

Gojda, Martin

Dálkový průzkum a jeho proměny v oblasti detekce a mapování archeologického dědictví

Studia archaeologica Brunensia. 2021, vol. 26, iss. 2, pp. 5-28

ISSN 1805-918X (print); ISSN 2336-4505 (online)

Stable URL (DOI): <https://doi.org/10.5817/SAB2021-2-1>

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/144889>

License: [CC BY-SA 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Access Date: 16. 02. 2024

Version: 20220831

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

Dálkový průzkum a jeho proměny v oblasti detekce a mapování archeologického dědictví

Remote sensing and its changing ways to archaeological sites detection and mapping

Martin Gojda

Abstrakt

Současný dynamický vývoj dálkového průzkumu Země významně obohacuje také archeologický výzkum pravěkého a historického osídlení z výšky, a to především v heuristice (detekce a fotografická dokumentace dosud nevidovaných ploch s nemovitými archeologickými prameny v případě aktivního přístupu, analýzy a interpretace leteckých měřických snímků a družicových dat v případě využívání na internetu veřejně dostupných ortofotomap) a v navazujícím mapování a tvorbě plánů nově identifikovaných dokladů minulých sídelních aktivit. Příspěvek přináší stručný přehled o technických inovacích a možnostech v obou uvedených krocích výzkumného procesu a informuje o tom, jak je v pražském Archeologickém ústavu AV ČR v současnosti realizováno zpracování leteckých fotografií (pořizovaných v letech 1992–2016 během aktivního leteckého průzkumu) do podoby digitálních ortorektifikovaných a georeferencovaných map (plošně rozsáhlá území se stopami minulých sídelních aktivit zviditelněných převážně prostřednictvím nepřímých – vegetačních – indikátorů) a podrobných plánů jednotlivých lokalit (tj. kumulací zahloubených antropogenních objektů pravěkého a historického původu na malém prostoru).

Klíčová slova

dálkový archeologický průzkum, letecká archeologie, krajina, transformace fotoleteckých dat do map, GIS

Abstract

The dynamic development of remote sensing today also significantly enriches the archaeological investigation of prehistoric and historical settlement from above, especially within a heuristic approach (detection and photographic documentation of as yet unregistered areas with archaeological sources in the case of targeted aerial prospection, analysis and interpretation of orthophotographs and satellite data in the case of the use of orthophotomaps publicly available on the internet) and in the subsequent mapping and creation of plans of newly identified evidence of past settlement activities. The article provides a brief overview of technical innovations and possibilities in both mentioned steps of the research process and describes how the Institute of Archaeology of the Czech Academy of Sciences is currently processing aerial photographs (taken in 1992–2016 during aerial survey campaigns) into digital orthorectified and georeferenced maps (large areas

with traces of past settlement activities visible mainly through indirect vegetation indicators) and detailed plans of individual sites, i.e., accumulations of buried anthropogenic features of prehistoric and historical origin in a small area.

Key words

archaeological remote sensing, aerial archaeology, landscape, transformation of air-photographic data to maps, GIS

1. Úvod

Dálkový archeologický průzkum představuje soubor metod, jejichž prostřednictvím získává archeologie tak početně rozsáhlý a kvalitativně rozmanitý soubor informací o reliktech sídelních aktivit našich (pra)předků, že v oblasti sběru dat, evidence a dokumentace archeologického, stavebně historického a urbanistického dědictví zaujímá tento druh průzkumu jednu z nejpřednějších heuristických pozic. Od průkopnických počátků intencionálního vyhledávání nemovitých archeologických pramenů prošly dálkový průzkum a obrazová dokumentace historické krajiny z výšky dynamickým vývojem, ovlivněným především kontinuálně se zrychlujícím pokrokem v technických oborech. S dálkovým průzkumem srovnatelně významných metod zaměřených na zkoumání sídelních procesů a antropogenního impaktu do krajiny v pravěku a v historických dobách mnoho není. Přířím, jímž tento obor obohatil naše dosavadní poznání minulosti, je v mnoha ohledech zásadní a jinými postupy nedosažitelný.

Cílem této studie je pokus o postižení proměn archeologického průzkumu z výšky ve dvou důležitých oblastech: v heuristice (shromažďování pramenné základny, v tomto případě relevantních leteckých a družicových dat) a v následné tvorbě archeologických map a plánů z výšky detekovaných (objevených, identifikovaných) míst/ploch s výskytem archeologických nemovitých památek (lokalit, nalezišť, areálů). Důraz je přitom kladen na proměny, k nimž

došlo v tomto století, neboť dynamika současného vývoje metod průzkumu zemského povrchu z výšky ovlivňuje výzkum krajinné historie v míře nesrovnatelné s jakoukoli předchozí fází rozvoje tohoto oboru, jehož dlouhá desetiletí trvající fáze „letecké archeologie“ (ve smyslu vizuální prospekce a pořizování šikmých fotografií z malého letounu prostřednictvím kamery držené v ruce) se transformovala do digitální fáze „dálkového archeologického průzkumu“, zahrnujícího řadu nových prospekčních metod schopných produkovat rozličná obrazová (či do obrazu transformovaná) data, a pomáhat je zpracovat a analyzovat sofistikovanými postupy a algoritmy.

2. Historická krajina a dálkový průzkum v péči o její archeologické dědictví

V moderní době jsme svědky toho, jak se s přibývajícím růstem populace a potřebou exploatovat krajinu primárně z ekonomických důvodů, se zhoršující kvalitou životního prostředí a s projevy zvýšeného extrémismu a individuálního obohacování na úkor společnosti zrychluje proces zániku kulturního dědictví. Je sice známo, že všechny tyto jevy jsou takřkajíc staré jako lidstvo samo, přesto je třeba vidět jejich současný rozsah v globálním měřítku jako alarmující. Zároveň jsme si vědomi toho, jak potřeba společnosti moderní doby nezpřetrhat pouta s předky zvyšuje zájem široké veřejnosti

o památky a jejich poznávání, jak to dokládá například současný bezprecedentní nárůst turistiky zaměřené na kulturní památky, zvýšená péče alespoň o nejatraktivnější lokality (viz například neustále se rozšiřující počet památek zapsaných do Seznamu světového kulturního dědictví UNESCO); na národní úrovni se tento zájem zrcadlí v intenzivním budování naučných (cyklo)stezek, na vyvěšování informačních tabulí nejen u hradů, zámků či na památkách koncentrovaných v historických jádrech měst, nýbrž i v blízkosti solitérních objektů typu hradiště, mohylník, sklárna, milíř, nebo u jednotlivých součástí komponované (např. barokní) krajiny. Lze důvodně předpokládat, že tento trend, reagující na pragmatické/ekonomické požadavky současné společnosti na jedné straně a na její duchovní potřeby na straně druhé, se bude postupně vyostřovat. Je přitom obtížné predikovat, do jaké podoby tato dichotomie dospěje v civilizačně vyspělých, resp. málo rozvinutých oblastech Země a jak ji ovlivní například zhoršující se klimatické podmínky či ubývající zásoby vody (k tomu např. *Bureš 2014*, 6–9; *Gojda 2008*, 755–756).

Evropská archeologie se v posledním desetiletí 20. století začala poprvé ve své historii vážněji zaobírat etickým rozměrem své cesty za poznáním, již v procesu shromažďování pramenné základny – primárních/hrubých dat – ještě nedlouho předtím dominovaly destruktivní (invazivní) postupy. Výzkum vedený odkryvem (výkopem, exkavací) byl tradičně považován odbornou veřejností za takřka jediný kvalifikovaný způsob, jak z movitých a nemovitých hmotných pramenů ukrytých v povrchové vrstvě terénu získat hodnotné informace o minulosti; ostatně jak známo, pro širokou veřejnost je obvykle vše týkající se archeologie nahraditelné slovem „vykopávky“. Teprve doba na konci minulého století začala do agendy evropské profesionální archeologie, resp. do praxe terénních výzkumů, vnášet otázky vztahující se k šetrnějšímu

zacházení s archeologickou složkou kulturního dědictví. Na jedné straně to souviselo s tehdy rostoucím uvědoměním, že podobně jako u neřízené exploatace přírodních zdrojů musí dříve či později při pokračování výlučně destruktivně vedených výzkumů na stavebně či jinak neohrožených lokalitách dojít k rychlému úbytku až úplnému vyčerpání „podzemního archeofundu“. Na straně druhé byl tento pohled na razantnější odklon od exkavační metody posílen akcelerujícím rozvojem technicky vyspělých metod, využitelných díky jejich potenciálu ke shromažďování informací o pohřbených památkách a o souvislostech jejich původního, či postdepozičními procesy formovaného uložení neinvazivní cestou (souhrnně *Kuna a kol. 2004*).

V každém případě se za současného rychle postupujícího ničení nemovité složky archeologického dědictví zřetelně jeví jako jedna z nejdůležitějších potřeb oborů věnujících se jejímu výzkumu a ochraně kontinuální vyhledávání, dokumentace a podrobné mapování dosud nevidovaných nemovitých pramenů, a to primárně z důvodu jejich následné ochrany a záchraného či badatelského výzkumu v případě, že by jim v budoucnosti hrozil zánik. Jedním z nejefektivnějších způsobů jak do podoby archeologické mapy velkého měřítka implementovat znalosti o přesné lokalizaci zaniklých a pod povrchem země ukrytých reliktů pravěkých a raně středověkých sídelních areálů (resp. jejich dílčích komponent) v krajině je aplikace neinvazivních metod archeologického výzkumu, především těch, které operují ve velkém prostoru a umožňují tak efektivně shromažďovat údaje o velkém počtu památek. Jedná se o metody dálkového průzkumu Země (DPZ), jejichž výhodou je šetrný přístup k památkám, s nimiž nepřicházejí do přímého fyzického kontaktu a v plném rozsahu je ponechávají neporušené na svém původním místě. Prostřednictvím dálkového archeologického průzkumu (DAP) lze přitom odhalit a dokumentovat – dokonaleji,

než to zvládnou jiné postupy – stopy někdejší přítomnosti člověka v krajině, zachytit rozsáhlá území a stejně tak zobrazit v detailu jednotlivé přírodní a kulturní složky životního prostředí. Vzhledem k rychlosti, jíž lze detekcí z výšky prozkoumat rozsáhlé plochy zemského povrchu je zřejmé, že žádné jiné metody nejsou vybaveny na odhalování velkého počtu nových archeologických lokalit v míře, v níž to dokáže dálkový průzkum, který se tak významnou měrou podílí na pochopení celkového rozměru pravěkého osídlení a na poznání jeho nekonečně rozmanitých stop v prostředí, v němž se rodili, žili a umírali naši předchůdci (Gojda 2017a).

Metody dálkového průzkumu jsou v současnosti stále častěji uplatňovány především tam, kde terénní archeologický výzkum není vyvolán stavebními zásahy, nýbrž teoreticky stanovenými cíli. Takový přístup k archeologickým pramenům je ostatně ukotven v mezinárodně uznávané ratifikované evropské, tzv. maltské konvencí o zacházení s archeologickými památkami, a do jisté míry i v Evropské úmluvě o krajině z roku 1992, resp. 2000 (Mařík 2018).

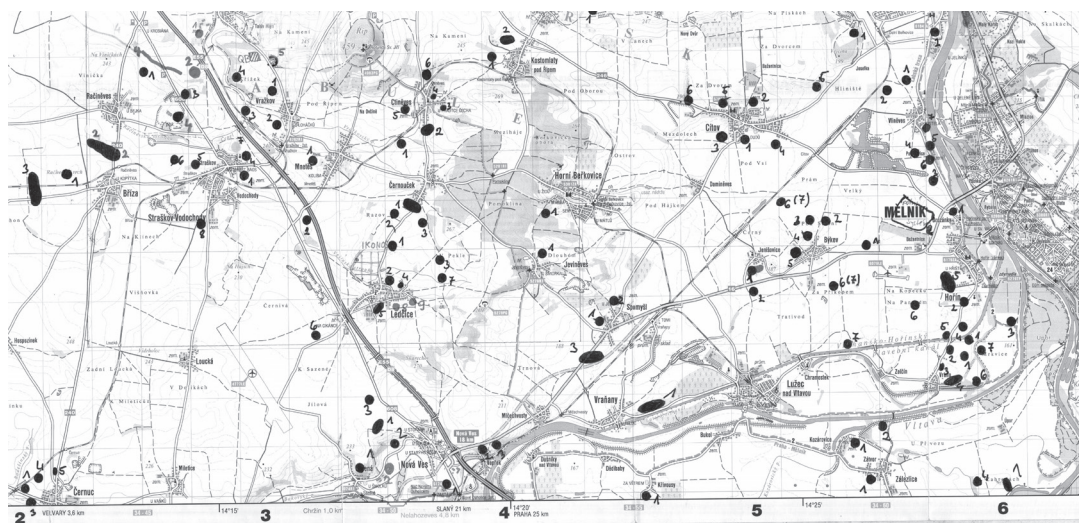
DAP však ve své náplni integruje jak průzkumný, tak dokumentační aspekt. Vedle vlastní prospekce archeologických objektů a komponent nás zajímají i ty kategorie kulturní krajiny, které není třeba objevovat, protože jsou více či méně dobře zachované a viditelné. Jsou to např. historická jádra měst a vesnic, jejich pluziny, ohrazená sídla (hradiště), polní opevnění, komunikace, relikty tzv. lesních řemesel (např. milířiště) aj. Existuje ale celá řada památek, které sice jsou fyzicky zachovány na povrchu terénu, nicméně jejich relikty jsou z pohledu ze země buď téměř, anebo zcela neidentifikovatelné, resp. nedokumentovatelné. Je to pohled z výšky, který má potenciál uvedený handicap měnit. V tomto pojetí je DAP nedílnou součástí krajinné archeologie, historické geografie a péče o nemovité kulturní dědictví. Poznatky získané metodami DAP jsou proto pro analýzu

a rekonstrukci zaniklé krajiny v mnoha případech rozhodující, protože díky jejich velkému prostorovému záběru lze s jejich pomocí hledat a rekonstruovat například vazby mezi sídelními jednotkami, jejich hospodářským zázemím a okolním přírodním prostředím, ale také verifikovat přesnost/pravdivost údajů na starých mapách.

3. Proměny archeologického výzkumu krajiny z výšky na prahu třetího tisíciletí

V oborech spjatých s identifikací, evidencí a dokumentací stop dávných sídelních aktivit prostřednictvím postupů, které získávají informace o povrchových vrstvách Země bez přímého fyzického kontaktu s terénem a samotnými památkami, měla česká archeologie dlouhá desetiletí výrazný odstup od oborově vyspělých zemí. Ovšem ani v celoevropském měřítku zemí s dlouhodobě a na patřičné úrovni rozvíjeným dálkovým archeologickým průzkumem ještě v revoluční době na přelomu osmdesátých a devadesátých let mnoho nebylo. Za tři desetiletí, která od té doby uplynula, se situace radikálně změnila. Pokročilý stav DAP v mnoha evropských zemích dokládají dvě důležité skutečnosti: jednak význam, který tomuto oboru přisuzují sami archeologové, a jednak mezinárodní spolupráce, která se kontinuálně rozvíjí, oslovuje nemalou část evropské odborné veřejnosti a pomáhá etablovat tento nedestruktivní obor na širším evropském území.

Od průkopnických počátků intencionálního vyhledávání zaniklých stop minulých lidských aktivit prošly dálkový průzkum a obrazová dokumentace historické krajiny z výšky vývojem, který byl v zásadní míře ovlivňován technickým rozvojem. Zůstaneme-li při hodnocení jeho potenciálu na území Čech, můžeme konstatovat, že díky dlouhodobému, od



Obr. 1. Rozmístění archeologicky pozitivních míst a ploch identifikovaných a fotograficky dokumentovaných leteckým průzkumem (Archeologický ústav AV ČR, 1992–2015) na původní papírové mapě, do níž byly lokality vynášeny po celou dobu trvání projektu. Do digitální podoby v prostředí GIS jsou transformovány od r. 2013 (cf. obr. 4–6).

Fig. 1. Location of archaeologically positive places and areas identified and photographically documented by aerial survey (Institute of Archeology of the ASCR, 1992–2015) on the original paper map, into which the sites were carried throughout the project. They have been transformed into digital form in the GIS environment since 2013 (cf. Fig. 4–6).

roku 1992 systematicky vedenému dálkovému průzkumu bylo dosavadní poznání pravěkého osídlení významně obohaceno především v sídelně nejexponovanějších regionech tzv. starého sídelního území (střední a dolní Polabí a Poohří, dolní Povltaví a Pojizeří, údolí Cidliny, resp. Nymbursko, Poděbradsko, Kolínsko, Mělnicko, Podřipsko, Litoměřicko, Lounsko, Ústecko; obr. 1), a to konkrétně ve třech oblastech, které charakterizují základní cíle soudobé archeologie. Těmi jsou tvorba pramenné základny (v případě DAP je to vyhledávání a mapování dosud nevidovaných lokalit s tím, že DAP pramennou základnu obohacuje jak kvantitativně – tedy nárůstem nových nalezišť, tak kvalitativně – nalézáním početně dosud jen málo známých či ještě nevidovaných druhů objektů), řešení teoreticky postulovaných vědecko-výzkumných témat, a konečně ochrana kulturního dědictví.

Abychom si učinili představu o tom, které konkrétní inovace v zařízeních (hardwaru) a analytických nástrojích (softwaru) stojí za oněmi dynamickými změnami posledního čtvrt století, jimiž prošel dálkový průzkum Země (DPZ), uveďme na tomto místě alespoň ty nejdůležitější:

- 1) 1993–1995: zavádění stanic globálního navigačního satelitního systému (GNSS), konkrétně amerického GPS, pro civilní využití, a odtajnění amerických špiónážních družicových snímků z programu CORONA (1960–1972); začátky uplatňování výhod GIS, dnes nejvyužívanějšího softwaru pro analytické zpracování prostorových dat v archeologii
- 2) *Druhá polovina 90. let:* uvedení digitální fotografie na celosvětový trh
- 3) 1999 – vypuštění prvního družicového systému (IKONOS) produkujícího digitální

snímky o velmi vysokém (submetrovém) prostorovém rozlišení

- 4) 2000–2005: volně a bezplatně zpřístupněn server Google Earth a národní servery nabízející globální pokrytí družicových a leteckých ortofotografií zemského povrchu
- 5) 2005–2010: počátky masivního používání technologie leteckého laserového skenování v evropské archeologii, které lze označit za nejprogresivnější metodu vyhledávání archeologických památek zachovaných v terénním reliéfu a jejich 3D (poloho- a výškopisné) mapování v podobě digitálního výškopisného (terénního) modelu
- 6) *Druhé desetiletí tohoto století*: intenzivní aplikace obrazové spektrometrie při využití leteckých a družicových multi- a hyperspektrálních dat, a časté experimentování s automatickou detekcí objektů archeologického zájmu na datech DPZ. Novým fenoménem letecké fotografie se stávají drony (UAV), jejichž využití v archeologii spočívá v pořizování snímků pro zhotovování přesných plánů terénních výzkumů odkryvem (letecká fotogrammetrie) a pro vytváření jejich digitálních výškopisných modelů. Stále výrazněji se drony uplatňují také ve fototecké dokumentaci archeologického a stavebně historického dědictví a nahrazují tak snímkování z letadel, jejich využití v průzkumu krajiny z výšky a identifikaci nových lokalit je ale (při striktním dodržování evropských předpisů o bezpilotních letounech) značně omezené (k tomu viz v další kap.).

Není pochyb o tom, že uvedené inovace (k některým z nich se vrátíme v následujících kapitolách, věnovaných hlavnímu tématu této studie) zásadně změnily tradiční představu o archeologickém průzkumu z výšky, který byl před jejich nástupem téměř výlučně (s výjimkou spíše ojedinelého zapojení družicové a infračervené fotografie praktikované před rokem 1990 většinou Američany, a to včetně jejich evropských

projektů; cf. *Madry 1987*) provozován formou letecké vizuální prospekce. Především zařadily DAP mezi nejdůležitější nástroje archeologického poznávacího procesu (vedle např. radio-karbonového datování, archeogenetiky, či GIS), takže nepominutelná role DAP v současných výzkumných a památkových projektech krajinné archeologie je zřejmá. Zavádění vyjmenovaných technických prostředků odsunulo tradiční leteckou archeologii do postavení pouze jedné z mnoha metod integrovaných do výbavy DAP.

Získání konkrétnější představy o tom, kam v globálním měřítku směřuje soudobý zájem dálkového archeologického průzkumu, je dobře možné sledováním projektů publikovaných na stránkách řady vědeckých časopisů. V poslední době je nárůst publikací s tematikou DAP enormní, což je dáno řadou okolností:

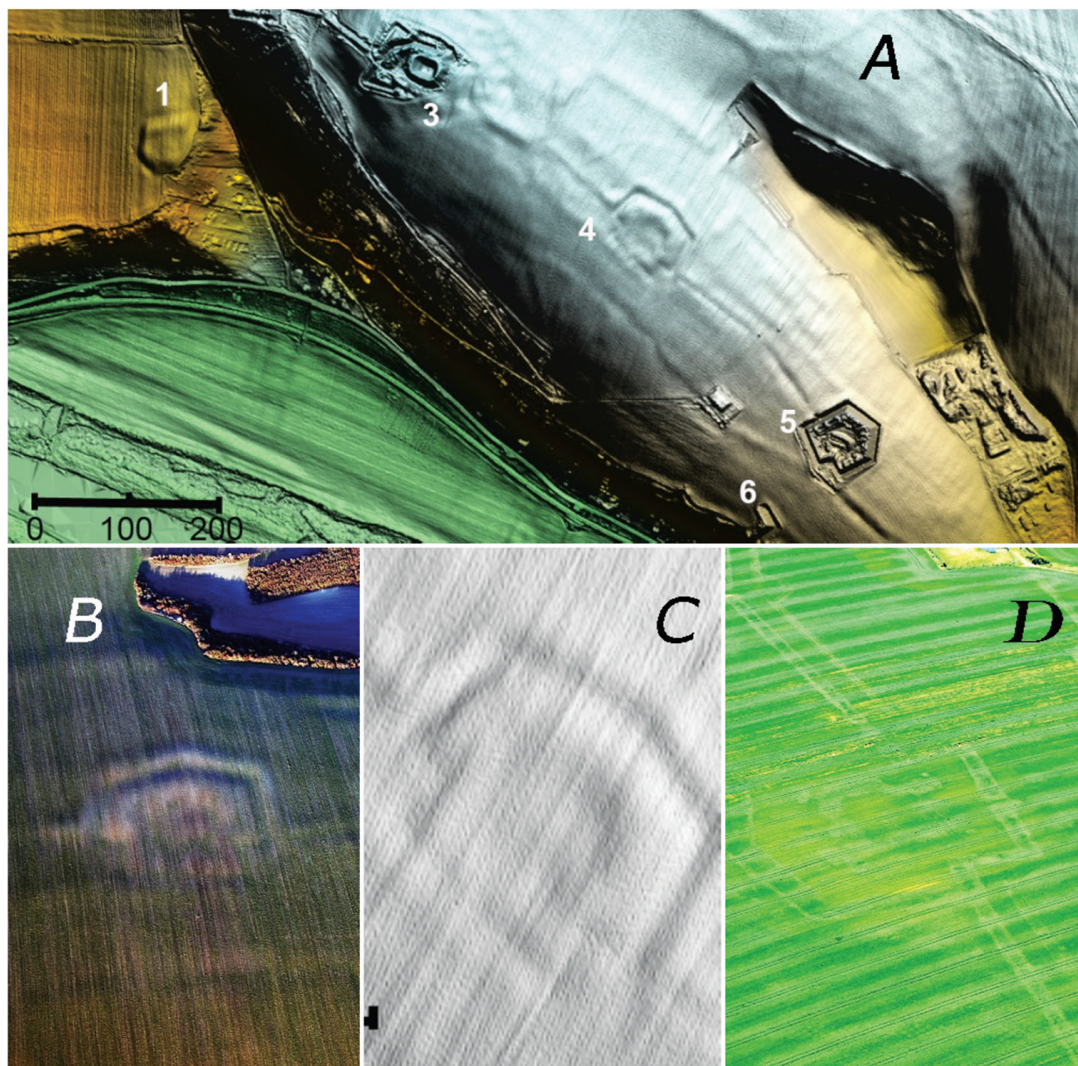
- 1) Rychlým vývojem zpracovatelských softwarů a algoritmů (produkovaných pro potřeby oborů výrazně závislých na datech DPZ, jako jsou ekologie, geografie, meteorologie, geologie, zemědělství, lesnictví, obory zaměřené na výzkum využití ploch a rozvoj urbanismu aj.), které jsou převážně prostřednictvím technicky vzdělaných specialistů na práci s nimi v nečekaně velké míře integrovány do výzkumu historické krajiny; poměrně často najdeme v seznamech pracovišť autorů jednotlivých publikací pouze jednu (anebo ani jednu) archeologickou či jinou instituci ze skupiny humanitních/sociálních věd;
- 2) Nebývalým nárůstem lehce dosažitelných digitálních obrazových dat dálkového průzkumu („data explosion; mluví se tak o nich v souvislosti s problematikou tzv. velkých dat), jejichž efektivní zpracování a analýza je dána možnostmi uvedenými sub 1).
- 3) Vědomím badatelů zapojených do DAP o obrovském potenciálu dat DPZ pro účinný management kulturního dědictví jak na lokální/regiónální/národní, tak i na globální úrovni.

4) Stále se zvyšujícím počtem na bázi on-line / open-access vydávaných časopisů, které umožňují autorům rychlou a široce dostupnou dosažitelnost (a tudíž citovatelnost) svých výzkumů potenciálními čtenáři. Pro dálkový průzkum aplikovaný v archeologii a krajinné historii jsou v tomto směru nejčastěji využívané časopisy z vydavatelství MDPI, především *Remote Sensing* s poměrně vysokým impakt faktorem (4,5), ale i další – *Drones*, *Heritage*, *Sustainability* a *Geosciences*. Již opakovaně se tematika DAP u prvně jmenovaného časopisu objevila také v podobě speciálně zaměřených monografií, jejichž přípravu a publikaci zajišťují pozvaní editoři, obvykle oslovení z řad recenzentů studií, nabízených do uvedených časopisů (naposledy zejm. https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/rs4arch; https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/archeology_space). Vedle nich se tato témata objevují často také v zavedených oborových časopisech, zejm. v *Antiquity*, *Archaeological Prospection* a v *Journal of Archaeological Science*.

I přes onen rozsah dnes produkováných publikací v oboru DAP (jimiž je pro archeologa bez technického vzdělání většinou dost obtížné se vůbec prokousat) je možné nalézt témata, která charakterizují jeho současné směřování. Je to například analýza historických leteckých fotografií pomocí moderních metod (Stott et al. 2018), sběr dat prostřednictvím crowdsourcingu (např. Stewart et al. 2020) a pomocí umělé/strojové inteligence/automatické klasifikace (např. Davis 2020, Stott et al. 2020, Stott et al. 2019, Luo et al 2019), mapování a monitoring stavu archeologického dědictví (Agapiou et al. 2020, Caspari 2020), metody zviditelňování zaniklých nemoovitých památek (Verhoeven 2016, Agudo et al. 2018, Coakley 2019, Gojda 2017b) aj.

4. Sběr dat: proměny heuristických možností dálkového průzkumu v archeologii

Snaha každého vědeckého oboru zvyšovat svůj potenciál využíváním současných technických pokroků a teoretických konceptů je pochopitelná, protože jejich integrace přináší více či méně efektivní zvýšení (zejm. zrychlení a zkvalitnění) jejich kognitivního potenciálu. Takový proces ale nemusí být vždy lineární a jednoduše koordinovatelný. Současný technický rozvoj ovlivnil řadu odvětví archeologie a také na příkladu Česka lze zaznamenat, že za poslední tři desetiletí změnil moderní technologie, inovativní nástroje, zařízení a postupy v nemalé míře charakter procesu zaměřeného na sběr informací o dosud neevdovaných lokalitách, objektech a sídelních areálech (obr. 2). Je to přesně doba, v níž autor tohoto příspěvku zaváděl a rozvíjel v Čechách metodu leteckého průzkumu a snažil se ji integrovat do archeologické praxe (Gojda 1993). Na začátku tohoto procesu v první polovině 90. let minulého století byl téměř výlučně uplatňován tradiční způsob zavedený v meziválečném období a spojený především se jmény anglických průkopníků letecké archeologie. Jedná se o vizuální průzkum z malé výšky (cca 300 metrů nad zemí), který bývá v poslední době označován jako interpretační či přímý/interpretační (Verhoeven 2017, Šmejda 2017). Až do doby nástupu digitální fotografie se během něho pořizovaly šikmé letecké fotografie, a to obvykle dvěma či třemi fotoaparáty na klasický filmový materiál (negativy, diapositivy), který se po každém letu nechal zpracovat v komerční či institucionální laboratoři. Navigace do poloviny 90. let, kdy začaly být používány stanice GNSS, byla praktikována pomocí souboru papírových map (obvykle v měřítku 1 : 50 000) zkoumaného území, které měl archeolog na palubě průzkumného letadla a do nichž tužkou zaznamenával lokality, které – nejčastěji díky vegetačním příznakům – objevil a následně fotografoval.



Obr. 2a. Dokumentace lokality – opevnění z poloviny 19. stol. poblíž Litoměřice – dokumentované tradičním způsobem, resp. šikmými fotografiemi (B – stínové příznaky, D – vegetační příznaky) a leteckým laserovým skenováním (A, C – stínovaný digitální model terénu).

Fig. 2a. Documentation of the location- fortifications from the middle of the 19th century. near Litoměřice – documented in the traditional way, resp. oblique photographs (B – shadow symptoms, D – vegetation symptoms) and aerial laser scanning (A, C – shaded digital terrain model).



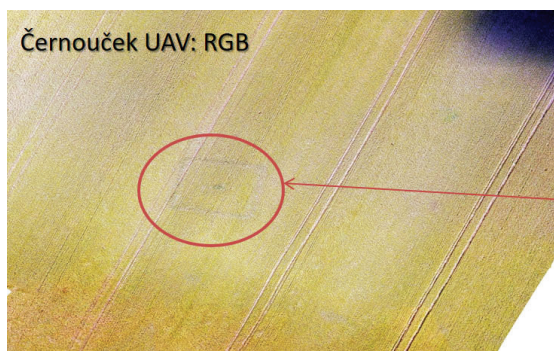
Obr. 2c. Pozdně halštatské čtvercové příkopové ohrazení s centrálně umístěnou hrobovou komorou na Podřipsku snímkané z dronu v době vrcholícího vegetačního cyklu ječmene a zachycené ve čtyřech různých podobách výstupu (RGB – barevný snímek ve viditelném spektru; UAV – unmanned aerial vehicle, tj. dron; NIR – zviditelnění objektu v blízkém infračerveném pásmu/near infrared).

Fig. 2c. Late Hallstatt square ditch fence with a centrally located grave chamber in the Podřipsko region photographed from a drone at the time of the peak barley vegetation cycle and captured in four different forms of output (RGB – color image in the visible spectrum; UAV – unmanned aerial vehicle, ie drone; NIR – visibility near infrared).

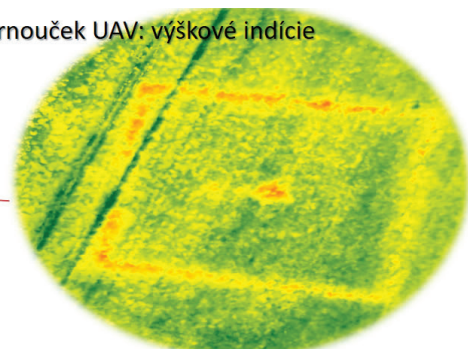


Obr. 2b. Tentýž objekt zachycený na ortofotomapě veřejně dostupného mapového portálu Mapy.cz. (cf. Obr. 4d).

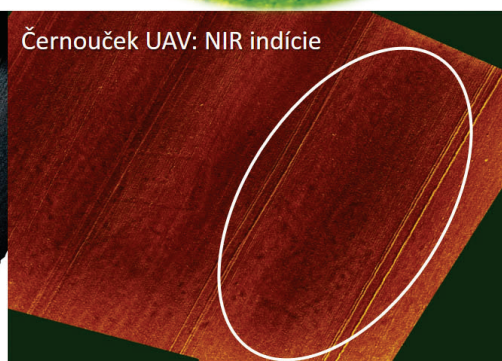
Fig. 2b. The same object captured on the orthophotomap of the publicly available map portal Mapy.cz. (cf. Fig. 4d).



Černouček UAV: výškové indicie



Černouček UAV: NIR indicie



4. 1. Aktivní způsoby sběru archeologických dat z výšky

Obecně lze v procesu sběru dat v rámci DAP hovořit o dvou přístupech, aktivním a pasivním. V předchozím odstavci byl pojmenován způsob sběru (vyhledávání/detekce a identifikace) dat, který je plně v režii archeologa. Tento aktivní způsob může být prováděn:

- 1) formou přímé vizuální prospekce a fotografování převážně z paluby malého letadla;
- 2) sledováním obrazovky zachycující povrch osetých polí pomocí kamery dálkově ovládaného dronu pilotovaném archeologem, anebo pořizováním digitálních dat pomocí speciálních miniaturních radiometrů připevněných na dron, které měří spektrální charakteristiky potenciálních archeologických nalezišť. Jsou to kamery, které produkují multispektrální data, pořizovaná konkrétně ve třech základních barevných složkách přirozeného barevného podání (R, G, B), v blízké (NIR – near infra-red) a v daleké (termální/teplotní) oblasti infračerveného záření (obr. 2c; podrobně k tomu *Gojda 2017a*, kap. II. 4. 2; k aplikaci v české archeologii nejnověji *Koucká et al. 2018*).

Hlavní problém při prospekčním využití dronu spočívá v tom, že archeologický průzkum krajiny z výšky se týká obvykle území o velikosti jednotek a desítek čtverečních kilometrů, případně dlouhých liniových transektů sledujících sídelní stopy podél vodních toků. Dron ovládaný z jednoho místa se nesmí podle stávajících předpisů platných pro státy EU vzdálit jeho pilotovi z dohledu a v závislosti na jeho velikosti se tak nesmí pohybovat ve větší vzdálenosti než zhruba jeden kilometr. Z toho vyplývá, že při nutnosti měnit stanoviště pilota a pomalu se posouvat krajinou,

v níž se provádí letecká prospekce, je možné pokrýt plošně jen velmi omezené teritorium. Tento problém je navíc do velké míry umocněn stále ještě nízkou životností baterií, což vyžaduje mít jich při tomto způsobu letecko-archeologického průzkumu v zásobě větší počet. Ostatně i příprava dronu včetně jeho kalibrace při každém startu na novém stanovišti zabere určitý čas, což dále snižuje celkovou efektivitu průzkumu. V neposlední řadě nutno zmínit také neúměrně velkou náročnost na paměťová média a na zpracování obrovského kvanta digitálních dat, která by byla při několikahodinovém průzkumu během jednoho dne načtena. Drony jsou tedy významnými pomocníky při fotoleteckém archeologickém průzkumu a fotodokumentaci menších ploch (lokalit). Pro velkoplošné průzkumy krajiny se (prozatím?) nehodí, neboť prostor o ploše mnoha desítek čtverečních kilometrů, který archeolog během letu v průzkumném letounu vizuálně pokryje a eviduje v něm během jednotek minut přítomnost případných archeologicky interpretovatelných vegetačních příznaků nad pohřbenými nalezišti, je mnohonásobně větší než plocha, kterou za stejnou dobu aktivně (tedy se spuštěnou foto/video kamerou) prolétne dron.

Základní předností tohoto – aktivního – způsobu shromažďování dat dálkového průzkumu je možnost načasovat jeho provádění do co nejvhodnější roční a denní doby, kdy se díky optimálnímu zviditelnění zájmových objektů projeví jeho skutečný potenciál. Postavení aktivního letecko-archeologického průzkumu je zvláštní v tom, že přibližně 80 let (1920–2000) to byla jediná metoda průzkumu z výšky, která byla přitom závislá na zkušenostech, pozorovacích a interpretačních schopnostech buď školených, nebo – častěji – nezkušených samouků poučených jen z literárních zdrojů. Nejčastější se pro ně vžilo označení „letecký archeolog“.

4. 2. Pasivní způsoby sběru dat DAP

V současnosti závislost badatelů (archeologů, krajinných historiků aj.) na každoročních přírůstcích lokalit nově objevených těmito specialisty pomocí porostových příznaků výrazně klesla. Je to v první řadě dáno možnostmi pracovat s dalšími prameny, které začaly být široce dostupné od přelomu našeho a minulého století.

Jedná se o digitální obrazová data pořizovaná technikami DPZ, která produkují snímací zařízení (kamery, aktivní a pasivní spektrodiodometry) umístěná na obloze a ve vesmírném prostoru na palubě letadel, resp. družic, a shromažďující v automaticky (před)nastaveném intervalu data. Protože jejich pořizování není procesem, jehož parametry nastavují archeologové, resp. specialisté v oblasti DAP, lze je označit za prameny pasivní. Jinak řečeno: zatímco letecké snímky pořizované během aktivního průzkumu jsou de facto záznamem výsledku (tedy identifikace konkrétního archeologicky relevantního areálu/objektu), obrazová data DPZ – letecké měřické fotografie, družicové (optické a radarové) snímky, letecká lidarová data – jsou pramenem dokumentujícím zemský povrch v celistvosti, takže potenciální přítomnost zahloubených a/nebo v terénním reliéfu zachovaných archeologických nemovitých památek je nutné jejich analýzou a interpretací teprve zjistit. S rostoucím vědomím o existenci rozsáhlých a pro účely archeologie dosud jen minimálně využívaných fondů, jimiž disponují archivy leteckých (převážně analogových) fotografií na celém světě (řádově mnoho desítek milionů) na jedné straně, a o dnes jen obtížně kvantifikovatelném množství digitálních obrazových dat produkovaných kontinuálně probíhajícím DPZ na straně druhé je zřejmé, že klasická aktivní letecko-archeologická prospekce rychle ztrácí svoje výsadní postavení (nebude dlouho trvat, kdy v heuristickém procesu svůj význam prakticky ztratí) a hlavní (resp. téměř výlučná)

pozornost DAP bude upřena na práci s pasivními produkty DPZ (podrobně k nejrozsáhlejším archivům leteckých fotografií a k portálům zveřejňujícím digitální letecké a družicové ortofotografie *Gojda 2016*).

Pro relevanci uvedeného konstatování má samozřejmě největší význam fakt, že obrazy zemského povrchu z družic a vysoko letících letadel jsou od prvních roků našeho věku zdarma veřejně dostupné na mapových serverech a geoportálech institucí státní správy (u nás zejm. www.mapy.cz, <https://geportal.gov.cz>, <http://geportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>), i když v případě družicových snímků jsou radarová a optická data s velmi vysokým rozlišením nutné pořídit za úplat. To samé se týká fondů archivu Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce, nejvýznamnějšího zdroje historických leteckých měřických snímků (LMS) České republiky, kde je možné získat kopie digitálních LMS z let 1937–2002 (<http://www.mapy.army.cz/historicke-lms>). Každopádně možnost využívat bezešvé ortofotomapy zpřístupněné bezplatně na internetu a pracovat (za úplatu) s originálními daty DPZ (tj. se satelitními snímky s velmi vysokým rozlišením, s LMS a s robustními lidarovými daty) v prostředí řady vyspělých softwarů určených pro pokročilé zpracování a analýzu digitálních obrazových a prostorových dat, s nimiž si zejm. mladší generace archeologů velmi dobře rozumí, dovoluje dnes zahrnout tato data do každodenní praxe jak v rámci terénního výzkumu, tak při jeho zpracování. Tato otevřenost v přístupu k datům DPZ radikálně změnila – a samozřejmě liberalizovala – původně výlučné postavení letecké archeologie, a to nejen uvnitř odborné komunity, nýbrž také v širší veřejnosti. Bylo by samozřejmě možné dlouze probírat klady a zápory tak rozsáhlého (podle některých názorů přímo bezbřehého) uvolnění těchto dat do veřejného prostoru, a to nejen z hlediska ochrany a ohrožení archeologického dědictví

(např. *Contreras 2010, Fradley – Sheldrick 2017, Gojda 2017c*), ale také vzhledem k možnostem, jak odborníky zaškoleným amatérským zájemcům umožnit zapojení do vyhledávání a evidence archeologických pramenů prostřednictvím tzv. crowdsourcingu (cf. *Duckers 2017*).

Pokusme se na závěr této kapitoly alespoň stručně zhodnotit, v čem vlastně spočívá informační potenciál aktivně a pasivně získávaných dat DAP o památkách pohřebních pod zemí. V první řadě je poloha identifikovaných komponent přesně vymežitelná v zeměpisných koordinátech či v rovinném souřadnicovém systému a jako body či polygony lze tyto komponenty analyticky zpracovat, např. pomocí GIS (podrobně k tomu v kap. 5). I když je třeba mít na paměti, že z různých důvodů (pomineme-li ty, které se mění každoročně, to jsou zejména svažitost terénu, intenzita orby a odlesňování, protože právě ty ovlivňují erozi) jsou archeologické památky v naprosté většině případů zviditelněné na povrchu některými z tzv. příznaků (nejčastěji porostových) pouze určitou částí větších celků (jednotlivých či několika sídelních areálů, které na sebe navazují a částečně či zcela se překrývají), významná je přitom jiná skutečnost. Celkovou velikost plochy zaplněné komponentami sice většinou nelze stanovit, nicméně prostřednictvím vegetačních příznaků máme k dispozici celkový půdorys konkrétní části jednoho sídelního areálu (případně několika sídelních areálů ve vzájemné superpozici) a můžeme na něm určit jeho kvalitativní a kvantitativní složení, tedy druhové zastoupení jednotlivých objektů, jejich vzájemný prostorový vztah (který v případě pravidelného rozmístění objektů vyjadřuje jejich pravděpodobnou současnost) a jejich počet. Soubor takovýchto komponent lze využít k dalším analýzám. Výsledky leteckého vizuálního průzkumu tedy ve srovnání s pramenovou základnou shromažďovanou dlouhodobě tradičními postupy terénního výzkumu ukazují na husté pravěké osídlení a alespoň minimální

velikost tehdejších sídelních areálů, zároveň nás ale informují o tom, jakými druhy a jakým počtem objektů jsou tyto areály zaplněny.

5. Moderní přístup k mapování a tvorbě plánů archeologických lokalit z dat DAP

Stejně jako shromažďování pramenů k výzkumu zaniklých sídelních projevů našich předchůdců prostřednictvím aktivního a pasivního dálkového průzkumu, je neméně důležité následné zpracování získaných dat. V podstatě jde o to, abychom letecký/družicový snímek s námi analyzovaným obrazem zemského povrchu přeměnili na plnohodnotný dokument, na němž jsou zachycena archeologická data srovnatelná s daty získanými jinými postupy (např. kresebnou či plánovou dokumentací archeologických situací odkrytých terénním výzkumem), tedy v prameny, se kterými lze dále odborně pracovat. Zhotovování map a plánů z leteckých fotografií, zachycujících objekty/místa/lokality/areály archeologického zájmu zviditelněné vegetačními (a dalšími) příznaky, sahají do počátků letecko-archeologického průzkumu a jsou spjaty s aktivitami O. G. S. Crawforda, který díky svému univerzitnímu vzdělání v geografii a v důsledku svého dlouhodobého profesionálního účinkování v britské mapovací službě Ordnance Survey již ve dvacátých letech minulého století považoval za hlavní cíl letecké archeologie tvorbu plnohodnotných map, které jsou výsledkem analýzy leteckých fotografií a kartograficky přesné transformace objektů na nich dohledaných a interpretovaných jakožto objekty archeologického zájmu/původu (*Crawford 1929*).

Rozsáhlý dlouholetý program leteckého průzkumu, který je od roku 1992 součástí vědecko-výzkumné agendy pražského Archeologického ústavu AV ČR, je v současnosti – po ukonče-

ní hlavních letecko-průzkumných kampaní v r. 2016 za účelem sběru dat (ojedinělé průzkumné lety jsou prováděny dodnes) – zaměřen na kartografické zpracování archeologicky interpretovaných leteckých fotografií zhruba jednoho tisíce objevených areálů s objekty pravěkého a historického stáří. Proces podrobného mapování dat z uvedených fondů byl zahájen v rámci projektu „Od nálezu ke struktuře: informační systém dálkového průzkumu a potenciál letecké fotografie pro tvorbu archeologických map“ (GAČR 2013–15) a pokračuje nyní v rámci projektu „Archeologie z nebe“ (MK ČR, program NAKI), jehož jedním z publikačních výstupů je tato studie. Využití potenciálu tohoto (dnes již plně digitalizovaného) archivního fondu znamená převést interpretované šikmé letecké snímky pohřbených archeologických lokalit, zachycujících prostřednictvím (převážně) vegetačních příznaků projevy pravěkých a historických sídelních aktivit, do podoby jejich digitalizovaných plánů umístěných ve formě shapefilové vrstvy v prostředí GIS. Jde o to, že fotografie pořízené fotoaparátem drženým v ruce je třeba rektifikovat (narovnat), tedy převést šikmý snímek na vertikální obraz, ve kterém vzdálenosti mezi objekty a jejich vzájemná poloha – na původní fotografii zachycené ve zkreslené podobě – co nejpřesněji odpovídají realitě a jsou zobrazeny v odvoditelném měřítku. Tím získávají informace uložené na letecké fotografii stejnou kvalitu jaká je požadována od dokumentace nemovitých archeologických objektů při terénních odkryvech: známe jejich přesnou velikost, tvar, rozměry a vzájemné prostorové vztahy. Finálním produktem tohoto procesu je podrobná mapa části sídelního areálu zviditelněného vegetačními příznaky, na níž jsou zachyceny půdorysy všech archeologicky interpretovaných objektů (rozličných druhů jam včetně kůlových/sloupových, příkopů, palisádových a liniových objektů/ohrazení – základových žlabů nadzemních staveb, příkopů atd.), případně další sku-

tečnosti zachycené na analyzovaných leteckých snímcích, které mají význam např. pro pochopení transformačních procesů ovlivňujících stupeň zviditelnění konkrétní lokality (zejm. koluviální eroze a zaniklá koryta vodních toků).

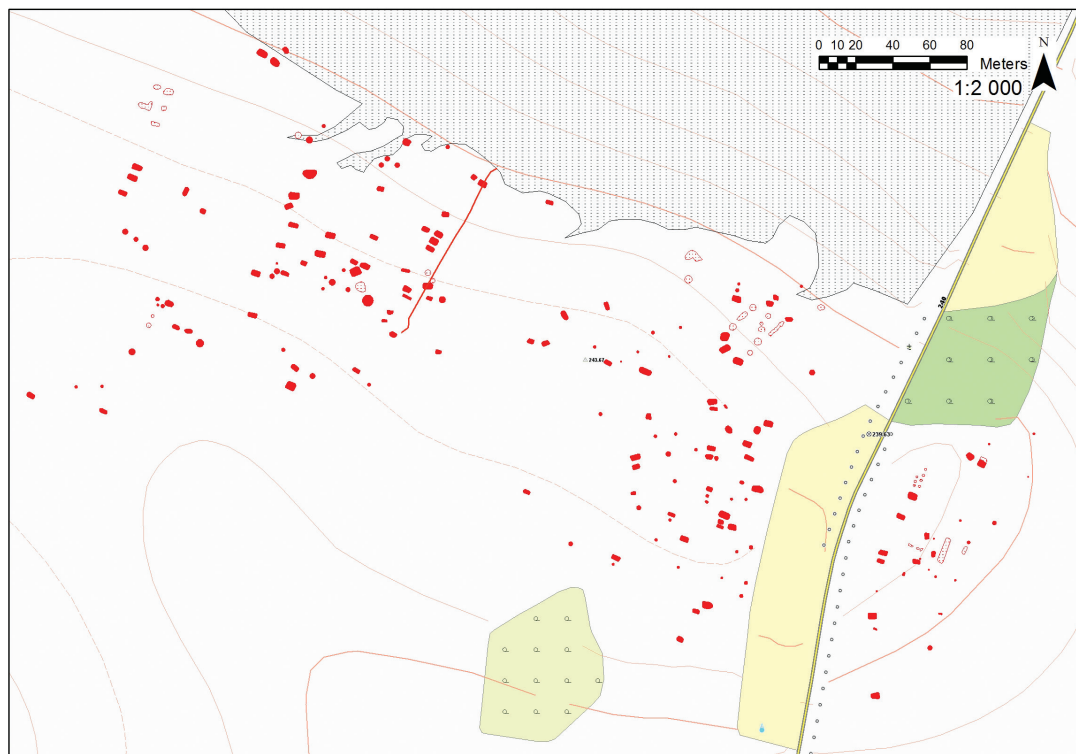
Tvorbu plánů z interpretovaných šikmých leteckých fotografií je za současných softwarových možností nejlépe provádět v prostředí GIS, za pomoci georeferencovaných leteckých měřicích snímků, dnes běžně dostupných na již zmíněných internetových mapových serverech (zejm. geoportál Českého úřadu zeměměřického a katastrálního – ČÚZK, fondy společnosti Geodis a TopGis na serveru Mapy.cz, či globálně nejrozšířenější portál Google Earth/Google Maps, obr. 3). Na jejich podkladě jsou rektifikovány šikmé snímky a do samostatné vrstvy je následně digitalizován (resp. vektorizován) jejich archeologický obsah (obr. 4). Plány všech fotoletecky zachycených lokalit jsou pak zaneseny do jednoho shapefilu, a následně je lze prohlížet na podkladu topografických map nebo leteckých či družicových ortofotomap dostupných přes internetové geoportály (obr. 5). Tímto způsobem bylo k dnešnímu dni podrobně zmapováno kolem 230 z výšky detekovaných pravěkých, středověkých a novověkých lokalit (podrobněji k tomu *Gojda – Gojda 2019*). Ty budou ve formátu JPG (v podobě prezentované na obr. 6) v nejbližší době uloženy do centrální (celorepublikové) výzkumné infrastruktury Archeologický informační systém ČR, resp. do digitálního archivu (<http://digiarchiv.amapa.cz/home>) její platformy, nazvané Archeologická mapa ČR (*Kuna – Lečbychová – Kosarová – Novák 2018*; www.archeologicka.mapa.cz).

Popsaný postup tvorby digitálních plánů někdejších sídelních aktivit, zachycených na leteckých fotografiích v podobě porostových příznaků, je dnes běžně využívanou metodou pokročilého zpracování primárních fotoleteckých dat. Od nástupu praktické implementace GIS do archeologie v 90. letech minulého



Obr. 3. Orthofotomapy lokality Ctiněves 4 z let 2006 (vlevo dole), 2012 (vlevo nahoře), 2015 (vpravo nahoře) a 2016 (vpravo dole) na portálu Mapy.cz. Jak je patrné, v letech 2006 a 2016 byly porostové příznaky cca 200 jam, dvou pravouhlných příkopových ohrázení a dalších objektů velmi dobře zviditelněné a jakožto kolmé (ortorektifikované) obrazy zemského povrchu mohly být využity pro vektorizaci v prostředí GIS.

Fig. 3. Orthophotomaps of Ctiněves 4 from 2006 (bottom left), 2012 (top left), 2015 (top right) and 2016 (bottom right) on the Mapy.cz portal. As can be seen, in 2006 and 2016 the vegetation symptoms of about 200 pits, two rectangular ditch fences and other objects were very well visible and as perpendicular (orthorectified) images of the earth's surface could be used for vectorization in the GIS environment.

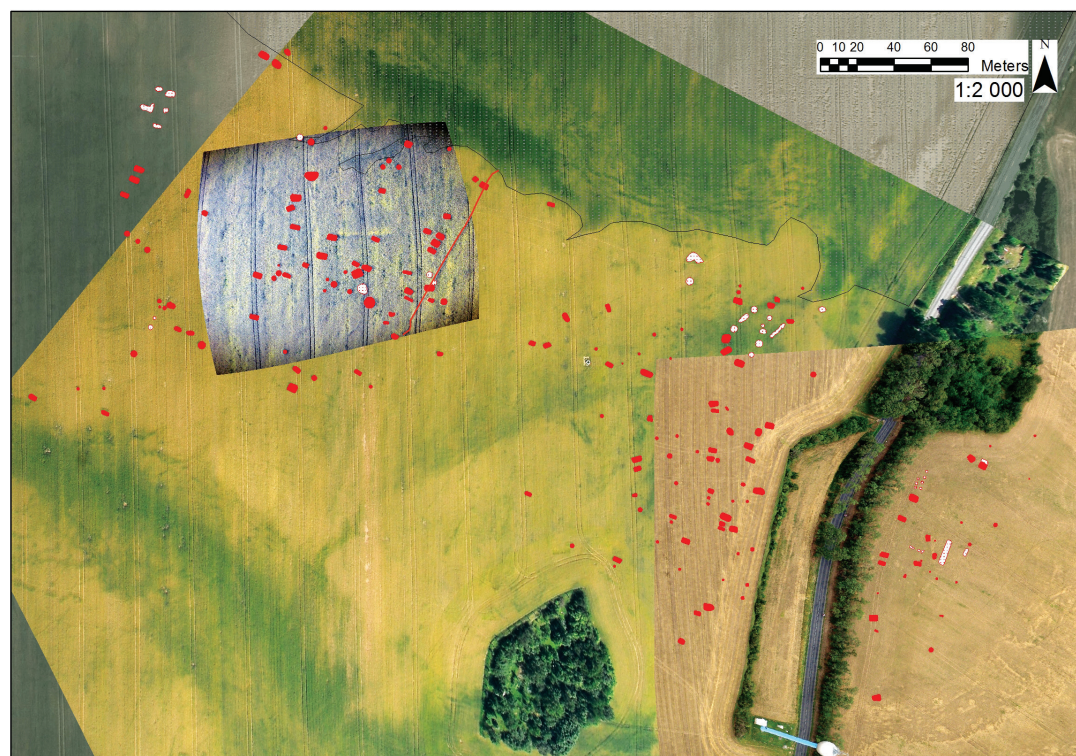


Obr. 4a. Transformace fotoleteckých dat do mapy. Plán pravěkého sídliště s bodovými objekty (zahloubené stavby/zemnice, jámy) a s linií zaniklého příkopu, zhotovený po rektifikaci interpretovaných leteckých snímků a jejich vektorizaci v prostředí GIS (ArcMap). Tečkovaná plocha – naakumulovaná ornice jako důsledek svahové eroze v místech, kde se nachází sídelní areál (cf. obr. 4b).

Fig. 4a. Transformation of photo flight data into a map. Plan of a prehistoric settlement with point objects (sunken structures / earthworks, pits) and with the line of the extinct ditch, made after rectification of the interpreted aerial photographs and their vectorization in the GIS environment (ArcMap). Dotted area – accumulated topsoil as a result of slope erosion in places where the residential area is located (cf. Fig. 4b).

století tento způsob mapování přímých (stínových, půdních) a nepřímých (vegetačních) indikátorů přítomnosti podpovrchových objektů ovlivnila nejprve tato inovace britský „National Mapping Programme (for England)“, globálně nejambicióznější projekt mapování nemovitěho kulturního dědictví založeného na analýze leteckých fotografií a archeologické interpretaci výše uvedených indikátorů na nich zachycených (<https://historicengland.org.uk/research/methods/airborne-remote-sensing/aerial-investigation/>). Ten byl péčí Královské komise pro historické památky (později inte-

grované do English Heritage, dnes Historic England) zahájen roku 1992 a pracovalo se v něm zpočátku s papírovými mapami. S přibývajícím dostupností digitálních mapových souborů a s podporou GIS se tehdejší postup již v devadesátých letech zásadně transformoval do procesu tvorby unikátní shapefilové vrstvy vektorizovaných map/plánů zaniklých komponent anglické kulturní krajiny. Od prvního desetiletí se tento postup stal jakýmsi standardem na těch pracovištích, kde se systematická transformace interpretovaných dat dálkového průzkumu provádí (Horne 2009). U nás tento



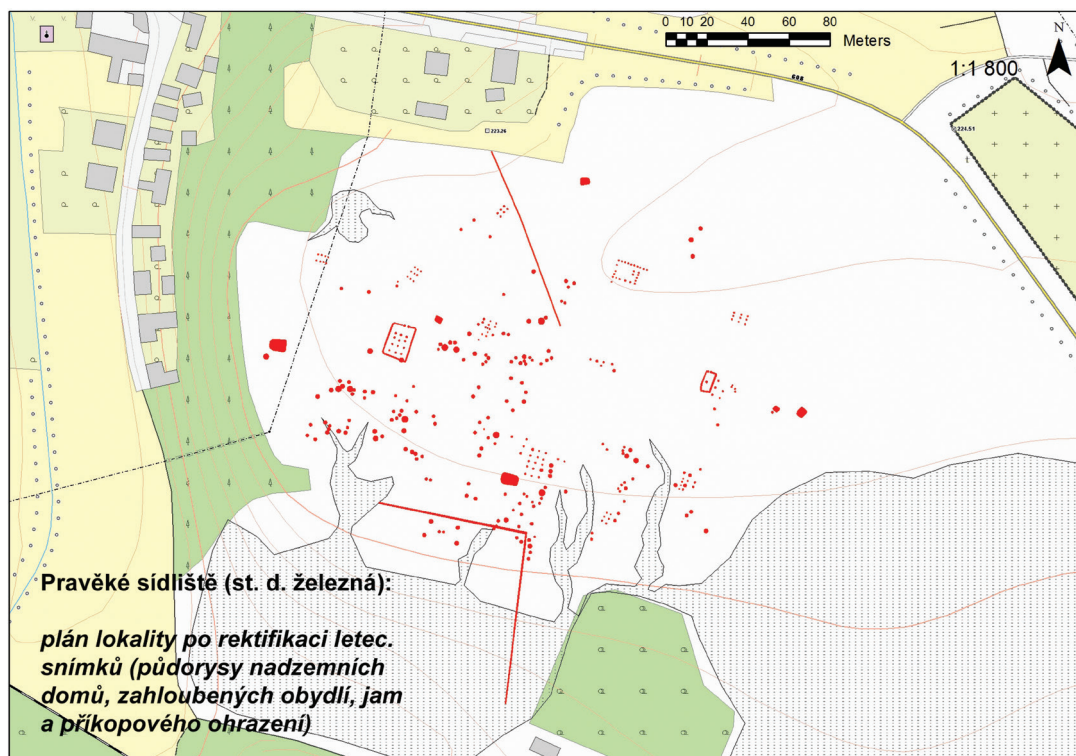
Obr. 4b. Transformace fotoleteckých dat do mapy. Tři rektifikované šikmé fotografie téhož pravěkého sídliště umístěné na kolmý (měřický) snímek.

Fig. 4b. Transformation of photo flight data into a map. Three rectified oblique photographs of the same prehistoric settlement placed on a vertical (measuring) image.

způsob mapování uvedl do praxe L. Šmejda, který v publikované verzi své dizertační práce demonstroval na několika vybraných příkladech jeho potenciál, resp. využitelnost v našem prostředí (Šmejda 2009).

Pro tvorbu přesných plánů archeologických objektů a areálů a pro následnou tvorbu 3D modelů lokalit zviditelněných vegetačními příznaky využívá autor v posledních několika letech potenciál bezpilotních letounů (obr. 7). Drony je možné pro tyto účely využít několika způsoby. V případě lokalit menší rozlohy lze pracovat s jedním snímkem pořízeným kolmo k povrchu, obvykle z výšky několika desítek metrů. Pokud fotografujeme lokalitu o větší rozloze, či při požadavku dokumentace dané lokality ve velmi vy-

sokém rozlišení, lze oblast nasnímkovat stejným způsobem z menší letové výšky po částech, které budou posléze pomocí vhodného softwarového nástroje (či manuálně) spojeny ve výsledný celek. Podobně jako u šikmého leteckého snímkování je nutno dodržovat stejné zásady jako při prvně jmenovaném způsobu – především vyfotografovat na okrajích výsledného obrazu body nemovitého charakteru, jež budou později sloužit jako referenční body při procesu rektifikace. Snímky pořízené výše uvedeným způsobem jsou sice kolmé, ale pouze v jednom bodě (uprostřed snímku), nikoliv v paralelním ortogonálním zobrazení. Vzhledem k relativně malé letové výšce dochází na okrajích pořízené fotografie ke značnému zkreslení. Nicméně pro



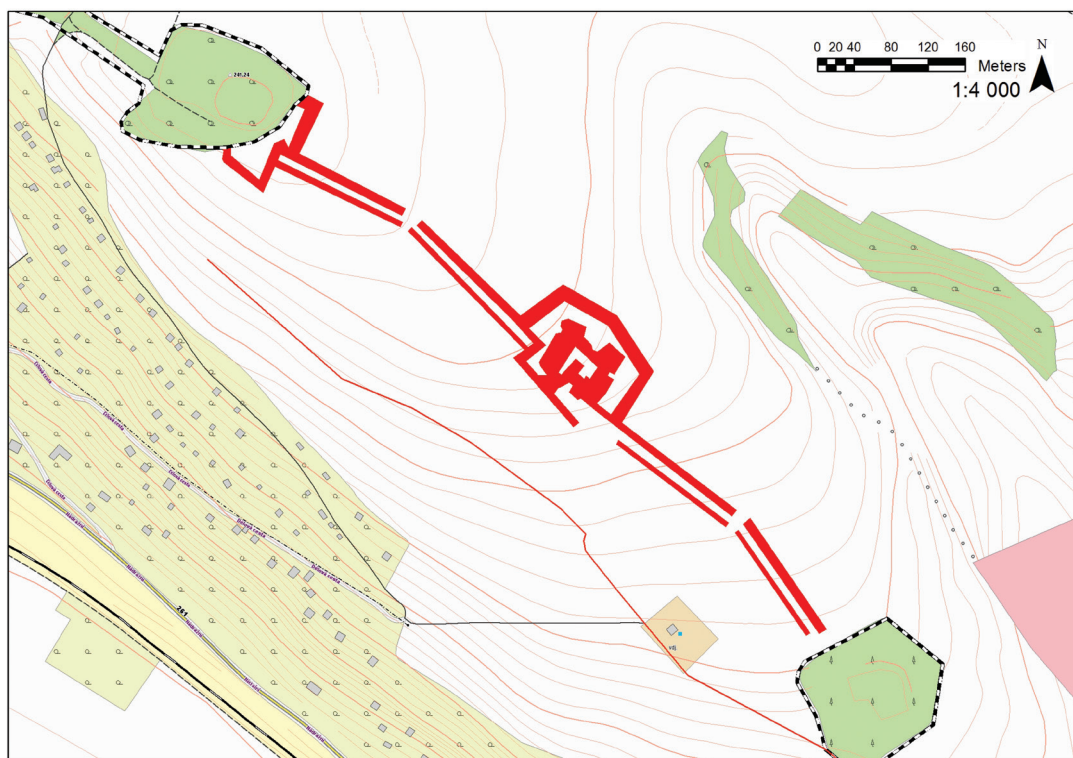
Obr. 4c. Stejným způsobem jako na obr. 4.a-b vytvořený plán sídliště ze starší doby železné (bylanská kultura). Lokalitu datují půdorysy několika nadzemních domů s pravidelně uspořádanými jámami po kůlech.

Fig. 4c. The plan of the settlement from the Early Iron Age (Bylan culture) created in the same way as in Fig. 4.a-b. The locality is dated by floor plans of several above-ground houses with regularly arranged pits along the poles.

potřeby archeologického mapování vegetačních příznaků je tento způsob dokumentace lokalit zcela dostačující a ve výsledku přesnější než šikmé letecké snímkování. (k využití dronů v archeologickém průzkumu viz např. *Risbøl – Gustavsen 2018, Themistocleous et al. 2015*; podrobně k fotogrammetrickým postupům při mapování *Šmejda 2009, 81–87*).

Jako vysoce perspektivní zdroj dat pro mapování archeologických lokalit se profilují 3D modely zpracované procesem vícesnímkové fotogrammetrie na základě metody structure from

motion (SfM). Jedná se o extrakci digitálního modelu povrchu (DMP) z šikmých 2D snímků opatřených záznamem geografické polohy dle protokolu GPS. Záznam polohy fotoaparátu při pořízení snímku je nezbytný pro výpočet výsledného 3D modelu, a zároveň je zdrojem pro následné usazení modelu či vyrenderovaných ortorektifikovaných fotografií do mapového podkladu. Pro fotogrammetrické zpracování jsou vhodná jak vstupní data pořízená šikmým leteckým snímkováním, tak i pomocí šikmého snímkování z dronu.



Obr. 4d. Plán opevnění vytvořený vektorizací kolmého snímku na portálu Mapy.cz a interpretací šikmých fotografií a leteckých laserových dat z geoportálu ČÚZK (cf. obr. 2a–b).

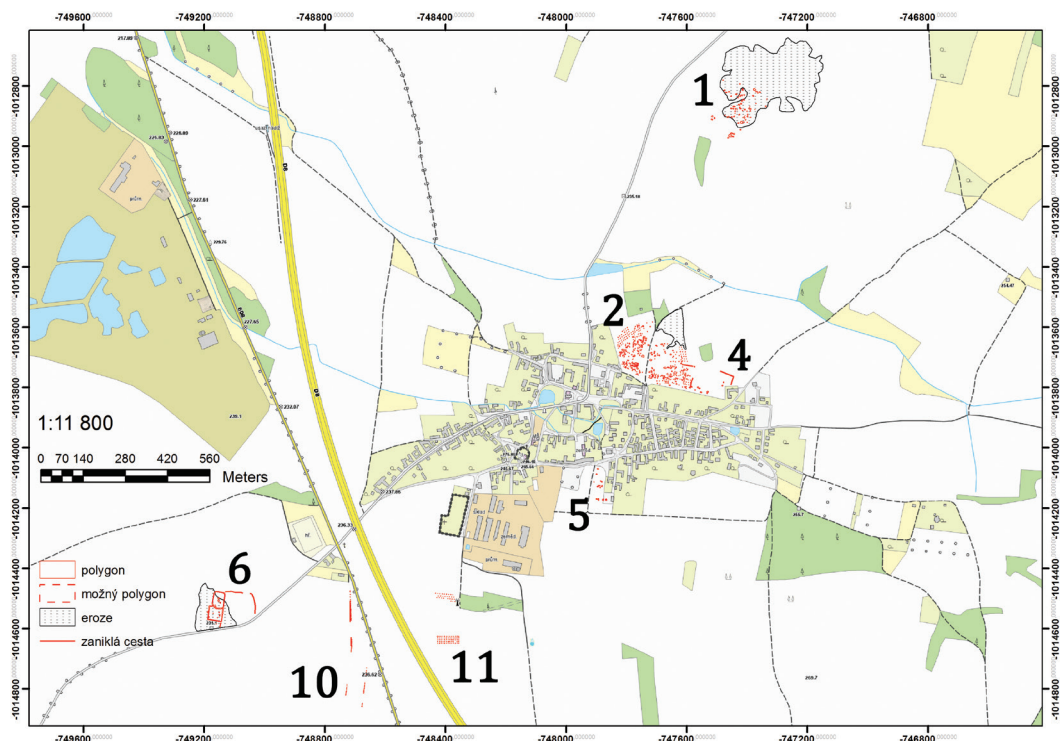
Fig. 4d. The fortification plan created by vectorizing the vertical image on the Mapy.cz portal and interpreting oblique photographs and aerial laser data from the ČÚZK geoportál (cf. Fig. 2a–b).

6. Závěr

Teprve v souvislosti s dynamickým rozvojem informačních, komunikačních a především zobrazujících technologií posledního čtvrtstoletí (nástup digitální fotografie, globálního navigačního satelitního systému/GNSS, dronů, geoinformačních systémů/GIS, bezplatné dostupnosti ortofotomaps na mapových serverech aj.) se začal rozšiřovat také instrumentář tradiční letecké archeologie. Výrazně k tomu přispěl rozvoj takových oborů jako je dálkový průzkum Země (DPZ) a obrazová spektroskopie, které k identifikaci objektů využívají specifických spektrálních charakteristik jejich povrchu a pomocí jejich spektrálních křivek zjišťují je-

jich chemické, fyzikální a strukturní vlastnosti a určují tak, o jaké objekty se jedná. V důsledku uvedených změn se přechází od pojmu letecká archeologie k používání termínu dálkový archeologický průzkum, který integruje řadu speciálních postupů jak aktivního, tak pasivního průzkumu krajiny z výšky.

Zpracování analyzovaných a interpretovaných leteckých fotografií pořizovaných během aktivního leteckého průzkumu z malých výšek do podoby ortorektifikovaných a georeferencovaných map (plošně rozsáhlá území se stopami minulých sídelních aktivit zviditelněných převážně prostřednictvím nepřímých – vegetačních – indikátorů) a podrobných plánů jednotlivých lokalit (tj. kumulací zahloubených antro-

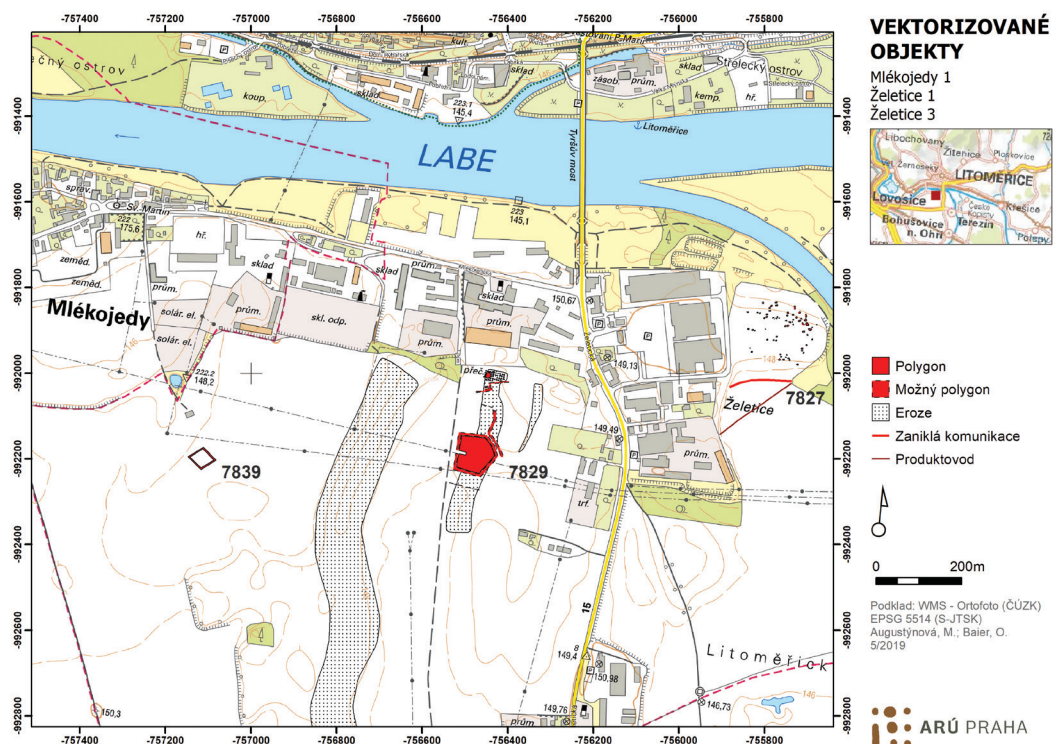


Obr. 5. Mapa archeologických lokalit detekovaných na ortofotomapách Mapy.cz a na šikmých leteckých snímcích na katastru obce Ledčice na Podřipsku vytvořená v programu ArcMap.

Fig. 5. Map of archaeological sites detected on orthophotomaps Mapy.cz and on oblique aerial photographs in the cadastre of the village Ledčice na Podřipsku created in the ArcMap program.

pogenních objektů pravěkého a historického původu na malém prostoru) lze nepochybně chápat jako nejdůležitější krok v procesu jejich zhodnocení jak z hlediska péče o archeologické dědictví, tak s ohledem na jejich další využití ve výzkumu. Právě on zvyšuje v plném rozsahu potenciál objevů učiněných prostřednictvím letecké prospekce a archeologické interpretace le-

teckých/družicových fotografií. Fondy archivu leteckých snímků ARÚP budou proto i nadále zpracovávány tímto způsobem a v transformované podobě map a plánů se stanou integrální součástí Archeologické mapy ČR (www.archeologickamapa.cz) – platformy centrálního Archeologického informačního systému ČR (<http://www.aiscr.cz>).



Obr. 6. Formulářová podoba mapového výřezu v okolí Litoměřic s plány tří lokalit identifikovaných díky vegetačním příznakům. V této formě budou plány jednotlivých lokalit umísťovány do AMČR jako součást fototelektických dat, tedy souborů leteckých fotografií, pořízených v průběhu projektu Archeologického ústavu AV ČR v Praze a řazených podle katastrů.

Fig. 6. Form map of the section in the vicinity of Litoměřice with plans of three localities identified due to vegetation symptoms. In this form, the plans of individual localities will be placed in the AMČR as a part of photovoltaic data, ie sets of aerial photographs taken during the project of the Archaeological Institute of the ASCR in Prague and sorted by cadastres.

Poznámka

Článek byl vypracován v rámci projektu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI II, Ministerstvo kultury ČR) č. DG18P02OVV058 – „Archeologie z nebe. Analýza a prezentace fondů dálkového průzkumu na Moravě a ve Slezsku“.



Obr. 7. Kolmá letecká fotografie lokality Ctiněves 4, okr.Litoměřice (nahore) pořízená z dronu DJI Inspire 1 kamerou Zenmuse X5 s orig. rozlišením 4600 x 3448 pixelů. Vedle klasických dronů (vlevo dole) jsou pro fotogrammetrické snímkování vegetací zviditelněných pravěkých areálů využívána také křídla (vpravo dole).

Fig. 7. Vertical aerial photograph of the Ctiněves 4 locality, Litoměřice district (above) taken from a DJI Inspire 1 drone by a Zenmus X5 camera with an original resolution of 4600 x 3448 pixels. In addition to classical drones (bottom left), wings (bottom right) are also used for photogrammetric imaging of vegetation of visible prehistoric areas.

Bibliografie

- Agapiou, A. – Lysandrou, V. – Hadjimitsis, D. – G. 2020: Earth observation contribution to cultural heritage disaster risk management: case study of eastern Mediterranean open air archaeological monuments and sites. *Remote Sensing* 2020, 12, 330, doi: 10.3390/rs12081330.
- Agudo, P. U. – Pajas, J. A. – Pérez-Cabello, F. – Redón, J. V. – Lebrón, B. E. 2018: The Potential of Drones and Sensors to Enhance Detection of Archaeological Cropmarks: A Comparative Study Between Multi-Spectral and Thermal Imagery. *Drones* 2, 29, doi: 10.3390/drones2030029.
- Bureš, M. 2014: Management archeologického dědictví. Plzeň.
- Caspari, G. 2020: Mapping and damage assessment of „royal“ burial mounds in the Siberian Valley of the Kings. *Remote Sensing* 12, 773, doi: 10.3390/rs12050773.
- Coakley, C. – Munro-Stasiuk, M. – Tynner, J. A. – Kimsroy, S. – Chhay, C. – Rice, S. 2019: Extracting Khmer Rouge irrigation networks from pre-Landsat 4 satellite imagery using vegetation indices. *Remote Sensing* 11, 2397, doi: 10.3390/rs11202397.
- Contreras, D.A., 2010: Huaqueros and remote sensing imagery: assessing looting damage in the Virú Valley, Peru. *Antiquity*, 84, 544–555.
- Crawford, O.G.S. 1929: *Air-Photography for Archaeologists*. London.
- Davis, D. S. 2020: Geographic disparity in machine intelligence approaches for archaeological remote sensing. *Remote Sensing*, doi: 10.3390/rs12060921.
- Duckers, G. L. 2017: Bridging the „geospatial divide“ in archaeology: community based interpretation of lidar data. Dostupné na <http://intarch.ac.uk/journal/issue35> .

- Fradley, M., and Sheldrick, N., 2017.* Satellite imagery and heritage damage in Egypt: a response to Parcak *et al.* (2016). *Antiquity*, 91, 784–792.
- Gojda, M. 1993:* Bohemia from the air – seven decades after Crawford. *Antiquity* 67/257, 869–75.
- Gojda, M. 2008:* Archeologie, společnost a univerzitní vzdělání. Poznámky k aktuálním trendům. *Archeologické rozhledy LX*, 755–768.
- Gojda, M. 2016:* Zdroje fotoleteckých a družicových dat pro evidenci nemovitých památek a péči o historickou krajinu. *Zprávy památkové péče* 5, 546–552.
- Gojda, M. 2017a:* Archeologie a dálkový průzkum. Historie, metody, prameny. Praha.
- Gojda, M. 2017b:* The value of complementarity. Integrating the evidence from air survey and ALS in Bohemia, *Archaeological Prospection* 24, 75–83; doi: 10.1002/arp.1562.
- Gojda 2017c:* Družicové a letecké fotografie na internetu. Evidence, či ohrožení archeologického dědictví?, *Dějiny a současnost* 39/1, 38–41.
- Gojda, M. – Gojda, O. 2019:* Metody leteckého průzkumu pohřbených krajin: mapování archeologického dědictví v prostředí GIS. *Historická geografie* 45/2, 183–206.
- Horne, P. 2009:* A Strategy for the National Mapping Programme. York: English Heritage.
- Koucká, L. – Kopačková, V. – Fárová, K. – Gojda, M. 2018:* UAV Mapping of an archaeological site using RGB and NIR high-resolution data, *Proceedings* 2018, 2, 351; doi:10.3390/ecrs-2-05164 (presented at 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing (March-April 2018), Available online: <https://sciforum.net/conference/ecrs-2>).
- Kuna, M. a kol. 2004:* Nedestruktivní archeologie. Praha.
- Kuna, M. – Lečbychová, O. – Kosarová, Z. – Novák, D. 2018:* Obsah vytvářený komunitou. *Zprávy památkové péče* 78/1, 35–44.
- Luo, L. – Bachagha, N. – Yao, Y. – Liu, C. – Shi, P. – Zhu, L. – Shao, J. – Wang, X. 2019:* Identifying linear traces of the Han dynasty Great Wall in Dunhuang using Gaofen-1 Satellite remote sensing imagery and the hough transform. *Remote Sensing* 11, 2711, doi: 10.3390/rs11222711
- Madry, S. 1987:* A multiscalar approach to remote sensing in a temperate regional archaeological survey. In: Crumley, C. L. – Marquardt, W. H. (eds.), 173–235. San Diego: Academic Press.
- Mařík, J. 2018:* Archeologie a veřejnost v mezinárodních úmluvách. *Zprávy památkové péče* 78/1, 30–34.
- Risbøl, O. – Gustavsen, L. 2018:* LiDAR from drones employed for mapping archaeology – potential, benefits and challenges. *Archaeological Prospection* 25/4, 329–338.
- Stott, D. – Kristiansen, S. M. – Lichtenberger, A. – Raja, R. 2018:* Mapping an ancient city with a century of remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, <https://www.pnas.org/content/115/24/E5450>.
- Stott, D. – Kristiansen, S. M. – Sindbaek, S. M. 2019:* Searching for Viking Age fortresses with automatic landscape classification and feature detection. *Remote Sensing* 11, 1881, doi: 10.3390/rs11161881.
- Stewart, C. – Labreche, G. – Gonzáles, D. L. 2020:* A pilot study on remote sensing and citizen science for archaeological prospection. *Remote Sensing* 12/17, <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2795/htm#>.
- Šmejda, L. 2009:* Mapování archeologického potenciálu pomocí leteckých snímků. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.
- Šmejda, L. 2017:* Interpretive and Analytical Approaches to Aerial Survey in Archaeology. *Interdisciplinaria Archaeologica – Natural Sciences in Archaeology* 8/1, 79–92.
- Themistocleous, K. – Agapiou, A. – Cuca, B. – Hadjimitsis, D. G. 2015:* Unmanned aerial systems and spectroscopy for remote sensing applications in archaeology, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XL-7/W3, 1419–1423.
- Verhoeven, G. 2016:* BRDF and its impact on aerial archaeological photography. *Archaeological Prospection* 24, 133–140.
- Verhoeven, G. 2017:* Are We There Yet? A Review and Assessment of Archaeological Passive Airborne Optical Imaging Approaches in the Light of Landscape Archaeology. *Geosciences* 86. doi: 10.3390/geosciences7030086.

Remote sensing and its changing ways to archaeological sites detection and mapping

Archaeological remote sensing is a set of methods employed by archaeology to obtain such large and qualitatively diverse assemblages of information on relics of the settlement activities of our ancestors that in the field of data collection, records and documentation of archaeological, architectural and urban heritage, this type of survey occupies one of the foremost heuristic positions. Since the pioneering beginnings of the intentional search for immovable archaeological sources, remote sensing and pictorial documentation of the historic landscape from above have undergone dynamic development, influenced mainly by continuously accelerating progress in technical fields. Apart from remote sensing, there are few comparably important methods focused on the investigation of settlement processes and the human impact on the prehistoric and historical landscape. The contribution with which this field has enriched our previous knowledge of the past is in many respects essential and unattainable by other methods.

The aim of this study is to attempt to capture the changes in archaeological research from above in two important areas: in the heuristic approach (collection of the source base, in this case relevant aerial and satellite data) and in the subsequent creation of archaeological maps and plans from above of detected (discovered, identified) locations with the occurrence of archaeological (sites). Emphasis is placed on the changes that have taken place in this century, as the dynamics of the current development of land survey methods influence landscape history research to an extent incomparable with any previous stage in the field, whose decades-long aerial archaeology (in the sense of visual prospection and oblique photography from a small aircraft using a hand-held camera) has transformed into the phase of “archaeological remote sensing” involving a number of new prospecting methods capable of producing a range of visual data (or data transformed into images) and which help process and analyse them using sophisticated procedures and algorithms.

Only in connection with the dynamic development of information, communication and especially imaging technologies of the last quarter century (the advent of digital photography, global navigation satellite system/GNSS, drones, geoinformation systems/GIS, the free availability of orthophotomaps on map servers, etc.) have the instruments of traditional aerial archaeology also begun to expand. The development of such fields as remote sensing of the Earth and image spectroscopy, which utilise the specific spectral characteristics of the surface to identify objects and use their spectral curves to determine their chemical, physical and structural properties to identify what features are involved.

The processing of analysed and interpreted aerial photographs taken during active aerial survey from low altitudes in the form of orthorectified and georeferenced maps in the GIS environment and detailed plans of individual sites (i.e., the accumulation of buried anthropogenic features of prehistoric and historical origin in a small area) can undoubtedly be considered the most important step in the process of their evaluation, both in terms of care for archaeological heritage and with regard to their further use in research. It is precisely this processing that fully increases the potential of discoveries made through aerial survey and archaeological interpretation of publicly or commercially available aerial/ satellite images. In this way, the archive collections of aerial photographs of the Institute of Archaeology of the Czech Academy of Sciences in Prague (photographs taken in the years 1992–2016 during annual aerial survey campaigns) are now being processed. Transformed into maps and plans, their first series (c. 230 sites) will become an integral part of the Archaeological Map of the Czech Republic (www.archeologickamapa.cz) – the platform of the central Archaeological Information System of the Czech Republic (<http://www.aiscr.cz>).

English by David Gaul

prof. PhDr. Martin Gojda, CSc., DSc.

- Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.
Letenská 4, 118 01 Praha 1
gojda@arup.cas.cz
-



Toto dílo lze užít v souladu s licenčními podmínkami Creative Commons BY-SA 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>). Uvedené se nevztahuje na díla či prvky (např. obrazovou či fotografickou dokumentaci), které jsou v díle užity na základě smluvní licence nebo výjimky či omezení příslušných práv.