

JAN PACINA A VLADIMÍR BRŮNA

Sběr prostorových dat s využitím bezkontaktních metod

Úvod

Sběr prostorových dat je jedním z hlavních součástí jakéhokoli terénního výzkumu. V rámci definované oblasti je možné získat prostorová data různými způsoby s rozdílnou mírou přesnosti, rychlosti jejich sběru a kvality. Mezi tradiční způsoby sběru prostorových dat patří metody klasické geodézie – podrobné měření (s využitím totální stanice) nebo metody využívající GNSS (Global Navigation Satellite System). Tyto tzv. kontaktní metody (body se měří fyzicky přiložením GNSS přijímače, případně výtyčky s odrazovým hnaním přímo na měřeném bodě) určují prostorovou polohu jednotlivých bodů s vysokou přesností (v řádu centimetrů), nicméně vlastní sběr dat v rámci větších oblastí je časově velmi náročný. Kontaktní metody jsou vhodné zejména k měření podrobného polohopisu a výškopisu, k zaměření objektů, k tvorbě povinných spojnic v terénu, pro určení polohy vlivových bodů ad.

Na druhou stranu bezkontaktní metody, mezi které patří např. letecká a pozemní fotogrammetrie, dálkový průzkum Země, terestrické a letecké laserové skenování (LIDAR), umožňují v relativně krátkém čase nasnímat velkou oblast s vysokou hustotou prostorových bodů. Typickými výstupy z těchto metod jsou ortofotosnímky, mračna bodů z laserového skenování, digitální modely povrchu (DMP) a digitální modely reliéfu (DMR). Zatímco digitální model povrchu, který obsahuje všechny objekty, které se na zemském povrchu nacházejí (stromy, domy, sloupy VN, ...), zobrazuje digitální model reliéfu pouze „holou zem“. Porovnání praktického využití kontaktní a bezkontaktní metody při terénním mapování je uvedeno např. v Siebert/Teizer 2014 – viz tabulka č. 1.

Metody bezkontaktního sběru dat byly v rámci projektu ArchaeoMontan testovány v oblasti zaniklé obce Jilmová. Celá oblast je pokryta LIDAR snímkováním s hustotou 6 bodů/m², bylo zde provedeno

metoda sběru Methode der Erfassung	RTK GPS měření RTK-/GPS-Messungen	fotogrammetrické mapování z bezpilotního prostředku Fotogrammetrische Kartierung aus einem unbemannten Luftfahrzeug
rozloha oblasti Flächengröße	60.000 m ²	60.000 m ²
čas pro přípravu Vorbereitungszeit	30 min	40 min
čas pro sběr dat Zeit für die Datenerfassung	540 min	15 min
čas pro zpracování Zeit für die Aufarbeitung	60 min	150 min
čas celkem Zeit insgesamt	630 min	150 min
počet bodů Zahl der Punkte	1800	5.500.000
hustota bodů Punktdichte	0,03 bodů/m ² 0,03 Punkte/m ²	92 bodů/m ² 92 Punkte/m ²
výsledky Ergebnisse	interpretovaný model povrchu Interpretiertes Geländemodell	digitální model povrchu, ortofoto Digitales Geländemodell, Orthobilder

Tab. 1. Porovnání metod sběru dat (Siebert/Teizer 2014).

Tab. 1. Vergleich der Methoden der Datenerhebung (nach Siebert/Teizer 2014). RTK-Vermessung: Real Time Kinematic.



Obr. 1. Oblast bývalé obce Jilmová, okr. Chomutov, žlutě vyznačeny rekonstruované půdorysy budov z roku 1953.

Abb. 1. Gebiet der Wüstung Ulmbach (Jilmová, Bez. Komotau). Die gelben Markierungen bezeichnen die rekonstruierten Grundrisse der Gebäude von 1953.

snímkování z draka – Kite Aerial Photography (KAP) a dále také snímkování z bezpilotního prostředku – Unmanned Aerial Vehicle (UAV). S ohledem na charakter zkoumané oblasti byl výzkum zaměřen primárně na analýzu, rekonstrukci a identifikaci vývoje struktury osídlení od roku 1840 do současnosti.

Zájmová oblast Jilmová

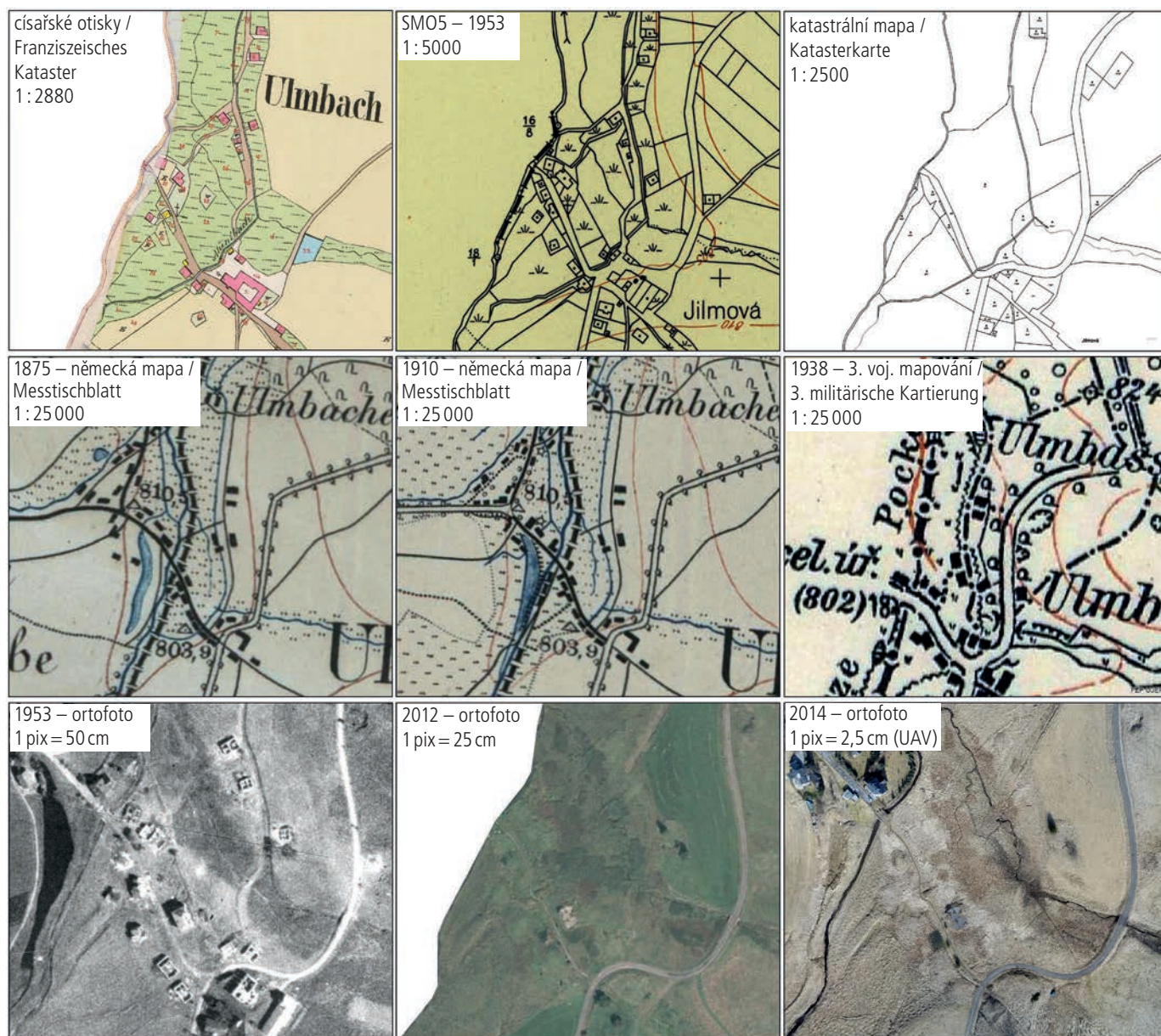
Obec Jilmová, německy nazývána Ulmbach, ležela v nadmořské výšce kolem 800 m n. m. zhruba 3,5 km severozápadně od Hory Svatého Šebestiána a z levé strany byla lemována potokem Černá, který zároveň tvoří státní hranici s Německem. Tato lokalita je ukázkový příklad intenzivního vlivu politické situace na osídlení Krušných hor. Vesnice Jilmová byla založena v 16. století a vyvíjela se souběžně s vesnicí Satzung na německé straně hranice. V roce 1880 bylo v Jilmové 20 domů a 198 obyvatel. Krátce před 2. světovou válkou se počet domů zvýšil na 22, ale počet obyvatel se snížil na 125. Po skončení 2. světové války, kdy bylo odsunuto německé obyvatelstvo, se počet obyvatel ještě více snížil, a to na pou-

hých 21 občanů. V 50. letech 20. století se celá oblast stala pohraničním pásmem a z vesnice Jilmová zbyla pouze hájovna se třemi obyvateli. V současné době je v místě bývalé obce pouze rozsáhlá louka se zbytky původního osídlení. Zájmová oblast je ukázána na obr. č. 1.

Nové metody pro bezkontaktní sběr dat (zejména LIDAR a UAV) skýtají velký potenciál pro identifikaci a evidenci archeologických lokalit a pro jejich následnou dokumentaci. Jmenovaná lokalita byla zvolena pro testování metod LIDAR a UAV se zaměřením na identifikaci reliktního osídlení a podrobnou analýzu reliéfu terénu. V rámci identifikace zbytků osídlení byly zpracovány i staré mapy (české a německé), které slouží jako podklad pro identifikaci reliktního osídlení v terénu.

Zpracované podkladové mapy

Pro analýzu časoprostorového vývoje struktury osídlení jsou primárně používány dva typy zdrojových dat – staré mapy a letecké snímky (historické a recentní). Staré mapy poskytují detailní topografické a tematické informace o struktuře krajiny, jejím



využívání a rozložení osídlení. V rámci této oblasti byly zpracovány následující mapy:

- povinné císařské otisky stabilního katastru (1 : 2880),
- současné katastrální mapy (1 : 2500),
- státní mapa odvozená v měřítku 1 : 5000 (katastrální složka),
- mapy 3. vojenského mapování (1 : 25 000), reambulované v roce 1938,
- německé topografické mapy (Äquidistantenkarte a Messtischblätter) v měřítku 1 : 25 000 z roku 1875, 1910 a 1924.

Úprava starých mapových děl před vlastní aplikací se skládá z několika částí. Všechny výše uvedené mapy bylo nutné georeferencovat (umístit do souřadnicového systému) a ručně vektorizovat vybrané

prvky. Georeferencování map bylo prováděno různými způsoby, protože každá mapa vyžaduje specifický přístup. Pro všechny mapy byl zvolen jednotný souřadnicový systém S-JTSK. Německé mapy jsou nativně vytvořeny v souřadnicovém systému Gauss-Krüger Zone 5 a do systému S-JTSK byly transformovány s využitím definovaných transformačních rovnic v prostředí geografického informačního systému (GIS). Více o zpracování starých map je uvedeno např. v Cajthaml 2012. Ukázka zpracovaných map je na obr. č. 2.

Příprava pro sběr prostorových dat pomocí bezkontaktních metod

Sběr prostorových dat pomocí LIDAR technologie nevyžaduje standardně podpůrné terénní měřické práce. Nosič laserového skeneru (v našem případě letadlo) je vybaven velmi přesným GNSS přijímačem,

Obr. 2. Ukázka zpracovaných dat z oblasti Jilmová.
Abb. 2. Beispiele aufbereiteter Karten aus dem Raum Ulmbach.



Obr. 3. Vlíčovací body, jejich zaměření, stabilizace a identifikace na leteckém snímku.

Abb. 3. Passpunkte, ihre Vermessung, Stabilisierung und Identifizierung auf einer Luftaufnahme.

který neustále určuje prostorovou polohu skeneru (resp. jeho ohniska). Výsledkem po základních úpravách je mračno prostorových bodů georeferencované v souřadnicovém systému (S-JTSK). Pro další práci s velkým objemem dat je podmínkou výkonný hardware a příslušné programové vybavení.

Příprava pro snímkování pomocí metody KAP a UAV vyžaduje jednoduché terénní práce, kdy jsou v rámci zájmové oblasti rovnoměrně rozmístěny a stabilizovány vlíčovací body. Prostorová poloha těchto bodů je určena metodou RTK-GPS s polohovou přesností 1–2 cm nebo pomocí geodetické totální stanice, zejména v případě, kdy je v daném území špatný GPS signál (např. vlivem vegetace). Vlívovací body jsou opatřeny signalizačním terčem, aby byly v pořízených snímcích snadno identifikovatelné. Při následném zpracování tyto body slouží k orientaci snímků na zemském povrchu. Ukázka rozložení vlíčovacích bodů, včetně jejich zaměření,

signalizace a vizualizace v rámci leteckého snímku, je na obr. č. 3.

Sběr dat pomocí technologie KAP

Jednoduchá a finančně dostupná je metoda snímkování pomocí upoutaného draka, tzv. KAP, která se úspěšně používá v archeologii (Aber et al. 2000; Bitelli et al. 2001; Brůna 2013; Żurawski 1993a; týž 1995). Pro snímkování modelové lokality byl použitý jednošňůrový drak Elliot Rhombus Mega Power Sled o rozměrech 300 × 170 cm, se šňůrou dlouhou cca 200 m. Na vodící šňůru byl umístěn ve speciálním závěsu držák fotoaparátu, který byl upraven pro přístroj Canon PowerShot D10. Jde o kompaktní fotoaparát, který je voděodolný a podle údajů výrobce snese běžné nárazy při pádu na zem, je prachotěsný a pracuje při vysokých i nízkých teplotách. Velikost čipu je 1/2,3" (CCD)/12,1 Mpx. Dobíjecí baterie vydrží 3–4 hodiny snímkování a na SD kartu je

Obr. 4. Drak pro snímkování KAP a závěs pro fotoaparát.

Abb. 4. Fesseldrachen für die Kite Aerial Photography-Aufnahme und Aufhängevorrichtung für die Kamera.





možno uložit až 4500 snímků při maximálním rozlišení a velikosti 3,5 MB ve formátu JPEG. Drak včetně speciálního závěsu na fotoaparát je zobrazený na obr. č. 4.

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

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

Po vlastním terénním snímkování následuje zpracování pořízených záběrů, kdy se nejprve odstraní neostře záběry a také ty, které mají chybný úhel záběru nebo zobrazují území mimo zájmovou

oblast. Po prvním výběru následuje kontrola detailní ostrosti při zvětšení v prostředí počítače a provede se další výběr snímků.

Vytřídný soubor snímků se může využít pro:

- 1) vytvoření fotomozaiky a následně po georeferencování tvorbu fotoplánu, k čemuž slouží celý soubor fotografií, které se vzájemně překrývají a pomocí metody průsekové fotogrammetrie se v programu PhotoScan firmy Agisoft vytvoří jednotlivé výstupy (fotoplán, digitální model terénu ad.);
- 2) pro výběr snímků dle obsahu, kdy se vyhodnocuje, zda snímky zobrazují kompletní objekty, nebo jen jejich části a zda jsou provedené s přibližně kolmou osou záběru. Toto bylo důležité pro další zpracování. Protože kvalita obrazu odpovídá použitému fotoaparátu (rozlišení, zkraslení, zachycení obrazu atd.), byly snímky, které odpovídaly požadavkům, dále upravovány v programu Adobe Photoshop.

Obr. 5. Ukázka výstupu ze snímkování KAP.

Abb. 5. Beispiel eines Ergebnisses der Methode Kite Aerial Photography.



Obr. 6. Okto-kopter SteadiDrone, osazený termální kamerou Optris PI.

Abb. 6. Oktokopter SteadiDrone mit Thermalkamera Optris PI.

Obr. 7. Porovnání ortofoto-snímku z volně dostupných dat poskytovaných ČÚZK a ze zpracování metody UAV z oblasti Jilmová.

Abb. 7. Vergleich eines Orthofotos einer vom Tschechischen Vermessungs- und Katasteramt zur Verfügung gestellten Aufnahme mit einer Aufnahme durch das Unmanned Aerial Vehicle im Raum Ulmbach.



Následná práce s jednotlivými snímky spočívala v jejich vizuální interpretaci a identifikaci zaniklých budov a cest v území za pomoci k ruce přiložených map, díky nimž se dalo lépe orientovat a snadněji identifikovat jednotlivé záchytné body. Pomocí identifikovaných záchytných bodů se v prostředí programu Photoshop zvýraznily a dokreslily jednotlivé půdorysy zaniklých domů. Ukázka výstupu identifikovaných zaniklých budov je na obr. č. 5.

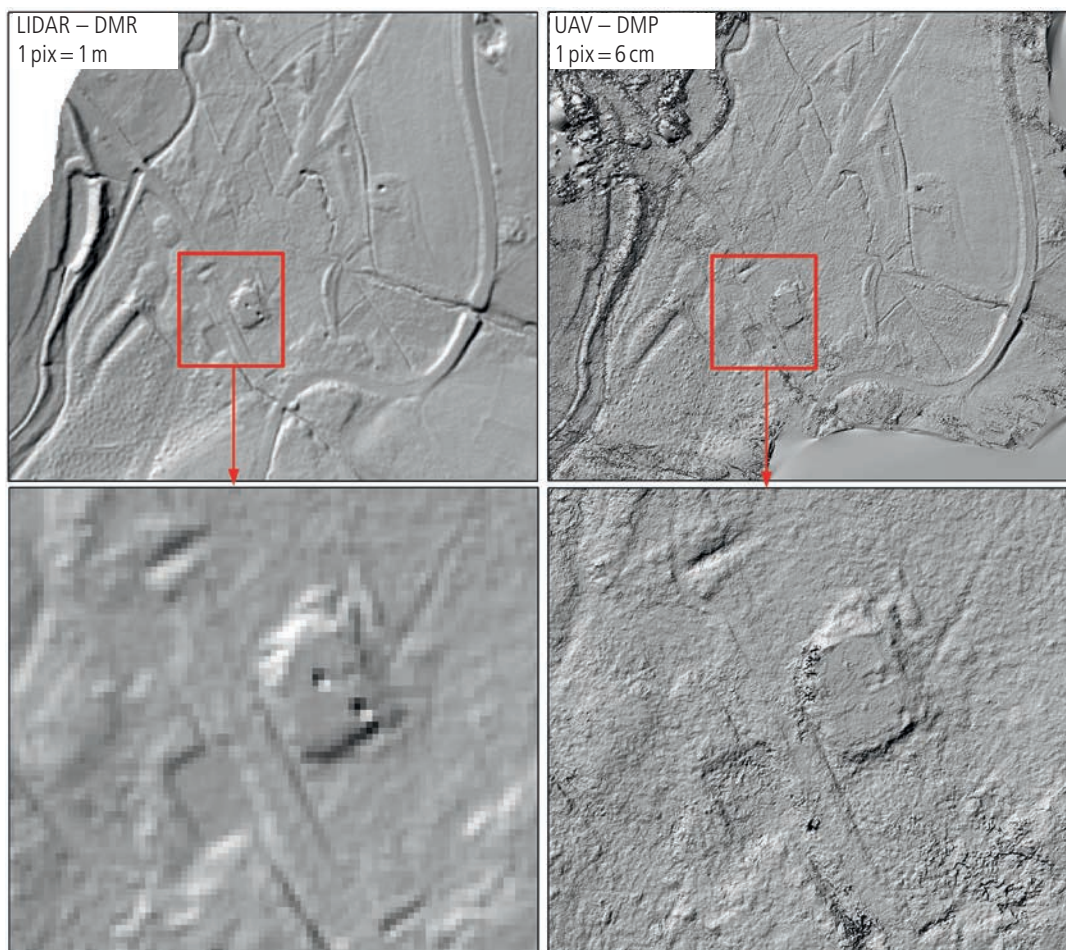
Sběr dat pomocí technologie UAV

Jak bylo uvedeno na začátku článku, sběr prostorových dat prostřednictvím bezkontaktních metod je efektivnější než sběr dat pomocí metod kontaktních (Siebert/Teizer 2014). Pro tento účel jsou velmi vhodné bezpilotní prostředky – UAV. V rámci projektu ArchaeoMontan pracujeme se systémem Micro-UAV (Sládek/Rusnák 2013), který je osazen fotoaparátem Sony NEX 7. UAV může obecně nést téměř libovolný senzor (pouze s ohledem na váhu a napájení) – klasický fotoaparát nebo kameru, multispektrální a hyperspektrální senzory, termální kameru, snímač LIDAR nebo velmi přesnou GNSS. Výhodou systémů UAV jsou relativně nízké

pořizovací a provozní náklady v porovnání s klasickým letadlem, flexibilita a možnost opakovaného snímání zájmové oblasti v různých časových obdobích (Siebert/Teizer 2014). Na obr. č. 6 je zobrazen okto-kopter SteadiDrone, osazený termální kamerou Optris PI, použitý při snímání oblasti.

Nesený fotoaparát/senzor je připevněn na stabilizovaném držáku (tzv. *bimbal*), který zajišťuje neustálou vodorovnou pozici snímače při leteckých manévrech a poryvech větru. Operátor může měnit náklon a otočení kamery tak, aby se vždy snímal objekt zájmu. Získané snímky jsou následně zpracovány s pomocí softwaru PhotoScan firmy Agisoft do podoby ortofotosnímků a DMP. S ohledem na kvalitu snímače a výšku letu je možné získat ortofoto až o rozlišení 1 pixel = 1,5 cm. Ortofotosnímky získané metodami klasické letecké fotogrammetrie od komerčních společností mají rozlišení maximálně 1 pixel = 12,5 cm (Geodis).

Na obr. č. 7 je ukázáno porovnání volně dostupného ortofotosnímku ze serveru Českého ústavu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK) s rozlišením 1 pixel = 25 cm a ortofotosnímku získaného ze snímkování UAV. Zde je rozlišení 1 pixel = 2,5 cm.



Obr. 8. Ukázka zpracovaných dat ze snímkování LIDAR a UAV z oblasti Jilmová.

Abb. 8. Beispiel aufbereiteter Daten einer LIDAR-Befliegung und eines Unmanned Aerial Vehicle im Raum Ulmbach.

Sběr výškových dat

Technologie LIDAR (Light Detection And Ranging) je relativně nová metoda sběru mračen prostorových bodů pomocí leteckých nebo pozemních laserových skenerů. Velká výhodou metody LIDAR spočívá v množství odrazů laserového paprsku, což umožňuje filtrovat získané body např. pouze na holý terén (tzv. *base ground*) nebo na terén s různou výškovou úrovní vegetace. V rámci této lokality jsou použity LIDAR data o různé hustotě a přesnosti.

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5 × 5 m). Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 4G je určen k analýzám terénních poměrů regionálního charakteru a rozsahu. DMR 4G byl získán z ČÚZK pro celou oblast Ústeckého kraje.

Mnohem podrobnější LIDAR data byla získána v rámci projektu ArchaeoMontan se zaměřením na identifikaci středověké těžby a jiné antropogenní zásahy v krajině. Lokalita Jilmová leží v severozápad-

ním rohu nasnímané oblasti, a tak můžeme i tato data použít pro srovnávací analýzy. Data byla získána s hustotou 6 bodů/m² s využitím tzv. full-waveform laseru (neomezený počet odrazů laserového paprsku) se střední polohovou chybou 0,15 m ve výšce a 0,30 m v poloze.

Další výšková data se dají odvodit ze snímků pořízených UAV (popř. i KAP). Využití pro identifikaci reliktní osídlení nebo dalších archeologických objektů je možné pouze v rámci bezlesých oblastí. Výsledný DMP v závislosti na vstupních datech a kvalitě zpracování může mít velikost pixelu až 1,5 cm. Ukázka zpracovaných dat ze snímkování LIDAR a UAV je na obr. 8.

Zhodnocení a závěr

Bezkontaktní metody sběru dat mají, nejen pro archeologickou praxi, velký informační potenciál. Snímkování pomocí UAV je flexibilní, v porovnání s leteckou fotogrammetrií není nákladné a je ho možné aplikovat všude tam, kde to legislativa dovolí. Ve výsledku pak získáváme nejen šikmé snímky, které poskytují pohled z výšky na zájmovou lokalitu, ale při využití výpočetních stanic a specializovaných programů je z těchto dat možné získat

ortofotosnímky a digitální modely povrchu. Tato data mohou být následně analyzována v prostředí geografických informačních systémů. Bezpilotní prostředky však mohou nést i jiné senzory než klasický fotoaparát. Při použití multispektrální nebo termální kamery je možné identifikovat archeologické struktury, které zůstávají na klasické fotografii téměř nebo úplně skryté.

Důležitý přínos při archeologickém výzkumu má i skenování technologií LIDAR. Tento sběr dat pomocí laserového paprsku má oproti UAV velkou výhodu v tom, že laserový paprsek prochází vegetací až na zemský povrch – z těchto dat jsme tedy schopni zjistit tvar zemského povrchu (včetně možných archeologických reliktů), který je ukrytý pod vegetací. Nevýhodou leteckého laserového snímání je jeho vysoká cena.

Všechny tyto metody přinášejí oproti klasickému kontaktnímu sběru dat mnoho výhod a jejich využití je závislé pouze na schopnostech a zkušenostech operátora. Nabízejí však trochu jiný pohled na realitu, který se dá využít v mnoha oborech lidské činnosti.

Na závěr je důležité zdůraznit potřebu vzájemného propojení jmenovaných metod, neboť jednotlivé metody zkoumají jeden a ten samý objekt: krajinu – krajinný prostor. Žádná z metod by neměla být izolovaná a výsledky interpretace by měly být porovnávány s dalšími datovými zdroji. Nedílnou součástí využívání nových metod sběru prostorových dat je verifikace dosažených výsledků. A důležitá je vzájemná spolupráce archeologů a geoinformatiků při interpretaci dat.

Prameny

- ČÚZK: Digital Terrain Model of the Czech Republic of the 4th generation (DMR 4G). Accessible at: <http://geoportal.cuzk.cz/> [cit. 2013-05-12].
- Geodis: Ortofotomapa ČR. <http://sluzby.geodis.cz/produkty/barevna-ortofotomapa> [cit. 2014-03-03].

Literatura

- Aber et al. 2000: J. S. Aber/I. Marzoff/J. B. Ries, *Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications* (Amsterdam et al. 2000).
- Bitelli et al. 2001: G. Bitelli/M. Unguendoli/L. Vittuari, *Photographic and photogrammetric archaeological surveying by a kite system*. In: J. Alpuente et al. (eds.), *Proceedings 3rd International Congress on "Science and Technology for the safeguard of cultural heritage in the mediterranean basin"*. Alcalá de Henares, 9–14 July 2001 (Alcalá de Henares 2001) 538–543.
- Brůna 2013: V. Brůna, *Využití KAP (Kite Aerial Photography) při dokumentaci výzkumu v Abúsíru*. *Pražské egyptologické Stud.* XI, 2013, 37–43.
- Cajthaml 2012: J. Cajthaml, *Analysis of old maps in digital environment on the example of Müller's map of Bohemia and Moravia* (Praha 2012).
- Siebert/Teizer 2014: S. Siebert/J. Teizer, *Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system*. *Automation in Construction* 41, 2014, 1–14.
- Sládek/Rusnák 2013: J. Sládek/M. Rusnák, *Nízkonákladové mikro-uav technologie v geografii (nová metoda zberu priestorových dát) [Low cost micro-UAV technologies in geography (new methods of spatial data collection)]*. *Geogr. Journ.* 65, 2013, 269–285.
- Żurawski 1993: B. Żurawski, *Low altitude aerial photography in archaeological fieldwork: the case of Nubia*. *Arch. Polona* 31, 1993, 243–256.
- 1995: *From Jebel Moya to Old Dongola. 80 years of aerial photography in Sudan*. In: J. Kunow (Hrsg.), *Luftbildarchäologie in Ost- und Mitteleuropa. Aerial Archaeology in Eastern and Central Europe*, Potsdam: Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte. *Forsch. Arch. Land Brandenburg* 3 (Potsdam 1995) 305–315.

JAN PACINA UND VLADIMÍR BRŮNA

Erfassung von Geodaten mithilfe von nichtinvasiven Messmethoden

Einleitung

Die Erfassung von Geodaten ist ein grundlegender Bestandteil jeder Geländeerkundung. Geodaten können innerhalb eines festgelegten Raumes anhand unterschiedlicher Herangehensweisen erfasst werden, die ein unterschiedliches Maß an Genauigkeit, Geschwindigkeit ihrer Erfassung und Qualität aufweisen. Zu den traditionellen Formen

der Geodatenerfassung gehören die Methoden der klassischen Vermessung – detailliert mit einer Totalstation oder mit dem Positionierungssystem GNSS (Global Navigation Satellite System). Mithilfe dieser invasiven Messmethoden (die Punkte werden physisch durch Aufsetzen eines GNSS-Empfängers bzw. eines reflektierenden Prismas auf dem Messpunkt direkt vermessen) wird die Lage der einzel-