

Josef Švejnoha

Fotogrammetrická dokumentace archeologických terénních výzkumů

Abstract:

This paper is intended to give brief information about one of the first cases in the Czech Republic, when the newest methods of digital photogrammetry were used, in order to precisely document an archaeological excavation. The focus is on whole workflow, starting with taking of photographs in the field, going through data management and applied software up to creating data outputs. In conclusion some drawbacks are discussed, as well as a few suggestions for the future research.

1. Úvod

Virtuální 3D modely představují pro archeologii nástroj, kterým lze komplexněji uchopit prostorové i formální vlastnosti archeologických pramenů. Přestože je prozatím míra jejich využívání v archeologii poměrně malá, je již zřejmé, že mohou nacházet uplatnění v nejrůznějších kategoriích výzkumu. Na jednom konci spektra tak může stát dokumentace movitých artefaktů, zatímco na druhém například celková virtuální rekonstrukce historické krajiny (KARASIK a SMILANSKY, 2008; GRUEN, 2008). Obecně je možné rozlišit dva případy využití 3D modelů v archeologii. V tom prvním je hlavním účelem přesná dokumentace nějakého fyzického objektu, případně jeho následná analýza, zatímco ve druhém případě je model virtuální rekonstrukcí, vytvořenou na základě archeologické interpretace.

Trojrozměrná dokumentace dnes může být prováděna různými metodami. Pokud se jedná o matematicky snadno definovatelné tvary, jako je většina stojící architektury, lze objekt poměrně přesně popsat s použitím několika desítek či stovek bodů, které mohou být zaměřeny totální stanicí (MALINA, 2008). Detailní dokumentace složitých a nepravidelných objektů již však vyžaduje neselektivní přístup, což znamená, že na objektu je třeba zaměřit řádově tisíce až miliony jednotlivých bodů, které v pravidelném rastru pokrývají a definují celý povrch objektu. K tomuto způsobu dokumentace slouží různé typy 3D skenerů, liší se především konstrukcí, technologickým principem, pracovní vzdáleností a přesností. Se 3D scannery je však spojeno také několik nevýhod, mezi něž patří vysoká pořizovací cena a možnost efektivního použití jednotlivých přístrojů pouze pro určitou velikostní kategorii objektů (BLAIS, 2004).

Dosáhnout detailního modelu povrchu v krátkém čase je možné také při aplikaci některých metod digitální fotogrammetrie. Na rozdíl od 3D skenerů je v tomto případě cena techniky zanedbatelná, fotogrammetricky zpracovávat lze totiž i snímky z digitálních fotoaparátů nejnižší třídy. Rovněž zde není limitován pracovní rozsah a stejný přístroj i software může být použit při dokumentaci keramického zlomku, stejně jako při vytváření modelu terénu z letadla (REMONDINO a EL-HAKIM, 2006). Zmiňované výhody 3D modelování s využitím fotogrammetrie nás vedly k pořízení univerzálního fotogrammetrického počítačového programu Photomodeler Scanner a otestování 3D dokumentace na terénním archeologickém výzkumu. Praktická aplikace měla ukázat případné slabiny použitého dokumentačního postupu, celkově pak mělo být vyhodnoceno, zda je možné detailní fotogrammetrickou 3D dokumentaci považovat za nový efektivní způsob dokumentace archeologické exkavace.

2. Metodika

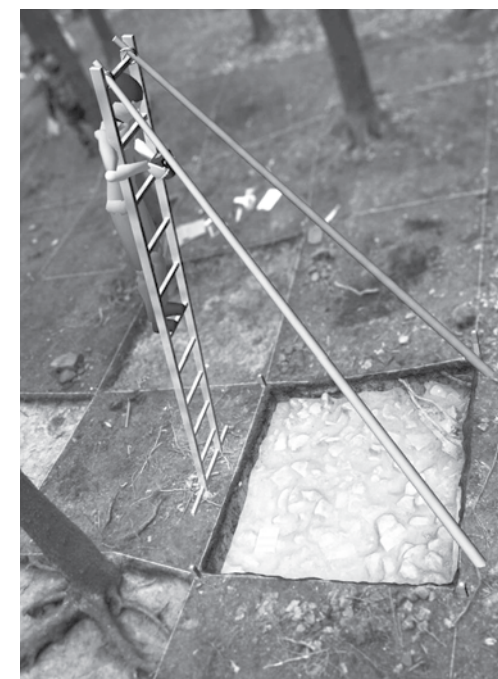
Fotogrammetrická 3D dokumentace archeologického odkryvu byla testována od června do srpna roku 2008 na výzkumu zaniklé středověké vsi Borek, která se nachází asi 2 km severně od Plzně – Bolevce. Povrchovým průzkumem zde o rok dříve byly rozeznány čtyři v řadě uspořádané usedlosti (ROŽMBERSKÝ, VAŘEKA a VESELÁ, 2007). Výkop se zaměřil na usedlost II, na jejíž ploše byly položeny tři sondy 10x10 m, každá o 25 sektorech 2x2 m, přičemž odkryv probíhal v šachovnicové síti po přirozených stratigrafických jednotkách.

Snímkování v terénu bylo provedeno dvěma rozdílnými digitálními fotoaparáty. Větší část snímků pochází z kompaktního fotoaparátu Panasonic Lumix DMC FZ7 a zbytek z digitální zrcadlovky Canon EOS D400d s objektivem o rozsahu ohniska 18–55 mm. U obou přístrojů bylo vždy používáno nejkratší ohnisko, na něž byly také kalibrovány.

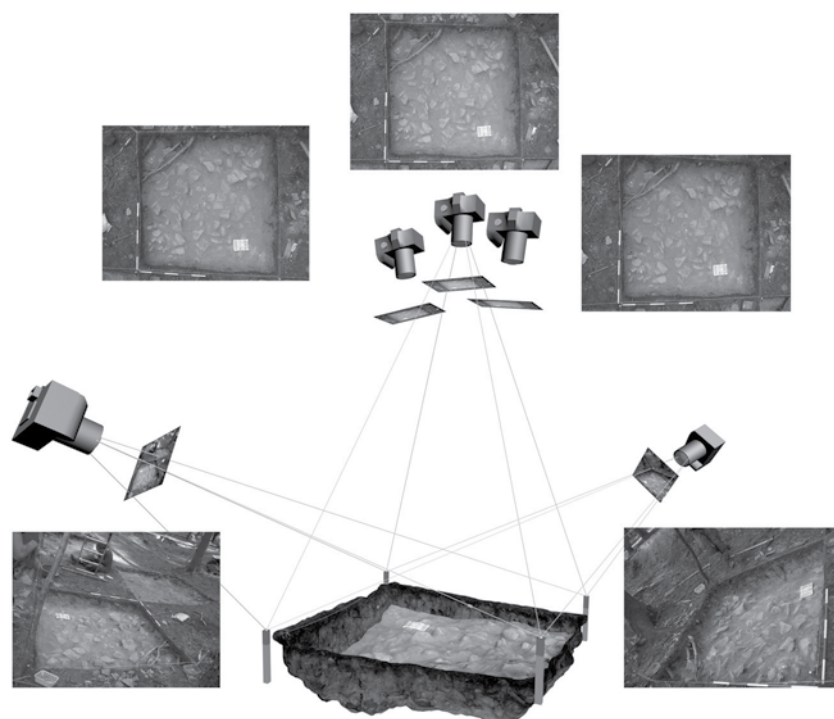
Důležitou součástí fotogrammetrické dokumentace zkoumané plochy je zajištění bodů se známými geodetickými souřadnicemi, podle nichž může být vytvořený model správně absolutně orientován. Protože nebyla k dispozici totální stanice po celou

dobu výzkumu pro průběžné zaměřování vřícovacích bodů, byla při zahájení výzkumu vytvořena a geodeticky zaměřena pravidelná síť stálých vřícovacích bodů, umístěných na kolících, oddělujících jednotlivé sektory.

Dokumentace jednotlivých exkavačních úrovní byla prováděna z přenosné konstrukce, která umožňovala pohodlné snímkování z ruky ze stanoviska přímo nad odkrývaným sektorem (obr. 1). Nejčastěji pořizovaná kombinace snímků se skládala z jednoho svislého snímku nad středem sektoru, dvou svislých snímků posunutých nalevo a napravo, ve vzdálenosti asi 1 m od sebe a dvou nebo tří šikmých snímků, pořízených ze země (obr. 2). Na fotografovanou úroveň se vždy umístilo 5 spojovacích bodů (bílá plastová kolečka o průměru 1,6 cm), sloužících k relativní orientaci snímků. Kromě těchto bodů musely být na snímcích viditelné také minimálně 3 stálé vřícovací body pro absolutní orientaci modelu.



Obr. 1: Konstrukce pro pořizování svislých snímků



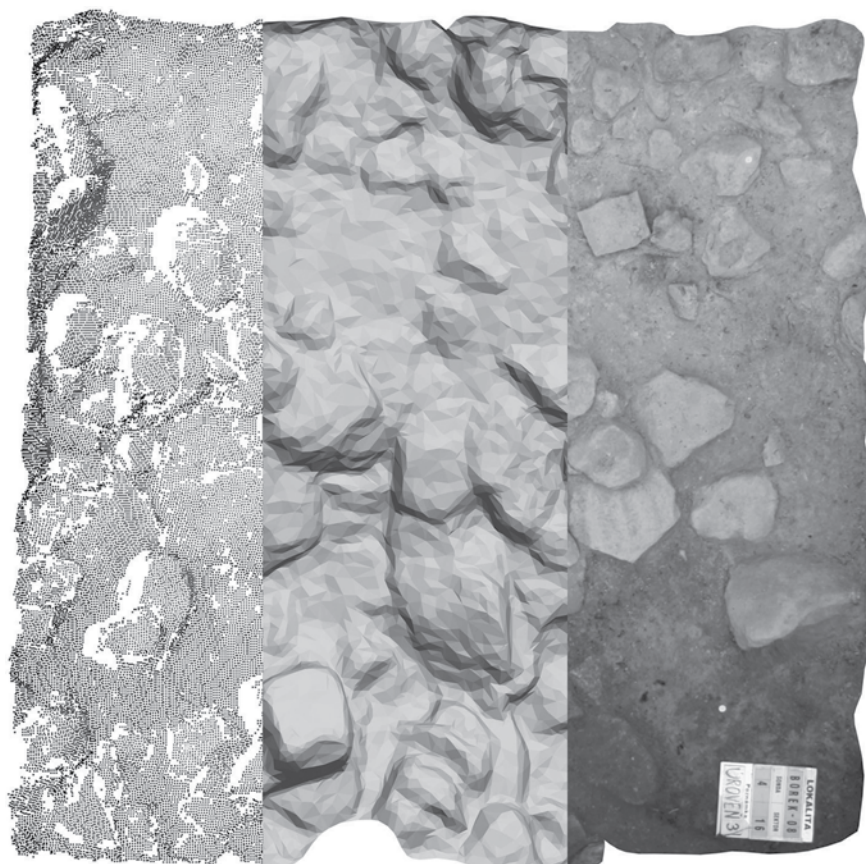
Obr. 2: Nejčastěji pořizovaná konfigurace snímků při dokumentaci jednotlivých exkavačních úrovní sektoru.

Podobným způsobem byly po dosažení podloží dokumentovány i profily, s tím rozdílem, že kvůli lepšímu zachování detailů byl každý dvoumetrový profil snímkován na dvakrát. V některých případech se pořizovala i detailnější dokumentace, zejména u zachovaných kamenných konstrukcí, nebo v místech s kumulací keramiky apod.

První fáze zpracování snímků a tvorby 3D modelu probíhala ve fotogrammetrickém softwaru Photomodeler Scanner (verze 6.3). Zde byla provedena i kalibrace obou fotoaparátů s použitím vytištěného rovinného kalibračního pole. Po označení alespoň šesti shodných vličovacích bodů na minimálně dvou snímcích je program schopen spočítat relativní orientaci snímků i polohu vličovacích bodů. S vyšším počtem snímků stejné situace z různých úhlů dochází ke zpřesnění výpočtu, také je pak snazší odhalit případné chyby v kalibraci fotoaparátu. Kromě průsekové fotogrammetrie, která vždy slouží k základní orientaci snímků, nabízí Photomodeler Scanner také možnost automatické tvorby hustého bodového mračka ze dvou snímků metodou obrazové korelace. Výstup je pak podobný jako z laserového 3D scanneru, přičemž před samotným výpočtem mračka je možné nastavit různé parametry (např. velikost okénka pro výpočet korelačního koeficientu, hustota bodového mračka). Základem úspěšného použití této metody je především dostatečně detailní a variabilní textura modelovaného povrchu, což je však při dokumentaci exkavace téměř vždy splněno. Hustota bodových mračen v tomto případě byla většinou 8 mm při dokumentaci úrovní shora a 4 mm u profilů.

Zpracování vytvořených mračen do podoby polygonového modelu je shodné jako při zpracování dat z 3D scannerů. Program Photomodeler Scanner sice obsahuje základní nástroje pro tento krok, ale po praktických zkušenostech se ukázalo jako efektivnější exportovat bodová mračka do programu Geomagic Studio (verze 10), v němž je možné mít tvorbu modelu pod lepší kontrolou. V tomto softwaru je nejprve provedena úprava bodových mračen, do níž spadá redukce velikosti mračka odstraněním nadbytečných bodů, redukce šumu, ruční výběr a odstranění bodů a řada dalších funkcí. Poté následuje triangulace, která na základě bodového mračka vytvoří polygonový model. Tento model je dále možné pomocí různých nástrojů upravovat. Nejčastěji používané je vyplňování děr, vyhlazení a kvůli snížení datového objemu také redukce počtu polygonů při zachování tvaru povrchu (podrobněji k tomuto tématu viz REMONDINO, 2003).

Hotové polygonové modely byly exportovány do programu 3DStudioMax 9, což je rozšířený 3D grafický a animační software. Jednotlivé části modelu exkavace zde jsou texturovány původními snímky, takže výsledkem je fotorealistický trojrozměrný model se stejným rozlišením textury, jako mají použité výchozí fotografie. V této fázi je již snadné vytvořit ortofotoplán, profil, perspektivní pohled či video, záleží jen na konkrétním účelu požadovaného výstupu. Postup tvorby texturovaného polygonového modelu z bodového mračka je ilustrován na obr. 3.

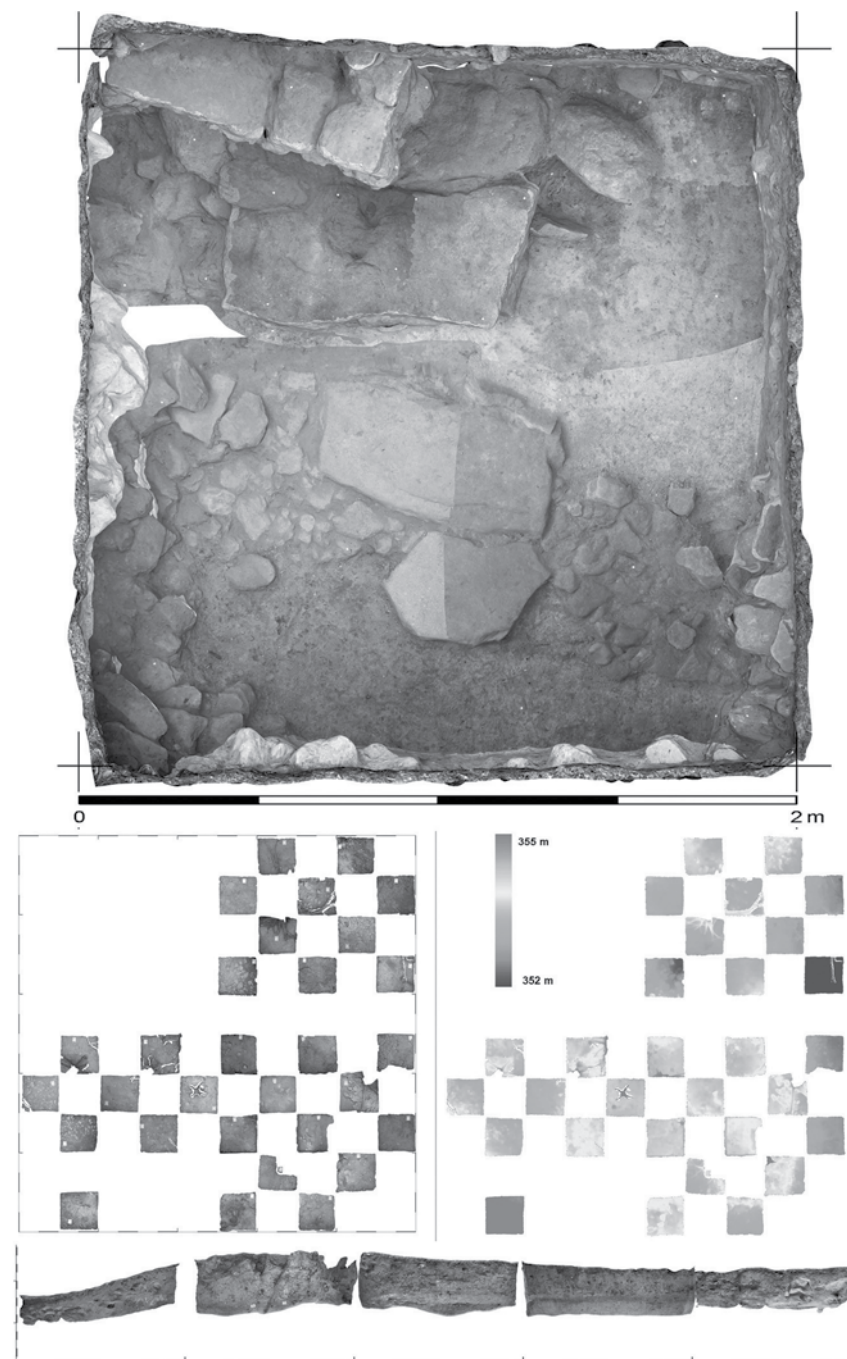


3. Výsledky

Celkem bylo vytvořeno 146 modelů jednotlivých dokumentačních úrovní a u 20 sektorů trojrozměrně dokumentovány profily. Tyto modely pak posloužily k vytvoření ortofotoplánů, průběžných profilů, výškopisných rastrů a perspektivních pohledů (obr. 4).

Obr. 3: Postup tvorby 3D modelu: vlevo bodové mračno, uprostřed polygonový model, vpravo texturovaný polygonový model.

Obr. 4: Ukázka výstupů, vytvořených ze 3D modelu: nahoře příklad detailněji modelovaného sektoru s fragmentem dláždění, uprostřed plán jedné sondy (č.2) a jeho výškopisný rastr, dole profil této sondy.



Dosaženou přesnost 3D modelu nebylo možné jednoznačně určit. Pokud by měla být provedena analýza odchylek modelu od původního objektu, bylo by nutné vytvořit další model, nejlépe pomocí přesného 3D scanneru a oba modely následně porovnat. V tuto chvíli je možné pouze shrnout eventuelní zdroje nepřesností a uvést jejich předpokládanou velikost. Do první skupiny patří odchylky, způsobené při transformaci modelu do absolutních rozměrů a geodetických souřadnic. Zde se nejvíce projevila nevhodně zvolená síť pevných bodů, umístěných na dřevěných kolících, z nichž se některé v průběhu výzkumu uvolnily a změnily svou pozici. Maximální vzniklou odchylku lze odhadovat na cca 4 cm. Proto lze do budoucna doporučit umístování vlíčovacích bodů na stabilnější objekty (v lesním prostředí jsou vhodné silné kořeny stromů). Druhý typ nepřesností, který je spíše lokálního charakteru, souvisí s použitou fotogrammetrickou metodou. Jedná se o mezery, vzniklé v místech se slabou texturou povrchu, nebo v oblastech, které nebyly při snímkování viditelné z důvodu zakrytí kamenem, kořenem apod. Tyto mezery byly sice ve fázi úpravy polygonového modelu většinou vyplněny, ale jednalo se o interpolaci povrchu, zatímco jeho skutečný tvar mohl být poněkud odlišný. Vytvoření přesnějšího modelu by bylo možné při snímkování z různých úhlů, tak, aby byla pokryta všechna slepá místa, ovšem za cenu vyšší časové náročnosti při fotogrammetrickém zpracování snímků.

4. Diskuse a závěr

Použitý dokumentační postup je možné hodnotit jako efektivní a lze ho doporučit k dalším praktickým aplikacím. Hlavními nedostatky byla již zmiňovaná nevhodně zvolená síť pevných bodů a dále používání modré plachty ke stínění před přímým slunečním světlem. V důsledku toho došlo na části fotografií k barevnému zkreslení, které sice bylo při zpracování snímků částečně odstraněno, nicméně věrnějšího barevného podání by se dalo lépe docílit používáním bílé plachty a kalibrací barevného vyvážení podle ideálně šedé tabulky, umístované do záběru.

Prozatím podrobněji neřešené zůstalo další využití virtuálního 3D modelu exkavace. Dvojměrné plány a profily jsou totiž jen jednou z více možností využití, které virtuální 3D model nabízí. Například by bylo možné použít polygonový model jako podklad pro zobrazení klasické kreslené dokumentace ve 3D prostoru, provést přesný výpočet objemu jednotlivých vrstev, anebo přímo na dokumentované situaci virtuálně rekonstruovat původní podobu domu. Používání 3D modelů při dokumentaci a zpracování terénního výzkumu otevírá pro archeologii zcela nové možnosti a právě testování různých způsobů aplikace těchto modelů je směr, kterým by se další výzkum měl ubírat.

Poděkování

Tento článek vychází z diplomové práce vytvořené na katedře archeologie FF ZČU pod vedením PhDr. Ladislava Šmejdy, Ph.D. Vznikl za podpory projektu specifického výzkumu FF ZČU s názvem „Fotogrammetrická dokumentace archeologických památek“.

Literatura:

- BLAIS, F. (2004): Review of 20 Years of Range Sensor Development. *Journal of Electronic Imaging* 13 (1), 231–240.
- GRUEN, A. (2008): Image-based 3D recording and modeling of landscapes and large Cultural Heritage sites. Paper presented at 'ARCHAIA. Training Seminars on Research Planning, Conservation, Characterization and Management in Archaeological Sites', 15–17 May 2008, Bologna, Italy.
- KARASIK, A., SMILANSKY, U. (2008): 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. *Journal of Archaeological Science* 35 (5): 1148–1168.
- MALINA, O. (2008): Poznámky k možnostem 3D rekonstrukcí v archeologii, in: Macháček, J., ed., *Počítačová podpora v archeologii 2*, s. 212–216. Brno – Praha – Plzeň: Ústav archeologie a muzeologie, Masarykova univerzita – Archeologický ústav AV ČR – Katedra archeologie, Západočeská univerzita.
- REMONDINO, F. (2003): From point cloud to surface: the modeling and visualization problem. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV-5/W10*.
- REMONDINO, F., EL-HAKIM, S. (2006): Image based 3D modelling: a review. *The Photogrammetric Record* 21, 269–291.
- ROŽMERSKÝ, P., VAŘEKA, P., VESELÁ, R. (2007): Zaniklá středověká vesnice Borek v Plzni-Bolevci, in: *Sborník Západočeského muzea v Plzni, řada Historie XVIII*, s. 175–191. Plzeň.