztahů mezi jednotlivými zkoumanými objekty.

Na jaře roku 2004 bylo provedeno polohopisné a výškopisné měření v oblasti pyramidového pole, výsledkem je *Archeologická mapa Abúsíru v měřítku 1 : 2 000*. Tím bylo dokončeno polohopisné a výškopisné zaměření území české archeologické koncese, tedy celkem téměř 150 ha značně členitého území, na jehož zmapování bylo zaměřeno, vypočteno a zobrazeno přes 7000 podrobných bodů [10], [11], [12] a [13].

Archeologická mapa Abúsíru je základním mapovým podkladem pro činnost expedice a je postupně doplňována o nově otevřené výzkumy, nalezené archeologické objekty a další významné změny, které v území nastaly, např. o plochy zaměřené pomocí geofyzikálních metod, o hranice výzkumu, klad leteckých a satelitních snímků, o data jiných expedic, ad.

Mapa je udržována v digitální formě v prostředí CAD a GIS. Z výškopisné složky mapy byl vygenerován digitální model terénu ve formátu TIN, který umožňuje pomocí nástrojů GIS vytvářet analýzu terénu – sklonitost, orientaci, výškopisné členění, viditelnost, ad. Digitální model ve spojení s prostorově lokalizovanými archeologickými objekty přináší archeologovi nové pohledy na celou archeologickou lokalitu, včetně možnosti studia vzájemných prostorových vztahů a vazeb terénu a archeologických objektů.

4.2 Zaměřování archeologických objektů

Na území Abúsíru se archeologické objekty vyskytují na povrchu a pod povrchem terénu, v podzemí. Cílem je tyto objekty dokumentovat a základní metodou je jejich geodetické zaměření.

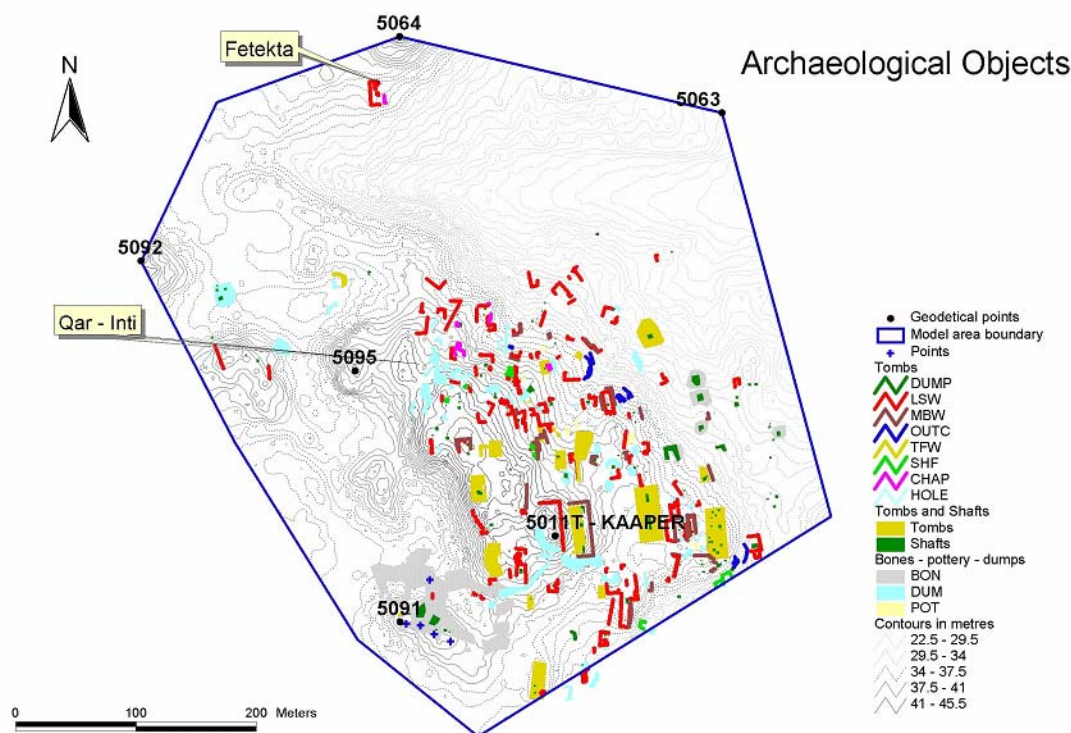
Objekty na povrchu terénu je možné rozdělit na:

a) objekty již archeologicky prozkoumané a zdokumentované, např. šachtový hrob Iufaa, hrobka a mastaba Hettepi, nedokončená pyramida Nefera. Každý z uvedených objektů se na povrchu terénu projevuje odlišnou charakteristikou. Komplex Iufaa uměle vybudovanou stavbou při záchranném výzkumu, půdorys neodpovídá skutečným rozměrům tohoto šachtového hrobu a musí být doplněn o měření v podzemí. V případě mastaby Hettepiho je patrný původní rozměr a struktura hrobky, včetně zachovaných schodů, vstupů do hrobky. U nedokončené pyramidy Nefera je možné dokumentovat z větší části původní stav, některá místa jsou zakryta výsypkou.

b) objekty, u kterých se provádí výzkum a jsou postupně odkrývány. Týká se objektů jak na povrchu terénu - mastaby, tak pod povrchem – šachty a pohřební komory. Metoda je stejná jako u měření objektů v předcházejícím bodě. Geodet dokumentuje postup odkrývání zkoumaných objektů dle požadavků archeologa. Na závěr výzkumu, kdy jsou objekty odkryty a vyčištěny se provádí konečná geodetická dokumentace. U části objektů je možné měření v případě potřeby opakovat a doplňovat. Jsou však objekty, 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, okamžitou kontrolu výsledků.

c) objekty, které nebyly archeologicky zkoumány. Během povrchového průzkumu na lokalitě Abúsír jih byla identifikována a zaznamenána celá řada archeologických informací a objektů. Jednalo se nejen o půdorysy a zdiva hrobek (z vápence, cihel z nilského bahna a nebo z taflý), ale i o výsypky, koncentrace keramiky, lidských a zvířecích kostí, čočky váteho písku a izolované artefakty (např. koncentrace zlomků kamenných nádob). Celkem tak bylo možno zdokumentovat na 150 objektů s různou výpovědní hodnotou. Výsypky a akumulace keramiky zase označují místa, kde zřejmě

probíhala intenzivní zlodějská činnost. V některých případech jsou doloženy výsypky, ale samotné archeologické objekty nejsou zřetelné, výsypka se tak stává nepřímým dokladem existence povrchově bezpříznakového objektu – obr. č. 1.



Obr. č. 1 – Mapa identifikovaných archeologických objektů v jižní části Abúsíru

Dokumentace identifikovaných archeologických objektů se provádí také geodetickou metodou – podrobným měřením. Postupně jsou zaměřeny identifikované nadzemní objekty, půdorysy a základní linie.

Současně s měřením se v terénu získávají o objektech další doprovodné informace – atributové údaje (typ, materiál, foto, ad.), které se spolu s databází podrobných bodů importují do prostředí GIS, blíže následující kapitola.

Výsledkem je samostatný soubor tématických vrstev (bodů, linií a polygonů) charakterizujících strukturu identifikovaných archeologických objektů z dané lokality. Pomocí atributových údajů je možné v GIS vytvářet tématické mapy, např. mapa typů objektů, materiály, areály kostí, apod. Výsledek je importován i do Archeologické mapy Abúsíru.

4.3 Vyhodnocení, tvorba map a import do CAD a GIS

Geodetické práce nejsou samostatnou částí, ale tvoří základní bázi tvorby prostorových dat pro jejich další aplikace v prostředí GIS, dále pro analýzu dat DPZ a v neposlední řadě slouží jako podkladová data pro kartografické výstupy.

Databáze prostorových podrobných bodů získaných z geodetickým měřením je základní datovou bází pro další oblasti geoinformatiky - GIS, DPZ, kartografii, 3D modelování a prostorové vizualizace.

CAD

Zkratkou CAD (Computer Aided Design) se obecně rozumí počítačem podporované navrhování. Označuje také software (nebo obor) pro projektování či konstruování na počítači. Uvedené programy se používají ve strojírenství, stavebnictví, architektuře a také v geodézii. Základní vlastností je tvorba kresby. S postupem doby se systémy CAD a GIS přibližují a tak se setkáváme s různými GIS systémy, které vznikly z CAD.

Pro tvorbu dokumentace používáme program Autodesk Civil 3D [15], který umožňuje mimo jiné tvorbu drátěných modelů objektů, aplikaci textur, vizualizaci [16] a 3D modelování [17].

GIS

Geografický informační systém tvoří základní aplikovanou metodu a zahrnuje dva různé pojmy. V prvním z nich vidíme GIS jako technologii, tj. hardwarové a softwarové vybavení nutné pro vytvoření a provozování druhého - aplikace. GIS jako aplikaci rozumíme informační systém založený na geodatech, který slouží jako podklad v rozhodovacím procesu organizačních jednotek. Geodata jsou prostorové údaje v digitální formě, které se skládají z grafických atributů, negrafických (textových) atributů a relačních údajů [4].

Obecně řečeno, GIS umožňuje vzájemné propojení grafických a tabelárních dat. Jakýkoliv archeologický objekt, který může být vyjádřen ve vektorovém tvaru ve formě bodu, linie či polygonu, s sebou nese další atributové informace a metadata. V prostředí GIS lze tyto objekty dle atributů vzájemně analyzovat, propojovat, integrovat a vytvářet variantní řešení. Objekt může být reprezentován i rastrovým záznamem, který lze analyzovat samostatně, ve skupině nebo ve spojení s jinými formami záznamů.

Projekt geografického informačního systému Abúsír (Abusir GIS Project) je realizován v prostředí programů Arc View 3.2 a ARC GIS 9, firmy ESRI, Corp. Pro rozšíření dovedností programů jsou využívány i extenze, např.: Spatial Analyst, 3D Analyst a Image Analysis. Do prostředí těchto programů jsou importovány data z geodetického měření a zde dále zpracovávána.

V prostředí GIS probíhalo další zpracování sestávající z:

- tvorby jednotlivých grafických tematických vrstev - bod, linie, polygon;
- tvorby databáze k jednotlivým záznamům, přiřazení odpovídajících atributů a propojení na digitální fotografickou databázi;
- tvorba legend a základních grafických výstupů;
- vizualizace v prostředí mapového serveru – <http://mapserver.geolab.cz/website/abusir>.

4.4 Satelitní snímek – nový pohled na archeologické objekty

V archeologické praxi je rozšířeno využívání leteckých snímků a to jak archivních, tak i snímků zachycujících krajinu současnou [18] a [19]. Snímky jsou obvykle pořizovány ve středních měřítcích s vysokým stupněm rozlišení v panchromatickém pásmu a v pásmech multispektrálních. Družicové snímákové systémy se v posledních letech kvalitativně přibližují k leteckým snímkům, zvyšuje se jejich prostorová rozlišovací schopnost a v poměru cena/plocha snímaného území jsou náklady několikanásobně nižší.

Nespornou výhodou družicových systémů je i schopnost snímat území, které nelze z finančních či bezpečnostních aspektů snímkovat pomocí letadla. To je příklad území české archeologické koncese v Abúsíru, který leží v leteckém koridoru, v blízkosti vojenských prostorů a získat letecký snímek je téměř nemožné.

Cílem bylo získat data s vysokou rozlišovací schopností, která by částečně nahradila letecké snímky a proto byl objednan záznam ze systému QuickBird (DigitalGlobe Corp). Družice byla naprogramována na základě námi dodaných parametrů na snímání území od severu k jihu v linii - Abúsír, Sakkára a Dahšúr. Území má rozlohu 65 km² [20] a náhled v aplikaci Zoomify je na adrese [21].

Potvrdilo se, jak cenný družicový záznam je. Ukazuje vzájemné prostorové vztahy a souvislosti mezi současnou strukturou krajiny a archeologickými objekty, je přínosem pro predikci objemu záchranných výzkumů, jejich topografickou lokalizaci a strukturu území s archeologickými objekty. V neposlední řadě jsou interpretovaná družicová data důležitou vrstvou v prostředí GIS a ve spojení s jinými daty (geodetická a geofyzikální měření, terénní rekognoskace, ad.) přinášejí archeologům nové pohledy na zkoumané území. Výsledky interpretace slouží například ke zpětné identifikaci (vytyčení) archeologických objektů v terénu a k mapování rozsáhlého území v egyptské západní poušti.

Satelitní snímek je analyzován v programu pro digitální zpracování obrazu PCI a pomocí extenze Image Analysis v programu ARC GIS 9. Po základní úpravě dat je proveden import do prostředí GIS, kde jsou ve spojení s dalšími topografickými a tématickými tématy prováděny analytické a syntetické úlohy.

4.5 Využití GPS

Globální poziční systémy (GPS) umožňují na základě příjmu signálu s družic určit souřadnice pozorovatele na zemském povrchu. V Egyptě využíváme přijímač GPS v případech, kde není požadována geodetická přesnost, když chybí bodové pole a při požadavku mapovat rozsáhlá území v západní oáze. Zde se provádí základní archeologický *survey*, při kterém se pomocí GPS mapují jak topografické prvky (dostupné jsou pouze mapy v malém měřítku a pro archeologický průzkum nedostačující) tak i archeologické objekty. Stejně jako v Abúsíru, i zde postupně vzniká archeologická mapa.

Pro měření se používá přijímač Trimble GeoExplorer XT, který umožňuje zaměřování bodů, linií nebo polygonů, včetně definice atributů k jednotlivým objektům. Naměřená data se předzpracovávají v programu GPS Pathfinder Office 2.7, následně se provádí *differential correction* pomocí služby Trimble GPS Pathfinder Express (<http://www.gpspathfinderexpress.com>) a korigovaná data jsou exportována do formátu shape file programu Arc View GIS.

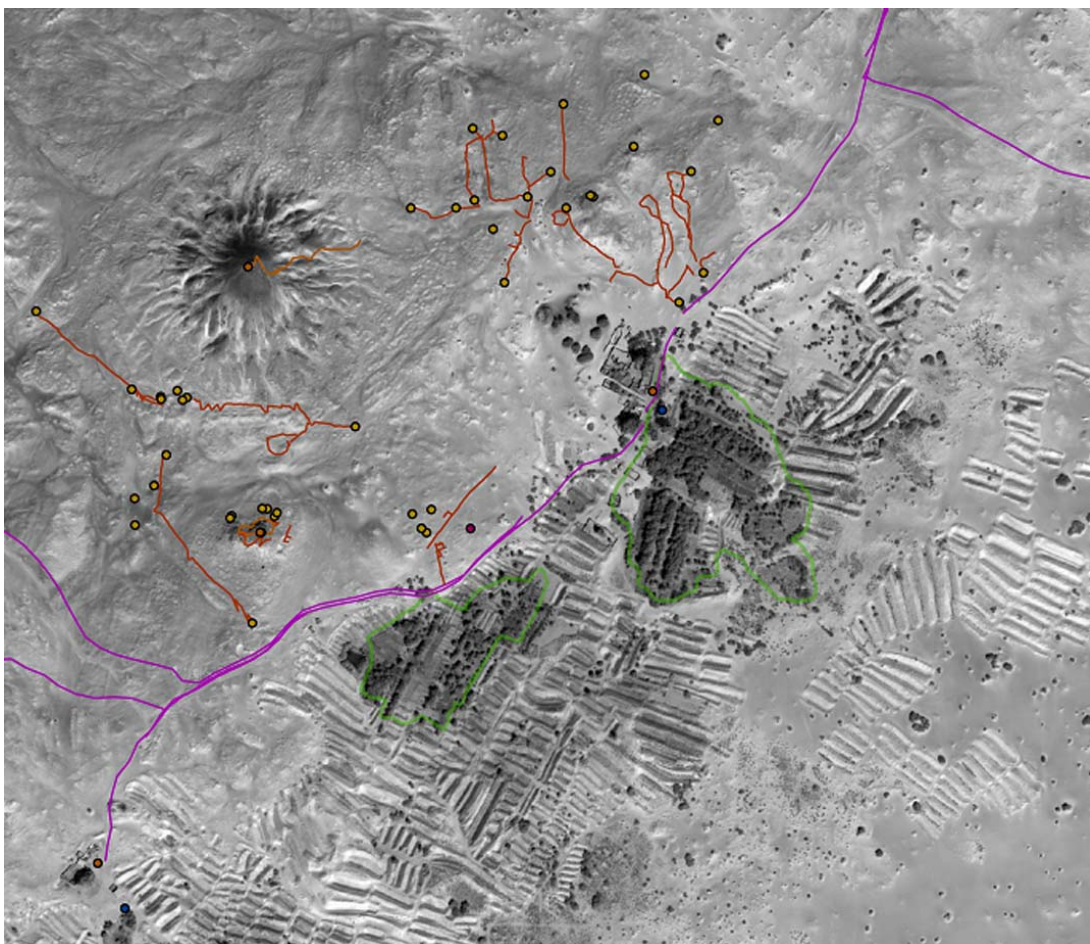
V prostředí GIS jsou GPS data integrována se satelitním záznamem a slouží jako podklad pro tvorbu mapy oázy El-Hajéz v západní poušti – obr. č. 2 a obr. č. 3.

5 Budoucnost geoinformačních technologií v archeologickém výzkumu

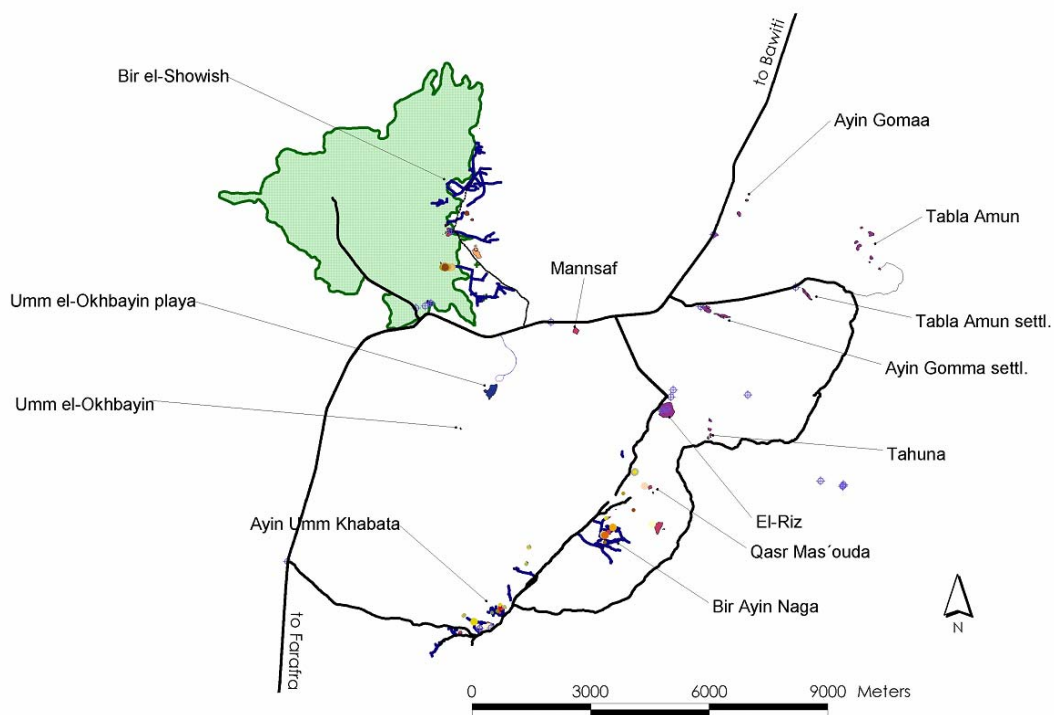
Výsledky ukazují jednoznačný přínos geoinformatiky pro práci archeologů, kteří tak efektivně získávají mnoho dat a informací obecně řečeno z *jiných úhlů pohledu*. Osvědčila se i základní znalost archeologů o použitých metodách, usnadňuje to vlastní spolupráci s geoinformatikem - kladení otázek a hypotéz výzkumu.

V krátkém časovém období bylo aplikováno několik metod a postupů (většina poprvé v archeologickém výzkumu v Egyptě), jejichž výsledky a výstupy jsou již neoddelitelnou součástí archeologické dokumentace.

V rámci obou expedic bylo shromážděno velké množství dat v digitálním či analogovém tvaru a nyní se data postupně třídí a analyzují, vytváří se mapové výstupy, v prostředí GIS se provádí první analýzy a připravují se hodnocení dílčích částí projektu aplikace geoinformačních technologií.



Obr. č. 2 – Výřez snímku se záznamem z GPS – oáza Ayin Umm Khabata



Obr. č. 3 – Mapa oázy El-Hajéz z podkladů měření GPS

Literatura a odkazy

- [1] Projekt GA ČR č. 404/06/0513 - Výzkum egyptské Západní pouště - <http://westerndesert.geolab.cz>
- [2] Bárta, M., Brůna, V., Křivánek, R.: *Research at South Abusir in 2001-2002 – methods and results*. In: *Památky Archeologické XCIV 2003*. ISSN 0031-0506, s. 49 – 82, Praha 2003
- [3] Jeffreys, D. - Tavares, A: *An integrated mapping project for the Saqqara plateau and escarpment*, in Bárta, M., Krejčí, J., eds.,: *The Abusir and Saqqara in the year 2001*, *Archiv orientální*, 27 – 32, Prague, 2000.
- [4] Westcott, K.L., Brandon, R.J.(eds): *Practical Applications of GIS for Archaeologist*. Taylor & Francis, London 2000.
- [5] Chapman, H.: *Landscape Archaeology and GIS*. Tempus Publishing Ltd. ISBN: 978-0752436036, 240 pages, 2006.
- [6] Conolly, J., Lake, M.: *Geographical Information Systems in Archaeology (Cambridge Manuals in Archeology)*. Cambridge University Press, 2006, ISBN: 978-0521797443.
- [7] Wheatley, D., Gillings, M.: *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*. Taylor & Francis, 2002, ISBN 978-0415246408.
- [8] Thustý, J., Vosika, O.: *Hledání ztraceného Jižního chrámu v Nubii geodetickými metodami*. *Geodetický a kartografický obzor*, 9/51/, issue 7, pages 184-189, 1963.
- [9] Vachala, B., Procházka, M.: *Surveying in the Abusir*. *Geotinger Miscellen*, 192 (2003), pp.67 - 82, Göttingen, 2003.
- [10] Vosika, O., Švec, M.: *Geodézie v egyptologii*. *Stavební obzor*, i, 1992, issue 2, pp.18-22, 1992.
- [11] Procházka, J., Švec, M.: *Vývoj geodetické sítě na území české koncese v Abúsíru a jeho výškopisná mapa 1:2000“*, PES č.2, s.144-154, Praha 2003.
- [12] Vomelová, M.: *Vyhodnocení geodetických prací v české archeologické koncesi u Abúsíru v EAR*. Diplom Thesis, ČVUT Praha 1996.
- [13] Procházka, J., Brůna, V. : *Výškopisná archeologická mapa 1:2 000 území české koncese v Abúsíru*. In.: *Pražské egyptologické studie*. Český egyptologický ústav FF UK Praha, 2004, str.121 - 125, ISSN 1214-3189.
- [14] Martinák, V.: *The Survey of the Xth Expedition of the Czechoslovak Institute of Egyptology Charles University*. In: *Preliminary Report on Czechoslovak Excavations in the Mastaba of Ptahshepses at Abusir*, Univerzita Karlova Praha, 1976, pp.39 – 45.
- [15] *Ve spolupráci s firmou DATASYSTEM Teplice, s.r.o.* – <http://www.datasystem.cz>
- [16] *Prezentace 3D modelu terénu a satelitního snímku na* <http://egypt.geolab.cz/abu>
- [17] Beex, W.: *From Excavation drawing to archaeological playground: CAD applications for excavations*. In: *Computer Applications in Archaeology 1993.*, Edited by J. Wilcock and K. Lockyear. Oxford: BAR International Series No. 598, Pp. 101-108
- [18] Gojda, M.: *Letecká archeologie v Čechách*. *Aerial Archaeology in Bohemia*, Prague: Institute of Archaeology, 1997.
- [19] Kuna, M. a kol.: *Nedestruktivní archeologie : teorie, metody a cíle*. Academia Praha, 2004, ISBN: 80-200-1216-8

[20] Brůna, V.: *Satelitní snímek Abúsíru, Sakkáry a Dahšúru. Pražské egyptologické studie. Český egyptologický ústav FF UK Praha, 2003, s. 34 - 37.*

[21] Náhled snímku v prostředí programu Zoomify <http://egypt.geolab.cz/zoom/qb.htm>

Abstract

The Role of geoinformatics in the archaeological works in Egypt

In the recent years, the geoinformatics started to be used even in such conservative fields as archaeology. The author collaborates with the archaeologists since 1980s, and regularly takes part in the archaeological expeditions to Egypt since the year 2001. The paper deals with the application of geoinformatic technologies in the archaeological excavations of the Czech Institute of Egyptology in Egypt.