

Archeologie a letecké laserové skenování krajiny

Archaeology and airborne laser scanning
of the landscape

Martin Gojda – Jan John a kol.

Roman Brejcha
Michal Bureš
Ladislav Čapek
Petr Dresler
Jiří Fröhlich
Daniel Hlásek
Lukáš Holata
Marek Kalábek
Petr Koscelník
Aleš Létal
Jiří Macháček
Ondřej Malina
Jan Martínek

Petr Menšík
Peter Milo
Jaroslav Peška
Jindřich Plzák
Filip Prekop
Jan Prostředník
Brita Raminnger
Lenka Starková
Daniel Stolz
Friedel Stratjel
Petr Šída
Pavel Šlězár
Jakub Vrána

**Katedra archeologie
Západočeská univerzita v Plzni**

Plzeň 2013

Recenzovali/Reviewed by:

Doc. PhDr. Jaromír Kovárník, CSc.

PhDr. Zdeněk Smrž

Publikace je výstupem grantů:

Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování

a

ArchaeoLandscapes Europe

© Martin Gojda – Jan John a kol. 2013

ISBN 978-80-261-0194-9

Obsah / Content

Předmluva	4	Preface	6
1. Ex caelo lux Principy leteckého laserového skenování a jeho využití pro dálkový archeologický průzkum	8	1. Ex caelo lux Principles of airborne laser scanning and its use for archaeological remote survey	20
2. Projekt Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3D snímkování (LIDAR), jeho cíle a dosažené výsledky	21	2. “The potential of archaeological survey of landscape in the Czech Republic using the airborne laser scanning” project (2010 – 2011): an overview	37
3. Výzkum, dokumentace a mapování novověkých polních opevnění prostřednictvím letecké prospekce, fotografie a laserového skenování	38	3. Identification, documentation and mapping historical field defensive features through aerial reconnaissance, photography and airborne laser scanning	48
4. Examinace procesu optimalizace „archeologicky korektních“ způsobů vyhodnocení dat z leteckého laserového skenování zalesněné krajiny Potenciál filtrace surových dat, problematika interpolačních algoritmů a způsobů vizualizace antropogenních tvarů v digitálních modelech reliéfu	49	4. Examination of the optimisation process of the “archaeologically correct” approaches to airborne laser scanning data evaluation in forested landscapes Potential of raw data filtration, issues of interpolation algorithms and methods of visualisation of anthropogenic features in digital terrain models	79
5. Neolitická těžba na Jistebsku v Jizerských horách a možnosti její detekce pomocí leteckého laserového skenování	80	5. Neolithic quarrying at Jistebsko in Jizera Mountains and the possibilities of its detection using airborne laser scanning ...	86
6. Potenciál využití leteckého laserového skeneru na archeologicky dlouhodobě zkoumaném území: případová studie z oblasti severně od Písku	87	6. The potential of the application of airborne laser scanning on long-studied archaeological sites: case study of a region north of Pisek	98
7. Letecké laserové skenování a jeho využití ke studiu archeologických nemovitých památek v lesním komplexu Bezinský na katastru obce Rataje, okr. Tábor	99	7. Airborne Laser Scanning and its use for the study of archaeological features in the forested complex of Bezinský in Rataje cadastral area (Tábor region)	110
8. LLS jako součást komplexní archeologické prospekce v zázemí raně středověkého centra na Pohansku u Břeclavi	111	8. ALS as part of a comprehensive archaeological prospection in the hinterland of Early Medieval hillfort Pohansko near Břeclav	126
9. Výpovědní hodnota leteckého laserového průzkumu při průzkumu vybraných archeologických lokalit v Karlovarském kraji	127	9. The validity of airborne laser scanning for the survey of selected archaeological sites in the region of Karlovy Vary	143
10. Příspěvek leteckého laserového skenování k poznání dvou zaniklých středověkých vesnic mezi Líšnou a Točnickem ...	144	10. Airborne laser scanning contribution to the survey of two deserted medieval villages between Líšná and Točník ...	149
11. Využití dat leteckého laserového skenování ke studiu středověké a novověké krajiny Velechvínského polesí, okr. České Budějovice	150	11. The application of airborne laser scanning for the study of medieval and modern landscape of Velechvínský forest, region of České Budějovice	158
12. Lidar a interpretace historického antropogenního reliéfu v zázemí dvou kostelů na Černokostecku	159	12. Lidar and the interpretation of historical anthropogenic relief in the vicinities of two churches in the region of Černý Kostelec	172
13. Využití leteckého laserového skenování na příkladu mapování a dokumentace zaniklých vesnic středověkého a novověkého charakteru v Čechách	173	13. The use of airborne laser scanning for mapping and documentation of medieval and modern deserted villages in Bohemia	189
14. Využití lidarových dat v archeologii konfliktu středověku: obléhač práce z 15. století	190	14. The application of lidar data in conflict archeology of the Middle Ages: 15th century siege works	199
15. Evaluace archeologického potenciálu lesního prostředí jihozápadní části Radečské vrchoviny s využitím lidarových dat	200	15. An evaluation of the archaeological potential of the woodland in south-western part of Radeč Upland with the use of LIDAR data	220
16. Odraz Železné opony v datech leteckého laserového skenování na příkladu Novohradských hor	221	16. “Iron Curtain” reflections in airborne laser scanning data: a case study from Novohradské Hory	227
17. Identifikace starých cest a dalších objektů za pomoci LLS První výsledky multidisciplinárního projektu	228	17. The identification of past communication routes and other features using ALS First results of an interdisciplinary project	240
Literatura	241		
Seznam autorů	254		

Martin Gojda – Jan John

Předmluva

Metodám, jejichž cílem je identifikovat nemovité archeologické památky a mapovat jejich rozsah na velké ploše, nebyla dlouho v naší archeologii věnována dostatečná pozornost. Teprve s nastolením témat spjatých s výzkumem větších územních celků, dále v důsledku technického rozvoje přístrojů a zařízení umožňujících jejich využití v bezkontaktním terénním výzkumu, a konečně v souvislosti s novými pohledy na problém etiky u tradičně vedených terénních archeologických výzkumů odkryvem se v naší zemi od posledního desetiletí minulého století stále výrazněji prosazuje trend k využívání potenciálu velkoplošných nedestruktivních metod.

V průběhu první dekády tohoto století byla evropská archeologie svědkem nástupu a rychlého rozšíření nového fenoménu, který v nezanedbatelné míře ovlivňuje prakticky všechny součásti procesu archeologického poznání sídelních aktivit člověka v minulosti. Jak v oblasti terénního výzkumu – identifikace, dokumentace a (výškopisného) mapování – nemovitých památek, tak i na poli interpretace se v posledních letech stále výrazněji prosazuje moderní metoda dálkového průzkumu krajiny, známá ponejvíce pod anglickými akronymy LiDAR (lidar = Light Detection and Ranging) a ALS (Airborne Laser Scanning). Podstatou jejího významu pro archeologii je dosažení georeferencovaného výškopisného záznamu antropogenních tvarů terénního reliéfu na zemském povrchu pomocí zařízení, které využívá energie světelného zdroje koncentrovaného do formy laserových paprsků.

Obě uvedené zkratky označují odvětví dálkového průzkumu Země, které vychází ze specifického (od dosavadních postupů kvalitativně odlišného) způsobu sběru polohopisných a výškopisných dat o zemském povrchu a o jejich následném využití k vytváření (digitálního) modelu reliéfu, resp. k tvorbě výškopisné mapy. Zatímco v prvních letech se využití leteckého laserového snímkování uplatňovalo pouze v bohatších evropských zemích, které si bez větších problémů mohou dovolit zapojení nejnovějších technologií do archeologických projektů zaměřených na výzkum pravěké a historické krajiny (nejdynamičtější se tato metoda rozvíjí a využívá v Anglii, Francii, Itálii, Německu a Rakousku), je v současnosti potenciál této metody postupně uplatňován a rozvíjen také v zemích střední a východní Evropy, které bývaly součástí bloku tzv. lidově demokratických (socialistických) států (podrobněji k tomu v kap. 1).

Aplikace lidarů a využití jeho potenciálu v archeologii se slibně rozvíjí a již několik let je jasné, že letecké laserové skenování se stává jedním z nejefektivnějších způsobů průzkumu a dokumentace kulturní/historické krajiny. Tedy takového prostředí, v němž jsou na povrchu terénu zachovány relikty minulých lidských aktivit spojených se sídlením a exploatací krajiny, například příkopy a valy hradišť, mohylová pohřebiště,

zaniklé středověké a novověké vesnice a jejich pluzžina, opuštěné těžební areály, rybníky, komunikace, milíře, polní opevnění atd. Tyto druhy nemovitých památek jsou v naprosté většině případů zachovány v zalesněném prostředí, v mnohem menší míře v otevřené krajině, v níž je terénní reliéf vystaven devastujícím účinkům dlouhodobě praktikované orby. Jak ovšem dokládají aktuální výsledky leteckého laserového snímkování, je možné i v zemědělsky dlouhodobě kultivované bezlesé krajině tímto způsobem detekovat a dokumentovat některé památky, ačkoli vizuálním povrchovým průzkumem jejich stopy neevdujeme. Dosavadní zkušenosti ukazují, že při standardním (nejčastěji uplatňovaném) nastavení hustoty skenovaných bodů může lidarové snímkování polí výjimečně zachytit i časově velmi vzdálené areály a objekty. Mnohem častěji se však jedná o památky, k jejichž destrukci došlo v nepříliš vzdálené minulosti (příklad pozdně novověkého opevnění severně od Terezína je představen v kap. 3).

V České republice se teprve nedávno naskytl možnost aplikovat zde prezentovanou sofistikovanou metodu výškopisného mapování pro potřeby výzkumu české pravěké a historické krajiny, otestovat možnosti, které pro jejich identifikaci, evidenci a dokumentaci tato metoda nabízí a zhodnotit její efektivitu z hlediska vynaložených prostředků a kvality dosažených výsledků. Prvním projektem realizovaným na území České republiky, který v plné míře směřoval k testování možností leteckého laserového snímkování v podmínkách českého prostředí a jeho rozmanitých krajinných typů a ke zhodnocení jeho budoucí role v oblasti heuristiky (identifikace a evidence), mapování a dokumentace území s výskytem nemovitých památek byl Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR). Nedávno (formálně) ukončený projekt, jehož nositelem byla Západočeská univerzita v Plzni (resp. katedra archeologie zdejší Fakulty filozofické, dále ZČU), probíhal v letech 2010 – 2011 a přinesl řadu zajímavých výsledků jak v oblasti heuristické (zviditelnění mnoha dosud neznámých památek a jejich následná evidence) a dokumentační (trojrozměrné mapy a plány různorodých objektů spojených s minulými sídelními aktivitami), tak interpretační (např. výklad vzájemných vztahů památek a jejich bezprostředního okolí, hledání pravidelností – struktur – v prostorových vztazích jednotlivých složek někdejších sídelních areálů; podrobně k projektu viz kap. 2).

Pro výzkum a ochranu nemovitého archeologického dědictví českých zemí má zásadní význam skutečnost, že v nedávné době zahájila ČR tvorbu nového výškopisného mapování celého území státu metodou leteckého laserového skenování. Díky tomu bude v blízké budoucnosti možné integrovat takto shromážděná prostorová data ve standardním prostorovém rozli-

šení do archeologických projektů a prakticky „od stolu“ analyzovat model terénu a interpretovat jej z hlediska přítomnosti a druhového zastoupení antropogenních reliktnů (podrobněji k tomu v kap. 1).

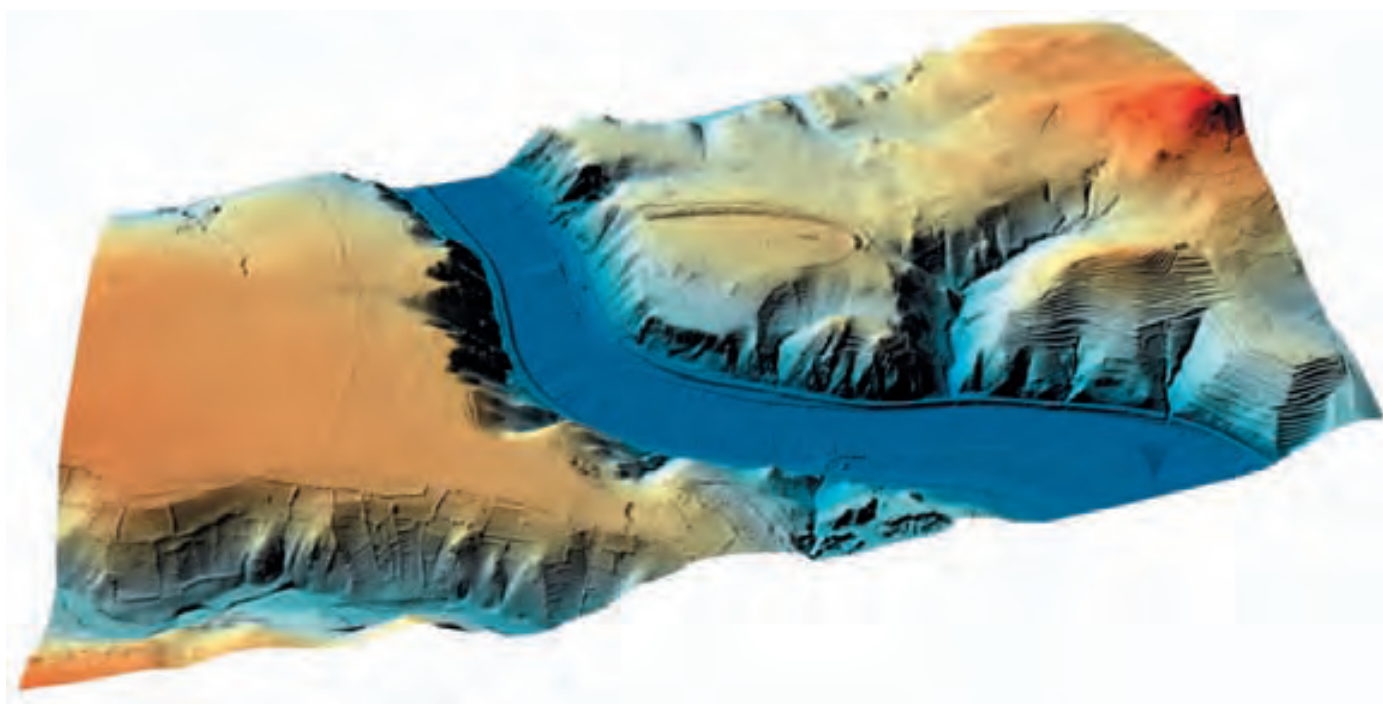
V tomto svazku zaměřeném tématicky na uplatnění leteckého lidararu v průzkumu krajiny s archeologickými památkami zachovanými na povrchu země předkládáme odborné veřejnosti jednak nejdůležitější výsledky výše uvedeného projektu plzeňské katedry archeologie, a jednak studie zaměřené na zhodnocení výpovědi leteckých laserových dat ve vybraných oblastech, které jsou předmětem dlouhodobějšího vědecko-výzkumného zájmu posluchačů doktorských studií naší katedry. Jsou to právě data získaná z projektu nového výškopisného mapování ČR, laskavě poskytnutých našemu pracovišti Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (naš dík patří především ing. K. Brázdilovi a Mgr. P. Dušánkovi), jejichž potenciál chceme předvést odborné veřejnosti a inspirovat zájemce z jejich řad k odbornému využití těchto dat jak v teoreticky postulovaných projektech, tak v péči o archeologické dědictví. Abychom nabídli co nejpřesnější obrázek o současném stavu zájmu profesionálních archeologů v českých zemích, s velkým

potěšením jsme do předkládaného svazku zařadili také studie z několika dalších pracovišť mimo ZČU, které jsou dokladem rychle se šířícího zájmu o danou problematiku u nás.

Předkládaný svazek je tak první ucelenou zprávou o začlenění leteckého lidarového průzkumu do naší archeologie. Je publikačním výstupem výše uvedeného projektu *Potenciál archeologického výzkumu...* (GAČR, ident.č. P405/10/0454), a zároveň jednoho z největších mezinárodních soudobých projektů evropské archeologie *ArchaeoLandscapes Europe* (zkrat. též *ArcLand*, Culture Programme 2007–2013 – CU7-MULT7, Agreement Number 2010-1486/001-001; viz <http://www.archaeolandscapes.eu>), jehož partnerem je ZČU v Plzni reprezentovaná jedním z editorů této monografie.

Věříme, že si tato kniha najde své čtenáře, že rozproudí zájem o výzkum a ochranu pravěké a historické krajiny prostřednictvím nejmodernější metody dálkového průzkumu a především – že nezůstane příliš dlouho osamocena.

Martin Gojda – Jan John
Plzeň, listopad 2012



Martin Gojda – Jan John

Foreword

Methods, which aim to identify the immovable archaeological artefacts and map their distribution on a large scale, had long been neglected in Czech archaeology. It has been with the growing interest in themes connected with more extensive portions of landscape, in consequence of the technological development of tools and devices which could be used in remote survey and finally in connection with the new perspectives on the ethics of traditional methods of archaeological excavation in our country that from the last decade of the 20th century a trend towards the use of large-scale non-destructive methods has been more and more apparent.

During the first decade of this century, European archaeology witnessed the emergence and rapid spread of a new phenomenon, which considerably influences practically all stages of the archaeological research on past human settlements. In field research – the identification, recording and mapping – of immovable heritage, as well as in the interpretation stages, a modern method of remote sensing of the landscape is becoming more promoted in the recent years. This method is best known under its English acronyms LiDAR (Light Detection and Ranging) and ALS (Airborne Laser Scanning). The basis of its importance for archaeology lies in obtaining a georeferenced elevation model of anthropogenic features on the surface of the terrain employing a device, which uses light source energy concentrated into laser beams.

Both the above mentioned abbreviations are used for a type of remote sensing of the Earth's surface, which uses a specific (and from older approaches qualitatively different) way of the positioning and elevation data collection and for their subsequent use when a (digital) model, i.e. a hypsographic map, of the terrain is created. Initially, airborne laser scanning was used only in the “richer” European countries, which can relatively easily afford to apply the latest technology to archaeological research of prehistoric and historic landscapes (this particular method is being developed and applied the most dynamically in England, France, Italy, Germany and Austria). Nowadays, the potential of this method is gradually put to practice also in the countries of Central and Eastern Europe, i.e. the post-communist countries (for more detail see chap. 1).

The application of lidar and the use of its potential in archaeology are developing promisingly and in the recent years it has become clear, that airborne laser scanning represents one of the most effective methods of cultural/historical landscape survey and documentation. By that we understand the environment, in which there are preserved the remains of past human activities connected with settlement and resource exploitation, such as ditches and ramparts of hillforts, barrows, deserted medieval and modern villages and their field systems,

deserted mining sites, ponds, roads, charcoal burning platforms, field fortifications etc. These types of immovable features are in the majority of cases preserved in woodlands, considerably less so in open landscapes, in which the relief is exposed to the devastating effects of long-term manuring. The current results of airborne laser scanning attest that even in the agriculturally cultivated landscape with no protective tree cover, it is possible to detect and record a number of remains, although they are virtually unrecognisable visually during surface survey. Experience shows that the standard (most commonly applied) density of scanned points, lidar scanning of fields can sometimes record even very old sites and features. Much more commonly, however, we are dealing with remains which were destroyed more recently (an example of later modern fortifications of Terezín is presented in chapter 3).

It has been only recently when an opportunity arose in the Czech Republic to apply the presented sophisticated method of mapping for the research of Czech prehistoric and historic landscape, to test the possibilities this method has for their identification, recording and documentation and to evaluate its effectiveness considering the costs and quality of results. The first project undertaken in the Czech Republic, which was entirely dedicated to the testing of the potential of airborne laser scanning in Czech environment in a variety of landscape types and the evaluation of a future role of ALS in heuristics (identification and recording), mapping and documentation of environments with immovable archaeological remains was the *Potential of archaeological landscape survey in the Czech Republic using 3D airborne laser scanning (LIDAR)*. A recently (formally) finished project, which was undertaken at the University of West Bohemia in Pilsen (at the Department of Archaeology of the Faculty of Philosophy) during the years 2010 – 2011 and brought a number of interesting results in the heuristic field (documentation and recording of a number of previously unknown sites), new records (3D maps and plans of various features related to past settlements) and interpretations (e.g. the relation of various sites and their hinterlands, a search for patterns – structures – in spatial relationships of individual components of past settlements; for more detail see chap. 2).

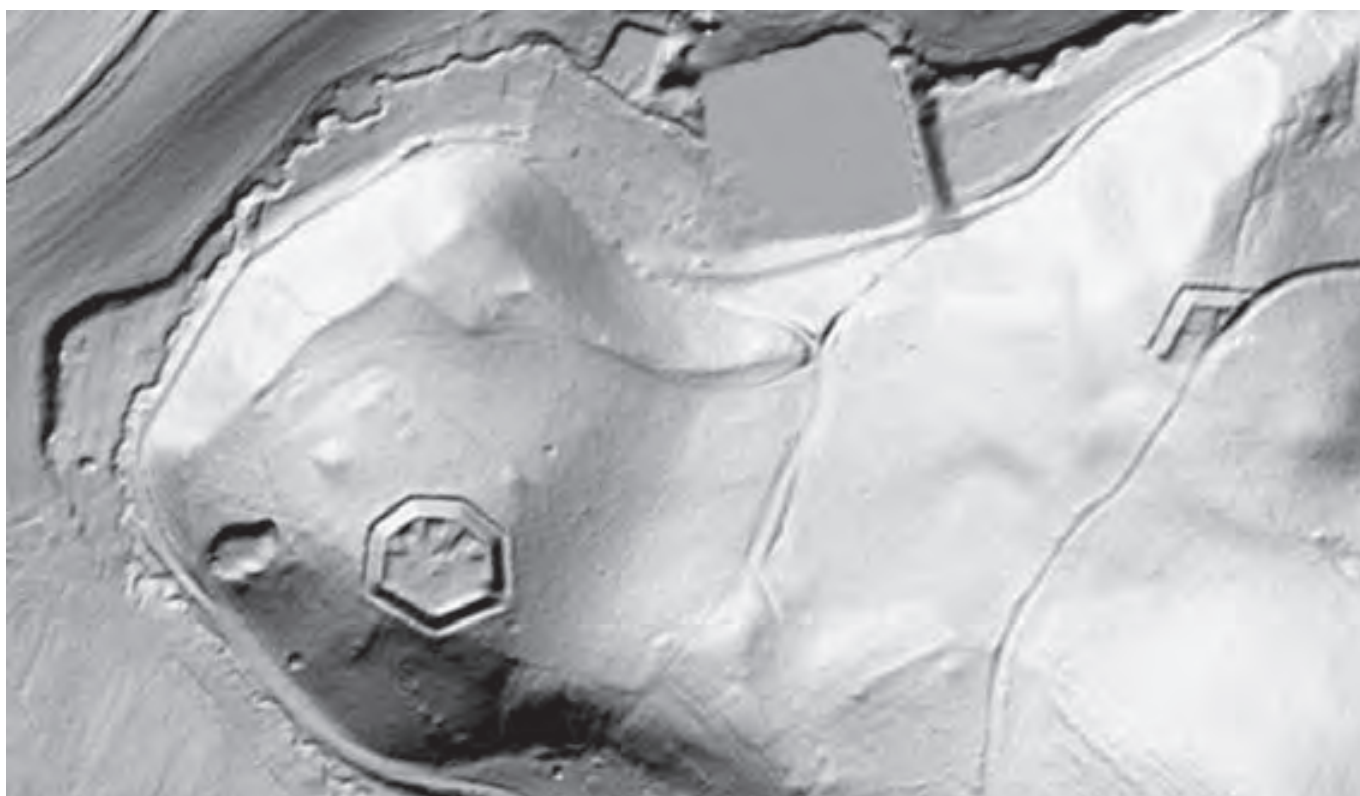
For the study and protection of immovable archaeological heritage in the Czech Republic it is crucial, that recently the state has launched a new mapping project of the whole of Czech Republic using airborne laser scanning. Hence, in the near future it will be possible to integrate the collected data in standard spatial resolution into archaeological projects and practically “from the desk” analyse a terrain model and interpret it as for the presence and typological representation of anthropogenic features (for more detail see chap.1).

In this volume which thematically focuses on the application of airborne lidar for the survey of landscape with archaeological features preserved on the surface, we present the most important results of the above mentioned project of the Department of Archaeology in Pilsen and also studies which deal with the evaluation of airborne laser data in selected areas, as objects of long-term research of the doctoral candidates at our institution. We want to present particularly the data collected as part of the new Czech Republic mapping project, kindly provided to us by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre (we are very grateful especially to Ing. K. Brázdil and Mgr. P. Dušánek), and inspire those interested to a further use of these data in theoretical projects as well as for the conservation of archaeological heritage. To offer the most accurate picture of the present-day state of Czech professional archaeologists' research interests, we are happy to include in this volume the studies from several other institutions outside the University of West Bohemia, which demonstrate the rapidly spreading interest in this topic in our country.

This volume hence represents the first inclusive report about the incorporation of airborne laser scanning in Czech archaeology. It is the publication outcome of the project *The Potential of archaeological landscape survey...* (GAČR, ID.no. P405/10/0454), and at the same time one of the largest current international projects in European archaeology *ArchaeoLandscapes Europe* (or *ArcLand*, Culture Programme 2007-2013 – CU7-MULT7, Agreement Number 2010-1486/001-001; see <http://www.archaeolandscapes.eu>), where the University of Bohemia cooperates as a partner represented by one of the editors of this volume.

We believe that this volume will find its readers, that it will promote the interest in the research and protection of prehistoric and historic landscape using the latest method of remote sensing and most importantly – that it will not remain the sole example of such study for long.

Martin Gajda – Jan John
Pilsen, November 2012



Jan John – Martin Gojda

1

Ex caelo lux

Principy leteckého laserového skenování a jeho využití pro dálkový archeologický průzkum

1. Úvod

Jedním z důležitých teoretických konceptů zastánců difuzionismu v archeologii byla idea pokroku (světla), přicházejícího z oblasti Předního východu (*Ex oriente lux* – viz např. *Montelius 1899*). Dnešní archeologie se při hledání odpovědi na své otázky obrací spíše k vlastním archeologickým pramenům v naší krajině a při této snaze dostává do rukou nový nástroj v podobě světla (laserového paprsku), přicházejícího z nebe (*Ex caelo lux*).

Zmíněným nástrojem, který na počátku třetího tisíciletí zahájil kvalitativně novou etapu archeologického výzkumu krajiny, je metoda leteckého laserového (lidarového) skenování (dále LLS, v angličtině ALS – *airborne laser scanning*), která se v posledních letech začíná postupně uplatňovat i v naší archeologii. Zásadním způsobem mění efektivitu (tj. především rychlost sběru dat a cenu za jejich pořízení) tradičně vedeného pozemního (geodeticko-topografického) způsobu vyhledávání, dokumentace a mapování archeologických nemovitých pramenů uchovaných v terénním reliéfu ve formě vyvýšenin a depresí, tedy tzv. antropogenních tvarů reliéfu (*Kuna – Tomášek 2004, Smetánka – Klápště 1981*). Také ve srovnání s klasickým fotogrammetrickým leteckým snímkováním přináší tato metoda významné zlepšení možnosti tvorby map prostřednictvím dálkového průzkumu. Souvisí to s poměrně velkou polohovou a výškovou přesností obrovského počtu zaměřených bodů na zemském povrchu, umožňující následnou tvorbu výškopisného modelu, resp. výškopisné mapy. Naprosto zásadní je v uvedeném srovnání jedna z největších předností leteckého laserového skenování, která vychází z podstaty technologie laseru založené na šíření světla emitovaného v koncentrované podobě laserových paprsků; touto předností je schopnost těchto paprsků proniknout na povrch země skrz vzrostlou (i když ne příliš hustou, resp. světlu propustnou) vegetaci.

V úvodní kapitole tohoto svazku se pokusíme shrnout nejdůležitější informace o principech, na kterých je letecké skenování povrchu země založeno, podáme přehled o způsobech sběru surových dat (v souvislosti s tím shrneme možnosti v přístupu k českým lidarovým datům, pořizovaným v současné době v rámci projektu tvorby nového výškopisu ČR), o jejich klasifikaci (filtraci) a následné interpolaci (transformaci dat do podoby digitálního výškopisného modelu); pozornost bude dále věnována možnostem vizualizace digitálního modelu a na ní založené interpretaci terénního reliéfu z hlediska přítomnosti (resp. identifikovatelnosti) nemovitých archeologických pramenů. Rov-

něž podáme stručný přehled o dosavadním využití této metody v kontextu evropské archeologie.

2. Lidar a principy leteckého laserového skenování

Termín *lidar* je akronymem (zkratkou) slovního spojení *light detection and ranging*, který se vztahuje obecně k fyzikální podstatě měření vzdálenosti a polohy pomocí laserového paprsku. Toto měření může probíhat třemi způsoby: ze země – a to buď z pevné, nebo pohyblivé základny (ze stojanu, resp. z automobilu), a ze vzduchu, kdy nosičem skenovacího zařízení je letadlo nebo vrtulník. Pozemní laserové měření je dnes běžně využívanou součástí projektování staveb včetně složitých zařízení energetických a průmyslových komplexů; také v archeologii (včetně naší) se již od minulého desetiletí tento způsob dokumentování terénních výzkumů uplatňuje relativně často, a to zejména v případě lokalit s různorodou skladbou komponent (vrstvy, zdivo, výplně objektů).

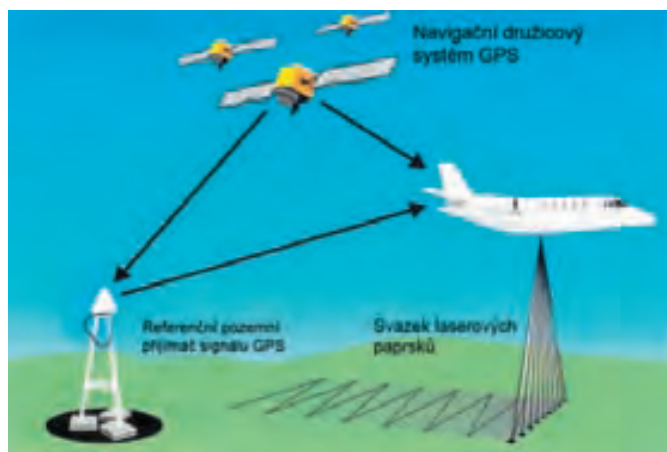
Zabýváme-li se výlučně aplikací lidarového principu na leteckých nosičích, pak můžeme tento pojem definovat jako označení technologie sloužící k 3D mapování, resp. k tvorbě výškopisného modelu prostřednictvím dat získaných laserovým skenováním zemského povrchu z výšky.

Letecké laserové skenování je jednou z dlouhodobě vyvíjených metod tzv. *dálkového průzkumu Země (DPZ)*. Tímto pojmem označujeme postupy, jejichž úkolem je získávání informací o povrchové vrstvě Země (jinými slovy informace o tom, kde se co nachází, jakou formu to má a jak je to daleko) bez přímého kontaktu s ní. Jsou založeny na měření intenzity přirozeně nebo uměle emitovaného a odraženého elektromagnetického záření, jehož hodnotu převádějí na elektr. signál a ten zaznamenávají v podobě digitálních dat. Do poměrně nedávné doby, kdy rychlý rozvoj digitálních technologií přinesl některé nové způsoby pořizování dat (termovize, radarové a laserové systémy) i na nosiče operující v menších výškách, tedy na letadla, vrtulníky a dálkově řízené bezpilotní prostředky, byl pojem DPZ spojován převážně s pořizováním dat z vesmíru. Sběr informací o povrchu Země prostřednictvím letadel býval označován pojmem letecká fotogrammetrie, která slouží zejména pro mapovací práce. Uvádí se, že cena souboru lidarových dat je přibližně o 40 % levnější než kolekce klasických fotogrammetrických dat, totéž platí o rychlosti jejich pořízení, zpracování a extrahování požadovaných informací (*Young 2011, 21*).

Techniku používanou v oblasti kosmického DPZ tvoří jednak dnes už prakticky vyražené klasické fotokomory a televizní kamery, pořizující analogový záznam, a jednak široká škála přístrojů obecně zvaných radiometry (měřiče záření). Zatímco družicové systémy jsou obvykle nosiči pasivních radiometrů (opticko-mechanických a elektronických skenerů a skenujících mikrovlnných přístrojů), které měří intenzitu přirozeného (slunečního) záření, raketoplány, letadla a vrtulníky bývají nosiči termovizní kamery, radaru a lidarů. Tyto tzv. aktivní radiometry využívají k měření vlastního zdroje záření: u radaru jsou to vysokofrekvenční rádiové vlny, u lidarů světelné paprsky (podrobně k metodám DPZ např. *Halounová – Pavelka 2005*; celkový přehled o družicových systémech a aplikaci satelitních dat v archeologii viz *Parcak 2010* a *Gojda – John 2009*).

Lidar je tedy v principu stejným druhem přístroje jako radar (akronym pro *radio detection and ranging*), jedná se o aktivní systém dálkového průzkumu, kterým se měří vzdálenost mezi nosičem lidarů a zemským povrchem na základě času, který uplyne mezi vysláním laserového paprsku (radiových vln), jeho (jejich) odrazem od překážky a návratem do lidarového (radarového) přijímače odražených impulsů. Letecký lidar vysílá kontinuální impulsy, jejichž intenzita se pohybuje v intervalu od jednotek do několika set tisíc kHz (např. u lidarů, jehož výkon je nastaven na hodnotu 200 kHz dochází k vyslání 200 000 impulsů za sekundu). Laser přitom operuje v rozsahu 532 – 1550 nm světelného spektra (hodnota je odlišná podle toho, zda skenování probíhá ze země, z automobilu či z letadla).

K efektivnímu fungování leteckého lidarů je nutné integrovat jej s dalšími prvky, které dohromady tvoří sofistikovaný systém schopný jak identifikace, tak také přesné georeferencování detekovaných prvků a jejich trojrozměrného zobrazení (obr. 1).



Obr. 1 – Princip snímání povrchu terénu lidarem za podpory pozemních a palubních stanic systému družicové navigace (GNSS/GPS), jimiž je zajištěna správná georeferencování snímaných bodů. Na letadle je umístěn laserový skener sloužící k trojrozměrnému mapování terénu. Laserem se zjišťuje vzdálenost mezi přístrojem a zemským povrchem (měří se časový interval vypuštění a návratu odrazu paprsku). Upraveno podle *Holden a kol. 2002*.

Fig. 1 – The principle of LIDAR terrain surface scanning with the use of ground-based and airborne stations of satellite navigation (GNSS/GPS), which ensure for the correct georeferencing of the collected data. The airplane carries a laser scanner used for a three dimensional mapping of the terrain. The laser measures the distance between the beam source and the ground (it measure the time elapsed between the emitting and receiving of the laser beam). Modified after *Holden et al. 2002*.

Díky tomuto potenciálu je spektrum oborů, které mohou lidar s velkou výhodou používat, velice široké. Kromě výškopisného mapování se nejčastěji uplatňuje při monitorování a mapování lesní vegetace, při stavbě dálničních koridorů, monitorování urbanizovaných a zastavěných ploch a také v oblasti atmosférického měření (podrobně k technickým parametrům a uplatnění lidarů cf. *Dolanský 2004*, *Crutchley – Crow 2010* a *Young 2011*; převážně odtud pocházejí v této i v dalších kapitolách prezentované údaje).

Lidar má ovšem také určitá omezení, která je třeba při sběru dat respektovat a s ohledem na tuto skutečnost plánovat konkrétní lety. Ačkoli podle některých tvrzení je tato metoda málo závislá na stavu atmosféry, podle jiných údajů je LLS omezeno (nespecifikováno do jaké míry) oblačností, mlhou a kouřem (*Young 2011*, 4). Zdůrazněme na tomto místě, že laserové paprsky nejsou schopny proniknout skrz pevný materiál včetně zemského povrchu, takže v praxi archeologického průzkumu nelze touto metodou dosáhnout přímého odhalení objektů (plně) zahloubených pod povrch terénu, jako jsou například jámy, příkopy či obydlí.

Jak jsme již uvedli, samotná metoda LLS je založena na kombinaci několika přístrojových systémů. Klíčový je laserový skener emitující vysokou rychlostí laserové impulsy (zpravidla desetitisíce až statisíce impulsů za sekundu), směřované pod různými úhly směrem k zemskému povrchu pomocí rotujícího či oscilujícího zrcadla. Odrazy těchto impulsů od pevných překážek jsou poté opět zachycovány citlivým detektorem. Z každého impulsu je teoreticky zaznamenán jeden nebo více odrazů, přičemž k poslednímu odrazu zpravidla dochází od terénu. Neplatí to ale vždy, neboť k poslednímu odrazu paprsku, jehož průměr může mít u země až desítky centimetrů, může dojít i od větších objektů nad terénem (stavby, zvířata, rostliny atd.).

Díky možnosti měření velmi malých časových rozdílů (v řádu nanosekund) mezi vysláním impulsu a přijetím jeho odrazu lze poměrně přesně (zpravidla s přesností na 10 – 30 cm) určit polohu bodů, od nichž se signál odrazil (viz *Dolanský 2004*, 10–11). Skener je přitom instalován v letadle, případně vrtulníku vybaveném přijímačem GPS a využívá přitom také síť referenčních pozemních stanic tohoto navigačního systému. Letoun navíc disponuje inerciálním navigačním systémem (INS, angl. IMU), který s vysokou přesností udržuje spolu s GPS letadlo v předem určené dráze letu. To vše umožňuje rychlý sběr georeferencovaných dat na velkých plochách (data jsou skenována ve vzájemně se překrývajících páslech/průletech, které se potom vzájemně doplňují). Velmi zjednodušeně můžeme LLS přirovnat k totální stanicí, která dokáže měřit jednotlivé body obrovským tempem a zároveň přitom létat nad krajinou. Doplnkem uvedené sestavy prvků lidarového systému bývá ještě fotografická kamera pevně zabudovaná do podlahy letounu, která pořizuje paralelní měřičké snímky laserem skenovaného území, a spíše výjimečně i multi/hyperspektrální senzor.

3. Vývoj LLS a jeho dosavadní uplatnění v archeologii: stručný přehled

Kořeny praktického použití technologie LLS sahají do 80. let 20. století (*Štular 2011*, 393), byla to ale až polovina minulého desetiletí, kdy se technologie dálkového (rozuměj leteckého) lidarového průzkumu začala velmi dynamicky uplatňovat v evropské archeologii. Komerčně dostupná data pro využití v civilním sektoru se objevila v polovině 90. let 20. stol. (např. v Anglii byla tato metoda poprvé využita k mapování r. 1996), ale systém dálkového lidarového měření začal být vyvíjen v souvislosti s vynálezem laseru v 60. letech a s armádními pokusy využít tehdy již propracovaný koncept radaru pro průzkum a detekci zájmových objektů pomocí laserových paprsků (*Crutchley – Crow 2010*, 3). Zatímco radar byl vyvinut již před 2. světovou válkou, počátky konstrukce lidarů se datují do 60. let 20. stol. (vynález laseru je datován do r. 1958; srov. *Chan-Chang Wang ed. 2011*, nejobsáhlejší moderní přehled o vývoji laseru a jeho využití v rozmanitých oblastech lidské činnosti včetně archeologie).

Uvedení lidarů do oblasti archeologické prospekce a výškopisného mapování mělo několikaleté zpoždění. Před počátkem 21. století se tato metoda prakticky neuplatnila, o to dynamičtěji se pak ale začala využívat jak v lokálních, tak v mezinárodních projektech dálkového archeologického průzkumu. Přitom se tyto projekty neomezovaly pouze na pasivní přísun prostorových archeologických dat nového druhu, nýbrž byly (a jsou) v nemalé míře cíleny metodologicky. Výrazně se do povědomí odborné veřejnosti dostal zejména rakouský program, který byl od počátku orientován na zdokonalování technických a softwarových možností zpracování lidarových dat (vývoj prostřednictvím mezioborové spolupráce specialistů z Univerzity Vídeň, Technické univerzity Vídeň a Rakouské akademie věd; např. *Doneus – Briese 2006a; 2006b; 2011; Doneus – Briese – Kühtreiber 2008*). V kontinentální části Evropy výrazněji zaujala také nedávno uvedená a v Bádensku-Würtembersku systematicky uplatňovaná metoda lokálních reliéfních modelů (LRM), jejíž pomocí je možné zvýraznit i nepatrné terénní nerovnosti, resp. velmi mělké objekty, a to přímo, bez ohledu na úhel jejich osvětlení (*Bofinger – Hesse 2011; Hesse 2010*). Podobné problematice analýzy mikroreliéfu, a to konkrétně za účelem detekce zaniklých polí, je věnována zvýšená pozornost např. v Nizozemí (identifikace a mapování pravěkých tzv. keltských polí; *Humme et al. 2006*), Německu (*Sittler – Schellberg 2006*) a v Itálii, kde v integraci lidarových dat s produkty dalších nedestruktivních metod vyniká v posledních letech především specializovaná laboratoř (LapetLab) univerzity v toskánské Sieně (např. *Campana 2011; Campana – Forte eds. 2006*).

Od samého počátku rozvoje zájmu o LLS v první polovině minulého desetiletí se tomuto tématu věnuje několik pracovišť v Anglii. Vyniká zde jednak vědecko-výzkumné pracoviště univerzity v Cambridge (Unit for Landscape Modelling), které disponuje jedním z nejlépe vybavených systémů pro lidarové sním-

kování a paralelně prováděné fotogrammetrické snímkování skenovaných areálů a jednak památková instituce English Heritage (zejm. práce *Crutchley – Crow 2010*, publikovaná nakladatelstvím této instituce, je první ucelenou příručkou v oblasti archeologického využití dálkového laserového měření, resp. syntézou nejdůležitějších poznatků dosažených touto metodou v archeologii, a zároveň zdrojem mnoha důležitých informací o publikacích, internetových stránkách a terminologii). Data z plošného skenování Anglie v roce 2001 byla využita při výzkumu krajiny v okolí známého monumentu Stonehenge (*Bewley – Crutchley – Shell 2005*), v roce 2004 bylo skenováno pravěké hradiště Welshbury Hill (*Devereux a kol. 2005*; cf. též *Devereux et. al. 2008*). V poslední době zaujal také pozornost irský projekt, který vyniká zaměřením na sběr dat o velmi vysokém rozlišení, resp. o velké hustotě skenovaných bodů ve sledovaném prostoru (např. proslulý areál Tara; *Shaw – Corns 2011*). Pominout nelze ani projekty francouzské (*Georges-Leroy 2011*) – právě v této zemi, konkrétně v Evropském archeologickém centru Bibracte – Glux-en-Glenne, se v březnu 2011 konal první mezinárodní workshop speciálně zaměřený na lidarové aplikace v archeologii.

Připomeňme, že ojedinele se tato metoda začíná uplatňovat také v bývalých socialistických zemích. Nepochybně nejdále je v tomto ohledu Slovinsko, kde se LLS uplatnilo v několika projektech, které proběhly ve druhé polovině minulého desetiletí a pokračují i nyní (*Rutar – Črešnar 2011*). Podle předběžných zpráv a ústních sdělení se s lidarovými daty začíná pozvolna pracovat také na území východního Německa a v Polsku, kde právě probíhá první rozsáhlý projekt, integrující do průzkumu a podrobného mapování areálů pravěké těžby silicítů kromě geofyzikálních metod také letecký laserový průzkum (referát přednesený na konferenci EAA 2012 v Helsinkách vedoucím projektu J. Budziszewskim z varšavské univerzity UKSW).

V současné době je – v celoevropském měřítku – archeologickým aplikacím dat LLS věnována zvýšená pozornost v projektech jak krajinné, tak sídelní (regionální, lokální) archeologie. Podle informací, které jsme průběžně získávali jak z literatury, tak především na workshopech a konferencích a z ústních sdělení, jej zřejmé, že úplné (celostátní) pokrytí má v rámci EU zatím jen několik zemí (např. Belgie – srov. *Gojda 2005*, 809; Holandsko – *Humme et al. 2006*; Slovinsko, Dánsko a Rakousko). Velké evropské státy jsou většinou pokryty z větší či menší části, např. v Německu se jedná o Bavorsko a Bádensko-Würtembersko (lidarová data právě odtud jsou nyní systematicky zpracovávána a vytěžována příslušným památkovým úřadem pro potřeby evidence a ochrany archeologických památek, srov. *Bofinger – Hesse 2011*, 161–162). Zajímavým příkladem mezioborové a mezinárodní spolupráce je např. právě probíhající projekt mapování bavorských úseků Zlaté stezky, při němž jsou data LLS úspěšně využívána (srov. *Kubů – Zavřel 2011*, 123–124; *Kerscher 2012*). V sousedním Bavorsku se využití LLS v archeologii poprvé uplatňuje zhruba před deseti lety (viz *Kerscher 2003*), postupem času se pak začaly objevovat i rozsáhlejší památkově orientované pro-

jekty, např. v letech 2006 – 2008 byl LLS podroben celý průběh římského limitu na území Bavorska. Dalším krokem je potom již zmíněná aplikace LLS na rozsáhlé územní celky, nejvýraznějším příkladem je v současnosti probíhající projekt, jehož cílem je kompletní archeologické mapování Bádenska-Württemberska pomocí LLS. Jedná se o území o rozloze 35 751 km², což představuje přibližně 1 terabyte dat LLS (*Bofinger – Hesse 2011a*).

4. Hlavní fáze práce s daty LLS

4.1 Sběr dat

Prvním krokem projektu využívajícího LLS je zpravidla sběr (akvizice) dat, respektive volba takových dat, která jsou adekvátní otázkám řešeného projektu. Samotné skenování je nutně záležitostí specialistů mimo archeologii, archeolog by však měl mít k dispozici metadata, obsahující informaci o tom, jak jím používaná data vznikla, jak s nimi bylo manipulováno a zda mohlo dojít v rámci jejich zpracování ke ztrátě informací, což platí zejména u dat vzniklých pro jiné účely, než archeologické (cf. *Doneus-Briese 2011*).

Metadata LLS zpravidla obsahují informace o výšce, rychlosti a datu letu, dále typu a frekvenci skeneru, vzdálenosti jednotlivých průletů, úhlu skenování, souřadnicovém a výškovém systému apod. Z hlediska odhadu vhodnosti pro potřeby archeologie jsou nejdůležitějšími metadaty:

1. *Hustota skenování.* Tento parametr se odvíjí od frekvence skeneru, výšky a rychlosti letu, a také velikosti překryvu jednotlivých letových pásů. Recentní studie potvrzují, že hustota skenování je klíčová z hlediska úspěšného zachycení antropogenních tvarů reliéfu pomocí LLS (*Bollandsås a kol. 2012*). Obecně řečeno: čím více naskenovaných bodů, tím lépe, přičemž za minimum vhodné pro účely detekce archeologických lokalit se považuje průměr alespoň 1 bod/m² (*Doneus – Briese 2011, 60*). Je však zároveň třeba vzít v potaz skutečnost, že se stoupající hustotou měření rychle roste počet letových hodin a tím i náklady na pořízení dat, přičemž navýšení ceny není vždy přímo úměrné navýšení informačního potenciálu dat. Volba hustoty skenování by se měla v první řadě odvíjet od velikosti objektů, které chceme prostřednictvím LLS sledovat.

Pro dosažení vyšší hustoty skenování jsou využívány skenery s vysokou frekvencí, umístění na pomalu létajících strojích (vrtulníky) a průlety v pásech s vysokým překryvem. Ku příkladu při detailním skenování významného komplexu Tara v Irsku bylo tímto způsobem dosaženo hustoty 60 bodů/m² (*Shaw – Corns 2011*). Pro celkovou představu uvedme, že při lidarovém mapování na úrovni velkých územních celků, např. krajů, se hustota bodů pohybuje obvykle mezi 1 a 20 body a letová hladina mezi 400 a 2 500 metry, při projektování např. komunikačních (silničních, železničních) koridorů se intervaly uvedených parametrů nacházejí mezi 20 a 100 body/m², resp. mezi 50 a 800 metry. U pozemního skenování dosahuje hustota až 4000 bodů/m² (*Young 2011, 11–13*).

2. *Datum skenování.* Je-li technologie LLS využívána pro dokumentaci reliéfních tvarů terénu, je vhodné, aby byly co nejméně zakryty vegetací, a to jak v lesích, tak na zemědělsky obdělávaných plochách. Nejlepších výsledků je zpravidla docíleno v jarních měsících po ústupu sněhové příkrývky, kdy vegetace ještě není plně rozvinutá. Dobrých výsledků je možné dosáhnout i na podzim, v tomto období ale může způsobovat problémy např. čerstvě spadané listí vyplňující terénní deprese (*Doneus – Briese 2011, 63*).

Ohledně získání dat existují v zásadě dvě hlavní možnosti:

1. *Skenování provedené na zakázku* specializovanou firmou (první domácí aparaturu schopnou dodávat data LLS zprovoznila v roce 2009 společnost Geodis, do té doby bylo nutno využívat služeb zahraničních dodavatelů; podrobněji k této možnosti viz kapitola 2).

2. *Nákup již hotových archivních dat*, pořízených např. v rámci jiných projektů či mapování jednotlivých států. V souvislosti s dostupností lidarových dat pro potřeby české archeologie uvádíme, že v nedávné době zahájila Česká republika tvorbu nového výškopisu státu pomocí LLS. Vzhledem k nedostatkům a v některých ohledech i k zastaralosti a malé přesnosti dosud využívaných datových modelů ZABAGED a tzv. digitálních modelů reliéfu dvouapůlté a třetí generace bylo koncem minulého desetiletí rozhodnuto vytvořit novou kvalitní geografickou datovou infrastrukturu, jednotnou a standardizovanou pro celé území ČR. Ta má sloužit potřebám armády, krizových štábů (modelování přírodních jevů), orgánů státní správy a územní samosprávy, a pro mezinárodní účely ve smyslu požadavků evropské směrnice INSPIRE. Dlouho očekávané celoplošné laserové skenování České republiky bylo roku 2010 zahájeno v rámci projektu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany ČR a Ministerstva zemědělství ČR (*Brázdil 2009*). V tomto roce bylo ve střední části našeho území naskenováno celkem 32 610 km² (cca 40 % území ČR) což představuje zhruba 42,7 miliardy zaměřených bodů. V projektu jsou pomocí skeneru RIEGL LMS 680 získávána data s hustotou přibližně 1 bod/m², z výšky 1200 a 1400 m (nižší letová hladina se používá v letních měsících) (*Šíma 2011*). Právě fakt, že z časových důvodů je někdy nutno provádět skenování i ve vegetačním období, může být problematický z hlediska vhodnosti některých dat pro účely archeologické prospekce zalesněných oblastí.

Jistou nevýhodou těchto dat je skutečnost, že nejsou optimalizována pro účely archeologie, na druhou stranu jejich velkou výhodou je snadná dostupnost dat pro území celé ČR, které má být dosaženo v blízké budoucnosti (do konce roku 2015). Česká republika se tak v blízké době zařadí k zemím, které disponují celkovým pokrytím daty LLS (např. Bádensko-Württembersko, Bavorsko, Dánsko, Holandsko, Slovinsko, Rakousko, Velká Británie – cf. *Štular 2011, 427; Kerscher 2012, 324*).

V archeologii budou zřejmě nejčastěji využívány dva hlavní

výstupy tohoto projektu, a to digitální modely reliéfu ČR 4. a 5. generace (DMR4G a DMR5G).

DMR4G je již nyní dostupný pro střední a západní část ČR, jedná se však o data, která jsou generalizována do rastru 5 x 5 m. Lze na nich tedy identifikovat jen rozsáhlejší památky (viz *Gojda – John – Starková 2011*, 684) a jejich častější využití lze očekávat např. v oblasti predikce, či zjišťování přírodních parametrů archeologických lokalit (nadmořská výška, svažitost terénu apod.).

DMR5G je zatím dostupný jen pro střední část našeho území. Díky překryvu jednotlivých pásů skenování dosahuje hustoty kolem 1,6 bodu/m² a výškové přesnosti 0,18 m v otevřeném terénu a 0,30 m v zalesněných oblastech. Detaily lze najít v Technické zprávě k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace, která je zveřejněna na internetových stránkách ČÚZK (*Brázdil 2012b*). Nevýhodou DMR5G může být jeho vyhlazování v průběhu zpracování, což by mohlo mít vliv na zachytitelnost některých nízkých tvarů reliéfu. Je také třeba počítat s tím, že v oblastech, kde nebyla žádná data naskenována (např. kvůli příliš husté vegetaci), budou body pro tvorbu DMR5G interpolovány na základě bodů z nejbližšího okolí. Na výsledném modelu reliéfu tak mohou vznikat zdánlivě prázdná místa, která ovšem ve skutečnosti obsahují archeologické památky ukryté pod husou vegetací. Přestože kvalita dat DMR5G bude nejspíše silně proměnlivá, a to v závislosti na stavu vegetace a období snímání lokalit, zdá se, že v řadě případů se o tato data budeme moci opřít, a to zejména při vyhledávání nových lokalit.

Významnou výhodou těchto dat je jejich cenová dostupnost, pořizovací náklady DMR5G se pohybují v řádu stokorun (podle počtu objednaných dat) na 1 mapový list SM5 (5 km²). Ukázky více či méně úspěšného praktického využití dat DMR5G lze najít v řadě kapitol této knihy. K zevrubnějšímu posouzení jejich vhodnosti pro různé archeologické aplikace však bude třeba vyčkat na vyhodnocení větších souborů těchto dat.

4.2 Klasifikace dat

Během tzv. klasifikace se naměřené body rozdělují do jednotlivých skupin (terén, vegetace, budovy, nadzemní elektrické vedení, výškové chyby atd.). V první fázi se jedná zpravidla o *automatickou klasifikaci* založenou na různých matematických algoritmech, po které následuje *klasifikace manuální*, napravující chyby a nedostatky té automatické (úspěšnost automatických filtrů pro získání DMR se pohybuje zpravidla do 90 %).

Klasifikace vyžaduje nasazení speciálních programů, které jsou schopny pracovat s daty LLS. Za určitý standard se považuje program **TerraScan**, vyvíjený finskou společností Terra Solid a fungující většinou jako nadstavba programu MicroStation. Úspěšně je využíván i program **SCOP++**, rozvíjený ve spolupráci Technické univerzity ve Vídni a společnosti INPHO. Tento software je mj. používán i v rámci Projektu tvorby nového výškopisu ČR, jeho nevýhodou jsou ovšem pořizovací náklady licence, které se pohybují ve statisících korun. Z dalších komerčních programových balíčků častěji využívaných pro klasifikaci je možné zmínit např. **ENVI**, anebo **MARS**.

Pro identifikaci archeologických památek v zalesněném terénu je klíčové především přesné rozlišení odrazů od vegetace a od terénu, přičemž problém představuje zejména nízká a hustá vegetace. Na úspěšnost klasifikace může mít přitom vliv i typ použitého skeneru. Existují v zásadě dva typy skenerů, *konvenční* a tzv. *full-wave* (ten zaznamenává nejenom jednotlivé odrazy paprsku, ale i jejich vlnové křivky). Na základě zachycených křivek je poté možno posoudit, od čeho se signál odrazil. Při použití full-wave skeneru je možno pomocí vhodných algoritmů rozlišit odrazy od pevného povrchu a odrazy od nízké vegetace, hromad větví apod. Průkopnickou studií v tomto směru bylo vyhodnocení dat LLS z rakouské lokality Purbach, kde se podařilo pomocí full-wave dat rozlišit při klasifikaci mohylové násypy od tvarově velmi podobných hromad ořezaných větví (*Doneus a kol. 2008*). Naopak u konvenčních skenerů může docházet k problémům s odstraněním odrazů od nízké přízemní vegetace.

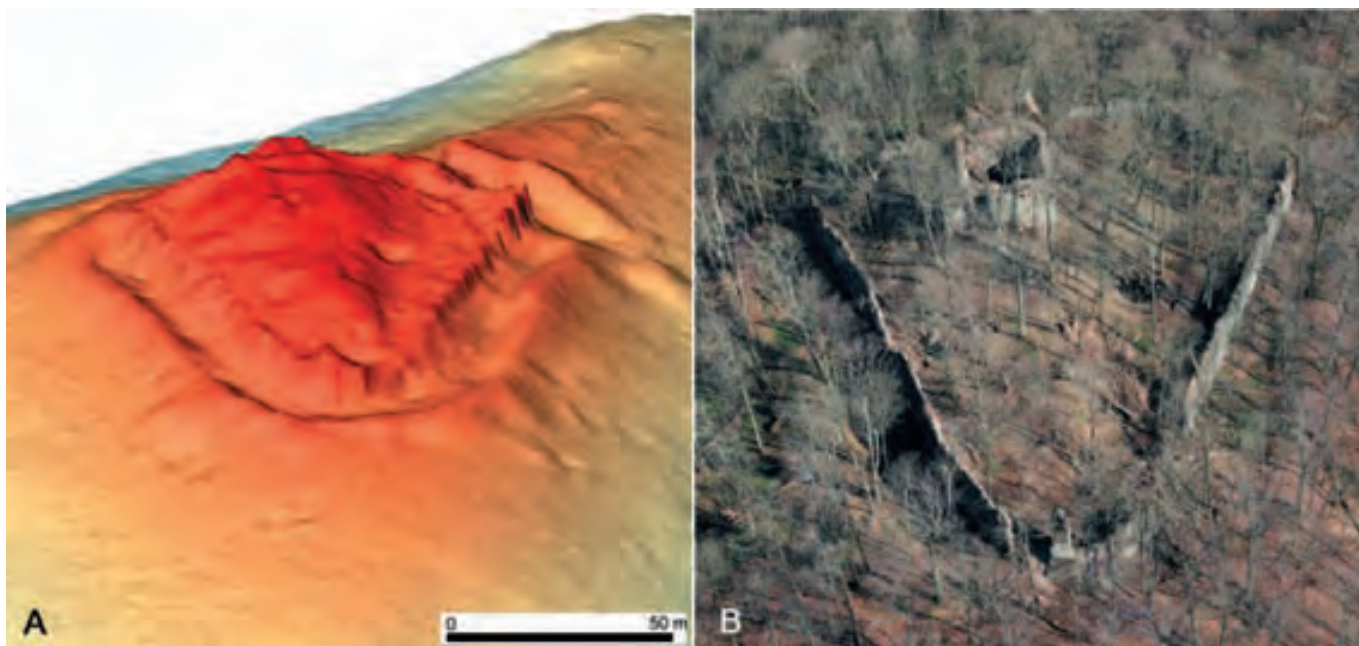
Vztah typu vegetace a úspěšnosti dokumentace terénu pomocí LLS byl detailně studován na příkladu dat z pravěkého ohrazení Welshbury Hill v Anglii. Skenování lokality v únoru 2004 ukázalo, že ve vybrané oblasti s řídkým listnatým lesem a omezenou přízemní vegetací pouze 5,3 % posledních laserových odrazů nepochází z povrchu terénu, ale právě od přízemní vegetace, přičemž vzrostlým listnatým stromovým patrem pronikly všechny impulzy. V další oblasti zastavila přízemní vegetace (zejména ostružiní) 11,3 % impulzů a pouze jeden byl zachycen vzrostlými stromy. Naopak v oblasti se smrkovým porostem k povrchu neproniklo cca 50 % impulzů (*Crow a kol. 2007*).

Problematické z hlediska klasifikace jsou památky obsahující jak terénní reliкty, tak zbytky architektury (typickým příkladem jsou ruiny středověkých hradů). Jelikož automatické klasifikační algoritmy odstraňují z terénu budovy, zanikají ve výsledku i pro archeologii podstatné informace (např. zbytky zdí – viz obr. 2), nehledě k tomu, že svislé plochy zdí jsou letectvým skenováním obtížně dokumentovatelné. V takovýchto situacích bude nutno ve zvýšené míře využívat manuální klasifikaci, doplňková pozemní měření a vytvářet digitální modely speciálně pro potřeby archeologie či památkové péče.

Klasifikovaná data jsou zpravidla distribuována ve formátu LAS (.las), což je binární formát, zachovávající informace specifické pro lidarová data (číslo odrazu, jeho souřadnice a intenzita atd.). Výhodou tohoto formátu jeho datová úspornost, nevýhodou je zatím omezený počet programů, které s tímto formátem dat dokáží pracovat. Jednotlivé kategorie klasifikovaných dat mohou být uloženy rovněž ve formátu ASCII (.asc, .txt, .xyz apod.). Tento formát přečte většina běžných programů, nevýhodou je ale velký objem dat, způsobující pomalé zpracování. V praxi se lze setkat rovněž s výměnným CADovým formátem .dxf.

4.3 Interpolace a vizualizace digitálního modelu

Zatímco u předchozích fází (sběr a klasifikace dat) je v zájmu kvality výstupů většinou nezbytná spolupráce archeologa a specialisty na LLS, fázi interpolace již může archeolog běžně



Obr. 2 – Němčice (okr. Domažlice), hrad Nový Herštejn. A – 3D vizualizace DMR, pohled od SZ (skenováno 25. 3. 2010), B – letecká fotografie téže lokality (7. 4. 2010). V případě DMR evidentně nejsou dokumentovány zděné konstrukce hradu. Některé jejich části však zachyceny byly a ovlivňují vzhled DMR.

Fig. 2 – Němčice (Domažlice region), Nový Herštejn castle. A – 3D visualisation of the DRM, a view from the NW (scanned on the 25th March 2010), B – aerial photo of the site (7th April 2010). The DTM evidently does not capture the masonry of the castle. However, some parts of it were detected and they had impact on the final DTM.

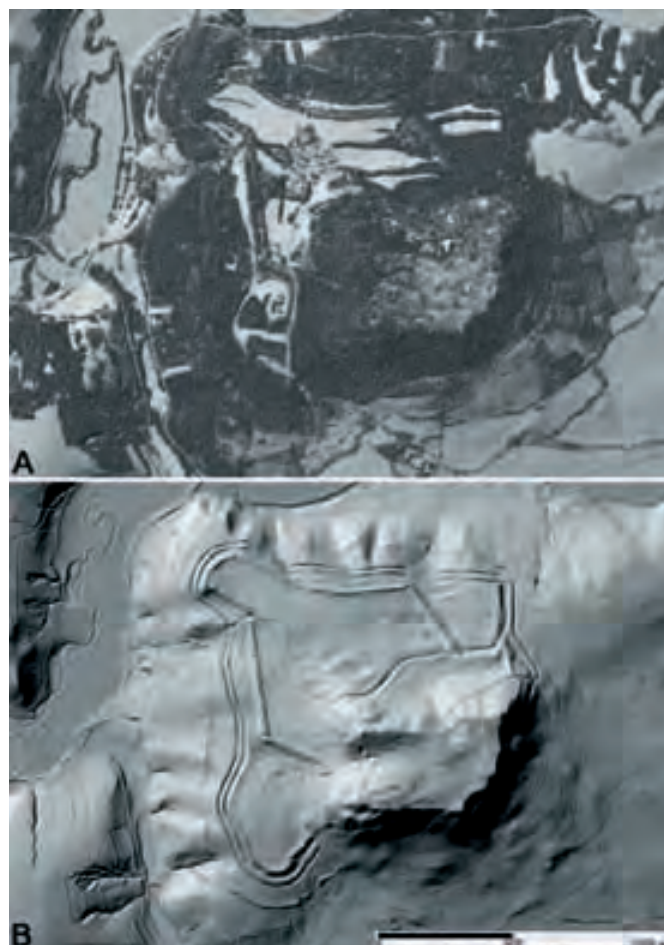
zvládat samostatně. Na základě úspěšné klasifikace vznikají dva základní digitální modely:

1. DMP (digitální model povrchu). V angličtině se používá ekvivalent DSM (Digital Surface Model), v němčině DGM (Digitales Geländemodell). Tento model odpovídá povrchu krajiny včetně vegetace, zástavby atd. (obr. 3A).

2. DMR (digitální model reliéfu). Lze se též setkat se zkratkou DMT (digitální model terénu). V angličtině je zaveden ekvivalent DTM (Digital Terrain Model), v němčině DOM (Digitales Oberflächemodell). Tento model obsahuje informace o „holém“ povrchu terénu (obr. 3B). Takovýto model terénu odvozený z dat LLS je podstatně přesnější a detailnější než běžně dostupné mapy, je ale nutno mít na zřeteli, že nemusí být a zpravidla ani není zcela přesnou kopií skutečného terénu, v důsledku nepřesností při skenování a klasifikaci.

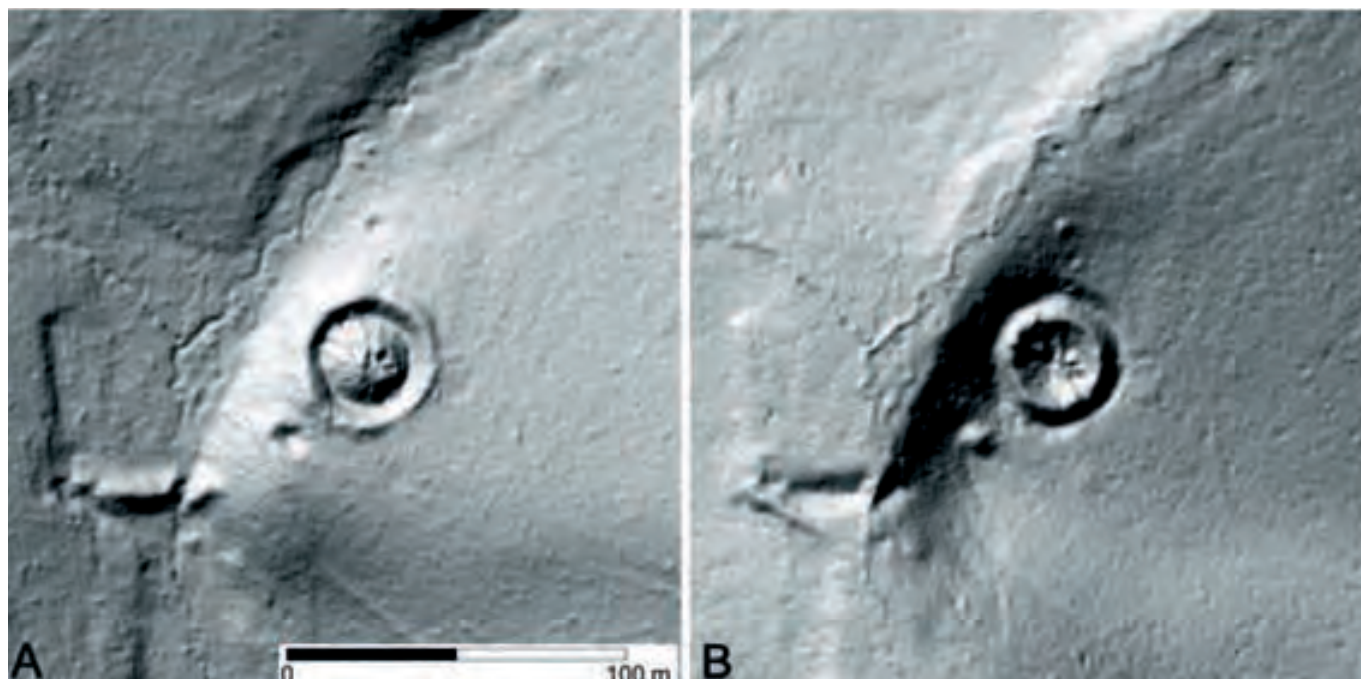
K interpolaci bodových dat do podoby spojitého modelu lze použít řadu výpočetních metod (cf. *John 2008*). Uspokojivých výsledků je dosažováno pomocí metody *nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN)*, metody *přirozeného souseda (natural neighbor)*, případně také *krigování (kriging)*. Při zpracování dat našeho grantového projektu (viz též kapitola 2) byla využívána především metoda nepravidelné triangulace (TIN) s lineární interpolací, která poskytuje přijatelné výsledky, a zároveň je dostatečně rychlá s výpočetně úsporná, takže umožnila zpracování jednotlivých polygonů (desítky milionů naměřených souřadnic) na běžných stolních počítačích.

Interpolační metody zvládají běžné programy typu GIS, s úspěchem lze použít např. rozšířený ArcGIS (cf. *Davis 2012*). Dobré výsledky poskytují specializované interpolační progra-



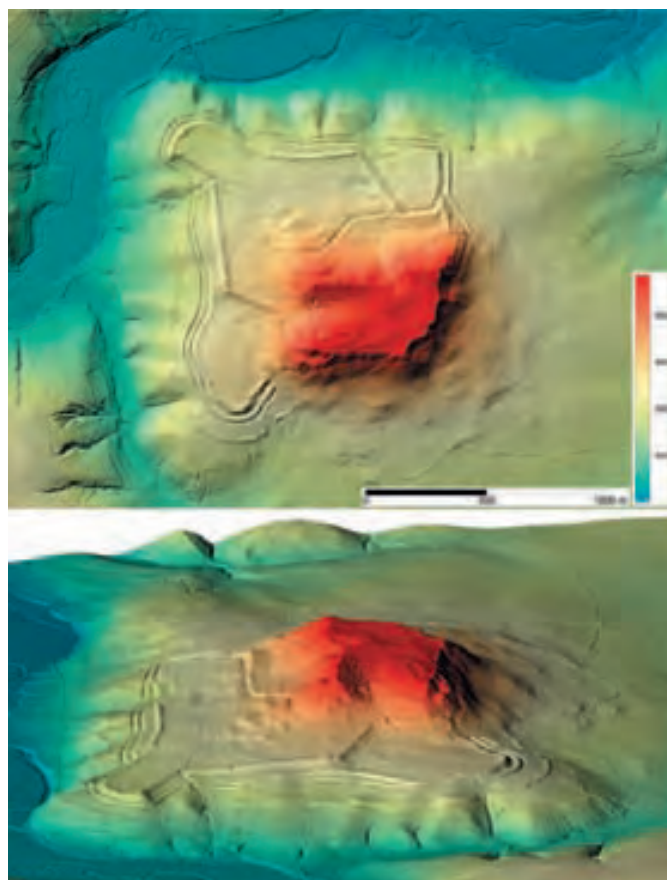
Obr. 3 – Vladař u Záhořic (okr. Karlovy Vary), pravěké hradiště skenováno 25. 3. 2010. A – stínovaný digitální model povrchu (DMP), B – stínovaný digitální model reliéfu (DMR).

Fig. 3 – Vladař u Záhořic (Karlovy Vary region), prehistoric hillfort scanned on the 25th March 2010. A – shaded digital surface model (DSM), B – shaded digital terrain model (DTM).



Obr. 4 – Kornatice (okr. Rokycany), tvrzíště Javor, skenováno 25. 3. 2010. A – DMR stínovaný světlem dopadajícím od SZ, B – DMR stínovaný světlem dopadajícím od JV (v tomto případě vzniká klamný dojem inverzního terénu).

Fig. 4 – Kornatice (Rokycany region), medieval stronghold Javor, scanned on the 25th March 2010. A – shaded DTM, light from the NW, B – shaded DTM, light from the SE (which creates a false impression of inverse terrain).



Obr. 5 – Vladař u Záhořic (okr. Karlovy Vary). Stínovaný DMR doplněný o barevnou škálu nadmořské výšky (nahore), tentýž model v perspektivním 3D zobrazení (dole).

Fig. 5 – Vladař u Záhořic (Karlovy Vary region). Shaded DTM with a colour-coded scale of height above sea level (top) and the same model in a 3D perspective (bottom).

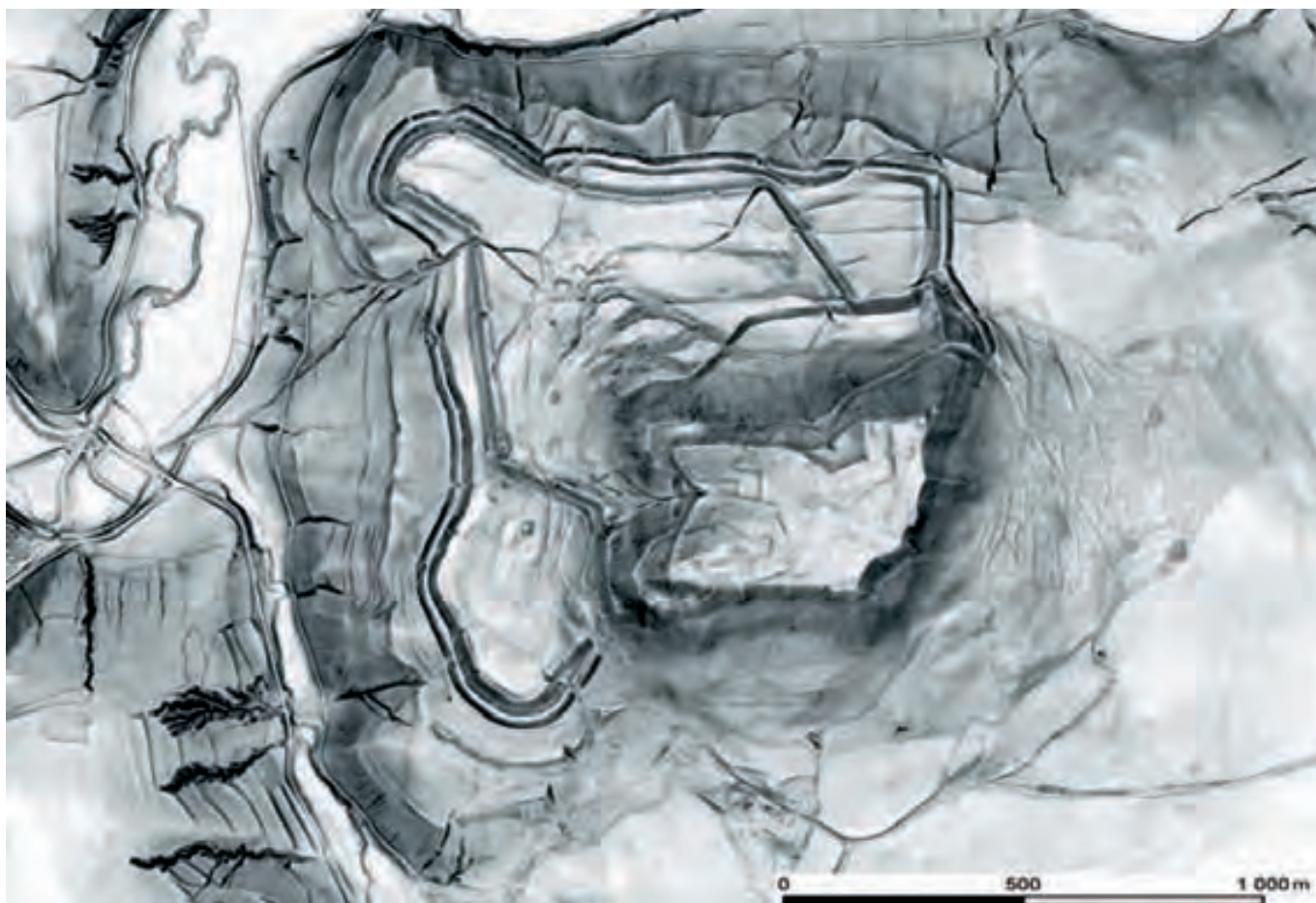
my, z nichž možno jmenovat Surfer (dokáže zpracovat až bilión naměřených bodů, což je ovšem v praxi většinou limitováno operační pamětí počítače), dále v ČR vyvíjený Atlas, a přirozeně též programy zaměřené přímo na práci s daty LLS, z nichž některé již byly zmíněny výše. V případě nedostupnosti komerčních produktů je možno zvolit i tzv. *open source* programy z rodiny GIS (např. GRASS, SAGA apod.)

Prostorové rozlišení (velikost pixelu) vypočtených modelů vychází z hustoty naměřených bodů. Běžně se používá prostorové rozlišení 1 m, které postačuje většině běžných typů terénních reliktnů. Pokud jsou ale k dispozici data s vysokou hustotou skenování (několik až desítky bodů na m², zpravidla bývá užitečné vypočíst model terénu s vyšším rozlišením (desítky cm). Zde je ale přirozeně nutno počítat s vyššími nároky na samotný výpočet (jeho čas, datový objem) a s tím spojený hardware.

Pro výsledné vyhodnocení dat LLS je důležitý rovněž *způsob vizualizace*, tedy *zobrazení vypočteného modelu*. Porovnávání výhod a nevýhod různých způsobů vizualizace je v poslední době věnována značná pozornost (viz např. *Challis – Forlin – Kincey 2011; Štular a kol. 2012*).

Na tomto místě pro stručnost uvádíme čtyři vizualizační metody, jejichž použití je nejčastější:

1. Stínování (hillshade). Ke zviditelnění antropogenních tvarů reliéfu se využívá simulované světlo, dopadající na model terénu, standardně pod azimutem 315° a úhlem 45°, čímž jsou vytvářeny virtuální stínové příznaky známé z letecké archeologie (např. obr. 3, 4 a 7A). Výhodou stínování je snadný a rychlý výpočet, a také implementace této metody prakticky ve všech programech



Obr. 6 – Vladař u Záhořic (okr. Karlovy Vary). DMR zobrazený pomocí faktoru výhledu (sky view factor).
Fig. 6 – Vladař u Záhořic (Karlovy Vary region). DTM – using sky view factor.

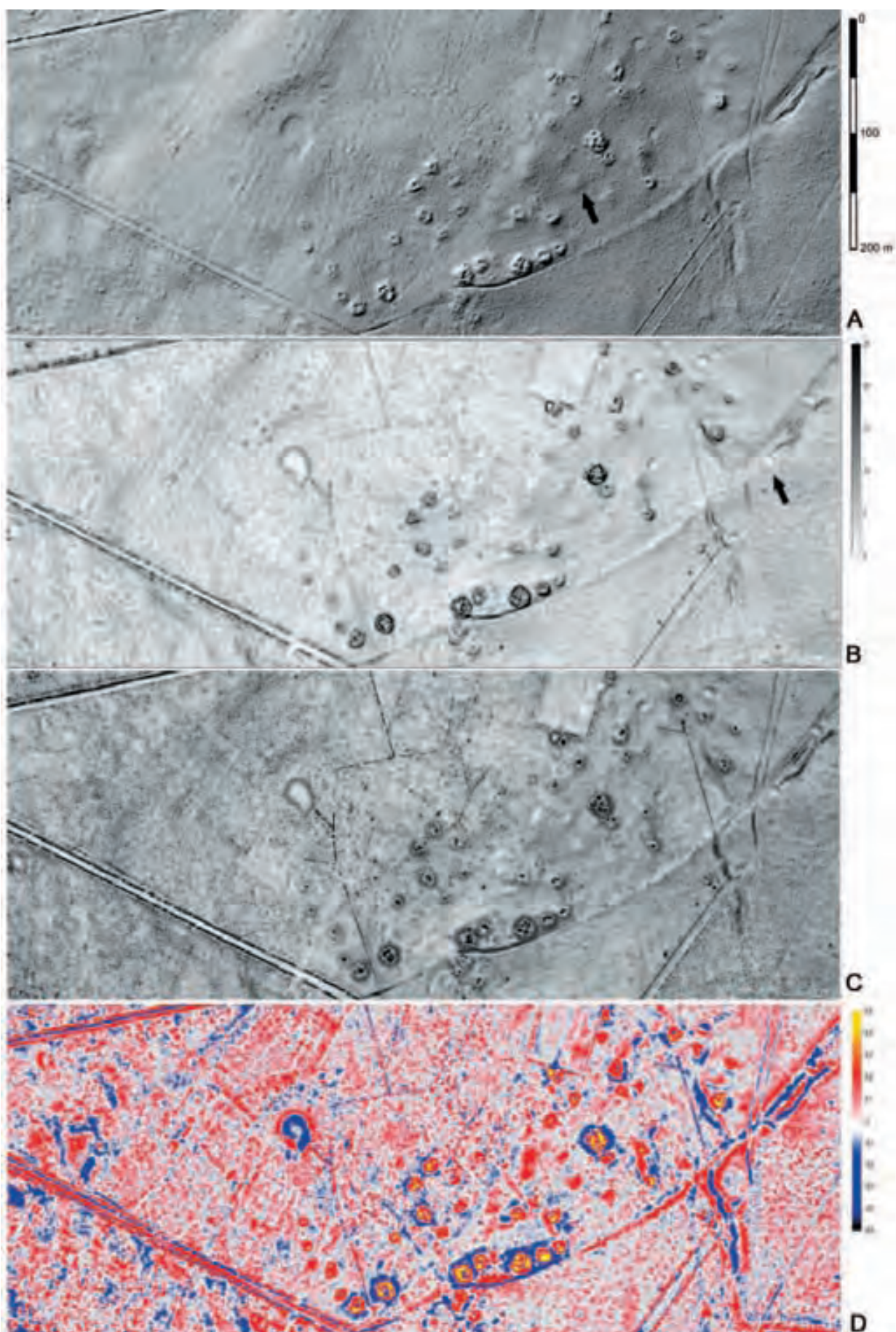
typu GIS. Rovněž výsledek je poměrně snadno interpretovatelný, neboť hra světla a stínů je pro naše vnímání reliéfu přirozená. Nevýhodou je, že v členitém terénu mohou vznikat zcela zastíněné (černé), anebo naopak přesvětlené oblasti. Další nevýhodou je nevýraznost lineárních objektů, pokud jsou rovnoběžné se směrem dopadajícího světla. Tuto nevýhodou lze eliminovat změnou směru nasvícení, tím mohou ale vzniknout nežádoucí optické efekty ve formě inverze terénu (viz obr. 4). Další možnost představuje výpočet několika stínovaných modelů a jejich kombinace pomocí analýzy hlavních komponent (Devereux – Amable – Crow 2008), což je ale výpočetně zdoluhavé a výsledný efekt je malý (cf. Challis – Forlin – Kinsey 2011, 287), přičemž problém optických klamů zůstává (cf. Hesse 2010, 68). Pro snazší interpretaci výškových poměrů může být vhodné stínovaný model doplnit barevnou výškovou škálou, případně ho zobrazit perspektivně (obr. 5).

2. Svažitost terénu (slope). Jednotlivé objekty jsou v tomto případě zobrazeny pomocí škály, reflektující svažitost terénu ve stupních (obr. 7B). Podobné výsledky jako výpočet svažitosti přitom poskytují i některé filtry, např. filtr Sobelův. I tato metoda je běžně dostupná v GIS programech. V literatuře jsou uváděny pozitivní zkušenosti s kombinací stínování a svažitosti (Doneus-Briese 2011, 66), lepšího vnímání reliéfu terénu může být dosaženo inverzí barevné škály, kdy svažité plochy získávají tmavé odstíny (Štular a kol. 2012, 3356).

3. Faktor výhledu (sky view factor). Tato metoda během výpočtu přiřazuje jednotlivým pixelům digitálního modelu takové hodnoty, které odpovídají ploše virtuální oblohy nad horizontem, viditelné z každého pixelu (Kokalj – Zakšek – Oštir 2011). Místa s omezeným výhledem (konkávní objekty) získávají tmavé odstíny šedi, naopak konvexní vyvýšené plochy jsou světlé (obr. 6, 7C). Stejně jako svažitost, i tato metoda je tedy nezávislá na směru osvětlení. Poskytuje dobré výsledky i v členitém terénu a hodí se zejména pro detekci konkávních objektů, které je možno na první pohled odlišit od konvexních. Program pro jeho výpočet, vytvořený týmem slovinských badatelů, je volně dosažitelný jako nadstavba pro ENVI a rovněž jako samostatná aplikace (viz <http://iaps.zrc-sazu.si/en/svf#v>), což umožňuje běžné využití tohoto algoritmu.

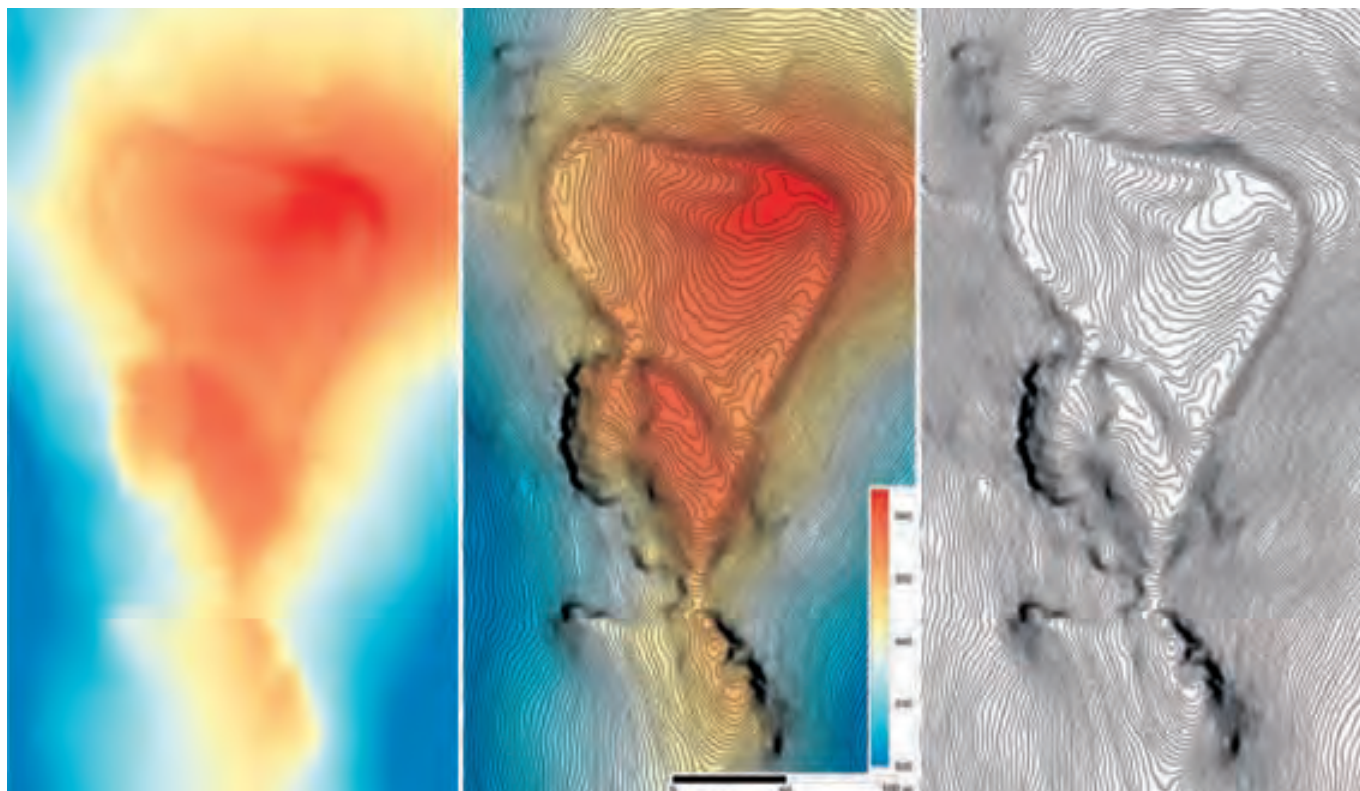
4. Lokální reliéf (local relief model). Jedná se o metodu, která z modelu terénu odstraňuje hlavní trendy, odpovídající přírodnímu reliéfu krajiny (Hesse 2010). Samotný postup spočívá ve výpočtu rozdílu mezi dvěma stejnými DMR, z nichž jeden je předem vyhlazen pomocí tzv. low-pass filtru. Tím jsou ve výsledku potlačeny výškové rozdíly odpovídající celkové morfologii terénu a naopak zvýrazněny lokální výškové rozdíly odpovídající zpravidla antropogenním reliktvům (obr. 7D).

Potlačení morfologie terénu také usnadňuje případný výpočet objemu terénních reliktvů (Bofinger – Hesse 2011b, 37).



Obr. 7 – Mohylové pohřebiště Milínov u Nezvětic – Hádky/Javor (okr. Plzeň-jih). Srovnání hlavních metod vizualizace DMR. A – stínování, B – svažitost, C – faktor výhledu, D – lokální reliéf.

Fig. 7 – Bronze Age burial mound cemetery Milínov u Nezvětic – Hádky/Javor (Pilsen-south region). A comparison of the main DTM visualisation methods. A – shading, B – slope, C – sky view factor, D – local relief.



Obr. 8 – Skočice (okr. Strakonice). DMR hradiště Hrad, zobrazený pomocí kombinace rastru obsahující informaci o nadmořské výšce terénu (vlevo) a vektorových vrstevnic s krokem 50 cm (vpravo). Vytvořeno z dat DMR5G.

Fig. 8 – Skočice (Strakonice region). DTM of hillfort Hrad, visualized using a combination of grid containing information on the altitude of the terrain (left) and vector contours with 50 cm step (right). Created from DMR5G data (5. generation of the Czech Republic altimetry data).

Výhodou je opět dobrá rozlišitelnost konvexních a konkávních tvarů, a to i ve svažitém terénu, nevýhodou složitější postup, který zatím zpravidla není jednoduše implementován v dostupných programech. Může také dojít k nežádoucímu vyhlazení povrchu zvolením nevhodného nastavení vyhlazovacího filtru. Další nevýhodou může být skutečnost, že výsledek musí být prezentován barevně, jinak je ho obtížné interpretovat.

Porovnání uvedených základních vizualizačních metod na příkladu mohylového pohřebiště Hádky/Javor (k. ú. Milínov), zkoumaného v 19. století F. X. Francem, je patrné z obr. 7. Použita byla metoda stínování (obr. 7A), svažitosti (obr. 7B), faktor výhledu (obr. 7C) a lokální reliéf (obr. 7D). Všechny použité metody poměrně dobře zobrazují výraznější reliéfní tvary, zejména mohylové násypy porušené výkopy a zaniklou středověkou cestu na jižním okraji pohřebiště. Na digitálních modelech jsou patrné i velmi nízké vyvýšeniny v centrální části pohřebiště, které by mohly představovat neprozkoumané mohyly, které díky své nepatrné výšce doposud unikaly pozornosti (jedna z nich označena šipkou na obr. 7A).

Naopak rozdílů si můžeme povšimnout, pokud se zaměříme na méně nápadná kruhová míliřišť, která jsou roztroušena mezi mohylami, zejména ve východní části pohřebiště (jedno z nich označeno šipkou na obr. 7B). Jelikož tyto ploché tvary nemusí vždy vytvářet zřetelné stínové příznaky, jako vhodnější pro jejich vizualizace se ukazují metody svažitosti a faktoru výhledu (kupřím-

kladu bílou šipkou označený míliř je na obr. 7A velmi málo zřetelný a lze ho snadno přehlédnout). Příliš se v tomto případě neosvědčila ani metoda lokálního reliéfu, snad v důsledku nastavení filtrace.

Výsledky využívající lokální reliéf a faktor výhledu dobře ukazují deprese (příkopy), lemující některé mohylové násypy. Tyto objekty pak nejsou příliš zřetelné u stínování a svažitosti.

Ve výsledku je zřejmé, že i když jsou výsledky jednotlivých vizualizačních metod podobné, některé typy objektů se mohou objevovat jen u některých z nich. Jako poměrně univerzální metoda, která zobrazuje prakticky vše podstatné, se v tomto případě jeví metoda faktoru výhledu (*sky view factor*).

Přestože jsou v současné době vyvíjeny a testovány různé vizualizační metody, v zásadě se ukazuje, že žádná z nich není zcela univerzální a jejich využití je třeba podřídit typu sledovaných objektů a krajině, v níž se nacházejí. Nově vyvíjené metody vizualizace však pravděpodobně nikdy zcela nenahradí základní metody stínování a svažitosti, jejichž kombinace poskytuje v mnoha případech dostatečně použitelné výsledky, při dobré dosažitelnosti uvedených metod. Platí to zejména pro programy, v nichž je metoda stínování (v kombinaci s umělým převýšením terénu) dobře propracována a její parametry je možno měnit v reálném čase (např. Surfer).

Jinou, velice jednoduchou vizualizační metodou, je kombinace rastru obsahující informaci o nadmořské výšce terénu a vektorových vrstevnic (obr. 8). Výsledek tak zahrnuje jak informace o výškových poměrech terénu, tak jeho morfologii

zvýrazněnou směrově nezávislým „stínováním“ pomocí vhodně zvolených vrstevnic.

4.4 Interpretace

Poslední fází představuje vyhledávání a interpretace objektů archeologického zájmu. Jedná se o čistě „manuální“ a poměrně zdoluhavou činnost. Pokusy o automatické vyhledávání objektů archeologické povahy jsou zatím poměrně vzácné (cf. *Doneus – Briese 2011, 67*), objevují se však nadějně pokusy, které by mohly zefektivnit tradiční metody zkoumání dat LLS (*Trier – Pilø 2012*).

Pro potřeby interpretací je velmi vhodné, aby měl archeolog k dispozici přímo data LLS a nikoliv pouze např. obrázky z nich vytvořené. Jen tak mohou být data maximálně informačně vytěžena za pomoci vhodných vizualizačních technik.

Významným problémem je skutečnost, že data LLS zpravidla poskytují tak velké množství informací, že je velice obtížné všechny ověřovat přímo v terénu. Např. v rámci vyhodnocení LLS zalesněné oblasti jižně od Vídně (Leithagebirge v Dolním Rakousku – cca 190 km²), bylo identifikováno více než 10 000 „podezřelých“ objektů, jejichž počet byl pozemním průzkumem omezen na zhruba 400 (*Doneus-Briese 2011, 68*).

Relativně dobře lze interpretovat některé tvarově typické objekty, mezi něž lze počítat např. svazky úvozových cest, anebo pozůstatky milířů. Obtížněji se interpretují zejména bodové konkávní a konvexní objekty. U konkávních se může jednat o těžební jámy, pinky, krátery po explozích, vodní nádrže atd. Rovněž u konkávních objektů existuje celá řada možností (mohylové násypy, skalní výchozy, snosy kamení, zbytky vegetace neod-

straněné klasifikací, či pozůstatky těžby dřevy – hromady ořezaných větví). Právě takovéto pozůstatky lesních prací představují poměrně častý typ pseudo-objektů, zachycených během leteckého skenování – jeden z konkrétních případů ukazuje obr. 9.

Rovněž je třeba vzít v úvahu, že někdy mohou v důsledku nepřesností při skenování vznikat v datech rovnoběžné lineární nerovnosti (tzv. *striping*), které mohou v některých případech připomínat zbytky plužin.

Ověřování výsledků LLS přímo v terénu je v každém případě sice časově náročnou, ale nedílnou součástí jeho interpretace a lze očekávat, že v budoucnosti bude třeba věnovat ověřování a interpretaci celorepublikových dat LLS velké úsilí.

5. Význam LLS pro archeologii

Přínos LLS lze očekávat zejména v následujících oblastech:

Prostorová identifikace památek a dokumentace jejich současného stavu

Metoda LLS nepochybně přináší velkou polohovou přesnost. Např. při mapování okolí Stonehenge došlo k upřesnění polohy řady terénních reliktnů, které byly dříve mapovány v rámci National Mapping Programme (NMP) zejména na základě leteckého snímkování s polohovou přesností 5 – 15 m. Pomocí LLS zde bylo dosaženo přesnosti kolem 0,15 m (*Bewley – Crutchley – Shell 2005, 640*). Podobně u nás může LLS napomoci s upřesněním polohy řady památek, které jsou mnohdy v našich archeologických či památkových informačních systémech lokalizovány chybně či nepřesně.



Obr. 9 – Podzámčí (okr. Domažlice), hrad Příkopy. A – stínovaný DMR lokality (skenováno 25. 3. 2010), B – letecká fotografie téže lokality (7. 4. 2010), pohled od SV. Šipka ukazuje zachycený lineární pseudo-objekt, který tvoří halda větví ořezaných při těžbě dřeva.

Fig. 9 – Podzámčí (Domažlice region), Příkopy castle. A – shaded DTM of the site (scanned on the 25th March 2010), B – aerial photo of the site (7th April 2010), view from the NE. The arrow points to a linear pseudo-feature, which represents a heap of branches from wood exploitation.

Zároveň můžeme očekávat zpřesnění polohy či tvaru antropogenních reliktů, zachycených na starších plánech, zejména těch, které nevznikly pomocí geodetických metod.

Dostatečně přesné DMR také zachycují současný stav terénních reliktů, a je tak možno sledovat jejich narušení či provádět různá měření jejich vlastností (vzdálenosti, objemy, řezy apod.)

Identifikace nových památek

Badatelé přicházející do styku s dostatečně podrobnými daty LLS ze zalesněných území, jsou zpravidla překvapeni množstvím terénních reliktů, které jsou v krajině obsaženy. S jistotou můžeme očekávat řadu nově objevených památek prostřednictvím LLS, byť v některých oblastech to mohou být převážně památky novověkého stáří (cf. Štular 2011, 426–427).

Kupříkladu předběžné výsledky interpretace celoplošného skenování Dánska v letech 2007–2008 naznačují nárůst počtu známých archeologických lokalit o 10 – 30 % (Niels-Christian Clemmensen – osobní sdělení). V rámci archeologického mapování Bádenska-Württemberska bylo zatím pomocí LLS v prvních fázích projektu zachyceno celkem 60 449 antropogenních reliktů různého stáří na ploše 3 300 km², přičemž známých archeologických lokalit je ve sledovaných oblastech jen 5 692 (Bofinger – Hesse 2011a, 166). V roce 2011 se již jednalo o 135 000 potenciálních objektů na ploše 10 500 km² (Hesse 2011).

K novým objevům může dojít i v zalesněných oblastech, které byly již v minulosti podrobeny detailním povrchovému průzkumu, jak ukazují nedávné výsledky prospekce mohylových pohřebišť v oblasti Hemerského polesí na Bechyňsku (John 2011b).

Metoda LLS může také přinášet informace o nových komponentách již známých památek, a to především těch, které jsou při klasické pozemní prospekci jen velmi obtížně viditelné (na lokalitě Purbach v Rakousku byl pomocí LLS zachycen dvojnásobný počet mohyl, než při pozemním průzkumu – Do-neus a kol. 2008, 890). Jiným typickým příkladem jsou pluziny

zaniklých středověkých vesnic. Z osobní zkušenosti můžeme říci, že některé reliкты viditelné na datech LLS (např. právě zbytky pluzin), jsou přímo v terénu prakticky nepozorovatelné.

Vyloučit nemůžeme ani zachycení objektů, které u nás zatím nejsou předpokládány. Do této kategorie můžeme řadit např. meze pravěkých polí (tzv. *celtic fields*). Jedná se zpravidla o čtvercové objekty o straně kolem 40 m, známé především se severní Evropy (Dánsko, Nizozemí, Velká Británie, severní Německo – cf. Arnold 2011). Tyto památky jsou většinou obtížně datovatelné, pokud ale jsou někde v naší krajině dochovány, budou pravděpodobně objeveny pomocí LLS. Pro srovnání ve středním Holandsku se podařilo pomocí LLS objevit více než 1 000 ha dosud neregistrovaných pravěkých polních systémů (Kooistra – Maas 2008, 2326).

Zdroj dat pro GIS

Značným limitem dosavadních analýz krajiny a památek v ní obsažených jsou nedostatečně podrobné digitální modely terénu. Data LLS se tak jistě uplatní v takových oblastech jako je predikce archeologických lokalit, jejich vazba na morfologii terénu, analýzy dohlednosti, dostřelu, dostupnosti, a mnoho dalších. Na rozdíl např. od sousedního Německa, kde jsou data LLS již delší dobu běžně využívána pro potřeby archeologie a památkové péče, u nás se nyní nacházíme na počátku využití tohoto významného zdroje informací. Již nyní je ale zřejmé, že dostáváme do rukou neobyčejně silný nástroj, umožňující efektivně identifikovat a dokumentovat nemovitě archeologické památky v krajině. Spolu se stoupající dostupností dat se LLS nejspíše stane standardní součástí řady archeologických projektů a dojde k dalšímu rozvoji metod jejich zpracování a interpretace.

Jakmile odezní fáze prvotní fascinace vizuální stránkou dat LLS a překonávání technických potíží, spojených s jejich zpracováním, objeví se nepochybně řada archeologických otázek, při jejichž řešení mohou být lidarová data platným pomocníkem.

1

Ex caelo lux

Principles of airborne laser scanning and its use for archaeological remote survey

The introductory chapter of this book brings some basic information about the principles, methods and applications of data derived from airborne laser scanning (ALS) in archaeology. Attention is paid particularly to the history of the application of ALS in the European context. This study can also serve as a basic textbook for those interested in the applications of ALS in archaeology, but who have had no practical experience with it so far.

We briefly comment on the individual phases of work with ALS data from their acquisition, interpolation and visualisation to the interpretation. Apart from the data from the individual narrowly focused projects, we shortly introduce the new elevation model of the Czech Republic (5th generation digital model of the Czech Republic), as in the future it will become an important source of LIDAR data. The possibilities of its use are also dealt with in a number of chapters throughout this book.

On the example of the barrow site of Hádky/Javor (Pilsen-south region), dated to the Bronze Age, we compare the four most common methods of visualisation of digital relief models. We used the shade, slope, sky-view factor and local relief methods. From the results it is apparent that although the results of individual visualisation methods are similar, some types of features may be visible only on some of them. A comparatively universal method, which depicts all the important features, appears to be the method of sky view factor. Although at present various visualisation approaches are being created and tested, none of them appears to be fully universal and their application needs to be suited to type of studied features and the landscape where they are located.

One of the main contributions of the ALS is of course the precise spatial identification of the archaeological heritage and the

documentation of its current state. ALS can aid with the specification of the location of a range of remains, which are often recorded inaccurately in the archaeological and heritage management records. At the same time we can expect more accurate data about the extent and shape of the sites depicted in older sources, especially those that did not include geodetic survey.

Another important contribution is undoubtedly the identification of a range of unknown remains in forested landscapes. There can be significant amount of these discoveries as the experience from other countries shows, although in some regions these remains are predominantly of modern date. ALS can also bring information about new features on previously recorded sites, particularly those that are difficult to recognise during surface survey (e.g. field systems of deserted medieval villages). From personal experience we can say that some features visible on the ALS data (e.g. the ridge and furrow remains) are virtually undetectable on the terrain surface.

The ALS data will undoubtedly widen the possibilities of GIS use in landscape archaeology thanks to the availability of precise digital terrain models. These can be applied for the prediction of archaeological sites, analysis of their ties to the terrain morphology, visibility analysis, shot range analysis, site catchment analysis and others.

Today, we stand at the beginning of ALS data application in archaeology, but it is already apparent that what we have is a very powerful tool for the identification and documentation of immovable archaeological features in the landscape. In the near future, ALS will probably become a very popular source of information and the methods of its application and interpretation will be further elaborated.

2

Projekt Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3D snímkování, jeho cíle a dosažené výsledky

1. Úvod

V naší zemi byla širší veřejnosti metoda LLS a možnosti jejího uplatnění v oblasti archeologického výzkumu poprvé představena prostřednictvím mezinárodní výstavy „Lety do minulosti“, která se konala v říjnu 2007 – lednu 2008 v Národním muzeu v Praze jako součást projektu Evropské unie *European Landscapes: Past, Present and Future* (Gojda 2007 a 2008b). Na ní byly zveřejněny základní informace o využitelnosti této metody dálkového průzkumu v archeologické praxi a vystaveny velkoplošné barevné snímky, zapůjčené z tehdy probíhajícího projektu vídeňské univerzity. Ty dokumentovaly digitální model povrchu pravěké a středověké krajiny na území Dolního Rakouska a proces transformace tohoto modelu do podoby digitálního modelu reliéfu (odstranění bodů, kterými tzv. první laserové impulsy zasáhly vegetaci a nikoli vlastní povrch země). Kratší verze této výstavy je v současnosti, resp. od října 2012 do ledna 2013, instalována v Kongresovém centru České národní banky v Praze, přičemž metoda LLS je tam již prezentována obrazovými výstupy z projektu ZČU, o němž podává zprávu tato kapitola. Odborná veřejnost u nás měla možnost získat základní informace o LLS v dosavadní praxi evropské archeologie ještě dříve, v polovině minulého desetiletí, kdy se na stránkách periodika *Archeologické rozhledy* objevila informativní studie (Gojda 2005).

Kolem poloviny minulého desetiletí se na území České republiky uskutečnily první kampaně cíleného skenování vybraných regionů pro potřeby vědecko-výzkumných projektů. Například v roce 2005 provedla Technická univerzita (TU) v Drážďanech laserové snímkování poměrně rozsáhlého území Krušných hor a tzv. Česko-saského Švýcarska (po obou stranách státní hranice). V letech 2008–2009 se začal připravovat bilaterální projekt Archeologického ústavu AV ČR a muzea v Drážďanech, který měl zhodnotit data z výše uvedeného lidarového průzkumu TU a pořídit omezené množství nových dat prostřednictvím podrobného skenování několika vybraných areálů. Projekt měl být financován z některého z programů Evropské unie zaměřených na rozvoj příhraničních regionů. I když stupeň rozpracovanosti projektu byl již poměrně značný, nakonec se jej nepodařilo dotáhnout do konce a nedošlo ani k odezdání žádosti o jeho přidělení na příslušnou grantovou agenturu. Přesto data z roku 2005 byla nakonec využita katedrou archeologie ZČU v Plzni; jejich zhodnocení provedla L. Starková a je publikováno v tomto svazku (cf. též Starková 2010 a 2011).

Podle našich znalostí vůbec první využití možnosti získat letecká lidarová data a cíleně je použít v archeologickém výzkumu představuje u nás projekt univerzity v Hradci Králové a Muzea Českého ráje v Turnově vedený P. Šidou. Jeho cílem bylo dokumentovat terénní reliéf neolitického těžebního areálu Jistebsko v Jizerských horách, kde skenování proběhlo na zakázku uvedených pracovišť v listopadu 2009 (podrobně viz dále v tomto svazku).

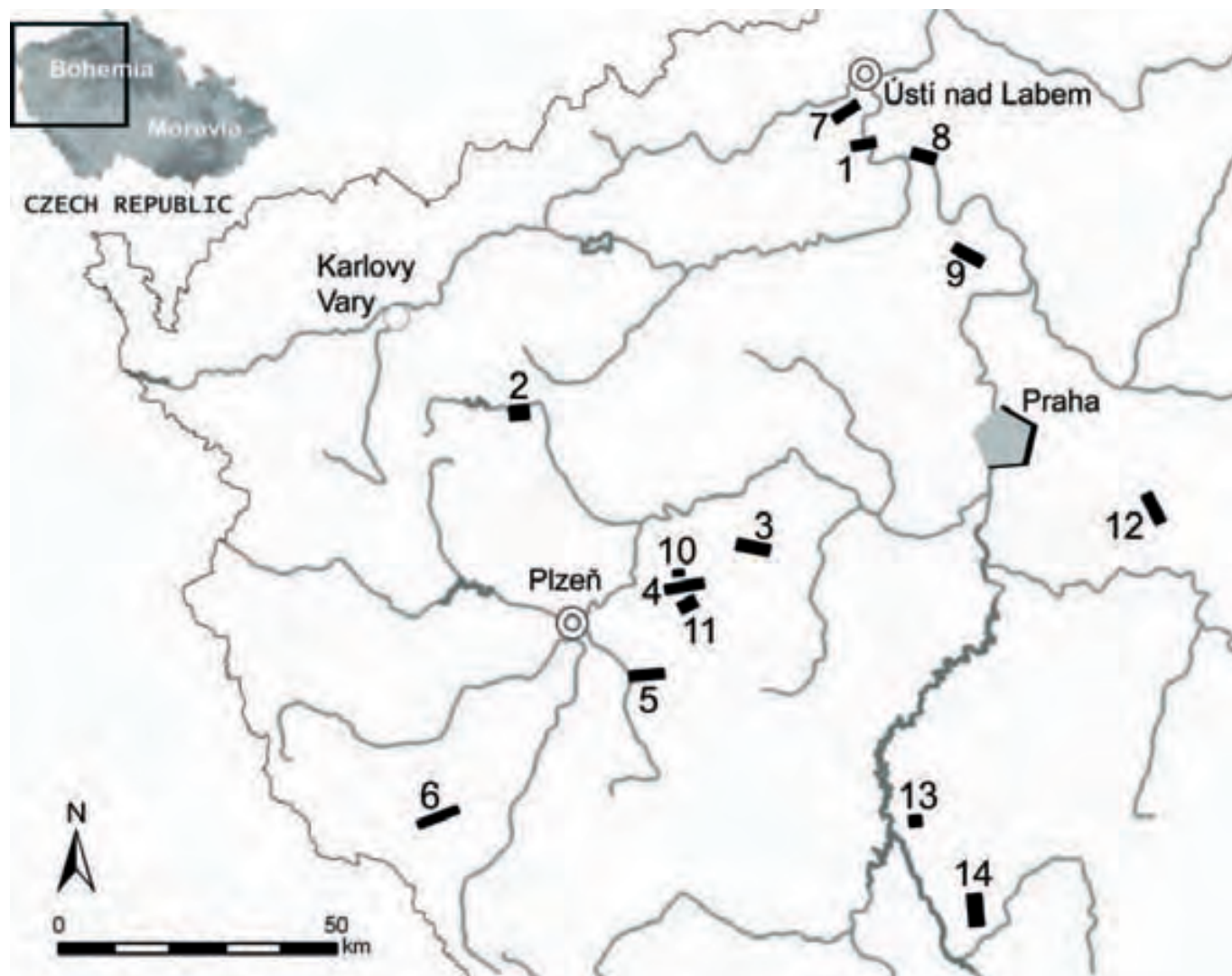
První komplexně pojatý a metodicky koncipovaný projekt české archeologie zaměřený na využití potenciálu leteckého laserového skenování (LLS) zemského povrchu se uskutečnil v letech 2010–11. V následujících částech této kapitoly předkládáme souhrn nejdůležitějších informací o jeho cílech, průběhu a dosažených výsledcích.

2. Cíle a charakteristika projektu

Projekt *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování* uskutečnila v letech 2010 – 2011 katedra archeologie Fakulty filozofické Západočeské univerzity v Plzni za finanční podpory Grantové agentury ČR. Pod vedením M. Gojdy se na jeho řešení podíleli J. John a L. Starková (příspěvky všech jmenovaných publikované v tomto svazku vycházejí z velké části z jejich práce na referovaném projektu). V České republice se jeho provedením naskytla možnost uplatnit vyspělou a na dlouhou dobu nepochybně nejkompaktnější metodu mapování těch částí krajiny, na jejichž povrchu jsou v podobě tzv. antropogenního tvaru reliéfu zachovány pozůstatky minulých lidských aktivit, a otestovat tak možnosti, které pro jejich identifikaci, evidenci a dokumentaci tato LLS nabízí. Shodou okolností pak bylo možné na konkrétním příkladu zhodnotit její efektivitu z hlediska vynaložených prostředků a kvality dosažených výsledků, a to v porovnání s náklady na pořizování dat pro tvorbu digitálního výškopisného modelu klasickou geodetickou cestou (Gojda – John – Starková 2011).

Projekt tématicky rozvíjí dvacetiletou tradici českého dálkového archeologického průzkumu, který je od roku 1992 součástí vědeckého programu Archeologického ústavu AV ČR v. v. i. Praha; od roku 1999 je péčí řešitele projektu rozvíjen také na katedře archeologie ZČU v Plzni.

Tato kapitola přináší informace o základních aspektech projektu, o hlavních charakteristikách krajinných transektů (polygonů), které projektový tým vybral tak, aby v nich byly zastoupeny co



Obr. 1 – Rozmístění zájmových polygonů v projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování* (čísla u polygonů odpovídají pořadovým číslům z přehledné tabulky a z jejich popisu).

Fig. 1 – The distribution of the polygons studied during the project *The potential of archaeological landscape survey in the Czech Republic using 3D airborne laser scanning* (the numbers next to the polygons reflect the serial numbers from the overview table and their description).

nejrozmanitější druhy památek pravěkého a historického původu. Zmíněna bude fáze praktického řešení, jejíž náplní bylo pořízení primárních dat a jejich základní zpracování. Protože nemalé úsilí jsme věnovali – a to v přímé i nepřímé spolupráci s několika externími spolupracovníky z řad našich studentů – orientačním ověřovacím průzkumům v terénu, je součástí této kapitoly informace o dohledávání a dokumentaci rozmanité škály areálů a objektů archeologického zájmu dochovaných v terénním reliéfu.

V době, kdy se po četných konzultacích s odborníky na problematiku archeologického průzkumu krajiny – a to jak pozemního, tak dálkového – přistoupilo k přípravě vlastního projektu, bylo dosaženo shody v jeho celkovém zaměření. Bylo rozhodnuto, že je třeba jej orientovat k dosažení takových výsledků, které by na jedné straně zřetelně ukázaly autonomní možnosti metody LLS v oblasti dokumentace a průzkumu kulturní krajiny, resp. archeologických nemovitých památek, a na straně druhé umožnily srovnat její efektivitu (finanční náklady na získání primárních dat, dobu potřebnou k jejich pořízení a zpracování, přes-

nost/rozlišení výsledků apod.) s těmi postupy, které pomáhají shromažďovat srovnatelná (prostorová) data pro tvorbu digitálního výškopisného modelu. Využití tohoto způsobu trojrozměrného mapování krajiny jak v měřítku rozsáhlých oblastí (regiony, tzv. krajinné transepty, geomorfologické celky) a středně velkých ploch (širší okolí vybraných památek, např. stavebně-historických celků, hradišť), tak i územně nevelkých areálů (např. pravěké mohylníky, zaniklé středověké vesnice, novověká polní opevnění) se v posledních letech stává v západní Evropě takřka standardní součástí velkých, finančně zajištěných projektů zaměřených na evidenci a ochranu archeologického dědictví a na výzkum historické krajiny s relikty zaniklých sídelních stop.

3. Vymezení a základní charakteristiky zájmových oblastí projektu

V porovnání s původním plánem nasnímkovat každý rok jeden rozsáhlý areál (polygon, resp. obdélník) byla nakonec upřednostněna varianta pořídit snímky většího počtu plošně nevel-

kých polygonů, protože tak bylo možné zachytit větší krajinou rozmanitost zkoumaného souboru a zastoupení druhů památek v něm. Zájmová území lze rozdělit do dvou skupin:

1. Plochy (polygony), které v požadované kvalitě dosud nebyly mapovány metodou LLS; primární data zde byla pořízena z grantových prostředků a z nich byla pokryta také filtrace dat. Celkem bylo zvoleno 14 testovacích polygonů o celkové rozloze 123 km² (obr. 1). Záměrně byly zvoleny oblasti s vyšším počtem dochovaných antropogenních terénních relikvů, převážně v zalesněném prostředí.

2. Území, pro něž existují lidarové snímky, a které tedy již bylo v minulosti mapováno pomocí LLS. Vybrána byla oblast výškové a morfologicky členité Děčínské vrchoviny (Národní park České Švýcarsko; dále NPCŠ), která se svými přírodními parametry výrazně odlišuje od většiny krajinných typů osídlovaných v minulosti.

Ad 1. Jedná se o první větší soubor dat leteckého laserového skenování, který byl u nás pořízen cíleně pro potřeby archeologie. Reprezentuje široké spektrum v terénu dochovaných památek (mohylová pohřebiště, hradiště, těžební areály, hrady, tvrzíště, zaniklé vesnice a jejich pluziny, úvozové systémy, reďuty atd.). Pracovní názvy a rozlohu jednotlivých polygonů ukazuje následující tabulka, po ní následuje přehled jejich základních charakteristik.

Číslo	Pracovní označení polygonu	Rozloha (km ²)	Rok Skenování
1	Porta Bohemica	4	2010
2	Vladař	9	2010
3	Líšná	12	2010
4	Březina	13	2010
5	Štáhlavsko	11	2010
6	Kdyňsko	11	2010
7	Habrovany	8	2011
8	Třeboutice	8	2011
9	Ctiněves	11	2011
10	Prívětice	2	2011
11	Sloupek	6	2011
12	Černokostecko	10	2011
13	Kučeř	4	2011
14	Hemera	14	2011

1 – Porta Bohemica. V oblasti tzv. České brány bylo leteckým skenováním dokumentováno pravěké (a pravděpodobně také raně středověké) hradiště Hrádek u Libochovan a těžební areál mezi obcemi Oparno a Malé Žernoseky. Digitální model terénu těchto lokalit je o to cennější, že dosud nebylo publikováno žádné moderní zaměření nemovitých památek uvedeného území. Na okraji sledované plochy se nachází rovněž hrad Oparno (obr. 2a).



Obr. 2a – Prostorové vymezení zájmových polygonů v projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování I*. Od shora dolů (v závorce uvedena pořadová čísla polygonů z přehledné tabulky): Ctiněves (9), Březina (4), Černokostecko (12), Habrovany (7), Třeboutice (8), Porta Bohemica (1). **Fig. 2a** – The spatial distribution of the polygons studied during the project *The potential of archaeological landscape survey in the Czech Republic using 3D airborne laser scanning I*. From top to bottom (in brackets there are the serial numbers of polygons from the overview table): Ctiněves (9), Březina (4), Černý Kostelec region (12), Habrovany (7), Třeboutice (8), Porta Bohemica (1).



Obr. 2b – Prostorové vymezení zájmových polygonů v projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování II*. Odshora dolů (v závorce uvedena pořadová čísla polygonů z přehledné tabulky): Přivětice (10), Hemera (14), Vladař (2), Kdyňsko (6), Líšná (3), Sloupek (11), Štáhlavsko (5).
Fig. 2b – The spatial distribution of the polygons studied during the project *The potential of archaeological landscape survey in the Czech Republic using 3D airborne laser scanning II*. From top to bottom (in brackets there are the serial numbers of polygons from the overview table): Přivětice (10), Hemera (14), Vladař (2), Kdyňsko (6), Líšná (3), Sloupek (11), Štáhlavsko (5).

2 – Vladař. Polygonu dominuje rozsáhlá výšinná opevněná lokalita Vladař u Záhořic (obr. 2b). Toto hradiště donedávna postrádalo přesnější zaměření, a to právě v důsledku své velikosti. První kvalitní plán vyhotovil A. Majer až v r. 2003 v systému GPS, do té doby byla lokalita zdokumentována jen pomocí nepřesných náčrtů (Majer 2004)..

3 – Líšná. V rámci zalesněných ploch tohoto polygonu lze pozorovat terénní reliкty, které můžeme s vysokou pravděpodobností spojit se zaniklými středověkými vesnicemi Zábdiší a Okrouhlík (blíže viz kapitola 10 v této knize). Tyto lokality byly doposud známy pouze z písemných pramenů a jejich přesnou lokalizaci jsme postrádali (srov. Rožmberský 2006). Výsledky leteckého skenování zachytily nejen půdorysy zaniklých vesnic, ale rovněž pozůstatky okolních polí, cest a dalších areálů v zázemí zaniklých vesnic (obr. 2b).

4 – Březina. Nejrozsáhlejší památkou tohoto polygonu je raně středověké hradiště Březina. U této lokality výsledky leteckého skenování naznačily existenci opevněného předhradí, které bylo zobrazováno na nákresech hradiště vyhotovených v 19. stol., dnes je již ale v terénu téměř nepostřehnutelné. Polygon Březina vykazuje rovněž zvýšenou koncentraci kruhových objektů, které lze interpretovat jako pozůstatky milířů (obr. 2a – blíže viz kapitola 15).

5 – Štáhlavsko. Štáhlavské polesí reprezentuje mimořádně dobře dochovaný příklad zaniklé kulturní krajiny, v níž můžeme dokumentovat stopy lidské činnosti od pravěku (mohylová pohřebiště), přes středověk (zaniklé vesnice – viz obr. 3, tvrže a hrad Lopata) až po novověk (zámek Kozel, rybníky, stopy těžby; obr. 2b).

6 – Kdyňsko. Polygon je mimořádný vysokou koncentrací středověkých šlechtických hradů. V tomto polygonu byla souběžně s leteckým skenováním prováděna fotografická dokumentace pomocí šikmých leteckých snímků. Kombinace dvou metod dálkového průzkumu potvrdila skutečnost, že u leteckého laserového skenování je velmi důležitá následná vizuální kontrola situace přímo ve snímaných lokalitách, aby bylo možno spolehlivě vyloučit různé pseudorelikty, které se mohou na výsledných modelech objevit (typickým příkladem jsou konvexní „objekty“ vzniklé navršením ořezaných větví během lesních prací; obr. 2b).

7 – Habrovany. V tomto polygonu byla zmapována část velmi dobře dochovaného systému polního opevnění (zejména dělostřelecká postavení), které je známo rovněž z prvního (josef-

ského) vojenského mapování a vzniklo někdy v průběhu druhé poloviny 18. století – blíže viz kapitola 3 (obr. 2a).

8 – Třeboutice. Rovněž v polygonu Třeboutice jsou zachyceny novověké fortifikace, konkrétně reliktů předsunutého opevnovacího systému terezínské pevnosti z poloviny 19. století (blíže viz kapitola 3). LLS potvrdilo, že část mohutného opevnění je dochována v nízkém reliéfu i na zdánlivě zarovnaných terénech zemědělsky obdělávaných ploch, jak naznačila série leteckých fotografií z nedávné doby, pořízených v zimním období za velmi nízkého slunečního osvětlení (obr. 2a).

9 – Ctiněves. Devátý polygon zahrnuje horu Říp a část jejího okolí. Z archeologických památek jsou zde zachycena zejména mohylová pohřebiště na katastrech Ctiněves, Kostomlaty pod Řípem a Horní Beřkovice (obr. 2a).

10 – Přívětice. V této oblasti je předpokládána zaniklá středověká vesnice Kaliště (srov. *Rožmberský 2006*). Data LLS zde indikují především zbytky úvozových systémů (obr. 2b)

11 – Sloupek. Kromě velkého množství milířišť a těžebních areálů lze v polygonu identifikovat dobře dochovaný půdorys zaniklé středověké vesnice Sloupek – blíže viz kapitola 13 (obr. 2b).

12 – Černokostecko. Zaniklé středověké vesnice Černokostecka (Lažany, Vyžlovka, Aldašín) patří k lokalitám s dlouhou tradicí povrchového průzkumu (viz např. *Smetánka-Klápště 1981*). Současné využití metody LLS zde výrazně přispívá k identifikaci méně nápadných komponent, jako jsou zbytky pluziny či zaniklé cesty (obr. 2a).

13 – Kučeř. Hlavním zdokumentovaným objektem tohoto polygonu je laténské čtyřúhelníkové ohrazení Kučeř-Obrovy hroby. Na příkladu této lokality byla testována schopnost LLS zachycovat reliktů zarostlé hustou vegetací.

14 – Hemera. V polesí Hemera na Bechyňsku je dochována řada mohylových pohřebišť z období pravěku a raného středověku (obr. 2b). Přestože se jedná o velmi dobře prozkoumanou oblast², díky LLS zde byly identifikovány zatím neregistrované objekty, a to zejména ojedinělé mohyly či jejich malé skupiny – blíže viz (*John 2011b*).

Ad 2. Děčínská vrchovina – Národní park České Švýcarsko. Výrazný skalnatý profil převážně zalesněné oblasti a obtížně přístupný terén jsou hlavní charakteristiky, které dlouhodobě podporovaly předpoklad o malém zájmu pravěkých až raně středověkých komunit o osídlování regionu, který je ovšem na podkladě soudobých archeologických akcí vyvrácen. Kolonizace a změny v sídelní dynamice na přelomu vrcholného

a pozdního středověku, jejichž důsledky přetrvávají do moderní doby, měly nejvýraznější vliv na podobu zdejší krajiny. Jejich stopy jsou v reliéfu čitelné dodnes, zejména jako reliktů zaniklých sídel (intravilánů a extavilánů vesnic, šlechtických sídel a těžebních areálů). Geomorfologická a ekologická komplexnost doprovázená nesystematičností archeologického zájmu o oblast Národního parku České Švýcarsko tvoří významné důvody, pro něž jsme tento region začlenili do referovaného projektu (*Valečka 2005*). Neopomenutelným faktorem, který ovlivnil integraci tohoto území do projektu je skutečnost, že patří k několika málo oblastem České republiky, kde již bylo letecké laserové skenování provedeno a data zde pořízená nám byla po dohodě zpřístupněna.

4. Pořízení dat, jejich zpracování, analýza a interpretace

Polygony č. 1 – 6 byly skenovány dne 25. 3. 2010 německou společností Milan Geoservice GmbH. Pro skenování za účelem vytváření DMR je v klimaticky průměrném roce období prvních jarních týdnů na přelomu března a dubna nejvýhodnější, protože vegetace je v tomto čase dobře prostupná a zároveň již chybí sněhová pokrývka. Skenování, v jehož průběhu byla během uvedeného dne zaměřena více než jedna miliarda bodů, se uskutečnilo z výšky cca 600 m nad terénem pomocí skeneru Riegl LMS-Q560 s deklarovanou výškovou přesností ± 10 cm a polohovou přesností ± 30 cm. Uvedená výška letu odpovídá hustotě měření ca 4 body/m², což je zcela dostačující pro výpočet DMR s prostorovým rozlišením výsledného rastru 1 x 1 m.

Polygony č. 7 – 14 byly podrobeny skenování 23. 3. 2011 za použití leteckého skeneru Riegl LMS-Q680i. Brněnská společnost GEODIS provedla měření z výšky 900 m nad terénem, což odpovídá hustotě měření cca 1 bod/m², tedy nižšímu rozlišení než u dat z roku 2010. Zároveň však byla pro účely srovnání část polygonu č. 12 skenována z výšky 450 m s pokrytím ca 10 bodů/m².

Data byla dodána ve formátu LAS a ASCII, a to jak ve formě surových dat, tak filtrovaných podkladů pro DMR a DMP. Společnost Milan Geoservis dodala hrubá data také ve formátu DXF. Další zpracování dat (zejména výpočet DMR) probíhalo na univerzitním pracovišti. K výpočtu vlastního DMR z naměřených bodů byla použita metoda nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN). Následně byla pozorováním stínovaného DMR sledována morfologie terénu a identifikovány anomálie v reliéfu, které vykazují pravidelnost tvarů, shlukování a prostorovou uspořádanost, a jsou tak interpretovatelné jako uměle vytvořené objekty. Přes některé nevýhody se osvědčila metoda zobrazení DMR pomocí stínovaného povrchu (*hillshade*), umožňující uměle nasvítit terén analyzovaného snímku pod libovolným úhlem a směrem, např. až v extrémně nízké pozici virtuálního světelného zdroje (slunce těsně nad obzorem při východu/západu), a využít tak principu tzv. stínových příznaků, který se využívá při leteckém průzkumu reliéfně dochovaných památek v otevřené krajině. Díky tomu jsme na sledovaných územích odhalili několik objektů, které jsou

zachovány v tak nízkém reliéfu, že při terénním povrchovém průzkumu je prakticky nelze rozpoznat (srv. obr. 12). Kromě zobrazení DMR pomocí funkce *hillshade* je vhodné – zejména kvůli prostorovému vjemu – zobrazovat DTM archeologických nemovitých památek také pomocí funkce 3D surface.

Pro území NP ČŠ byly jako vstupní a podkladová data použity klasifikované a odfiltrované výstupy mezinárodního projektu Interreg IIIA GeNeSis (Geoinformační síť pro přeshraniční region národních parků Česko-saské Švýcarsko). Laserovým skenerem bylo zaznamenáno ca 6 miliard bodů, ze kterých byl po přepočtu, kalibraci a filtraci v prostředí programu SCOP++ generován DMR s prostorovým rozlišením 1 m. Výstupy digitální kamery tvoří soubor kolmých ortosnímků s rozlišením 0,5 m v grafickém výstupu RGB a CIR. Poskytnutá data nebyla primárně pořízena ani určena k účelům archeologie.

Kromě lidarových dat byly v mimovegetačním období pořízeny také šikmé letecké snímky vybraných areálů, které umožnily konfrontaci obou informačních zdrojů, resp. upřesnily interpretaci některých anomálií na DMR/DMP.

Součástí práce s výsledky analýzy lidarových dat je také jejich komparace s dokumentací evidovaných archeologických lokalit na území, které je předmětem výzkumu (ADC/Archiv nálezových zpráv, odborné publikace), a dále práce se starými mapami (zejm. první a druhé vojenské mapování, stabilní katastr), případně s ikonografickými prameny. Nejdůležitější je ovšem následná práce v terénu, kdy jsou anomálie (objekty), které jsou na lidarových snímcích interpretovány pozitivně, ověřovány prostřednictvím povrchového průzkumu.

5. Náklady na pořízení lidarových dat a srovnání s náklady na pozemní zaměření

Důležitou součástí projektu, deklarovanou již v žádosti o přidělení grantových prostředků na jeho realizaci, je analýza nákladů spjatých se získáním výškopisného digitálního modelu terénního reliéfu prostřednictvím leteckého laserového snímkování a srovnání finanční náročnosti na pořízení tohoto typu dat a dat pořízených pomocí klasického terénního geodetického měření. U lidarových snímků se jedná o náklady nutné k pořízení jednak surových dat a jednak odfiltrovaných podkladů pro DMR a DMP, které jsou výsledkem (technického) předzpracování surových dat. V ceně zakázky dodávané v této podobě je zahrnuta částka za použití a amortizaci přístrojů a zařízení, které jsou majetkem dodavatelské společnosti (vlastní lidar, stanice GPS, letadlo), za letové hodiny, práci posádky letadla během sběru dat (pilotáž, obsluha měřících přístrojů) a následnou přípravu dat, která jsou předána zadavateli zakázky (v našem případě Katedra archeologie ZČU v Plzni) na externím velkokapacitním nosiči digitálních dat (harddisku).

Jak vyplývá z údajů uvedených výše v této kapitole, zvolili jsme k pořízení souborů lidarových dat každý rok jiného za-

davatele. V prvním roce projektu (tj. 2010) to byla jedna z předních evropských společností v oblasti LLS *Milan Geoservice GmbH* (www.milan-geoservice.de; v posledních letech provedla tato německá společnost např. lidarové snímkování římského Limes na Rýnu a Dunaji, a to při velkém prostorovém rozlišení prostřednictvím nízko letícího vrtulníku). Data ze šesti polygonů o celkové rozloze 60 km² (viz tab. v části 3 této kapitoly), jejichž důležité kvalitativní parametry uvádíme v části 4, účtovala uvedená společnost v celkové ceně (vč. DPH) 314.000,- Kč, takže průměrná cena za 1 km² se pohybuje kolem 5.200,- Kč

Ve druhém roce projektu jsme pro srovnání zvolili za poskytovatele brněnskou společnost GEODIS Bno s.r.o. (www.geodis.cz), která je první českou soukromou institucí disponující zařízením pro mapování terénu metodou LLS (laserový skener, letadlo Cessna 206, GPS). Za surová a filtrovaná data z celkové plochy 63 km² (rozdělená do osmi polygonů), jejichž technické parametry byly kvalitativně o něco nižší než v případě první zakázky (při porovnání kvality výsledného DMR však tento rozdíl nehraje velkou roli), bylo uhrazeno 344.000,- Kč (z toho částka 57.000,- Kč tvoří DPH). GEODIS deklaruje cenu za data z polygonu o velikosti 10 km² 27.000,- Kč (bez DPH), v tom ale nejsou započítány náklady na letecké práce; ty činily 47.000,- Kč za celkem nalétaných 500 km (trasa Brno – přelety mezi jednotlivými polygony a čas nalétaný při jejich skenování – Brno). Průměrná cena za pořízení lidarových dat z 1 km² tak u GEODISU vychází na cca 5.400,- Kč a je tedy zhruba o 4% vyšší než u společnosti Milan Geoservice GmbH. Je nasnadě, že např. pro potřeby moravské archeologie je výhodné orientovat se na poskytovatele, který má základnu prakticky v centru Moravy, zatímco pro snímkování zájmových polygonů v Čechách se zdá být o něco výhodnější využívat služeb společnosti Milan Geoservice GmbH, která má jednu ze základen (včetně letiště) v Sasku, vzdálenou asi 70 km vzdušnou čarou od českoněmeckých hranic. V této souvislosti je třeba zvláště upozornit na to, že náklady na letecké práce, resp. délka času potřebného k přeletům a k vlastnímu snímkování určených polygonů poměrně výrazně ovlivňují výslednou cenu zakázky, takže v tomto směru je třeba připravovat a vybírat plochy určené k laserovému skenování co nejpečlivěji (tím miníme jejich vzájemnou polohu, resp. vzdálenost, a také jejich tvar, u něhož platí, že čím delší a užší je, tím méně průletů – a ve výsledku kratší čas – je potřeba k jeho naskenování s ohledem na finanční prostředky, které jsou k tomuto účelu k dispozici.

Pokud jde o cenu dnes již komerčně nabízeného a výše v textu uvedeného digitálního modelu reliéfu (terénu) ČR 4. generace (DMR 4G), na jaře 2011 účtoval jeho poskytovatel Zeměměřický úřad Západočeské univerzity v Plzni za jeden mapový list SM 5 (resp. výřez o velikosti 2,5 x 2 km) 500,- Kč (vč. DPH). Výhodu této kategorie dat danou nízkou cenou snímků je ovšem třeba hodnotit s ohledem na jejich kvalitu,

resp. stupeň prostorového rozlišení, které je nepoměrně horší než je tomu u dat pořízených v rámci projektu u výše uvedených společností.

Při pokusu porovnat náklady, které je třeba vynaložit na práci s digitálním modelem reliéfu odvozeným z leteckých lidarových dat na jedné straně a z dat odvozených z pozemního geodetického zaměření zemského povrchu na straně druhé, je samozřejmě třeba hodnotit několik faktorů, které vstupují do hry. Z těch důležitých je to jednak kvalita dat, čímž se míní jejich prostorové (geometrické) rozlišení, resp. jejich polohová a výšková přesnost, a jednak práce vynaložená na shromáždění surových dat a na jejich zpracování do podoby výškopisné mapy/plánu, resp. digitálního modelu reliéfu. Čas potřebný k dosažení finálního produktu je vyjádřen konečnou cenou zakázky, jejíž výše odráží hodnotu vynaložené práce a materiální náklady vložené do zakázky poskytovatelem.

Pro srovnání efektivity leteckého lidarového a pozemního geodetického zaměření máme k dispozici velmi dobrý příklad. Je jím právě hradiště Hrádek u Libochovan (okr. Litoměřice; viz jeho stručný popis – polygon 1: Porta Bohemica; cf. též část 6.4. této kapitoly), které shodou okolností začátkem minulého desetiletí zaměřovala společnost GeoNet Praha, v.o.s. pro potřeby výzkumného projektu Archeologického ústavu AV ČR. Z konzultací s P. Hulíkem, vedoucím týmu, který hradiště a jeho okolí zaměřoval, vyplynuly tyto skutečnosti: 1. Celkově bylo polohově a výškově zaměřeno 57,5 hektarů, tedy téměř trojnásobek rozlohy samotného hradiště (cca 20 hektarů), a to ve velmi dynamickém terénu s velkým převýšením (mírně svažité terén vlastního hradiště, geomorfologicky přirozeně vyčleněná poloha akropole na Tříkřížovém vrchu, víceméně strmé skalní stěny svahů labského údolí, břehy Labe); 2. Zaměření probíhalo po dobu přibližně dvou měsíců a podílel se na něm tým deseti pracovníků; 3. Výsledným produktem geodetického zaměření hradiště a jeho okolí byl polohopisný a výškopisný plán ve vztáhném měřítku 1 : 500 a digitální model terénu, kde přesnost zaměřených bodů jak v polohopisu, tak ve výškopisu dosahuje minimálně pěti centimetrů (a to jenom proto, že se jedná převážně o měření na nepevném povrchu, takže ve skutečnosti jsou body zaměřeny pravděpodobně ještě o něco přesněji; pro srovnání připomínáme již uváděnou absolutní přesnost u námi pořízených lidarových dat: výšková přesnost ± 10 cm, polohovou přesností ± 30 cm); 4. Cenu za výsledný produkt je v současné době možné stanovit spíše v intervalu než v podobě konkrétní sumy. Je to především proto, že do ceny se odráží aktuální poptávka po zakázkách na geodetické práce, která souvisí s momentální makro- a mikroekonomickou situací země, resp. potenciálních zadavatelů, s počtem aktuálně existujících zeměměřických firem, s roční dobou, v níž jsou zakázky požadovány apod. Z těchto důvodů je možné vyjádřit cenu za zaměření plochy hradiště Hrádek u Libochovan a jeho okolí do intervalu 140 – 160 tisíc Kč.

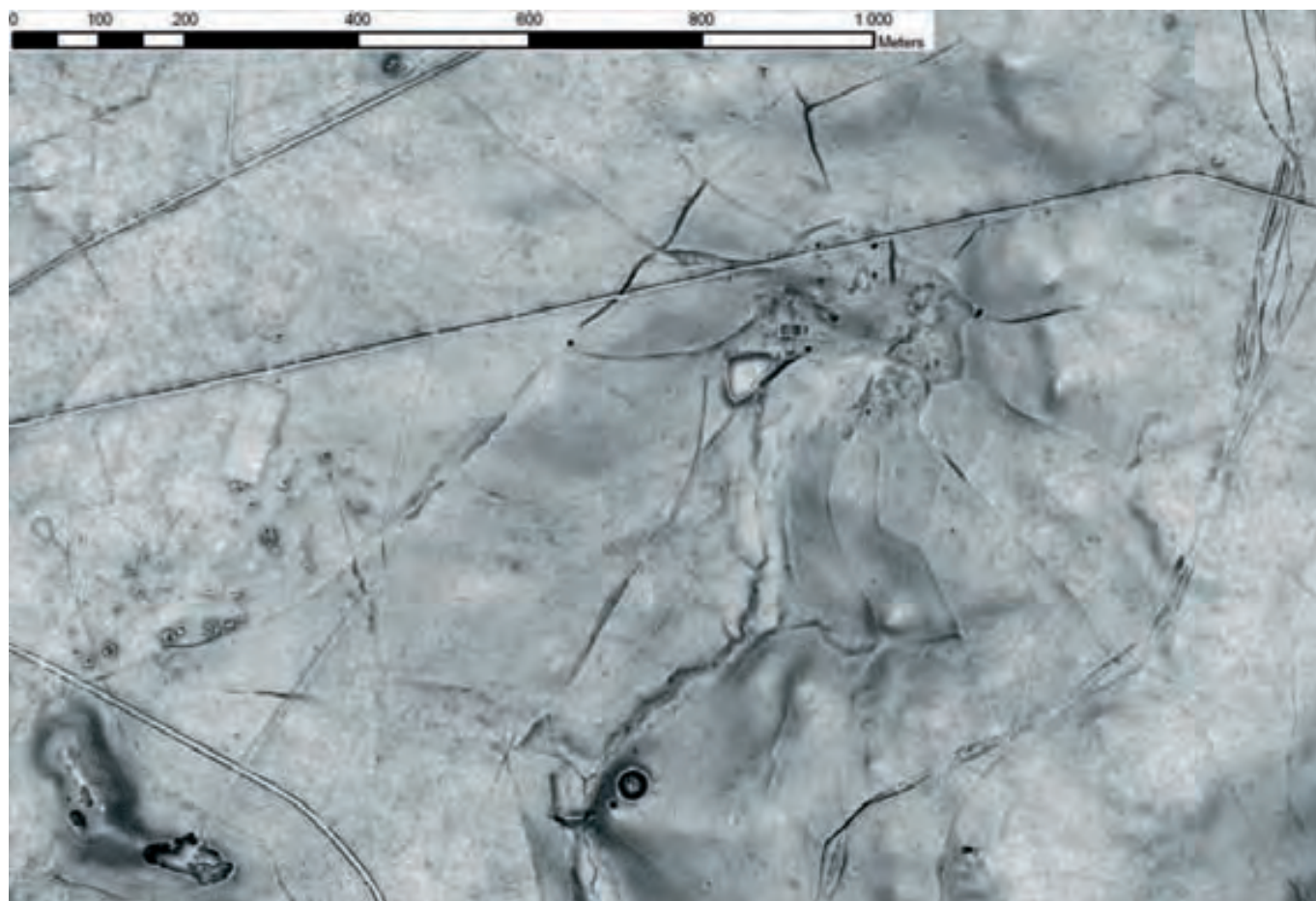
Z uvedených informací lze uzavřít, že i když absolutní polohopisná přesnost je poměrně výrazně vyšší u geodetického než leteckého laserového zaměření, u výškopisu je tento rozdíl již menší. Z hlediska potřeb archeologie na přesnost zaměření tak rozsáhlých areálů, jakými jsou hradiště o rozloze několika desítek hektarů, je však podle našeho mínění přesnost zaměření v řádu jednoho nebo několika málo decimetrů téměř zanedbatelná. Porovnáme-li v kontextu tohoto konstatování prostředky, které je nutné vynaložit na provedení geodetického zaměření a lidarového snímkování dvacetihektarového hradiště, je zcela evidentní, že celkové náklady vyznívají výrazně ve prospěch druhé uvedené metody. Zatímco pozemní zaměření terénního reliéfu plochy o velikosti jednoho hektaru na hradišti Hrádek u Libochovan vychází na cca 3.000,- Kč, letecké lidarové skenování téhož hradiště a jeho širokého zázemí (cca 4 km²) vyšlo na 21.000,- Kč (= 5.200,- Kč/km²). Významným faktorem podporujícím jednoznačně efektivitu tvorby DMR pomocí leteckých lidarových dat je samozřejmě také čas: oskenování konkrétního zájmového areálu/polygonu trvá i s doletem desítky minut – několik málo hodin (srv. výše uvedenou dvouměsíční práci v terénu pro poměrně početný tým pracovníků), načtení surových a dat a jejich filtrace je obvykle záležitostí několika dní, maximálně 1 – 2 týdnů.

6. Příklady lokalit dokumentovaných pomocí LLS a následným povrchovým průzkumem

6.1 Javor

Značná pozornost byla v rámci našeho projektu věnována oblasti Štáhlavského polesí na jižním Plzeňsku, neboť se jedná o oblast s velmi dobře dochovanými terénními relikty lidské činnosti. Na obr. 3 je možno sledovat malý výřez zmíněného polesí, na kterém jsou v rámci k. ú. Milínov a Kornatice dobře čitelné terénní pozůstatky pravěkých i mladších aktivit. K nejvýraznějším památkám zde patří mohylové pohřebiště z doby bronzové, zaniklá středověká vesnice a její pluzina, systémy úvozových cest, tvrziště, hráze rybníků a pozůstatky exploatace surovin (lomy, mlíře).

Známou archeologickou lokalitou uvedené oblasti je mohylové pohřebiště Hádky/Javor (k. ú. Milínov), zkoumané v 19. století F. X. Francem. Jedna z mohyl této lokality (mohyla č. 5 prozkoumaná F. X. Francem v r. 1878 – *Franc 1988*, 106) byla využita k porovnání výsledků LLS s pozemním měřením. Ke vzájemnému srovnání posloužily tři sady dat, a to data LLS pořízená v rámci grantového projektu (obr. 4A – skenováno 25. 3. 2010), data pořízená pozemním měřením totální stanicí (obr. 4B – měřeno 29. 9. 2010) a data LLS poskytnutá ČÚZK (obr. 4C – skenováno 29. 3. 2011, data v zásadě odpovídají v budoucnu nabízenému DMR5G). DMR vytvořen z prvních dvou datových souborů jsou si velmi podobné a dobře zachycují tvar narušeného mohylového násypu. Zdá se tedy, že v některých případech mohou data LLS plnohodnotně nahradit výsledky



Obr. 3 – Milínov u Nezvěstic (okr. Plzeň-jih) a Kornatice (okr. Rokycany) – komplex památek ve východní části Štáhlavského polesí. DMR zobrazený pomocí faktoru výhledu, skenováno 25. 3. 2010.

Fig. 3 – Milínov u Nezvěstic (Pilsen-south region) and Kornatice (Rokycany region) – a complex of sites in the eastern part of Štáhlavy forest. DTM visualized using sky view factor, scanned on the 25th March 2010.

pozemní dokumentace reliéfních tvarů terénu, poměrně pracně získávané např. s pomocí totální stanice (cf. *John 2008*). Musí se však jednat o dostatečně podrobná data LLS, a zároveň o lokality v otevřené krajině, anebo s dobře prostupným vegetačním krytem. V případě dat poskytnutých ČÚZK evidentně nebyly zachyceny nejvyšší partie zbytků mohyly, v důsledku čehož se výsledný model výrazně odlišuje od skutečného tvaru terénního reliktu (obr. 4C). Hustota skenování byla v tomto případě příliš nízká na to, aby zachytila terén krytý listnatými stromy, rostoucími na zbytcích mohyly č. 5. Na druhou stranu srovnáním výškové a polohové přesnosti pozemního měření a dat ČÚZK byla zjištěna velmi dobrá shoda, rozdíly zde nepřekračují 10 centimetrů.

Případ mohyly č. 5 ukazuje, že v měřítku jednotlivých objektů budou data nového výškopisu České republiky (DMR5G) v mnoha případech příliš generalizována (klíčovým faktorem nepochybně bude hustota vegetace s doba skenování). Na druhou stranu v měřítku archeologických lokalit můžeme očekávat řadu velmi dobře použitelných dat, což dokládá srovnání dvou výše zmíněných souborů dat LLS, zachycujících intravilán a extravilán zaniklé středověké vesnice Javor (obr. 5). Pro srovnání je důležité, že oba nálezy proběhly téměř přesně s roč-

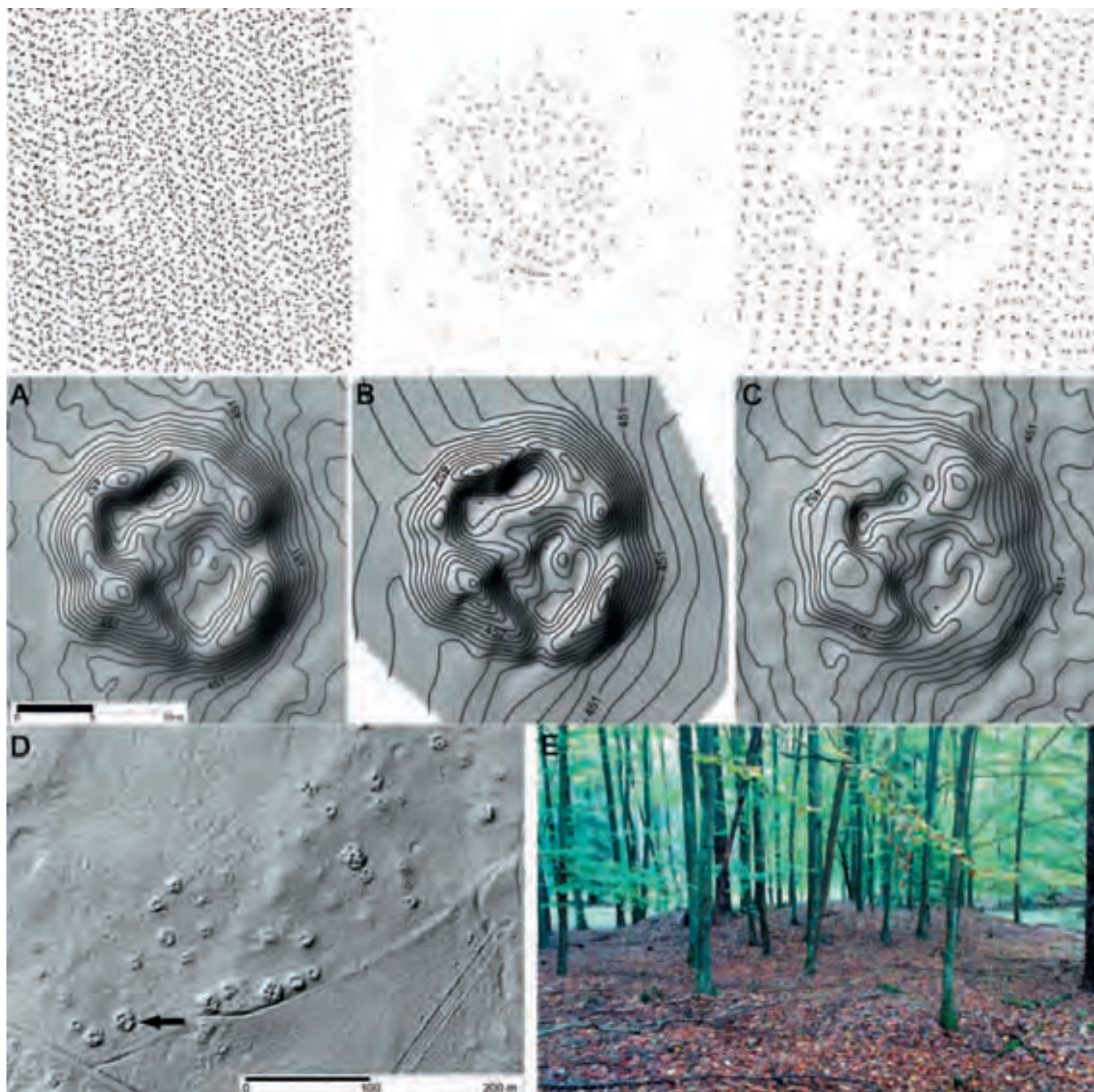
ním odstupem, tedy za přibližně podobného stavu vegetace. V tomto měřítku jsou výsledky obou skenování v zásadě identické, a to včetně reliéfně nevýrazných objektů (milíře, mezní pásy), které se předchozím klasickým povrchovým průzkumem nepodařilo v celistvosti zachytit (cf. *Veselá 2008* a kapitola 13 v této knize).

Díky zjištěné výškové i polohové přesnosti dat LLS se nabízí možnost kombinace této metody s pozemním měřením. Mohly by tak vznikat digitální modely památek, kde by objekty chybějící v datech LLS byly doplněny jinými metodami (tachymetrie, fotogrammetrie apod.).

6.2 Lažany

Povrchovému průzkumu zaniklé středověké vsi Lažany byla v minulosti věnována značná pozornost a vzniklo její detailní geodetické zaměření (viz *Klápště – Smetánka 1981*).

V případě této známé lokality máme dnes k dispozici dokonce čtyři digitální modely reliéfu terénu, vzniklé pomocí LLS. Dva z nich vznikly v rámci našeho grantového projektu, kdy byla oblast Černokosteicka skenována společností Geodis, a to ve dvojí hustotě skenovaných bodů. Kromě standardní hustoty cca 2 body/m² při letové výšce 900 m (obr. 6B), bylo provedeno



Obr. 4 – Mohylové pohřebiště Milínov u Nezvěstic – Hádky/Javor (okr. Plzeň-jih). Porovnání různých výsledků leteckého laserového skenování (A a C) a pozemního zaměření (B) na příkladu mohyly č. 5 (označena šipkou na celkovém plánu lokalit – D). Krok vrstevnic na plánech A – C je 10 cm. Nad plány jsou zobrazena mračna bodů, z nichž byly vytvořeny modely reliéfu mohyly. E – fotografie mohyly č. 5 a jejího stromového porostu. Data pro obr. C poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální (ČUZK).

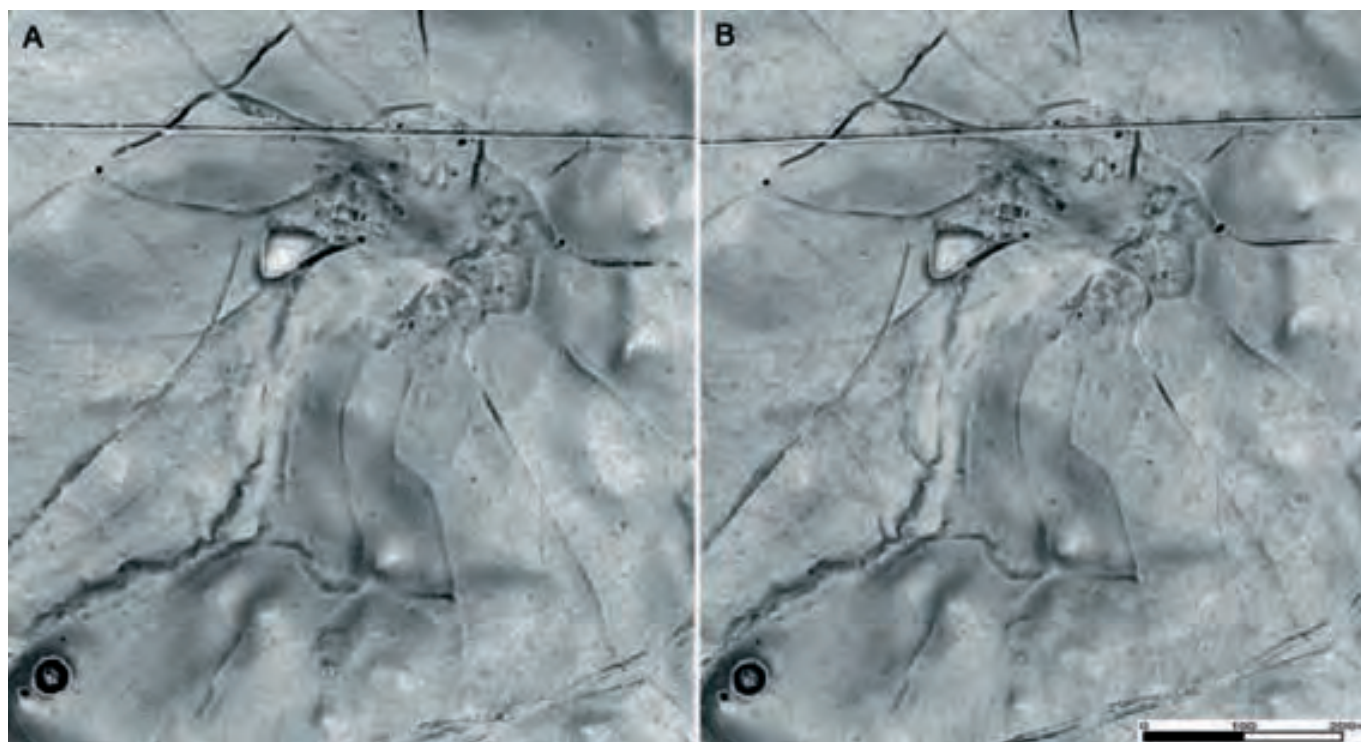
Fig. 4 – Burial mound cemetery Milínov u Nezvěstic – Hádky/Javor (Pilsen-south region). A comparison of different results of airborne laser scanning (A and C) and a surface survey (B) on the example of barrow no. 5 (highlighted by an arrow on the site plan – D). The contour line distance on plans A and C is 10 cm. Above the plans there are point clouds on which the digital relief models are based. E – a photo of the barrow no. 5. Data for image C were provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre.

i detailnější snímkoání s hustotou 10 bodů/m², čehož bylo docíleno nižší letovou hladinou (450 m) a 60% překryvem jednotlivých průletů (obr. 6A). Výsledek můžeme porovnat s daty nového výškopisu ČR, tedy DMR4G (obr. 7B) a DMR5G (obr. 7A).

Jednoznačně nejlepší výsledek poskytla data s hustotou 10 bodů/m². Na výsledném DMR můžeme velmi dobře sledovat prakticky všechny reliktů, známé z předchozího geodetického zaměření lokality, tedy tvrziště s přilehlým dvorem v severní části lokality, jednotlivé usedlosti včetně trojdílného domu, úvozové cesty či lom jižně od vsi (cf. Klápště – Smetánka 1981). Navíc ale

byly pomocí LLS zachyceny reliktů zaniklých polí JZ a JV od jádra vesnice (viz bílá šipka na obr. 6A, označující jedenu ze zachovaných pásových plužin). V terénu jsou tyto reliktů prakticky neviditelné a jejich plošná identifikace bez LLS je v podstatě nemožná. Otázkou zůstává datace těchto reliktů zemědělské činnosti, na základě stáří lesa však můžeme vyloučit, že by se jednalo o recentní objekty (např. pozůstatky strojové výsadby stromů).

Na modelu vzniklém při nižší hustotě skenování (obr. 6B), se již některé drobné objekty začínají ztrácet (např. malá recentní jáma o velikosti téměř 2 x 2 m – označena černou šipkou



Obr. 5 – Kornatice (okr. Rokycany), intravilán a extravilán zaniklé středověké vesnice Javor. DMR je zobrazen pomocí faktoru výhledu. A – data poskytnutá ČÚZK (DMR5G), skenováno 29. 3. 2011. B – data pořizena společností Milan Geoservice v rámci grantového projektu (skenováno 25. 3. 2010).

Fig. 5 – Kornatice (Rokycany region) the deserted medieval village of Javor and its hinterlands. DTM visualized using sky view factor. A – data provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre (DMR5G), scanned on the 29th March 2011. B – data provided by the company Milan Geoservice as part of the grant project (scanned on the 25th March 2010).

na obr. 6A), případně jejich tvar již není zcela přesný (např. relikv domu na JV okraji vesnice). Zejména vlastní jádro vesnice, které v současné době nachází v hustém jehličnatém lese, je při této hustotě skenování již zachyceno jen v hrubých obrysech.

Data DMR5G (obr. 7A) v hustě zalesněném intravilánu vesnice selhávají zcela a zachycují jen extrémně velké objekty (tvrziště, lom, úvozy), a také mezní pásy v řídkém lese JZ od vesnice. Z těchto dat odvozený DMR4G (obr. 7B) je v tomto případě pro potřeby archeologie nepoužitelný.

6.3 Držov

Mohylové pohřebiště Držov – V hrobinách (okr. Písek) je datováno do střední doby bronzové a podle publikovaných informací obsahuje celkem 47 mohyl, z nichž jednu prokopal B. Dubský v roce 1928. Lokalita byla v roce 1964 geodeticky zaměřena, plán je však v současné době neznámý, v roce 2007 vytvořil plán lokality pomocí GPS J. Plzák (viz *Fröhlich – Michálek 1978, 92; Plzák 2008*).

V tomto případě poskytl ČÚZK neklasifikovaná data ve formátu .las, takže bylo možno dobře sledovat, do jaké míry si zde letecké skenování poradilo s různými typy vegetace. Jak je vidno z obr. 8 A a 8C, na lokalitě se v současné době vyskytuje jak velmi hustý jehličnatý les, tak menší, zcela odlesněné plochy. Data neprošla žádnými úpravami, pouze byly manuální klasifikací odstraněny odrazy od vegetace, čímž byl počet naskenovaných bodů v oblasti zachycené na obr. 8 zredukován z počtu 77 587 na 73 526.

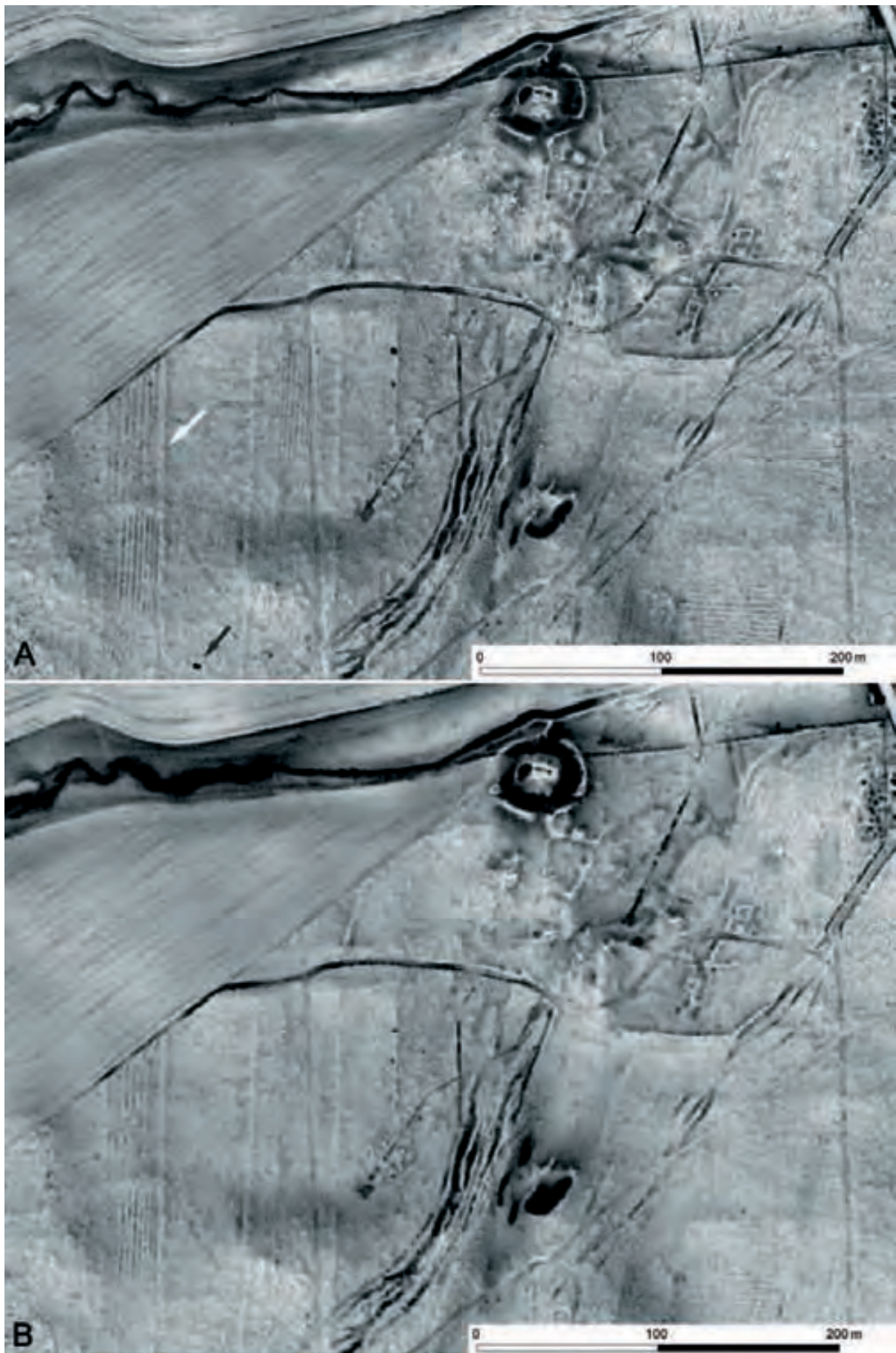
Výsledný DMR po manuální klasifikaci vykazuje přítomnost více než třiceti mohylových násypů (obr. 8C). Interpretace přesného počtu je ale dosti obtížná, neboť v jižní části lokality jsou mohyly velmi nízké a některé části mohylového pohřebiště jsou porostlé mladým a silně zapojeným smrkovým lesem. Dobře identifikovatelná je výrazná mohyla se rozsáhlým středovým vkopem, kterou můžeme pravděpodobně ztotožnit s výzkumem B. Dubského v roce 1928. Patrná je i úvozová cesta, která mohylovým pohřebištěm prochází. Její zdánlivé přerušování je způsobeno existencí neprostupného smrkového porostu v místě označeném křížkem (viz obr. 8C a 8D). Takovýto typ vegetace evidentně představuje pro LLS nepřekonatelnou překážku.

Poměrně překvapivé je zjištění, že v oblasti husté vegetace zachycené na obr. 8D, nejenom že laserový paprsek nemůže proniknout k terénu, ale dokonce zde nevznikají prakticky žádné odrazy ani od vegetace, jak můžeme vidět na surovém mračnu zaměřených bodů (obr. 8B). Při postupném průchodu zapojeným smrkovým porostem se paprsek nejspíše oslabil natolik, že jeho odrazy již nebyly skenerem zaznamenány.

Ve výsledném DMR5G, který z těchto dat v budoucnosti vznikne, tak musíme počítat s „prázdnými“ plochami, které nebylo možno kvůli husté vegetaci zdokumentovat.

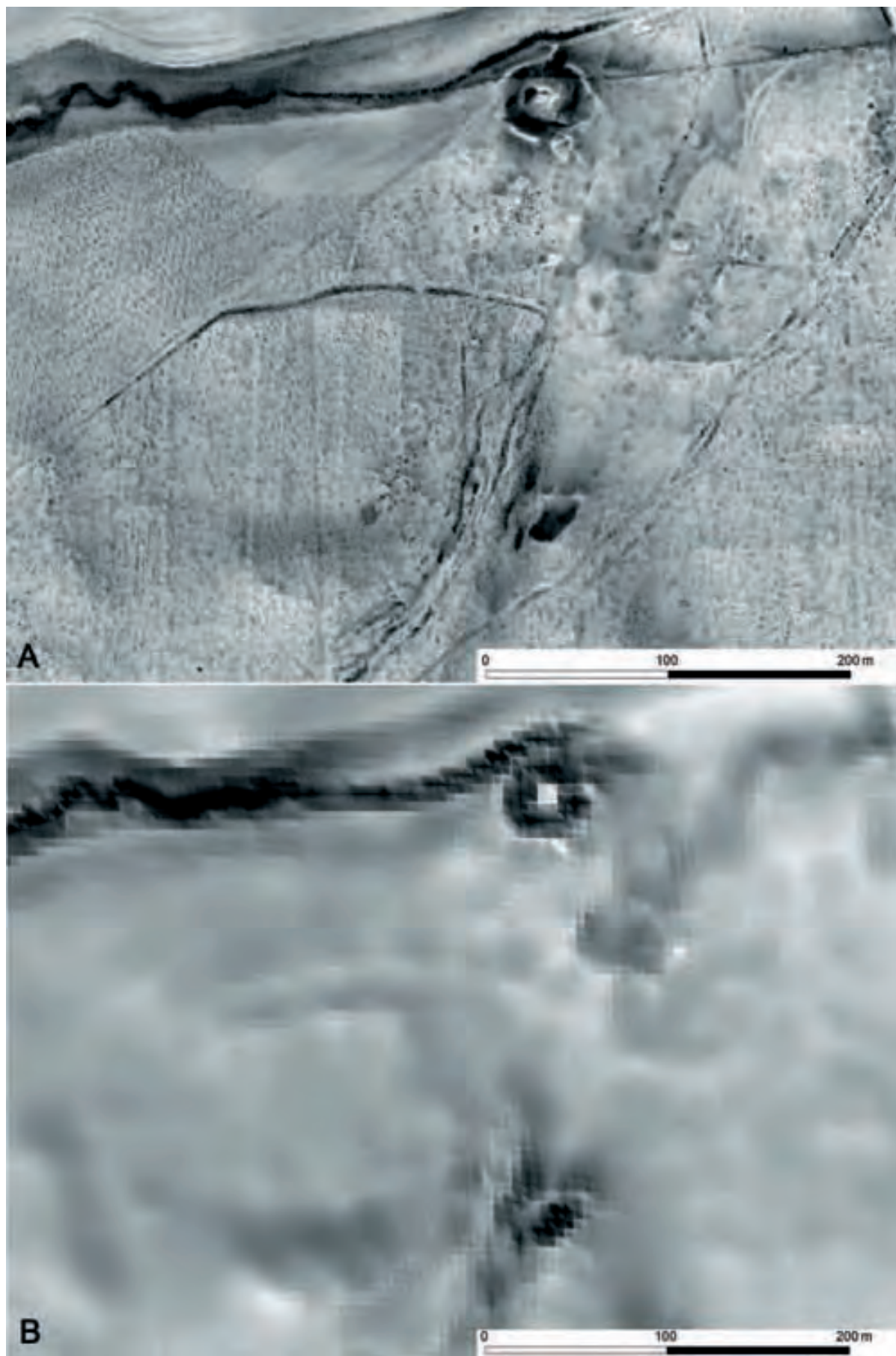
6.4. Porta Bohemica

Prostor, v němž řeka Labe opouští Tereziňskou kotlinu, nejsevernější součástí tzv. starého sídelního území (tzv. první sídelní



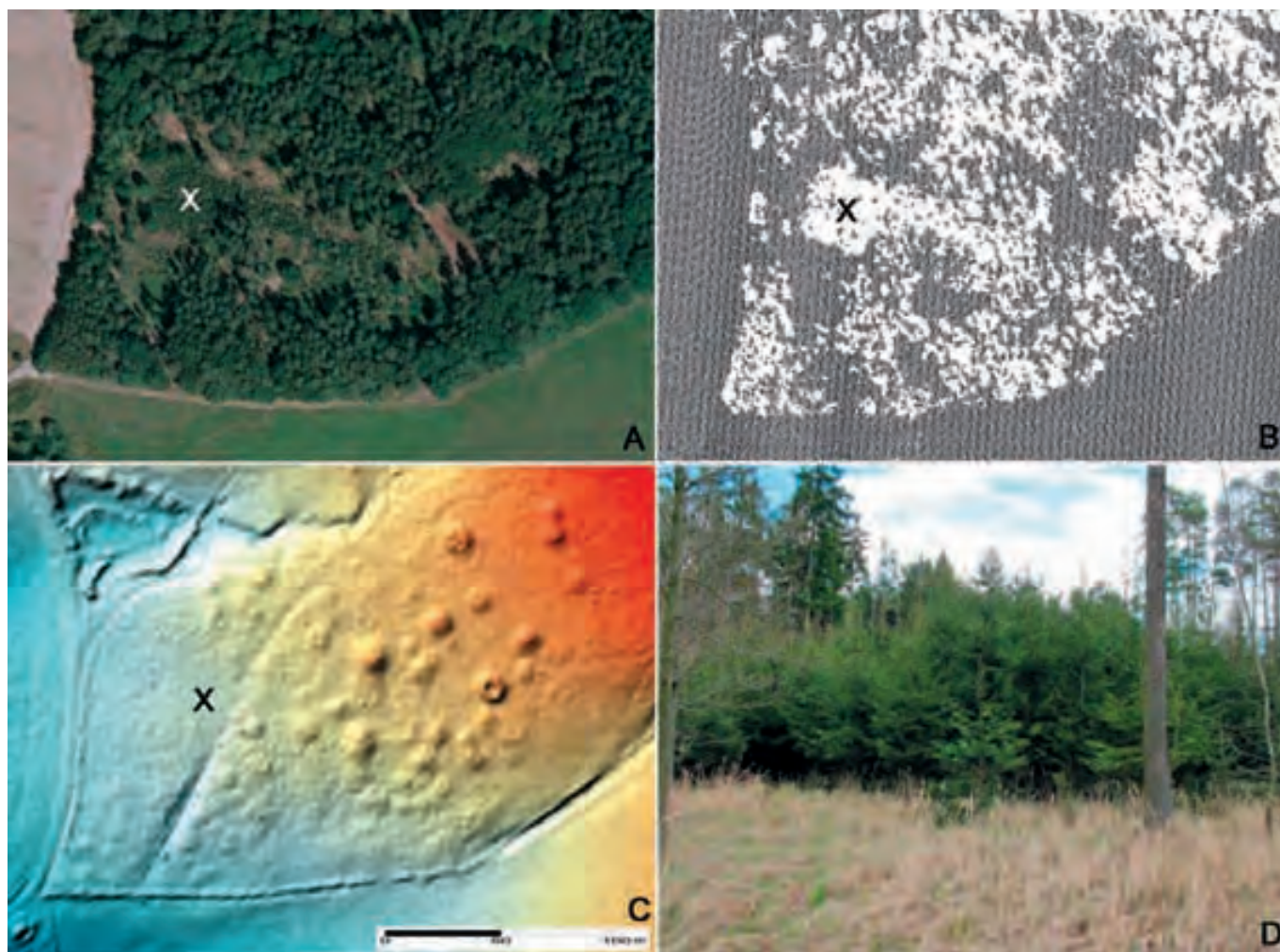
Obr. 6 – Štíhlice (okr. Praha-východ), zaniklá středověká ves Lažany. DMR je zobrazen pomocí faktoru výhledu. A – skenování s hustotou 10 bodů/m² (bílá šipka označuje jednu z identifikovaných plužin). B – skenování s hustotou 2 body/m². Geodis: Skenováno 23. 3. 2011.

Fig. 6 – Štíhlice (Prague-east region), deserted medieval village of Lažany. DTM visualized using sky view factor. A – scanning with the density of 10 points/m² (the white arrow marks one of the identified field systems). B – scanning with the density of 2 points/m². Geodis: Scanned on the 23rd March 2011.



Obr. 7 – Štíhllice (okr. Praha-východ), zaniklá středověká ves Lažany. DMR je zobrazen pomocí faktoru výhledu. A – DMR5G, B – DMR4G. Data poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK), skenováno 24. 4. 2010.

Fig. 7 – Štíhllice (Prague-east region), deserted medieval village of Lažany. DTM visualized using sky view factor. A – DRM5G, B – DRM4G. Data provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre, scanned on the 24th March 2010.



Obr. 8 – Mohylové pohřebiště Držov – V hrobinách (okr. Písek). A – kolmý letecký snímek lokality, B – surové mračno zaměřených bodů (před manuální klasifikací), C – výsledný DMR po manuální klasifikaci (skenováno 11. 4. 2011). X označuje oblast s nízkým a neprostupným jehličnatým porostem, která je zachycena na fotografii D. Data pro obr. B a C poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK).

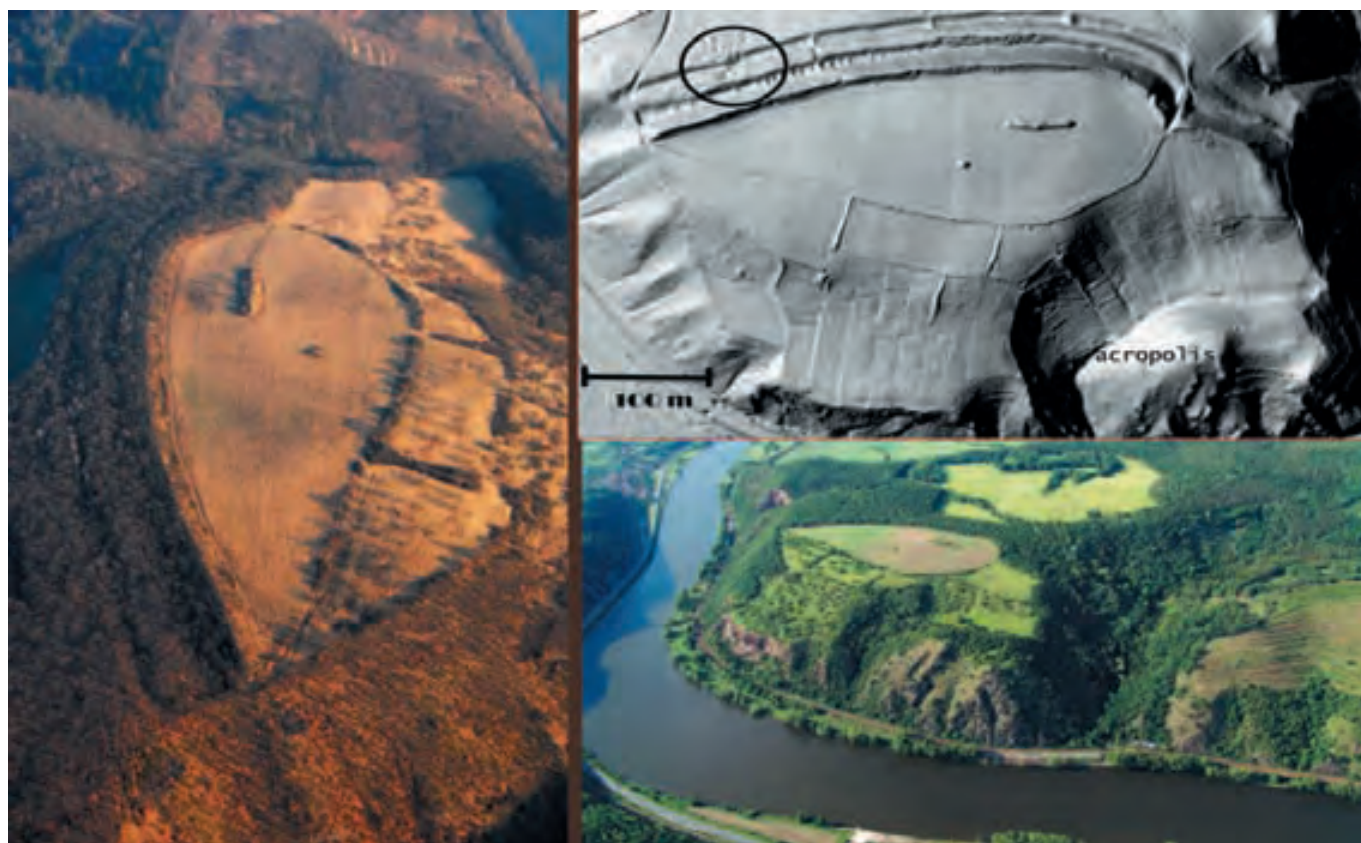
Fig. 8 – Bronze Age burial mound cemetery Držov – V hrobinách (Písek region). A – an orthogonal photo of the site, B – raw point cloud (before manual classification), C – resulting DRM after manual classification (scanned on the 11th April 2011). X marks the area with low and impenetrable coniferous wood cover, which is depicted on photo D. Data for images B and C were provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre.

oblast charakterizovaná převážně nížinou širokých aluviálních údolí středních a dolních toků velkých českých řek) a vstupuje do Milešovského středohoří (součást celku Českého středohoří) je místem, které je z geografického hlediska komponováno dramatickým ohybem širokého labského koryta a výraznými dominantami hor Radobýlu na pravém a Lovoše na levém břehu řeky. Zdejší území je příznačně označováno jako Česká brána (Porta Bohemica) a vzhledem ke své poloze i k množství archeologických památek s ním spojených není mnoho důvodů pochybovat o jeho dlouhodobém (kontinuálním?) komunikačně obchodním a pravděpodobně i dalším významu v dobách minulých. Z těchto důvodů se prostor České brány stal jedním z vybraných areálů, které se staly cílem leteckého laserového skenování.

Z hlediska nemovitých pramenů zachovaných v terénním reliéfu jsou v uvedeném prostoru umístěny tři významné lokality – hradiště, těžební areál a hrad, z nichž prvním dvěma je na tomto místě věnována naše pozornost.

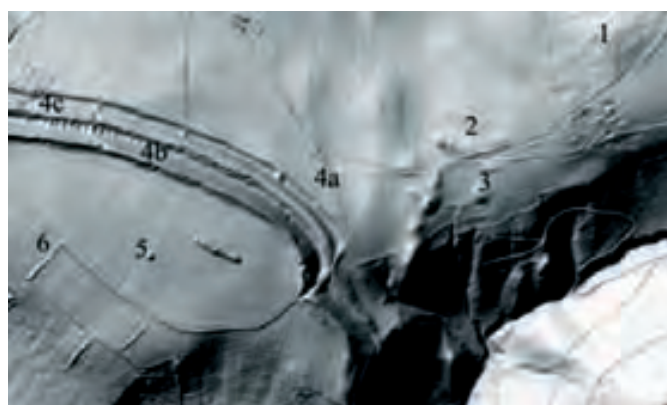
Hradiště *Hrádek u Libochovan* (u Velkých Žernosek) je umístěno na pravém labském břehu, na výrazné poloze nad

ohybem řeky s dominantou Kalvárie, resp. Tříkřížového vrchu, který je označován za jeho centrální prostor (tzv. akropole). O dlouhodobém osídlení tohoto místa svědčí nálezy pocházející z neolitu, eneolitu (?), mladší doby bronzové, doby železné a z raného středověku. Opevnění Hrádku je možno považovat za jednu z nejmohutnější a nejpromyšleněji vybudovaných pravěkých (příp. raně středověkých) fortifikací v Čechách, ačkoli o jejím skutečném stáří se zatím lze pouze dohadovat na základě analogických objektů, u nichž dobu jejich konstrukce doložil terénní výzkum (podrobnosti o lokalitě viz *Čtverák a kol. 2003, 177–179*, včetně odkazů na literaturu). V rámci referovaného projektu jsme věnovali pozornost nejen vlastnímu hradišti, ale také jeho bezprostřednímu okolí. Na DMR odvozeném z LLS je velmi dobře viditelný především samotný průběh dvojitého valu s příkopy, který z důvodů zalesnění tamního terénu je na leteckých fotografiích (resp. při vizuálním průzkumu z výšky) dokumentovatelný pouze s obtížemi. Dokládá to i snímek na obr. 9, který byl pořízen uprostřed mimovegetačního období (únor 2011) a za slunečního svitu; přes-



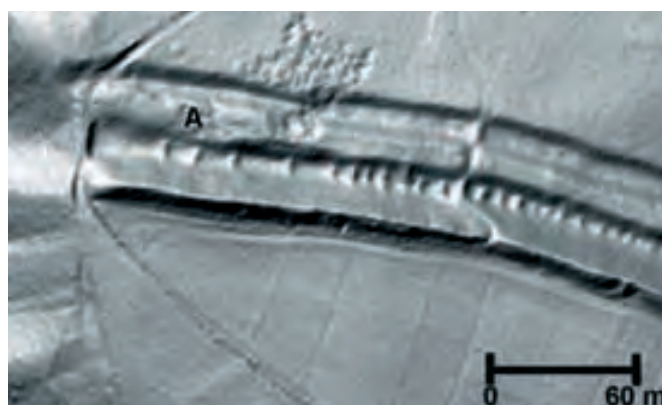
Obr. 9 – Hrádek u Libochovan (okr. Litoměřice). Koruny stromů téměř úplně zakrývají dvojitý příkop a valy jednoho z nejmohutnější opevněných hradišť v Čechách (letecký snímek vlevo a vpravo dole), zatímco DMR odvozený z lidarových dat (vpravo nahoře) dokonale ilustruje jak tyto defenzivní prvky hradiště v jejich celistvosti, tak i některé jeho detaily (příčné valy v západní polovině vnitřního příkopu) a současné destruktivní zásahy do povrchu této památky (dobře patrné stopy po exkavaci na východním konci vnějšího valu a těsně za vnějším příkopem) jsou vyznačeny kružnicí.

Fig. 9 – Hrádek by Libochovany (Litoměřice region). Woodland canopy almost completely obscures the huge double ditch and rampart of one of the largest and most heavily defended hillforts in Bohemia (aerial images to the left and bottom right) while the lidar shaded relief DTM (top right) shows it properly including some details (number of small ramparts crossing the bottom of the inner ditch, and modern diggings at the top of the outer rampart marked here by black circle).



Obr. 10 – Detail DMR odvozeného z lidarových dat severovýchodní části hradiště a přilehlého okolí. 1 – areál soliterně umístěné kapličky, 2 – uměle navršený liniový násep neznámého stáří a funkce; 3, 4a – zaniklá plužina (záhonová políčka?); 4b – nízké příčné valy situované na dně západní poloviny vnitřního příkopu; 5 – hromada sneseného kamení smíchaná s hlínou; 6 – kamenná parcelní zídka.

Fig. 10 – Detail of DTM created on the basis of LIDAR data of the north-eastern part of the hillfort and its vicinities. 1 – the site of a solitary chapel, 2 – artificial linear rampart of unknown date and function; 3, 4a – deserted field system (furrows?); 4b – low cross-positioned ramparts situated at the bottom of the western half of the inner ditch, 5 – rock heap mixed with soil; 6 – low stone wall demarcating a field boundary.



Obr. 11 – Hrádek u Libochovan. Pohled na řadu příčných valů umístěných na dně vnitřního příkopu hradiště.

Fig. 11 – Hrádek by Libochovany. A view of a series of transverse ramparts located at the bottom of the inner fortification ditch.

tože les pokrývající valy je převážně listnatý (v době snímkování byly tedy stromy holé), je jím výhled na fortifikaci do velké míry znemožněn. Velmi dobře jsou na DMR zachyceny nízké příčné valy (více či méně destruované zídky) umístěné v západní polovině vnitřního příkopu, jejichž účel lze snad spojovat s omezením pohybu potenciálního nepřítele po jeho dně (analogická konstrukce je známa také např. z oppida Třísov; obr. 10–4b a obr. 11). Nepřehlédnutelný je dále destruktivní zásah do koruny a severního svahu vnějšího valu a prostoru bezprostředně přiléhajícího k severnímu okraji vnějšího příkopu (obr. 10–4c). Toto porušení můžeme vysvětlovat buď lokální přípovrchovou těžbou, anebo v něm lze spatřovat výsledek nezákonných exkavačních zásahů do této památky za účelem získání archeologických nálezů (pravděpodobně indikovaných detektorem kovů). Každopádně DMR Hrádku naznačuje, že metoda LLS může být velmi dobře využívána také pro monitorování stavu nemovitých archeologických památek a pro jejich účinnější ochranu.

V okolí hradiště si největší pozornost zaslouží dvě dobře patrná zaniklá pole, která jsou zřetelně zviditelněna díky nízkému reliéfu svých záhonových pásů (obr. 10: vpravo od 4a, vlevo od 3; obr. 12). Lze pouze spekulovat o jejich stáří, vyloučit nelze ani jejich (pozdně) středověký – raně novověký původ. Jak dokládá pozemní snímek menšího z obou polí, je možnost jejich detekce při povrchovém průzkumu téměř nulová, a to i přesto, že na povrchu terénu nenalezneme popadané větve či celé stromy, které by jeho reliéf zastíraly. Na DMR hradiště dále vidíme na jižním svahu hradiště krátké horizontální linie, které jsou pozůstatky zaniklých viničních teras členěných do podélných pásů ohraničených nízkými mezními pásy.

Kromě hradiště je v oblasti České brány nejpozoruhodnější památkou rozsáhlý a velmi dobře zachovaný areál pravěké těžby kamene (křemenného porfyru) a následné produkce ručních rotačních mlýnů (žernovů). Jak prokázaly příslušné analýzy, výrobky z tohoto areálu, situovaného v kompletně zalesněném *Oparenském údolí* mezi obcemi Malé Žernoseky a Oparno, byly exportovány do vzdálených oblastí mimo českou kotlinu (Waldhauser 1981). Vzhledem k doloženému rozsahu zdejší těžby (obr. 13 a 14) a následné produkce žernovů (dodnes lze na této lokalitě nalézt polotovary, resp. nedokončené ploché mlýnské kameny a jejich fragmenty, viz obr. 15) lze předpokládat, že mezi tímto areálem a Hrádkem u Libochovan existovala určitá vazba, o jejíž formě se ale můžeme pouze dohadovat.

Na DMR jsou dobře rozlišitelné další terénní úpravy, např. jižně od západní poloviny těžebního pole v superpozici s mladšími cestami dobře vidět mezemi ohraničené podélné parcely (zaniklá políčka?, lesní školka?) a dva obdélníkové půdorysy současných ohrazení.

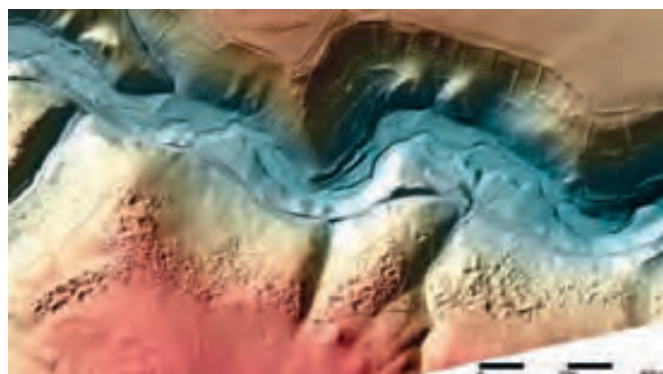
7. Závěr

Jedním z důležitých cílů projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového*



Obr. 12 – Zaniklé políčko umístěné severovýchodně od fortifikace hradiště Hrádek u Libochovan v pohledu od jeho SV nároží.

Fig. 12 – A small deserted field located to the northeast from the fortification of the hillfort Hrádek by Libochovany, a view from its north-eastern corner.



Obr. 13 – Oparno – Malé Žernoseky (okr. Litoměřice). DMR plošně rozsáhlého areálu lomů s výraznými stopami po těžbě křemenného porfyru a výrobě ručních rotačních mlýnů (odtud pravděpodobný původ názvů Malých a Velkých Žernosek).

Fig. 13 – Oparno – Malé Žernoseky (Litoměřice region). DTM of an extensive quarry area with pronounced remains of the exploitation of quartzite porphyry and the manufacture of manual rotation mills (the name of the site probably reflects this tradition).

3-D snímkování) bylo získání zkušeností se zpracováním a využitím dat LLS, která do začátku tohoto desetiletí v naší archeologii chyběla. I proto se průzkum v rámci projektu zaměřil především na oblasti, které jsou z hlediska terénních relikvů archeologické povahy relativně dobře prozkoumány. Neočekávali jsme tedy, že by letecké skenování takových prostorově omezených a archeologicky většinou relativně dobře prozkoumaných oblastí přinesl objev většího množství dosud neznámých památek. Již nyní je ale zřejmé, že tato metoda přináší revoluci do dokumentace terénních relikvů, zejména v zalesněných oblastech. Jedná se o postup, který je výrazně rychlejší a ekonomičtější než pozemní měření a při jeho plošné aplikaci lze očekávat značný pokrok v dokumentaci a mapování archeologického dědictví, zejména u rozsáhlých památek, jako jsou např. úvozové systémy zaniklých cest.

V první řadě je nutné kriticky nahlížet na rozsáhlý okruh faktorů, jež více či méně ovlivňují kvalitativní a kvantitativní aspekty výstupů z lidarových snímků. K základním fakto-



Obr. 14 – Oparno – Malé Žernoseky. Pohled na plochu centrální části areálu lomů laténského stáří.

Fig. 14 – Oparno – Malé Žernoseky. A view of the central part of the La Tène quarry site

rům lze řadit parametry skenování, technický postup při zpracování surových dat, softwarové a hardwarové nároky velkoobjemových formátů dat, komplementárnost aplikovaných analytických metod, přírodní charakter zájmového území. Oproti tomu je potřeba zmínit pozitivní aspekty využití leteckého laserového skeneru, zejména časové úspory vzhledem k velkoplošnému rozsahu pokrytí vybraného území, možnosti aplikace této metody v zalesněných oblastech, detekce objektů v celé ploše, včetně terénu s relikty, které lze



Obr. 15 – Jeden z odložených nedodělků mlýnských kamenů na jižních svazích a hraně Oparenského údolí.

Fig. 15 – One of the left over unfinished millstones on the southern slopes of Oparno valley.

jinak běžnými metodami obtížně lokalizovat, možnost analýzy rozsáhlých krajinných transektů, a tedy syntézy prostorových vztahů vybraných archeologických pramenů, příležitost revidovat starší archeologické situace a zkoumat je novými prostředky. Je navíc velmi nadějně, že v nedaleké budoucnosti se letecká lidarová data pro území České republiky stanou obecně dostupným zdrojem informací, což výrazně obohatí možnosti archeologického výzkumu, evidence, dokumentace a ochrany památek.

2

“The potential of archaeological survey of landscape in the Czech Republic using the airborne laser scanning” project (2010 – 2011): an overview

In this chapter principal objectives and results of the first Czech archaeological project on the application of airborne laser scanning (ALS) is presented. Obtaining funds for its realization by the Grant agency of the Czech Republic meant that there was for the first time an opportunity to apply this most modern (and undoubtedly for a long time the most significant and most effective) method of mapping of those parts of the landscape (forested areas, open terrain, lowlands including intensively ploughed fields, highlands) in which remains of past human activities have been conserved in the form of earthworks. It also allows us to test the potential of this method for the identification, recording and documentation of these features and to evaluate its effectiveness concerning the costs input and the quality of the results (especially in comparison with the costs of other means of obtaining a digital terrain model using other – traditional – methods).

The selection of areas that became the object of our study was a result of both internal discussion of the project team and the consultation with specialists from other archaeological institutions. Compared to the original plan as it had been laid out in the application for funding (2 areas, 10 x 6 kilometres each) another option was given preference and that was to survey a greater number of smaller polygons, which allowed us to capture larger variety of landscape and archaeological sites represented. The studied areas can be divided in two groups:

1. Areas (polygons) that were mapped using the ALS method; the primary lidar data were obtained using the funds available through the grant and these also covered the costs of filtration and transformation of the data to DSM and DTM. Altogether, 14 test polygons were selected of a total area of 123 km² (see fig. 1) that were scanned using the ALS method in the beginning of springs (late March) 2010 and 2011. We have intentionally selected areas with a greater number of preserved anthropogenic features located in woodlands (prehistoric elevated settlements and barrows, deserted medieval villages, castles, mining areas etc.). The names and extent of

individual polygons are shown in the list that follows and in Figs. 2a and 2b.

2. Areas for which lidar data exist and hence the scanning has already been undertaken. We selected part of a region of the Děčín Highland, largely varied in altitude and morphology (National park Czech Switzerland), which with its natural characteristics very much differs from the majority of landscape types chosen for settlements in the past.

Apart from the lidar data, oblique aerial photos of selected areas were taken in the out-of-vegetation season which allowed for the confrontation of both data sources, i.e. refine the interpretation of certain anomalies on the DTM/DSM. An integral part of work with the results of lidar data is also their comparison with the documentation of recorded archaeological sites in the studied areas (National Sites and Monuments Record, academic literature), and also the evaluation of old maps (esp. the 1. – 3. Military Mappings, cadastral records) and also researching iconographic sources where possible. Most important is the subsequent work in the field, where these anomalies (features) previously interpreted positively on the lidar images are verified by surface survey (so-called ground-truthing).

During the two years of the project it was possible to verify, on a representative sample of areas with recorded archaeological sites and where the existence of more sites could be expected, that the method of airborne laser scanning has great potential in our country. The raw LIDAR data collected in a relatively high definition on the total area of 123 km² make a solid basis for modern recording and 3D documentation of prehistoric, medieval and modern traces of human activity.

Finally we put a few examples from scanned polygons on which we document the way the ALS data were analyzed and evaluated through subsequent process of confrontation of this data set with information from field survey and old maps analyses. Results of few other research activities and sub-projects within the reported project are published throughout this book in a few chapters.

Výzkum, dokumentace a mapování novověkých polních opevnění prostřednictvím letecké prospekce, fotografie a laserového skenování

Úvod

Velké bastionové a fortové pevnosti, které se díky mohutnosti svých opevňovacích prvků (hliněné valy a příkopy obezděné cihlami a kamenem) dodnes dochovaly v relativně velmi dobrém stavu (v Čechách Terezín a Josefov), jsou nepřehlédnutelnými relikty válečné historie novověku. Mnohem méně je známo o jiné kategorii vojenských zařízení té doby – redut, baterií, redanů, „šancí“, dělostřeleckých postavení, pěchotních táborů atd., které svými rozměry nemohly konkurovat velkým pevnostem, ale které obvykle tvořily více či méně složitý liniový systém obrany země v oblastech opakovaně ohrožovaných vpádem nepřátelských armád.

Předmětem této studie je pokus o zhodnocení informačního potenciálu dat tzv. dálkového průzkumu (Země) pro zkoumání uvedené komponenty české novověké krajiny, jíž je v posledních letech věnována výrazně větší pozornost, než tomu bylo v minulosti. K výzkumu tradičně vedenému především vojenskými historiky se dnes obrací nemalou měrou také archeologie (*Gojda 2008b*, *Matoušek 2006*, *Neuvirtová 2010*, *Smrž – Hlušík 2007*), pro niž se jedním z důležitých informačních zdrojů staly produkty dálkového průzkumu. V globálním měřítku máme v jejich případě co do činění s početně snad vůbec nejrozsáhlejším – a zároveň nejméně využitým – druhem obrazových dat, s nimiž lze v procesu výzkumu historické krajiny pracovat. Právě data dálkového průzkumu tvoří jeden z oněch druhů pramenů, které pro studium historické (stejně tak i pravěké) krajiny mají klíčový význam a jejichž potenciál teprve čeká na své vědecké a badatelské zhodnocení. Dokumentovat se to pokusíme v této kapitole na příkladech dvou areálů novověkých polních pevnostních systémů, které měly sloužit jednomu a témuž účelu – obraně habsburské říše proti možným útokům Pruského království od severozápadu (ze Saska směrem do severozápadních Čech) a jejichž vybudování dělí od sebe zhruba tři čtvrtě století.

Kategorie dat dálkového archeologického průzkumu

Data, která jsou produktem metod dálkového průzkumu a která slouží jako pramenná základna výzkumu novověké a raně moderní krajiny – tedy i jejich militární složky – mají rozmanitou formu a charakteristické vlastnosti a lze je členit do následujících kategorií.

Šikmé letecké fotografie jsou výsledkem nejstarší a dodnes velmi rozšířené (tedy tradiční) metody dálkového průzkumu

a fotografování krajiny. Dálkový průzkum uplatňovaný při odhalování nemovitých památek v krajině se vyvinul do relativně autonomního oboru letecké archeologie jako soubor postupů, které jsou zaměřeny do dvou hlavních oblastí. Je to v první řadě identifikace a dokumentace dosud neevidovaných (nemovitých) památek. Po mnoho desetiletí, od Crawfordových pionýrských pokusů ve dvacátých letech minulého století (k významu této výrazné zakladatelské osobnosti dálkového archeologického průzkumu *Gojda 2008c*), je v tomto ohledu nejběžnějším způsobem detekce stop minulých lidských aktivit vizuální prospekce povrchu země pozorovatelem (nejčastěji archeologem) z malého letadla a jejich dokumentace pořizována fotografickým přístrojem držným v ruce. Při tom se využívá principu zviditelňování pohřbených (pod povrch země zcela zahloubených) nemovitých objektů pomocí přímých (zejm. půdních) a nepřímých (zejm. porostových) indikátorů, a struktur částečně pohřbených (tj. zachovaných v podobě velmi nízkých reliéfních vyvýšenin a mělkých depresí zachovaných na povrchu země, např. zaniklých středověkých vesnic a polních systémů). Druhou oblastí, v níž se pořizování šikmých leteckých fotografií realizuje, je systematické či nahodilé snímkování památek zachovaných v podobě výrazného antropogenního reliéfního tvaru (mohyly, valy a příkopy hradišť/tvrzišť/hradů, úvozové cesty, milířiště), historických staveb, urbánních celků, případně dalších kategorií historické krajiny. Jeho účelem je dokumentace příslušné památky z výšky, což umožňuje analyzovat její umístění v bezprostředním a širším okolí, monitorovat její stav a sledovat změny, které ji transformují (většinou negativně) a které jsou způsobeny jak přirozenými procesy, tak lidským faktorem. Pravděpodobně nejrozsáhlejší archiv tohoto druhu u nás vlastní Archeologický ústav AV ČR; informace o možnostech pracovat s jeho fondy viz www.arup.cas.cz – archivy – úsek leteckých snímků; *Gojda 2008d*).

Šikmé letecké fotografie jsou prakticky jediným druhem dat dálkového průzkumu, který si pořizují specialisté v oblasti výzkumu pravěké a historické krajiny sami. Jsou obrazovým dokumentem o aktuální podobě konkrétních – přímých či zprostředkovaných – stop minulých lidských sídelních aktivit a i když je nutné provádět jejich analýzu (s cílem dohledat v nich všechny viditelné komponenty a interpretovat je), jsou vždy nositelem informace o alespoň jedné konkrétní (archeologické, architektonické, urbanistické, krajinotvorné atd.) pa-

mátce, kvůli níž byly pořízeny. Z výše uvedených důvodů jsou šikmé letecké snímky nejméně početným typem dat dálkového průzkumu; jeho informační potenciál je však velmi vysoký.

Kolmé (měřické, fotogrammetrické) snímky jsou naproti tomu nejpočetnějším nositelem dálkově zaznamenaných obrazových informací o zemském povrchu. Na rozdíl od šikmých fotografií, které umožňují realitě bližší prostorové vnímání objektů na nich zachycených, jsou tyto sice „plošné“, protože však jsou pořizovány fotogrammetricky, je jejich primární výhodou, že jen minimálně zkreslují skutečnost, resp. velikost a tvar jednotlivých objektů a vzdálenosti mezi nimi. V zásadě můžeme vyčlenit historické (pro naše území období mezi 30. a 80. léty 20. stol.) a současné fotografie (od 90. let 20. stol. po současnost).

Prvně jmenované snímky jsou pro naše území uloženy v archívu Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce (VGHMÚř), který spravuje největší archiv historických leteckých měřických snímků v České republice a který vznikl roku 2003 jako nástupnická organizace bývalého Vojenského topografického ústavu. Jeho posláním je tvorba a správa standardizovaných geodetických, kartografických a geografických primárně vojenských podkladů, map a databází sloužících pro potřeby armády ČR. Všechny materiály archívu, včetně leteckých měřických snímků, jsou majetkem MO, tedy státu. Letecké měřické snímky zde uložené byly pořizovány nejčastěji ve formátech 18 x 18 cm (zvláště raně historické snímky), 23 x 23 cm (současný standard) a výjimečně i 30 x 30 cm. Dnes jsou k dispozici ve formě černobílých kontaktních fotokopíí v lesklé či matné povrchové úpravě, a dále jako negativy nebo diapozitivy na polyetylenové fólii v rozměrech formátu originálu, v případě fotokopíí i jako jejich zvětšeniny. Další možností je, zejména v poslední době, dodání černobílých i barevných tzv. rastrových ekvivalentů leteckých měřických snímků s různým rozlišením v nekomprimovaném formátu TIFF (<http://www.geoservice.army.cz>, cf. též <http://www.rick.cz/geo04.html>).

Prvořadý význam v možnosti studovat českou krajinu na historických kolmých leteckých fotografiích má nedávno spuštěný mapový server společnosti Cenia, který umožňuje prohlížet celé území České republiky na snímcích z let 1953–4. Server byl vytvořen v rámci projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst (NIKM), který byl zaměřen na identifikaci kontaminovaných areálů v proměnách poválečného období prostřednictvím klasifikace a interpretace dat dálkového průzkumu Země. Lze jej otevřít na adrese <http://kontaminace.cenia.cz>.

Nejvýznamnějším současným producentem a poskytovatelem měřických leteckých fotografií je společnost Geodis Brno, která již od 90. let minulého století opakovaně provádí kompletní blokové snímkování ČR. S jejich produkty přichází do styku rozsáhlá řada uživatelů serveru Google Earth, protože letecké snímky použité tam pro české země jsou právě daty, která pořídila a vlastní uvedená společnost. Letecké měřické snímky Geodisu fotografované ve třech kampaních (2002–03,

2004–06 a 2007–09); fotografie ze dvou z nich jsou také umístěny na nejpoužívanějším českém mapovém portálu www.mapy.cz. Ta je nabízí ve formě digitálních ortorektifikovaných a georeferencovaných snímků (resp. z nich odvozených barevných ortofotomap) v sub-metrovém prostorovém rozlišení až 20 cm/pixel (www.geodis.cz).

Z hlediska archeologie mají kolmé letecké snímky velký význam. Vytváření map a plánů z rektifikovaných kolmých fotografií – a to jak historických, tak současných – v obecné rovině poskytuje představu o nezanedbatelném potenciálu kolmých snímků pro studium minulé krajiny, jejichž význam stoupá s počtem roků, v nichž byl zkoumaný transekt plošně snímkován. Jejich hlavní předností je relativně přesný polohopis, tedy umístění areálů/objektů jak v ohledu absolutním (poloha v systému zeměpisných koordinátů), tak relativním (vzájemné prostorové vztahy vmapovaných entit). Jistou výhodou kolmých georeferencovaných snímků je také to, že například pravěká sídla identifikovatelná na nich pomocí porostových příznaků lze bezprostředně hodnotit z hlediska jejich krajinné topografie. Zásadní význam má pak možnost sledovat na nich přítomnost plošně rozsáhlých liniových systémů antropogenního původu, resp. stop zaniklé podoby přirozené krajiny (zejména říčních systémů), postupné degradace zemského povrchu (eroze), případně i kvartérné geologických poměrů. Výsledné produkty jsou však také zatíženy různými faktory, které vyplývají jednak ze stále ještě relativně malého prostorového rozlišení analyzovaných ortosnímků (v porovnání se šikmými snímky pořizovanými fotoaparáty poloprofesionální kvality z malých výšek), což nezanedbatelně snižuje možnost správně interpretovat změny na povrchu země, projevující se jinou barvou/tónem šedi ve srovnání s okolím (objekty archeologického původu, důsledky moderních aktivit, zejm. zemědělských, projevy kvartérné geologického složení podpovrchových vrstev a erozních procesů). Potenciál kolmých leteckých fotografií pro identifikaci a mapování pravěkých sídelních areálů a možnostem jejich využití pro studium pravěké sídelní topografie zhodnotil u nás poprvé nedávno *L. Šmejda (2009)*.

Z hlediska historické a sídelní geografie, tedy v oblasti výzkumu historické – středověké, novověké a raně moderní – krajiny, spatřujeme význam kolmých fotografií především v tom, že vzhledem k jejich dlouhodobému opakovanému pořizování (u nás od meziválečného období přibližně dvakrát za desetiletí) umožňují tyto obrazové prameny sledovat velkoplošné – „systémové“ – proměny krajiny (tzv. krajinná mozaika, landuse), resp. její kulturně historické podoby (např. proměna české krajiny prvních dvou poválečných desetiletí v důsledku združstevňování a kolektivizace zemědělského venkova, cf. *Hájek 2008*). Zároveň mají potenciál dokládat tyto změny v detailu rozmanitých kategorií historické krajiny (hrady, zámky, kláštery, městská jádra, vesnická zástavba, komunikace atd.) a jejich bezprostředního i širšího zázemí (např. parková úprava zámeckých areálů, komponovaná krajina

v okolí novověkých šlechtických sídel). Představují tak významné prameny pro multitemporální analýzu obrazových informací o konkrétním místě na povrchu Země.

Dalším druhem obrazových dat, která přináší dálkový průzkum a která patří mezi jeho nejdůležitější produkty, jsou *družicové (satelitní) snímky*, produkty tzv. dálkového průzkumu Země (DPZ; např. *Halounová – Pavelka 2005*). Nemá smysl se o nich na tomto místě dlouze rozepisovat, protože jejich využitelnost v oblasti výzkumu historické krajiny je srovnatelná s kolmými leteckými snímky. Toto konstatování nicméně platí o družicových historických a současných panchromatických snímcích, ale moderní družicové systémy nabízejí dnes standardně také data pořizovaná v různých spektrálních pásmech, která mohou odhalit skutečnosti nedetekovatelné na černobílých panchromatických – leteckých i satelitních – snímcích. Využití právě tohoto jejich rozměru je z pochopitelných důvodů využitelné v krajinné a sídelní archeologii, resp. ve výzkumu pravěké krajiny (*Parcak 2009*). Základním parametrem, který kvalifikuje družicová data, je technická kvalita měřicí aparatury. Pro detekci archeologických památek má největší význam jejich prostorové a spektrální rozlišení. V civilní sféře jsou dnes dostupné snímky s prostorovým rozlišením nízkým (km), středním (1000 – 100 m), vysokým (100 – 10 m) a velmi vysokým (metry a méně). Dnes volně dostupné snímky ze špionážních systémů, datovaných do 60. a 70. Let minulého století (zejm. CORONA, Zenit – KVR-1000), mají prostorové rozlišení 3 – 1 m. V dosavadní historii využití dat kosmického DPZ v projektech zaměřených na identifikaci, dokumentaci a ochranu archeologického dědictví se uplatnila data ze všech tří základních typů družicových zařízení – z klasických fotografických komor, digitálních senzorů (skenery, spektrometry) a zobrazujících radarů. První ucelené zhodnocení potenciálu družicových snímků v české archeologii pravěku, založené na datech z vlastních výzkumů, bylo publikováno teprve nedávno (*Gojda – John 2009*; tam též podrobný přehled družicových systémů, jejichž produkty jsou nejčastěji v archeologii využívány). V ČR dlouhodobě funguje společnost Gisat s.r.o. (<http://www.gisat.cz>), která nabízí prodej všech komerčně dostupných družicových dat a též přehled o aktuálním stavu v oblasti tzv. dálkového průzkumu Země. Družicové snímky je možno objednávat také prostřednictvím společnosti ArcData Praha (<http://arcdata.cz>).

Poslední – nejmodernější – metodě dálkového průzkumu, tedy leteckému laserovému skenování, resp. jejímu popisu a obecné charakteristice se s ohledem na předchozí kapitoly této knihy nebudeme na tomto místě zabývat.

Závěrem této části zdůrazněme, že všechny prameny poznání krajiny minulosti, které identifikujeme na leteckých, družicových či lidarových snímcích, jsou výsledkem naší interpretace, založené na vizuálním pozorování/analýze zemského povrchu, který byl zachycen pomocí rozličných senzorů. Jako taková jsou tato data výsledkem dálkového průzkumu, bez ohledu na to, zda uskutečňovanému z malé výšky (letecké foto-

grafie, lidarová data) nebo z vesmíru (satelitní snímky). Z toho, co bylo dosud napsáno, vyplývá, že aktivity týkající se obrazových pramenů pořizovaných z výšky, a během výzkumu krajiny používaných k různým účelům (výzkum a ochrana památek, resp. vyhledávání pohřbených a v terénním reliéfu dochovaných reliktních sídelních aktivit, jejich dokumentace a mapování), přinášejí prameny, jejichž informační potenciál je pro studium historické krajiny nepostradatelný.

Výhody integrace dat dálkového průzkumu do studia novověkých opevňovacích zařízení: dvě případové studie ze severozápadních Čech

Dosavadní zkušenosti ukazují na jednoznačně pozitivní přínos dat dálkového průzkumu pro evidenci, dokumentaci a mapování jak dílčích kategorií kulturní krajiny, tak i větších krajinných celků, ovlivněných více či méně rozsáhlými aktivitami člověka. Z předchozích odstavců je dobře patrné, že v současné době (a o to víc v blízké budoucnosti) představují tato data širokou škálu kvalitativně rozmanitých pramenů, uložených v početně velmi rozsáhlých souborech. Každý z nich disponuje – byť v různě velké míře – informacemi, bez nichž se výzkum pravěké a historické krajiny prakticky neobejde. Prokazatelný význam má v tomto smyslu jejich potenciál zachytit v podobě obrazu tvar/formu, velikost, umělecké ztvárnění a stav zachování dokumentovaných památek a jejich prostorový kontext. Kromě tohoto vizuálního aspektu je samozřejmě také třeba zmínit jejich kartografický rozměr, který naprostou většinu z nich opravňuje být základním prvkem mapování, k čemuž ostatně měřické letecké fotografie slouží kontinuálně od dob první světové války, u nás pak od meziválečného období. Pro 3D vizualizaci kulturních krajiny má význam práce s tzv. stereodvojci (kolmé snímky pořizované s určitým překryvem umožňují, aby je pomocí stereoskopu bylo možné pozorovat a analyzovat v trojrozměrné podobě), pro přímé výškopisné mapování zemského povrchu a jeho reliéfu má pak primární důležitost metoda leteckého laserového skenování.

Netřeba zdůrazňovat, že potenciál dat dálkového průzkumu se znásobuje tehdy, je-li do procesu analýzy, interpretace a mapování integrováno více druhů těchto dat. Zkoumáme-li např. jednu konkrétní památku dochovanou v podobě antropogenního tvaru reliéfu, resp. ve formě konkávně a konvexně tvarovaného terénu (tedy transformovaných reliktních někdejších staveb a jiných forem minulých sídelních aktivit), přináší využití vícero pramenů do celkové syntézy výrazně pozitivní efekt, který se může zvýšit ještě využitím další kategorie (obrazových) dat, totiž starých mapových děl.

3.1 Umístění polních opevňovacích zařízení v krajinně a procesy jejich zániku

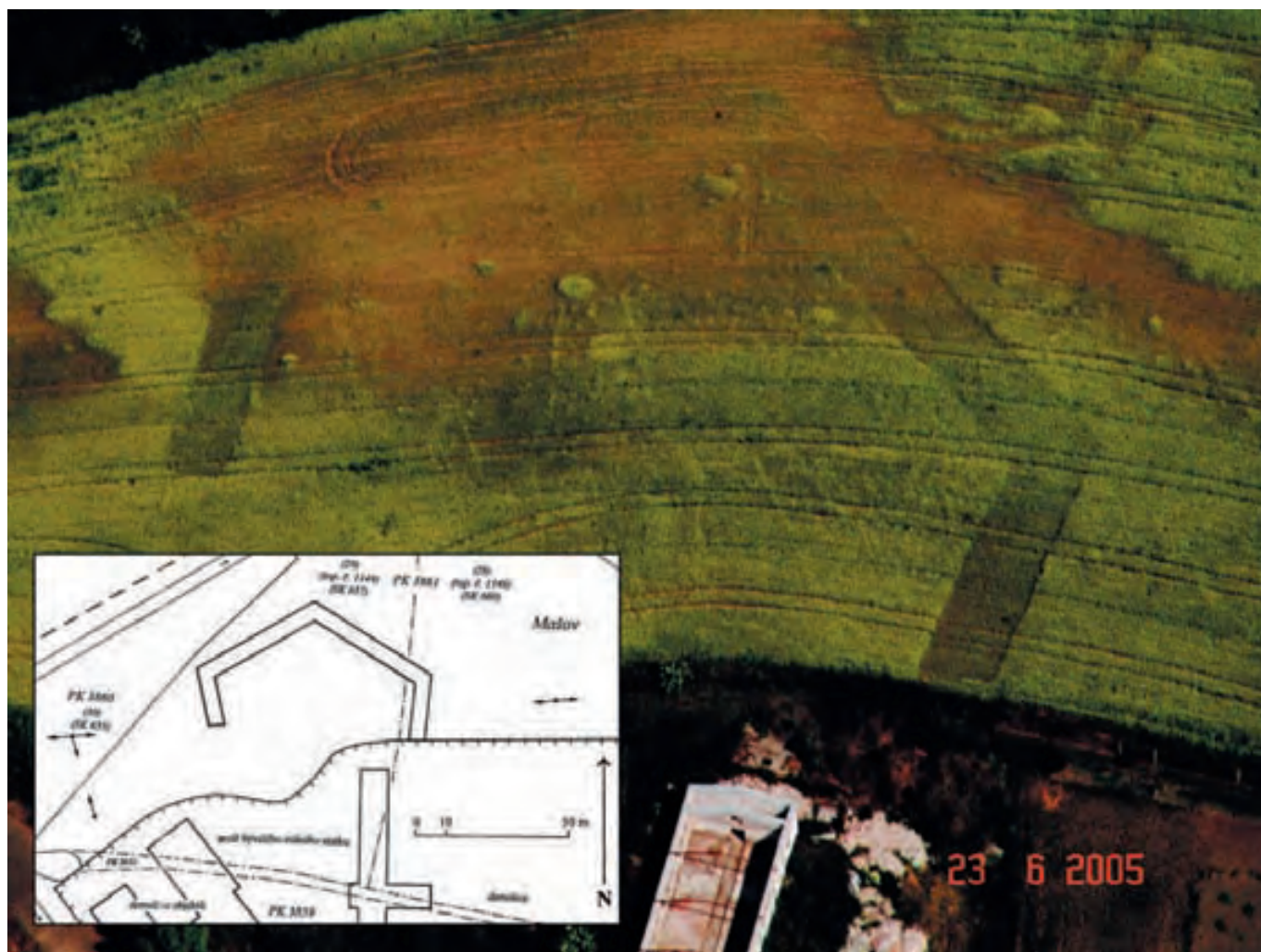
Jednou ze dvou oblastí naší země, které bývaly nástupním prostorem nepřátelských armád zejména v 18. a 19. století, tvoří vedle východních Čech (nejnověji přehledně viz *Čížek – Slavík 2010*)

pás území táhnoucí se od soutoku Labe s Vltavou ve středních Čechách směrem k řece Ohři (Lounsko, Libochovicko), na Lito-měřicko a do ústecko-teplického Podkrušnohoří. Z historických zpráv víme, že většina vojenských zařízení vybudovaných na tomto území vznikla – stejně jako velké fortové pevnosti – v době válečných konfliktů Rakouska s Pruskem za Marie Terezie (slezské války, sedmiletá válka, válka o bavorské dědictví) a v době napoleonských válek (hlavně v letech 1812–13), nejmladší pak pocházejí z poloviny 19. století, kdy se opět vyostřil konflikt mezi výše uvedenými středoevropskými mocnostmi, který nakonec vedl k vypuknutí prusko-rakouské války v roce 1866.

Protože se jedná o úrodné zemědělsky obdělávané oblasti, ve většině případů nejsou pozůstatky těchto zařízení zachovány na povrchu země a k jejich identifikaci velkou měrou přispívá dálkový průzkum. Dlouho se v tomto případě osvědčovala vizuální letecká prospekce. Prostřednictvím změn ve výšce, barvě a hustotě zemědělských plodin rostoucích nad příkopy těchto fortifikací máme dnes na více než jedné desítky lokalit zachyceno jejich umístění, velikost a tvar (obr. 1). Na paměti je ale třeba mít skutečnost, že tyto poznatky o výskytu, resp. pro-

storové kumulaci polních opevňovacích zařízení, jsou závislé na specifických podmínkách konkrétního typu prostředí, které umožňují jejich zviditelnění pomocí vegetačních příznaků (naposledy k jejich principům a k rozšíření v Čechách *Gojda – Hejzman 2012*) Uvedený typ průzkumu může být proto efektivně uplatňován jenom tam, kde jsou k tomu vhodné předpoklady (v tomto ohledu je zatím leteckou prospekci jen minimálně dotčena oblast v okolí pevností Josefov a Hradec Králové). Je tedy velmi pravděpodobné, že další, v terénu dnes již nerozeznatelné objekty, se mohou ukrývat ve větších či menších koncentracích i jinde. Ty však bude možné nalézt jinými postupy, v první řadě povrchoým průzkumem v návaznosti na zprávy historických dokumentů úředního i narativního původu a na výpovědi nejstarších vojenských map.

Nemalý počet polních opevňovacích zařízení se však do dnes dochoval v podobě antropogenních tvarů terénního reliéfu, ale vzhledem k tomu, že zpravidla jsou tyto objekty situovány v zalesněném prostředí či v otevřené krajině, kde jsou ovšem většinou porostlé hustou křovinnou vegetací neprostupnou i v mimovegetačním období, fotoletecká dokumentace formou



Obr. 1 – Louny, extravilán severozápadního okraje města. Polygonální půdorys příkopu redanu z roku 1813 je dobře patrný jako tmavší lomená linie jinak jasně žlutého řepkového pole. Bodové objekty uvnitř stavby mohou s fortifikací souviset, ale podle jejich tvaru nelze vyloučit také jejich pravěký původ (jámy, zahloubená obydlí).
Fig. 1 – Louny, the hinterlands of the north-western edge of the town. The polygonal ground plan of the redan ditch from 1813 is very well apparent as a darker angled line in an otherwise bright yellow rape field. The point features inside the structure can be related to the fortifications, but judging by their shape we cannot exclude their prehistoric origin (pits, sunken houses).

jak kolmého, tak šikmého snímkování se v jejich případě příliš neuplatní. Jak ukázaly výsledky jejich leteckého laserového skenování, které se uskutečnilo v rámci projektu popsáno v kap. 2, je tento nástroj ideálním prostředkem k jejich komplexní hmotové vizualizaci formou DMR vytvořeného ze surových lidarových dat.

Protože polní opevnění bylo budováno z důvodů kontinuální i aktuální (konkrétní) hrozby válečného napadení země přicházející z předem odhadnutelného směru, či naopak kvůli obraně dobytých pozic, podléhalo umístění jeho jednotlivých prvků strategickým potřebám. Z tohoto důvodu bylo nutné dokonale znát geomorfologii krajiny, v níž se tato zařízení měla vybudovat. Proto se v 18. století přistupuje k tvorbě map, a proto jsou nejstarší mapová díla velkého měřítka výsledkem práce nikoli civilních, nýbrž vojenských geodetů a kartografů. Pro české země se jedná o první vojenské – tzv. Josefské – mapování z 60. – 80. let 18. věku, které bylo v 19. století nahrazeno nejprve druhým (tzv. Františkovým) a třetím vojenským mapováním. Na těchto kartografických dílech se lze přesvědčit o tom, že polní opevnění bývala – jistě především v oblastech zvýšeného rizika válečných střetů – neodmyslitelnou součástí české novověké (barokní) krajiny, na níž se zapomíná (viz obr. 2).

Historie opuštěných novověkých vojenských opevnění, budovaných v terénu mimo velké komplexně konstruované pevnosti, je odrazem přírodních procesů, především půdní eroze ve svažitém terénu, a zároveň se v ní zrcadlí procesy spojené s využíváním zdrojů přírodního prostředí člověkem. Jím byly terénní překážky buď jednorázově odstraňovány (například rozvezením hlíny z valu/šancí na pole či do koryta zaniklého říčního meandru, zaplněním příkopů těchto fortifikací kvůli zarovnání terénu, který měl být využit k zemědělským účelům), nebo podléhaly dlouhodobému nivelování terénu vlivem opakované orby a klimatu. Koneckonců i na těchto mapách se lze přesvědčit o tom, že polní opevnění bývala – jistě především v oblastech zvýšeného rizika válečných střetů – charakteristickou součástí české barokní krajiny,

Největší počet polních pevností 17. – 19. století je fyzicky, tedy v terénním reliéfu, dochováno v zalesněném prostředí, kde byly po opuštění vystaveny nejmenšímu tlaku na využití



Obr. 2 – Sestava dvou lunet a reduty v okolí východočeských Smiřic na mapě 1. vojenského mapování. Příklad ovlivnění charakteru krajiny instalací (systému) opeňovacího zařízení.

Fig. 2 – A complex of two lunettes and a redoubt in the vicinity of east Bohemian Smiřice on a map from the 1st military mapping. An example of the influence of fortification devices (systems) on the character of landscape.

jimi zastavěného prostoru. Proces postupného zarovnávání valů a příkopů těchto objektů neměl onu dynamiku, již pozorujeme u pevností umístěných v otevřené krajině. Nejznámějším příkladem takto výrazně dobře zachované památky jsou pravděpodobně tzv. volarské šance z doby třicetileté války. Asi nejlépe je v současnosti zmapována situace polních opevnění v západních Čechách. Na Tachovsku, v širším okolí Plané, v krajině spojené se střetnutím císařských a švédských vojsk u Třebele na samém sklonku třicetileté války, prováděl v minulých dvou desetiletích systematicky vedené terénní průzkumy a mapování archeolog V. Matoušek (2006). Tento prostor se stal také jedním z prvních sledovaných regionů, jimž byla věnována přednostní pozornost té části programu letecké archeologie, která je zaměřena na identifikaci a dokumentaci novověkých fortifikací.

V další části se pokusíme ukázat výhody integrace vícerých postupů, resp. různorodých pramenů na příkladech dvou pevnostních linií v severozápadních Čechách, kterým od druhé poloviny 90. let v souvislosti s letecko-archeologickým průzkumem věnoval autor této kapitoly opakovaně pozornost.

3.2 Příkladová studie 1: areál Litoměřice – Trnovany – Třeboutice

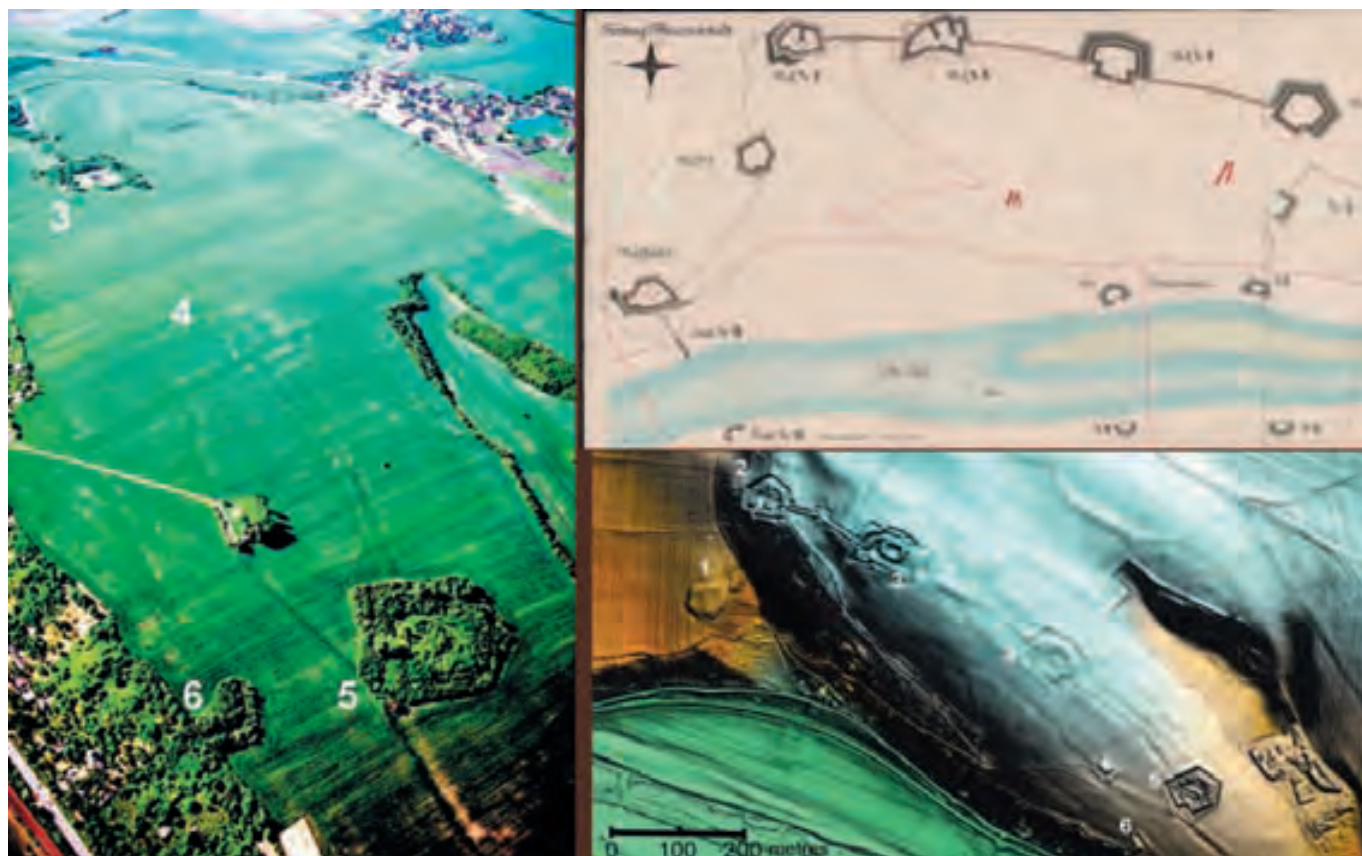
Pokud jde o pevnosti vybudované v místech, kde se tradičně uplatňovalo orné zemědělství, pozorujeme zajímavou skutečnost. Naprostá většina objektů menších rozměrů byla již rozorána a jejich fortifikační prvky nenávratně zmizely z povrchu země. Naproti tomu velké pevnostní objekty – většinou polygonálního půdorysu, v nichž byly umístěny jak peší posádky, tak dělostřelectvo (současná terminologie je označuje převážně pojmem *reduitový fort*) – byly s ohledem na náročnost rozebírání těchto konstrukcí buď po zániku jejich účelu ponechávány v terénu napospas přírodním procesům obliterace (zarovnávání), anebo až po určité době rozvezeny jednorázově. Příkladem budiž linie pevnostního systému, vybudovaného krátce po polovině 19. století na výrazné pravobřežní terase Labe mezi Litoměřicemi, Trnovany a Třebouticemi na ochranu Terezína (jednotlivé forty, označené na původním plánu jako Werk 1 – Werk 6, byly tvořeny příkopy širokými přes 10 metrů, jejichž násypy, navršené z vykopané zeminy, dosahovaly výšky 2–3 metrů – obr. 3). Objekty byly určeny pro umístění dělostřeleckých baterií. Celý systém byl na svém východním konci uzavřen pevností na vrchu Křemín, a byl doplněn menšími redutami a redany situovanými v nivě labského koryta na jeho obou březích (na některých mapách je tato poloha označována pomístním názvem *Na Šancích*). Od druhé poloviny devadesátých let je lokalita kontinuálně sledována a fototecky dokumentována v rámci programu letecké archeologie Archeologického ústavu AV ČR. Několikrát byly její komponenty snímkovány ze země (Gojda 2008b, naposledy k problematice terezínského opevnění *Rákosníková 2009*).

Ještě na vojenských topografických mapách (souřad. systém S-42) z roku 1977 jsou zachyceny pevnosti 3–5 (včetně

spojovací linie dvojitého příkopu) jako v terénu zachované objekty (těžko ovšem říci, v jakém stavu zachovalosti se ve skutečnosti nacházely) a tento stav je zachycen také na leteckém měřickém snímku z poloviny padesátých let minulého století (výřez nahoře uprostřed obr. 4). V současné době je objekt 4 zcela odstraněn a prostor, který zaujímal, se stal součástí okolního pole. Do nedávné doby vládlo přesvědčení, že jeho pozůstatky jsou spolu se spojovacím příkopem dokonale zplanýrované a vlivem trvale aplikovaných agrotechnických postupů (orba, vláčení) zachytitelné půdorysně pouze prostřednictvím porostových příznaků, fotograficky dokumentovaných při leteckém průzkumu – poprvé v roce 1997 (obr. 3 vlevo). Tento předpoklad se zdají potvrzovat také pozemními snímky, které autor tohoto příspěvku pořídil na lokalitě v posledních letech; povrch pole, na němž je umístěn fort č. 4, nese vizuálně jen stěží patrné nerovnosti, které dokládají existenci zaniklého objektu. Teprve výpověď dvou dalších pramenů z oblasti dálkového průzkumu doložila, že popisované objekty jsou ve skutečnosti stále ještě zachované ve velmi nízkém reliéfu a ani 2–3 desetiletí trvající orba je nedokázala úplně zarovnat s okolním terénem (ostatně podobného zjištění bylo dosaženo např. po pro-

vedení detailní plošné nivelace čtyřúhelníkového ohrazení z doby železné u Rakovic na Písecku, které bylo také indikováno na povrchu pole prostřednictvím vegetačních příznaků (Tomášek – Kuna 2004, 239, obr. 7.1). Nejprve byl tento fakt zjištěn během průzkumného letu koncem prosince 2009, kdy se díky poloze slunce, které se v té době nacházelo těsně nad obzorem, podařilo pořídit šikmé fotografie zkoumaného opevnění, které mají velkou výpovědní hodnotu. Extrémně nízko situovaný zdroj světelných paprsků dokázal i u vizuálně nerozpoznatelných terénních nerovností vykreslit pomocí tzv. stínových příznaků přesný půdorys zaniklého fortu i ostatních zdánlivě zcela zarovnaných součástí opevnění (obr. 4 vlevo a obr. 5). Nepatrná, přesto určitá nejistota, zda se nejedná spíše o půdní než o stínové příznaky, vzala za své, když v rámci již zmiňovaného projektu Západočeské univerzity v Plzni došlo k pořízení lidarových snímků celého tohoto systému předšutného opevnění (obr. 3 vpravo dole a obr. 5 dole uprostřed).

Někde na půli cesty procesu zániku se nachází objekt 3, z něhož byla dosud odstraněna pouze asi čtvrtina, opět zachytitelná pomocí vegetačních příznaků. V tomto případě se jeví jako tmavší klikatá linie v odstraněném jihovýchodním nároží



Obr. 3 – Opevněné předmostí Terežína vybudované na severním břehu Labe mezi Litoměřicemi, Trnovany a Třebouticemi po polovině 19. století. Vlevo: porostové příznaky na šikmém leteckém snímku (30. 7. 2002); vpravo nahoře původní plán opevnění. Římské číslice, jimiž jsou zde označeny jednotlivé forty (Werk No I, II, II, IV, V, VI), jsou shodné s arabskými číslicemi na letecké fotografii a DMR. Místo uložení: © Kriegsarchiv Wien. Vpravo dole: digitální model terénu výborně reprodukuje současný stav celé památky, resp. jejích dílčích komponent. Zároveň je na něm výborně zachycena rozsáhlá síť zaniklých cest a násypů, z nichž některé byly pravděpodobně součástí popisovaného opevňovacího systému; severně a východně od fortu 3 jsou patrné stopy zásahů do povrchu terénu (těžba?).

Fig. 3 – A fortified bridgehead of Terežín built on the north bank of the Labe between Litoměřice, Trnovany and Třeboutice in the middle of the 19th century. On the left: vegetation markers on an oblique aerial photo (30th July 2002); on the top right there is the original plan of the fortifications. The Roman numerals, which demarcate the individual forts (Werk No I, II, II, IV, V, VI), correspond with the Arabic numerals on the aerial photograph and the DTM. Deposited in: © Kriegsarchiv Wien. Bottom right: a digital terrain model perfectly reflects the present state of the remains, i.e. their individual components. At the same time we can clearly see the extensive network of roads and banks, some of which were probably part of the fortification system; to the north and east from fort 3 we can detect the evidence for interventions in the terrain surface (mining?).

fortu (obr. 4, vpravo od číslice 3). Na leteckých snímcích vidíme dobře také zaniklou cestu, sledující jižně od pevnostního systému jeho západovýchodní osu. Vychází z objektu 5 a západně od něj na ní nasedá ohrazený prostor zhruba čtvercového půdorysu, který v dobové projektové dokumentaci není zaznamenán a je tedy pravděpodobně mladší a s předmostím terezínských pevností nespojuje. Porostové příznaky vykreslily také zaniklou redutu č. X, která se na celkovém plánu pevnostního systému (obr. 3) nachází na pravém břehu Labe přímo pod objektem 4.

Informace obsažené v datech, které byly pořízeny několika metodami dálkového průzkumu (letecké kolmé/měřické fotografie, šikmé snímky pořizované fotoaparátem držným v ruce z nízkého letícího letadla, digitální model reliéfu získaný pomocí dálkového laserového skenování, topografická mapa), pomohly v případě terezínského předsunutého pevnostního systému:

1. *Hodnotit stav této památky v době, kdy její celistvost byla v podstatě ještě neporušena, tedy přibližně jedno století po vybudování*

celého areálu (50. léta 20. stol.), a zachytit tak původní podobu jeho jednotlivých částí. Týká se to např. liniového útvaru propojujícího jednotlivé forte, který je možno na dotyčné fotografii charakterizovat jako hlinitý násep (val), dnes prakticky zaniklý, k němuž po obou stranách přiléhá cesta. V kombinaci s výpovědí především šikmých fotografií (konkrétně těch, které zachycují porostové příznaky) a lidarového snímku lze původní situaci rekonstruovat tak, že linie přiléhající k valu na jeho severní straně je zasypaným příkopem, a linie na straně opačné byla nejspíše komunikací, zahluobenou pod úroveň zdejšího terénu. Tato linie je na fotografiích, které ilustrují půdorys zahluobených částí pevnostního systému dokonale vykreslenými konturami, viditelně tenčí a odpovídá svojí šířkou linii paralelní, jižně situované a dnes zaniklé cesty, která ještě před půl stoletím byla funkční.

2. *Sledovat postup destrukce jednotlivých objektů a aktivity, které tam probíhaly. Z tohoto pohledu je nejzajímavější skupina fortů 3–5. Letecké snímky a digitální model reliéfu odvozený z lidarových dat zde dokládají, že se k jejich (původně snad kompletní-*



Obr. 4 – Areál Litoměřice – Trnovany – Třeboutice. Vlevo: předsunutá linie terezínského opevnění zviditelněná díky dlouhým stínům, zvýrazňujícím i nepatrné rozdíly ve výšce terénního reliéfu, resp. zplanýrovaných valů a zaplněných příkopů (datum: 26. 12. 2009). Nahoře uprostřed: Detailní pohled na fortové objekty 4 a 5 na historické kolmé fotografii z r. 1954 umožňuje srovnání jejich tehdejšího a současného stavu. Zdroj: VGHMÚř v Dobrušce (dostupné na <http://kontaminace.cenia.cz> – projekt NIKM). Vpravo: Fotografie pořízená na dně obvodového příkopu fortu 5, který je dodnes zakonzervován v původních rozměrech. Příkop obepíná tento objekt (jehož severojižní osa dosahuje délky cca 170 m) v délce necelého půl kilometru (foto autor, 6. 4. 2007).

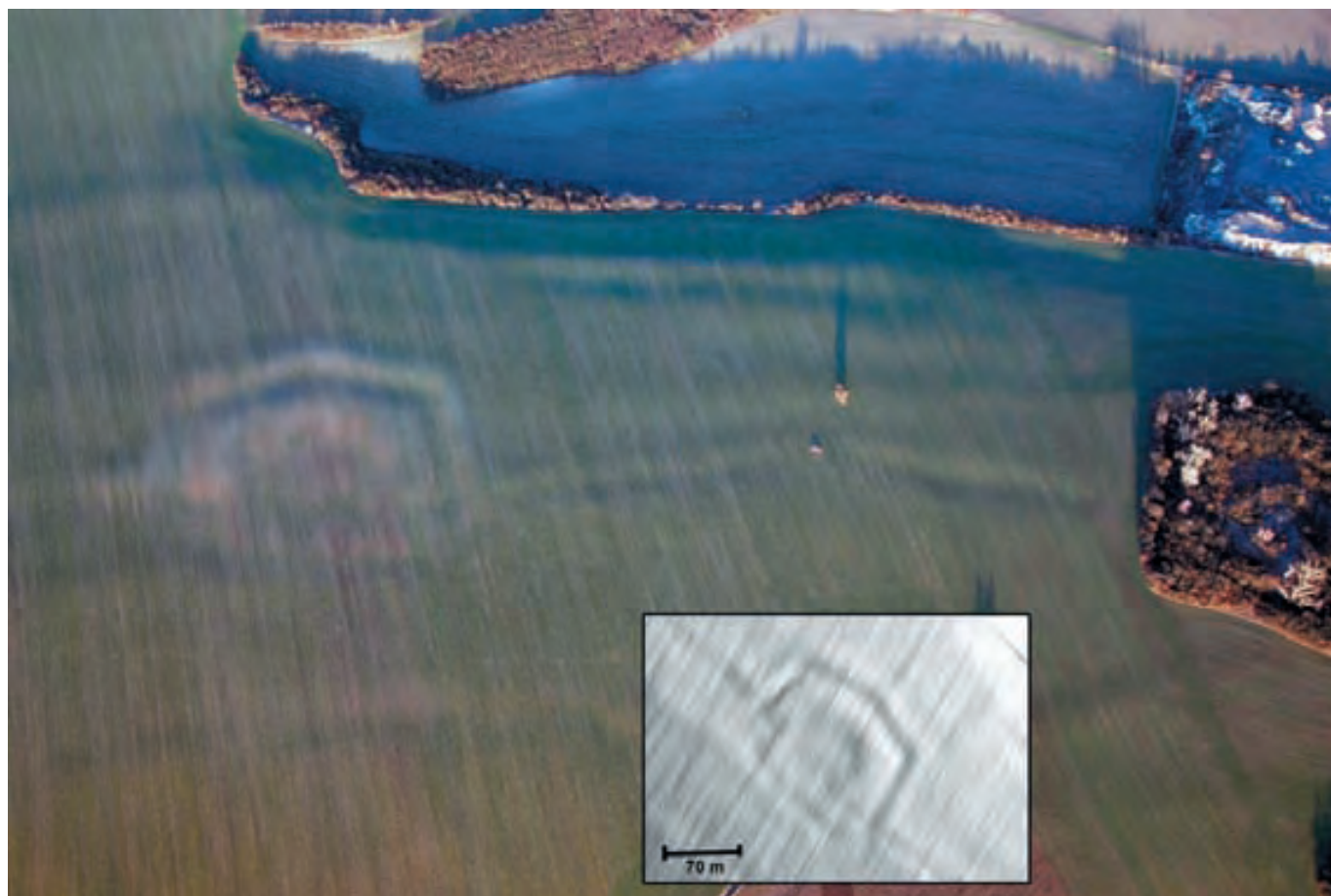
Fig. 4 – The site of Litoměřice – Trnovany – Třeboutice. On the left: the advanced line of Terezín fortifications made visible thanks to the long shadows, highlighting even the small variations in the height of the terrain relief, i.e. the levelled ramparts and filled-up ditches. (date: 26th December 2009). Middle top: A close-up view of the fort features 4 and 5 on a historical orthogonal photograph from 1954 allows a comparison of their past and present state. Source: VGHMÚř in Dobruška (accessible from <http://kontaminace.cenia.cz> – project NIKM). On the right: A photograph taken at the bottom of the perimeter ditch of fort 5, which is still preserved in its original extent. The ditch runs around the whole feature (the north-south axis of which is approx. 170 m) in the length of a little less than half a kilometre (photo by the author, 6th April 2007).

mu?) odstranění, resp. zplanýrování, zdejší lidé rozhodli ne dříve, než sto let po jejich vybudování. U těchto tří objektů máme doložen příklad (rozsáhlého) komplexu, jehož části prošly rozdílným procesem praktického zacházení generací, které jej zdědily jako nepotřebnou (a z praktických důvodů zřejmě nechtěnou) součást krajiny, v níž žily a již exploatovaly. Objekt 4 byl kompletně rozebrán a místo, kde stával, nenese po něm při pozorování terénu z povrchu země téměř žádné stopy změněného reliéfu. Podobný osud potkal také propojovací linii valu/příkopu/cesty, a mimo sledovanou trojici fortů ještě také objekt č. 1. Naproti tomu fort 3, umístěný západně od předchozího, začal být rozebírán někdy v době mezi léty 1977 (vojenská mapa 1 : 50 000) a 1997 (nejstarší šikmé letecké fotografie), a to, jak bylo uvedeno v předchozím textu, v jihovýchodním nároží, kde se projevují vegetační příznaky zasypaného příkopu obíhající val tohoto fortu. Jeho planýrování ale bylo přerušeno, později byl v jeho jádře vybudován betonový bazén (pravděpodobně kvůli zásobování vodou rozsáhlé zahrádkářské kolonie situované na svahu terasy, na níž se celé opevnění nachází), jehož funkce ale skončila někdy před rokem 1997. Konečně objekt nejvýchodnějšího fortu (5), resp. jeho obvodové náspy a příkopy, zůstaly dodnes prakticky nedotčeny (obr. 4 vpravo).

Na fotografii z r. 1954 je patrné, že interiér objektu byl v té době již zčásti zavezen (nebo jeho zavážení v té době probíhalo; podobně tomu bylo u fortu č. 2) a konfrontace tohoto pramene se současným stavem, dokumentovaným prostřednictvím lidarového snímku ukazuje, že se od té doby již nic dalšího s objektem nedělo a že tedy zůstal prakticky v původním stavu.

3. *Klást si otázku, proč a za jakých okolností došlo pouze k částečnému zplanýrování pevnostní linie a zda původní záměr směřoval k jejímu kompletnímu odstranění* (kvůli zemědělskému využití poměrně rozsáhlých ploch, které celý stavebně obranný systém pokrýval?). Pokud tomu tak bylo, lze se ptát, co způsobilo rezignaci na řešení tohoto problému. Odpovědí bychom mohli najít celou řadu, ale pravděpodobně lze vysvětlení hledat v přílišné časové a finanční náročnosti takového destrukčního projektu, k čemuž jejich realizátorům mohla (zásadním?) způsobem přispět zkušenost s kompletně provedenou likvidací fortů 1 a 4.

Je evidentní, že dalším krokem při hledání odpovědi na otázky kolem terezínského předsunutého opevněného systému by bylo zapojení výpovědi dalších druhů pramenných opor, a to psaných dokumentů, případně také osobní svědectví těch, kteří byli dlouhodobými pozorovateli či dokonce spoluvůdci pováleč-



Obr. 5 – Areál Litoměřice – Trnovany – Třeboutice (okr. Litoměřice). Detailní pohled na zplanýrovaný fort 4 (vlevo), jehož půdorys je patrný ve velmi nízkém terénním reliéfu, při povrchovém průzkumu vizuálně téměř neidentifikovatelném. Jeho zviditelnění umožnilo nízké sluneční světlo pozdního zimního odpoledne (26. 12. 2009, 15:30 hod.). U pravého okraje snímku je zachycena západní polovina objektu 5, který je zcela pokryt vzrostlou vegetací. Ve výřezu je tento fort patrný na digitálním modelu reliéfu odvozeném z lidarových dat. Tmavší zabarvení jeho centrální části svědčí o terénní depresi, podobně jako v případě obvodového příkopu.

Fig. 5 – The site of Litoměřice – Trnovany – Třeboutice (Litoměřice region). A detailed view of the levelled fort 4 (on the left), its ground plan is visible in the very low terrain relief, but during surface survey it is virtually unrecognisable. It became visible thanks to the low winter afternoon sunlight (26th December 2009, 3:30 pm). The bottom right corner of the photo captures the western portion of feature 5, which is completely covered by vegetation. In the close-up caption, the fort is visible on a digital relief model derived from LIDAR data. The darker shading in its central part represents a terrain depression, similar to the perimeter ditch.

ných osudů této jedinečné památky, která se výrazně zapsala do tvářnosti zdejší krajiny.

3.3 Příkladová studie 2: areál Habrovany – Žim

Podle současného výzkumu vojenská opevňovací zařízení na území severních Čech, (resp. v okresech Ústí n. L., Litoměřice a Česká Lípa) zakreslená do rektifikovaných map 1. vojenského mapování pocházejí ze 40. – 70. let 18. století, tedy z období vlády Marie Terezie, charakterizované několika válečnými konflikty s Pruským královstvím. Většina z nich pak byla buď opravena, nebo nově vybudována v letech 1778–9, kdy se tato oblast stala severním bojištěm (tzv. bramborové) války o dědictví bavorské a kdy během první třetiny osmdesátých let, tedy bezprostředně po konci této války, byla zakreslena do nové edice části josefských map českého pohraničí. Studium polních opevnění v této části Čech byla v nedávné době věnována zvýšená pozornost, přičemž došlo k vyhledání všech objektů zakreslených do příslušných mapových listů a interpretovatelných jednoznačně jako vojenská zařízení (Nejman 2010 píše na str. 55, že jich celkově identifikoval 107; uvedená práce také shrnuje základní údaje o 1. vojenském mapování a v přehledné ilustrativní formě o typologii, resp. morfologii polních opevnění zakreslených na těchto mapách), resp. i těch, jejichž interpretace je bez dalšího výzkumu nejistá (Neuvirtová 2010 uvádí na str. 104, že shromáždila na 363 objektů v ústeckém kraji, které mohou být relikty polních opevnění). V následující fázi je pak prováděn terénní

výzkum, jehož úkolem je dohledat relikty těchto objektů, dokumentovat jejich stav zachování a zaměřit jejich polohu pomocí některého z geodetických postupů či pomocí stanice GPS.

Jedna z oblastí s nejhustější koncentrací polních opevnění se nachází mezi Ústím nad Labem a Bořislaví, obcí situovanou asi 10 kilometrů jihozápadně od Ústí. Na mapových listech č. 26 a 39 se táhne soustava redut, redanů a baretů, které vytvářejí jednu kumulaci nad soutokem řek Labe s Bílinou a druhou mezi obcemi Suchá, Habrovany, Žim a Bořislav (4 polygonální, 2 čtyřúhelníkové reduty a 1 redan). Pozornost v této části věnujeme skupině 3 objektů umístěných mezi Habrovany a Žimí (na josefské mapě Habrova, resp. Schima; obr. 6). Konfrontací z lidarových dat odvozeného DMR tří redut zachovaných v tomto prostoru s jejich půdorysy na mapách 1. a 2. vojenského mapování se pokusíme ukázat, do jaké míry přesně byly tyto objekty zachycovány vojenskými geodety a kartografy. Konfrontace je o to zajímavější, že se týká mapového díla vzniklého bezprostředně po jejich vybudování a díla, které vzniklo o více než půl století později. Připomeňme zároveň, že obě mapová díla jsou zásadně odlišná v geodetické kvalitě. Zatímco starší z nich bylo prováděno ještě jednoduchou metodou takřkajíc od oka (vzdálenosti byl určovány buď odhadem, nebo krokováním), zaměřování terénu při vytváření mladšího díla bylo již vedeno pomocí triangulační sítě a bylo tedy mnohem přesnější.

V současnosti jsou všechny tři objekty pokryty stromy a na mnohých místech také hustým keřovitým a křovinným porostem.



Obr. 6 – Areál Habrovany – Žim (okr. Ústí n.L.). Šikmý letecký snímek (9. 2. 2011) redut označených na mapách 1. vojenského mapování čísla 23, 24, 25 (zprava doleva; viz obr. 7).
Fig. 6 – The site of Habrovany – Žim (Ústí nad Labem region). An oblique aerial photo (9th February 2011) of the redoubts marked on the maps of the 1st military mapping under numbers 23, 24, 25 (from right to left; see fig. 7).

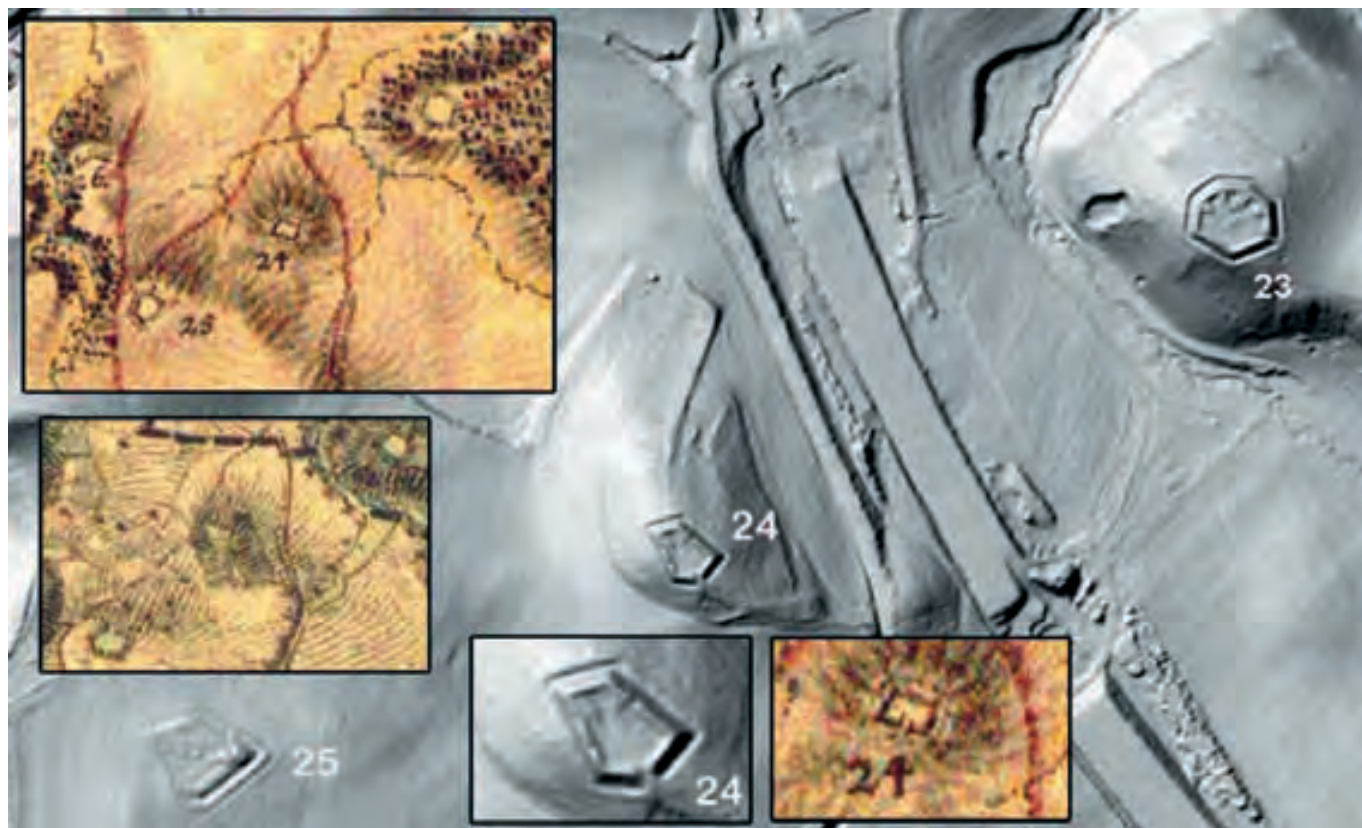
V levém horním rohu obr. 7. vidíme výřez z listu 26 1. vojenského mapování, na němž je dobře patrná trojice uzavřených polních pevnůstek – dvou polygonálních (označeny čísla 23 a 25) a jedné pravouhlé reduty (č. 24). Méně zřetelné je tam zakreslen ještě jeden objekt, patrně redan (č. 26), po němž však již v terénu nezůstaly zachovány žádné stopy; ostatně nebýt toho, že je v mapě očíslován, nebyl by s ohledem na velmi nezřetelné znázornění pravděpodobně vůbec identifikovatelný. Porovnáme-li výpověď DMR tří uvedených redut a jejich zakreslení na listu č. 26 1. vojenského (josefského) mapování, můžeme konstatovat tyto skutečnosti:

1. Na mapě zakreslený půdorys objektu 23 je téměř totožný s jeho půdorysem na stínovaném DMR. Jedná se o šestiúhelníkovou (mapa), resp. sedmiúhelníkovou redutu (DMR; viz též obr. na str. 7), pro jejíž umístění bylo z pochopitelných důvodů zvoleno strategicky výhodné místo na vrcholové plošině ostrožného výběžku Českého středohoří u Habrovan, které nabízí možnost sledovat krajinu severně, západně a jižně odtud a kontrolovat tak prostor očekávatelného útoku a pohyb jednotek potenciálního nepřítele. Jak ukazuje stínovaný DMR, jedná se o dělostřeleckou redutu s dokonale zachovanými čtyřmi nájezdovými rampami pro usazení kanónů do palebného postavení; dobře patrné je také přerušování valové fortifikace v místech vstupu/ vjezdu do opevnění.

2. Objekt 25 má jak na mapě, tak na stínovaném DMR pentagonální půdorys, ale každý z nich má poněkud odlišnou délku jednotlivých stran, takže celkově si příliš podobné nejsou.

3. Největší rozdíly jsou patrné u reduty označené na mapě číslem 24. Na ní je tento objekt zakreslen jako čtvercová (až mírně obdélníkovitá) reduta se vstupem umístěným uprostřed jihozápadní strany. Naproti tomu digitální model terénu dokládá, že se ve skutečnosti jedná o objekt pentagonálního půdorysu se vstupem na jihovýchodě (viz detailnější pohled na výřezech na obr. 7 dole uprostřed). Není jednoduché tyto rozdíly interpretovat, snad mohou být odrazem rozdílných schopností, zkušeností, případně i poctivosti jednotlivých vojenských geodetů (a jejich asistentů) při zaměřování terénu a/nebo při následné tvorbě vlastní mapy.

Při pohledu na stejné území tak, jak jeho podobu zachytila mapa 2. vojenského (Františkova) mapování ve druhé třetině 19. století, si jednak všimneme toho, že reduty již nejsou označeny čísly, a především faktu, že prostřední objekt (č. 24) není na mapě zakreslen vůbec (obr. 7 – mapa ve výřezu vlevo dole). Obě tyto skutečnosti je pravděpodobně možné přičíst na vrub faktu, že během období, které uplynulo od nejpozdějšího možného data jejich výstavby koncem 70. let 18. věku a Františkovým mapováním, se s výjimkou napoleonských válek na sledovaném území prakticky nebojovalo a opevnění postupně ztratilo svůj význam. A otázka, zda skutečnou příčinou toho, že se reduta 24 na mapu nedostala, způsobila tehdejší neprostupnost terénu, laxnost měřičů či jiná konkrétní příčina zůstane i v budoucnu s velkou pravděpodobností nezodpovězena.



Obr. 7 – Areál Habrovany – Žim (okr. Ústí n.L.). Srovnání současného stavu redut v záměrném areálu prostřednictvím DMR odvozeného z lidarových dat a jejich zobrazení na mapách 1. a 2. vojenského mapování.

Fig. 7 – The site of Habrovany – Žim (Ústí nad Labem region). A comparison of the present day state of the redoubts in the study area on a DTM derived from LIDAR data and their depiction on the 1st and 2nd military mapping.

Martin Gojda

3

Identification, documentation and mapping historical field defensive features through aerial reconnaissance, photography and airborne laser scanning

This chapter aims at the evaluation of the potential of remotely sensed data (including oblique and vertical photographs, satellite images and data acquired by ALS) in the process of investigation of post-medieval to early historic military field installations. In the first part a brief set of general information on the principal characteristics and availability of air- and space borne data is submitted. What follows is a description of fortified features – small forts which had been constructed either as solitary bases or – more typically – as components of a more complex defensive system of the Habsburg Empire against the Prussian Kingdom in north-west Bohemia during 18th – 19th centuries. A lot of these features are buried and can be identified only by means of archaeological methods, such as aerial reconnaissance, but there are still a few hundreds of them which are preserved as semi-ruined monuments (earthworks), usually covered by trees and shrubs.

Airborne lidar data, with its accurate display of the ground surface, can also be compared with the earliest modern military maps of medium to large scales that were produced by surveyors working in the field. In Bohemia, three sets of the so-called *Military Mapping* were produced between 1760 and 1870. In this chapter the first two sets were used to compare the accuracy of ground plans of military defensive features as illustrated on these maps with those documented by the ALS-derived DTM.

For the purpose of this work an example of two sites was used from project polygons 7 and 8 (see Fig. 1 and 2a in chapter 2). The first case is a group of three well-preserved fortified bases near Habrovany in northwest Bohemia, of which at least one was definitely constructed as artillery fortlet (polygonal feature No. 23, Fig. 7). These form part of a complex defensive system constructed in the second half of the 18th century as a result of repeated offensive military campaigns by the Prussian army against the Habsburg Empire, of which the Czech Kingdom was then an integral part. Currently all of them are covered by trees and bushes. In the top left corner of Fig. 7 is a section from the *First Military Mapping* (FMM) is displayed in which a group of three fortlets can be well identified. The FMM was produced between 1763 and 1787 as an 'à la vue', ra-

ther than by means of proper triangulated measurements, and the maps were produced at 1:28,000 scale. Interestingly, the ground plan of the feature numbered 23 corresponds almost precisely to the ground-plan from the ALS-derived shaded relief DTM. Note the earthen ramps around the structure's perimeter on which guns were placed. Both ALS and the FMM show Feature 25 to have a pentagonal plan, although each of them differs in the setting and length of individual sides. The greatest differences are apparent in the plans of the fortlet 24. On the map it is depicted as a rectangular feature with entrance gap near the centre of its southwest side whereas the DTM indicates that in reality this fortlet is of a pentagonal plan with the entrance placed at the convergence of two sides on its southeast (see the more detailed view at the bottom centre of Fig 7). It is not easy to interpret these differences, but they may reflect results of work of more than one group of licensed military surveyors, mapping the terrain, whose ability and/or professional responsibility was not the same.

The smaller map to the left is a section of the *Second Military Mapping* which was produced between 1836 and 1852 and based on trigonometric measurement of the land surface. In comparison to the FMM no numbers denominating individual fortlets have been inserted in this map and, more significantly, feature 24 is not depicted at all. These differences can perhaps be explained by the fact that the defensive system was by then 50 – 60 years old and had lost its significance in the period between the end of 18th and middle of the 19th centuries when there were no wars and military campaigns. However, the complete absence on the map of a fortlet is hardly explicable other than as intentional omission for unknown reason.

On the contrary, project polygon No. 8 includes a fortified line of artillery bases erected close to Terezín – Theresienstadt (one of two huge brick-made late 18th cent. forts and garrisons in Bohemia) in the 1860's, 7–8 decades after the military nodal point Terezín was constructed (Fig 3). Here, the lidar-derived DTM shows practically no difference in the ground-plans of individual fortlets in comparison to as they are mapped on the original plan (Fig. 3, top right).

4

Examinace procesu optimalizace „archeologicky korektních“ způsobů vyhodnocení dat z leteckého laserového skenování zalesněné krajiny**Potenciál filtrace surových dat, problematika interpolačních algoritmů a způsobů vizualizace antropogenních tvarů v digitálních modelech reliéfu****1. Úvod**

Letecké laserové skenování krajiny (dále jen LLS) našlo po svém masivním rozvoji významné uplatnění v řadě oblastí, přičemž v současné době představuje integrální nástroj i v archeologickém výzkumu. Nejčastěji a v českém prostředí zatím téměř výlučně bývá LLS aplikováno k dokumentaci zalesněné krajiny a odhalení pozůstatků minulých lidských aktivit, které jsou v tomto prostředí uchovány v podobě reliéfních tvarů. Ty mohou být tradičními metodami archeologického výzkumu, zejména povrchovým průzkumem (srov. Kuna – Tomášek 2004), zaznamenány s mnohem většími obtížemi. Množství rozsáhlých území je tak dodnes prakticky nepoznaných.

V archeologickém výzkumu však může být LLS využito v mnohem širší míře. Vzhledem k přesnosti těchto dat lze na jejich základě realizovat kvantitativní i kvalitativní analýzy detekovaných reliktnů a jejich vzájemných vztahů (srov. Sittler 2004). Je tak možné postihnout strukturu vybraného transektu potažmo vnitřní uspořádání sídelních areálů či areálů aktivity (již Bewley a kol. 2005). Kromě tvarů antropogenního původu jsou pomocí LLS snadno identifikovány i málo výrazné environmentální prvky v krajině, což umožňuje rekonstrukci jejího minulého stavu (srov. de Boer a kol. 2008, 71). Informace o výškopisu i intenzitě lidarových dat pak nacházejí uplatnění v geoarcheologickém výzkumu (srov. Challis 2006; Challis a kol. 2011a). Vzhledem ke skutečnosti, že přesnost digitálních modelů reliéfu (dále jen DMR) odvozených z LLS převyšuje modely generované z jiných zdrojových dat, vytváří kvalitní podklady pro pokročilé prostorové analýzy (např. analýza viditelnosti, svažitosti, modelace vodní eroze či vodní sítě, výpočet optimálních tras atd.; srov. např. Danese a kol. 2009). V kombinaci s dalšími zdroji dat lze lidarové výstupy použít jako báze prediktivních modelování (srov. Van Zijverden – Laan 2005). Srovnáním se staršími mapami nebo dřívějším výstupem LLS je možno rovněž detekovat i téměř neznatelné změny v reliéfu způsobené přímo člověkem nebo zejména erozně-akumulačními procesy. Kromě sledování důsledků lidského chování v krajině v rámci studia archeologie modernity tak nabízí i možnost stanovení potenciálu území pro případné uchování všech druhů archeologických lokalit (srov. de Boer a kol. 2008, 72–73). U reliktnů minulých lidských aktivit projevujících se v reliéfu nebo s dosud dochovanými nadzemními částmi (např. kamenné konstrukce)

je prostřednictvím LLS navždy uchován jejich současný stav, což kromě případného budoucího vědeckého zhodnocení nachází uplatnění i v ochraně kulturního dědictví.

Z výše uvedeného letmého přehledu uplatnění LLS tak jasně vyvstává skutečnost, že představuje, podobně jako řada dalších technologií, významný nástroj v moderním archeologickém výzkumu. Jejich široký potenciál však může být v plné míře a s odpovídající kvalitou zpracování uplatněn jen tehdy, jestliže uživatelé tyto technologie opravdu ovládají, vědí, jak fungují a jsou si vědomi jejich limitů či nedostatků. Jedině tak totiž mohou reálně posoudit, s jakou resp. jak kvalitní informací opravdu zacházejí.

V tomto příspěvku se budeme zabývat třemi hlavními fázemi vyhodnocení lidarových dat: zpracování surových dat, interpolace výškopisného DMR a vytvoření specifického DMR za účelem zviditelnění antropogenních tvarů reliéfu. Tyto představují netriviální postupy a stejně jako řada dalších a na první pohled možná očividnějších faktorů (např. letová výška, sklon terénu, zastoupení vegetace či počet měřených bodů; srov. Hyyppä a kol. 2005; Bollandss a kol. 2012) zásadním způsobem determinují očekávaný produkt LLS. Vycházíme přitom z několika typů lidarových dat poskytnutých Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (dále ČÚZK). Ty vzhledem k dosavadní cenové nákladnosti specializovaných firem najdou v archeologii jistě výrazné uplatnění.

Zpracování surových dat je reprezentováno především jejich filtrací, klasifikací, ale i dalšími procesy. Nejdříve však budou stručně představeny technické principy vzniku dat od ČÚZK a jejich úpravy. Na konkrétních územích budou následně s ohledem na zaznamenání antropogenních tvarů reliéfu posouzeny jak výsledné produkty LLS pro nový výškopis ČR (DMR 4G a DMR 5G), tak i průběžně upravená data (surová data, data po robustní filtraci). Právě ty totiž mohou najít, vzhledem k nepřekonatelným limitům DMR 4G a stavu dosavadního zpracování DMR 5G, významné využití pro potřeby archeologie. Možnosti těchto dat proto budou testovány i s uplatněním vlastních postupů zpracování, se samostatně aplikovanými metodami filtrace.

V další části příspěvku se budeme podrobně věnovat interpolačním algoritmům, kterými jsou jednotlivé body reprezentující úroveň terénu transformovány do kontinuálního povrchu reprezentovaným výškopisným DMR. Sledováno přitom bude

několik interpolací nabízených běžně užívaným softwarem ArcGIS 10, přičemž budeme vycházet z dat 4. i 5. generace a rovněž z dat upravených pouze robustní filtrací. Zvýšená pozornost přitom bude věnována vytváření nepravých reliéfních tvarů, které mohou významným způsobem ovlivnit interpretaci zaznamenaných reliéfních struktur.

Třetí fázi vyhodnocení lidarových dat představuje transformace výškopisného DMR do speciálních podkladů zviditelňujících na základě různých principů i málo výrazné terénní nerovnosti, které často bývají antropogenního původu. Srovnávací analýza bude vycházet z dat 5. generace reprezentující hradiště Závist, kde je dodnes uchována řada výrazných, avšak i méně patrných reliéfních tvarů. Testována bude většina, zejména v západoevropském prostředí běžně užívaných způsobů vizualizace, přičemž budou sledovány jejich limity při zobrazení přítomných tvarů.

Bližším představením těchto integrálních postupů vyhodnocení lidarových dat se pokusíme demonstrovat, jakým způsobem mohou ovlivnit výsledné podkladové mapy, potažmo identifikaci a interpretaci rozličných struktur dochovaných v reliéfu, které mohou indikovat minulé lidské aktivity. Přestože ve srovnání s tradičními metodami dokumentace reliéfu přináší LLS kvalitnější a mnohonásobně rychlejší výsledky (srov. *Gojda 2005*, 809), podceněním či přehlížením technických úskalí během vyhodnocení dat lze do výsledného podkladu zahrnout množství nepravých informací.

2. Data z leteckého laserového skenování

Pro kvalitnější produkci nového výškopisu ČR byla v roce 2008 zvolena metoda leteckého laserového skenování celého území republiky. Na tomto velkém projektu pod názvem *Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky* současně spolupracuje Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad a 24. základna dopravního letectva MO ČR. Realizace projektu spadá do období let 2009 – 2015, přičemž sběr dat je určen do konce roku 2012. Po etapách zpracování dat LLS vznikají finální produkty pod zkratkami DMR 4G, DMR 5G a DMP 1G, jejichž charakteristiky a postupy vytváření budou představeny v následujícím textu. Potřebné technicko-metodické informace byly převzaty z publikovaných technických zpráv k digitálním modelům reliéfu 4. a 5. generace (*Brázdil 2012a, Brázdil 2012b*).

2.1 Finální produkty

První zpracovaný výstup reprezentuje *Digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G)*, jež je tvořen pravidelnou sítí bodů (Grid) s rozestupy 5 x 5 m. Jedná se o výsledek předběžného automatizovaného zpracování lidarových dat, úplná střední chyba výšky dosahuje 0,3 m v odkrytém terénu a dokonce 1 m v zalesněném terénu. DMR 4G vzniká vždy nejpozději do půl roku po naskenování území. Termín dokončení celého území ČR je naplánován na konec roku 2012.

Druhým plánovaným produktem je *Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G)* ve formě nepravidelné sítě výškových bodů s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Tento model je výsledkem finálního poloautomatického zpracování lidarových dat. Termín dokončení je naplánován na konec roku 2015, přičemž s určitým časovým odstupem se průběžně aktualizuje stav dokončených DMR 5G (zatím se většinou jedná o pásmo Střed).

Poslední produkt představuje *Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G)* poskytovaný ve formě nepravidelné sítě výškových bodů s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky vegetačního krytu). Termín dokončení je plánován na konec roku 2015.

2.2 Obecné informace o dalších typech dat LLS z ČÚZK a základní přehled pracovního postupu

Primární data získaná při leteckém laserovém skenování jsou tzv. surová data, jež jsou ukládána v nativním formátu *.las*. Obsahují veškeré nasbírané informace z průběhu skenování se všemi případnými chybami či nepřesnostmi. Tyto informace jsou vstupními daty pro další zpracování a vyhodnocení dat. Území o velikosti 2 x 2 km se skládá z několika souborů. Jejich množství je závislé na počtu přeletů nutných k pokrytí tohoto území s dostatečnými překryvy, většinou se jedná o počet pěti pásů, přičemž každý soubor ve formátu *.las* obsahuje jeden zaznamenaný pás přeletu. Zaznamenané body v souboru *.las* ve verzi 1.1 obsahují prostorové souřadnice *x*, *y*, *z* a informace o intenzitě odrazu. Všechny body v souboru jsou klasifikovány do třídy 0 a většina bodů, kromě několika výjimek, jsou přiřazeny do kategorie 1, tedy jako první odraz (kategorií odrazu je celkem 5). Zajímavými informacemi vyčtenými z hlavičky souboru surových dat jsou, mimo jiné, datum skenování jednotlivých pásů, maximální počet detekovaných odražených pulsů a celkový počet zaznamenaných pulsů.

Primární data z LLS nám umožňují vizuální kontrolu území či například možnost zjistit prázdná místa, kde nebyly zaznamenány žádné odražené impulzy. Většinou se jedná o vodní plochy, u kterých bývá energie laserového paprsku zcela pohlcena (závisí na vlnové délce vysílaného paprsku, např. skener s vlnovou délkou laseru blízkou zelené barvě dokáže proniknout do malé hloubky vodní plochy a skenovat reliéf dna; *Cracknell a kol. 2007*, 93). Prázdná místa v mračně naskenovaných bodů, tzv. díry, lze zaznamenat v surových datech spíše jako místa s malou hustotou bodů. Obvykle se jedná o místa o velikosti od 4 m² do 25 m², výjimečně do 40 m², v nichž není zaznamenán žádný odražený bod. Po odfiltrování vegetace a chybných odrazů se v reliéfu terénu objeví další podobná místa bez odrazu. Tato místa jsou v surových datech zakrývána signály odraženými od velmi hustého pokryvu vegetace, která laserovému paprsku znemožnila proniknout na povrch.

Z časového hlediska, kdy ještě není vytvořen DMR 5G existují data po tzv. robustní filtraci. Jedná se o automatickou klasi-

fikaci surových dat do několika samostatných skupin značených písmeny (b – budova, e – hluboká chyba /bod 10 m pod terénem/, g – terén, h – výšková chyba a překážka /bod výše jak 46 m nad terénem/, m – most, v – vegetace). K interpolaci modelu reliéfu se využívá soubor typu g (terén), který obsahuje body terénu, některé body nízké vegetace a různá chybná měření. Po zpracování a manuální editaci dat vznikne přesný DMR 5G.

Zpracovaná data z LLS do podoby DMR 4G jsou potřebným mezikrokem k vytvoření přesnější 5. generace. Vzhledem k automatické a rychlé produkci modelu se jedná o první finální produkt, který lze zakoupit již pro celé pásmo Střed i Západ. Finální DMR 5G je zatím dostupný jen pro malou část České republiky. Tento časový odstup je zapříčiněn zdlouhavým a časově náročným poloautomatickým zpracováním dat. Časově náročná je zejména lidská interakce kontroly filtrace dat, kdy na 1 km² je zapotřebí cca 1 hodina manuální editace vyfiltrovaných bodů. Z DMR 5G bude generován nový přesnější výškopis a rovněž aktualizován polohopis Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED).

2.3 Přehled základních procesů pořizování, zpracování dat a vznik konečných produktů

Obecně technicko-metodické poznání dat z LLS, zejména způsoby vzniku a zpracování dat, tvoří základ k porozumění této problematice a optimálnímu vyhodnocení poskytovaných produktů. Z toho důvodu budou podrobněji pojednány procesy transformující data od jejich pořízení do konečných výstupů.

2.3.1 Postup a způsob skenování

Pro účel celkového naskenování České republiky bylo celé území rozděleno na 3 pásma, tedy obdobně, jako periodické snímky ČR pro měřičské účely, které probíhá od roku 2003. Vhodné období ke sběru lidarových dat bylo stanoveno na dobu vegetačního klidu, zároveň s absencí sněhové pokrývky. Nejdříve bylo skenováno pásmo Střed (od 20. 11. 2009 do 10. 10. 2010), avšak realizace musela být z důvodu dlouho se držící sněhové pokrývky a erupce islandské sopky Eyjafjallajökull uskutečněna i v méně příznivém období během letních měsíců, kdy bývá nejhustší vegetace. Druhé pásmo Západ bylo skenováno v období od 11. 10. 2010 do 27. 6. 2011, poslední pásmo Východ by mělo být dokončeno v letošním roce.

Skenování probíhalo v pronajatém speciálním letounu Turbolet L 410 FG s nainstalovaným systémem LiteMapper 6800 se skenerem Riegl LMS Q-680, záznamovým zařízením, palubní aparaturou GPS Nova Tel a inerciální měřičkou jednotkou (IMU) firmy IGI (technické parametry viz Šíma 2011, 8). Záznam dat probíhal v jednotlivých blocích z průměrné výšky 1200 nebo 1400 m nad střední rovinou terénu. Pro bloky bez vzrostlé vegetace byla stanovena výška letu 1400 m a frekvence laserových pulsů 80 kHz s nasnímáním bloku ve 12 pásech. V blocích s hustou vegetací musely být parametry pro zajištění lepší průchodnosti laserového pulsu upraveny na leto-

vou výšku 1200 m s frekvencí 120 kHz a pokrytím na 14 pásů. V rovinatém území překryv pásů činil až 50 % a v horském terénu 35 %. Použitý typ skeneru využívá pro rozmetání laserového paprsku rotující hranol a dokáže zaznamenat neomezený počet odrazů od překážek (tzv. full wave; srov. Doneus – Briese 2006; Doneus a kol. 2008).

2.3.2 Postup zpracování získaných dat

Zaznamenaná nezpracovaná surová data ze skeneru se ukládají ve formátu .las, v tomto případě ve verzi 1.1. Jedná se o celosvětově uznávaný normalizovaný formát souborů definovaný americkou společností *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*. Surová data ve formátu .las obsahují základní informace, zejména souřadnice odraženého bodu, intenzitu odrazu (zaznamenaná energie zpětné odezvy signálu) atd. Poslední představená verze formátu je 1.4, která obsahuje větší množství informací z průběhu skenování (např. zaznamenané souřadnice senzoru, který odvysílal laserový paprsek).

Ke zpracování surových dat jsou využívány speciální softwarové nástroje a programy (např. IGIPlan Mission Planning Software, AEROoffice Software, GrafNav GPS Postprocessing Software, RiPROCESS 560, RiWORLD 560, RiANALYZE 560 a SCOP++ 5.4 firmy INPHO GmbH). První fázi zpracování dat tvoří tzv. *předzpracování* (pre-processing), při kterém dochází k analýze nezpracovaných dat a nalezení jednotlivých odrazů, georeferencování jednotlivých odrazů paprsků a také k transformaci souřadnic a výškopisných údajů. Data jsou převáděna do souřadnicového systému UTM na elipsoidu WGS 84-G873 a ve výškovém systému Bpv.

Další krok při zpracování dat představuje tzv. *robustní filtrace* aplikovaná programem SCOP++. Tato automatizovaná metoda vyseparuje body do několika samostatných skupin podle dopadu laserového paprsku na terén (včetně skal), vegetaci, stavby, výškové překážky leteckého provozu a chybná měření (např. letící pták). Úspěch této metody je závislý na době realizace leteckého laserového skenování (vzrůst vegetace). V období od března do května úspěšnost dosahuje 90 %, pro období červen až září tato hodnota klesá na 30 – 40 %, a je tak potřeba manuální korektury. Tento podklad tvoří bázi pro vznik 4. a 5. generace.

2.3.3 Vznik DMR 4G

Pro vznik tohoto modelu reliéfu je území rozděleno do čtvercové sítě o délce strany 5 m. V každém čtverci je poté vybrán jeden reprezentativní bod (tzv. uzlový bod), který by měl mít nejnižší nadmořskou výšku a měl by reprezentovat skutečnou úroveň terénního reliéfu. Při tomto procesu se navíc kontroluje, zda se výška uzlového bodu příliš neodlišuje od okolních bodů. Velký rozdíl výšek totiž indikuje zbloudilý bod, a proto bývá ve stejném čtverci vybrán jiný nejnižší uzlový bod. Výsledným produktem je množina nerovnoměrně rozložených uzlových bodů reliéfu. V následujícím kroku jsou vybrané uzlové body manu-

álně kontrolovány a odstraněny jsou hrubé chyby. Poté jsou uzlové body transformovány do referenčního systému JTSK. Nepravidelná síť uzlových bodů je prostřednictvím interpolačního algoritmu zformována do pravidelné čtvercové sítě s rozměry 5 x 5 metrů, čímž vzniká konečný DMR 4G.

2.3.4 Vznik DMR 5G

Velkým problémem pro vznik DMR 5G v případě pásma Střed bylo získávání lidarových dat i v nepříznivých podmínkách; část území musela být skenována v hlavním vegetačním období. Robustní filtrace tak nesprávně přiřadila část bodů nízké vegetace do skupiny reliéfu, přičemž manuální oprava pro velké území nebyla možná. Z toho důvodu bylo naskenované území podobně jako v případě generování DMR 4G rozděleno do čtvercové sítě 5 x 5 m a v každém čtverci vybírán nejnižší reprezentativní bod reliéfu. Tento princip byl však vylepšen o předem definovaný výběr polygonů, které do této čtvercové sítě mohly být rozděleny. Uzlové body byly tedy vybírány jen z polygonů orné půdy dodaných Ministerstvem zemědělství a navíc z nově manuálně vytvořených polygonů ze stínového zobrazení reliéfu za splnění určitých kritérií: muselo se jednat o areály zemědělsky obhospodařované (louky, pastviny či orná půda), oblasti s nerovnostmi terénu, které mají zjevně dočasný charakter a oblasti, kde se nesměly vyskytovat žádné ostré zlomy (strouhy a terénní hrany), které by tato metoda mohla z modelu odstranit. Pro ostatní polygonové území byl vybrán reprezentativní bod s nejnižší výškou reliéfu ve čtvercové síti 1 x 1 m. Toto řešení bylo vybráno z důvodu nekonzistentní hustoty dat a došlo tak k odstranění nepodstatných nerovností terénu.

Území, které neobsahovalo žádná naměřená data, bylo doplněno o umělé body prostřednictvím interpolace, jež vycházela z nepravidelné sítě okolních blízkých bodů reprezentujících nadmořskou výšku v těchto místech. K tomu účelu byl použit algoritmus Fill-Void Areas v programu SCOP++, kde byla nastavena hodnota pro plochu 25 m², v níž nebyl zaznamenán žádný odraz. Umělé body tak byly doplněny v pravidelné mřížce 5 x 5 m.

V dalším kroku byla nerovnoměrně rozložená data reprezentovaná původními i interpolovanými body zjednodušována při zachování maximální úplné výškové chyby. Ředění dat probíhá z důvodu výskytu možných drobných chyb pocházejících z nízké vegetace. Dále také dochází k odstranění nadbytečných bodů a k úpravě výšky bodů s povolenou maximální změnou 0,16 m.

Získaná data reliéfu nadále procházela testováním absolutní přesnosti výškového měření. K tomuto testu bylo využito 178 komparačních základů, které obsahují polohová a výšková pole, zaměřená GPS v režimu RTK zpřesnění. Komparační základny byly záměrně umístovány do rovných ploch, jakými jsou fotbalová hřiště, tenisové kurty, náměstí atd. Jejich rozměry obvykle činily kolem 50 x 50 m. Posouzením absolutní výškové přesnosti leteckého laserového skenování byla zjištěna systematická chyba měření po vyrovnání sousedních pásů

a bloků v pásmu Střed o -0,034 m. Z dat DMR 5G byla proto hromadně odstraněna.

V posledním kroku byly separovány uměle vytvořené výškové body, které vznikly v místech se sníženou kvalitou výškových dat. Zpracovaná data byla posléze transformována do referenčního systému S-JTSK ve výškovém referenčním systému Bpv.

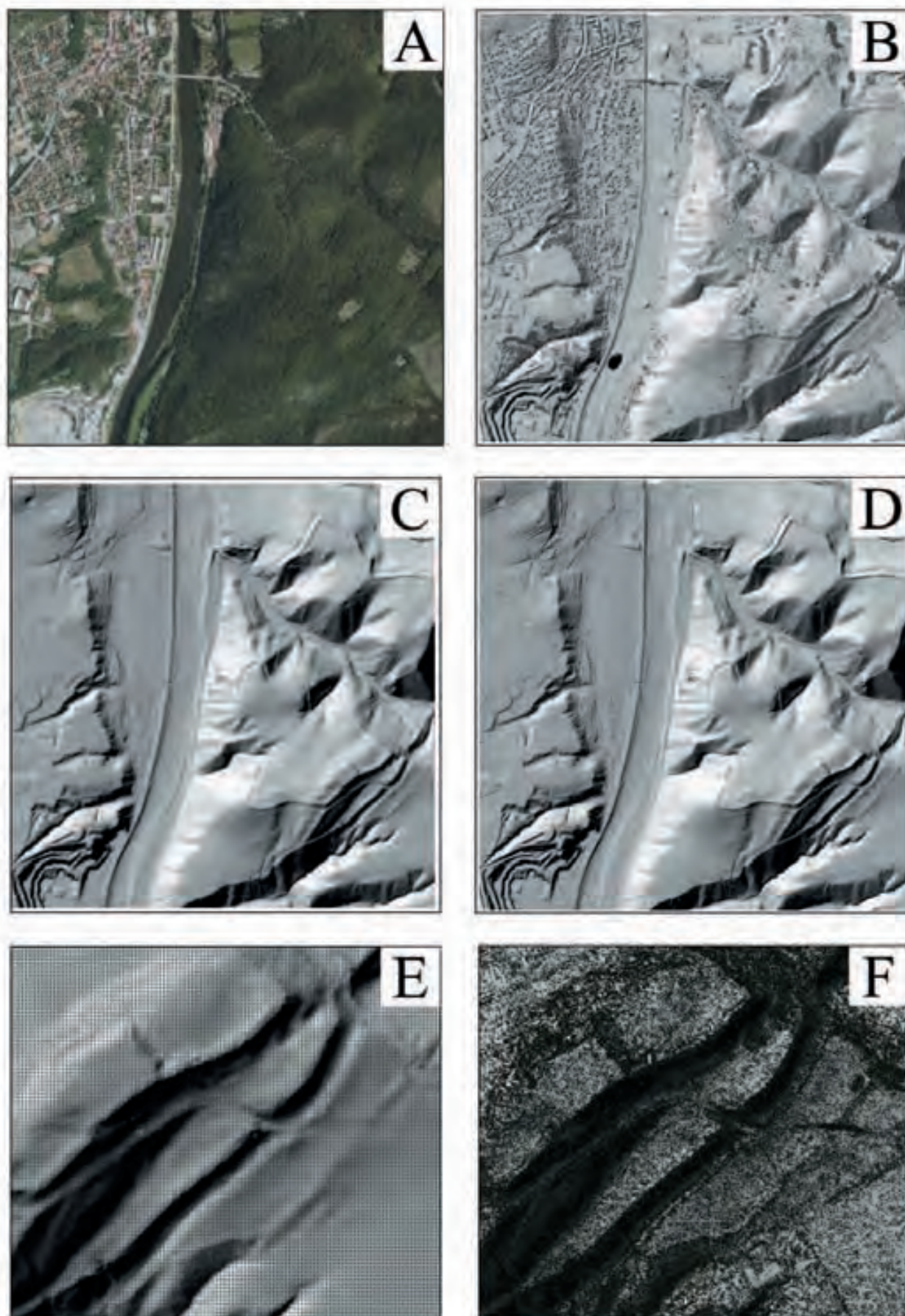
2.4.1 Ukázka typů zapůjčených dat a jejich zhodnocení pro případné archeologické bádání

Pro badatelské účely Český úřad zeměměřičský a katastrální umožnil zapůjčení několika druhů předzpracovaných či konečných produktů lidarových dat. Rozmanitost typů dat byla klíčová pro zhodnocení archeologického potenciálu a k porozumění limitů skenovací technologie. Pro snazší představu budou data sledována na dvou konkrétních územích. První zahrnuje hradiště Závist situované na k. ú. Praha 12 (obr. 1A), kde budou stručně představena surová data, stejně jako data 4. a 5. generace. Pro území zaniklé středověké vsi Chýlava (okres Plzeň-jih) pak byla poskytnuta data upravená robustní filtrací.

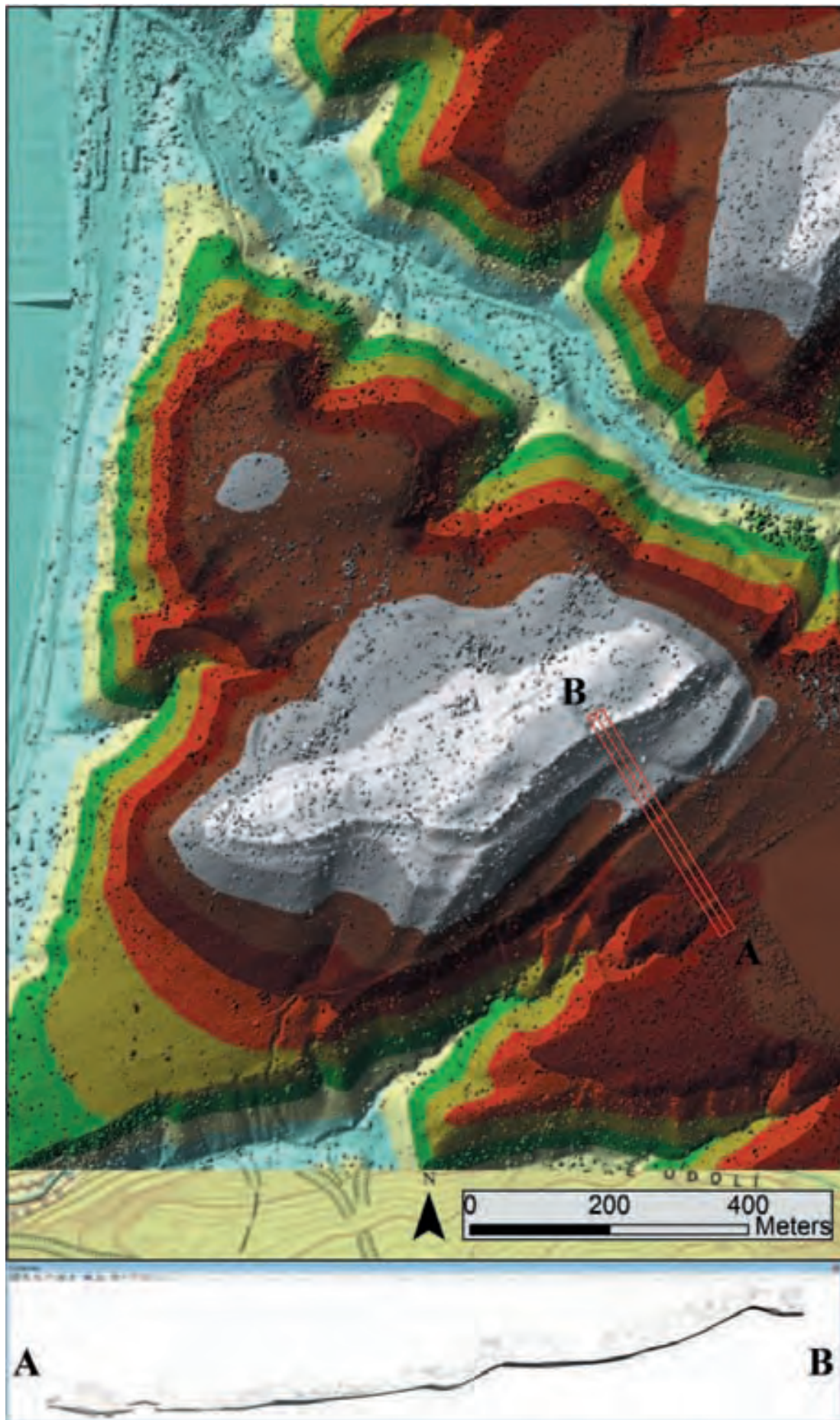
Mapový list zahrnující hradiště Závist o rozměrech 2 x 2 km se v surových datech skládá z 5 souborů o celkovém počtu 4 887 205 odražených bodů a datové velikosti 130 MB. LLS bylo provedeno 5. 5. 2010. V mapovém listu kromě hradiště Závist je také zahrnuto část obce Záběhlice, řeky Vltavy a povrchového dolu. Data ve formátu *.las* nejsou klasifikována a obsahují všechny odrazy a chybná měření. Vizualizací těchto dat prostřednictvím stínového náhledu lze zachytit povrch s vegetací, tedy i koruny stromů, střechy budov, most přes řeku, jen na některých místech pak obnažený reliéf (obr. 1B). Odrazy nad úrovní reliéfu jsou názorně demonstrovány i řezem surovými daty v prostoru hradiště Závist, kde jsou kromě odrazů od úrovně terénu patrné zejména odrazy od vegetace či střechy budovy (obr. 2).

Nevýhodou modelu čtvrté generace je velké ředění primárních dat a ztráta detailních informací o reliéfu. Tento model v časovém horizontu před prezentací 5. generace je vhodný pouze k některým specifickým úlohám v makro měřítku. List DMR 4G sestává z interpolovaných bodů v pravidelné mřížce 5 x 5 m, celkový počet bodů na jeden list 2 x 2 km je 160 000 bodů (obr. 1E). V souboru *.xyz* jsou data uložena ve formátu ASCII s prostorovými souřadnicemi *x*, *y* a *z*. Z DMR je odfiltrována všechna vegetace, budovy, mosty a vodní plochy jsou plošně vyplněny. Zaznamenány jsou jen výrazné topografické prvky reliéfu a důležité detaily reliéfu zde zcela chybí (obr. 1C).

Na modelu 5. generace je rovněž odstraněna vegetace, budovy či mosty, velké vodní plochy jsou ponechány bez dat (po interpolaci pak tato místa nejsou viditelná). Data jsou také uložena ve formátu ASCII s hodnotami souřadnic *x*, *y* a *z*. Interpolovaný reliéf terénu z DMR 5G celého mapového listu hradiště Závist obsahuje 1 028 567 bodů. Na modelu reliéfu jsou patrné detailní struktury včetně malých antropogenních tvarů (obr. 1D, 1F).



Obr. 1 – Ukázka typů dat od ČÚZK na příkladu hradiště Závist; A – ortofoto, B – surová data, C – DMR 4G, D – DMR 5G, E – detail DMR 4G se změřenými body LLS, přístupová cesta v JV části hradiště, F – detail DMR 5G se změřenými body LLS, přístupová cesta v JV části hradiště (autor J. Plzák).
Fig. 1 – A sample of the types of data from the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre on the example of Závist hillfort; A – orthophoto, B – raw data, C – DTM 4G, D – DTM 5G, E – detail of the DTM 4G with measured ALS points, access road to the SE part of the hillfort, F – detail of the DTM 5G with measured ALS points, access road to the SE part of the hillfort (author: J. Plzák).



Obr. 2 – Řez hradištěm Závist v surových datech (autor J. Plzák).
Fig. 2 – A cut through Závist hillfort in raw data (author: J. Plzák).

Data po robustní filtraci jsme měli k dispozici jen pro oblast Chýlava, kde v době psaní příspěvku zatím nebyl hotový DMR 5G. Po robustní filtraci v naskenovaných datech vznikají velké díry, některé body se nacházejí nad sebou nebo velmi blízko u sebe a v datech zůstávají hrubé chyby. Z toho důvodu při takto rozložených datech vznikají při interpolaci různé problémy (srov. dále; obr. 3). Jeden mapový list s rozměry 2 x 2 km obsahuje 3 107 486 bodů.

2.4.2 Zhodnocení typů dat pro případné archeologické bádání

Surová data poskytují o poznání více informací než zpracované finální produkty. Dozvíme se z nich například, kdy bylo zájmové území skenováno (tento údaj může být podstatný zejména pro hustě zalesněná území), díky čemuž můžeme lépe usuzovat na finální kvalitu DMR. Surová data ve formátu *.las* se hodí především pro účely vlastního zpracování a vyhodnocení dat. S jejich uplatněním však je možné odhalit skutečnou hustotu zaznamenaných odrazů reliéfu v zájmovém území.

DMR 4G využívá jen nepatrnou část z velkého množství zaznamenaných bodů, a zaznamenává proto jen výrazné topografické prvky reliéfu. Z důvodu výrazného zředění dat jsou všechny méně patrné tvary, jež jsou často antropogenního původu, opomenuty. Z archeologického hlediska je tak vhodný pouze k některým specifickým úlohám, ale ne k vyhledávání neznámých reliéfních struktur.

Mezikrokem k datům 5. generace jsou data po robustní filtraci. Obsahují mnoho chyb, které ovlivňují a zakrývají body reliéfu. Svoji kvalitou se ale nejvíce blíží podobě DMR 5G. Ten je pro budoucí virtuální povrchovou prospekci krajiny dostatečně kvalitní, i když jeho intence je zamýšlena pro jinou aplikaci. Při případném odborném vyhodnocení těchto dat si musíme být vědomi jejich limitů. Mezi nejvýznamnější patří místa bez zaznamenaných odrazů, kam jsou body následně interpo-

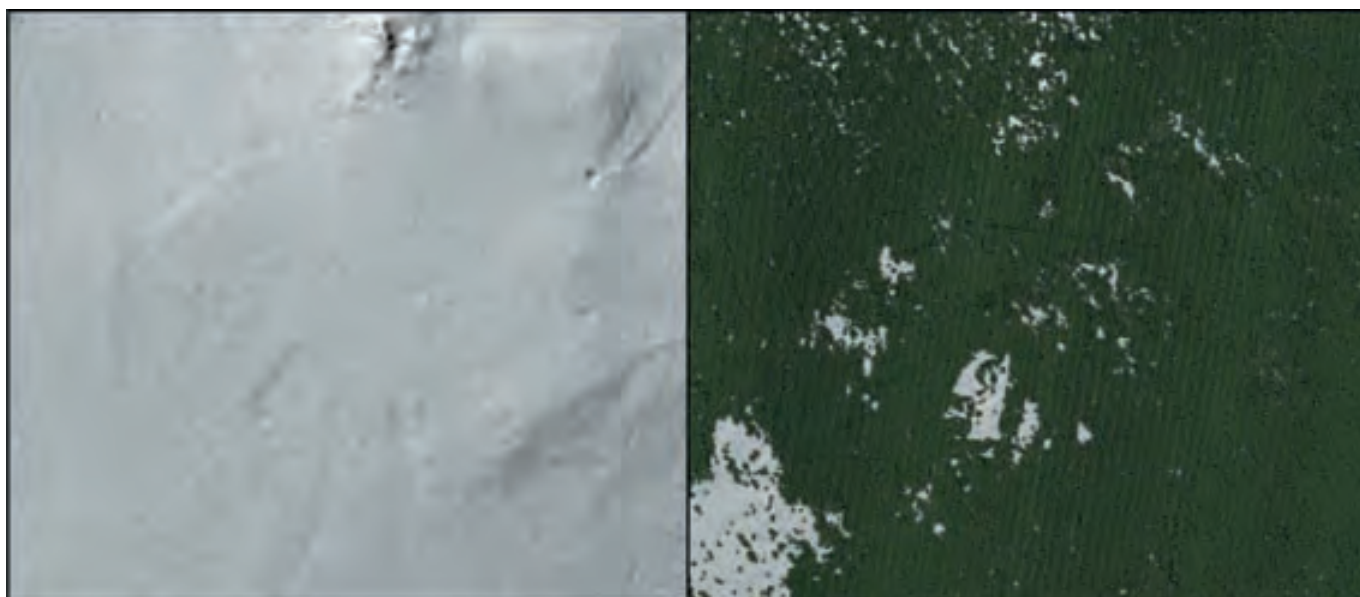
lovány, čímž je v těchto místech absolutně vyloučené zachycení případných reliéfních struktur.

DMR 4G a 5G vznikají profesionálním zpracováním, a proto nevykazují žádné anomálie. Dle potřeby rozlišení a kvality se oba modely aplikují k různorodým úkolům. DMR 4G je ale pro podrobnou virtuální povrchovou archeologickou prospekci zcela nevhodný a nedostatečný, mnohem vyšší uplatnění, i přes některé limity, má v tomto ohledu DMR 5G.

2.5 Celkové shrnutí dat od ČÚZK

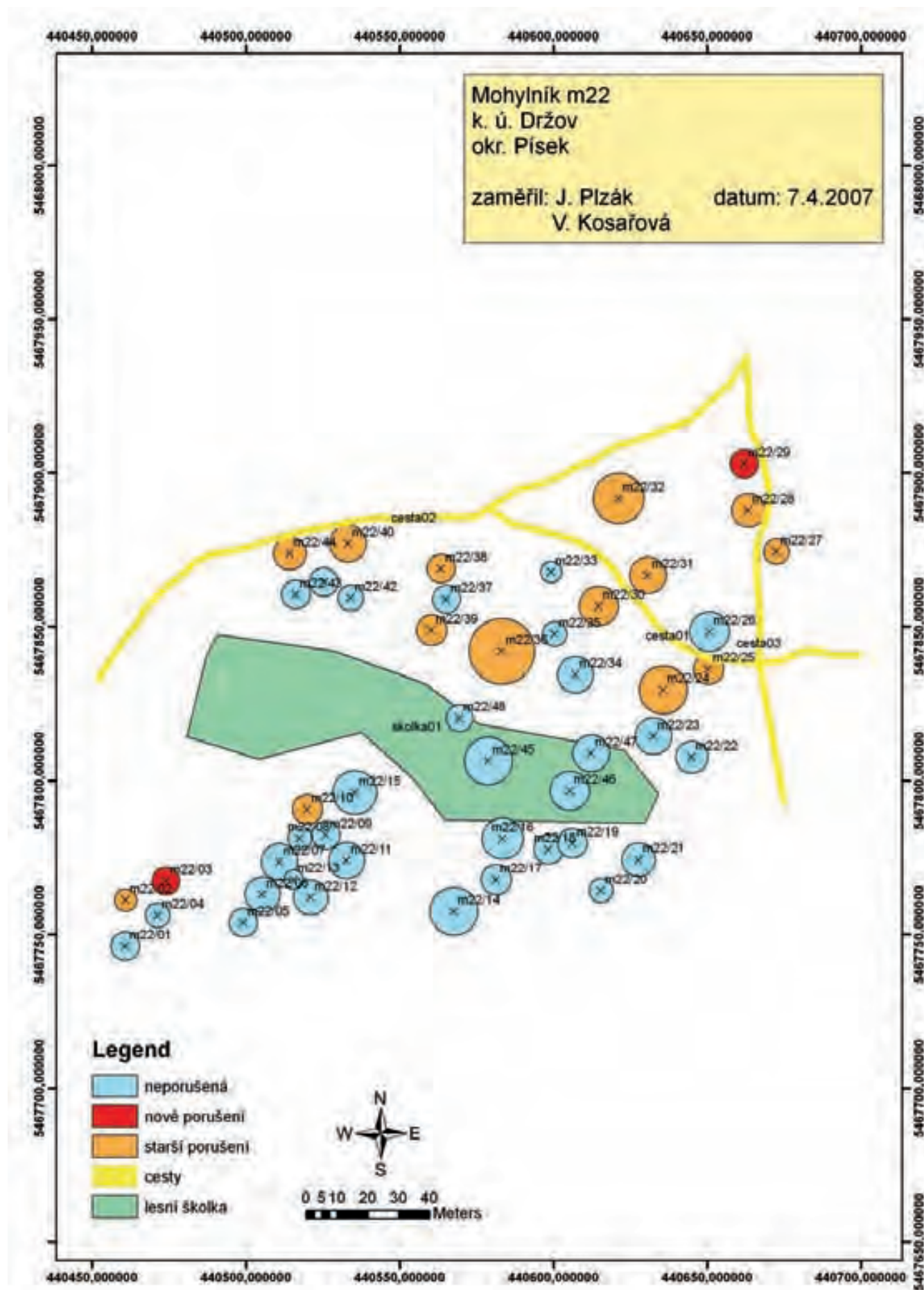
Geodeticky přesné zpracování dat je z důvodu zvolené metodiky, časové náročnosti i nárokům na softwarové vybavení velice pracné. Během oficiálního zpracování se s daty provádí různé změny, výpočty a korekce, které přispívají k maximální přesnosti a kvalitě zpracovaných dat. Během těchto činností zmizí v datech chyby vzniklé při skenování a některé nepřesnosti jsou zaretušovány. Všechny tyto úkony jsou realizovány bez ohledu na zachycení málo významných reliéfních tvarů, které naopak za důležité považují archeologové. Neznalostí těchto procesů během využívání finálních produktů jinými vědeckými disciplínami, než pro které byla data původně určena, mohou vznikat nepřesné interpretace dat i výsledky prostorových analýz.

K podstatným informacím patří způsoby zacházení s místy bez změřených odrazů. Pro data DMR 4G budou v těchto místech interpolovány rovné plochy podle okolních nejnižších bodů a pro data DMR 5G budou ve velkých dírách generovány umělé body podle specifického algoritmu v mřížce 5 x 5 m dle postupů zpracování digitálních modelů reliéfů ČÚZK. Finální produkty DMR žádné díry v datech neobsahují a případné antropogenní reliktů v těchto místech nemohou být rozpoznány, jelikož prostorové informace o nich v primárních datech zcela chybí. Ve zpracovaných datech jsou tato místa uměle záplatována proto, aby výsledný produkt mohl být správně interpolován.



Obr. 3 – Ukázka dat po zpracování robustní filtrací na příkladu ZSV Chýlava (autor J. Plzák).

Fig. 3 – A sample of the data after a robust filtration on the example of the DMV of Chýlava (author: J. Plzák).



Obr. 4 – Záznam stavu mohylníku z terénního průzkumu (autor J. Plzák).

Fig. 4 – A record of the state of the barrow site from a field survey (author: J. Plzák).

2.6 Metody filtrování a klasifikování dat

Jeden z klíčových kroků v procesu záznamu a optimalizace zobrazení digitálních modelů představují metody filtrace. K úspěšnému vyhodnocení mikroreliefu je třeba vhodný výběr procedur; tento krok zpracování značně rozhoduje o kvalitě zachování detailů reliéfu v digitálním modelu.

LLS registruje dle specifikace metody skenování několik milionů až miliard odrazů. Mračno bodů obsahuje i vícenásobné odrazy a pro zpracování konkrétních typů dat je zapotřebí vymezit vhodné body odrazu, které náleží do stejné skupiny. K vyčlenění DMR je nutné vybrat jen ty body, které byly odrazeny od úrovně terénu. V mračně bodů se rovněž vyskytují odrazy od vegetace, přičemž i poslední odraz nemusí být uskutečněn od reliéfu, ale právě od poslední větve stromu či keře.

Vyčleněním a zpracováním zvolené skupiny dat z LLS se zabývají metody filtrace či klasifikace. Obě metody zpracování si jsou podobné a v odborné literatuře jsou popsány jako odstranění nechtěných dat nebo jako modelování dat pro vytvoření specifického modelu (Axelsson 1999, 138–139). Mohou být také popsány jako vyhledávání správných měření či odstranění hrubých chyb (Pfeifer a kol. 2001). Filtrování dat většinou chápeme jako odstranění nežádoucích odrazů a nalezení správných odrazů od reliéfu. Naproti tomu klasifikaci dat rozumíme rozčlenění dat do několika samostatných skupin (budovy, stromy, terén atd.).

Extrakce vybraných dat je vždy velmi nesnadná metoda zpracování, která většinou bývá automatická či poloautomatická, jelikož manuální zpracování velkého úseku dat je časově příliš náročné. Filtrování dat probíhá dle daného matematického algoritmu, jenž dokáže nalézt body definující povrch. Různé filtrační algoritmy fungují na odlišných matematických principech, a proto ne vždy dochází ke shodným výsledkům. Každý algoritmus pro konkrétní typ dat z LLS má své výhody i nevýhody. Výčet všech známých filtračních algoritmů a popis jejich principů by přesahoval rámec tohoto příspěvku (srov. např. Kraus – Pfeifer 1998; Vosselman 2000; Sithole 2001, Sohn – Dowman 2002; Zhang a kol. 2003; Silván-Cárdenas – Wang 2006; Chen a kol. 2007; Kobler a kol. 2007; Li a kol. 2010; Sulaiman a kol. 2010). Častěji užívané algoritmy jsou např. morfologický filtr, robustní interpolace, koncept blokování minima, koncept parametrizovaného povrchu atd. (Sithole – Vosselman 2004, 87).

2.6.1 Komparace metod filtrace dat

Z důvodů nevhodnosti DMR 4G pro archeologické účely a prozatímni nedostupnosti DMR 5G pro celé území ČR jsme se pokusili otestovat, zda lze aplikací vlastních filtračních postupů dospět ke kvalitním mapovým podkladům, které by byly využitelné v archeologickém poznání krajiny a odhalení málo patrných reliéfních struktur. Kvalitu vlastních DMR budeme porovnávat s oficiálními produkty 4. a 5. generace. Tento experiment by měl tedy zhodnotit potenciál filtračních algoritmů a představit možný směr vlastního bádání nad daty z LLS.

Jelikož úzce specializované lidarové softwary bývají zpo-

platněny, byly pro zpracování dat zvoleny jiné dostupné nástroje. K zobrazení dat byla využita nejnovější verze ArcGIS 10.1, která nativně podporuje surová data ve formátu .las a umožňuje s daty jednoduché operace. K filtrování dat byly vyzkoušeny open source programy MCC (Multiscale Curvature Classification), BCAL (Boise Center Aerospace Laboratory), ALDPAT (Airborne Lidar Data Processing and Analysis Tools) a efektivní softwarový balíček pro práci s daty LAStools. Použité filtrační algoritmy v MCC a BCAL programech jsou vyvíjeny pro výzkum biomasy. Specializují se na úlohy, kterými jsou například zjišťování výšek stromů, fylogie a dalších charakteristik korun stromů. Řešením otázek spojených s vegetací dokážou tyto algoritmy rozlišit i odrazy od úrovně terénu a pracovat s nimi.

Oba filtrační algoritmy byly vyvíjeny pro jiný typ vstupních dat a každý pracuje na jiném principu. MCC je určen pro klasifikaci vysokých lesních ekosystémů a BCAL je navržen pro nízký stepní ekosystém. Hlavní rozdíl obou algoritmů tkví v postupu práce s daty. Zpracování mračna bodů probíhá v MCC od shora dolů, zatímco BCAL pracuje ze zdola nahoru (Tinkham a kol. 2011, 640). Nástroj ALDPAT byl využit jen pro některé filtrační algoritmy. Program LAStools obsahuje veškeré potřebné úkony s lidarovými daty, využit byl pro klasifikování bez využití filtrace dat. Během doby vzniku a aplikování LLS se vyvíjejí stále nové filtrační metody, které jsou s ostatními testovány a doporučovány na různé typy dat (Hasselquist a kol. 2011; Isenburg a kol. 2006).

2.6.1.1 Filtrace surových dat na území mohylového pohřebiště na k.ú. Držov (okr. Písek)

K otestování filtračních algoritmů bylo zvoleno takové území, které obsahuje velikostně heterogenní antropogenní tvary reliéfu v zalesněném prostředí, které se navíc výrazně profilují oproti okolnímu terénu. Tímto dokáže reprezentovat archeologickou situaci s maximální náročností zpracování filtračních algoritmů. Zároveň byl v tomto území proveden povrchový průzkum, jímž byly zaznamenány rozměry a rozmístění antropogenních reliktních, což vytváří optimální podmínky pro vzájemnou konfrontaci zaznamenaných skutečností.

Pro tyto účely bylo zvoleno území zahrnující mohylové pohřebiště na k. ú. Držov v okrese Písek, které bylo podrobně zmapováno v roce 2007, přičemž zde bylo provedeno i zhodnocení současného stavu dochování mohylových náspů (srov. Plzák 2008; obr. 4). Tento mohylník, jenž je datován do střední doby bronzové (Fröhlich 1997, 28) se nalézá na plošině a mírném svahu ve vzrostlém jehličnatém lese. V JZ části mohylníku se vyskytuje větší lesní školka tvořená nízkým porostem s vysokou trávou. Na lokalitě bylo v roce 2007 zaznamenáno 47 viditelných mohyl, jejichž středy byly zaměřeny stanicí GPS a následně byly pro každou z nich zjištěny rozměry. Ty se na lokalitě pohybují od malých, těžko rozeznatelných náspů s průměrem kolem 8 m a výšce 20 cm nad terénem až po velké o průměru dosahujícímu až k 20 m a výšce 150 cm.

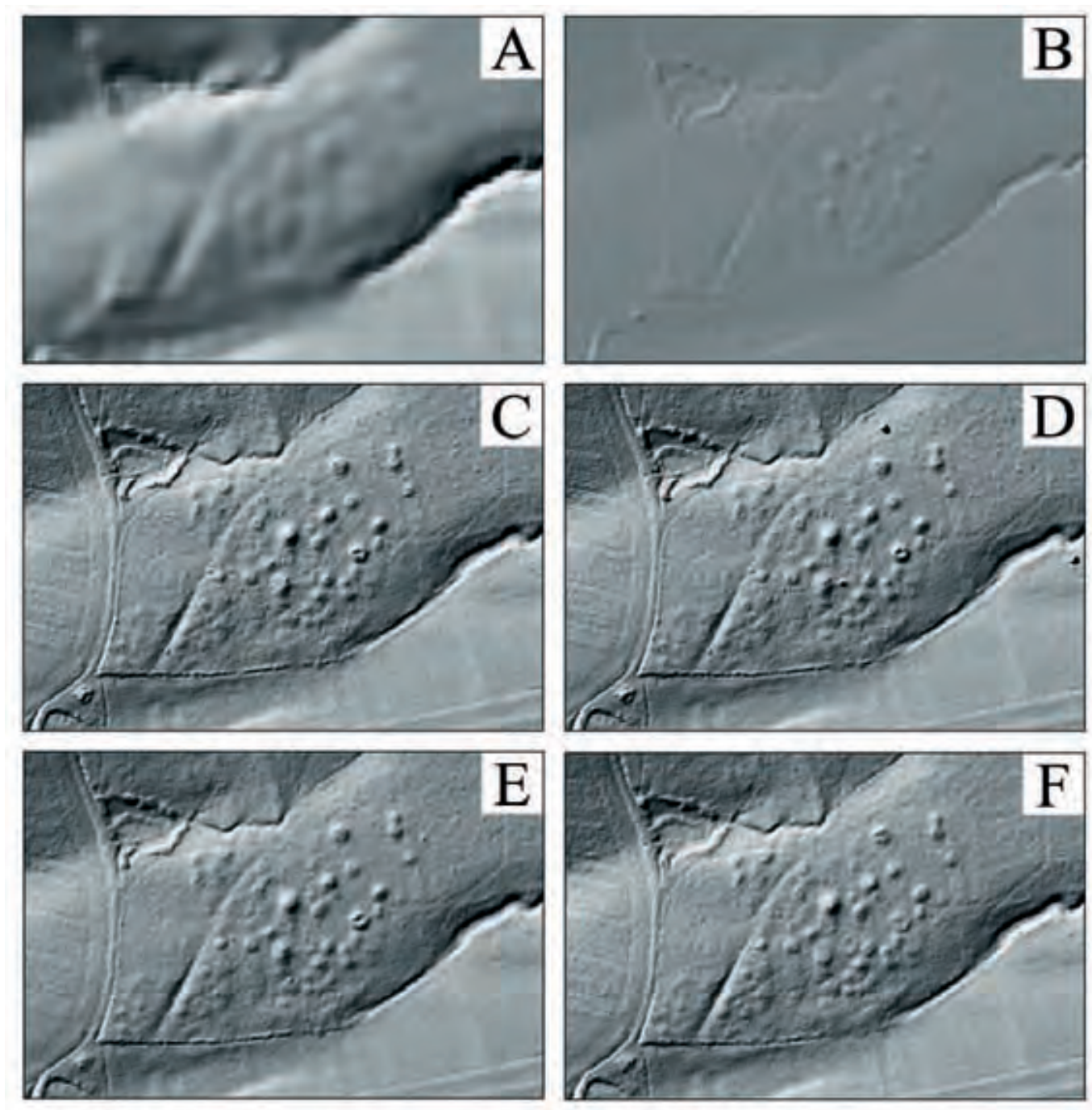
V DMR 4G je v místech mohylníku patrný jen obrys odfiltrovaného lesa a s maximálním úsilím a vědomostmi o poloze jed-

notlivých mohyl lze rozpoznat jejich rozmazané náznaky, a to především v případě těch největších mohyl (obr. 5A). V DMR 5G je možné zřetelně rozpoznat 21 mohyl identifikovaných povrchovým průzkum, nově je rozeznáno dalších 6 mohyl. Ostatní jsou méně patrné nebo zcela splývají s terénem (obr. 5B).

Při aplikaci vlastních filtračních algoritmů byl z důvodu zmenšení objemu dat a zrychlení filtrovací metody zvolen polygon zahrnující mohylové pohřebiště a pouze jeho bezprostřední okolí. Polygon obsahuje celkem 299 416 bodů, které reprezentují odrazy od reliéfu i vegetace. Zvolené území bylo naskenováno 8. 6. 2011 v pásmu Střed, tedy v době již vzrostlé

vegetace, což zapříčinilo nárůst odrazů nad úrovní terénu. Zpracovaný polygon byl pro porovnání vždy interpolován metodou Natural Neighbor s velikostí buňky 0,5 m a vizualizován stínovým modelem s azimutem světelného zdroje 315° a náklonem 45° s reprodukcí vykreslení „Esri“ (obr. 5).

V MCC algoritmu se ke vstupním datům definují dva koeficienty pro zpracování. Prvním je měřítko, jež ovlivňuje velikost základní buňky pro výpočet, druhým je zakřivení definující hranici křivosti, která popisuje vzhled terénu (Evans a kol. 2007). Nastavení vhodných hodnot vyžaduje několik pokusů,



Obr. 5 – Komparace filtračních algoritmů na surových datech, DMR 4G a 5G na mohylníku situovaném v k. ú Držov (okres Písek); A – DMR 4G, B – DMR 5G (z důvodu ne zpracovaných dat v době přípravy textu je použitý dostupný náhled), C – MCC, D – BCAL, E – ALDPAT, F – LAsTools (autor J. Plzák).

Fig. 5 – A comparison of the filtration algorithms on raw data, DTM 4G and 5G on the barrow site situated in the cadastral area of Držov (Písek region); A – DTM 4G, B – DTM 5G (a preliminary caption is used because of unfinished analysis of the data at the time of publication), C – MCC, D – BCAL, E – ALDPAT, F – LAsTools (author: J. Plzák).

než se posouzením výsledků najdou ty nejideálnější pro dané území. Pro polygon byl zvolen koeficient měřítka 2 a parametr zakřivení 0,4. Výsledkem klasifikace dat je mračno bodů rozlišující odrazy reprezentující úroveň terénu od všech ostatních odrazů. Výsledný DMR s 278 774 body byl vytvořen v prostředí ArcGIS 10.1 odstraněním nepodstatných chyb ředěním nejnižších výškových hodnot. Vizualizací klasifikovaných odrazů byl detailně vykreslen reliéf náspů mohyl, cest a terénních hran (obr. 5C). Místa, v nichž nedošlo k žádným odrazům od reliéfu, jsou prezentována jako hladké struktury, které spíše vznikají zvolenou interpolační metodou. V mohylovém pohřebišti se nevyskytují hrubé chyby, které by vznikly nesprávným klasifikováním mračna bodů. Ojedinele jsou zde vidět nepatrné ostré hrbolky, které jsou pozůstatkem obtížně odfiltrovatelné nízké vegetace. Velké mohyly jsou zde dobře čitelné, menší jsou vidět minimálně v náznacích.

Klasifikování dat algoritmem BCAL probíhá na stejném principu jako předešlá metoda. Liší se jen zadáváním jiných proměnných před spuštěním procesu. Jedná se o definování velikosti buňky pro analýzu, nastavení prahové hodnoty, výběr interpolační metody a maximum iterací algoritmu. Pro vstupní data byly nastaveny nejvhodnější zjištěné hodnoty, tedy velikost buňky 2, práh 1, interpolace Natural Neighbors a maximální počet opakování 15. Výsledný DMR obsahoval 285 604 bodů. Extrahování odrazů od úrovně terénu provedl algoritmus téměř úspěšně. Na pohřebišti se ale vyskytly dvě hrubé chyby, které nepatří do třídy bodů reliéfu. Stínový model (obr. 5D) zde opět dobře zobrazuje velké a menší mohylové náspy. Hrany mohyl a terénních hran jsou ostře vykresleny, přestože DMR obsahuje nepatrné množství menších chyb, když na některých místech zahrnuje i nízkou vegetaci.

V programu ALDPAT byl vyzkoušen jen jeden z mnoha algoritmů klasifikování. Nastavení hodnot u filtrovacího algoritmu progresivní morfologie bylo komplikované, a proto bylo ponecháno na výchozích hodnotách. Celkový počet bodů činil 57 631. Filtr morfologie z polygonu odstranil velké oblasti, které ale nezasáhly do zájmového území pohřebišť. Výrazným zlepšením je minimální zastoupení drobných chyb ve formě ostrých hrbolků. Celkový DMR (obr. 5E) je více vyhlazen, malé i velké mohylové náspy jsou zde přesto dobře patrné.

Poslední testovaná metoda zahrnovala aplikování malé části podobného procesu vedoucího ke vzniku oficiálních DMR 4. a 5. generace. K tomu byl využit program LAsTools. Ve vybraném polygonu byly v buňkách 1 x 1 m vybrány všechny nejnižší umístěné body. Poté byly vybrané body nástrojem na extrahování povrchu klasifikovány. Celkový počet bodů představovalo množství 203 868. Vyhledání nejnižších bodů terénu v metrové buňce způsobilo minimální narušení povrchu nízkou vegetací, zároveň však některé velké mohyly ztratily na své výšce. Ostatní detaily DMR byly však zachovány (obr. 5F).

Výstupy všech filtračních algoritmů zachycují průběh reliéfu lépe než DMR 4G a jsou téměř srovnatelné s DMR 5G. Vzájemné srovnání výsledných filtrací je však obtížnější. DMR se od sebe liší jen v drobných detailech. Pominutím hrubých chyb, které vznikají nesprávným či nevhodným nastavením vnitřních parametrů filtrace, lze v odfiltrovaných DMR nejsnadněji pozorovat ty méně patrné, jež jsou způsobeny nesprávně klasifikovanou nízkou vegetací. Odstranění těchto chyb lze provést manuálně, vyhlazením povrchu či aplikováním specifické filtrace zaměřené na opravu právě těchto chyb. Nejlepší výsledky tak poskytuje filtrační metoda realizovaná v programu LAsTools, jež množství těchto drobných chyb minimalizuje. Za druhou nejlepší metodou považujeme progresivní morfologii, která však výsledný DMR až příliš vyhlazuje.

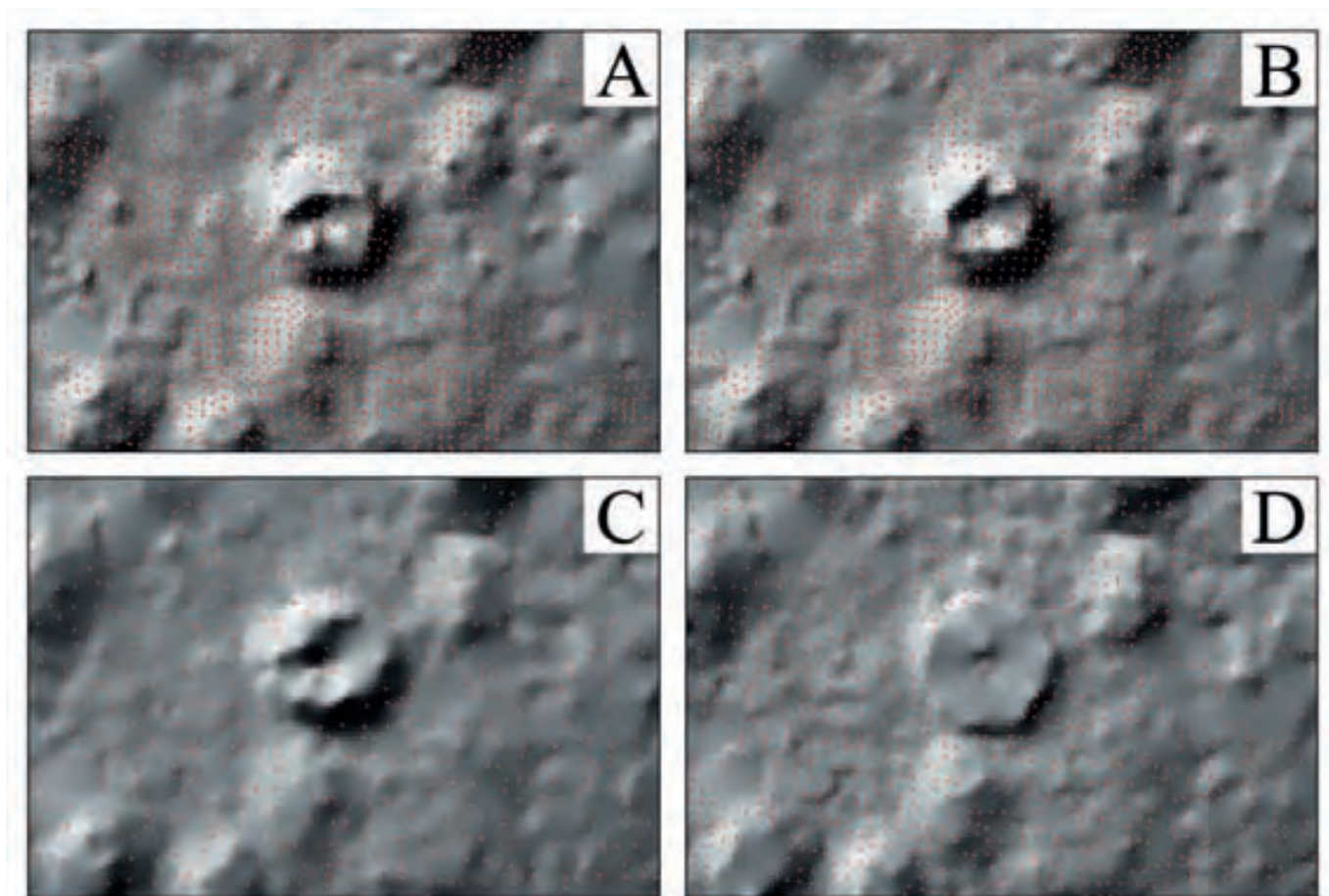
Přesný vzhled náspů mohyl nelze porovnat se skutečností, jelikož tvar mohyl při terénním průzkumu nebyl zaznamenán. Jedinou výjimku představuje mohyla číslo 24 o průměru 15,7 m a výšce 120 cm, v jejímž plášti bylo registrováno starší porušení s průměrem 6,1 m a hloubkou 105 cm. Vizualizaci tvaru pláště ovlivňuje typ interpolace a především celkový počet a rozložení klasifikovaných bodů úrovně terénu. Největší počet bodů a husté rozložení zaznamenaly metody MMC a BCAL (obr. 6A, 6B). Interpolovaný tvar pláště mohyly byl zdařilý oproti tvaru z filtrování programem LAsTools (obr. 6D). Plášť byl nejlépe vykreslen v případě filtrování odrazů prostřednictvím progresivní morfologie použitou programem ALDPAT (obr. 6C).

Poloha cest a středů mohyl zaměřených GPS stanicí během terénního průzkumu souhlasí se situací na DMR, čímž byla ověřena přesnost GPS měření v zalesněném prostředí. Rovněž odpovídá i změřený průměr u většiny mohyl (obr. 7). Nepatrné, těžce rozpoznatelné mohyly nebyly zřetelněji zvýrazněny žádným filtračním algoritmem.

2.6.2 Shrnutí výsledků komparace filtračních algoritmů lidarových dat

Výsledky filtrování surových dat nejvíce ovlivňují dva faktory. Prvním je vznik dat během skenování, což determinuje hustotu měřených bodů v zalesněném prostředí a jejich celkovou kvalitu. Druhý faktor představuje volba metody zpracování a matematického algoritmu. Kvůli velkému objemu dat se využívá automatické zpracování, které musí dokázat pracovat s odlišnými profily terénu v rámci jednoho velkého souboru. Kvalitu následných interpolací DMR výrazně ovlivňuje filtrování dat, pro práci s lidarovými daty je však potřebná i správná klasifikace dat do jednotlivých skupin.

Filtrováním zvoleného polygonu byla shledána skutečnost, že surová data z LLS od ČÚZK dosahují velice malé hustoty, která se dle zvoleného území obvykle pohybuje kolem 1 bodu/m², v některých případech dokonce i méně. Hustota dat 5. generace činí v průměru pouze okolo 0,25 bodu/m². Při rozmístění bodů v nepravidelné síti vznikají různě rozsáhlá



Obr. 6 – Komparace filtračních algoritmů na surových datech, detail mohyly číslo 24 s klasifikovanými body reliéfu; A – MCC, B – BCAL, C – ALDPAT, D – LAStools (autor J. Plzák).
Fig. 6 – A comparison of the filtration algorithms on raw data, a detail of the barrow 24 with classified relief points; A – MCC, B – BCAL, C – ALDPAT, D – LAStools (author: J. Plzák).

místa s malou hustotou bodů, v nichž tak zcela chybí či není dostatečně zaznamenána geometrie povrchu. Zpracovávaný polygon jasně prokázal limity takto málo hustých dat. Méně výrazné antropogenní reliktly byly v některých případech téměř nezaznamenané a větší místa s minimem odrazů mohou případné reliktly maskovat tím, že odsud nepochází dostatečná data, a proto tato místa představují nezmapovanou oblast. Tyto problémy se vztahují jak ke konečným produktům 4. či 5. generace, tak i pro mapové podklady generované vlastním filtrováním surových dat. Při takto nízkém počtu odrazů od reliéfu se rapidně zvyšuje důležitost správně klasifikovaných bodů. Jejich případným chybným odfiltrováním se ve výsledném DMR může zcela pozměnit průběh reliéfu, což bylo demonstrováno tvarem pláště mohyly číslo 24 (viz obr. 6). Naskenovaná surová data obsahují různé chyby či nepřesnosti, které se při zpracování musí zredukovat na minimum. Velký problém představuje i nízká vegetace, kterou lze identifikovat jen s obtížemi.

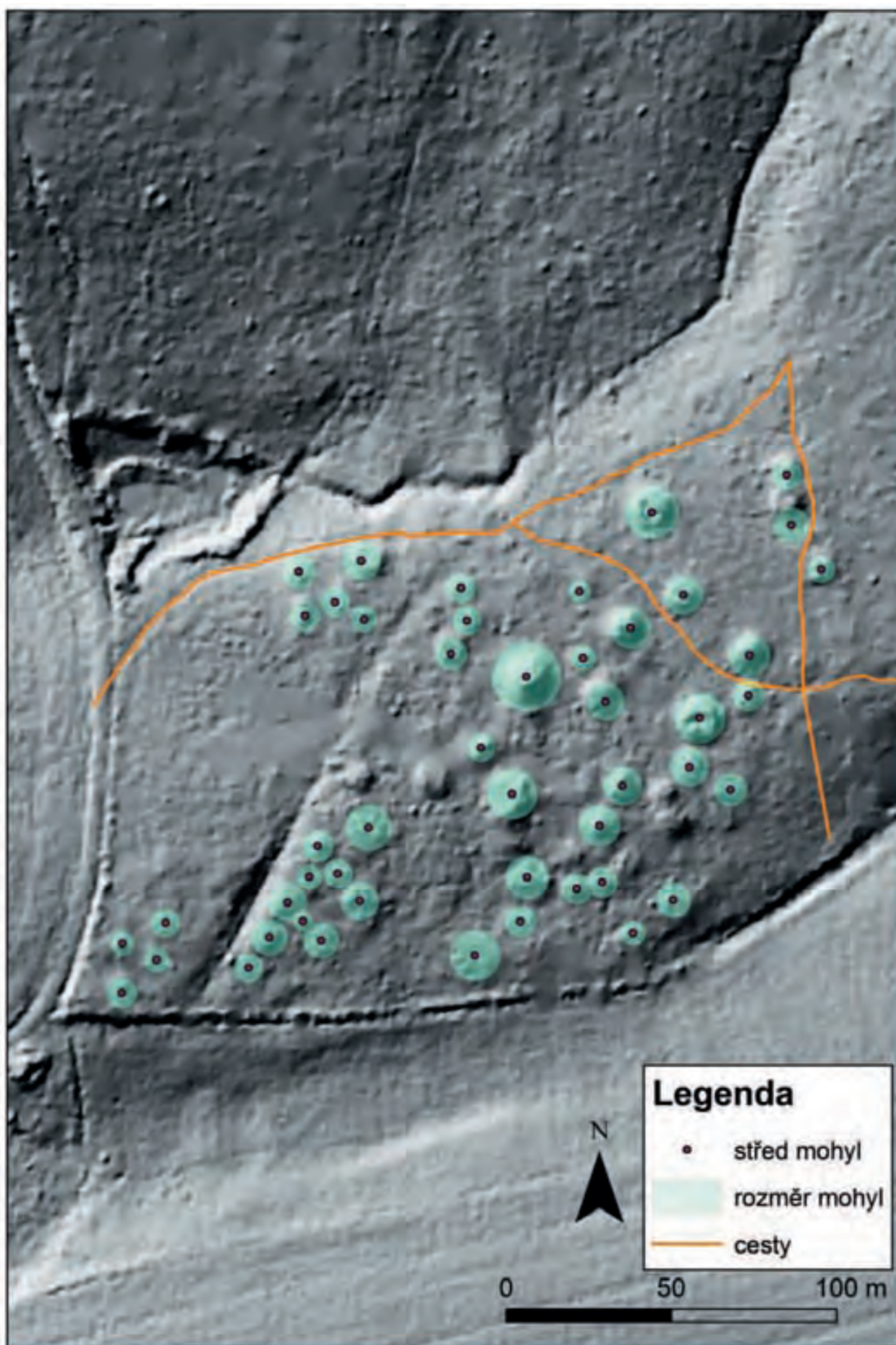
Aplikací několika filtračních metod realizovaných ve volně dostupných softwarech byla jasně prokázána skutečnost, že archeologové si pro své účely mohou svépomocí vytvořit vlastní DMR, který kvalitativně značně přesahuje data 4. generace a s 5. generací, jež je k dispozici jen pro malou část území ČR, dosahuje téměř obdobných výsledků. I když konečné DMR ne-

jsou zcela geodeticky korektní, naprosto dostačují ke zviditelnění antropogenních tvarů reliéfu. Extrahováno je tak maximum množství informace, které je obsaženo v datech od ČÚZK. Lepší výsledky tak mohou poskytnout pouze data získaná od specializovaných firem, jejichž hustota data od ČÚZK mnohonásobně přesahuje.

3. Interpolace lidarových dat

Výsledkem sofistikovaných metod filtrace všech nežádoucích odrazů (bodů reprezentujících odrazy nad reliéfem a všech chyb či anomálií) jsou data reprezentovaná body, které by měly představovat úroveň „obnaženého“ reliéfu. Jak už bylo předesláno výše, neplatí to stoprocentně. Nelze se totiž zcela vyhnout zahrnutí i nízké vegetace, přestože je výrazně eliminována Full-Wave senzorem ve srovnání s konvenčními snímači LLS (srov. *Doneus a kol. 2008*). Mnohem vyšší množství anomálií obsahují data upravená pouze robustní filtrací. Vypovídací schopnosti DMR jsou tedy tímto způsobem už od počátku snižovány, což může znesnadnit rozeznání zejména málo výrazných reliéfních tvarů. S tímto ovlivněním je tedy nutné počítat a přizpůsobit tomu některé následné operace.

Množina nespojitých bodů předpokládaného reliéfu bývá v prostředí GIS převáděna do kontinuálního povrchu, čímž vznikne výškopisný DMR. Tento typ reprezentace nejen lida-



Obr. 7 – Vizualizace DMR mohylníku z filtračního algoritmu MMC s výsledky terénního průzkumu (autor J. Plzák).

Fig. 7 – DTM visualisation of the barrow site from the filtration algorithm MMC with the field survey results (author: J. Plzák).

rových dat je generován na základě interpolačních algoritmů, což jsou obecně aplikovatelné statistické metody, které slouží k výpočtu zpravidla výškových hodnot v místech, kde nebyly měřeny (Klimánek 2008, 26). Jedná se tedy o proces predikce či odhadu hodnot elevace v prostoru mezi sousedícími body, pro něž takové hodnoty známe, přičemž platí předpoklady, že reliéf je kontinuální, zarovnaný, a že mezi dvěma body měření existuje vysoká korelace (srov. Liu 2008).

3.1 Popis vzniku digitálního modelu reliéfu (DMR)

Interpolačních metod existuje velké množství, každá pracuje na základě odlišných matematických operací, a zohledňuje či preferuje jiné jevy (jejich bližší představení přesahuje rámec tohoto příspěvku – uvedeny jsou v řadě studií o prostorových datech, problematice GIS a digitálních modelech reliéfu; k využití typu interpolačních metod pro lidarová data srov. např. de Boer a kol. 2008; Liu 2008; Liu a kol. 2009; Massini a kol. 2011; Lloyd – Atkinson 2002). Rozmanitost interpolačních metod vedla k otázce, které jsou nejvhodnější pro určitý kontext, což stimulovalo vznik řady komparativních studií (srov. zejména Zimmerman a kol. 1999). Testování vhodnosti vybraných interpolačních metod pro dokumentaci reliéfních tvarů se již objevilo i v české archeologické literatuře (John 2008).

Interpolační procedury použité k vytvoření DMR se stávají jejich podstatnou charakteristikou a zásadním způsobem tak ovlivňují jejich kvalitu (Klimánek 2008, 46). Představují nejdůležitější faktor determinující zejména relativní vertikální přesnost DMR (Liu a kol. 2009, 771–773). Volba vhodné interpolační metody tak činí klíčový úkol při vytváření DMR (srov. de Boer a kol. 2008, 70). K důležitým kritériím při volbě vhodné interpolační metody patří i rozmístění vstupních dat (srov. pravidelné rozmístění bodů reliéfu 4. generace a nepravidelné, hustší rozmístění bodů reliéfu 5. generace); některé interpolační metody totiž při nevhodném rozmístění vstupních dat poskytují chybné výsledky nebo je nelze vůbec použít (Klimánek 2008, 18).

Bohužel neexistuje žádná univerzální metoda interpolace, která by byla nejpřesnější pro všechny druhy dat, terénní struktury a účely (srov. Fisher – Tate 2006). Vždy se tak jedná pouze o nejlepší odhad (Klimánek 2008, 34). Tuto nejednoznačnost potvrzují výsledky porovnání vhodnosti vybraných interpolačních algoritmů pro lidarová data. Testovány byly často užívané algoritmy, zejména Kriging, který je pokládán za metodu založenou na nejsolidnějších teoretických principech (srov. de Boer a kol. 2008, 70; Masini a kol. 2011, 268), s metodami Inverse Distance Weighing (IDW), Spline a dalšími. V určitém typu zdrojových dat a povrchových struktur metoda Kriging nebyla pokládána za příliš vhodnou a mnohem lépe se osvědčila metoda IDW (srov. Liu 2008; Liu a kol. 2009). Jiné studie však dosáhly zcela opačných výsledků (srov. Lloyd – Atkinson 2002). Proto je zřejmé, že nelze spoléhat na jedinou interpolační metodu při vytváření DMR, který ve většině případů představuje první krok pro jeho další využití. Volba interpolace by tak měla

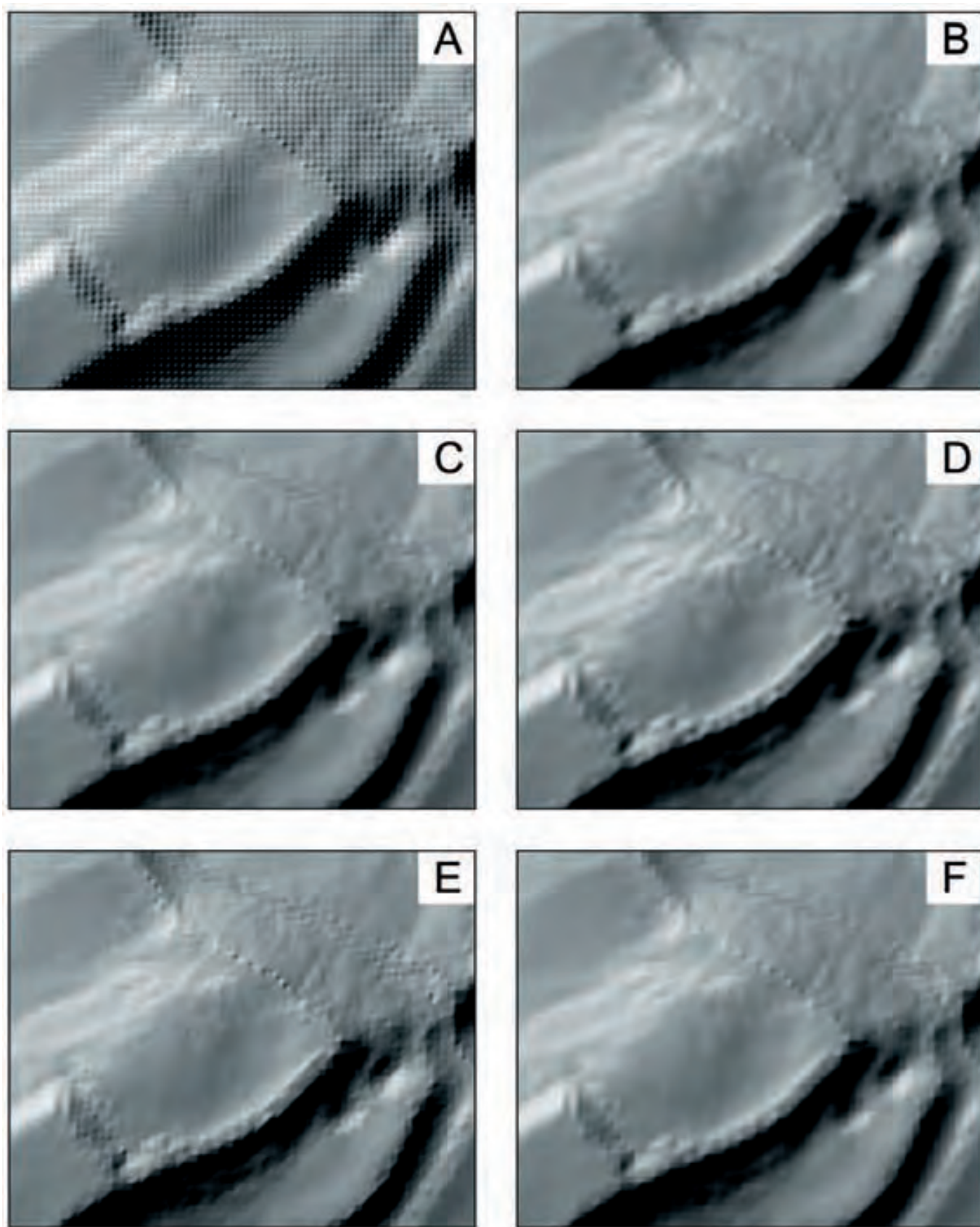
být optimalizována s ohledem na požadované výstupy či cíle (srov. Klimánek 2008, 34, 55).

Samotný DMR může být reprezentován různými způsoby. Kromě tradičního vrstevnicového zobrazení bývá zejména s využitím geoinformačních technologií zobrazován jako polyedrický model (TIN) nebo rastrový model (GRID; srov. Bayer 2008, 143–144; Liu 2008, 31). TIN představuje souvislý povrch tvořený nepravidelnou trojúhelníkovou sítí, která se přimyká k původnímu terénu, přičemž vrcholy trojúhelníků tvoří body měření. Je mnohem přesnější a účinnější prostředek pro zachycení reliéfu než GRID (Rapant 2006, 388). Lépe vykresluje náhlé změny reliéfu, avšak hůře zobrazuje jeho kontinuální průběh (Masini a kol. 2011, 269). Naopak GRID, rastrový DMR sestává z čtvercových buněk, přičemž každé přísluší jedna výšková hodnota (Rapant 2006, 388). Obtížněji zobrazuje náhlé změny výškové hodnoty, čímž může postrádat důležité detaily povrchu na plochem terénu (Masini a kol. 2011, 268). Vzhledem k obvyklé hustotě lidarových dat jsou tato omezení víceméně překonána, a je tak pro lidarová data nejvíce užívaný (srov. Masini a kol. 2011, 268; Liu a kol. 2009, 773).

Interpolovaný DMR je ve většině případů jen dílčím podkladem, který bývá dále transformován s ohledem na očekávané cíle výzkumu (srov. Bayer 2008, 146; Klimánek 2008, 55). Nejběžněji se při zpracování lidarových dat následně generuje specifický DMR, které zviditelňuje antropogenní tvary reliéfu (srov. dále). Jak už bylo uvedeno výše, uplatnění lidarových dat může být v archeologickém výzkumu mnohem širší. Data 4. generace, která dokáží zaznamenat pouze ty nejvýraznější reliéfní tvary, přesto podrobněji zachycují reliéf ČR odvozený ze základní báze geografických dat (ZABAGED), a tak mohou být v archeologickém výzkumu spíše využity jako báze pro mnohem preciznější prostorové analýzy zájmového území. Kromě těch obvyklých, např. analýza viditelnosti, sklonů a orientace svahů (využitelné např. pro topografii lokalit), lze realizovat i pokročilejší operace, které představuje např. modelování hydrologických poměrů (rekonstrukce vodní sítě, rozvodnic či povodí; srov. např. Siu – Maggio 1999), erozní analýzy (zejména modelování vodní eroze podle RUSLE – revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy; srov. Wilson – Lorang 2000) či modelace potencionálních průměrných ročních teplot vzduchu (Klimánek 2008, 56–57). Každý účel tak vyžaduje vytvoření specifického DMR, který nejlépe odpovídá požadovaným analýzám, a to pomocí příslušného interpolačního algoritmu. Hydrologické modelování vyžaduje hydrologicky korektní DMR, který lze vytvořit interpolací Topo To Raster v softwaru ArcGIS (srov. např. Klimánek 2006, 69).

3.2 Komparace interpolačních algoritmů na různých typech zdrojových dat

V této empirické části příspěvku se pokusíme porovnat vhodnost některých interpolačních algoritmů na různé typy dat získaných od ČUZK. Testovány byly standardní data 4. a 5. gene-



Obr. 8 – Komparace interpolačních algoritmů z dat 4. generace na hradišti Závist; A – IDW, B – Kriging, C – Natural Neighbor, D – Spline, E – Linear z TINu, F – Natural Neighbor z TINu; odlišný průběh reliéfu je dobře patrný u valu probíhajícího ve směru od SZ k JV (autor L. Holata).

Fig. 8 – A comparison of the interpolation algorithms of the 4th generation data on Závist hillfort; A – IDW, B – Kriging, C – Natural Neighbor, D – Spline, E – Linear from TIN, F – Natural Neighbor from TIN; a different relief is very well apparent on the rampart running from the NW to the SE (author: L. Holata).

race reprezentujících reliéf hradiště Závist a také data předzpracována pouze robustní filtrací zachycující reliéf zaniklé středověké vesnice Chýlava na Blovicku (okres Plzeň-jih). Obě sledované oblasti jsou situovány v lesním prostředí, a tak se zde vyskytuje množství antropogenních tvarů reliéfu.

Z bodů reprezentujících úroveň reliéfu byly generovány DMR v široce užívaném softwaru ArcGIS 10. Přitom byly využívány dva postupy, které bývají běžné při zpracování lidarových dat. První zahrnuje transformace bodových dat přímo do rastrového modelu s využitím interpolací IDW, Kriging, Natural Neighbor a Spline. Ve druhém způsobu generování DMR byl v prvním kroku z naměřených bodů vytvořen TIN, který byl následně transformován opět do rastrového modelu prostřednictvím interpolačního algoritmu Linear a Natural Neighbor. Celkem tak vzniklo šest DMR, ze kterých byl v dalším kroku z důvodu lepší vizualizace odchylek jednotlivých mapových podkladů vytvořen stínový model terénu (Hillshade), jenž je běžně pro vizualizaci lidarových dat užíván.

Realizace všech interpolací nabízí specifikování dalších parametrů, které rovněž ovlivňují výsledný DMR. Určení správného nastavení výpočtu u každé sledované interpolace však bez přítomnosti příslušného specialisty vyžaduje dalekosáhlé experimentování, které je zcela mimo možnosti tohoto příspěvku. Určení vhodnosti interpolací pro zachycení antropogenních tvarů reliéfu navíc vyžaduje i precizní povrchový průzkum sledovaných oblastí, což lze zajistit pouze dlouhodobým a precizním povrchovým průzkumem, který nemohl být realizován. Proto byly v této fázi testování všechny interpolace realizovány s předdefinovaným nastavením, přičemž stejný pracovní postup lze předpokládat i u většiny archeologů zpracovávajících lidarová data.

3.2.1 Interpolace dat 4. generace

Kolem Závisti byl vybrán polygon o rozměrech cca 830 x 780 m, který zahrnuje celý ohrazený areál. Data 4. generace zde reprezentuje 26 549 rovnoměrně umístěných bodů v pravidelné síti 5 x 5 m. Na 1 m² tak připadá 0,04 bodu. Velikost buňky v každém DMR byla stanovena na 1 m.

Pomocí interpolace IDW (obr. 8A) je na celém vytvořeném DMR jasně patrná struktura všech zdrojových bodů, což znesnadňuje viditelnost reliéfních tvarů. Výraznější reliéfní tvary jsou přesto víceméně viditelné.

Výpočet DMR pomocí metody Kriging (obr. 8B) proběhl za nepatrně delší dobu, přesto byla rychlost výpočtu pro stanovený počet bodů ještě přijatelná. Celkově povrch působí značně uhlazeněji než u předešlého algoritmu, při přiblížení je však patrná struktura odrážející polohu měřených bodů. Tato skutečnost se výrazně projevuje u terénních hran, nejvíce u valů a příkopů hradiště, kde pozice jednotlivých bodů výrazně vystupují nad okolní úroveň terénu, nebo se do něj zahlubují.

Povrch určený metodou Natural Neighbor (obr. 8C) je nepatrně hrubší než u metody Kriging, které se i vizuálně nejvíce

podobá. Více jsou na tomto DMR viditelné jednotlivé buňky GRIDu. Reliéfní tvary jsou obstojně rozeznatelné, přičemž tak výrazně nekontrastuje uhlazený povrch s vystupujícími body mimo okolní reliéf u terénních hran jako u předešlého algoritmu, což může působit lépe.

Výpočet DMR pomocí metody Spline (obr. 8D) byl o něco pomalejší, přesto byl vytvořen rychleji než u Krigingu. Tato metoda vytváří ze všech nejuhlazenější povrch, polohy jednotlivých bodů nevystupují ani v blízkosti terénních hran. Z estetického hlediska, např. pouze pro účely prezentace, tato metoda přináší nejlepší výsledky. Místa bodů měření jsou však zahlazeny takovým způsobem, že je k nim vztažen i okolní terén, což může evokovat falešné kruhové či oválné reliéfní tvary, jež mohou být zaměnitelné např. za mohyly, pece, středověké domy či těžební reliikty.

Generování rastrového podkladu z TINu je téměř okamžité. Prostřednictvím interpolačního algoritmu Linear (obr. 8E) vznikne velice hrubý DMR, na kterém je patrná struktura jednotlivých nepravidelných trojúhelníků z TINu. Nejvíce se projevuje u terénních hran, kde jsou přítomny nejnápadnější variace výškové hodnoty.

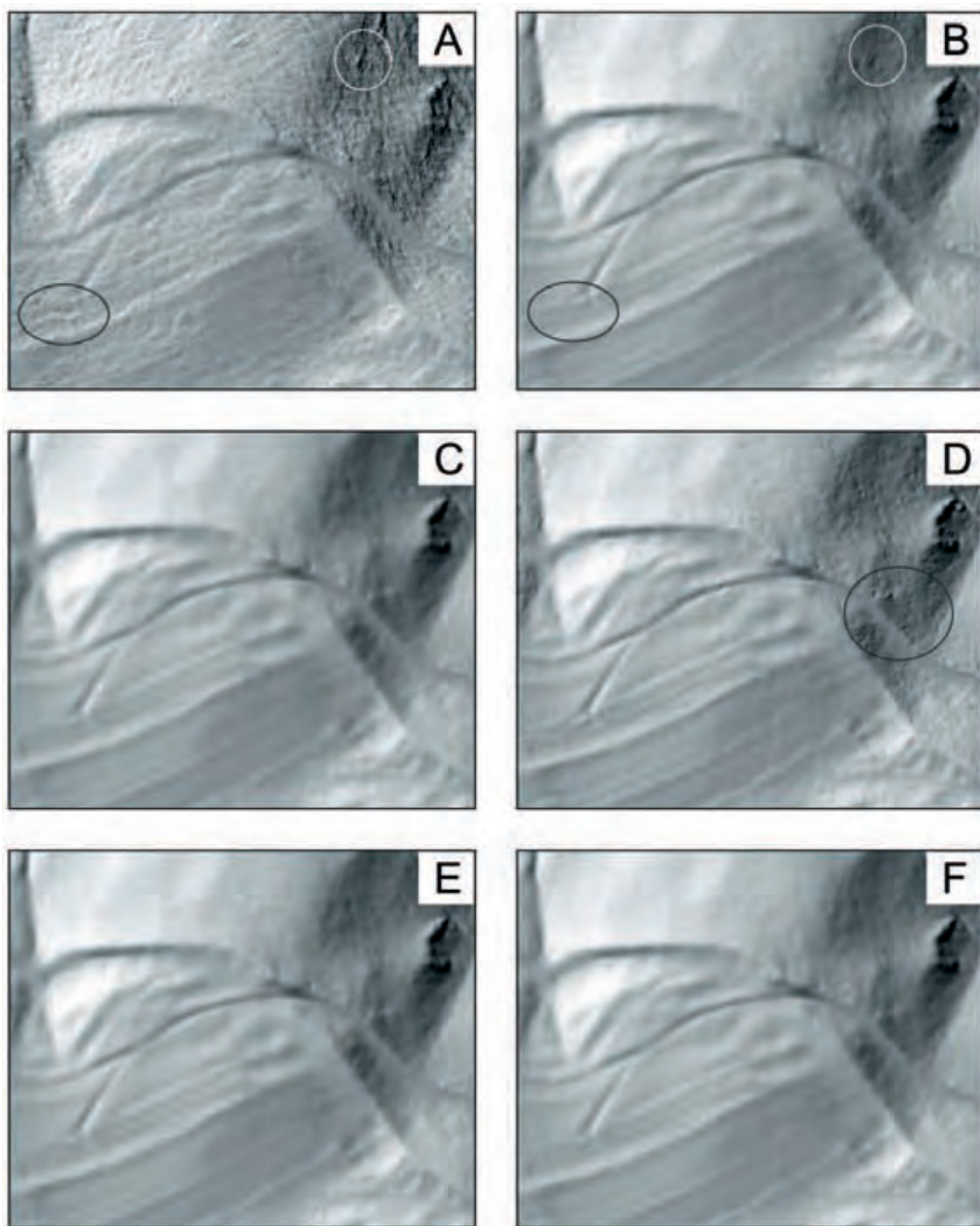
Algoritmus Natural Neighbor počítaný z TINu (obr. 8F) podává totožný výsledek jako standartní Natural Neighbor z bodů s tím rozdílem, že oba výstupy jsou vzájemně posunuty. Tento DMR je umístěn nepatrně více na východ. Podává kontinuálnější povrch než algoritmus Linear, avšak není tak zahlazen jako v případě algoritmu Spline.

Čistě z estetického hlediska působí nejlépe DMR vytvořený prostřednictvím algoritmu Spline, a lze ho tak považovat za nevhodnější pro účely prezentace lidarových dat. Může však dávat dojem falešných objektů, a proto za vhodné interpolace pro data 4. generace považujeme Kriging a oba Natural Neighbor. Vzhledem k absenci polohopisného zaměření reliéfních tvarů nejsme schopni rozhodnout, která Natural Neighbor je polohově přesnější (srov. dále). Vzhledem ke skutečnosti, že byl výpočet Krigingu pomalejší (srov. dále), využitelný může být na menších zájmových územích než Natural Neighbor. Ten navíc lépe zobrazuje výraznější terénní hrany a zlomy. Jako nejméně vhodný interpolační algoritmus pro data 4. generace se jevila metoda IDW.

3.2.2 Interpolace dat 5. generace

Data 5. generace na stejně rozlehlém území představuje 183 022 nerovnoměrně situovaných bodů, tedy téměř 7x více než v případě 4. generace a na 1 m² připadá 0,28 bodu. Z toho důvodu byla velikost buňky v DMR snížena na hodnotu 0,5 m, aby byla profilace reliéfu vykreslena nejjemněji.

Prostřednictvím interpolace IDW (obr. 9A) byl vytvořen DMR se zřetelnou povrchovou strukturou, která odpovídá rozmístění jednotlivých bodů. Reliéf tak není hladký ani v místech bez zjevných terénních hran, což způsobuje horší rozeznatelnost někte-



Obr. 9 – Komparace interpolačních algoritmů z dat 5. generace na hradišti Závist; A – IDW, B – Kriging, C – Natural Neighbor, D – Spline, E – Linear z TINu, F – Natural Neighbor z TINu; označena jsou místa s nejvýraznějšími pseudoobjekty (autor L. Holata).

Fig. 9 – A comparison of the interpolation algorithms of 5th generation data on Závist hillfort; A – IDW, B – Kriging, C – Natural Neighbor, D – Spline, E – Linear from TIN, F – Natural Neighbor from TIN; spots with the most apparent pseudo-features are marked (author: L. Holata).

rých, zejména málo výrazných objektů. V místech, kde je větší prostor mezi měřenými body navíc vytváří určité terénní vlny, které mohou být snadno zaměnitelné za skutečné reliéfní tvary.

Transformace DMR interpolací Kriging (obr. 9B) byla z důvodu náročného výpočtu většího počtu bodů mnohonásobně pomalejší než u ostatních algoritmů. Povrch modelu je čistý a kontinuální, precizně jsou zobrazeny zjevné reliéfní tvary, avšak v místech, kde je situována rozlehlejší mezera mezi sousedícími body, vytváří táhlá liniová narušení kontinuálního průběhu, které by mohly evokovat reliéfní tvary.

Interpolace Natural Neighbor (obr. 9C) vytváří čistší reliéf než Kriging. Oproti této interpolaci v místech absence bodů neprodukuje „pseudoobjekty“, terénní profilace je zde zcela kontinuální, byť pro celé území je vykreslena nepatrně méně detailně. Tuto skutečnost lze přisoudit i větší velikosti buňky, na rozeznání objektů to však nemá žádný vliv.

DMR vytvořený algoritmem Spline (obr. 9D) mnohem jemněji zachycuje mikro-profilaci terénu než metody Kriging či Natural Neighbor. Projevuje se to zejména v místech s více neklidným reliéfem, kde zachycuje všechny lokální anomálie. Jejich skutečnou přítomnost je však nutné ověřit precizním povrchovým průzkumem. Kromě toho je řada konvexních objektů vyšší, konkávní objekty jsou rovněž zobrazeny výrazněji než u předešlých interpolací. V místech s větší absencí bodů nevytváří falešné struktury a terén je zde zcela kontinuální.

Výsledný model vytvořený pomocí lineární interpolace (obr. 9E) je téměř srovnatelný s výstupem Natural Neighbor, nepatrně se liší u členitějšího terénu, kde vytváří ostřejší nerovnosti.

DMR generovaný pomocí Natural Neighbor z TINu je totožný s Natural Neighbor (obr. 9F) počítaným přímo z bodů, přičemž zde nedochází k posunu jako v případě dat 4. generace.

Z testování interpolací dat 5. generace do DMR vyplývá, že k bezproblémovým algoritmům řadíme interpolace Linear a obě Natural Neighbor. Všechny precizně zachycují jednotlivé reliéfní tvary. Rozporuplná situace panuje v případě algoritmu Spline, jenž zobrazuje i nejjemnější profilaci terénu včetně reliéfních tvarů, které ve zbylých DMR nejsou přítomny. Z toho důvodu by se tato interpolace dala považovat za nejvhodnější pro data 5. generace. Bez dodatečného povrchového průzkumu však nelze určit, zda se tyto objekty v terénu opravdu vyskytují, nebo zda se jedná o místa zatížená drobnými chybami, např. nízkou vegetací nebo další anomálie, které jsou do reliéfu zahrnuty. V tomto případě by jeho užití výrazně znesnadňovalo detekci skutečných reliéfních tvarů. Podobná skutečnost nastává i u aplikace zbylých interpolací, které vytvářejí ve větších prostorách mezi sousedícími body falešné struktury. Nejhorších výsledků dosahuje stejně jako v případě dat 4. generace metoda IDW.

3.2.3 Interpolace dat po robustní filtraci

V zázemí středověké vesnice Chýlava jsou situovány i relikty polních systémů v podobě mezních pásů. Z toho důvodu byla

velikost posuzovaného polygonu stanovena na 1100 x 1000 m, čímž navíc vynikne krajně nerovnoměrné situování jednotlivých bodů reprezentujících jak úroveň reliéfu, tak i řada dalších anomálií, které zůstaly neodfiltrovány. Body jsou na větší než území rozprostřeny v mimořádně husté síti, avšak objevují se zde prostorově omezená území, kde je jejich hustota mnohem nižší, nebo body zcela postrádáme. Po robustní filtraci zde bylo ponecháno 993 789 bodů, jež reprezentují reliéf, avšak zahrnují i vyšší množství různých anomálií. Průměrně se v 1 m² vyskytuje 0,9 bodu. Vzhledem k takto rozsáhlému souboru vstupních dat a tedy náročnějšímu výpočtu sestává výsledný DMR z buněk o délce strany 1 m.

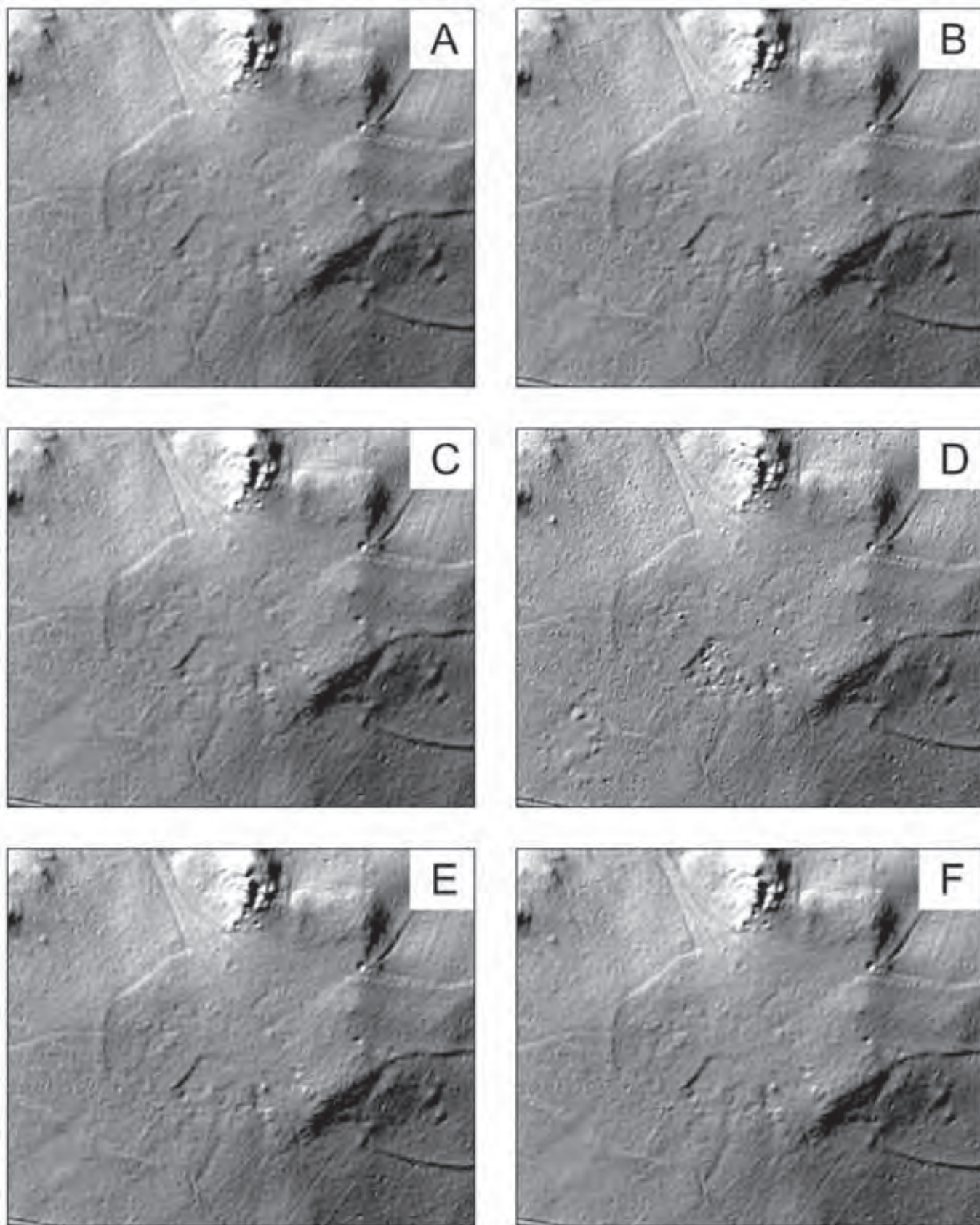
Model z lidarových dat může být v tomto případě konfrontován i s výsledky povrchového průzkumu, během kterého byly zaměřeny reliéfní tvary v intravilánu vesnice (srov. *Vařeka 2009*). Profilace DMR z různých interpolací byla nadto posuzována i v řezu, který byl veden přes pět reliéfních tvarů tvořících jednu usedlost (obr. 11). Nejdříve prochází destrukcí obytné stavby a komory (přináležející konvexní a konkávní objekt), následně nevýrazným konvexním objektem interpretovaným jako relikv lehké hospodářské stavby a nakonec prostupuje přes dvě rozlehlé kupy kamení, pro něž dosud panuje nejasná interpretace (*Vařeka 2009*, 107).

Interpolacním algoritmem IDW (obr. 10A) byl vytvořen rastrový model, který věrně zaznamenává příslušné reliéfní tvary. Povrch s vysokou hustotou naměřených bodů se zdá být velice kontinuální a uhlazený. Výrazné nepravidelnosti reliéfu jsou však kladeny do míst s absencí vyššího počtu bodů, kde vytváří nápadné terénní vlny. Ty mohou být snadno zaměnitelné za terasovité uspořádání reliéfu, které se však v těchto místech nenachází.

Interpolace pomocí algoritmu Kriging (obr. 10B) je ve srovnání s ostatními mimořádně náročná na technické a softwarové vybavení; výpočet trvá mnohonásobně déle než u ostatních. Reliéf s hustým bodovým rozmístěním je zobrazen téměř totožně jako u předešlé metody, zjevné reliéfní tvary jsou ještě nepatrně zřetelnější (obr. 12 a 13). Podobně problematická situace však panuje v místech s nižší četností bodů, kde vytváří určitou strukturu, čímž jsou tato místa téměř neodhalitelná a mohou tam být mylně kladeny určité lidské aktivity.

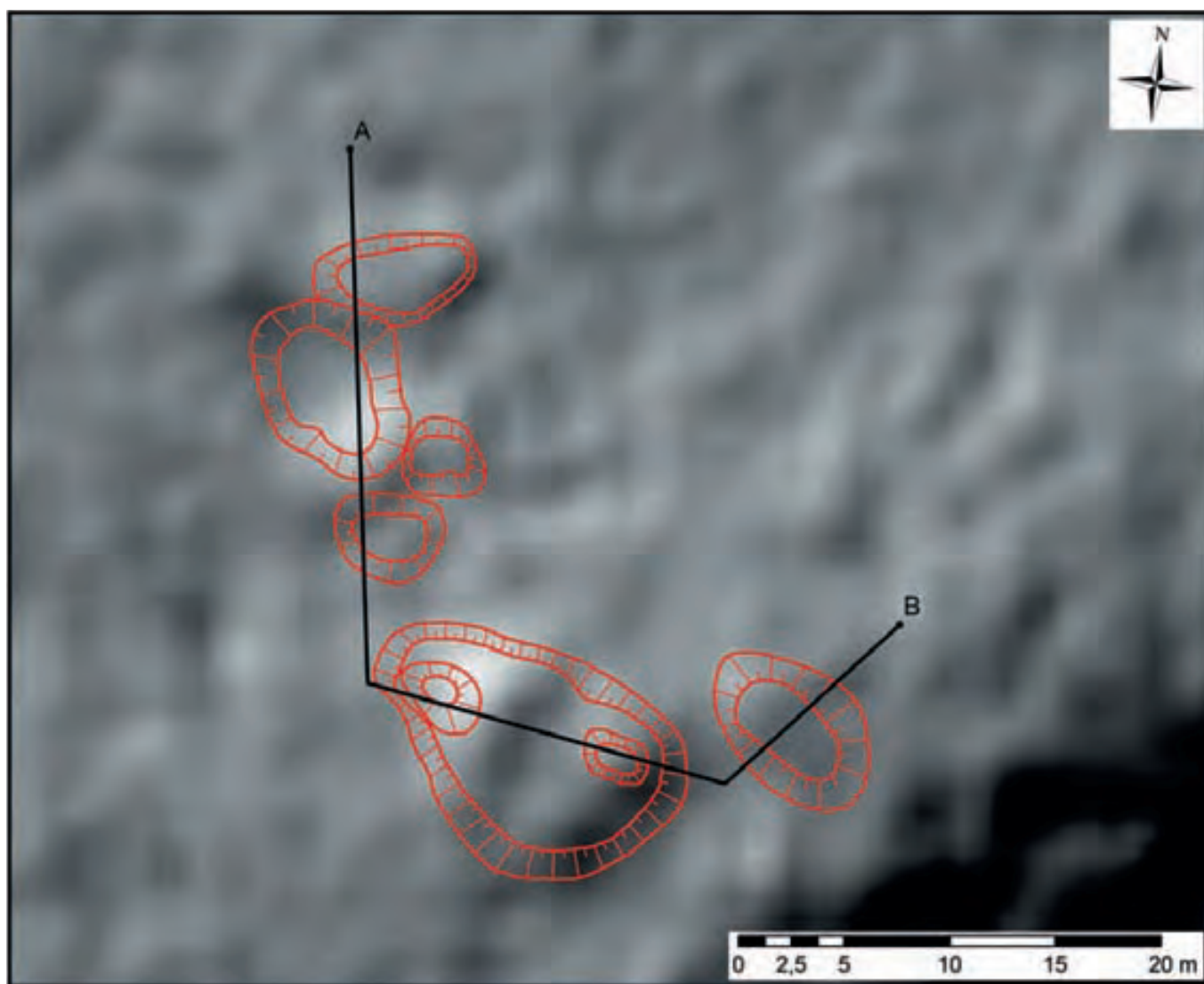
Pomocí Natural Neighbor (obr. 10C) byl vytvořen stejně jako v předešlých případech kontinuální reliéf. Na rozdíl od předchozích však lze snadno identifikovat místa s vyšší absencí bodů, jelikož zde nevytváří žádné pseudostruktury, ale zcela hladký reliéf. Oproti všem interpolacím se při této projevuje nevelké posunutí DMR severozápadním směrem, což je zřejmé i v levé části profilu reliéfních tvarů (obr. 12), který je veden v jiné poloze a dosahuje zejména u severojižního průběhu jiných výškových hodnot.

Interpolace Spline (obr. 10D) zformovala velice neklidný reliéf rastrového modelu, na kterém se objevuje řada reliéfních tvarů, které se však ve skutečném terénu nevyskytují. Zřetelně se zde projevuje zahrnutí některých anomálních hodnot do



Obr. 10 – Komparace interpolačních algoritmů z dat upravených robustní filtrací na zaniklé středověké vesnici Chýlava; A – IDW, B – Kriging, C – Natural Neighbor, D – Spline, E – Linear z TINu, F – Natural Neighbor z TINu; odlišná profilace reliéfu je nejvíce patrná v levém dolním rohu a v rozsáhlejším konkávním objektu v intravilánu, kde je nižší hustota naměřených bodů (autor L. Holata).

Fig. 10 – A comparison of the interpolation algorithms for the data modified using robust filtration on the site of the deserted medieval village of Chýlava; A – IDW, B – Kriging, C – Natural Neighbor, D – Spline, E – Linear from TIN, F – Natural Neighbor from TIN; a different profile of the terrain is the most apparent in the bottom left corner and in the largest concave feature on site, where there is a lower density of measured points (author: L. Holata).



Obr. 11 – Vedení profilu přes pět vybraných antropogenních tvarů reliéfu (autor L. Holata).
Fig. 11 – A profile through five selected anthropogenic features in the relief (author: L. Holata).

množiny dat reprezentujících reliéf, které nebyly odstraněny pomocí robustní filtrace. Falešné objekty vytváří i v místech s nižší koncentrací bodů, na rozdíl od interpolací IDW a Kriging nejsou liniové, ale kruhové či oválné. Skutečné reliéfní tvary se zpravidla projevují nejvýrazněji ze všech interpolací; předposlední kamenná kupa na profilu je o 15 cm vyšší než nejvyšší úroveň podle interpolace IDW (obr. 13).

Rastrový model vytvořený lineární interpolací z TINu (obr. 10E) se nápadně podobá DMR vzniklým interpolací Natural Neighbor se třemi více či méně patrnými odlišnostmi. V některých místech i s velice hustou sítí změřených bodů vytváří falešné objekty, což se jasně projevuje i na profilu reliéfních tvarů. Zastoupeny jsou o méně četně než v případě algoritmu Spline a vyskytují se v odlišných pozicích. V místech absence bodů je zjevná trojúhelníková struktura TINu, a tak lze tato místa snadno identifikovat. Tento DMR není rovněž prostorově posunutý.

Interpolace Natural Neighbor počítaná z TINu (obr. 10F) podává totožný DMR jako standardní Natural Neighbor, který je navíc zasazen ve stejné pozici, jako ostatní interpolace; nese-

tkáváme se tedy jako v případě standardního Natural Neighbor s prostorovým vychýlením. Tato interpolace nevytváří žádné falešné objekty jak v místech s vysokou, tak i nízkou koncentrací změřených bodů.

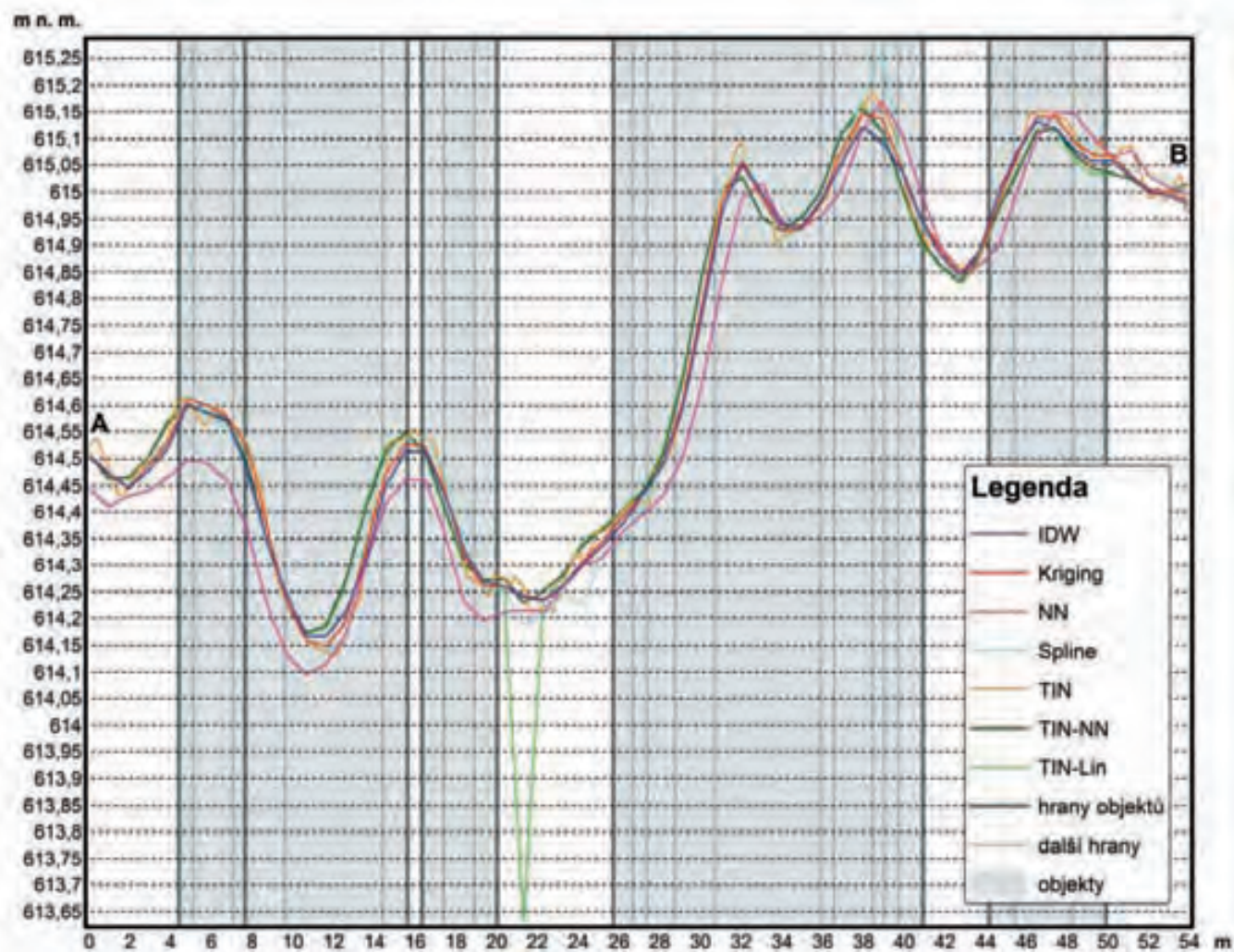
Z estetického hlediska nejlépe působí DMR vytvořený pomocí interpolace Kriging zejména z toho důvodu, že v místech s větší nepřítomností bodů reliéf zformuje takovým způsobem, že tato místa nejsou téměř odhalitelná. To však může být velice nebezpečné, protože do těchto prostor mohou být lokalizovány neexistující reliéfní struktury interpretovatelné jako areály tehdejších lidských aktivit. Ještě větší měrou se tato skutečnost projevuje u metod IDW a Spline. Posledně jmenovaná interpolace navíc vytváří pseudoobjekty i v místech s vysokou koncentrací bodů, jelikož její reliéf prochází všemi body měření, tedy i nejrůznějšími anomáliemi, které tento soubor dat obsahuje. Podobně vypovídací schopnosti DMR vytvořením falešných objektů devalvuje i lineární interpolace počítaná z TINu. Srovnáním vzniklých DMR byla navíc prokázána skutečnost, že

standardní Natural Neighbor nepatrně posunuje výsledný model, ačkoliv jinak podává obstojné výsledky. Všechny tyto interpolační algoritmy jsou tedy pro vytvoření DMR pro data upravená robustní filtrací nevhodné, což je u Krigingu umocněno i skutečností, že doba jeho výpočtu mnohonásobně překračuje délku trvání ostatních interpolací, a je tak při použití běžného technického a softwarového vybavení zcela nepoužitelný pro větší územní celky (se kterými se běžně pracuje např. při prospekci zalesněného území). Nejlepších výsledků tak dosahuje interpolace Natural Neighbor, která je počítána z TINu; nikde nevytváří falešné struktury, obstojně lze rozeznat zjevné reliéfní tvary a vzhledem k rychlosti výpočtu je možné vytvořit DMR i pro rozsáhlejší území.

3.2.4 Shrnutí výsledků komparace interpolačních algoritmů lidarových dat

Komparace několika interpolačních algoritmů pro výpočet DMR přinesla velice nekonzistentní výsledky pro každý typ

zdrojových dat. V závislosti na jejich charakteru každá interpolace vytváří různě kvalitní či nekvalitní DMR, což nebývalo vždy v archeologickém prostředí uvědomované. Z prezentovaného přehledu vyvstávají některé základní pravidelnosti. Vhodnost interpolace IDW stoupá s hustotou měřených bodů (srov. Liu a kol. 2009, 777). Algoritmus Kriging se nejvíce jako příliš žádoucí pro žádný typ lidarových dat, jelikož nepřilíš vhodně pracuje s nižší koncentrací bodů a při jejich větším počtu je zase výpočet DMR velice pomalý (srov. Liu a kol. 2009, 777; Masini a kol. 2011, 269). Interpolace Spline je výrazně závislá na kvalitě vstupních dat. Dokáže vykreslit i minimální variace mikroreliefu, avšak při zahrnutí anomálií do množiny zdrojových dat vytváří řadu pseudoobjektů. Natural Neighbor generuje totožný DMR při výpočtu přímo z bodů a z TINu s tím rozdílem, že v případě dat 4. generace a dat upravených robustní filtrací je standardní Natural Neighbor nepatrně posunutý. Velice podobných výsledků dosahuje i lineární interpolace z TINu, avšak hůře pracuje s nepravidel-



Obr. 12 – Profil vybraných reliéfních tvarů generovaný na základě různých interpolačních algoritmů a jeho konfrontace s výsledky povrchového měření totální stanicí. Nápadně se projevuje zejména posunutí modelu vzniklého pomocí Natural Neighbor, falešný objekt vytvořený metodou Linear či nejvyšší členitost reliéfu reprezentovaného TINem (autor L. Holata).

Fig. 12 – A profile of selected relief features generated on the basis of various interpolation algorithms and their confrontation with the results of surface survey with a total station. A very apparent becomes the shifting of the model created using Natural Neighbor, the false feature created with Linear method or the highest relief variability represented by TIN (author: L. Holata).

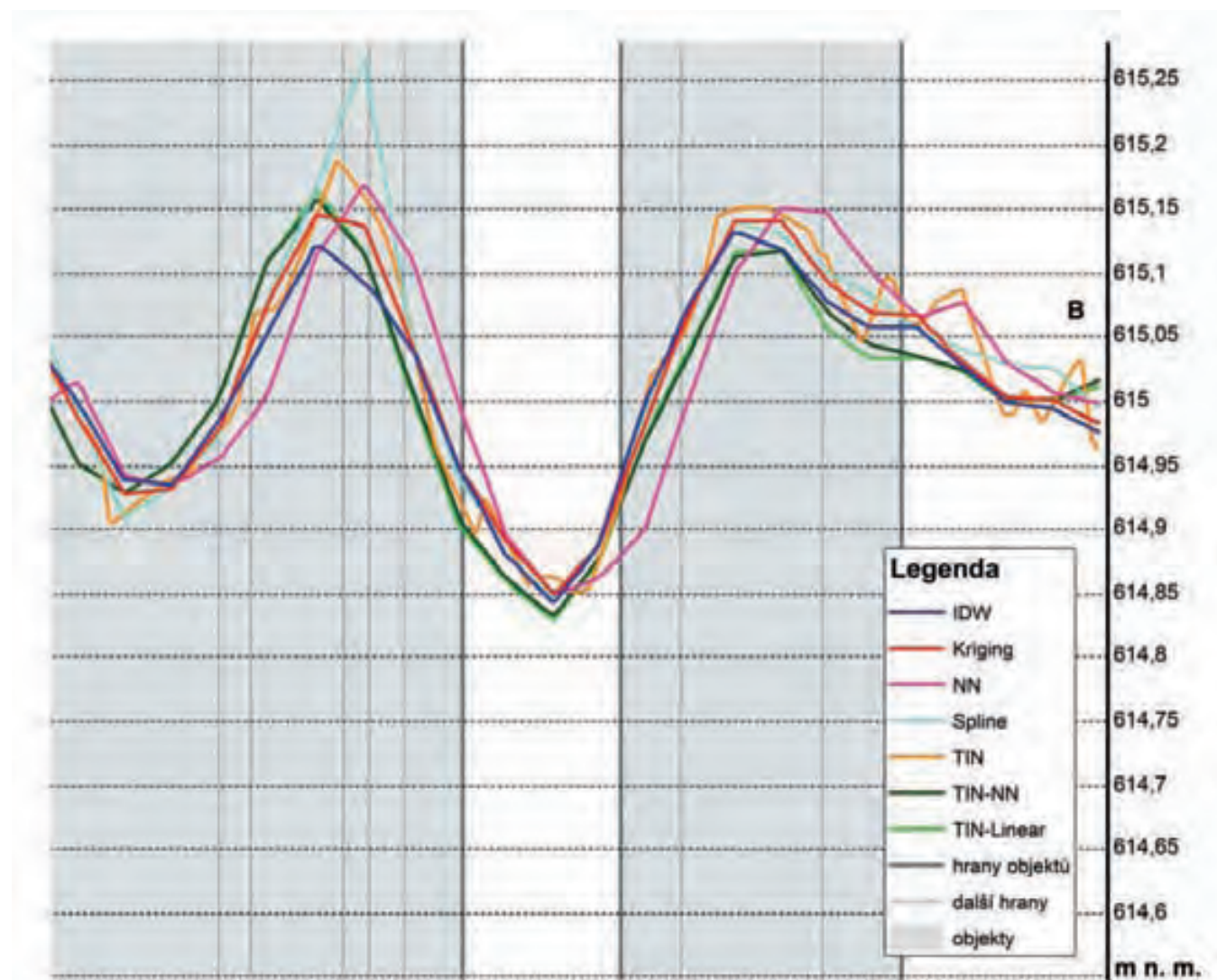
nostmi v datech, jež reprezentují odchylky měření či nižší koncentrace bodů.

Ke každému typu dat, s ohledem na počet a uspořádání měřených bodů, je tak třeba přistupovat individuálně. Je evidentní, že při vyhodnocování lidarových dat se nelze spokojit s metodou, která zobrazuje nejvyšší počet reliéfních tvarů a tedy pravděpodobných nově objevených komponent, protože ty nemusí být ve skutečném terénu vůbec přítomné. Nejedná se přitom o běžně uvažované pseudoobjekty, např. snosy větví, které mohou být v terénu skutečně zaměřeny a vyloučeny z DMR musí být pomocí povrchového průzkumu; toto je kvalitativně úplně jiný druh otázky. Bez realizace několika interpolací lze tyto falešné struktury odhalit jen s obtížemi. Každý interpolační algoritmus vykreslí více či méně odlišný průběh reliéfu, což se názorně projevuje na profilu vedeném přes evidentní reliéfní tvary (obr. 12 a 13), pro něž by v závislosti na volbě interpolace byly získány odlišné výsledky kvantitativních analýz, např. velikosti či objemy reliéfních tvarů a vzájemných poměrů. Volba

interpolačního algoritmu musí být proto determinována charakterem lidarových dat a rovněž cíli výzkumu.

4. Vizualizace lidarových dat

Po interpolování nespojitých bodů do souvislého reliéfu reprezentovaného výškopisným DMR, se tento stává bází pro následné operace v souladu s cíli výzkumu. V této části se výlučně zaměříme na nejobvyklejší využití lidarových dat, a to na proces zviditelnění antropogenních tvarů, které jsou dosud uchovány v reliéfu. Na standartním DMR, kde hodnotu z každé dílčí buňky tvoří její nadmořská výška, jsou viditelné pouze velké geomorfologické útvary (Zakšek a kol. 2011, 399; obr. 17A, 18A). Proto z tohoto DMR musejí být generovány další specifické rastrové modely, na kterých jsou na základě odlišných principů zviditelněny i menší terénní nerovnosti. Během zacházení s lidarovými daty již bylo vytvořeno několik takových DMR pomocí různých metod, jež antropogenní tvary s různou kvalitou odhalují, přičemž lze předpokládat, že další budou nadále přibývat.



Obr. 13 – Detailní zobrazení profilu vybraných reliéfních tvarů generovaný na základě různých interpolačních algoritmů a jeho konfrontace s výsledky povrchového měření totální stanicí. Zřejmé je jiné vykreslení tvarů objektu, které ovlivní i jejich kvantitativní analýzy (autor L. Holata).

Fig. 13 – A profile of selected relief features in detail, generated on the basis of various interpolation algorithms and their confrontation with the results of surface survey with a total station. The quantitative analyses of the features are influenced by their definition (author: L. Holata).

4.1 Způsoby zviditelnění antropogenních tvarů reliéfu

K zobrazení lidarových dat dosud bývá nejběžněji využíván stínový model reliéfu (hillshade), který nabízí plastické zobrazení reliéfu a ilustrativně reprezentuje topografii (Kokalj a kol. 2011, 264). Je aplikovatelný i samostatně nebo bývá zakomponován do výškových DMR (Klimánek 2008, 50). Topografie reliéfu může být zdůrazněna v ortografickém (kolmém) i izometrickém (šikmém) zobrazení (srov. Rapant 2006, 395). Pro nasvícení bývá v kartografii standardně udáván azimut 315° a elevace 30° (Klimánek 2008, 49). Ačkoliv tento model podává základní přehled o charakteru naskenovaného území a případném výskytu či charakteru antropogenních tvarů, v řadě studií již bylo upozorněno na nevhodnost pouze jediného stínového zobrazení reliéfu (srov. např. Doneus – Briese 2006, 103; Deveraux a kol. 2008, 470–471; Stal a kol. 2010, 70; Kokalj a kol. 2011, 264; Masini a kol. 2011, 268; Zakšek 2011, 407). Hlavní nevýhoda spočívá především v nemožnosti rozeznání reliéfních tvarů orientovaných paralelně s dopadem světelných paprsků a obtížném rozeznání mikroreliéfu ve výrazně nasvícených či naopak zcela zastíněných částech území. Je tak nezbytné experimentovat s různými směry osvětlení, z některých směrů však vyvstává iluze inverzního reliéfu (Hesse 2010, 71) a posuzování několika samostatných směrů se rovněž jeví jako časově náročný a tedy nepraktický postup (Deveraux a kol. 2008, 471), který může vést k nekonzistenci celkové interpretace (Kokalj a kol. 2011, 264). Tuto skutečnost částečně překonává kombinace více zdrojů nasvícení reliéfu (srov. např. Mark 1992) nebo výpočet středních či maximálních hodnot z různě nasvícených stínových modelů (srov. Kokalj a kol. 2011, 264).

Pokročilejší metodou, která vychází ze stínových modelů reliéfu, je analýza hlavních komponent (PCA), jež odstraňuje jak problém směru osvětlení, tak navíc eliminuje nutnost posuzovat větší množství podkladů. Tato multidimenzionální průzkumná technika zjednodušuje popis vícerozměrných dat vytvořením nových proměnných (hlavních komponent), které jsou speciálně volenými lineárními kombinacemi původních proměnných. Nově vzniklé hlavní komponenty jsou nekorelované, tedy vzájemně nezávislé a seřazeny jsou od největšího rozptylu k nejmenšímu (Reif 2004, 206). Vstupní data zpravidla představuje 16 stínových modelů reliéfu, které bývají osvětleny v intervalech po $22,5^\circ$ při totožné elevaci. Obsažená informace ve všech modelech je touto metodou redistribuována do stejného počtu nových digitálních modelů tak, že v prvních dvou nebo třech jsou obsaženy podobnosti, pravidelnosti a zbytek obsahuje odlišnosti a šum (Deveraux a kol. 2008, 471). Užitím pouze několika prvních hlavních komponent lze tedy redukovat dimenzi dat, aniž by bylo podstatně sníženo množství obsažené informace; ostatní hlavní komponenty jsou zanedbatelné (Reif 2004, 206; Hendl 2006, 468).

Testováním několika odlišných vstupních souborů byla odhalena skutečnost, že první 3 komponenty obsahují přes 95 % informace nebo variability v původní databázi. První dvě komponenty vytvářejí boční osvětlení ze sloučených směrů, zatím-

co třetí komponenta je na osvětlení nezávislá, nejlépe zobrazuje mikrotopografii a pro archeologický průzkum se zdá být nejcennější. Pro obsažení maximálního množství informace bývá výstupem i barevná RGB kompozice prvních tří komponent (Deveraux a kol. 2008, 472–478). Aplikací této metody přesto v některých případech přetrvává problém potenciální optické iluze. Rovněž nelze odhadnout výraznost jednotlivých objektů, což je důležité pro interpretaci náleзовé situace (Hesse 2010, 68), přičemž nejvíce problematická je při zobrazování kruhových, konkávních objektů. PCA navíc neposkytuje konzistentní výsledky s různými zdrojovými daty (Kokalj a kol. 2011, 264).

Problém směru osvětlení částečně odstraňuje tzv. Solar Insolation (srov. Challis a kol. 2011b) vzhledem ke změnám polohy Slunce. Tato metoda je však zatížena náročností výpočtu cíleného zobrazení (Zakšek a kol. 2011, 408). Problém nasvícení je tak zcela vyloučen v zobrazeních, které reliéfní tvary zviditelňují bez závislosti na iluminaci podkladu. Základní techniku v tomto ohledu představuje analýza sklonitosti svahů. Bez dalších informací o reliéfu však není možné určit směr sklonu svahů a nelze proto poznat, zda je tvar objektů v řezu konvexní či konkávní. V případě černobílé kompozice navíc mohou tmavé části reliéfu evokovat stíny (Doneus – Briese 2006, 104).

Značně pokročilou metodu představuje výpočet Sky-View Factoru, který jakožto geofyzikální parametr simuluje rozptýlené světlo spočítáním, jak rozlehlou část oblohy lze spatřit z každé buňky rastrového modelu. Uplatňuje tedy základní logiku, že z konvexních částí reliéfu je viditelná větší část oblohy než z částí zahloubených. Oblohu přitom reprezentuje rádius horizontu, který může nabývat libovolného poloměru, čímž ovlivňuje konečné výsledky. Přestože tato metoda primárně neposkytuje archeologickou interpretaci, když nelze přímo usuzovat na výškové rozměry detekovaných objektů, extrahuje řadu informací z dat neodhalitelných jinými metodami a výrazně tedy zlepšuje viditelnost i málo patrných antropogenních reliéfních tvarů (Kokalj a kol. 2011, 263, 267–271).

Kombinací modelu sklonu svahů a zdůraznění terénních zlomů využívá i tzv. RRIM (Red Relief Image Map), nově patentovaná vizualizace lidarových dat, která je vhodná pro odhalení struktury lokalit a jejich současného reliéfu (obr. 14). RRIM je výsledkem syntetizujících matematicky konvertovaných zobrazení prošlých různým topografickým filtrováním. Se vzrůstajícím sklonem svahů se na zobrazení reliéfu zintenzivňuje odstín červené barvy, zatímco hrany získávají bílou, prohlubně naopak černou barvu, ostatní části reliéfu zůstávají šedé (Fujii a kol. 2012, 87–88).

Několik různých metod ke zviditelnění reliéfních tvarů využívá reziduální reliéf, který postrádá velké krajinné prvky, přičemž ponechány jsou jen ty méně rozsáhlé, často antropogenního původu. Takových zobrazení lze dosáhnout prostřednictvím různých principů; výrazné topografické části reliéfu mohou být odstraněny náročným výpočtem využívající metodu Kriging

(srov. Humme a kol. 2006), jiné způsoby je odstraňují pomocí odečtu hrubého DMR, kde jsou vzhledem k větší velikosti buňky zahrnuty právě jen ty výrazné prvky, od DMR s vysokým rozlišením, který zaznamenává i nejmenší variace mikroreliefu (srov. Doneus – Briese 2006, 103).

Nejpropracovanější princip vyvinul Hesse (2010; 2012). Tzv. Local Relief Model (LRM) precizně zachycuje i ty nejmenší výškové diference reliéfu, přičemž lze stanovit i skutečnou výšku či hloubku všech ponechaných objektů, a tedy případných antropogenních tvarů (obr. 15). Využívá k tomu opět odečtu dvou DMR; jeden tvoří standardní výškopisný model se všemi topografickými prvky včetně nejmenších detailů reliéfu, druhý představuje reliéf pouze s výraznými krajinnými prvky. Ten je získán eliminací menších terénních objektů pomocí nástroje Low-Pass Filter, z průběžného reziduálního reliéfu jsou extrahovány nulové vrstevnice, následně jsou generovány skutečné nadmořské výšky bodů podél průběhu těchto vrstevnic na původním podrobném reliéfu, ze kterých je interpolován nový DMR oproštěný o všechny méně výrazné reliéfní tvary.

Tato metoda může nalézt uplatnění při průzkumu rozsáhlých krajinných celků, kde detekované struktury nelze neprodleň po skenování potvrdit povrchovým průzkumem. Nevýhodou naopak představuje zahrnutí i malých přírodních tvarů do modelu bez celkového reliéfního kontextu, které mohou znesnadňovat identifikaci a interpretaci skutečných antropogenních tvarů. Takových sice odhaluje velké množství, výsledný model je však vzhledem k absenci větších krajinných prvků méně intuitivní než standardní stínový model nebo výstup metody Sky-View Factor (srov. dále; Zakšek 2011, 411). Během vzniku tohoto příspěvku tato aplikace není volně k dispozici, a tak k procesu zahlazení drobných objektů bývá využíván nástroj Focal Statistics v prostředí ArcGIS (srov. Davis 2012, 15–16).

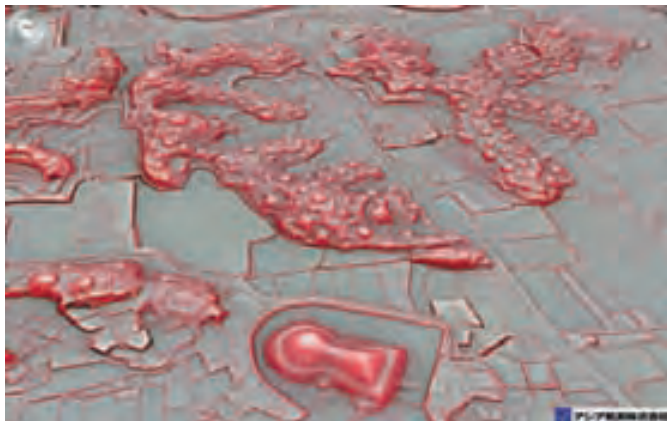
K prezentaci výše uvedených způsobů vizualizace se nejběžněji využívá kolmých zobrazení reliéfu. Uplatnění rovněž nacházejí šikmé pohledy na reliéf, jež mnohdy využívají efektu stínu a představují ilustrativní náhled na zájmové území. K alternativ-

ním metodám prezentace a vizualizace interpolovaných dat, jejichž potenciál nebyl dosud plně vytěžen, patří zobrazení DMR v trojrozměrném prostředí, když výstupem může být video s průletem nad reliéfem nebo samostatný 3D soubor (zejména 3D pdf) pro interaktivní prohlížení samotným uživatelem. Tento způsob prezentace se spíše hodí pro digitální šíření výsledků na internetu (srov. <http://www.kar.zcu.cz/books/zavist3D.pdf>; náhled viz obr. 16). Odhalené struktury musí být zvýrazněny, aby se uživatel na tyto místa zaměřil a dokázal je identifikovat.

4.2 Komparace metod vizualizace vybraných území s antropogenními tvary reliéfu

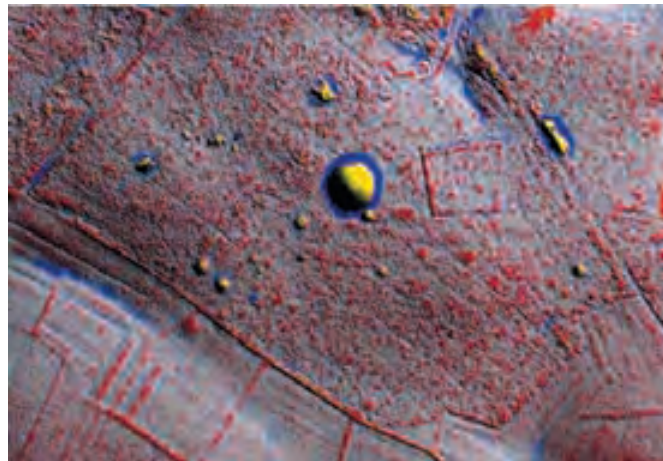
V této části práce budou porovnány vypovídací schopnosti několika specifických derivátů DMR, které na základě odlišných principů zviditelňují méně výrazné diference terénu. Za testovací území byl zvolen polygon zahrnující hradiště Závist, jehož reliéf je reprezentován daty 5. generace. Data upravená pouze robustní filtrací i data 4. generací byly z analýzy vynechány, jelikož srovnávací analýza jejich výstupů dochází z archeologického hlediska k totožným závěrům a méně výrazné odlišnosti by byly zajímavé spíše pro technicky orientované disciplíny. Vstupní podklad tvořil DMR generovaný záměrně nevhodnou interpolací Kriging, aby bylo možné sledovat projevy falešných struktur na jednotlivých zobrazeních reliéfu.

Do testovacího souboru byl zahrnut stínový model reliéfu se standardními parametry užívanými v kartografii (azimut – 315°, elevace – 30°) doprovázený dvěma výstupy z analýzy hlavních komponent (srov. Deveraux a kol. 2008). Vzhledem ke skutečnosti, že první dvě komponenty jen slučují směr osvětlení, testována byla 3. komponenta, nejlépe odhalující mikrorelief terénu. Zahrnuje však jen velmi malý podíl informace obsažené v šestnácti zdrojových stínových modelech (jen 1,92 %), a proto byl její vypovídací potenciál konfrontován i se sloučenou RGB kompozicí prvních tří komponent, jež obsahuje 99,67 % informace. Rovněž byla aplikována analýza svažitosti reliéfu a dva způsoby reziduálního reliéfu. První vznikl v souladu s metodou podle Da-



Obr. 14 – Ukázka Red Relief Image Map (RRIM). Dostupné z: http://www.ajiko.co.jp/news/2011/0628_01.html

Fig. 14 – An example of the Red Relief Image Map (RRIM). Accessible from: http://www.ajiko.co.jp/news/2011/0628_01.html



Obr. 15 – Ukázka Local Relief Model (LRM; podle Bofinger – Hesse 2011).

Fig. 15 – An example of the Local Relief Model (LRM; after Bofinger – Hesse 2011).

vise (2012). Druhý způsob k vytvoření modelu jen s výraznými topografickými prvky, jež je odečten od podrobného DMR, využívá, stejně jako první derivát podle Hesse (2010), nástroj Low-Pass Filter. Z důvodu důkladné eliminace všech malých útvarů bylo jeho aplikování pětinasobně opakováno. Poslední sledovanou metodu představuje Sky-View Factor (Kokalj a kol. 2011).

Standardní stínový model (obr. 17B, 18B) podává plastický pohled na hradiště, přičemž v plném rozsahu zaznamenává výrazná valová ohrazení. Ta však téměř úplně zanikají v paralelním směru s iluminací modelu, což rovněž platí pro některé méně výrazné liniové objekty na ploše hradiště i v jeho blízkém okolí. Reliéfní tvary orientovány delší osou kolmo na směr osvětlení jsou naopak příliš akcentovány a evokují přítomnost výraznějších situací, než je tomu ve skutečnosti. Na DMR se vyskytuje několik zcela zastíněných částí terénu, kde mikrorelief není vůbec patrný.

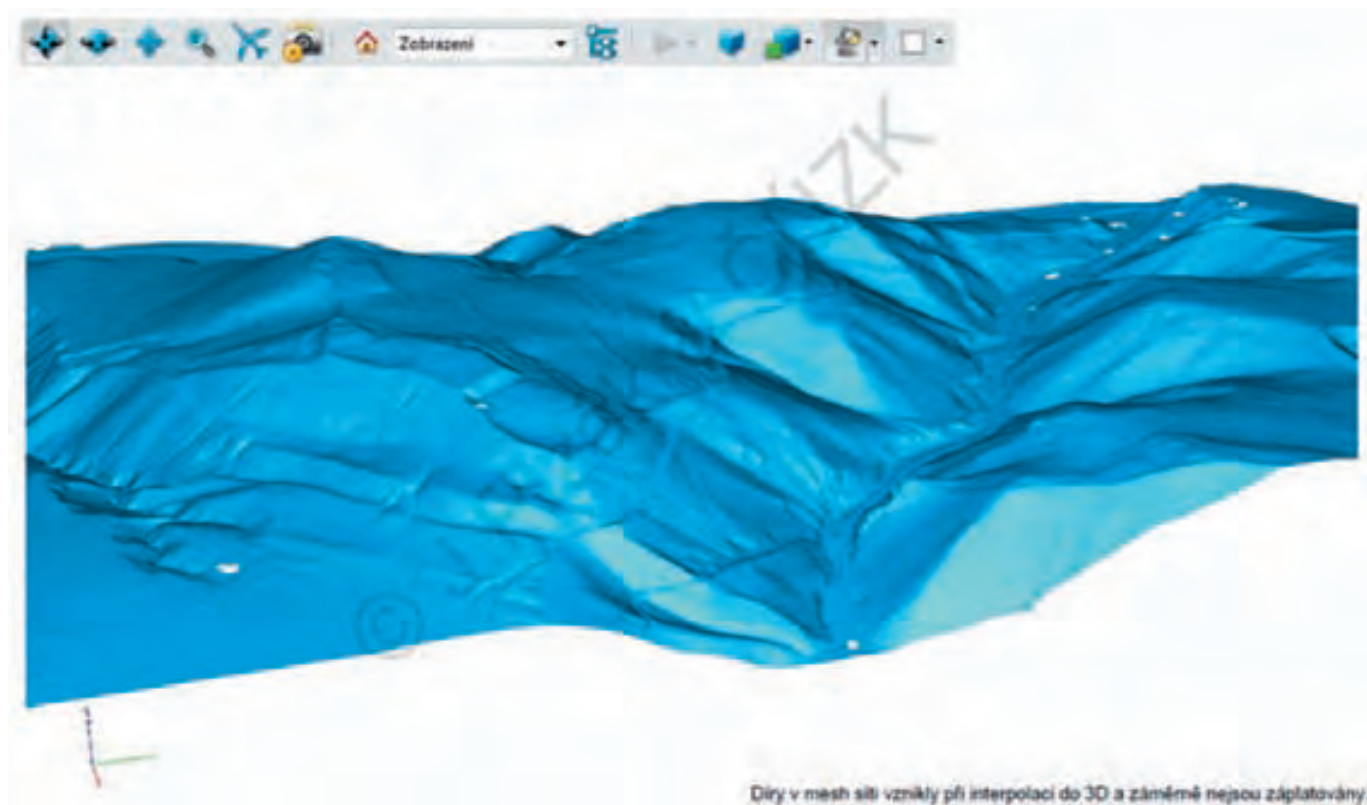
3. komponenta PCA (obr. 17C, 18C) podle předpokladu odstraňuje problém směru osvětlení; viditelná je tak reliéfní situace i v místech, jež jsou na předchozím zobrazení zastíněny nebo naopak přesevěteny, stejně jako objekty s paralelní orientací na směr iluminace. Výraznost kolmých objektů na směr osvětlení je naopak v tomto zobrazení potlačena. Akcentovány jsou přitom ostré hrany v terénu, zejména zahrocená dna příkopů, méně patrně pak koruny valů. Značnou nevýhodou se zdá být nemožnost rozeznání tvaru reliéfních tvarů v řezu. Vzhledem k obsažení jen necelých 2 % informace ze stínových

modelů jsou některé objekty zcela opomenuty. Chyby v důsledku špatně zvolené interpolační metody jsou viditelné podobně výrazně jako u stínování.

Věrné trojrozměrné zobrazení reliéfu potažmo antropogenních tvarů vytváří RGB kompozice prvních tří faktorů (obr. 17D, 18D). Nadto, vzhledem k zahrnutí téměř 100 % informace ze zdrojových dat, zobrazuje některé reliéfní struktury, které 3. komponenta zcela opomíjí nebo je zahrnuje téměř neznatelně. Tento způsob tak podává konzistentní přehled reliéfních variací, přičemž nezdůrazňuje určitý typ komponent vůči ostatním. Poněkud problematictější jsou pouze ty části území, které vyplňují ostré barevné odstíny a lidským okem jsou tak obtížně rozeznávány nepatrné barevné odlišnosti značící změny v průběhu reliéfu. Zastoupení řady barev v modelu rovněž znesnadňuje porozumění detailních situací. Chyby interpolační metody jsou naopak ze stejného důvodu na první pohled méně nápadné.

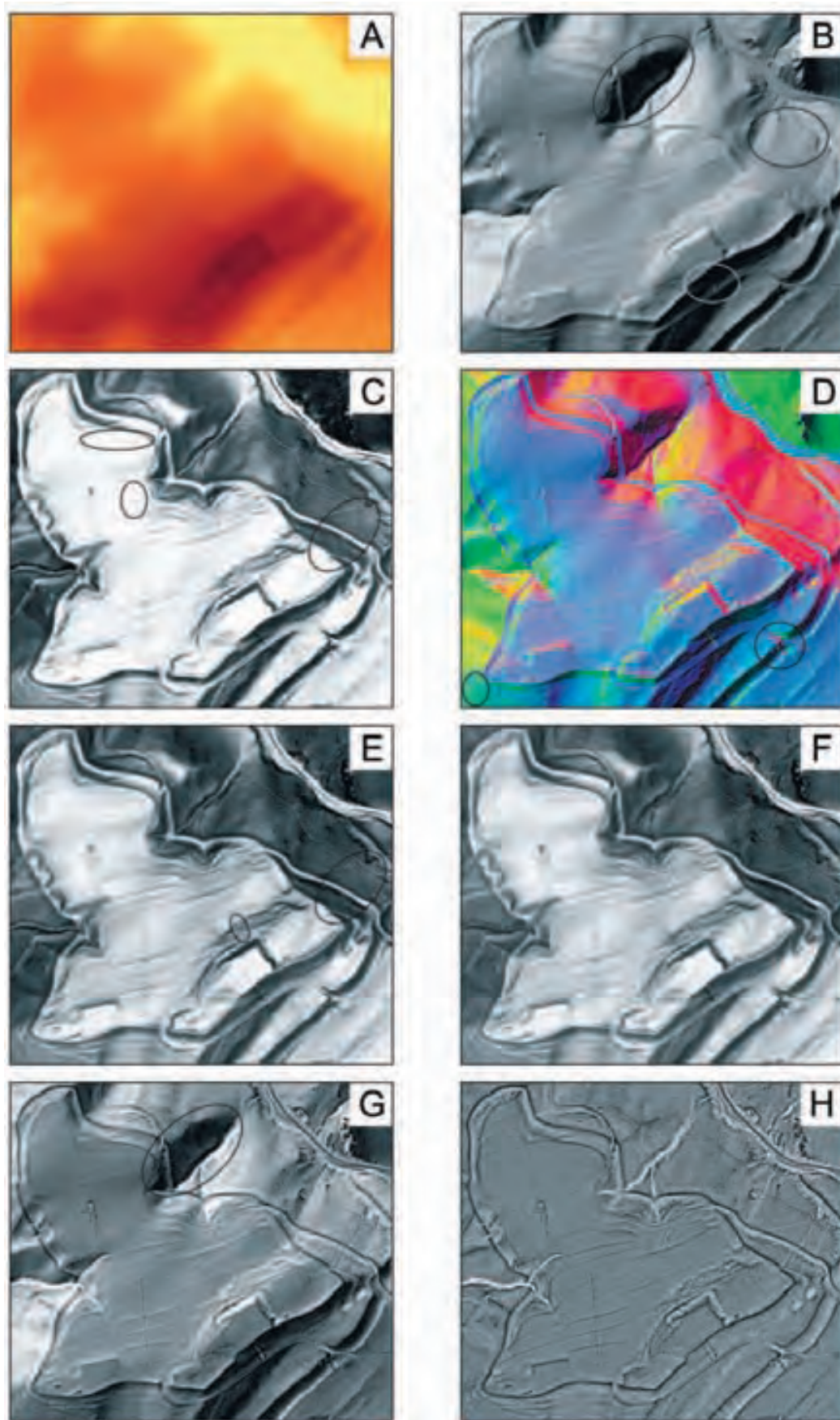
Výstup analýzy svazitosti (obr. 17E, 18E) se vysoce podobá 3. komponentě PCA s tím rozdílem, že není tak kontrastní. Méně „přepálená“ je zejména horní plocha hradiště, čímž je zde zaznamenáno větší množství reliéfních tvarů, avšak i chyb vzniklých při interpolaci. Podobně jako 3. komponenta však zdůrazňuje terénní hrany, rovněž bez dalších informací nedovedeme stanovit směr sklonu svahu a tedy určit tvar objektů v řezu. Tato skutečnost může mást zejména při posuzování členitých a na nepříliš rozsáhlém prostoru komplikovaných situací.

Je nasnadě říci, že LRM vznikly s využitím nástroje Focal Statistics (obr. 17G, 18G) akcentuje reliéfní variaci stínového



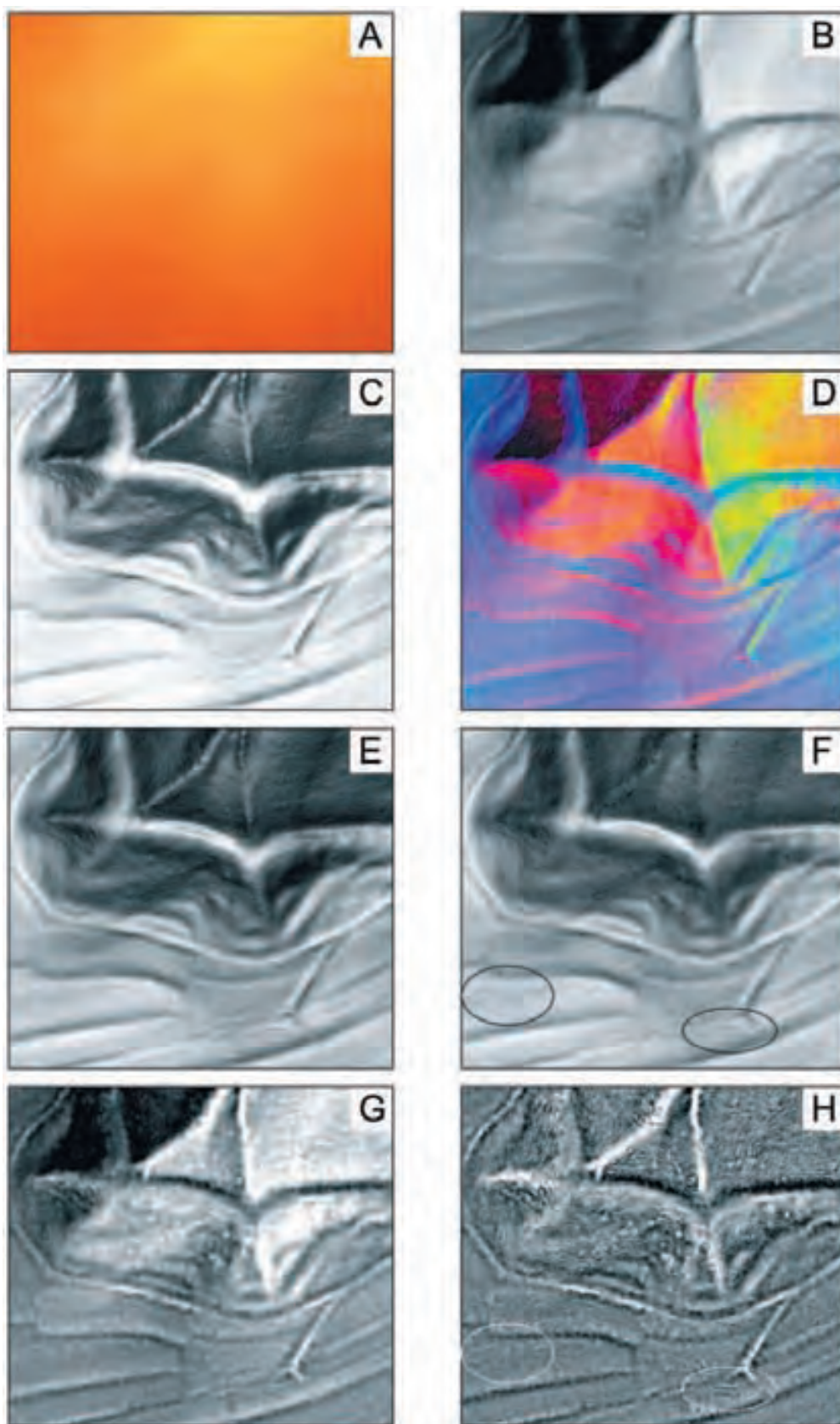
Obr. 16 – Náhled z interaktivního 3D zobrazení DMR 5G hradiště Závist (autor J. Plzák).

Fig. 16 – A view of the interactive 3D depiction of DTM 5G of Závist hillfort (author: J. Plzák).



Obr. 17 – Komparace jednotlivých způsobů vizualizace lidarových dat pro celé hradiště Závist; A – výškopisný DMR, B – stínový model reliéfu, C – 3. komponenta z PCA, D – barevná RGB kompozice prvních tří komponent PCA, E – analýza sklonů svahů, F – Sky-View Factor, G – Local Relief Model generovaný s využitím Focal Statistics, H – Local Relief Model generovaný s využitím Low-Pass Filter; označena jsou místa, kde oproti jiným zobrazením nejsou patrné reliéfní tvary nebo jsou obtížně interpretovatelná (autor L. Holata).

Fig. 17 – A comparison of the individual types of LIDAR data visualisation for the whole extent of Závist hillfort; A – digital elevation model, B – shaded relief model, C – 3. component from PCA, D – RGB colour composition of the first three PCA components, E – slope analysis, F – Sky-view Factor, G – Local Relief Model generated using Focal Statistics, H – Local Relief Model generated using Low-Pass Filter; the highlighted places are those, where relief features are not visible (author: L. Holata).



Obr. 18 – Komparace jednotlivých způsobů vizualizace lidarových dat detailního území na hradišti Závist; A – výškopisný DMR, B – stínový model reliéfu, C – 3. komponenta z PCA, D – barevná RGB kompozice prvních tří komponent PCA, E – analýza sklonů svahů, F – Sky-View Factor, G – Local Relief Model generovaný s využitím Focal Statistics, H – Local Relief Model generovaný s využitím Low-Pass Filter; patrné je zejména odlišné zviditelnění konkávních a konvexních terénních hran; na zobrazení F a H jsou označena místa s více zřetelnými falešnými objekty, které vznikly v důsledku použití špatné interpolační metody (méně výrazně se projevují i na ostatních zobrazeních; autor L. Holata).

Fig. 18 – A comparison of the individual types of LIDAR data visualisation of a focus area within the Závist hillfort; A – digital elevation model, B – shaded relief model, C – 3. component from PCA, D – RGB colour composition of the first three PCA components, E – slope analysis, F – Sky-view Factor, G – Local Relief Model generated using Focal Statistics, H – Local Relief Model generated using Low-Pass Filter; the differential highlighting of concave and convex terrain breaks becomes apparent; Places with highly defined false features are apparent on picture F and H – these were created when an inappropriate interpolation method was selected (they are less apparent also on the rest of the pictures; author: L. Holata).

modelu, což se nejvýrazněji projevuje zejména v případě paralelních objektů se směrem nasvícení. Zdůrazňuje přitom konvexní i konkávní terénní hrany, tmavšími resp. světlejšími odstíny však zobrazuje i rozsáhlejší části reliéfu, čímž znesnadňuje odhalení přesného průběhu některých terénních hran. Nepravé struktury jsou výraznější než na stínovém modelu.

LRM vytvořený s uplatněním nástroje Low-Pass Filter (obr. 17H, 18H) je jediný zde představený způsob vizualizace, který nevyvolává dojem trojrozměrného zobrazení dat. Pregnantně a velmi nápadně přitom určuje průběh všech terénních hran odlišených na základě tvaru v řezu bílým resp. černým zabarvením, zbytek území nabývá středních hodnot šedé barvy. Lépe viditelné než na ostatních zobrazeních jsou i méně nápadné objekty, což však platí i pro anomálie vzniklé nevhodně zvolenou interpolační metodou.

Vizualizace reliéfu pomocí Sky-View Faktoru (obr. 17F, 18F) se nápadně podobá výstupu analýzy sklonitosti svahů, přičemž odlišným barevným odstínem vystihuje konkávní terénní hrany. Sice je tak činí méně nápadnými, barevné spektrum však odpovídá tvarům objektů v řezu, díky čemuž se lze lépe zorientovat v komplikovaných situacích. Oproti stínovému modelu a 3. komponentě navíc zviditelňuje i objekty umístěné v prudším sklonu svahu, které jsou zahrnuty v obou LRM. Velice nápadné jsou v tomto způsobu zobrazení všechny chyby v průběhu reliéfu, které ruší výslednou vizualizaci.

Tato srovnávací analýza specifických derivátů DMR potvrdila známou skutečnost, že stínový model představuje nejméně vhodné zobrazení lidarových dat. Ačkoliv 3. komponenta PCA z nasvícených modelů extrahuje celkový přehled mikroreliéfu, vzhledem k obsažení pouze 1,92 % informace z původních stínových modelů nejsou některé reliéfní tvary v tomto modelu zahrnuty. Tuto skutečnost překonává barevná RGB kompozice prvních tří komponent, která obsahuje všechny terénní nerovnosti, v některých částech modelu je však nelze v důsledku ostrých zabarvení rozpoznat. Společně s analýzou svažitosti terénu, jež jinak citlivě odhaluje jemnou terénní profilaci, může vnášet klamný dojem v případě členitých situací, jelikož nerozlišují mezi konkávními a konvexními objekty. LRM podle *Davise (2012)*, přestože věrně zaznamenává průběh terénních hran, kontrastními barvami značí i další části reliéfu. Lepších výsledků proto dosahuje LRM testovaný autory tohoto příspěvku, který je od takových šumů oproštěn, oproti jiným zobrazením více zdůrazňuje i méně patrné reliéfní tvary a barevně je rozlišuje podle jejich tvaru v řezu. Tyto charakteristiky jsou vlastní i pro Sky-View Factor, a tak oba tyto specifické DMR považujeme za nejvhodnější ze všech sledovaných způsobů vizualizace lidarových dat, přestože v jiných mohou být reliéfní tvary zobrazeny i výrazněji. Není bez zajímavosti, že právě v těchto výstupech se nejnápadněji projevují i chyby vzniklé v důsledku špatně zvolené interpolační metody, které mohou odvádět pozornost od skutečných reliéfních tvarů.

5. Závěr a diskuse

LLS začíná být stále užívanější technikou v archeologickém výzkumu, přestože v našem prostředí bývá téměř výlučně užíváno k dokumentaci krajiny a vyhledávání pozůstatků lidských aktivit, které jsou zpravidla uchovány pod vegetačním pokryvem. Pro využití maximálního potenciálu této technologie proto vyvstává jasná potřeba, aby archeologové uměli nejen zacházet s výslednými produkty, ale aby byli obeznámeni i se všemi procesy jejich zpracování a vyhodnocení. Jedině tak totiž mohou řádně kriticky zhodnotit konečné mapové podklady a získat konkrétní představy o jejich limitech.

Z toho důvodu jsme se pokusili obsírně představit 3 klíčové fáze vyhodnocení lidarových dat. Naší snahou přitom bylo demonstrovat, že tyto mohou zásadním způsobem determinovat výsledné DMR a tedy i identifikaci a interpretaci odhalených reliéfních struktur. Vycházeli jsme výhradně z různých typů dat poskytnutých ČÚZK, které vzhledem k finanční dostupnosti jistě najdou mezi archeology široké uplatnění.

V první části textu byly představeny technické principy porizování dat LLS a jejich následné metody zpracování, kterými jsou generovány konečné produkty, konkrétně DMR 4G, DMR 5G a DMP 1G. Všechny poskytnuté typy dat byly následně posouzeny s ohledem na archeologické využití. Zároveň jsme upozornili na zásadní omezení, která kromě nevhodné doby skenování pásma Střed představují zejména jiné než archeologické účely iniciující vznik těchto produktů. Tato skutečnost se odráží především i v nedostatečné hustotě odrazů reliéfu, což může způsobit úplné opomenutí méně výrazných antropogenních tvarů. Vzhledem k nepřekonatelným limitům DMR 4G a dosavadnímu stavu zpracování DMR 5G byl vyzdvižen potenciál surových a robustní filtrací upravených dat pro účely prospekce a dokumentace lokalit. Na konkrétním území jsme testovali vlastní metody zpracování surových dat, přičemž jsme srovnávali vhodnost některých filtračních algoritmů v dostupných open-source softwarech. Výsledné DMR svou podrobností jednoznačně překonávají DMR 4G a jsou srovnatelné s DMR 5G. Přestože jsou zatíženy drobnými chybami pocházejícími ze špatně odfiltrované nízké vegetace, lze v nich rozpoznat i málo patrné objekty, které dokonce zůstaly nepostřehnuty povrchovým průzkumem. Úspěšně tak byl nastíněn pracovní postup, kterým by mohli v blízké budoucnosti samotní archeologové zpracovávat lidarová data.

V další části příspěvku jsme porovnávali šest různých interpolačních algoritmů, kterými jsou body reprezentující reliéf transformovány do výškopisného DMR. Záměrně jsme přitom pracovali v běžně užívaném softwaru ArcGIS 10 a využívali jen základní nastavení dílčích parametrů. Vycházeli jsme přitom z dat 4. a 5. generace i z dat po robustní filtraci. Srovnávací analýzou byly získány velice nekonzistentní závěry. Nejlepších výsledků pro data 4. generace dosahují oba Natural Neighbor, pro menší a méně členité území lze bez nesnází aplikovat i Kriging, přestože z estetického hlediska nejlépe působí DMR ge-

nerovaný metodou Spline. Ta v případě dat 5. generace zachycuje nejjemnější profilaci reliéfu, pro potvrzení vhodnosti této interpolace však musí být skutečná přítomnost evidovaných, méně patrných reliéfních tvarů ověřena povrchovým průzkumem. Obstojných výsledků proto dosahují interpolace Linear a oba Natural Neighbor. Posledně uvedená metoda při jejím aplikování z TINu navíc vytváří z archeologického pohledu nejkvalitnější DMR pro data upravená robustní filtrací z toho důvodu, že nevytváří reliéfní pseudostrukтуры v místech s nižší hustotou bodů. Ty v případě užití algoritmů IDW a Kriging devalvují vypovídací možnosti i DMR z dat 5. generace, což může znesnadňovat identifikaci a celkově znehodnocovat interpretaci detekovaných struktur. Volbu interpolačních metod podmiňuje i charakter vstupních dat. Oprávněnost užití interpolace Spline zásadně determinuje zejména jejich kvalita. Algoritmus IDW lze s úspěchem aplikovat pouze v případě značné hustoty odrazů reliéfu, pro konečné produkty nabízené ČÚZK je tak krajně nevhodný. Vysoký počet bodů naopak z důvodu náročného výpočtu vylučuje aplikaci interpolace Kriging, jež není zcela bez problémů i v případě jejich nižšího počtu. Pro lidarová data ho tedy neshledáváme příliš příhodným. Na základě konfrontace s povrchovým průzkumem byla rovněž prokázána skutečnost, že každý interpolační algoritmus vykreslí reliéfní tvary svým specifickým a jedinečným způsobem; rozhodnutí o jejich výběru tak musí být poplatné i cílům výzkumu, přičemž užití pouze jediné interpolace bez porovnání s dalšími nepovažujeme za zcela vhodný přístup.

Poslední fázi ve vyhodnocení lidarových dat představuje transformace výškopisného DMR do speciálních podkladů, které na základě odlišných principů odhalují menší topografické objekty, a tedy i reliéfní tvary antropogenního původu. Srovnávací analýza vycházela z dat 5. generace reprezentujících hradiště Závist. Zahrnovala šest v západoevropském prostředí běžně užívaných způsobů vizualizace společně s další metodou testovanou autory práce. Všechny byly kriticky zhodnoceny, zejména s ohledem na jejich limity při zobrazení reliéfu, zviditelnění různých typů objektů a rozlišení jejich tvaru v řezu. Potvrzena byla známá omezení stínového zobrazení, která jsou způsobována směrem dopadu osvětlení. Jeho užití tak přichází v úvahu pouze z důvodu základního seznámení s naskenovaným územím, pro systematickou analýzu reliéfu je krajně nevhodné. Závěry učiněné pouze na základě této vizualizace považujeme minimálně za pochybné a je s podivem, jak hojně bývá v archeologii využívána. Tyto problémy zcela nepřekonává ani extrahování nových proměnných z několika stínových zobrazení reliéfu pomocí PCA; třetí hlavní komponenta nezahrnuje všechny přítomné reliéfní tvary, v RGB kompozici prvních tří komponent zase nejsou v některých částech lidským okem rozeznatelné. Nadto společně s analýzou svažitosti výše uvedené metody nerozlišují tvar objektů v řezu, což zásadně znesnadňuje orientaci ve výrazně členitém či neklidném reliéfu. Tvar v řezu naopak viditelně rozeznává Sky-View Factor, stejně

jako LRM generované oběma způsoby. V případě využití Focal Statistics je do výsledného modelu nevhodně vnášen efekt stínu, a tak za nejlepší způsoby vizualizace, i vzhledem k zahrnutí nejširší škály objektů, považujeme LRM s využitím Low-Pass Filter a Sky-View Factor. Na obou specifických DMR se navíc nejvýrazněji projevují falešné objekty vzniklé nevhodně zvolenou interpolací, které by neblaze ovlivnily interpretaci odhalených reliéfních struktur. Obtížně bychom je rozeznávali i od pseudoobjektů v terénu, např. snosů větví.

Výše nastíněné závěry tohoto příspěvku, ve kterém jsme zcela rezignovali na bližší poznání lokalit, pro které jsme získali lidarová data, jsou z důvodu zahrnutí několika zásadních nedostatků předurčeny být pouze předběžnými. V první řadě nebyl zcela využit potenciál, který nabízí široká škála filtračních algoritmů. Z ekonomického hlediska jsme byli nuceni využívat jen open-source softwary, přestože pro řadu institucí není problémem získat licenci k užívání zpoplatněných programů, v nichž mohou být realizovány filtrace ještě na vyšší úrovni. Celá tato debata však podléhá možnosti získání surových dat. Sledování interpolací bylo výlučně zaměřeno pouze na prostředí softwaru ArcGIS, a proto nedokážeme odhadnout, zda se chovají podobně v řadě dalších programů pracujících s prostorovými daty. Ty navíc mohou zahrnovat i další druhy interpolací, které mohou být více vyhovující pro archeologické účely. Limitujícím faktorem je i vytváření DMR s přednastavenými parametry jednotlivých interpolací. Přestože tento způsob z hlediska předpokládané četnosti užití představoval náš záměr, nelze si naivně myslet, že žádný archeolog by nesvedl účelně specifikovat každý parametr. Považujeme za pravděpodobné, že právě jejich konkrétním nastavením vznikne pro naše účely nejvíce vyhovující DMR, přičemž nelze vyloučit, že to bude i pomocí těch interpolací, které zde nepovažujeme za vhodné. Přestože jsme zde představili několik způsobů vizualizací, náš sledovaný soubor nezahrnoval všechny, které dosud byly vyvinuty. Pro řádnou komparaci tento příspěvek citelně postrádá LRM představený Hessem, kvůli našim omezeným finančním možnostem nebylo možné zahrnout ani RRIM. Právě tyto vizualizace se zdají být nejvíce vyhovující pro potřeby zviditelnění antropogenních tvarů, a výrazně by tak ovlivnily učiněné závěry. K jejich definitivnímu přijetí je žádoucí precizní konfrontace jednotlivých fází vyhodnocení dat s různými metodami terénního výzkumu, který však pro účely tohoto příspěvku nemohl být realizován. Zde předložené závěry tak musejí být dále testovány po odstranění těchto nedostatků, ale i dalších, kterých si nejsme vědomi.

Přes všechny výtky však věříme, že tento příspěvek alespoň přehledně shrnul základní informace, které mohou začínajícím badatelům v problematice LLS usnadnit počáteční kroky. Nicméně, některé vyvstálé skutečnosti považujeme již v této fázi za neoblohmé. Pořízení a vyhodnocení lidarových dat představují natolik komplexní procesy, kde řada vzájemně podmiňujících se úkonů výrazně předurčuje podobu a vlastnosti konečných vý-

stupů, že v každé práci využívající LLS musí být podrobně rozebrány. Uvedena by měla být zejména charakteristika lidarových dat, informace o době skenování, způsob zpracování dat a filtrační algoritmy, volba interpolační metody a způsob vizualizace, jenž jako jediný bývá ve většině případů zřejmý. V případě absence těchto údajů je pro další badatele nemožné posoudit, s jakou informací pracují, přičemž je zcela vyloučena možnost vzájemného srovnání s dalšími naskenovanými transektami. Ignorování těchto údajů lze přirovnat ke konstruování obširných závěrů vyplývajících z archeologického výzkumu bez uvedeného popisu náleзовé situace. Je zřejmé, že tento pracovní postup není zcela optimální. Odhalené reliéfní struktury je navíc nutné testovat povrchovým průzkumem, přičemž je žádoucí minimalizovat časové rozpětí mezi realizací LLS a následným ověřením přímo v terénu. Lidarová data mohou zaznamenat množství dočasných aktivit (např. snosy větví), které po delší době nemusí být v terénu identifikovány. Není tak možné určit, co zaznamenané anomálie v DMR skutečně znamenají.

Bez splnění těchto skutečností nelze zcela důvěřovat výsledkům a závěrům učiněným prostřednictvím LLS. Takové práce přitom nemohou spolehlivě stanovit, zda se odhalené reliéfní tvary v terénu skutečně vyskytují a naopak zda se v „prázdných místech“ v DMR ve skutečnosti nenacházejí opomenuté reliéfní struktury. Právě tyto dvě zásadní skutečnosti mohou být snadno způsobeny nedostačujícím posouzením a vyhodnocením lidarových dat; může se jednat o místa s absencí skutečných odrazů reliéfu, mohla být špatně zvolena interpolační metoda či nedostačující vizualizace. Definitivní závěry lze konstatovat pouze v případě detailní analýzy lidarových dat a jejich kritického zhodnocení. Ty však mohou být zahrnuty pouze v případě obstojného porozumění principům LLS a vyhodnocení dat, které tak považujeme za nevyhnutelné u každého badatele využívající tuto techniku. Tyto znalosti postupem času jistě nabudou na významnosti. V blízké budoucnosti, když se technologie okolo LLS stane levnější a více dostupnější záležitostí, bychom podle ideálního scénáře měli sami navrhovat a specifikovat požadavky specializovaným firmám, které podle nich území naskenují. Bez předchozích znalostí tak nebudeme schopni využít veškerý potenciál, který tato moderní technologie nabízí.

Přesto nepovažujeme za nejvhodnější přístup, aby si archeologové svépomocí vyhodnocovali lidarová data a dosahovali konečných výstupů. I když někteří zvládají řadu netriviálních a technicky náročných operací, je zřejmé, že v dlouhodobém horizontu podobným způsobem pracovat nemohou. Současný technologický vývoj je již na takové úrovni, že humanitně orientovaný odborník i při vší snaze nedokáže stoprocentně pojmut všechny vědomosti z technických oborů, a tak do dané problematiky nemůže proniknout natolik, aby se dokázal zcela vyvarovat chybných vyústění. Naše úloha by tak měla spočívat zejména v pochopení principu a technických postupů zpracování. Jen díky těmto vědomostem jsme schopni v rámci interdisciplinárního přístupu rozvíjet odborný dialog se specializovanými odborníky nad zpracováním dat pro naše účely. Toto platí nejen pro LLS, ale i další technologie uplatitelné v archeologickém bádání. Z toho důvodu archeologové resp. paradigmaticky úzce vymezená skupina nesmí s tímto vývojem ztratit krok a naopak být neustále v závěsu sledováním možností, jak tyto technologie využít v archeologii.

Nejen letečtí archeologové by však měli mít vždy na paměti, že jejich primární vědeckou náplň by mělo představovat studium minulého lidského světa na základě archeologických pramenů. Měli by si tak být vědomi hranice mezi prioritním zájmem archeologie a problematikou spadající spíše do technicky orientovaných oborů. Bohužel i námi v tomto příspěvku byla dalece překročena. Přílišné zabřednutí do technologických parametrů a jejich testování lze považovat za nevhodně vynaložené úsilí, jestliže nejsou součástí širších archeologických, pokud možno i teoretických otázek vedoucích k vysvětlení struktur a objasnění událostí. Stejně tak i pouhá prezentace primárních výstupů různých technologií, třebaže pro širokou veřejnost mohou být atraktivní, nemůže tvořit uspokojivé a rozhodně ne definitivní závěry. Využití moderních technologií lze v archeologii akceptovat jedině tehdy, když přinese řádné „archeologické poznání“.

Poděkování

Za užitečné připomínky k rukopisu jsme zavázáni Mgr. Veronice Kosařové a Mgr. Pavlu Jansovi.

4

Examination of the optimisation process of the “archaeologically correct” approaches to airborne laser scanning data evaluation in forested landscapes**Potential of raw data filtration, issues of interpolation algorithms and methods of visualisation of anthropogenic features in digital terrain models**

In this paper we present three main phases of LIDAR data analysis, which essentially determine the nature of the final product of ALS used by archaeologists. In the present day, there is still little information available on the topic, yet the potential of ALS is rising rapidly. Although LIDAR data have a wide range of application, the most commonly used in archaeology is the DTM which highlights even the little apparent relief features that could be of anthropogenic origin. First, we turn our attention to the issue of raw data processing, such as the filtration and classification; then we look at the transformation of the data representing the terrain using interpolation of the digital elevation model. In the last step we look at the types of visualisation of anthropogenic in DTMs. The various types of data used were provided by the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre.

In the first part of the text we briefly introduce the technical principles of the data collection from Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre and their modifications. With respect to the recording of anthropogenic features we subsequently look at the final products of ALS and the new elevation map of the Czech Republic (DTM 4G a DTM 5G) and the consecutively modified data (raw data, data after robust filtration). These can be significant for archaeological research, because the DTM 5G is as yet not available for the whole of the Czech Republic and the DTM 4G is not fully suited for use in archaeology as it records only very distinct features. Hence, on a selected area there were tested the processing of the LIDAR data with the use of several filtration algorithms. It was proven that for the analysis of data with a low density from a small area, there can be used the widely available algorithms for extraction of echoes from the surface. The final DTMs are of sufficient quality for the recognition of anthropogenic features, although they are laden with smaller mistakes from an imperfect filtration of the low vegetation cover. Together with the availability of DTM 5G data the greatest problem for archaeology is the insufficient density of echoes.

In the following part of the paper we look at six different interpolations offered by the widely available ArcGIS 10 software, which were used to create DTM from three types of data (4th and 5th generation and data after robust filtration). Very inconsistent results were derived in the relative evaluation. The best results for the 4th generation data offer both the Natural Neighbor and for smaller areas also Kriging, although visually the best seems to be

the Spline method. This method captures even the smaller profiles in the terrain (5th generation data), although the actual presence of the poorly defined features needs to be verified by surface survey. Acceptable results can be derived from the Linear interpolation and from both Natural Neighbor. The interpolation counted from TIN also creates the best DTM for archaeological purposes for data after robust filtration, because it does not produce the pseudo-structures in places with lower points density. This also happens with data of the 5th generation, but to a lesser extent. In cases of a wrongly chosen interpolation algorithm the final DTM can include false relief features, which can complicate the identification and interpretation of detected structures.

In the last part of the paper we deal with the transformation of digital elevation models into special layers, which on the basis of different principles reveal smaller topographic features and hence also the relief features of anthropogenic origin. For the relative evaluation we used the 5th generation data of Závist hillfort. They included six types of visualisation commonly used in Western Europe together with one less applied method. We focused on revealing their limitations for relief depiction, highlighting various types of features and their shape. The well-known limitations of hill-shaded model were verified and they could not be fully excluded even with the extraction of new variables from several shaded relief models using PCA. Their results either do not include all the present relief features or they are not recognisable. Together with the slope analysis of the above mentioned method they do not differentiate the shape in the cut of a feature, which is inherent in the Sky-View Factor and LRM generated using both methods. The LRM generated by Focal Statistics includes the unwanted shadow effect. Hence, the best visualisation methods appear to be the LRM with Low-Pass Filter and the Sky-View Factor.

Understanding of the principles of analysis of LIDAR data we see as absolutely crucial for a competent interpretation of the mapping products which depict the relief structures using ALS. We argue that an uncritical evaluation of these data can lead to incorrect interpretations. With respect to technical skills of some archaeologists we argue for an interdisciplinary approach and leaving the technical aspects of the work with the data to the specialists, while the role of the archaeologists should lie in the understanding of the basic principles of the analysis and formulating their specific needs in accordance with their research goals.

Neolitická těžba na Jistebsku v Jizerských horách a možnosti její detekce pomocí leteckého laserového skenování

1. Úvod

Studium provenience surovin používaných pravěkými lidmi pro výrobu kamenných nástrojů má v českých zemích dlouhou tradici. Zdrojové oblasti surovin používaných k výrobě štípané industrie jsou poměrně dobře známy, protože výchozy těchto hornin jsou dobře odlišitelné. Jiná byla až donedávna situace v poznání zdrojů metamorfovaných surovin pro výrobu neolitických broušených seker. Ty byly hledány po celé 20. století. Problém původu suroviny neolitických nástrojů vyřešili až V. Šrein a A. Přichystal v roce 2002 (*Přichystal 2002; Šrein et al. 2002*). Oba lokalizovali výchozy suroviny v plášti tanvaldského granitu a upozornili na přítomnost artefaktů souvisejících s těžbou a zpracováním suroviny v neolitu (5500 až 4000 cal. BC).

Postupně bylo objeveno několik lokalit, kde probíhala těžba a výroba polotovarů seker na jižním okraji Černostudničního hřebene. Naprosto unikátní se ukázala být lokalita Jistebsko, kde byly objeveny těžební jámy nejasného stáří. Již díky prvním terénním výzkumům bylo možné spojit reliktu těžby s neolitickou produkcí broušených nástrojů. Na 25 hektarech se na Jistebsku dochovaly těžební jámy, které vznikly před více než sedmi tisíci lety. Antropogenní reliéf, po kterém na Jistebsku chodíme, je starší, než egyptské pyramidy či britské Stonehenge, a byl celý přemodelován činností člověka. Rozsah těžby dosáhl v neolitu těžko uvěřitelných 1,5 km². Velká část plochy zasažené těžbou v neolitu ale byla v průběhu středověku a novověku transformována zemědělskou činností na pole.

Archeologický výzkum probíhá na Jistebsku a dalších těžebních lokalitách od roku 2002. Za tu dobu bylo prozkoumáno cca 100 m², což je malý zlomek rozsahu celé lokality. Z této plochy ale pochází na 20 000 artefaktů, které souvisí s těžbou a zpracováním suroviny. Na 1 m² lokality připadá odhadem cca 100 kusů produkčního odpadu. Na ploše 1,5 km² tedy celkové množství hypotetického odpadu představuje 150 000 000 kusů. Na výrobu jednoho polotovaru připadá cca 50 – 100 kusů odpadu a tak mohla celková produkce dosáhnout čísla 1 500 000 – 3 000 000 kusů polotovarů, broušených nástrojů. Při trvání těžby okolo 500 let je to 3 000 – 6 000 kusů za rok (8 – 16 za den). Těžbu a produkci by tak bez problémů mohla zvládnout jedna specializovaná skupina. Při průměrné hodnotě artefaktu 1 dkg by vytěžené množství suroviny odpovídalo 1530 tunám. Tento odhad je spíše spodní hranicí, protože na mnoha místech přesahuje

průměrné množství odpadu hodnotu 100 kusů na 1 m² (v extrémních případech dosahuje až 6000 kusů na metr čtvereční).

První využití valounů metabazitů typu Jizerské hory je dokumentováno již na gravettské lokalitě Praha – Jenerálka (*Šída et al. 2009, 71*). Další doklady využití této výjimečné suroviny známe až z mezolitu. Bylo zaznamenáno na několika lokalitách Českého ráje (*Šída – Prostředník 2007*). Štípaná industrie z metabazitů se nachází celkem na 6 mezolitických lokalitách z 13 a tvoří vždy malou část kolekce v řádu prvních procent.

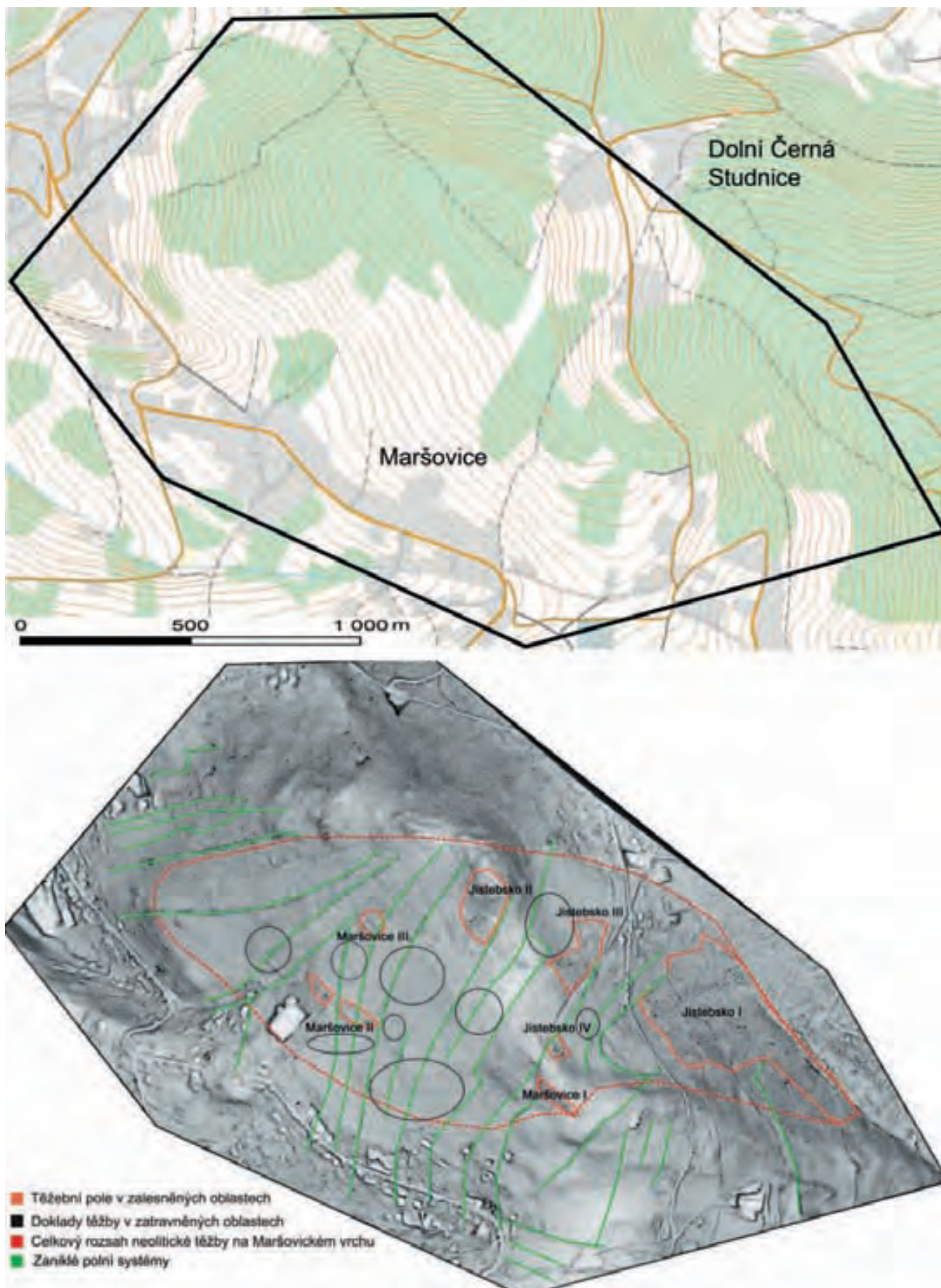
V období kultury s lineární keramikou je metabazit typu Jizerské hory výhradní surovinou pro výrobu broušené industrie na celém území rozšíření kultury. Surovina se objevuje již v nejstarší fázi kultury a dominuje po celou dobu trvání. Období kultury s vypíchanou keramikou můžeme rozdělit na dvě části. Ve starší fázi kultury odpovídá využívání metabazitů z Jizerských hor obrazu, který známe z předchozího období. V mladší fázi kultury se obraz využití zcela mění. Těžba v Jizerských horách podle současných znalostí patrně končí. Důvodem může být vyčerpání zdrojů.

Neolitická těžba v Jizerských horách představuje unikátní fenomén evropského pravěku. Těžba probíhala na obrovské ploše po dobu půl tisíciletí. Surovina zásobovala prostor o průměru takřka 1000 km, což je patrně jeden z největších distribučních areálů vůbec. Proto si tento unikátní fenomén zaslouží naši plnou pozornost.

2. Letecké laserové skenování na Jistebsku

Plošně rozsáhlé památky velikosti těžebního areálu Jistebsko je velmi těžké vyhledávat a dokumentovat tradičními postupy, obzvláště nacházejí-li se v zalesněném a nepřehledném terénu. Nejeftektivnější metodou použitelnou v takovýchto případech na velkých plochách je nepochybně letecké laserové skenování (LLS). V této práci se zaměříme na porovnání dvou souborů dat LLS, které máme v současné době z lokality k dispozici, pokusíme se zhodnotit jejich přínos a možnosti využití.

První snímkování prostoru neolitické těžby na Jistebsku pomocí technologie LLS (průlety v malé výšce) proběhlo počátkem listopadu 2009 na objednávku Univerzity v Hradci Králové, Hamburku a Muzea Českého ráje v Turnově. Snímkování zprostředkovala firma Argus Geo z Hradce Králové na



Obr. 1 – Jistebsko (okr. Jablonec nad Nisou), Maršovický vrch. Celkový rozsah oblasti skenované v roce 2009. Barvy interpretovaných objektů: hnědá – pozůstatky neolitické těžby v zalesněných oblastech, černá – pozůstatky neolitické těžby v zatravněných oblastech, červená – celkový rozsah neolitické těžby, zelená – zaniklé polní systémy (středověk/novověk).

Fig. 1 – Jistebsko (region Jablonec nad Nisou), Maršovický hill. The complete extent of the area scanned in 2009. The colours of interpreted features are: brown – the remains of Neolithic quarrying in forested areas, black – the remains of Neolithic quarrying in grasslands, red – the complete extent of Neolithic mining, green – past field systems (medieval/modern).

ploše 3 km² v oblasti Maršovického vrchu, kde jsou dobře dochovány stopy neolitické těžby, ale i mladší aktivity, zejména v podobě zaniklých polních systémů (obr. 1). Vegetace v době snímkování již odpovídala zimnímu období, protože koncem října napadlo v horách abnormální množství sněhu, který do doby snímkování roztál (díky tomu již byla tráva na nepokosených loukách slehlá a listí ze stromů opadané).

Pro srovnání (obr. 2 a 3) byla získána o rok mladší data z východní části Maršovického vrchu. Toto druhé snímkování lokality proběhlo v rámci Projektu tvorby nového výškopisu České republiky v červnu 2010. Jelikož se jednalo o období s rozvinutou vegetací, skenování proběhlo z výšky 1 200 m s překryvem průletů (pásů) 35 – 50 % (Šíma 2011).

Díky časovému odstupu je možné sledovat některé změny, které v prostoru neolitického těžebního areálu proběhly (například změny vegetace, rozpad hromad dřevní hmoty z těžby, proběhnuvší nedlouho před snímkováním (viz výsledky).

3. Postup vyhodnocení

Data skenování z roku 2009 byla dodána v klasifikované podobě, tedy jako hotový podklad pro výpočet digitálního modelu reliéfu. Naproti tomu data z roku 2010 prošla zatím pouze automatickou klasifikací pomocí robustní filtrace, a tak některé zbytky odrazů od vegetace musely být odstraněny pomocí manuální klasifikace v prostředí programu MARS7.

Následně byly z obou datových souborů interpolovány digitální modely reliéfu s prostorovým rozlišením 1 m, a to pomocí metody nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) v programu Surfer. Výsledky jsou zobrazeny pomocí faktoru výhledu (sky view factor – viz Kokalj – Zakšek – Oštir 2011). Zmíněná metoda se dobře hodí pro identifikaci konkrétních terénních reliktů, v tomto případě zbytků těžebních jam, které se ve výsledku projevují jako tmavé bodové objekty (viz obr. 2).

V rámci zpracování dat byla sledována rovněž hustota naskenovaných bodů, které sloužily jako podklad pro výpočet digitálního modelu reliéfu. Ke zjištění hustota naměřených bodů posloužily dvě oblasti, a to zalesnění plocha lokality Jistebsko 1 a oblast bez lesní vegetace, kde jsou patrné zbytky těžebních jam v otevřené krajině (poblíž dochované polohy Jistebsko 3). V otevřené krajině byla zjištěna hustota skenování 1,15 bodu/m² u dat z roku 2009 a hustota 1,5 bodu/m² u dat pořízených v roce 2010. Data snímaná v rámci Projektu tvorby nového výškopisu ČR jsou tedy o něco detailnější. Pokud se ale zaměříme na zalesněné oblasti, docházíme k velmi podobnému výsledku jak pro data z roku 2009 (0,64 bodu/m²) tak u dat z roku 2010 (0,62 bodu na m²). Hustota pokrytí měřeními body je tedy v obou souborech velmi podobná, distribuce bodů je ale do značné míry odlišná, což nepochybně souvisí se stavem vegetačního krytu krajiny v době skenování, a tudíž i na výsledných modelech terénu jsou patrné rozdíly, např. na polohách Jistebsko 1 a 3.

Interpretace zjištěných objektů byla provedena na základě dlouhodobé zkušenosti P. Šídy s terénem sledované lokality.

4. Výsledky

Lidarové snímky představují kvalitativní skok v možnostech dálkového průzkumu krajiny. Podle zkušeností s vyhodnocením dat z Jistebska, Velkých Hamrů a Šumberku víme, že je za ideálních podmínek možné vidět i terénní nerovnosti o velikosti okolo 10 cm, pokud tvoří definovatelný geometrický útvar. Na snímku z Šumberku je tak možné u čp. 422 spatřit spodní mez bramborového pole, které bylo oráno pouhých 10 let (v 80. letech 20. století). Na snímcích vidíme četné stopy po ježdění terénních motocyklů (ty se v terénu projevují vyjetými koleji o hloubce od 5 do 20 cm, na snímcích jsou patrné jako různé obloukovité linie, většinou uzavřené do okruhů), nebo hromady větví vyskládaných do řad po těžbě dřeva (viz Jistebsko 1). Právě vzhledem k variabilitě objektů, které lidarové snímkování zachycuje, je pro správnou interpretaci zachycených objektů nutná dobrá znalost krajiny, kterou hodnotíme. U objektů, které se vymykají běžnému rámci objektů zachytávaných v krajině je bezpodmínečně nutná jejich verifikace pozemním vizuálním průzkumem.

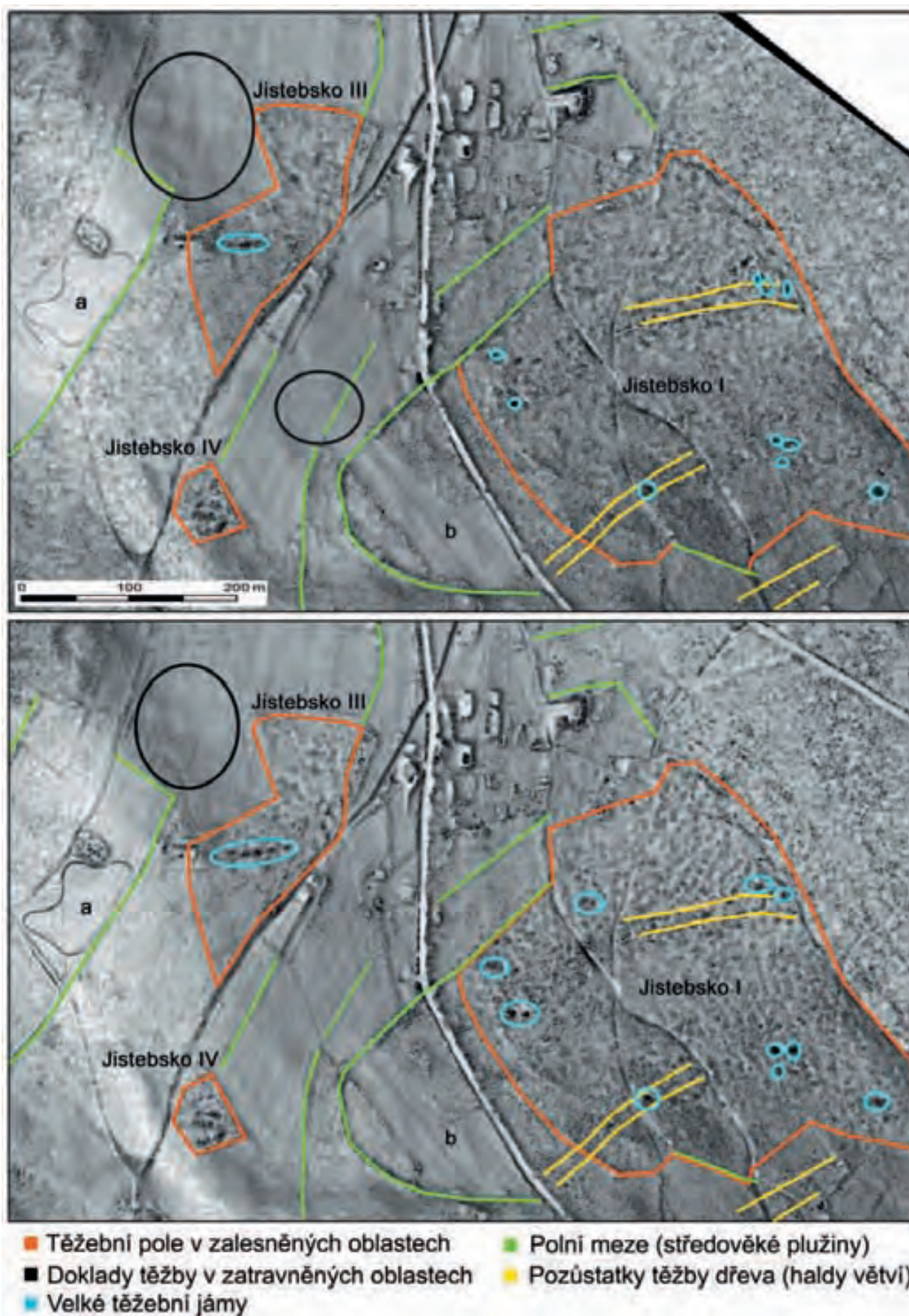
Krajina podhůří Jizerských hor představuje unikátně dochovaný soubor povrchových stop lidské činnosti, které můžeme datovat od pravěku až po novověk. Důvodů takového bohatství je hned několik. Krajina podhůří má značný výškový gradient (daleko větší, než vlastní Jizerské hory) a tak se až na malé výjimky nehodí pro obdělávání pomocí těžké mechanizace a tím pádem pro scelování polí. Středověká a novověká pole, která byla v novověku postupně zatrávňována na pastviny tak většinou po druhé světové válce ztratila zemědělský význam a byla masivně zalesňována (les má dnes stáří mezi 50 a 60 lety, a je již vhodný pro lidarové skenování). Důležitým faktorem je i lokální geologie. Sledované území se nachází na kontaktním dvoru krkonošsko-jizerského a tanvaldského granitu. Horniny kontaktního dvora jsou velmi odolné vůči zvětrávání a tak se na nich vyvíjejí silně skeletové půdy. Orba takových půd tak v ornici obnažuje obrovské množství kamenů, které je nutné neustále vysbírávat a deponovat na okrajích, či v rámci polí. Ne nadarmo místní moudrost praví, že místní pole plodí ze všeho nejvíc kamení. Toto sbírání probíhalo od počátku zemědělského obdělávání plochy ve středověku kontinuálně až do 20. století. Jeho produktem jsou charakteristické hromady kamene na okrajích či v rámci polí, kterým se vžil místní název „hrobky“, a výrazné mezní pásy, které mohou svoji mohutností připomínat kamenné valy (největší mají šíři u základny okolo 2 m a výšku až 1,5 m).

Primárním účelem skenování bylo odhalit rozsah a podobu reliktů neolitických těžebních jam. To se do značné míry podařilo. Plocha neolitické těžby ale představuje pouze malý zlomek rozsahu skenované krajiny. Na zbytku plochy skenování odhalilo palimpsest reliktů zemědělského využívání prostoru různého stáří (vznikajícího jistě od středověku vlastně až do současnosti). Protože jeden z autorů (PŠ) tento prostor mapuje již od roku 1998, nebyl pro nás rozsah reliktů překvapující. Lidarové snímkování ale poprvé umožnilo vnímat celý dochovaný prostor jako komplexní památku (dnešní vnímání krajiny je ovlivněno tím, že



Obr. 2 – Jistebsko (okr. Jablonec nad Nisou), Maršovický vrch. Digitální modely reliéfu zobrazené metodou faktoru výhledu. A – data z listopadu 2009, B – data z června 2010. Zástavba patná v okolí silnice vedoucí středem snímku patří vsi Dolní Černá Studnice.

Fig. 2 – Jistebsko (region Jablonec nad Nisou), Maršovický vrch. Digital terrain model visualized using the method of sky view factor. A – data from November 2009, B – data from June 2010. The development visible near the road in the centre of the caption belongs to the village Dolní Černá Studnice.



Obr. 3 – Jistebsko (okr. Jablonec nad Nisou), Maršovický vrch. Digitální modely terénu z obr. 2 doplněné o interpretaci hlavních objektů zmiňovaných v textu. Barvy interpretovaných objektů: hnědá – pozůstatky neolitické těžby v zalesněných oblastech, černá – pozůstatky neolitické těžby v zatravněných oblastech, modrá – velké těžební jámy, žlutá – pozůstatky těžby dřeva (haldy větví), zelená – polní meze.

Fig. 3 – Jistebsko (region Jablonec nad Nisou), Maršovický vrch. Digital terrain model from Fig. 2 complemented with the interpretation of the main features mentioned in the text. The colours of interpreted features are: brown – the remains of Neolithic quarrying in forested areas, black – the remains of Neolithic quarrying in grasslands, blue – large mining pits, yellow – remains of wood exploitation (branch heaps), green – deserted field systems.

je z velké části pokryta lesem, který navíc donedávna velkou část reliktní skrýval – teprve dnes se les sázený v padesátých a šedesátých letech stává dostupný). Komplexnost dochovaných reliktní je v českém prostoru unikátní a jistě si zaslouží pozornost i do budoucna.

V této práci není možné postihnout podrobně vše, co lidarové mapování odhalilo, a proto se zaměříme pouze na jedinou snímovanou oblast (Maršovický vrch) a představíme to nejdůležitější.

Na Maršovickém vrchu se dochoval unikátní komplex reliktní pravěké krajiny, jaký nemá v České republice období. Na obr. 1 můžeme vidět celkový rozsah neolitické těžby, která dosáhla plochy přes 1 km² a jednotlivé části prostoru s dochovanými relikty těžby. Plocha s dochovanými relikty je dnes celkem 7 o celkové rozloze více jak 25 hektarů. Na lidarových snímcích je velmi dobře patrný rozsah těžebních ploch a v partiích pokrytých starším lesem můžeme identifikovat i jednotlivé jámy. Díky snímkům se podařilo identifikovat i dosud neznámou plochu (Jistebsko IV), která byla v době mapování prostoru v letech 2002 až 2005 pokryta mladým smrkovým lesem (ten mapování prostoru znemožnil).

Původní rozsah těžby byl významně větší, než dnešní dochovaný stav. Dokládají to nejenom záchranné výzkumy posledních let (například parcela 350/1 na okraji obce), ale i sám rozptyl neolitických artefaktů v ploše dnešních luk a polí. Významná plocha původních těžebních polí byla pracně v průběhu středověku a novověku rekultivována na pole. Nejvýrazněji je tato činnost patrná na lokalitě Maršovice III, kde probíhalo zemědělské obhospodařování. Těžební jámy ale byly tak obrovské, že i přes dlouhodobou orbu jsou stále jasně patrné. Existenci zasypaných jam v ploše dnešních luk máme doloženo i dalšími postupy. Na leteckých snímcích z 30. let 20. století jsou patrné porostové příznaky jam v prostoru jihozápadně od lokality Jistebsko III. V okolí této lokality byla těžba patrně nejintenzivnější, protože se zde nachází jednak enormní množství artefaktů, jednak nejvýraznější těžební jámy. Na loukách v okolí jsou i dnes při nízkém slunci (v zimních měsících bez sněhu) patrné mělké relikty jam, které velmi dobře zobrazilo i samo lidarové mapování. Nejvíce těchto reliktní je patrné západně od lokality Jistebsko II a pak na celém jihozápadně orientovaném svahu Maršovického vrchu spadajícím k Maršovickým.

Plošně nejrozsáhlejší jsou relikty po mladším zemědělském využívání prostoru. Prostor neolitického těžebního pole byl postupně z velké části přeměněn na pluzinu. Ta je v prostoru definována vlastními rovnými plochami polí, hromadami kamení na okrajích parcel a výraznými mezními pásy z vysbírávaných kamenů (nejvýraznější mají šířku až 2 m a výšku přes metr). Do snímovaného prostoru zasahují pluziny tří vesnic. Na západním okraji je to část pluziny dnešního Kokonína, ve středu pluzina Maršovic a na východním okraji část pluziny dnešní Krásné. Dostupné písemné prameny vsi poprvé připomínají až v 16. století. Nepřímé archeologické prameny ale ukazují na jejich středověké stáří. Při výzkumu těžebního pole I jsme odhalily erozně akumulární proje-

vy odlesnění souvisejícího s proměnou polohy na pastvinu. Toto rozšiřování prostoru pastvin okolo starších polí je patrné všude v Jizerských horách. Datování pluzin je obtížné, protože archeologických nálezů z prostoru podhůří je minimum. První zmínky pro vsi s pluzinami pochází jak ze středověku, tak z novověku, jsou ale značně fragmentární. Na blízkém Českém Šumberku máme archeologicky doloženy středověké aktivity z prostoru pluziny, která nemá žádnou písemnou zmínku. Můžeme tedy s jistou dávkou nejistoty předpokládat, že hlavní horizont kolonizace probíhal již ve středověku a z této doby pochází parcelace. Vlastní archeologické památky, z nichž se pluzina skládá, a které dnes detekujeme, vznikaly po celou dobu jejich zemědělského využívání.

Na lidarových snímcích můžeme spatřit i pozůstatky zcela recentních aktivit. Na samém vrcholu Maršovického vrchu můžeme vidět koleje vyjeté terénními motocykly (na obr. 3 označeno písmenem a). V prostoru Dolní Černé Studnice je dokonce patrný zasypaný výkop pro vodovod z devadesátých let, který dnes z pohledu ze země není vůbec viditelný (na obr. 3 označeno písmenem b).

5. Závěr

Vyhodnocení dat leteckého laserového skenování malé oblasti v okolí Maršovického vrchu je dobrým příkladem významu, který má tato technologie pro dokumentaci antropogenního reliéfu terénu. V rámci interpretace dat byly zachyceny doklady lidských aktivit od neolitu po současnost, a to jak v zalesněných, tak v otevřených partiích krajiny. Významným přínosem je identifikace dosud neznámé části neolitického těžebního areálu (Jistebsko IV), který v důsledku husté vegetace doposud unikal pozornosti.

Při srovnání lidarových dat z let 2009 a 2010 byly konstатовány rozdíly, způsobené s největší pravděpodobností stavem vegetace v různých ročních obdobích, vyloučit ale nemůžeme ani vliv průběhu skenování (typ skeneru, směr náletů apod). Data z listopadu 2009 lépe zachycují drobné terénní nerovnosti (pozůstatky zplanýrovaných těžebních jam) v zatrávněném terénu, což je nejspíše způsobeno slehnutím travních porostů po prvním sněhu. Překvapivé je zjištění, že těžební jámy v zalesněném terénu jsou většinou lépe zachyceny na datech z roku 2010, přestože ke skenování došlo v měsíci červnu, tedy již za plně rozvinuté vegetace. Dobře patrný je tento rozdíl např. u řady velkých jam v areálu Jistebsko III. Na základě tohoto zjištění lze předpokládat, že data Projektu tvorby nového výškopisu České republiky budou v mnoha případech dobře využitelná pro identifikaci lokalit s výskytem antropogenních terénních reliktní. Rovněž se ukazuje nutnost terénního ověřování jednotlivých situací. Při neznalosti místního terénu by mohly být liniové pozůstatky těžby dřeva (viditelné zejména na datech z roku 2009, kdy byly zřejmě výraznější) snadno zaměněny např. s mezními pásy pluziny.

Poznámky

Data byla laskavě poskytnuta Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním

Petr Šída – Jan John – Jan Prostředník – Brita Raminnger

5.

Neolithic quarrying at Jistebsko in Jizera Mountains and the possibilities of its detection using airborne laser scanning

This paper looks at the comparison and evaluation of two sets of airborne laser scanning data of the region Maršovický hill (cadastral area Jistebsko, Jablonec nad Nisou). From an archaeological perspective, this region is very important particularly because there is an extensive Neolithic quarry site, where there was extracted the material for stone axes, particularly of the Linear Pottery culture.

The individual scans were undertaken in November 2009 and June 2010. The resulting digital relief models capture the evidence of human activities here from the Neolithic to the present in both the forested and open landscape. Of particular importance is the identification of a previously unknown part of the Neolithic quarry site (Jistebsko IV), which was overlooked before because of a dense vegetation cover.

In comparing the lidar data from 2009 and 2010 there were noticed some differences, which were probably caused by the varied vegetation cover respective to the season of the year. The data from November 2009 capture better the slight relief variations (the remains of levelled quarry pits) in open grassland, which is probably caused by the lower profile of vegetation after the first snow had melted. On the other hand, the quarry pits in forested terrain are more apparent from the scans of 2010, although the data were collected in June, in the high time of vegetative season. This difference is the most obvious e.g. on the line of large pits on Jistebsko III site.

The need for surface verification of individual discoveries also became apparent. With little knowledge about the local terrain, the linear remains of wood exploitation (visible on scans from 2009) could have been mistaken e.g. for field boundaries.

6

Potenciál využití leteckého laserového skeneru na archeologicky dlouhodobě zkoumaném území: případová studie z oblasti severně od Písku

1. Vymezení oblasti, přírodní podmínky, vývoj osídlení

Podnětem k práci na této kapitole se stala možnost využít metody leteckého laserového skenování (LLS; lidar)¹ a provést analýzu záznamu povrchu země pořízeného touto metodou nad územím s větším počtem nemovitých archeologických památek dochovaných v podobě antropogenního terénního reliéfu. Za sledované území byla vybrána oblast severně od města Písku především kvůli přítomnosti hradiště z přelomu starší a střední doby bronzové na katastru obce Vrcovice v poloze Dolejší Lipice, na němž v šedesátých letech minulého století proběhl větší archeologický výzkum vedený A. Benešem, který po jeho úmrtí zpracovává a připravuje k publikaci D. Hlásek. Vybraný polygon je ohraničen kladem mapového listu (obr. 1). Jedná se o převážně zalesněné území, které umožnilo v reliéfu terénu dochování četných archeologických nemovitých památek z různých časových období. Díky dlouhodobému archeologickému zájmu o toto území (první zpráva pochází již ze šedesátých let 19. století: *Památky archeologické 1868–1869*), je odtud publikováno několik archeologických lokalit pravěkého až novověkého stáří. Vzhledem k velmi dobrému stavu poznání této oblasti archeologickým průzkumem několika generací badatelů se zde nabízí možnost porovnání poznatků získaných tradičními postupy terénního výzkumu s výsledky metody leteckého laserového skenování.

Uměle vymezené území obdélného tvaru odpovídající kladu mapových listů (viz níže) má rozměry 2 x 2,5 km (plocha 5 km²) a leží na rozhraní dvou katastrálních území, kde hranici představuje řeka Otava. Na pravém břehu je katastr obce Vrcovice a na levém obce Topělec. Jedná se o převážně zalesněnou oblast. Bezlesí je při jižním okraji vytyčeného obdélníku, částečně při západní okraji a pak především na celém vrchu Bohuslavci v severovýchodním rohu, který byl odlesněn v 19. století. Geologické podloží zde tvoří rula, granodiorit a místy žilný granit (žula).² Významné pro naši práci je zlatonosné zrudnění, které v okolí Písku tvoří jižní okraj středoevropského plutonu (Machart 1971, 12). Území plně náleží geomorfologickému podcelku Zvíkovské pahorkatiny, která má erozně denudační reliéf s rozsáhlými zbytky neogenních zarovnaných povrchů se strukturními hřbety a suky a hluboce zaříznutými údolími

Otavy a jejich přítoků (Demek a kol. 1987, 575). Nejvyššími body jsou vrcholy Sýkorka (525 m n. m.), Kostelík (508 m n. m.) a Bohuslavce (467 m n. m.) ležící na pravém břehu řeky, které organicky navazují na vrcholy Píseckých hor Mehelnické vrchoviny. Na opačné straně řeky je nejvyšším bodem návrší Na Hřebíčku (426 m n. m.).

Ze stávajících archeologických nálezů vyplývá, že sledované území bylo v rámci jihočeského pravěku součástí centrální oblasti osídlení. Nejstarší doklady odtud pocházejí z pozdního paleolitu a mezolitu (Vencl – Michálek – Fröhlich 2006). Následujícím výrazným horizontem je až samotný sklonek starší doby bronzové, kdy zde bylo zbudováno vrcovické hradiště a začala být využívána poloha Na Hřebíčku k mohylovému pohřbívání. Zde se dále pohřbívalo ve střední a mladší době bronzové, pozdní době halštatské a snad i v pozdní době laténské. V širším zájmu tohoto pohřebiště se nacházejí současné sídliště. Výrazná intenzita využití této oblasti přichází pak ve vrcholném středověku se založením královského města Písku a zde pak především montánní činnost, především těžba zlata. Od této doby lze využívání tohoto prostoru předpokládat kontinuálně až po současnost, nejvýrazněji jakožto komunikační zóny či pro exploataci surovin atd. Některé stopy lidské činnosti se doposud zachovaly v reliéfu



Obr. 1 – Mapa ČR s lokalizací zájmového polygonu (červeně).
Fig. 1 – Map of the Czech Republic with the study polygon (highlighted in red).

1 Článek vznikl s využitím dat, která poskytl Zeměměřický úřad.

2 <http://www.geologicke-mapy.cz/>

Obr. 2 – Tři různá stínování stejného území (zdroj světla: -90° , 45° , 135°).
Fig. 2 – Three different types of shading of the same area (light angle: -90° , 45° , 135°).

terénu a právě ty lze identifikovat a dokumentovat s pomocí výsledných dat z leteckého laserového snímkování.

2. Metoda práce

K dispozici jsme obdrželi již automaticky filtrovaná data LLS z polygonu mapového listu KM2, která byla pořízena průletem 18. dubna 2011.³ Z naměřených odfiltrovaných bodů byl metodou Kriging (buňka o velikosti 0,5 m) interpolován digitální model reliéfu daného území, který byl zobrazen stínováním (Hillshade). Takto byly vytvořeny celkem tři vrstvy, které se lišily polohou virtuálního zdroje světla (-90° , 45° , 135°) kvůli zvýraznění objektů ležících paralelně s paprsky světla (obr. 2). Z těchto tří vrstev byly manuálně vyhledávány objekty, které by pravděpodobně mohly být antropogenního původu, a rovnou byly zanášeny do georeferencované digitální mapy (obr. 3).⁴ Některé takto vybrané objekty byly posléze ověřovány přímo v terénu povrchovým průzkumem.⁵

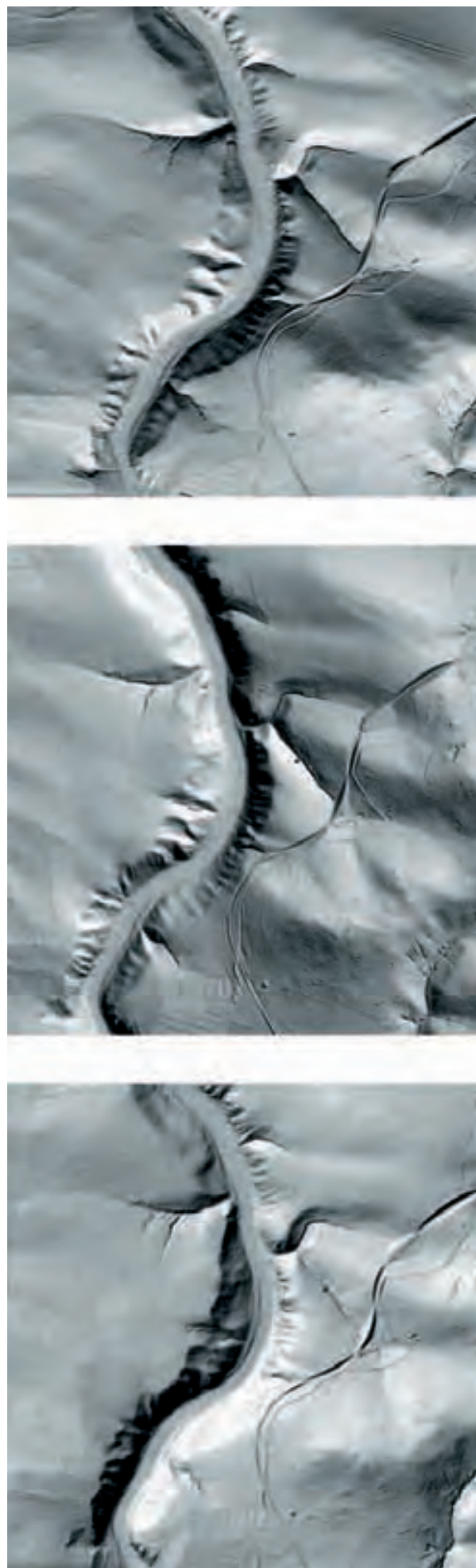
Na základě digitálního modelu terénu bylo také možné porovnat dokumentaci geodetických zaměření známých archeologických památek, konkrétně se jednalo o plány vrcovických zlatodolů (*Ježek 1933*, obr. 1), vrcovického hradiště (*Jiráň a kol. 2008*, obr. 9) a mohylového pohřebiště v poloze Na Hřebíčku (plán v měřítku 1 : 500 vyhotovený v roce 1971 Agroplanem Praha; zmenšený plán: *Fröhlich – Michálek 2009*, obr. 74).

Zjištěné antropogenní objekty se na základě jejich formálních a prostorových vlastností daly alespoň rámcově datovat a určit jejich účel srovnáním analogických objektů zkoumaných destruktivním výzkumem, případně některé zdejší komponenty byly již v minulosti podrobeny archeologickému výzkumu. Díky tomu bylo možné vytvořit hrubé chronologické vrstvy zdejšího osídlení, které zanechalo stopy na povrchu terénu:

3. Pravěk

3.1. Hradiště u Vrcovic

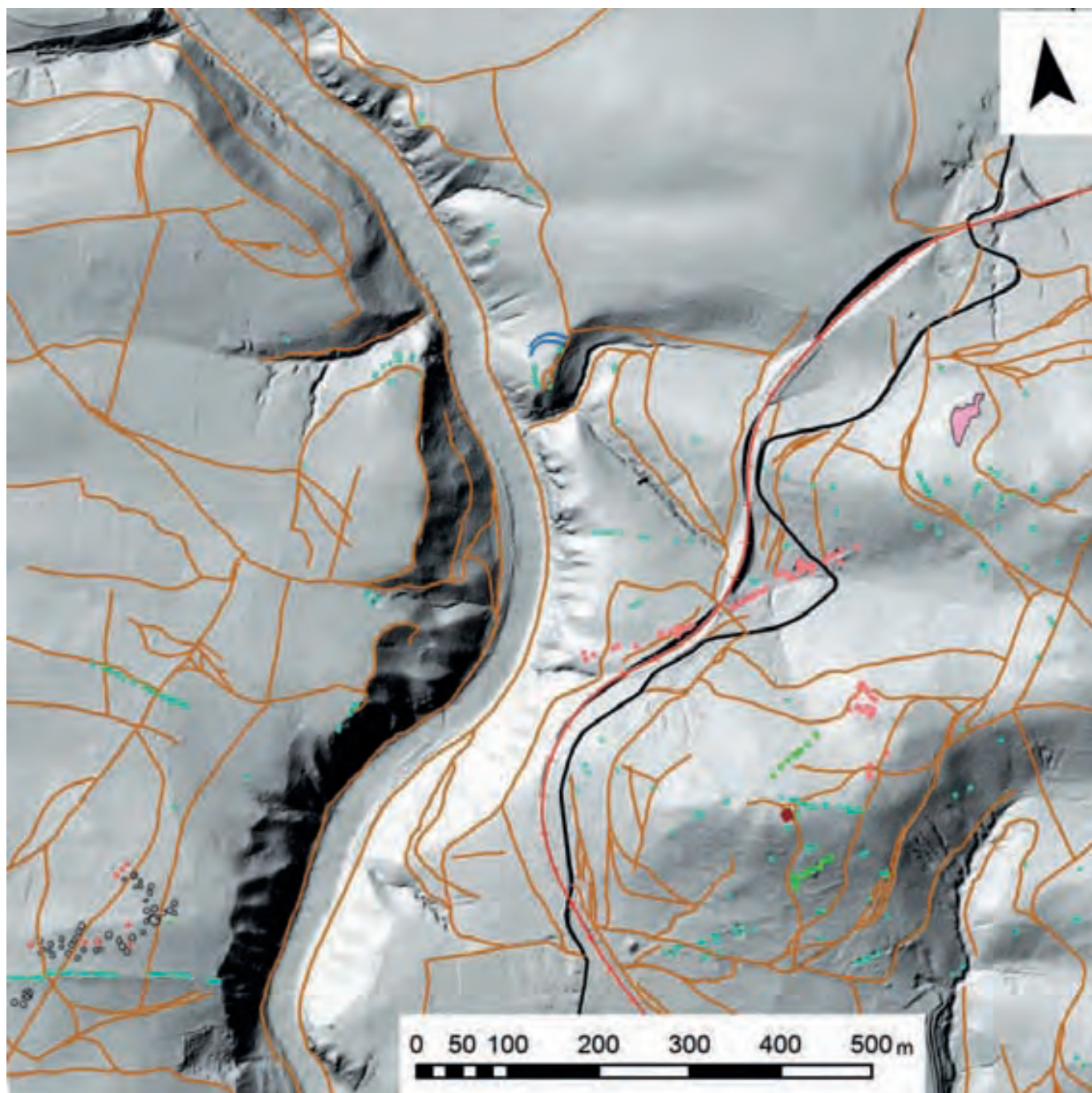
Hradiště se nachází na relativně nevelké ostrožně v poloze Dolejší Lipice (obr. 9:1), kterou tvoří na západní straně sráz k řece Otavě a na východní a jižní rokle Lipičná strouha s bezejmenným potokem, který se vlévá do řeky. Na severní straně se zachovala destrukce fortifikace tvořená dvěma paralelními valy a příkopy (obr. 4). Vlastní hradiště má rozlohu asi 0,75 ha. Odborné veřejnosti je známo od 19. století (*Památky archeologické 1868–1869*), jeho fortifikaci zkoumal drobnou sondáží již *J. L. Píč (1909, 363)*, plochu hradiště sondoval *B. Dubský (1937; 1949, 129–133)* a správnou dataci do přelomu starší a střední doby bronzové sta-



3 Za zprostředkování těchto dat děkujeme prof. M. Gojdovi, CSc. a PhDr. J. Johnovi, Ph.D.

4 Tyto operace byly provedeny v programech ArcMap 10.0 a Surfer 9.

5 Povrchový průzkum jsme vykonali v únoru až květnu 2012. Za pomoc se zaměřováním nově objevených mohyl děkujeme Mgr. J. Adámkovi.



Obr. 3 – Manuálně vyhledané pravděpodobné antropogenní objekty.
Fig. 3 – Possible anthropogenic features, manually selected.

novil až L. Hájek, který na hradišti kopal v roce 1951 (*Hájek 1954*, 120). V roce 1959 získali na hradišti několik keramických nálezů *J. Fröhlich* a *J. Michálek* (1967, 71). Nejrozsáhlejší výzkum zde proběhl pod vedením A. Beneše v letech 1963–1966 (*Beneš 1964; 1965; 1966; 1967*), který zkoumal především prostor přiléhající k vnitřní hradbě podél celého její zachovalé délky a provedl také řez fortifikací. Výzkumem byla zjištěna přítomnost domů kúlové konstrukce v těsné blízkosti vnitřní hradby, pro něž bylo upraveno i zdejší rulové podloží. Samotná fortifikace byla tvořena dvojitým pásem hradeb (na šířku 25 m, zachovalá délka cca 60 m), mezi nimiž byl do skály vytesán tři metry široký příkop. Vnitřní hradba byla kamenná s přední lícovanou zdí nasucho kladenou, vodorov-

ně prokládanou trámy, zád hradby se opírala o mohutné kúly. Vnější hradba měla hlinito – dřevěnou konstrukci, před ní se ještě nacházel menší dnes již zanesený příkop. Do ruda přepálené kameny naznačují zánik fortifikace požárem. Do její destrukce byly navíc uloženy minimálně čtyři žárové současné pohřby, přičemž v jednom hrobě byla nalezena i zlatá záušnice.

Publikováno bylo již několik plánků tohoto hradiště. První pořídil *J. L. Píč* (1909, obr. 118 – chybně jako Smrkovice), ten je značně zkrácený, délka ostrožny je oproti její šířce notně zkrácena, navíc řeka je vyznačena na opačné straně. Valy zde příčně oddělují ostrožnu a příkop není vyznačen. Na průřezu je pod vnitřním valem nakreslena Píčem registrovaná vrstva popela (*Píč 1909*, 363).



Obr. 4 – Vrcovické hradiště, pohled mezi valy od západu. Foto J. Fröhlich 2012.

Fig. 4 – Vrcovice hillfort, a view between the fortifications from the west. Photo by J. Fröhlich 2012.

Mírně modifikovaný plán pochází z kroniky obce Topělec z roku 1929,⁶ který publikoval J. Fröhlich (2000, 11). Ten vychází z plánu Píčova, samotné hradiště je zakresleno obdobně, liší se ale poloha řeky Otavy, jenž se zde více blíží k realitě, a jsou zde vyznačeny i vlévající se vodoteče. Geodetický plán byl vyhotoven na popud A. Beneše v roce 1963 M. Šimanou v měřítku 1:500 s rozestupem vrstevnic 0,5 m (obr. 5:1). Publikován byl až v aktuální syntéze českého pravěku společně s vyznačením sond (Jiráň a kol. 2008, obr. 9).⁷ Věrně zachycené valy zde mají již mírně obloukovitý tvar, patrně je i porušení po obvodu jižní části hradiště sérií lomových jam. Pouze schematicky byl vyznačen průběh valů na nepříliš kvalitním plánu ze souhrnné studie o soudobých hradištích v jižních Čechách (Havlice – Hrubý 2002, Abb. 12:3).

Zatím nejpřesněji byla současná podoba hradiště zachycena LLS. Při srovnání s geodetickým plánem je patrná shoda, nic-

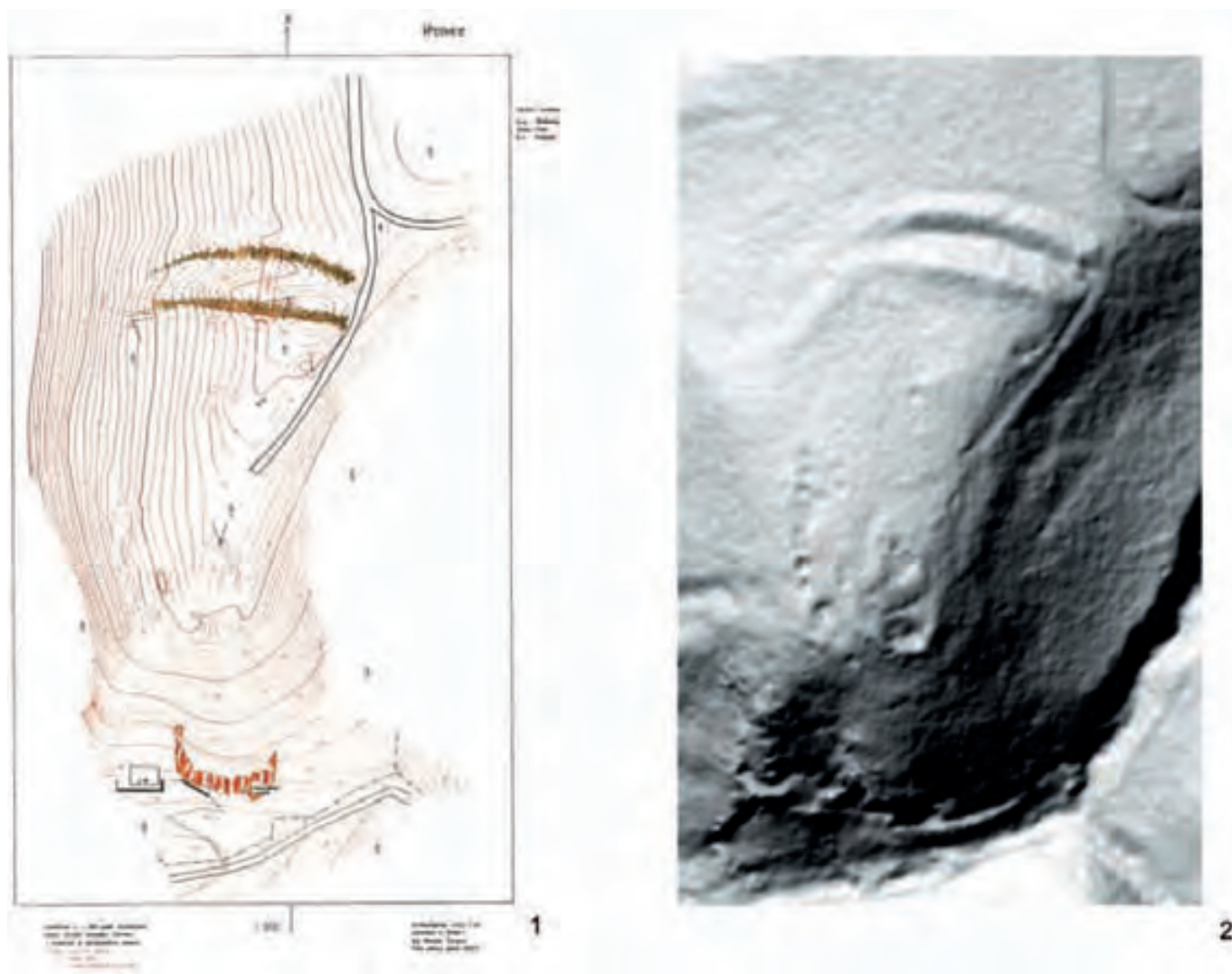
méně lidar poskytuje lepší rozlišení (obr. 5), díky němuž je navíc patrné na západní straně valů jejich zatočení k jihu, kde se šikmo po svahu dolů postupně vytrácejí. Tohoto obloukovitého zahnutí si povšiml již B. Dubský (1949, 130) i L. Hájek (1954, 120), nicméně na žádném zveřejněném plánu není zachyceno. Valy jsou v těchto místech evidentně erodovány, soliflukce zde byla zjištěna i A. Benešem (nálezový deník za rok 1963) v sondě I, která zasahovala až do těchto míst. Lze odůvodněně předpokládat, že hradiště bylo opevněno minimálně též na západní straně, kde však z čistě praktických důvodů nebyla takto důmyslná fortifikace nezbytně nutná. Spíše zde mohla plnit převážně symbolickou funkci vzhledem k tomu, že se jedná o pohledovou stranu od řeky, případně z opačného břehu.

3.2. Mohylové pohřebiště Na Hřebíčku

Mohylník se nachází na nenápadném návrší v poloze Na Hřebíčku na levém břehu řeky Otavy. Jedná se o typické kumulativní mohylové pohřebiště s kontinuitou pohřbíváním pravděpodobně již od starší doby bronzové, přes přelom starší a střední doby bronzové, kdy lze uvažovat o souvislosti se současným vrcovickým hradištěm, přes střední dobu bronzovou, mladší dobu bron-

6 SOKA Písek, AO Topělec, sign. IA/1, kn. 1.; přístupná také na Internetu: <http://digi.cesearchivy.cz/DA?menu=3&lang=cs&doctree=1khotof&id=1011>

7 Pro účely této práce byl využit originální plán uložený v archivu Oddělení záchranných archeologických výzkumů Západočeského muzea v Plzni. Za jeho poskytnutí děkujeme PhDr. P. Bricháčkovi a Bc. P. Hereitovi.



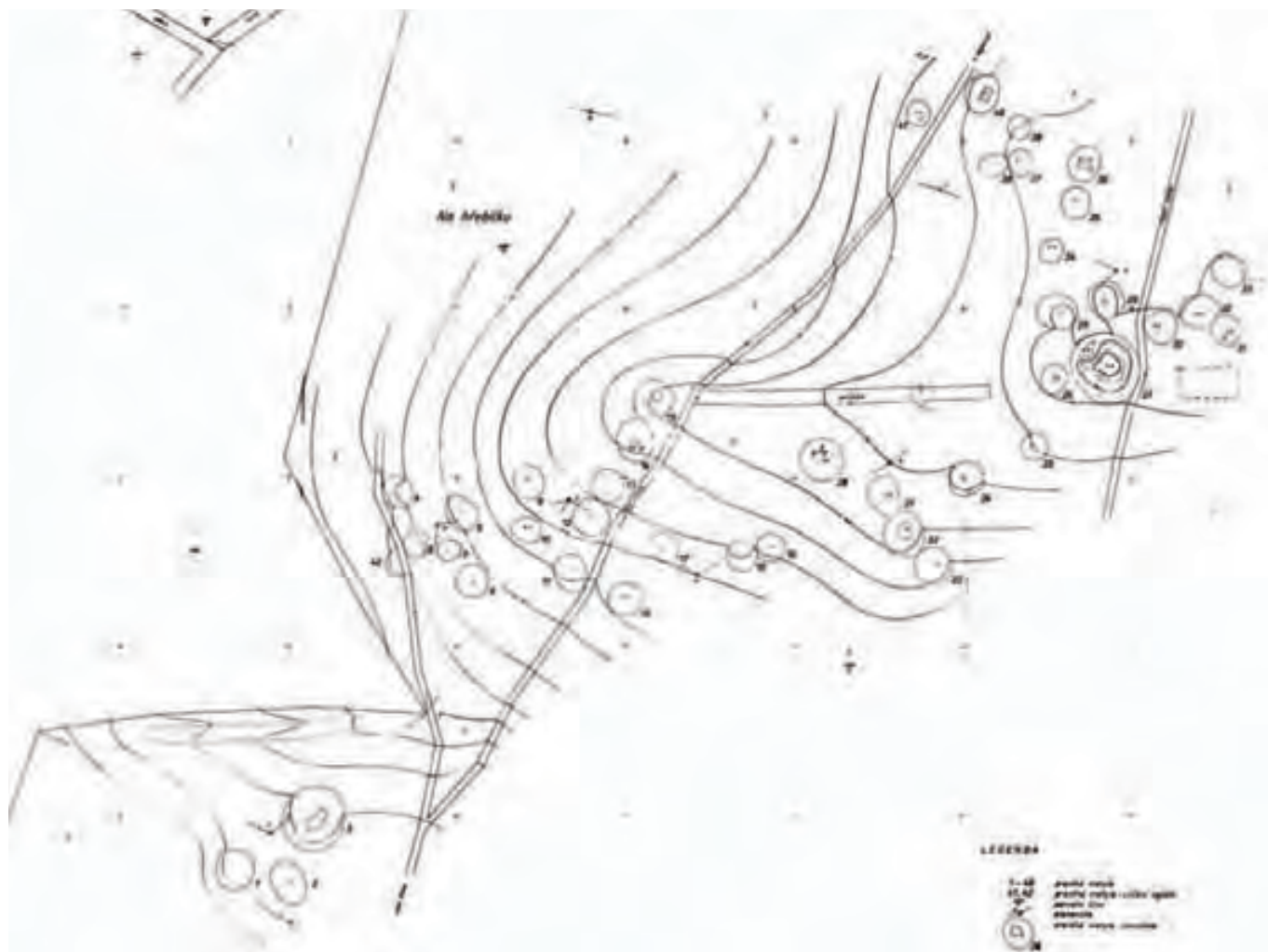
Obr. 5 – 1 – Geodetický plán vrcovického hradiště zhotovený M. Šimanou se zvýrazněnými valy a sondami I a II.; 2 – Výřez stínovaného snímku LLS.
Fig. 5 – 1 – A geodetic plan of the Vrcovice hillfort by M. Šimana with highlighted fortifications and trenches I and II; 2 – A section of shaded ALS caption.



Obr. 6 – Topělec – Na Hřebíčku. Největší mohyla (č. 27) před výzkumem B. Dubského roku 1927. Foto J. Kaiser.

Fig. 6. Topělec – Na Hřebíčku. The largest barrow before the survey of B. Dubský in 1927. Photo by J. Kaiser.

zovou (doklady z pozdní doby bronzové zatím chybí), pozdní dobu halštatskou a snad až po pozdní dobu laténskou. Mohyly se nacházejí po obou stranách přírodního hřbetu, který je orientován východo-západním směrem. Bedřich Dubský, který napočítal 24 mohyl, zde během dvou výzkumných kampaní prozkoumal celkem šest mohyl. V roce 1927 zkoumal tři mohyly (Dubský 1928–1930; 1949, 108–110), včetně největší postavené na nejvyšším místě návrší (obr. 6). Tato mohyla byla zbudována ve střední době bronzové, později byly do ní přidány pohřby v mladší době bronzové a v pozdní době halštatské, nejistá aktivita je doložena pozdně laténskou keramikou nalezenou v mohylovém náspu. Nálezy z mladší doby bronzové dodatečně v muzeu registroval O. Chvojka (2009, 227 – CD). Nálezy z doby železné zpracoval J. Michálek (1972, II, 158–159; III, tab. 232) v rámci své diplomové práce. Ve 13. století byla na mohyle postavena chata doložená zahlabením a kůlovými jamkami. Zbylé dvě mohyly poskytly pouze keramické zlomky datované do střední doby bronzové. Další Dubského výzkum, během něhož prozkoumal opět tři mohyly, proběhl roku 1951, zůstal však nepublikován



Obr. 7 – Topělec – Na Hřebčíku. Geodetické zaměření mohyl z roku 1971.
Fig. 7 – Topělec – Na Hřebčíku. Geodetic survey of the barrows in 1971.

(Fröhlich 1997a, 203). Geodetické zaměřené mohylového pohřebiště objednal v roce 1971 A. Beneš. Provedla ho písecká pobočka firmy Agroplan za asistence J. Fröhliche.⁸ Celkem zde bylo zaměřeno 42 mohyl, přičemž dvě byly určeny za nejisté (obr. 7). V roce 2011 byla v jižní části pohřebiště nalezena vlasová ozdoba ze stočeného bronzového drátu nejspíše ze starší doby bronzové. Podrobného vyhodnocení tohoto nálezu spolu s ostatním nálezo-
vým fondem z této lokality připravují autoři k publikaci.

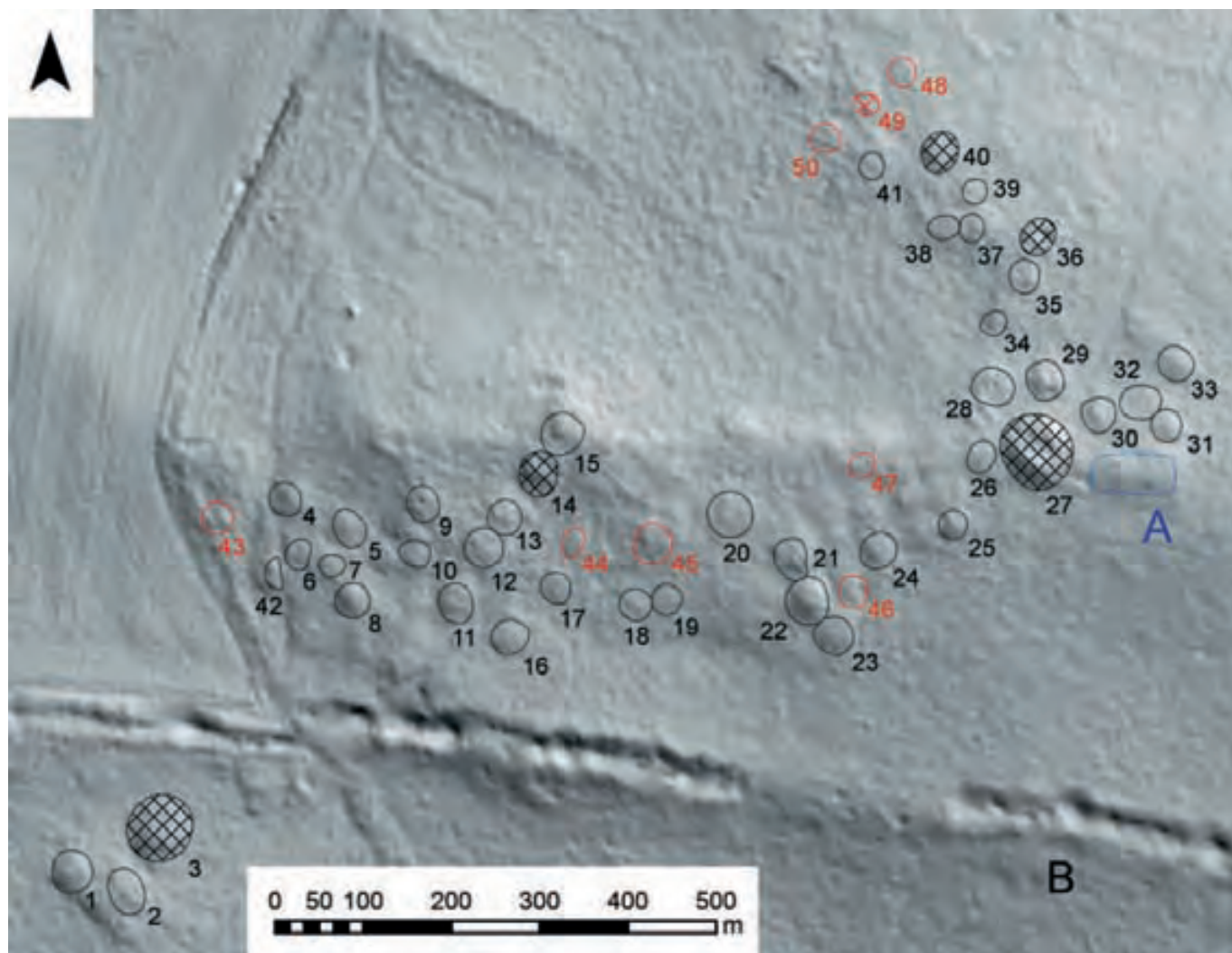
V roce 1975 upozornil J. Fröhlich (1978b) na objekt obdélného půdorysu 17 x 9 m a výšky kolem 0,5 m, s delší osou přibližně od východu k západu, který se nachází na vrcholu návrší 11 m východně od velké prozkoumané mohyly č. 27 (obr. 8:A). Mikrosondáží vyzvedl z hloubky 10 cm zlomek okraje vrcholně středověké nádoby a od hloubky 15 cm registroval kameny. Druhý z autorů této kapitoly připomenul podobu objektu s dlouhými eneolitickými mohylami (Hlásek 2010, 48, obr. 3).

Díky zevrubnému studiu lidarových dat a porovnáním s georeferencovaným digitalizovaným geodetickým plánem se nám

podařilo identifikovat některé další objekty, které nebyly zaneseny do původního plánu (obr. 8). Ty byly následně podrobeny povrchovému průzkumu v terénu. Celkem bylo objeveno osm mohylovitých útvarů jejichž deskripci shrnuje následující tabulka (číslování mohyl navazuje na geodetický plán z roku 1971):

číslo	mohyla	kamenná konstrukce	porušení	poznámka
43	jistá	ano	ne	
44	jistá	ano	ne	
45	nejistá	ano	ne	
46	nejistá	ne	ne	
47	jistá	ano	ne	Zde dříve nalezeny zlomky koflíku z přechodu starší a střední doby bronzové (Fröhlich 1978); analogické tvary jsou známy z vrcovického hradiště (Beneš 1978, obr. 95: 13, 16).
48	jistá	ne	ne	Na západním okraji mohyly snos kamenů.
49	jistá	ne	ne	
50	nejistá	ne	ne	

8 Využit byl originální plán ze soukromého archivu J. Fröhliche.



Obr. 8 – Topělec – Na Hřebíčku. Výřez LLS se zvýrazněnými známými a nově objevenými mohylami, porušené mohyly jsou zvýrazněny mřížkováním; A – Obdélný objekt; B – Kamenolom.

Fig. 8 – Topělec – Na Hřebíčku. A section of ALS with highlighted known and newly discovered barrows, disturbed barrows are crosshatched. A – Rectangular feature; B – Quarry.

V severozápadním cípu pohřebiště se vyskytují snosy kamenů, které jsou na lidarových snímcích morfologicky zaměnitelné za mohyly. Snosy jsou pravděpodobně novověkého až středověkého stáří a dokládají pastviny či pole v jejich okolí. Další indicií pro hospodářské využití těchto míst jsou liniové útvary, které jsou pravděpodobně pozůstatkem meze. Jedna linie prochází hřbetem návrší od západu k východu a za pohřebištěm se stáčí v pravém úhlu k severu. Není vyloučeno, že touto činností byla pozměněna podoba severní části pravěkého pohřebiště. Na prvním vojenském mapování je již celé návrší zalesněné. Pohřebiště bylo zřejmě poškozeno i pozdější těžbou kamene, nejmarkantnější se tato aktivita projevuje v jedné linii jdoucích jam, která protíná mohylník na jižní straně. O tomto kamenolomu je pojednáno níže.

Lidarová data dokládají, že zmíněný obdélný objekt je nejspíše součástí staré hranice pozemků, se kterou pravděpodobně také bude souviset.

Největší mohyly na nejvyšším bodě návrší lze ztotožnit s mohylou č. 3 zkoumanou B. Dubským v roce 1927 (č. 27 na plánu z r. 1971). Podle stop na mohylách lze za další objekty

zkoumané B. Dubským považovat mohyly č. 3, 14, 36, 40 a 49. Tyto již však nelze přiřadit ke konkrétním nálezům.

Je zřejmé, že při průzkumu v roce 2012 byly identifikovány mohyly, které nebyly původně registrovány. Důvodem přehlédnutí je společně s nevelkou výškou nově zjištěných mohyl i nízký hustý vegetační pokryv (ostružiny), jehož nevhodnost lze jen částečně eliminovat průzkumem v zimních měsících, tedy v mimovegetačním období. Konkrétně tento pokryv však LLS příliš nevadí, čehož zásluhou mohly být mohyly snadněji dohledány i v terénu. Tento porost nicméně zabránil ověření některých vytipovaných objektů, takže v současnosti známý počet zachovalých mohyl nemusí být stále ještě konečný. Nutno však dodat, že hustým nízkou vzrostlým lesem laserové paprsky pronikají obtížně a informace o terénu jsou v tomto případě zkreslené či zcela nepřístupné, tyto plochy lze rozpoznat i na již filtrovaných LLS datech nízkou hustou bodů potažmo na stínovém zobrazení nižším rozlišením.

Metodologickým problémem je zobrazení mohyl do plánu, který nastává při snaze zdokumentovat již částečně rozplavené

mohly, a to zejména za situace, kdy okolí je dále zvrásněno například vývraty či snosy kamenů. Tradiční zobrazení okrajů mohyl do plánu je značně zkreslené v případech, kdy tyto obrysy splývají s okolním terénem. Ani na základě dat z LLS nebylo možné určit jisté hranice transformovaných mohyl a proto je nutné rozměry nově objevených mohyl brát s rezervou.

4. Středověk – novověk

4.1. Zlatodoly

První středověké doly po těžbě zlata byly ve sledované oblasti identifikovány roku 1932 B. Ježkem v Záušním lese (obr. 9:2). Pro těžbu zlata podle něj napovídalo, že objekty jdou přímým směrem za sebou, čímž naznačují žílu hledaného a patrně nalezeného křemene. V blízkém okolí se nacházejí žíly křemene a také úlomky žilného křemene nalezené v jamách a obvalech dolů, včetně křemene s kyzem (Ježek 1933). Doly protínají údolí na severním svahu vrchu Kostelík v místech, kde se vzdaluje silnice z Písku od železniční tratě. Správnost Ježkovy interpretace dokládají i hornická železka zde nalezená právě při stavbě železnice v roce 1888, další nálezy na lokalitě byly učiněny v devadesátých letech dvacátého století J. Cíchou a J. Kurzem (Kudrnáč 1971, 55; Fröhlich 1997a, 219–220; 2006, 67–69). Zlatodoly byly původně zaměřeny s využitím bubínku a buzoly (Ježek 1933, obr. 1). Nedávno byly doly znovu zaměřeny J. Cíchou pomocí GPS společně s jím objevenou skupinou pinek, která leží jihovýchodním směrem pod sousední nižší kótou vrchu Kostelík (obr. 9:3).

Vytěžená ruda se zpracovávala v blízkých zlatorudných mlýnech. První byl objeven při stavbě přečerpávací stanice čistírny odpadních vod pod Pískem v nedaleké vzdálenosti jižně od vytyčeného území (Kudrnáč 1971). Jeho výzkum byl první svého druhu v tehdejší Československu a díky němu se etabloval v Čechách zájem o montánní archeologii. Další zlatorudný mlýn byl doložen níže po proudu Otavy pod Vrcovicemi (Památky archeologické 1868–1869; Fröhlich 1969; 2000, 45–46; Kudrnáč 1972; 1973).

Na lidararu jsou zlatodoly objevené Ježkem velmi dobře patrné a odpovídá i jejich zaměření. V terénu jsme ověřili dva výrazné objekty, které jsou situovány východněji v linii těchto dolů (obr. 9:4), u kterých byl předpoklad, že by také mohly souviset s těžbou zlata ze stejné žíly. Oba tyto objekty jsou však lomy, které mají přístupovou cestu, čímž se liší od pinek, které vznikly sesuvem okolního materiálu do šachet, a proto mají pravidelný trychtýřovitý tvar. Na snímku LLS jsou patrné i zlatodoly objevené J. Cíchou pod předvrcholem Kostelíku (obr. 9:3). Nově byly pomocí lidararu objeveny doly na severním svahu vrchu Kostelík (obr. 9:5), které byly nápadné liniovým uspořádáním paralelním ke známým zlatodolům. Jejich účel potvrzuje nejen charakteristický tvar ale i četné nálezy vytěženého křemene. Pinky se táhnou v délce cca 100 metrů. Další dosud neregistrované doly se nacházejí na protilehlém jižním svahu Kostelíku (obr. 9:6), kde opět jde o paralelní linii pinek. Zatím zde při zběžném průzkumu nebyl nalezen vytěžený kře-

men, nicméně dle charakteru objektů je pravděpodobné, že se jedná o pozůstatky exploatace zlata. Tato řada je dlouhá zhruba 120 metrů (obr. 10).

Zlatodoly kopírující zlatorudné žíly jsou na lidararu jednoduše identifikovatelné, obtíže nastávají při jejich jiném seskupení. Solitérní objekty nelze pouze na základě LLS jednoznačně interpretovat. Proto je opět nutné ověření těchto objektů přímo v terénu kvůli kontrole jejich tvaru, který při nedostatečné hustotě bodů nemusí být na lidarových snímcích zřetelný. Určující jsou vedle podoby objektů i nálezy vytěžené horniny. Nabízí se zde také možnost využití detektorů kovů pro vyhledání hornických nástrojů.

4.2. Další lomy

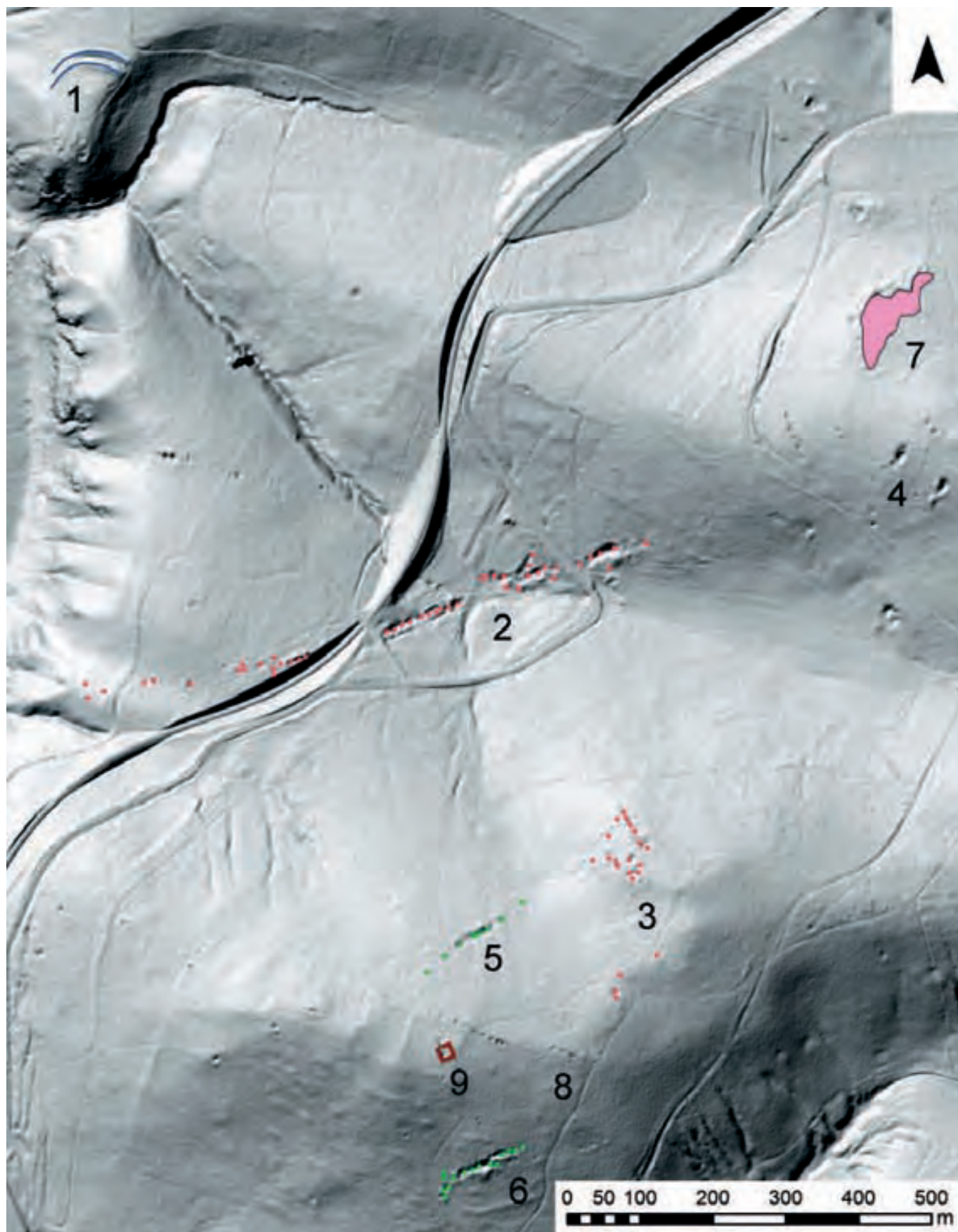
V lesích okolo Písku je značné množství různých lomů, které lze jen s obtížemi blíže datovat, lze ale uvažovat, že některé byly využívány již ve středověku, některé mohly být využívány opakovaně v dlouhém období. Vedle zlata se zde těžil vápenc a stavební kámen.

Při pohledu na snímek LLS je zřejmé, že na sledovaném zalesněném území se nachází mnoho jam po exploataci nerostných surovin. Nejzrůsňalejší jámový lom se nachází na severozápadním svahu Sýkorky (délka cca 100 metrů, šířka v nejširším místě cca 30 metrů; obr. 9:7), ve kterém se měl těžit kámen od „nepaměti“ (Hejtman 1948, 83). Podle J. Cíchy se zde těžil vápenc, který našel na haldách.⁹ Z velkého objemu vytěženého materiálu lze snad uvažovat již o jeho středověkém původu. Již jsme se zmínili o lomu, který protíná mohylové pohřebiště Na Hřebíčku (obr. 8:B). Kamenolom se táhne v délce 450 metrů po hraně svahu až ke srázu do otavského údolí a je dvakrát výrazně přerušený. Podle vzorků horniny předložených geologu J. Cíchovi se zde těžila drobnozrnná apliticko turmalín-muskovitická žilná žula. Na středověkých stavbách ve městě se výrazně neobjevuje. Takovýchto řadových lomů se na sledovaném území vyskytuje více, další je severně od mohylníku, nebo třeba přímo na vrchu Kostelíku (obr. 9:8), o kterém uvádí již na konci šedesátých let 19. století M. Kolář, že se v něm již po dlouhá léta těží kámen a na silnici a ke stavbám se rozváží (Památky archeologické 1868–1869, 155). Klamavé zaměnitelné objekty mohou být na první pohled erozní rýhy, které se však nacházejí na svazích a jsou na ně kolmé. Solitérních lomů je na snímku LLS na zalesněném území velké množství a zpravidla nelze bez jejich bližšího ohledání určit, jaká surovina v nich byla těžena.

4.3. Objekt na vrchu Kostelíku

Poslední výrazný objekt, o kterém se zde zmíníme, se nachází na temeni vrchu Kostelíku, který na mapě I. vojenského mapování nese jméno Čihadlo (obr. 9:9; obr. 11). Jedná se o val nasypaný ze zeminy téměř čtvercového půdorysu, který ohraničuje

9 Za informaci děkujeme geologovi Prácheňského muzea Ing. J. Cíchovi.



Obr. 9 – Výřez LLS: 1. Hradiště v poloze Dolejší Lipice; 2. Zlatodoly v Zálušním lese; 3. Pinky objevené J. Číchou; 4. Lomy s příjezdovou cestou; 5. Zlatodoly na severním svahu Kostelíku; 6. Zlatodoly na jižním svahu Kostelíku; 7. Velký vápencový lom; 8. Kamenolom na vrchu Kostelíku; 9. Valový objekt na vrchu Kostelíku.

Fig. 9 – A section of the ALS: 1. Hillfort in Dolejší Lipice; 2. Gold mines in Zálušní lese; 3. Mining remains discovered by J. Čícha; 4. Quarries with a trackway; 5. Gold mines on the north slope of Kostelík; 6. Gold mines on the south slope of Kostelík; 7. A large limestone quarry; 8. A quarry on Kostelík hill; 9. Ramparts on the Kostelík hill.



Obr. 10 – Vrcovice – zlatodoly na jižním svahu Kostelíku. Foto J. Fröhlich 2012.

Fig. 10 – Vrcovice – gold mines on the south slope of Kostelík. Photo by J. Fröhlich 2012.

plochu 6,3 x 5,4 metrů. Jeho vnější půdorys je 15,8 x 14,5 metrů. Vysoký je uvnitř 1,6 – 2 metry, vně 0,6 – 0,8 metrů, vchod je na severozápadní straně. První se zmiňuje o tomto útvaru M. Kolář (*Památky archeologické 1868–1869*, 155). Jeho zaměření a průzkum provedl Jiří Fröhlich. Dosud není znám účel objektu ani jeho datace, nepomohl ani detektorový průzkum v roce 1996. Uvažuje se, že objekt mohl vzniknout v době obléhání Písku za třicetileté války nebo války o dědictví rakouské, případně souvisí s čižbou (*Fröhlich 1997a*, 221; *1997b*). Nepravděpodobný je názor A. Sedláčka, že se zde tajně scházeli stoupenci přijímání pod obojí (*Sedláček 1926*, 156). Aktuálně nelze vyloučit ani souvislost s již výše zmíněnými a nově objevenými doly na těžbu kamene či zlata, které se nacházejí v jeho blízkém zázemí.

5. Závěr

Rozbor snímku LLS zahrnující relativně malý výsek krajiny (5 km²) ukázal velký informační potenciál tohoto druhu dat. Velkou předností je nedestruktivní povaha tohoto druhu výzkumu, který je díky tomu šetrný vůči archeologickému dědictví. Ve spojení s povrchovým průzkumem, další nedestruktivní

metodou, ve kterém však může být potlačen zdoluhavý perspektivní aspekt bez nutnosti uchýlování se ke kompromisnímu vzorkování, se naskýtá velmi mocný nástroj pro poznání různých časových horizontů lidského osídlení, které zanechalo stopy na povrchu terénu. Metodologické poznatky této práce lze shrnout do těchto bodů:

Objev nových komponent i v oblastech považovaných za archeologicky dobře prozkoumané.

Zkvalitnění dokumentace dlouhodobě známých a zkoumaných komponent přinášející nové informace a možnosti interpretace.

Věrné zachycení reliéfu krajiny umožňuje jednoduché sledování prostorových souvislostí mezi archeologickými komponentami, zároveň poskytuje nesrovnatelně lepší informace o krajině než generalizovaná mapová díla.

Ukázalo se, že je vhodné metodu LLS aplikovat i na území relativně dobře archeologicky probádané, protože může přinést nové překvapivé výsledky. V našem konkrétním případě se podařilo zjistit pokračování fortifikace vrcovického hradiště, které modifikuje naši představu o jeho původní podobě; a objevit osm nových mohyl na známém mohylovém pohřebišti-



Obr. 11 – Valový objekt na vrchu Kostelíku. Foto J. Fröhlich 2012.
Fig. 11 – Ramparts on Kostelík hill. Photo by J. Fröhlich 2012.

tě Na Hřebíčku, což je 16 % zde v současnosti známých mohyl; objeveny byly dva nové doly po těžbě zlata na svazích Kostelíku; registrováno bylo mnoho lomů, o kterých jsme si mohli udělat snadnou představu o jejich prostorové konfiguraci a vztazích s dalšími komponentami.

Zatím nevyužita byla možnost analýzy komunikací, které lze na lidarových datech rychle a efektivně dokumentovat. Cesty, vzhledem k vzájemným superpozicím, různého stáří, jsou patrné i na zkoumaném území. Některé mohly být využívány snad již ve středověku, kdy například měla tímto prostorem procházet dálková komunikace vedoucí z Písku na hrad Zvíkov, z velké části patrně trasou dnešní silnice. Na ní muse-

ly navazovat místní cesty používané k odvozu těžných nerostných surovin a dřeva.

Domníváme se, že vysoce produktivní metoda LLS by měla být nedílnou součástí projektů zabývajících se výzkumem osídlení různých regionů, především zalesněných území, kde je potenciál zachování archeologických památek v terénu největší. Je potěšitelné, že LLS bylo již v jižních Čechách, které jsou charakteristické rozsáhlým lesním pokryvem, úspěšně využito při vyhledávání mohyl v Hemerském polesí (John 2011b). Další studie zahrnující metodu LLS nejen z tohoto regionu budou zajisté rychle přibývat, čehož dokladem je i tato monografie.

The potential of the application of airborne laser scanning on long-studied archaeological sites: case study of a region north of Písek

The impetus for this work was the opportunity to analyse the data from an airborne laser scanning in the forested area of the Otava river basin to the north of Písek in Southern Bohemia. This area represents a long-studied archaeological region with a range of archaeological features visible on the surface and dated from the Early Bronze Age to the modern era. Hence, there was the opportunity to compare the results of laser scanning with the known and geodetically surveyed sites. On a hilltop site in the cadastral area of Vrcovice dated to the early Bronze Age, the scanning verified the existence of a partially preserved continuation of fortifications on the hillside along the Otava. On a barrow poly-cultural burial ground Na Hřebíčku, eight barrows were newly discovered, which represent 16% of all the barrows documented there. Only the recorded extent of a series of medieval gold mining shafts in Zálušní les, the plan of which was published in 1933, remain unchanged. Thanks to the ALS

method, two sets of medieval gold mining shafts were newly discovered on the slopes of Kostelík and also several potential modern pit quarries for building stone and limestone in other locations.

The methodological advancements of this study can be summarised as follows: 1. The discovery of new features even in areas which had previously been considered well-studied; 2. The improvement of recording of long-studied components bringing new information and possibilities for the interpretation; 3. An accurate depiction of the landscape, thanks to which the spatial relationships between archaeological features can be easily followed, and which also brings much better information about the landscape context than a generalised map. We conclude that the highly productive ALS method should become an inseparable part of projects dealing with the study of settlement systems, where there is a chance of preservation of immovable archaeological remains in the terrain relief.

7

Letecké laserové skenování a jeho využití ke studiu archeologických nemovitých památek v lesním komplexu Bezinský na katastru obce Rataje (okr. Tábor)

1. Úvod

Tento příspěvek se zabývá využitím dat leteckého laserového skenování (LLS) ke studiu vybraných pravěkých, středověkých a novověkých komponent v lesním prostředí v povodí řeky Smutné na katastru obce Rataje na Táborsku a verifikací dat LLS na základě povrchového průzkumu v lesním prostředí. Navazuje tak na podobně zaměřený projekt mapování mohylových pohřebišť v Hemerském polesí v mikroregionu kolem říčky Smutné (John 2011b, 245–248). Ve vybraném polygonu byla již v minulosti zjištěna celá řada archeologických památek, jejich charakter a podoba bude srovnána s ohledem na dosavadní poznání, laserové skenování LLS a následný povrchový průzkum. Můžeme předpokládat, že v oblasti se bude nacházet řada dalších nových antropogenních tvarů reliéfu různého stáří, které nebyly doposud odhaleny. Jejich přítomnost zjištěná na základě vyhodnocení dat LLS bude následně ověřena v terénu a bude proveden jejich povrchový průzkum s fotografickou dokumentací a interpretací.

2. Vymezení regionu a přírodní charakteristika sledovaného území

Zkoumaný polygon o rozměrech přibližně 1,5 x 2,5 km (s delší osou ve směru sever – jih) se nachází v lesním komplexu Bezinský na západě Táborska a tvoří součást většího lesního celku, který se rozkládá od obce Sepekova po Hvožďany ve směru sever – jih, a představuje tak přirozenou západní hranici mezi Píseckem a Táborskem. Zkoumaný polygon se nachází na katastru obce Rataje, přičemž zaujímá přibližně západní třetinu správního území této obce. Jeho západní a východní hranice bezprostředně sousedí s katastrem obce Zběšice (obr. 1).

Z geomorfologického hlediska patří oblast do Milevské pahorkatiny, která je součástí celku Táborská pahorkatina (Chábera a kol. 1985, 22–24). Říčka Smutná rozděljuje referovaný polygon na pravou a levou polovinu. Patří k nejvýznamnějším pravostranným přítokům řeky Lužnice, do které se vlévá u města Bechyně. Její tok probíhá zhruba v severojižním směru, délka činí 47,8 km, plocha jejího povodí pak měří 247 m² (Chábera a kol. 1985, 173; Vlček a kol. 1984, 249–250). Oblast spadá do jedné z nejteplejších oblastí jižních Čech, průměrná roční teplota se pohybuje v rozmezí 7,0 a 7,5 °C (Chábera a kol. 1985, 127 – obr. 7).

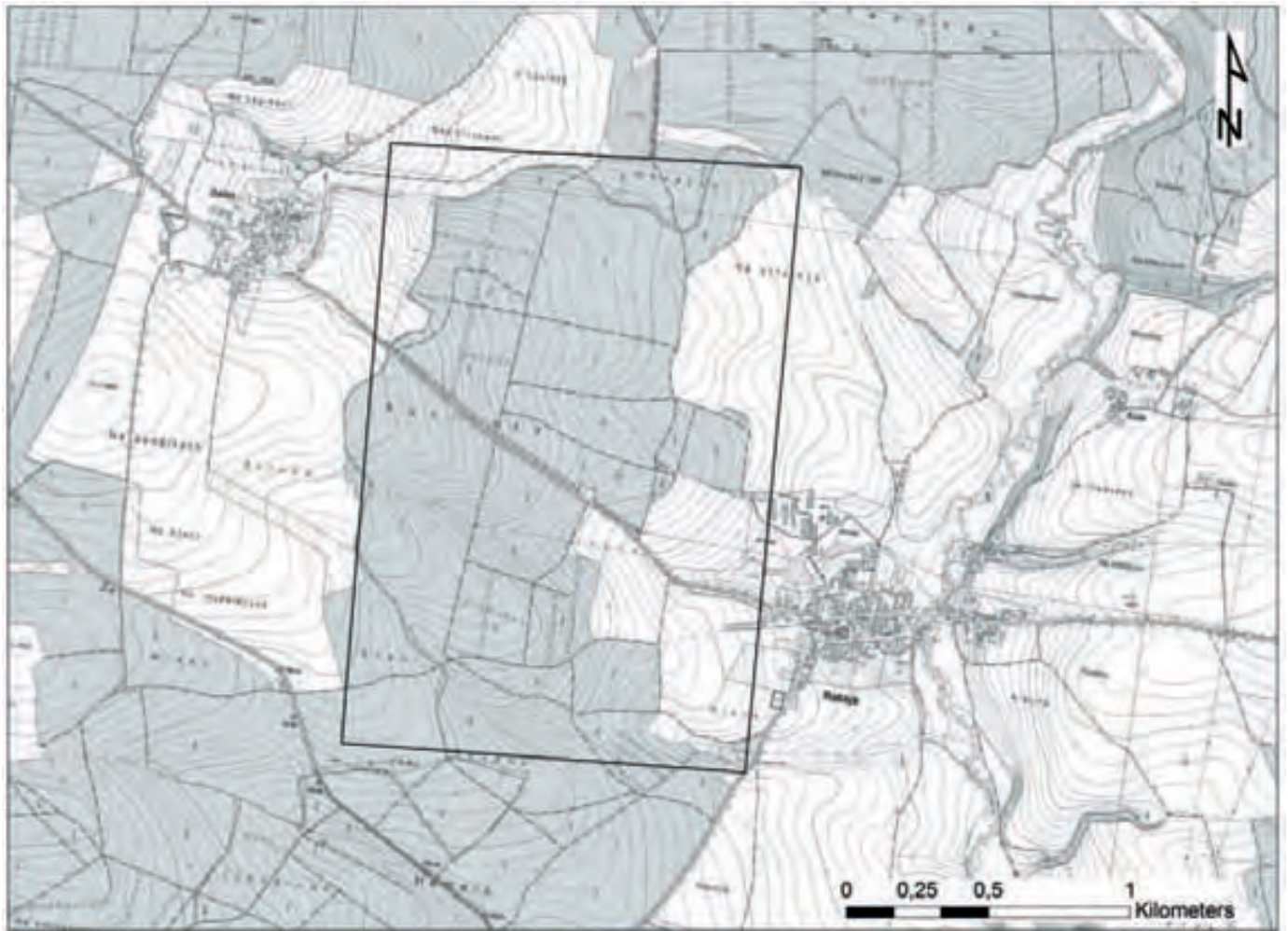
Z hlediska ročního srážkového úhrnu se jedná o sušší oblast, roční srážkový úhrn nepřesahuje 600 mm (Chábera a kol.

1985, 143). Vymezený polygon je z větší části pokryt lesním porostem „lesní trať Bezinský“, který je součástí souvislého pásu lesa okolo říčky Smutné, táhnoucího se v délce přes 5 km mezi obcemi Zběšice a Hvožďany. Půdní pokryv je ve většině případů tvořen hnědými půdami, v menší míře se vyskytují i půdy illimerizované a oglejené (Chábera a kol. 1985, 210 – obr. 15). Význam zejména po pravěké osídlení mají sprašové ostrůvky, které se v oblasti nacházejí, mimo jiné i na katastru obce Rataje. V rámci sledovaného polygonu nebylo doposud zaznamenáno žádné ložisko nerostné suroviny, v povodí říčky Smutné se však nacházejí keramické jílky v okolí Bechyně (Novák 2002, 17), grafit v okolí nedalekých Bernartic a Borovan (Oswald 1959, 65, 66; Fröhlich – Čícha 1998; Novák 2002, 33), hlubinná ložiska zlata severně od referované oblasti mezi obcemi Sepekova a Opařany (Lehrberger – Fridrich – Gebhard – Hrala 1997, 372, 384, Beilage 1; Novák 2002, 214; Fröhlich – Chvojka 2003, 55–56) nebo naleziště bílého opálu nacházející se nedaleko severně na úpatí vrchu Chlum u Sepekova. Ten by mohl být na základě posledních archeologických průzkumů využíván již v době bronzové (Chvojka a kol. 2011, 9, 298).

3. Metoda zpracování dat leteckého laserového skenování (LLS)

Metoda laserového leteckého skenování (dále jen LLS) byla do české archeologie uvedena v nedávné době (Gojda 2005, 806–810). Zároveň byly zveřejněny i prvotní výsledky a zkušenosti z vybraných snímaných polygonů a krajinných transektů (John 2011a, 24–28; Gojda – John – Starková 2011, 680–698). Lze předpokládat, že data LLS najdou v blízké budoucnosti široké uplatnění v oblasti krajinné a prostorové archeologii také v České republice. Zároveň se nabízí jejich využití i pro potřeby památkové péče jako efektivní zdroj tvorby přesných plánů nemovitých památek bez potřeby jinak časově náročné geodetické dokumentace.

Data LLS pro tuto studii byla na základě žádosti získána z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK)©. Zde se budeme věnovat konkrétním metodám zpracování LLS dat na vymezeném území lesního komplexu Bezinský. Zájmové území náleží do oblasti, kde jsou zatím k dispozici surová data odfiltrovaná povětšinou v hrubé podobě (automaticky), nikoli v podobě definitivní (ruční filtrace), z níž bude nakonec utvořena nová výškopisná mapa ČR (tzv. DMR 5. generace). Surová data pro zpracování byla poskytnu-



Obr. 1 – Mapa zájmového polygonu, les Bezinský na k. ú. obce Rataje, okr. Tábor.
Fig. 1 – A map of the studied polygon, Bezinský forest in the cadastral area of Rataje, Tábor region.

ta v podobě mračen naměřených a filtrovaných bodů ve formátu ACSII/*.*asc. pro výpočet digitálního modelu reliéfu (DMR). Data byla zpracována pomocí funkce 3D Analyst Tool v programu ArcGis 10. Nejprve byla provedena transformace (konverze) dat z formátu ACSII/*.*asc na souřadnice XYZ. Ze zobrazených dat v podobě XYZ byl vypočítán na základě výškopisných hodnot Z rastrový stínovaný model DMR pomocí metody interpolace Kriging s prostorovým rozlišením stínovaného rastru o velikosti pixelu 1 x 1 m. Zobrazený DMR v programu ArcGis 10 byl upraven na stínovaný model terénu pomocí analýzy rastrového povrchu tzv. hillshade.

Metoda zobrazení pomocí funkce hillshade umožňuje uměle nasvítit terén analyzovaného snímku pod libovolným úhlem a směrem, například až v extrémně nízké pozici virtuálního světelného zdroje (slunce těsně nad obzorem při východu nebo západu) a využít tak principů tzv. stínových příznaků (Gojda – John – Starková 2011, 690; podrobněji kap. 1 zde). Při zobrazení hillshade bylo vyzkoušeno několik azimutů osvětlení s cílem zvolení optimálního směru, úhlu a výšky světelného zdroje pro identifikaci v terénu jen výškově nepatrných a téměř zarovnaných objektů (např. *Devereux et al.* 2005). Na zobrazených stínových modelech – výřezech DMR byly pak vyhledávány antropo-

genní objekty, které mohly být pozůstatkem minulé lidské činnosti. Antropogenní objekty byly následně interpretovány a ověřovány během terénního průzkumu P. Menšíkem.

Ve dvou případech mohylových pohřebišť jsme se pokusily výsledný stínovaný model DMR rastrově vyhladit a zmírnit krycí efekt některých přírodních reliéfních změn povrchu vytvořením diferenčního modelu odečtením hodnot z různých stínových modelů v tzv. lokální model reliéfu (Local relief modelling – LRM) se zvýrazněními jak pozitivními, tak i negativními antropogenními objekty, na úkor potlačení některých neostrých přírodních reliéfních tvarů. Tato metoda zobrazení je vhodná zejména v případě nepříliš členitého povrchu s malým převýšením (podle *Hesse 2010*, 67–72) jako v případě zvoleného polygonu. K analýze bylo využito funkce Focal Statistic pro vyhlazení buněk rastru a následně funkce odečtení hodnot dvou rozdílných stínových modelů DMR s různým rozlišením pomocí funkce Math Plus (*Davis 2012*, 15–16).

4. Srovnání dat z LLS s doposud známými archeologickými lokalitami na základě terénní verifikace

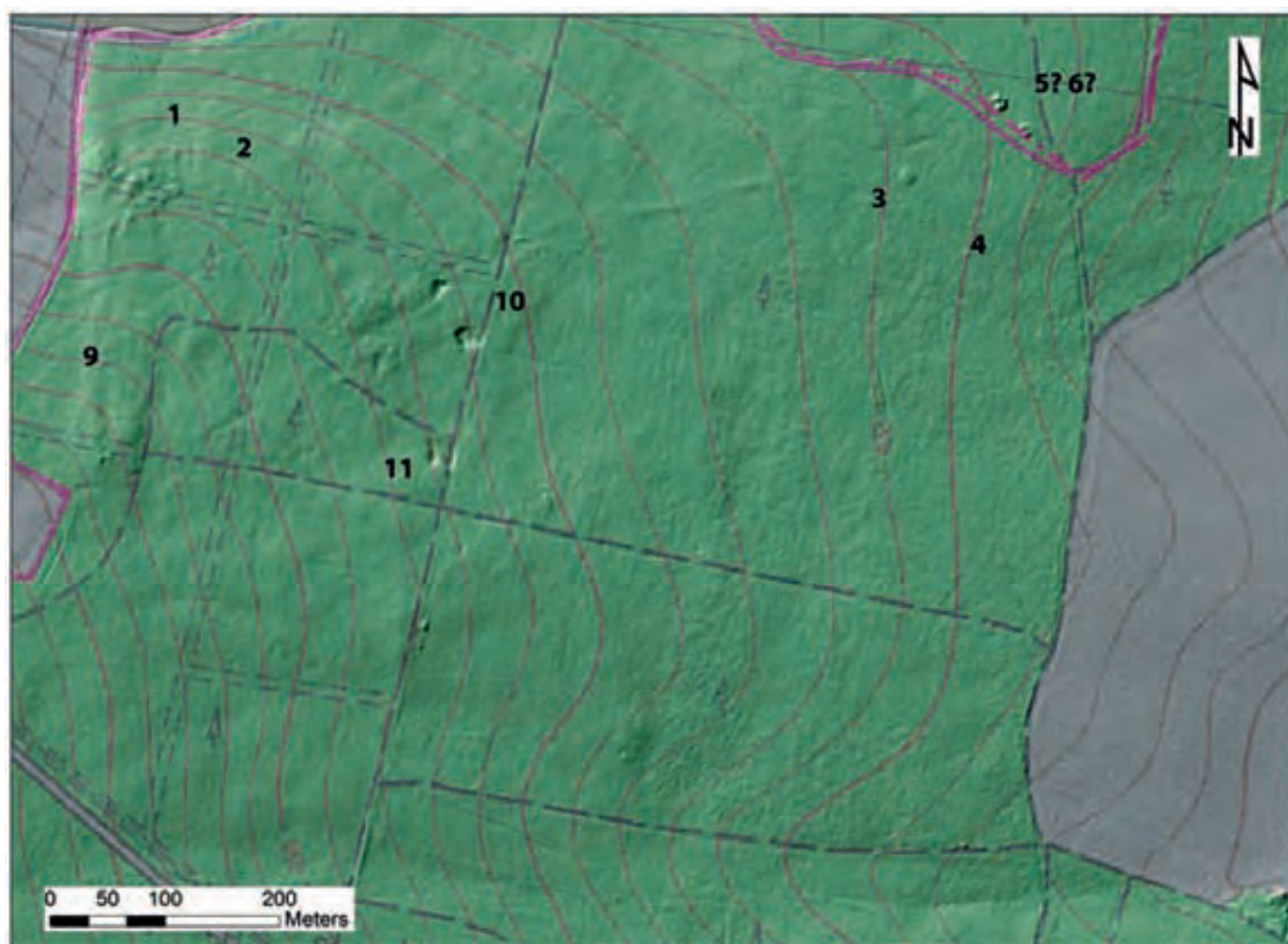
1) V prostoru lesní trati Jablonka vzdálené asi 600 metrů východně od obce Zběšice byla již v průběhu 2. poloviny

20. století zaznamenána přítomnost přibližně dvaceti mohyl, pravděpodobně pravěkých (obr. 2; Fröhlich 1978, 78; Chvojka – Militký 2004, 233, obr. 2: R). V nedávné době proběhla dokumentace mohylníku v rámci výzkumného záměru „Opomíjená archeologie“, při které v roce 2008 P. Menšík zdokumentoval 24 mohyl (z toho tři nejisté). Jejich průměr se pohybuje v rozmezí 5,4 – 20 metry a výška mezi 25 až 150 cm. Deset objektů bylo porušeno staršími výkopy způsobenými pravděpodobně amatérskými průzkumy nebo odebráním kamene z plášťů. V jednom případě byl objekt porušen lesní cestou (Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 76 – 77, TA096, mapa 45 a 83 jako Rataje IV). Zaměření mohylníku provedli také O. Chvojka a J. Michálek v roce 2009, kteří identifikovali dvacet mohylových objektů, přičemž v některých případech udávají jiné rozměry mohylových objektů i rozdílnou interpretaci porušení. Publikovaný plán se také výrazně liší (obr. 3; Chvojka a kol. 2011, 60, 237 – 238, obr. 61). Na stínovaném modelu reliéfu (dále DMR) je mohylové pohřebiště velmi dobře patrné, přičemž je možné pozorovat kumulaci kruhových objektů ve velmi malé vzdálenosti od sebe (obr. 4). K jejich zvýraznění vůči okolnímu reliéfu byl stínový model převeden na lokální model reliéfu (dále LRM). Z obou stínovaných modelů

je patrné, že největší mohyly se nacházejí ve střední a východní části pohřebiště, což dobře odpovídá plánu na obr. 3 (Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, mapa 83). Na některých mohylách je možné dokonce pozorovat porušení výkopy amatérských výzkumů z přelomu 19. a 20. století.

2) Asi 70 metrů severovýchodně od předchozí skupiny bylo při povrchové prospekci v roce 2008 identifikováno 6 nových pravěkých mohyl, částečně orientovaných ve směru východ – západ. Žádný z objektů nebyl porušen. Průměr mohyl se pohybuje v rozmezí 5 – 8,3 metru, výška v rozmezí 30 – 70 cm. Datae mohylníku není jistá, pravděpodobně spadají do období pravěku (Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 77, TA 097, mapa 45 jako Rataje V). Při povrchové prospekci v roce 2009 identifikovali O. Chvojka a J. Michálek celkem pět mohylových náspů (Chvojka a kol. 2011, 60). Toto mohylové pohřebiště na rozdíl od předchozího mohylníku není na DRM a LRM příliš patrné (obr. 4), snad jen jeden nevýrazný kruhový objekt by mohl ukazovat na přítomnost lokality č. 2 bezprostředně sousedící s lokalitou mohylového pohřebiště č. 1.

3) Další osamocená mohyla se nachází asi 500 metrů východně od předchozí skupiny mohyl a 250 metrů jižně od rybníka Loviště (obr. 2 a 5). Její průměr má 15 metrů a výška



Obr. 2 – Digitální model reliéfu (DMR) části lesa Bezinský s vyznačenými antropogenními objekty, čísla na obrázku odpovídají číslům v textu.

Fig. 2 – A digital terrain model (DTM) of a part of Bezinský forest with highlighted anthropogenic features, numbers relate respectively to the numbers in the text.

150 cm. Objekt má propadlý střed a může být datován obecně do pravěkého období (Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 77 – 78, TA098, mapa 45 jako Rataje VI; Chvojka a kol. 2011, 60 – 61).

Mohyla je na DMR velmi dobře patrná, částečně je vidět i její propadlý střed.

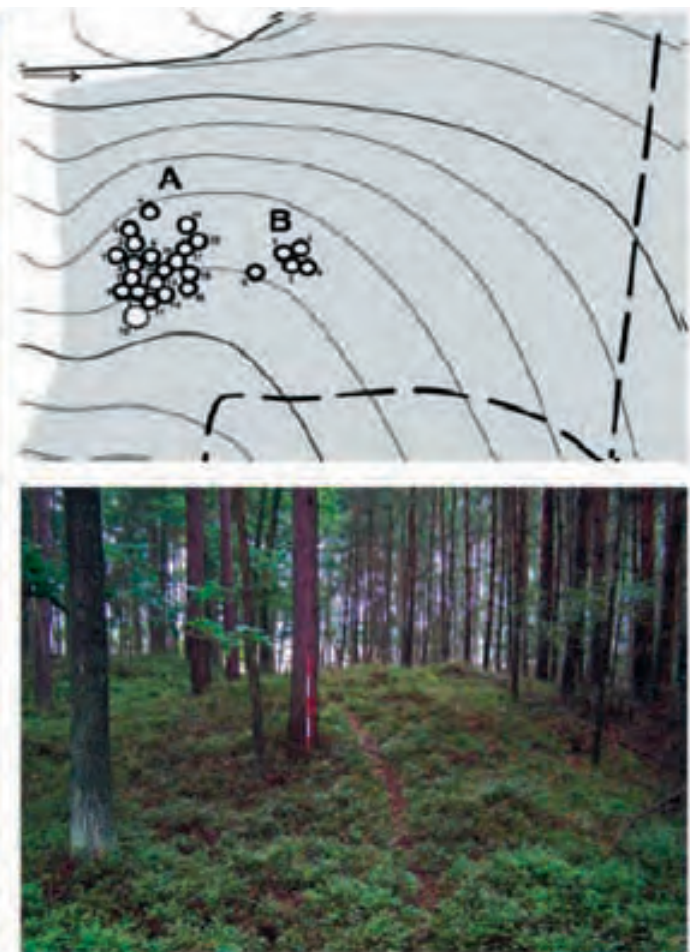
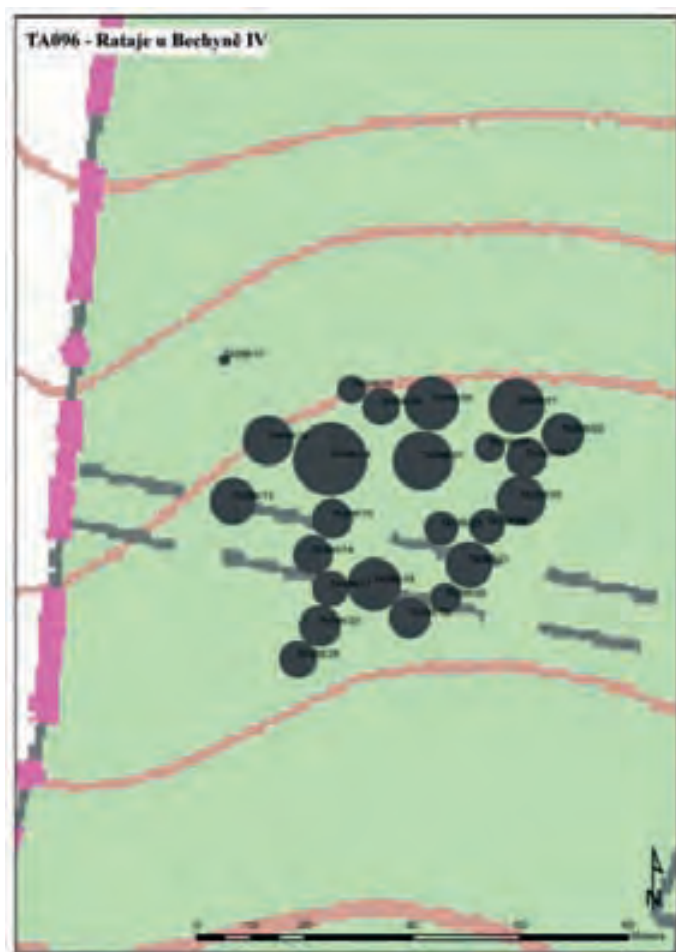
4) Drobná osamocená mohyla byla v roce 2006 lokalizována také 80 metrů jihovýchodně od předchozího objektu v prostoru lesní trati Okrajky, asi 850 metrů severozápadně od středu obce Rataje (obr. 2). Průměr pláště je 5 metrů a výška 40 cm. Z větší části je porušena lesní cestou. S největší pravděpodobností ji lze datovat do období pravěku. (Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 78, TA099, mapa 45 jako Rataje VII; Chvojka a kol. 2011, 61). Objekt č. 4 není možné na DMR identifikovat, což je způsobeno jeho malými rozměry. Při povrchové prospekci v roce 2012 se podařilo mohylu identifikovat, je však špatně patrná a prakticky zarovnána s okolním terénem.

5) Další mohylový objekt byl identifikován v roce 2006 asi 150 metrů severo–severozápadně od předchozí mohyly (obr. 2 a 5). Měl mít průměr 7,7 metru s výškou 35 cm a bylo pozorováno její porušení lesním hospodařením a cestou. Při ověření lokace v letech 2009 a 2010 se objekt již nepodařilo identifikovat (Men-

šík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 78, TA100, mapa 45 jako Rataje VIII; Chvojka a kol. 2011, 73 – 74). Mohylový objekt by mohl představovat terénní nerovnost nacházející se u bodu č. 5, při detailní povrchové prospekci v roce 2012 se jej však nepodařilo identifikovat. S největší pravděpodobností během několika posledních let již zcela zanikl.

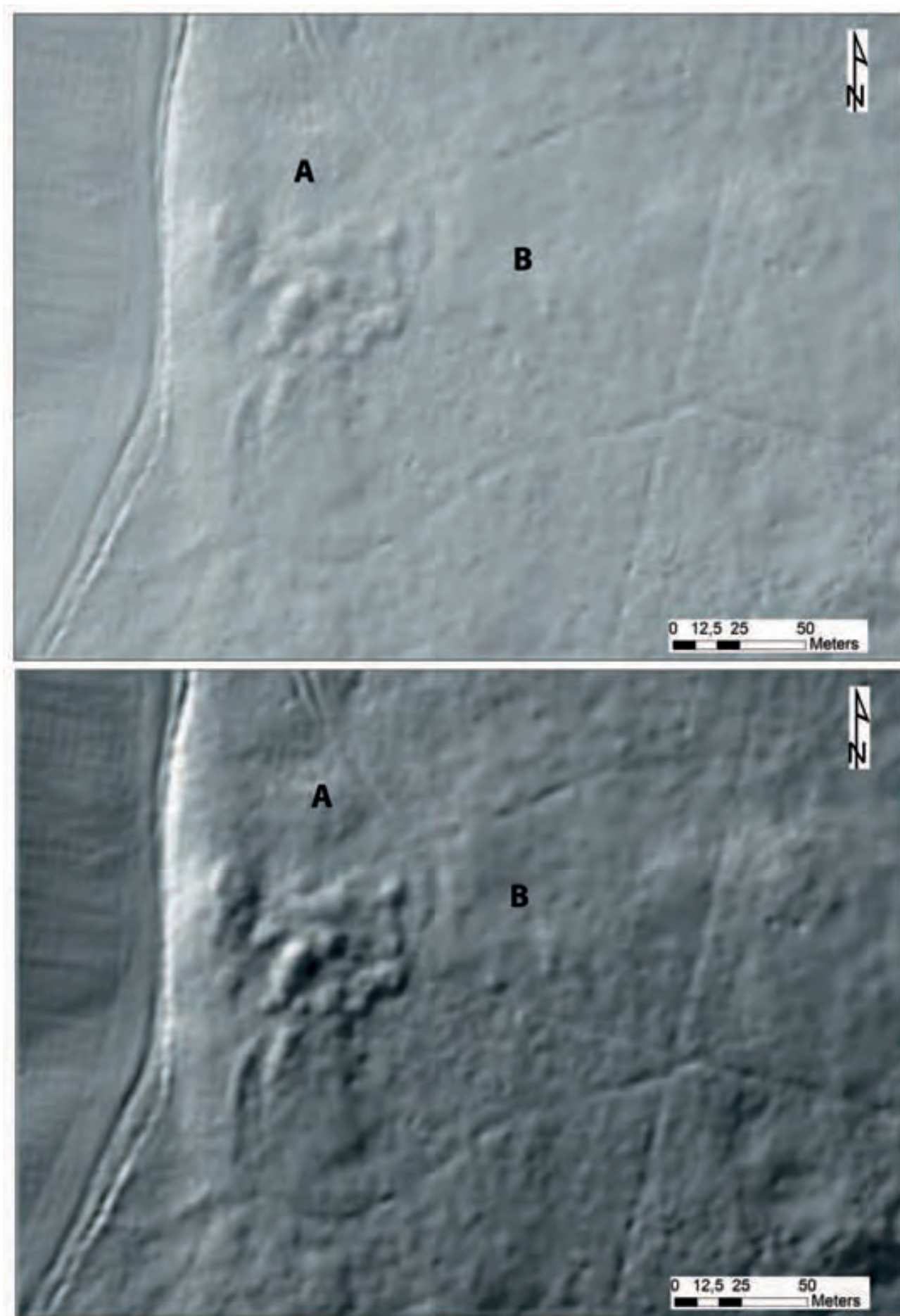
6) Údajná mohyla nacházející se v prostoru byla roku 2006 nalezena 100 metrů severozápadně od předchozí mohyly (obr. 2 a 5). Měla mít na dvou místech propadlý střed. Při ověření lokace v letech 2009 a 2010 se objekt taktéž nepodařilo identifikovat (Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 78, TA101, mapa 45 jako Rataje IX; Chvojka a kol. 2011, 74). Pro tuto mohylu platí stejná charakteristika jako pro předchozí objekt č. 5. Přes to, že se na DMR nacházejí dva porušené nepravidelné objekty, z čehož ten větší by odpovídal mohyle č. 6, nepodařilo se ji v terénu identifikovat a pravděpodobně již zanikla v důsledku aktivit spojených s lesním hospodářstvím.

7) V prostoru polní trati Na panských polích (také Na výšinkách), asi 700 metrů západně od obce, nedaleko východního okraje lesa Bezinský a jižně od silnice Rataje – Zběšice, se nacházelo mohylové pohřebiště čítající několik mohyl (obr. 6). Pohřebiště objevil Hynek Hraše, přičemž většina



Obr. 3 – Plán pravěkého mohylníku IV (podle Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, mapa 83) vlevo; Plán mohylníku IV a V (Chvojka a kol. 2011, obr. 61) vpravo; Fotografická dokumentace pravěké mohyly na mohylníku IV (autor P. Menšík).

Fig. 3 – A plan of the prehistoric barrow site IV (after Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, map 83) on the left; barrow site IV and V (Chvojka et al. 2011, fig. 61) on the right; photographic documentation of a prehistoric barrow on the site IV (author: P. Menšík).



Obr. 4 – Srovnání dvou stínovaných modelů DMR a LRM pravěkých mohylníků IV a V:
Fig. 4 – A comparison of two shadow models DTM and LRM of the prehistoric barrow sites IV and V.

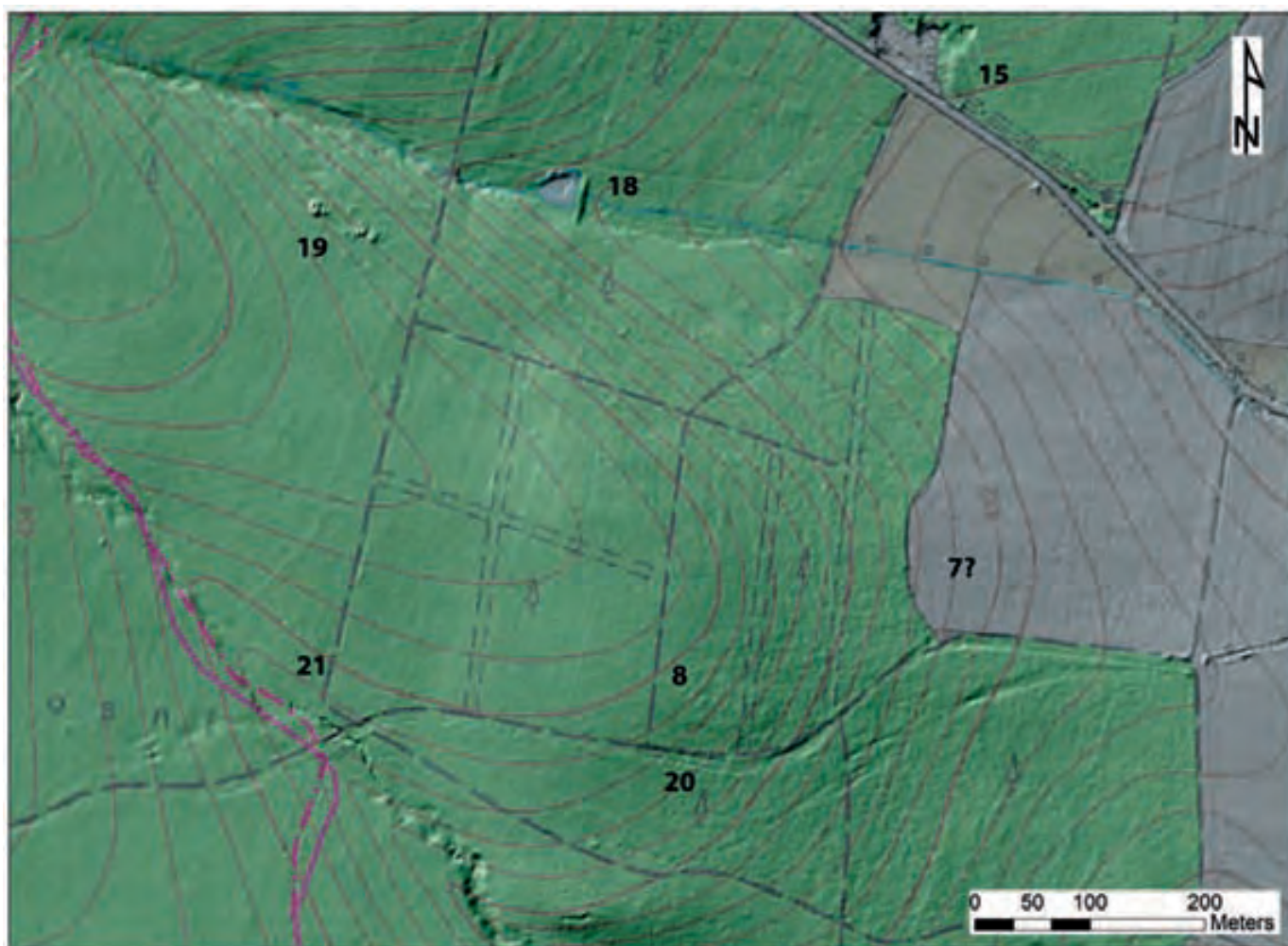
objevených objektů již byla porušena, jelikož se nacházely v prostoru pole. Jan Karel Hraše nechal tyto mohyly zkoumat mezi lety 1871 – 1873. Všechny obsahovaly kamenný věnec, ve kterém se nacházely dvě až dvanáct nádob. Ty byly údajně z tuhy a natřeny červenou hlinkou. Kolem nádob se nacházelo větší množství popela, pravděpodobně pozůstatek žárových pohřbů. Nalezeno bylo i větší množství drobných kůstek, bronzové plíšky, hřebíky, nebo zbytky jehlic. V jednom z hrobů byla objevena také stříbrná spona, na které byla ještě uchycena část kůže. Památka se ve zmiňované poloze dnes již nenachází, byla v průběhu 2. poloviny 19. století rozorána (Vocel 1868, 520, obr. 13; Hraše 1871 – 1873b, 659; Šnajdr 1891, 90; Píč 1909, 30; Dubský 1949, 643; Turek 1958, 40, Taf. XVI 4 – 5; Militký 1989, 167; Lutovský 1993, 5; Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 79, TA102, mapa 46 jako Rataje X). Toto mohylové pohřebiště není na DMR patrné jelikož již v minulosti zaniklo. Nacházelo se v bezprostředním východním sousedství lesa Bezinský na zemědělsky obdělávaném poli jak v minulosti, tak i dnes.

8) V prostoru lesní trati Výšinky se nachází další mohylové pohřebiště (obr. 6). Při povrchové prospekci identifikoval P. Menšík 12 mohyl uspořádaných ve třech řadách s orientací východ – západ. Mohylník se nachází 800 metrů západně od obce Rataje na plošině nakloněné k východu a jihu. Deset mohyl je kruhových o průměrech v rozmezí 4,5 – 7,8 metru

a výškou 25 – 100 cm. Dva objekty jsou oválné s orientací delší osy ve směru východ – západ. Jejich rozměry jsou 10 x 6,2 metru s výškou 140 cm a 9,2 x 5 metru s výškou 50 cm. Okolo jedné podlouhlé a pěti kruhových se nacházejí mělké oběžné příkopy. Dva objekty mají na svých pláštích stopy po starších porušeních (obr. 7; Menšík 2008, 46; Menšík – Křišťuf – Chvojka 2010, 79, TA103, mapa 46 a 84 jako Rataje XI). Pravděpodobně se jedná raně středověké pohřebiště, na kterém Jan Karel Hraše prozkoumal v roce 1865 čtyři mohyly. Při výzkumu první mohyly našel pod lesní hrabankou pouze hliněnou vrstvu, pod ní vrstvu popela a poté opět hlínu s kameny. Nalezl také větší množství střepů, celé nádoby však žádné. Podobná byla situace i v dalších dvou mohylách. Dále informuje o nejasných nálezových okolnostech, kdy pod kamenem nacházejícím se v blízkosti mohyl objevili dělníci keramickou nádobu rozloženou na tři kusy a v ní bronzový náramek v podobě hada. Po vybrání hlíny a popela z okolí nádoby byla odkryta kamenná obvodová konstrukce. V okolí bylo nalezeno také větší množství drobných kůstek. Některé z nálezů jsou uloženy v Národním muzeu v Praze (inv.č. 55191 – 55192, 55193 – 55201?) (Hraše 1864 – 1865, 221; Hraše 1871 – 1873a, 139; Šnajdr 1891, 88, 89; Píč 1909, 30; Turek 1958, 40; Militký 1989, 167 – 168). Toto mohylové pohřebiště není možné na DRM ani LRM identifikovat, nachází se zde pouze nevýrazné nerovnosti teré-



Obr. 5 – Digitální model reliéfu (DMR) izolované pravěké mohyly VI a vizuálně neidentifikovaných mohyl VII a VIII.
Fig. 5 – A digital terrain model of an isolated prehistoric barrow VI and unidentified barrows VII and VIII.



Obr. 6 – Digitální model reliéfu (DMR) části lesa Bezinský s vyznačenými antropogenními objekty, čísla na obrázku odpovídají číslům v textu.

Fig. 6 – A digital terrain model (DTM) of a part of Bezinský forest with highlighted anthropogenic features, numbers relate respectively to the numbers in the text.

nu, na jejichž základě však není možné pohřebiště nalézt (obr. 8) Jeho absence na snímku je překvapující, mohylové objekty jsou v terénu velmi dobře patrné a jejich rozměry taktéž nejsou zanedbatelné (obr. 9).

5. Nově identifikované antropogenní tvary reliéfu a přírodní útvary na základě vyhodnocení dat z LLS

9) Objekt č. 9 na LS představuje dlouhou linii vedoucí podél západního kraje lesa Bezinský v délce několika set metrů (obr. 2 a 10). Linie byla v terénu identifikována jako drobné valové těleso s převýšením 40 – 60 cm nad okolní terén s drobným žlabem o hloubce cca 20 cm, který se nacházel na západní straně valu. Tento relikv představuje hranici katastru mezi obcemi Rataje a Zběšice, s největší pravděpodobností spadá do období novověku.

10) Objekt č. 10 představuje na DRM několik lokálních nerovností nacházejících se v nevýrazné kumulaci (obr. 2 a 10). Dva z objektů dosahují značných velikostí a převýšení nad okolním terénem. Při povrchové prospekci byla identifikována přítomnost těžebního pole o rozměrech cca 50 x 50 metrů. Výrazné útvary zobrazené na snímku DRM představují odvaly v místech těžby, jejichž délka je přibližně

15 metrů a výška až 2 metry. Stáří těžebního pole není možné na základě povrchového průzkumu určit.

11) Objekt č. 11 byl na DRM identifikován jako téměř čtvercový, téměř zahluobený útvar (obr. 2 a 10). Při povrchovém průzkumu se podařilo identifikovat rozsáhlou recentní těžební jámu na písek, jejíž rozměry byly přibližně 20 x 20 metrů a hloubka 2 metry.

12) Výrazná terénní nerovnost označená na DRM č. 12 byla při povrchovém průzkumu identifikována jako pozůstatek těžební činnosti neznámého stáří, které v současné době slouží jako skládka suti (obr. 2).

13) Osamocené kruhový objekt nacházející se kraji lesa pod č. 13 připomínající na první pohled mohylu představuje ve skutečnosti recentní vodojem, který je vyvýšen nad okolní terén a překryt panely (obr. 11).

14) Objekty nacházející se pod č. 14 se nepodařilo v terénu identifikovat. V nedávné minulosti však v těchto místech proběhla poměrně intenzivní těžba dřeva a zachycené nerovnosti v terénu s největší pravděpodobností představovaly hromady osekáných větví ze stromů (obr. 11).

15) Výrazný objekt č. 15 na kraji lesa v bezprostředním sousedství silnice z Ratají do Zběšic představuje těžební areál

na písek, pravděpodobně recentního stáří. Jeho rozměry jsou cca 70 x 50 metrů, přičemž v některých místech byl písek odtěžen ve vrstvě okolo tří metrů (obr. 11).

16) Liniové objekty č. 16 představují mělké úvozy táhnoucí se ve směru západ – východ, přičemž jejich směr je orientován na dvě nejbližší vesnice Rataje a Zběšice. Pravděpodobně se jedná o zaniklé komunikace související s hospodářskými aktivitami v extravilánu těchto vesnic v minulosti. Při povrchovém průzkumu byly identifikovány v délce několika set metrů, jejich šířka dosahuje v průměru okolo dvou metrů a hloubka se pohybuje okolo půl metru (obr. 11).

17) Poměrně nevýrazné terénní nerovnosti označené na DMR č. 17 se nepodařilo v terénu identifikovat. S největší pravděpodobností se jedná o chyby v měření, případně snosy větvi nacházejících se v lese (obr. 11).

18) Pod č. 18 se podařilo identifikovat drobný rybník s hrází. Je možné jej pozorovat již na leteckých snímcích z 50. let 20. století, na III. vojenském mapování však zachycen nebyl. Dnes již pravděpodobně neslouží svému účelu, jelikož je téměř nepřístupný vzhledem husté vegetaci nacházející se v jeho okolí. Jeho rozměry jsou cca 30 x 25 metrů (obr. 11).

19) Drobné terénní nerovnosti označené č. 19 jsou ve skutečnosti hromady naskládaného dřevěného plotu, který v minulosti sloužil k oplocení lesní školky (obr. 11).

20) Liniový útvar č. 20 představuje starou cestu vedoucí jihozápadním směrem z Ratají do Borovan. Cesta je místy až dva metry zahlobena do okolního terénu. Souběžně s ní vede několik drobných úvozů se stejnou orientací. Identifikovaná cesta je dobře viditelná již na I. vojenském mapování, její stáří spadá tedy nejméně do období novověku (obr. 6).

21) Pod č. 21 se podařilo identifikovat strž, ve které teče bezejmenná vodoteč ústící již od Ratají do Kněžského rybníka. V západní části lesa se jedná o poměrně hluboké a úzké koryto, kde vodoteč vymlela místy až tři metry hluboké koryto, které se však východním směrem otevírá do širšího údolí (obr. 6 a 10).

6. Zhodnocení a závěr

Na analyzovaných stínových snímcích DMR, které zobrazují prostor Bezinského lesa mezi obcemi Rataje a Zběšice, se podařilo identifikovat jedno známé pravěké mohylové pohřebiště a jednu osamocenou mohylu nejasného stáří (č. 1 a 3). Jedno pravěké a jedno rané středověké mohylové pohřebiště však nebylo možné pomocí této metody detailně zachytit (č. 2 a 8), a to i přes to, že se zde nacházejí objekty dosahující několikametrových rozměrů s výškou do jednoho metru. S největší pravděpodobností je to způsobeno jednak sníženou kvalitou rozlišení LLS, a také hustou lesní vegetací. Nad zmiňovaným mohylníkem č. 2 se nachází poměrně vzrostlý hustý les, který může zabráňovat průniku paprsků lidaru. Bylo pozorováno, že nejhůře jsou nerovnosti terénu zachytitelné ve vzrostlém smrkovém lese, což je v opozici s lesem mladšího stáří, případně tam, kde byly vysázeny borovice.

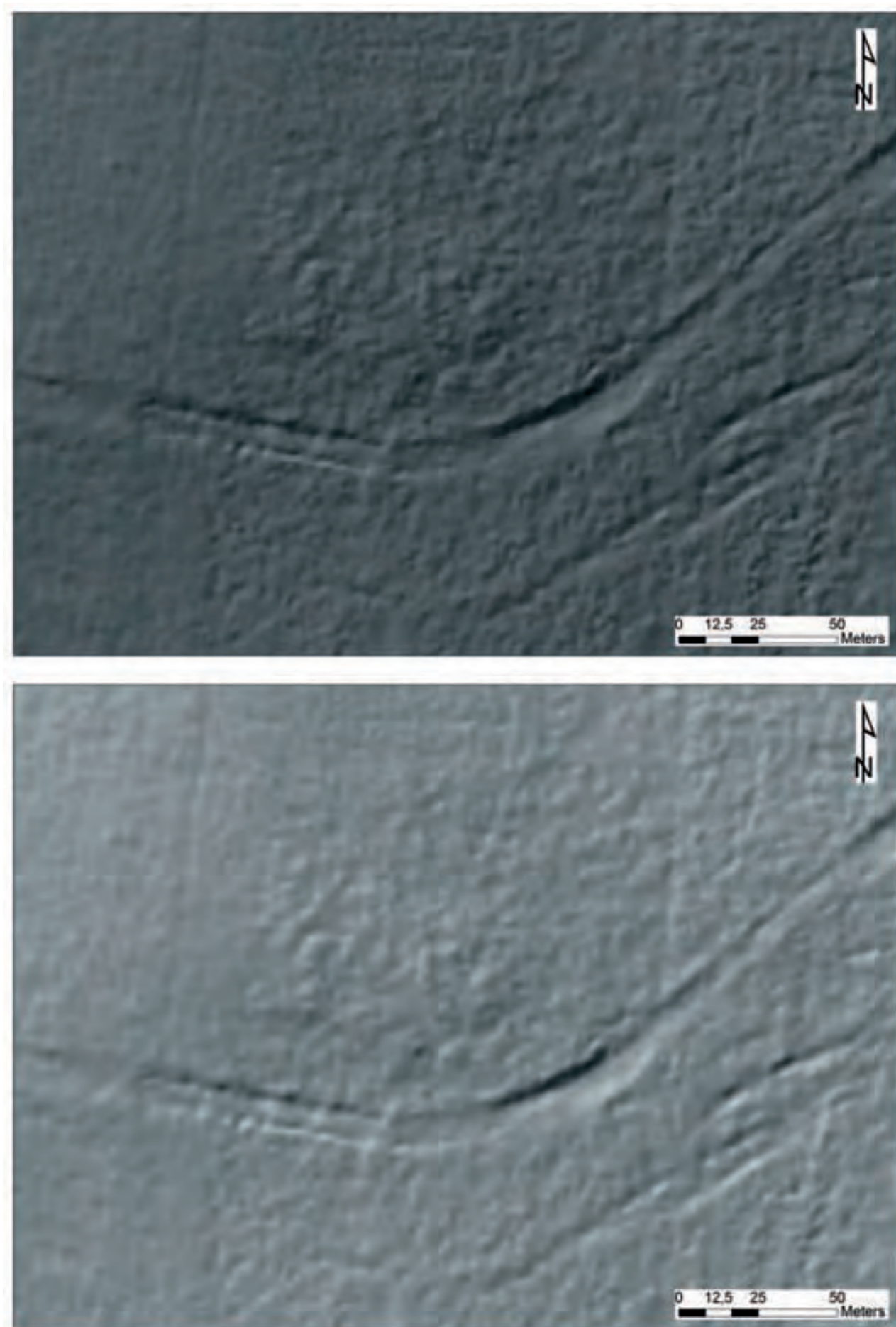
Drobné povrchové nerovnosti nacházející se na analyzovaném snímku jsou ve většině případů snosy větvi nebo recentní objekty související s lesním hospodařením (srov. *John 2011a*, 28), v oblasti se nepodařilo objevit žádný nový mohylový objekt. Podařilo se však identifikovat celou řadu úvozových cest a hranice pozemků, které souvisejí s lidskou činností v regionu v období novověku nebo dokonce středověku. Liniové objekty jsou na DMR velmi dobře patrné, přičemž je možné určit jejich vzájemné stáří, orientaci a rozsah zachování. Druhou kategorií dobře zachytitelných antropogenních tvarů reliéfu představují výrazné konkávní nebo konvexní objekty, které jsou pozůstatkem po těžební činnosti. Třetí kategorií jsou poté recentní objekty (pozůstatky po lesním hospodaření, vodojem, rybník atd.).

Je možné říci, že použitá metoda LLS s využitím snímků menšího rozlišení má své nedostatky ve své malé rozlišovací schopnosti. Menší objekty dosahující rozměru několika metrů s malým převýšením nad okolní terén nemusejí být zachyceny, což brání identifikaci např. méně výrazných těžebních areálů nebo mohylových pohřebišť. Na druhou stranu je tato metoda postačující k vyhledávání rozsáhlejší liniových útvarů (hranic, úvozů, plužin atd.). Výrazný vliv na identifikaci antropogenních objektů pomocí LLS má také vegetační pokryv.



Obr. 7 – Plán rané středověké mohylníku XI (podle *Mensík – Křišťuf – Chvojka 2010*, mapa 84).

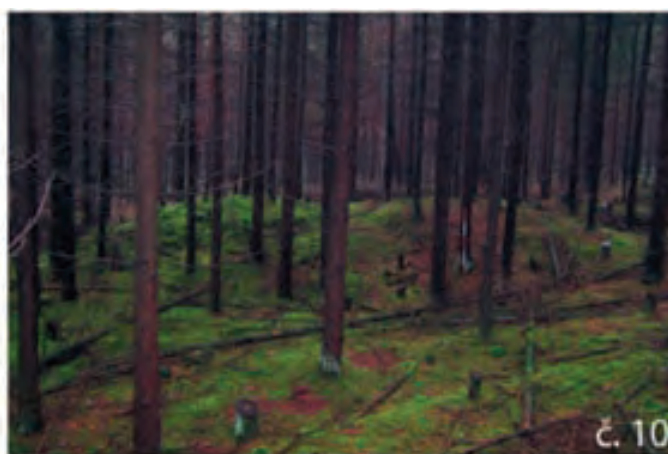
Fig. 7 – A plan of an early medieval barrow site XI (after *Mensík – Křišťuf – Chvojka 2010*, map 84).



Obr. 8 – Srovnání dvou stínovaných modelů DMR a LRM raně středověkého mohylníku XI.
Fig. 8 – A comparison of two shadow models DTM and LRM of an early medieval barrow site XI.

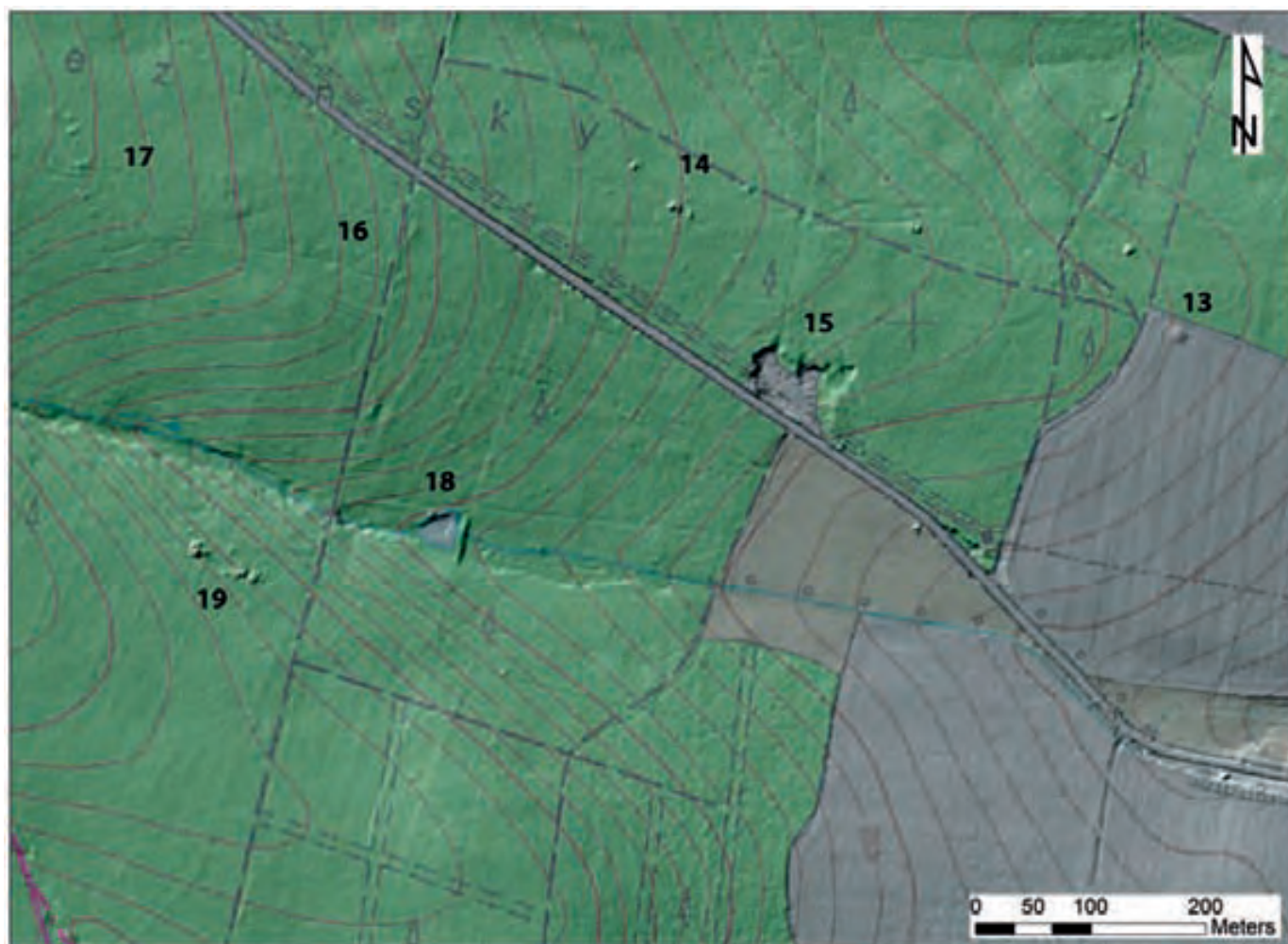


Obr. 9 – Jedna z raně středověkých mohyl na mohylníku XI (foto P. Menšík).
Fig. 9 – One of the early medieval barrows on the site XI. (photo by P. Menšík).



Obr. 10 – Fotografická dokumentace vybraných antropogenních tvarů. Hranice katastru č. 9, těžební areál neznámého stáří č. 10, recentní těžební areál č. 11, koryto vodoteče č. 12 (foto P. Menšík). Čísla na obrázku odpovídají číslům v textu.

Fig. 10 – A photographic documentation of selected anthropogenic features. Border of cadastral area no. 9, mining site of unknown date no.10, recent mining site no.11, water stream bed no.12 (photo by P. Menšík). Numbers relate respectively to the numbers in the text.



Obr. 11 – Digitální model reliéfu (DMR) části lesa Bezinský s vyznačenými antropogenními objekty, čísla na obrázku odpovídají číslům v textu.

Fig. 11 – A digital terrain model (DTM) of a part of Bezinský forest with highlighted anthropogenic features, numbers relate respectively to the numbers in the text.

Airborne Laser Scanning and its use for the study of archaeological features in the forested complex of Bezinský in Rataje cadastral area (Tábor region)

This paper focuses on the use of airborne laser scanning (ALS) of a lower qualitative resolution for the study of selected pre-historic, medieval and modern components in forested environment in the Smutná river basin in Rataje cadastral area of Tábor region. The selected polygon of 1.5 x 2 kms is located in the forested complex of Bezinský between Rataje and Zbešice. Prehistoric and early medieval barrow burials had previously been discovered and archaeologically documented in the forested complex there. The findings of their study were confronted

with the synthesized ALS data and their visualisations in the form of shadow digital terrain models (DTM) and local relief models (LRM). On the basis of the evaluation and interpretation of the ALS data, which were verified by field survey, a number of anthropogenic relief features were discovered – such as cadastral milestones, mining remains and past communications (roads and water sources). They complement the picture of the topography of medieval and modern immovable remains in the forested complex of Bezinský.

LLS jako součást komplexní archeologické prospekce v zázemí raně středověkého centra na Pohansku u Břeclavi¹⁰

10 Tato kapitola knihy vznikla jako součást řešení grantového projektu GA ČR č. P405/12/P150 „Hospodářské zázemí centra nebo jen o sady v blízkosti zázemí centra?“

1. Archeologický výzkum v zázemí Pohanska u Břeclavi

Pohansko u Břeclavi stojí ve středu vědeckého zájmu Ústavu archeologie a muzeologie filozofické fakulty Masarykovy univerzity již od roku 1958 (Macháček 2011). Výzkumné aktivity ústavu směřovaly od počátku i do širšího okolí tohoto významného raně středověkého centra, které leží poblíž soutoku řek Moravy a Dyje, v těsné blízkosti česko-rakouské hranice (obr. 1). Jednalo se většinou o terénní odkryvy ohrožených archeologických památek, jakými byla pravěká i raně středověká pohřebiště ve Staré Břeclavi a Lanžhotě či sídliště v Bulharech, Podivíně, Ladné a Břeclavi (Dostál 1968; Macháček 2001). Realizovaný výzkum však měl většinou podobu nahodilých akcí, vyvolaných snahou zachránit aktuálně ničené památky. Nebyl součástí žádné promyšlené strategie, která by vedla k hlubšímu poznání vývoje historické kulturní krajiny dolního Podyjí a Pomoraví. Charakter terénních aktivit v okolí Pohanska se změnil až v posledním desetiletí, kdy jsme zahájili systematickou archeologickou prospekci s pomocí moderních metodických postupů. Na rozsáhlých územích proběhly analytické povrchové sběry, které pomohly zmapovat zemědělské zázemí velkomoravských hradišek (Dresler – Macháček 2008a; 2008b). Prospekce detektorem kovů přispěla k objevu dosud neznámých raně středověkých nadkomunitních areálů (Dresler – Macháček – Milo 2010; 2011;

Biermann – Macháček 2012). Prostorovou strukturu jednotlivých sídlištních areálů se podařilo rozpoznat s využitím letecké fotografie a geofyzikálního měření. Digitální model reliéfu zájmového území vznikl díky aplikaci fotogrammetrické metody. Mezi požitými metodami však až dosud chybělo letecké laserové skenování, tzv. LLS či lidar. Bylo to způsobeno především tím, že celoplošné laserové skenování České republiky s dostatečným rozlišením (tzv. digitální model reliéfu 5. generace) není pro východní část České republiky dosud k dispozici, a pořízení vlastních dat znemožňovaly vysoké finanční náklady s tím spojené (Gojda – John – Starková 2011). Potřebná data se nakonec podařilo získat alespoň pro část zájmového území, která však leží již za hranicí České republiky, na dolnorakouské straně řeky Dyje.

2. LLS a digitální model reliéfu Dolního Rakouska

Na rozdíl od České republiky byl v Rakousku podrobný digitální model reliéfu, vycházející z dat pořízených s pomocí LLS, již vytvořen. V některých spolkových zemích je dokonce zpřístupněn široké veřejnosti na Internetu on-line (<http://www.geoland.at>). Díky tomu, že svá data zveřejnilo také Dolní Rakousko, které sousedí s jižní Moravou, jsme mohli LLS při vyhledávání a dokumentaci archeologických nemovitých památek v blízkém okolí Pohanska využít i my.



Obr. 1 – Pohansko u Břeclavi, Bernhardsthal. Poloha lokalit zmiňovaných v textu.

Fig. 1 – Pohansko u Břeclavi, Bernhardsthal. The location of sites mentioned in the text.

Dolnorakouská data LLS (oficiální název podle INSPIRE: Laserscan DHM, identifikátor: AT.0020.10.01) z území přiléhajícího k Pohansku (tzv. Flugblock: Hohenau) byla pořízena v jarních měsících roku 2008 s pomocí přístroje Riegl LMS-Q560. Data spravuje úřad vlády Dolního Rakouska, konkrétně Abteilung Hydrologie und Geoinformation.

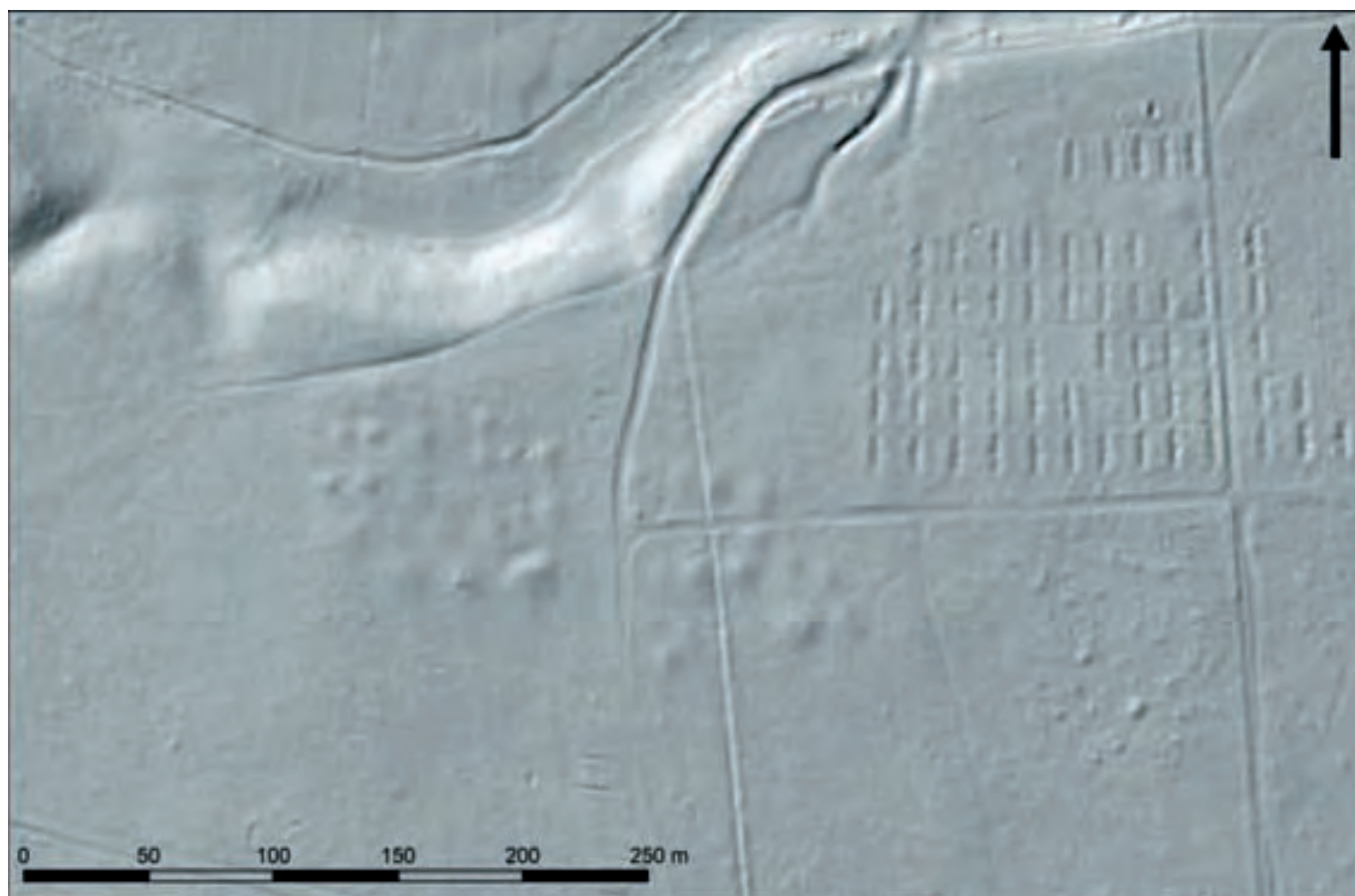
Digitální model reliéfu je dostupný prostřednictvím mapové aplikace NÖ Atlas 3.0 (<http://www.intermap1.noel.gv.at/webgisatlas/init.aspx>), která umožňuje zvětšení až do měřítka 1:500. S její pomocí se podařilo na jaře roku 2012 identifikovat na katastru obce Bernhardsthal, jehož hranice je od jižního předhradí Pohanska vzdálena pouhý jeden kilometr, několik dosud neznámých archeologických nemovitých památek. Na základě tohoto objevu jsme vyvolali jednání s pracovníkem místního muzea (Friedel Stratjel), který prostřednictvím obce zajistil pro účely našeho výzkumu původní data digitálního modelu reliéfu. Ta jsou distribuována ve formátu GRID o velikosti 1,25 x 1 km s buňkou o velikosti 1x1 m v souřadnicovém systému MGI Austria GK M34. Surová data, z nichž byl digitální model reliéfu vypočítán, jsou ještě o něco přesnější. Průměrná hustota dosahuje 8 bodů na metr čtvereční (přičemž sousední body jsou v podélném i příčném směru vzdáleny maximálně 1 m), výšková přesnost měření dosahuje 15 cm a polohová přesnost 40 cm. Pásky snímané z letadla se překrývají minimálně z 20 % (ústní informace Dipl.-Ing. Rainer Prager, Ab-

teilung Hydrologie und Geoinformation). Uvedená přesnost je dostatečná pro potřeby archeologické prospekce.

3. Metoda práce

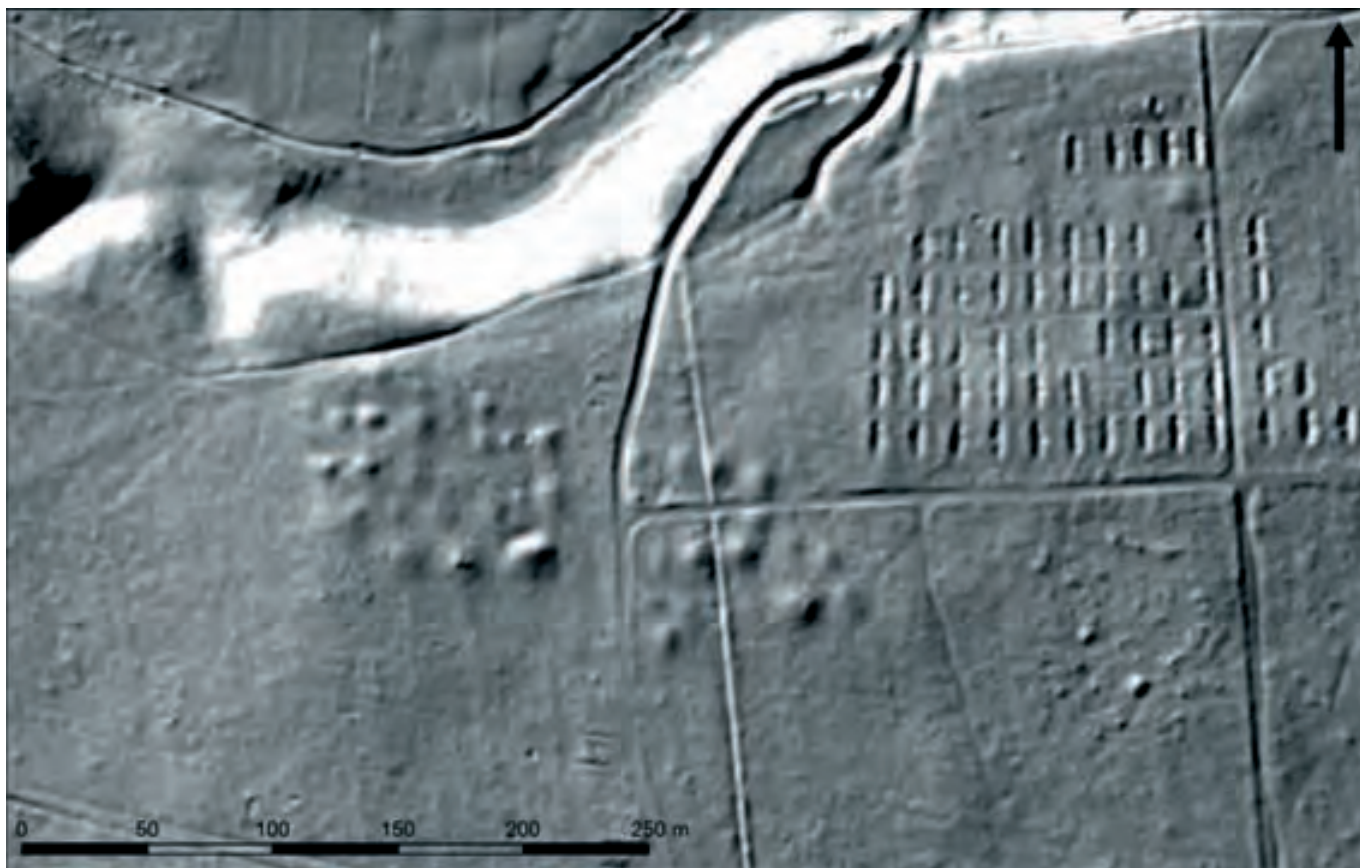
Vyhledávání nemovitých archeologických památek na digitálním modelu reliéfu probíhalo ve čtyřech etapách. Nejdříve bylo zájmové území rekognoskováno na veřejně přístupné mapové aplikaci (NÖ Atlas 3.0), kde jsou data vizualizována pomocí stínovaného modelu reliéfu („hillshade“). Po objevu povrchových relikvií archeologických památek jsme v softwaru ArcGIS vytvořili na základě původních dat ve formátu GRID vlastní modely, z nichž některé poskytly průkaznější výsledky. První model, který se však příliš nelišil od vizualizace z aplikaci NÖ Atlas 3.0, byl vytvořen defaultně nastaveným algoritmem Hillshade (obr. 2). Druhý stínovaný rastr (obr. 3) vznikl s pomocí nástroje Swiss Hillshade (Barnes 2002). Pro větší názornost jsme výsledek následně desetinasobně převýšili (obr. 4). Jako nejlepší byl vyhodnocen model, který kombinuje několik rastrů, lišících se odlišnými vstupními parametry (výška a směr osvitů) zadanými před výpočtem (obr. 5–6).

Objevené povrchové relikty jsme v další etapě archeologické prospekce ověřovali přímou rekognoskací v terénu (obr. 7). Zatím poslední fáze naší práce spočívala v provedení geofyzikálního měření na lokalitě. Jeho cílem byla verifikace



Obr. 2 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Stínovaný rastr vytvořený z LLS dat v defaultním nastavení v programu ArcGIS (Hillshade) – azimut 315 stupňů, elevace 45 stupňů.

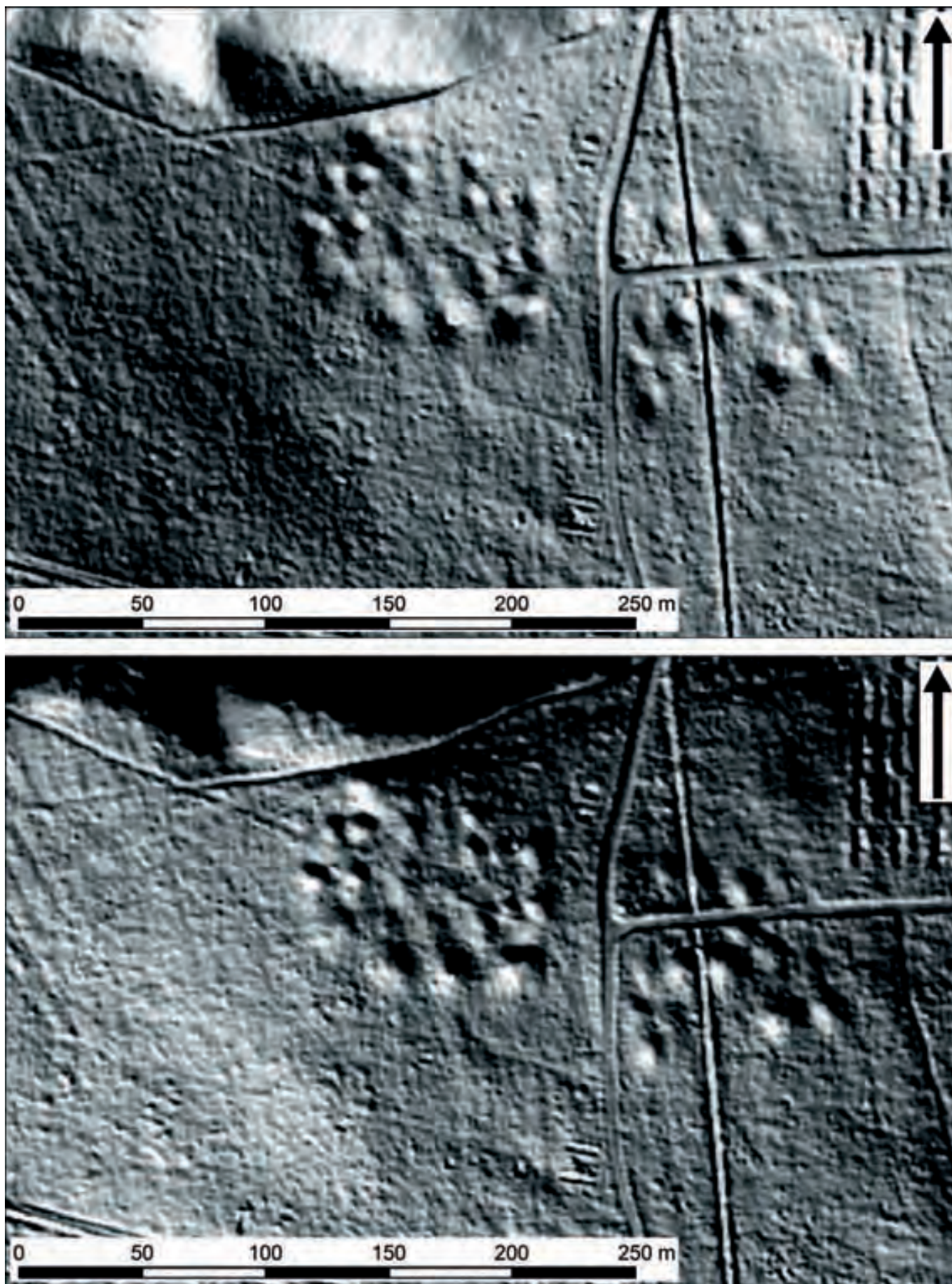
Fig. 2 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Shaded raster created using the ALS data in a default mode of the ArcGIS (Hillshade) – azimuth of 315 degrees, elevation of 45 degrees.



Obr. 3 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Stínovaný model reliéfu vytvořený z LLS dat za pomoci nástroje Swiss Hillshade.
Fig. 3 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Shaded relief model created with the ALS data using Swiss Hillshade tool.

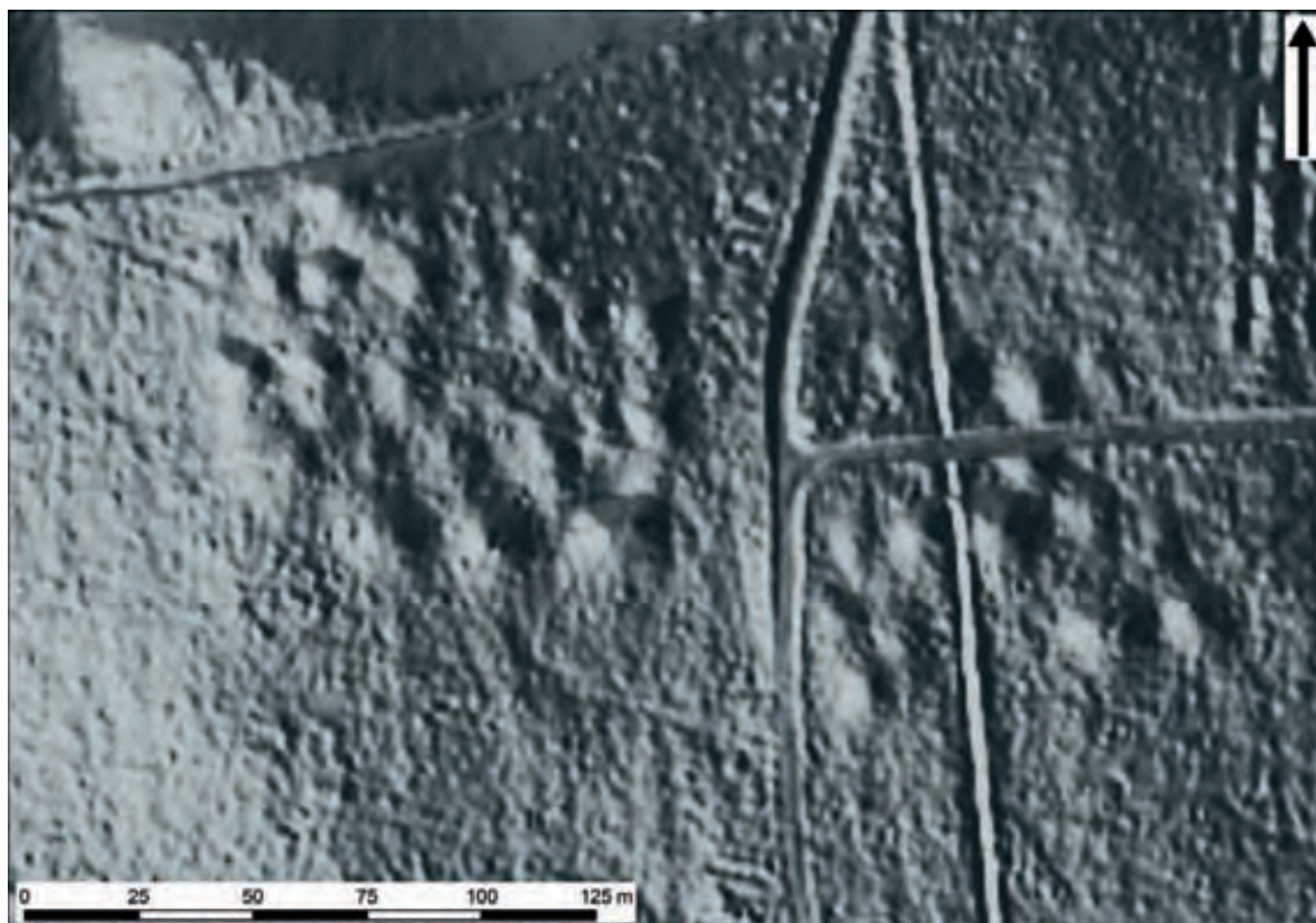


Obr. 4 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Stínovaný model reliéfu vytvořený z LLS dat za pomoci nástroje Swiss Hillshade. Rastr použitý k výpočtu byl desetinásobně vynásoben. Na snímku je dobře patrný průběh říční terasy.
Fig. 4 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Shaded relief model created with the ALS data using Swiss Hillshade tool. The raster used for the calculation was 10 times multiplied. The caption very well shows the river terrace.



Obr. 5 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Stínovaný model reliéfu vytvořený z LLS dat nástrojem Hillshade při nastavení azimut 45°, elevace 20° (nahore) a při nastavení azimut 220°, elevace 30° (dole). Vstupní DEM byl desetkrát vynásoben.

Fig. 5 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Shaded relief model created with the ALS data using Hillshade tool. Azimuth 45°, elevation 20° (top) and azimuth 220°, elevation 30° (bottom). The original DEM was 10 times multiplied.



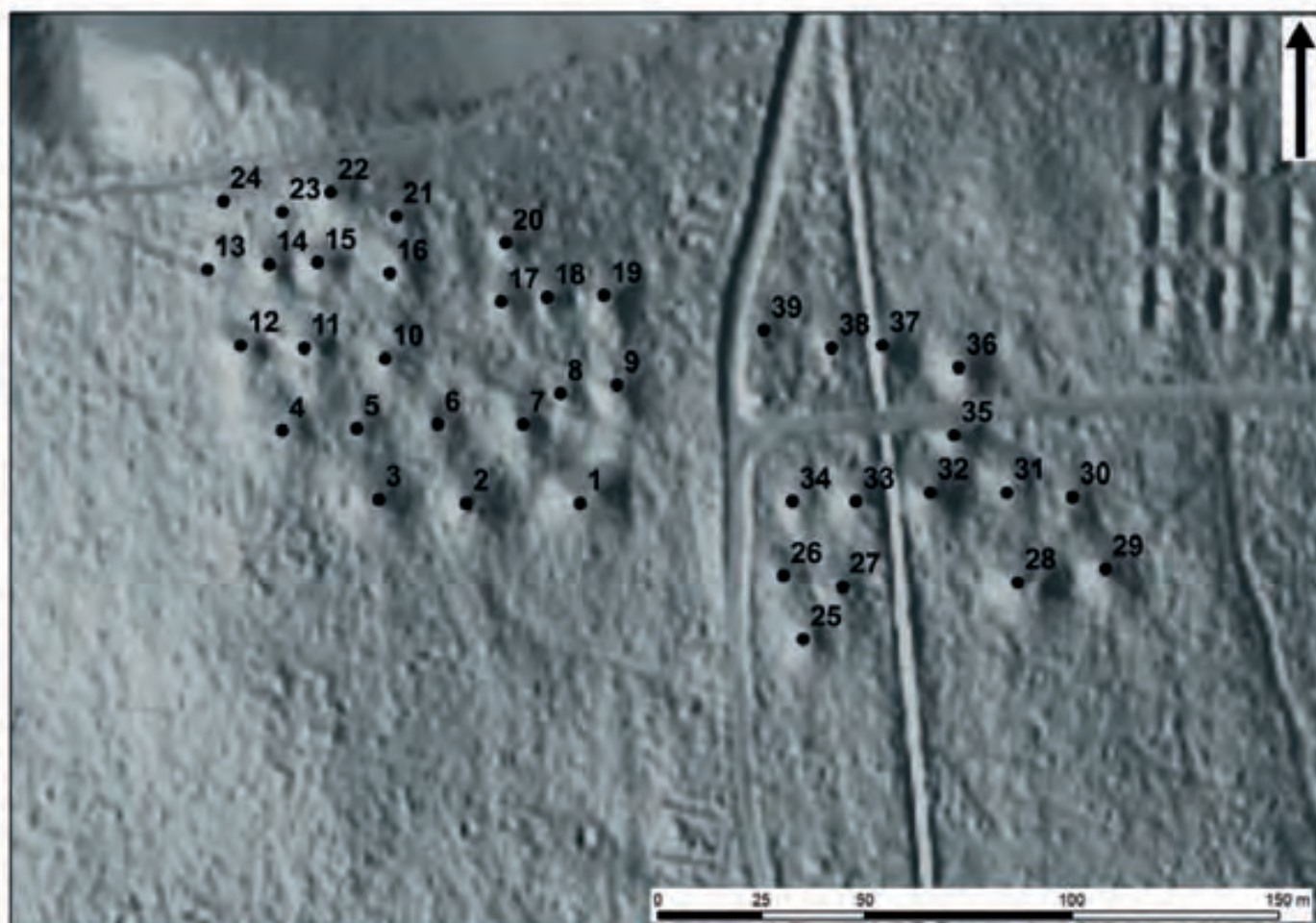
Obr. 6 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Stínovaný model reliéfu vytvořený z LLS dat překrytím několika rastrů vypočítaných nástrojem Hillshade (nejvyšší rastr azimut 220° elevace 30°, prostřední vrstva azimut 315°, elevace 20°, spodní rastr – azimut 45°, elevace 20°).

Fig. 6 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Shaded relief model created with the ALS data with overlay of several raster graphics calculated by Hillshade tool (the uppermost raster azimuth 220°, elevation 30°, middle layer – azimuth 315°, elevation 20°, bottom raster – azimuth 45°, elevation 20°).



Obr. 7 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Terénní rekognoskace. Na fotografii je patrná malá výška některých mohyl. Muž vpravo stojí na mohyle, muž vlevo vedle ní.

Fig. 7 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. On site prospection. The photo demonstrates the small height of some barrows. The man on the right is standing on top of a barrow; the man on the left is standing next to it.



Obr. 8 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Číslování mohyl identifikovaných na digitálním modelu terénu.
Fig. 8 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Numbered barrows identified on a digital relief model.

antropogenního původu jednotlivých terénních reliktvů a lokalizace dalších struktur archeologického charakteru. K řešení požadovaných úkolů jsme na základě zkušeností z podobných akcí využili fluxgate magnetometr. Následně se uskutečnila i georadarová měření. Celkově dosáhla magneticky prozkoumaná plocha rozlohu 11 700 m². Georadarová měření pokryla 360 m² (obr. 9).

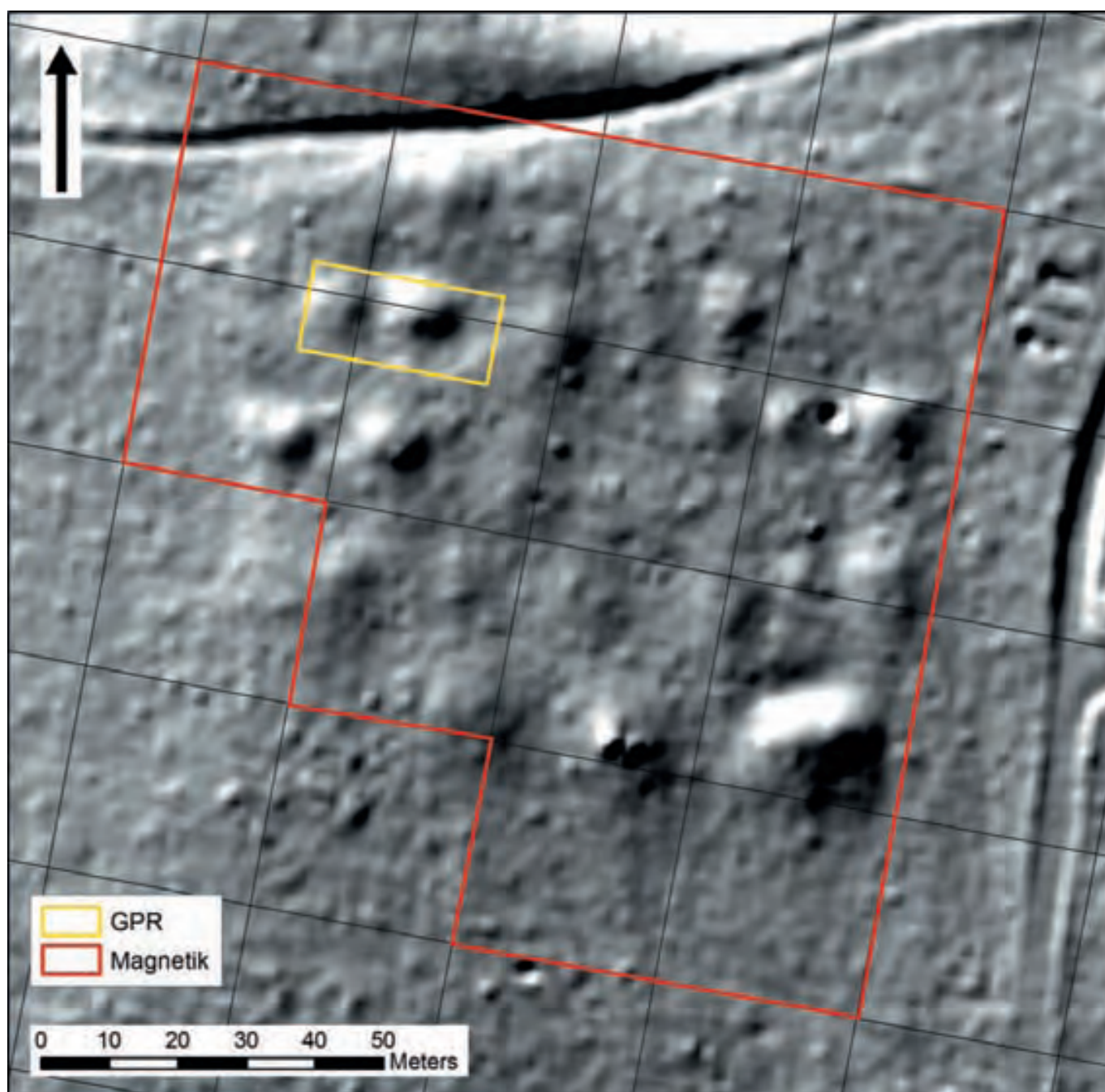
Pro účel magnetického průzkumu byl využit magnetometr Ferex (Förster, Německo), který umožňuje zaznamenávat hodnoty intenzity magnetického pole s přesností 0,01 nT/m. Magnetometr disponuje 4 sondami a je konstruovaný jako gradiometr na měření vertikálního gradientu lokálního magnetického pole – rozdílů vertikálních komponentů magnetického pole na dvou různých výškách od povrchu. Měření byla uskutečněna v síti navzájem na sebe navazujících polygonů o velikosti 30 x 30 m. Hustota měřených bodů byla 0,25 x 0,5 m. Pro účel zpracování dat byly použité programy Foerster Dataload a Magdatashift. Výslední konturová mapa izoliní nT byla vytvořena v programu Surfer (obr. 10).

Pro účel georadarového průzkumu byla použita aparatura RAMAC X3M, GEOSCIENE MALA (Švédsko), stíněné antény s frekvencí 250 MHz a 500 MHz. Antény fungují zároveň jak vysílač, tak i přijímač signálu. Pohybují se v trase mě-

řeného profilu, přičemž vzdálenost měření závisí na očekávané hloubce těles a jejich rozměrech. Signál přijatý po odraze od tělesa v zemi je aparaturou dále zpracováván a je možné ho sledovat na obrazovce konzoly, kde se přímo zobrazí řez podél profilu. Měření se uskutečnila v rastru 0,05 m/0,25 m. Výsledky georadarových měření byly zaznamenány do radarogramů jako vertikálně, tak i horizontálně časové řezy. Na zpracování naměřených GPR údajů byl použit softvér RAMAC Ground Vision. Na zobrazení objektů přímo v jednotlivých profilech byl využit softvér Object Mapper. Prostorová zobrazení plošně zkoumaných areálů byly zpracované pomocí softwaru Easy 3D a Archeo Fusion.

4. Výsledky archeologické prospekce s pomocí LLS a geofyzikálního měření na katastru obce Bernhardsthal v Dolním Rakousku (Bez. Mistelbach)

Na základě všech tří prospekčních metod, tzn. leteckého laserového skenování (LLS), terénní rekognoskace a geofyzikálního měření, se na katastru obce Bernhardsthal v poloze Föhrenwald podařilo identifikovat dva druhy archeologických nemovitých památek. Prvním z nich je mohylové pohřebiště a druhým relikty vojenského tábora z doby 2. světové války.



Obr. 9 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Areál geofyzikálního průzkumu.
 Fig. 9 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. The area of the geophysical survey.

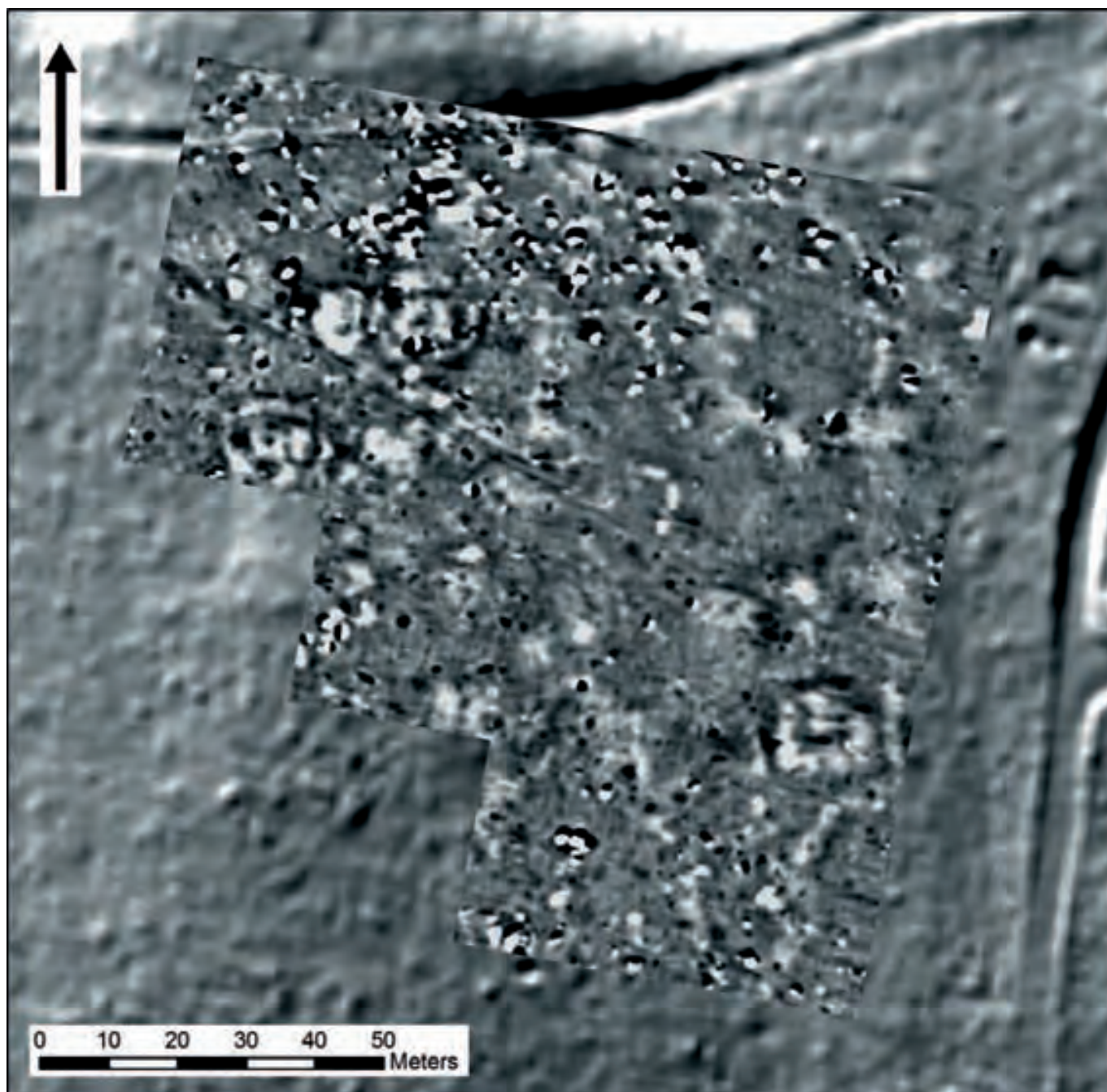
4.1 Mohylové pohřebiště

Mohylníky patří k tomu druhu archeologických památek, které jsou svým charakterem přímo předurčeny k vyhledávání s pomocí LLS. Nová technologie umožňuje efektivní průzkum i v rozsáhlejších zalesněných územích, kde mohou při klasickém terénním průzkumu antropogenní útvary snadno uniknout pozornosti (John 2011b). To je případ i mohylníku na katastru obce Bernhardsthal (Parcela 1357/1), který byl až dosud odborné veřejnosti neznámý.

Mohylník se nachází poblíž spojnice dvou lesních cest, cca 300 m severně od obce a cca 500 m od státní hranice s Českou republikou. Rozkládá se na hraně terasy řeky Dyje, jejíž niva leží přibližně o 14 metrů níže. V době, kdy zde probíhalo laserové

skenování, pokrýval celé území hustý listnatý les (obr. 7). Při povrchovém průzkumu se ukázalo, že západní část areálu byla v nedávné době odlesněna, což umožnilo geofyzikální měření.

Na digitálním modelu reliéfu je patrné 39 reliéfních tvarů, které můžeme interpretovat jako potencionální mohylové násypy (obr. 8). Shlukují se do dvou skupin vzdálených od sebe 25 m. V západní skupině se nachází 24 elevací (mohyly 1–24). Jsou rozprostřeny na ploše s rozlohou 120 x 80 m (8500 m²). Ve východní části se nachází 14 těchto struktur (mohyly 25–39). Zaujímají plochu 80 x 80 m (5000 m²). Některé z mohyl jsou velmi ploché (cca 0,5 m) a v terénu pouhým okem sotva patrné (obr. 7). Jiné jsou o něco vyšší a celkově i plošně rozsáhlejší. V rozmístění mohyl je patrná tendence k vytváření řad orientovaných



Obr. 10 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Magnetogram (Foerster Ferex, -2/2 nT, černá/bílá).

Fig. 10 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Magnetogram (Foerster Ferex, -2/2 nT, black/white).

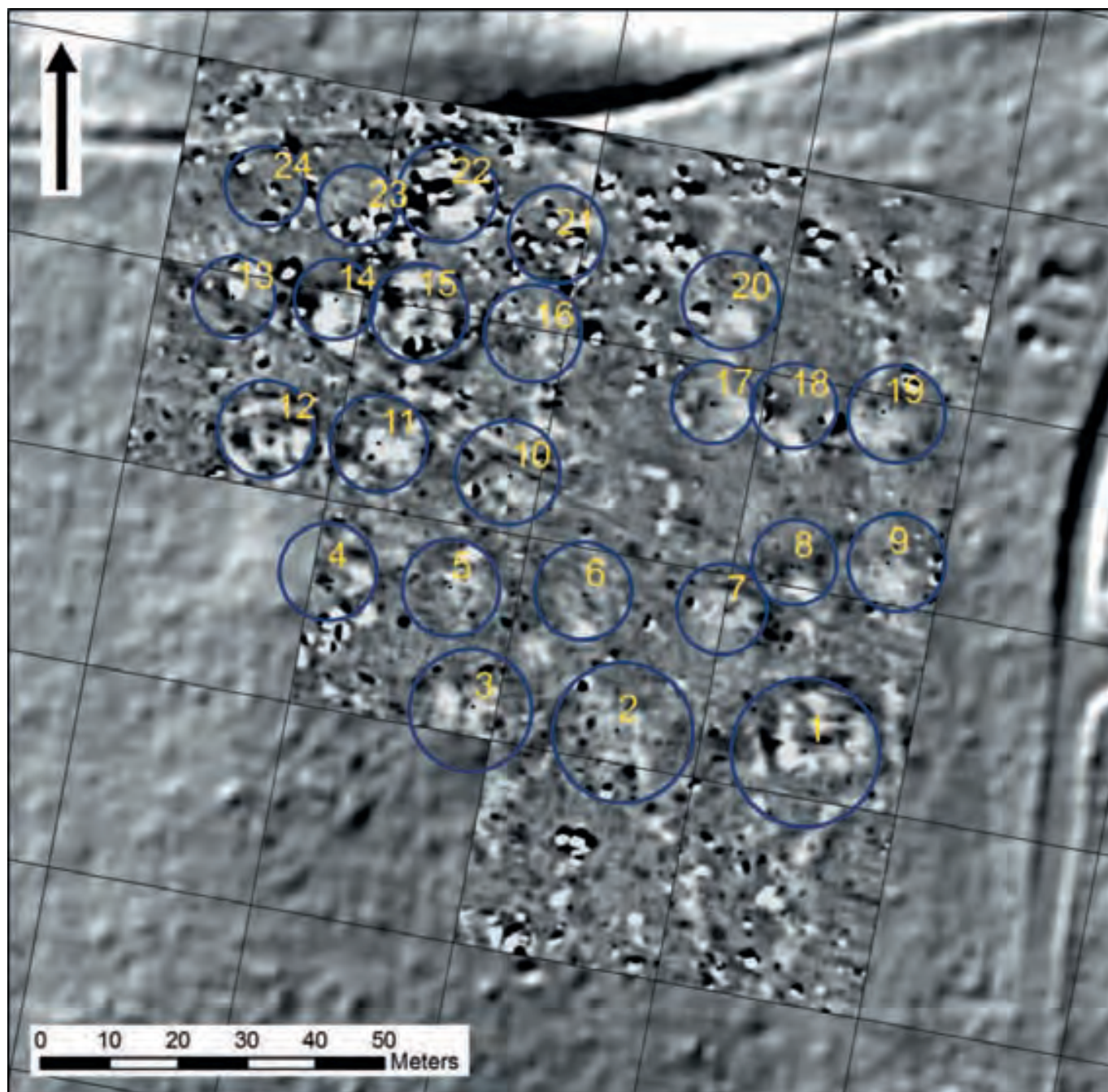
přibližně ve směru Z-V, což je typický jev pozorovatelný u větších raně středověkých mohylníků (Lutovský 2011, 33).

Geofyzikální průzkum mohl být proveden pouze na odlesněné ploše. Ta byla během léta 2012 důkladně vyčištěna od nízkých porostů a větví zde zanechaných po těžbě dřeva. I přes veškerou snahu zde zůstalo poměrně velké množství překážek (pařezy, hromady dříví, jež nebylo možné přemístit), které musely být během průzkumu obcházeny a ztěžovaly geofyzikální měření. Ostatní části lokality nebylo možné z důvodu hustého lesního porostu prozkoumat.

Na finálním plánu můžeme sledovat početné magnetické anomálie, dokládající přítomnost různých podpovrchových struktur.

Na základě digitálního modelu reliéfu identifikujeme na zkoumané ploše (západní skupina mohyl) cca 24 mohylových náspů. Většina z nich je patrná i na výsledné mapě magnetických měření (obr. 11). Čtyři struktury (č. 10, 21, 23, 24), které se na magnetogramu nijak neprojeví, můžeme označit jako sporné mohyly.

Jednotlivé mohyly se v geofyzikálních datech projevují odlišným způsobem. Pro všechny jsou charakteristické zvýšené magnetické hodnoty, které dosahují cca 1 až 6 nT, zatímco jejich okolí vykazuje hodnoty mezi 0,05 až 0,5 nT. Tvar magnetických anomálií jednotlivých mohyl však nelze automaticky ztotožnit s tvarem mohylových náspů, viditelných na digitálním modelu reliéfu nebo při povrchovém průzkumu (obr. 11). Na základě tvaru přesto můžeme lokalizované mohyly rozdělit do dvou typových skupin.



Obr. 11 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Lokalizace mohyl z digitálního modelu reliéfu na mapě magnetických měření.
Fig. 11 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. The location of the barrows from the digital relief model on a magnetometric survey map.

4.1.1 Mohyly bez vnitřního členění

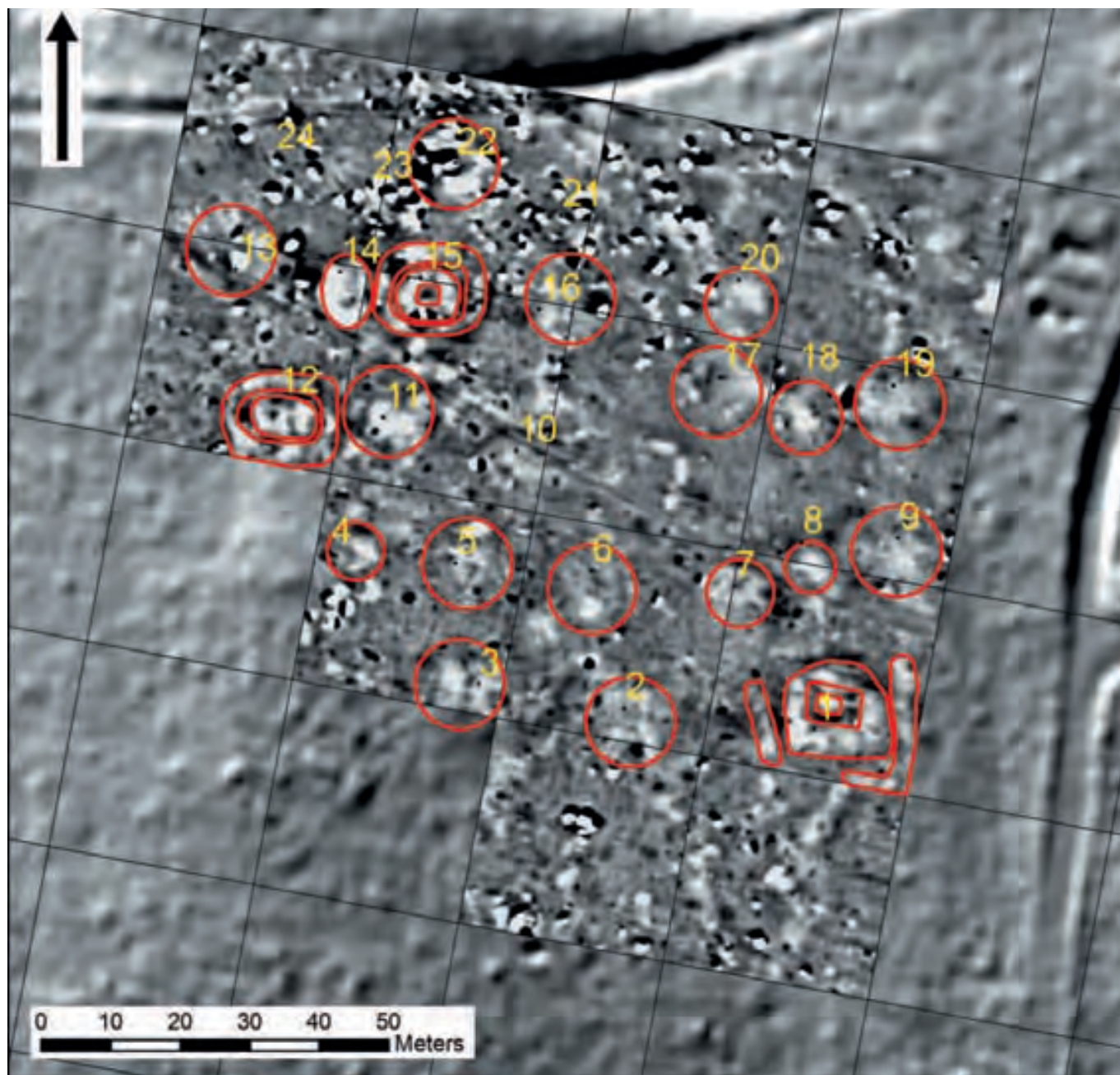
Jedná se o mohyly č. 2–11, 13, 14, 16–24. Na magnetometru se projevují jako nehomogenní struktury s různou intenzitou magnetických hodnot, ovšem bez pravidelných struktur, které by poukazovali na vnitřní konstrukční prvky. Můžeme předpokládat, že se jedná o mohyly budované jednoduchým nasypáním hlíněného materiálu na místě s kostrovými anebo kremačnými pozůstatky pochovaného jedince. Lokálně zvýšené magnetické hodnoty v rámci jednotlivých náspů můžeme interpretovat jako hroby, popřípadě vrstvy s magnetickým materiálem (organické složky, přepálený materiál). Vyšší magnetické hodnoty vykazují i samotné tělesa mohyl. Ty tvoří okolní, mírně magnetická zemina, jejíž magnetická susceptibilita s přibývajícím hloubkou klesá.

Intenzita magnetické anomálie přímo souvisí s mocností nahromaděné zeminy. Jako magnetičtější se proto projevují středy mohyl, kde je nakupení mírně magnetického materiálu větší než v okrajových zónách jednotlivých mohyl (obr. 11).

Jednotlivé mohyly můžeme charakterizovat následovně:

Mohyla č. 2.: Mohyla přibližně kruhového až čtvercového půdorysu o velikosti cca 14 x 14 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami téměř na celé ploše tělesa mohyly.

Mohyla č. 3: Mohyla přibližně kruhového až čtvercového půdorysu o velikosti cca 14 x 14 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami téměř na celé ploše tělesa mohyly.



Obr. 12 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Interpretace mohylových útvarů na magnetogramu (Foerster Ferex, -2/2 nT, černá/bílá).

Fig. 12 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. The interpretation of the barrow features on a magnetogram (Foerster Ferex, -2/2 nT, black/white).

Mohyla č. 4: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami ve východní části náspu. Jedna anomálie se zvýšenými magnetickými hodnotami byla lokalizována i při severním okraji a dvě další při jihovýchodním okraji mohyly.

Mohyla č. 5: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky nevýrazná anomálie. Výrazná magnetická anomálie při severním okraji mohyly by mohla indikovat hrob.

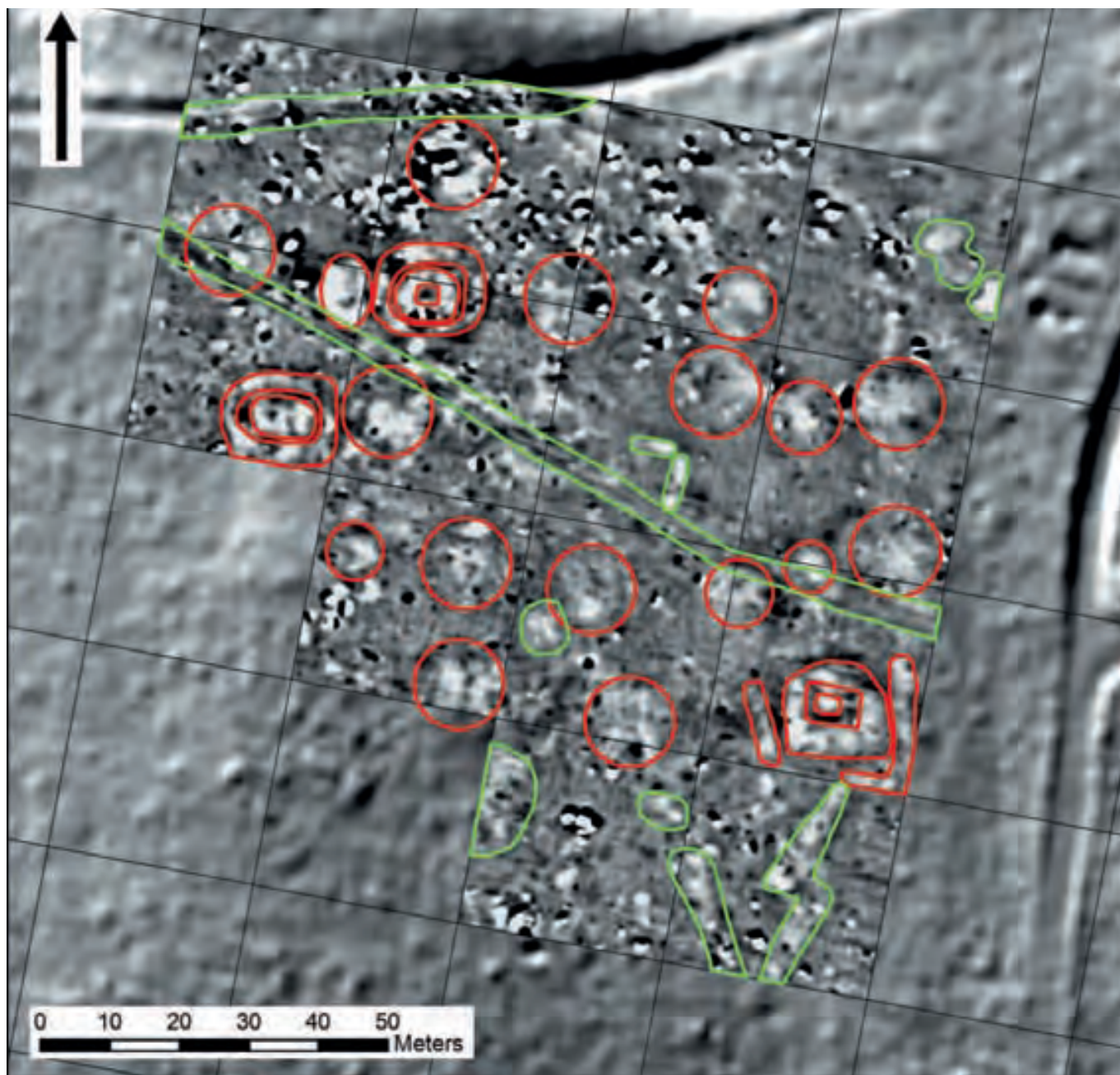
Mohyla č. 6: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky nevýrazná anomálie. Výrazná magnetická anomálie v jižní polovině mohyly by mohla indikovat hrob.

Mohyla č. 7: Mohyla přibližně o velikosti cca 11 x 11 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami téměř na celé ploše tělesa mohyly.

Mohyla č. 8: Malý mohylový útvar přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 9 x 9 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami v jižní polovině tělesa mohyly.

Mohyla č. 9: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami v centrální a jižní části náspu.

Mohyla č. 10: Jedná se o spornou mohylu o rozměrech cca 13 x 13 m. Na magnetogramu se nijak neprojevila.



Obr. 13 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Interpretace mohylových útvarů (červeně) a dalších struktur (zeleně) na magnetogramu (Foerster Ferex, -2/2 nT, černá/bílá).
Fig. 13 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. Interpretation of the barrow features (red) and other features (green) on a magnetogram (Foerster Ferex, -2/2 nT, black/white).

Mohyla č. 11: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetometru zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami v centrální části. Můžeme tu předpokládat přepálenou anebo na organické složky bohatou vrstvu.

Mohyla č. 13: Mohyla o rozměrech cca 13 x 13 m se v magnetických datech téměř neprojevila. Výrazná magnetická anomálie v jejím středu však mohla indikovat hrob anebo výrazně propálenou vrstvu.

Mohyla č. 14: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 12 x 12 m vykazuje výrazné magnetické hodnoty v její východní polovině. Mohyla dosahuje magnetické hodnoty do 6 nT, což je nejvíc na lokalitě. Můžeme zde předpokládat výrazně přepálenou vrstvu.

Mohyla č. 16: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami v centrální a jižní části.

Mohyla č. 17: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 12 x 12 m. Na magnetogramu se projevila jenom nevýrazně. Mírně zvýšené hodnoty můžeme sledovat v severozápadním sektoru mohyly.

Mohyla č. 18: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 11 x 11 m. Na magnetogramu zaznamenána jako magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami v jižní části náspu.

Mohyla č. 19: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu zaznamenána jako

magneticky pozitivní anomálie nepravidelného tvaru se zvýšenými hodnotami v centrální a západní části.

Mohyla č. 20: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Výraznější pozitivně magnetické hodnoty vykazuje jenom jižní polovina mohyly.

Mohyla č. 21: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 12 x 12 m. Na magnetogramu se vzhledem na přítomnost početných rušivých prvků (drobných magnetických dipólů) nijak neprojevila.

Mohyla č. 22: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 13 x 13 m. Na magnetogramu je překryta početnými magnetickými dipóly navzdory tomu můžeme v její centrální a jižní části sledovat výraznou magnetickou anomálii.

Mohyla č. 23: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 11 x 11 m. Na magnetogramu se nijak neprojevila.

Mohyla č. 24: Mohyla přibližně kruhového půdorysu o velikosti cca 11 x 11 m. Na magnetometru se nijak neprojevila.

4.1.2 Mohyly s vnitřním členěním

Jedná se o mohyly č. 1, 12, 15. Dané mohyly patří na lokalitě k největším. Na magnetogramu se jeví jako vnitřně členěné (obr. 12), magneticky pozitivní struktury přibližně obdélníkového tvaru. V centrální části mohyl byly lokalizovány negativní magnetické anomálie, které by mohly poukazovat na sekundární zásahy do mohyl. Můžou být ale i odrazem kamenného zásypu anebo hrobové komory. Všechny tři mohyly obepíná magneticky pozitivní prstenec čtvercového až obdélníkového tvaru. Můžeme ho interpretovat jako žlab vyplněný magnetickým materiálem, ale bez potvrzení archeologickou sondáží nemůžeme vyloučit ani jinou interpretaci archeologických struktur. Pouze obecně lze konstatovat, že různé čtvercové či obdélníkové konstrukce představují nejrozšířenější prvek úpravy prostoru u slovanských mohyl ve střední Evropě (Lutovský 2011, 34).

Mohyla č. 1: Na digitálním modelu reliéfu se jeví jako mohyla oválného tvaru. Na magnetogramu můžeme v detailech určit její pravidelný pravoúhlý tvar o rozměrech cca 13 x 13 m. V centrální části mohyly je zjevná negativní anomálie s rozměry cca 4 x 6 m. Okolí mohyly lemují magneticky negativní pás o šířce cca 1,5 až 2,5 m. Hned za ním obepíná obvod mohyly magneticky pozitivní pás o šířce cca 1 až 2,5 m. Není kompaktní, přerušeni můžeme pozorovat v SV, SZ a JZ rohu. Jeho vnější obvod vytváří obrazec o rozměrech cca 22 x 21 m.

Mohyla č. 12: Podle LLS se jeví jako mohyla přibližně kruhového tvaru o rozměrech 13 x 13 m. Na magnetogramu se projevila jako výrazně magnetická mohyla oválného až obdélníkového tvaru o rozměrech cca 6 x 9 m s negativní anomálií o rozměrech cca 1,5 m x 1,5 m v její západní polovině. Obvod mohyly lemují magneticky negativní pás o šířce cca 1 až 1,5 m. Hned za ním lemují obvod mohyly pozitivní magnetický pás o šířce cca 1,5 až 2,5 m. V SV rohu je daný lineament přerušovaný. Celkově vytváří oválnou až pravidelnou strukturu obdélní-

kového tvaru se zaoblenými rohy. Jeho vnější obvod tvoří obrazec o rozměrech cca 15 x 13 m.

Mohyla č. 15: Na digitálním modelu reliéfu se jeví jako mohyla přibližně kruhového tvaru o rozměrech 13 x 13 m. Na magnetogramu se projevila jako výrazně magnetická mohyla kruhového až čtvercového tvaru o rozměrech cca 9 x 9 m s negativní anomálií o rozměrech cca 2,5 x 2,5 m ve středu. Okolí mohyly lemují magneticky negativní pás o šířce cca 1 až 1,5 m. Hned za ním lemují obvod mohyly pozitivní magnetický pás o šířce cca 1,5 až 2,5 m. Celkově vytváří oválnou až pravidelnou strukturu čtvercového až obdélníkového tvaru se zaoblenými rohy. Jeho vnější obvod vytváří obrazec o rozměrech cca 14 x 16 m.

4.1.3 Ostatní struktury

Mimo mohyl byly při magnetickém průzkumu zaznamenány i některé další struktury, poukazující na antropogenní činnost na lokalitě (obr. 13). Na celé prozkoumané ploše jsou rozptýleny magneticky pozitivní anomálie kruhového až oválného tvaru menších rozměrů, jejichž plocha kolísá mezi 1 a 12 m². Celkově se jich na geofyzikálně zkoumané ploše nachází kolem patnácti. Charakter jednotlivých anomálií se s jistotou určit nedá. Mohlo by se však jednat o sídlištní objekty různého tvaru a velikosti, o hroby bez mohylových náspů, popřípadě žároviště.

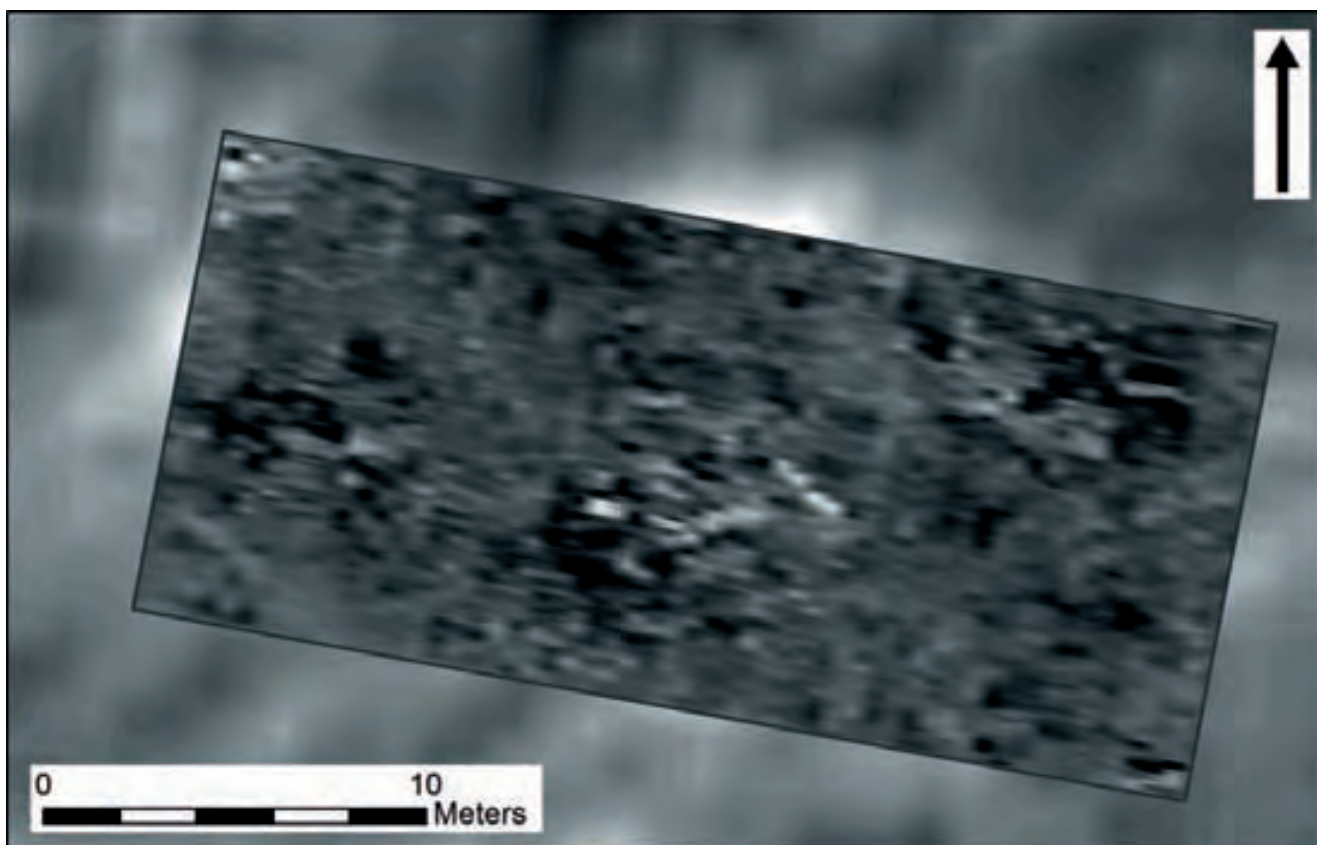
Antropogenního původu jsou zřejmě i některé z negativních magnetických anomálií. Časově jich blíže zařadit nedokážeme. Ty, které se vyskytují v bezprostřední blízkosti mohyl, však mohou souviset s těžbou hlíny při navršování mohylových náspů.

U plošně větších anomálií nepravidelného a lineárního tvaru s mírně pozitivními magnetickými hodnotami (0,5–1,5 nT) můžeme předpokládat jejich pedologicko – geologický charakter. Rozptýlené jsou po celé ploše průzkumu. Dvě magneticky negativní lineární struktury představují recentní lesní cesty. Cesta probíhající ve směru V-Z v severní části magnetogramu je dodnes využívána. Druhá cesta protíná plochu průzkumu ve směru SZ-JV a na povrchu už není viditelná.

Další skupinu anomálií na zkoumané ploše představují kovové předměty. Téměř po celé ploše, především v její severní části, jsou rozptýleny drobné magnetické dipóly – anomálie s plusovými a minusovými magnetickými hodnotami od cca – 100 do 100 nT. Jde o drobné metalické předměty nacházející se v horních vrstvách terénu anebo přímo na povrchu. Nejčastěji se jedná o drobný recentní odpad, u některých se však může jednat i o drobné předměty archeologického původu. Mimo ně se zde nachází ještě několik větších kovových předmětů s hodnotami překračujícími 100 nT. Lokalizovány jsou především v severní části magnetogramu.

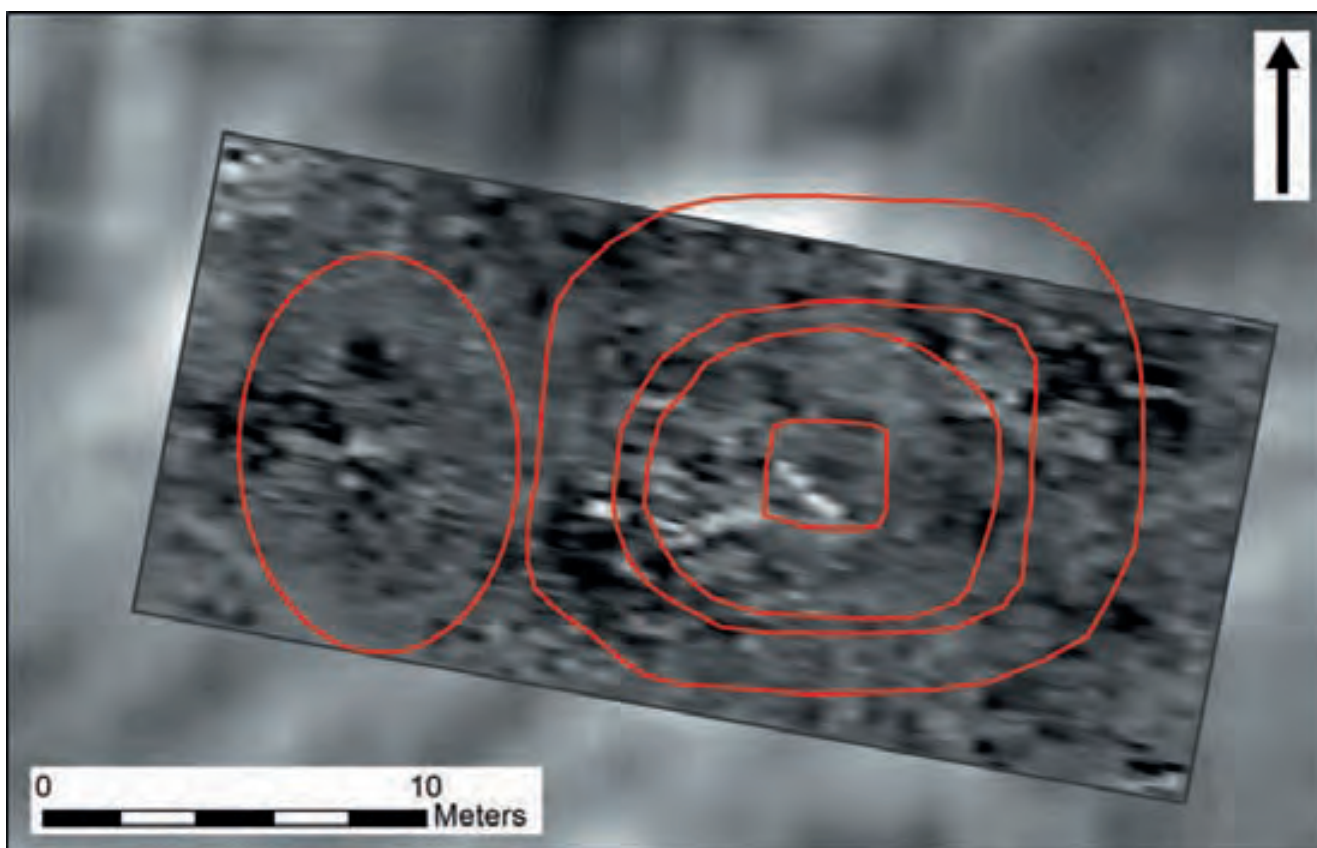
4.1.4 Georadarový průzkum

Pro účel georadarové prospekce byla vytyčena plocha o rozměrech 13 x 28 m, pokrývající tělesa mohyl č. 14 a 15 (obr. 9). Jedná se o mohyly, které se při magnetickém měření projevily různě



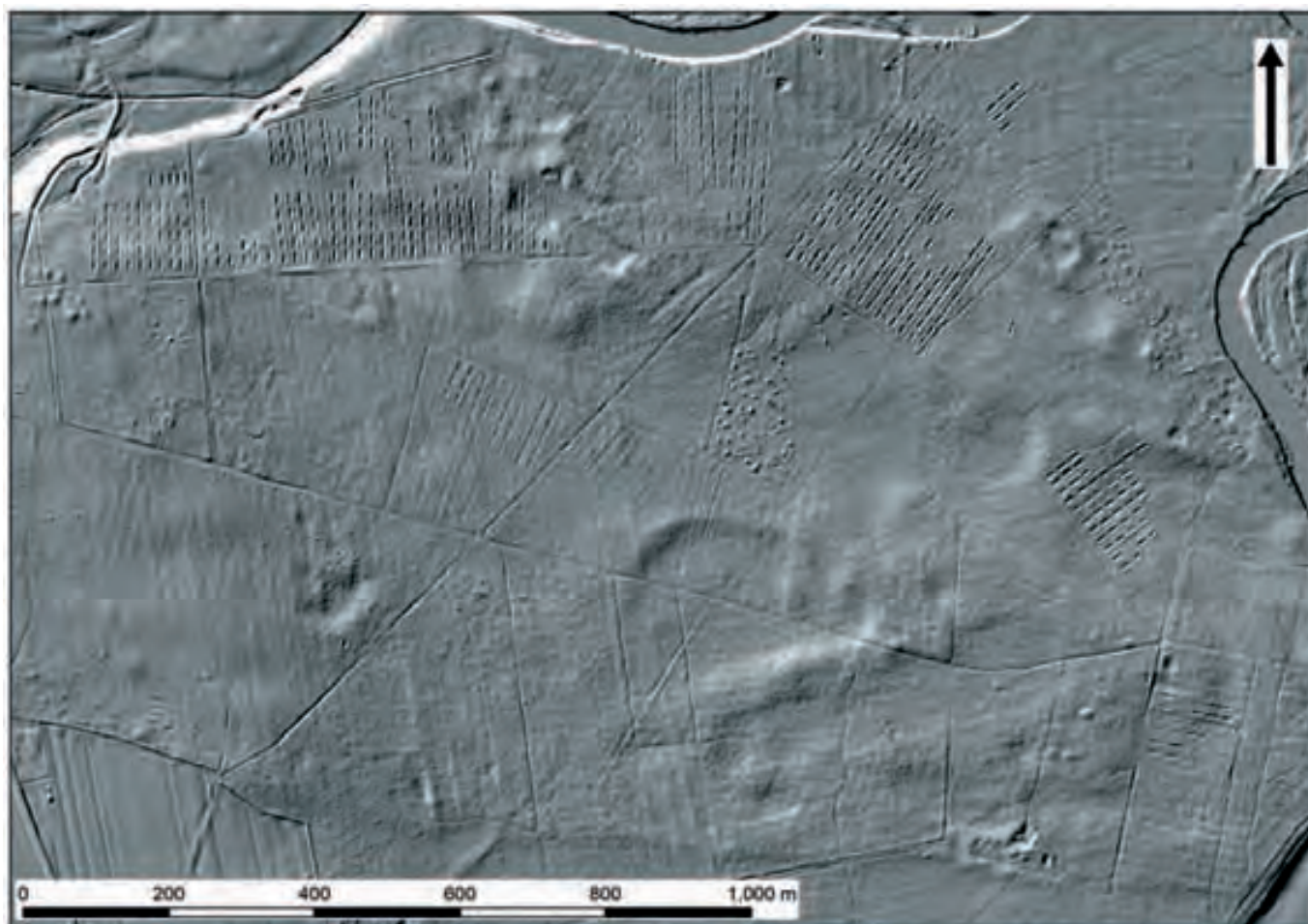
Obr. 14 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Výsledek georadarových měření. Horizontální časový řez v hloubce ca. 25 cm (250 MHz anténa).

Fig. 14 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. The results of a georadar survey. Horizontal time layer in the depth of approx. 25 cm (250 Mhz transmitter).



Obr. 15 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Mohylník. Výsledek georadarových měření. Horizontální časový řez v hloubce ca. 25 cm (250 MHz anténa) překrytý interpretací magnetických měření.

Fig. 15 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Barrow site. The results of a georadar survey. A horizontal time layer in the depth of approx. 25 cm (250 MHz transmitter) overlain by an interpretation of the magnetometric survey.



Obr. 16 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Tábor Rudé armády z roku 1945. Krátké liniové útvary jsou pozůstatky po zahloubených vojenských ubikacích. V levém horním rohu snímku je patrný nově objevený mohylník a průběh říční terasy.

Fig. 16 – Bernhardsthal – Föhrenwald. A Red Army camp from 1945. The short linear features represent the remains of sunken temporary barracks. In the top left corner there is a newly discovered barrow and a river terrace.

ně. Mohyla č. 14 nevykazuje žádné vnitřní členění, zatím co mohyla č. 15 patří do skupiny mohyl s vnitřním členěním.

V obou případech nebyly při georadarovém průzkumu zjištěny žádné lokální anomálie, které by poukazyvaly na výrazné nehomogenity v tělese mohyl (obr. 14–15). S velkou pravděpodobností zde můžeme vyloučit kamenné konstrukce anebo hrobové komory. V případě struktur sledovaných při magnetické prospekci na mohyle č. 15 se proto zřejmě jedná o dřevozemní prvky v tělese mohyly a jejím bezprostředním okolí.

4.2. Vojenský tábor z doby 2. světové války

V blízkosti nově objeveného mohylníku u Bernhardsthal jsme v poloze Föhrenwald identifikovali na digitálním modelu reliéfu i jiné terénní relikty antropogenního původu. Kromě dvou izolovaných mohyl, ležících cca 250 m severozápadním směrem od mohylníku, jsou to především početné konkávní tvary, které jsou rozptýlené na ploše větší než 100 ha (obr. 16). Všechny vykazují stejný obdélníkový tvar s délkou asi 15 m a šířkou 4–5 m. Jsou uspořádány do pravidelných bloků, které lícují se současnými lesními cestami. V některých částech lesa jsou velmi dobře patrné, jinde však již skoro zmizely. Podle našich odhadů se jich do dnešních dnů zachovalo více než 800. K interpretaci těchto

terénních reliků přispěli pamětníci z řad místního obyvatelstva, jež do míst nálezů lokalizuje rozsáhlý tábor Rudé armády, který byl zřízen těsně po skončení druhé světové války. Zde byly soustředěny bojové jednotky z prostoru středovýchodní Evropy před svým transportem směrem na východ.

Terénní deprese zachycené s pomocí LLS jsou zahloubenými částmi provizorních dřevohlinitých ubikací. V každé z nich přespávalo snad až 80 vojáků (tento počet je odvozen podle analogických struktur z vojenského újezdu Libavá z 80. let 20. století – ústní informace P. Čápa). Celkový počet obyvatel tábora tak mohl v jednom okamžiku dosáhnout závratných 70 000 osob (5 až 7 divizí).

Data LLS jsou natolik detailní, že ukazují i některé stavební detaily, jakými byly např. vstupy do ubikací. Ty jsou umístěny vždy uprostřed jedné z delší stran stavby (obr. 17). Vstupy dvou sousedních řad ubikací směřují proti sobě, což indikuje i komunikační schéma tábora, v němž se pravidelně střídaly průchozí a neprůchozí uličky.

5. Závěr

Výsledky archeologické prospekce prováděné na základě dat z leteckého laserového skenování v okolí Pohanska u Břeclavi opět



Obr. 17 – Bernhardsthal – Föhrenwald. Detail zbytků několika zahloubených staveb z tábora Rudé armády. Ve výřezu je u některých útvarů patrný vstup v jedné z delších stran.

Fig. 17 – Bernhardsthal – Föhrenwald. The remains of several sunken structures of the Red Army camp. The caption shows the entrances visible in the longer wall of some of these structures.

dokumentují efektivitu a velký potenciál této metody při vyhledávání antropogenních tvarů na zemském povrchu (cf. *Gojda 2005; Gojda – John – Starková 2011*). Je škoda, že celoplošné skenování České republiky zatím postupuje příliš pomalu a pro velkou část našeho území nejsou kvalitní data prozatím k dispozici. V pohraniční jižní Moravy jsme tak odkázáni na datové zdroje ze sousedního Rakouska, které nám může být příkladem nejen v rychlosti pořizování LLS dat, ale i ve způsobu, jakým jsou zpřístupněna široké veřejnosti. Takto liberální pojetí, na jednu stranu velice sympatické, však může vyvolávat i obavy, zda nepřispěje k dalšímu zintenzivnění nelegálních aktivit amatérských hledačů pokladů.

Nový mohylník u Bernhardsthalu, který jsme díky LLS objevili a dalšími prospekčními metodami v terénu ověřili, není doposud datován. Prostorová souvislost s velkomoravským Pohanskem i celkový charakter mohylníku svádí k domněnce,

že by mohl být raně středověkého stáří. Nedestruktivní archeologie nám však při řešení této důležité otázky již nepomůže a nastíněnou hypotézu lze ověřit pouze terénním odkryvem, který může proběhnout jen v těsné součinnosti s rakouskými archeology. Jednání s nimi již byla zahájena v průběhu terénní fáze naší prospekční činnosti.

Druhou skupinu antropogenních reliktnů prezentovaných v této stati tvoří pozůstatky vojenského tábora z doby druhé světové války. Objev mimořádně rozsáhlého a poměrně dobře zachovalého komplexu je významným příspěvkem k archeologii modernity, která se u nás v poslední době začíná etablovat jako nová subdisciplína. I zde by k hlubšímu poznání zjištěných reliktnů mohly, kromě podrobných historických rešerší v našich i zahraničních archivech, přispět terénní odkryvy malého výřezu z tohoto obřího tábora.

ALS as part of a comprehensive archaeological prospection in the hinterland of Early Medieval hillfort Pohansko near Břeclav

Pohansko near Břeclav has been in the centre of scientific attention of the Institute of Archaeology and Museum Studies of the Faculty of Philosophy of Masaryk University since 1958. The research activities of the Institute have always been oriented towards the wider hinterlands of this important early medieval centre, which is located near the confluence of the Morava and the Dyje rivers, in the proximity of Czech-Austrian border. During the last decade, we started a systematic archaeological prospection in the vicinities of Pohansko using modern methodologies. Airborne laser scanning (or so-called LIDAR) was however missing among the methods used. This was caused mainly by the fact that a large-scale laser scanning of the Czech Republic with a suitable resolution (so-called digital relief model of the 5th generation) is not available for the eastern part of the Czech Republic and the purchase of the data was unrealistic because of its high costs. Finally, an opportunity arose to obtain the data needed at least for a part of the study area, which is however located across the Czech border, on the Austrian side of the Dyje river. As opposed to the Czech Republic, in Austria there was a detailed digital relief model available, made on the basis of the ALS data. Thanks to the fact that Lower Austria, which borders with South Moravia, made the data public, we could also use the ALS for the search and recording of archaeological sites in the proximity of Pohansko. The search for immovable archaeological remains on a digital relief model was undertaken in several phases. The latest phase of our work focused on undertaking a geophysical survey on site. On the basis of all three surveying methods, i.e. airborne

laser scanning (ALS), a field survey and a geophysical survey, we were able to identify two types of archaeological features. The first is a barrow site and the second the remains of a military camp from the Second World War. The barrow site near Bernhardsthal was discovered using the ALS and verified by a field survey, but it remains undated. Spatial relationship with the Great Moravian Pohansko tempts us to the thought that it could be early medieval. Non-destructive archaeology however cannot help us in resolving this important issue and the hypothesis will have to be tested by excavation. The second group of anthropogenic features presented in this paper are the remains of a military camp from the Second World War. Numerous concave features preserved to the present day, spread out on an area larger than 100 ha (fig. 16). They are all of the same rectangular shape of 15 m in length and 4–5 m in width. They are organised in regular blocks, which are in line with the present day forest paths. In our opinion more than 800 of these features preserved. The terrain depressions recorded using ALS represent the sunken parts of temporary wood-and-aluminium barracks. In each of these slept up to 80 soldiers. There could have been up to 70,000 residents in the camp at any one time.

The results of archaeological prospection undertaken on the basis of the airborne laser scanning data in the vicinities of Pohansko near Břeclav document the effectiveness and a great potential of this method for the search of anthropogenic features. It is a pity that a large scale scanning of the Czech Republic so far progresses only slowly and for the larger part of our country quality data remain unavailable.

9

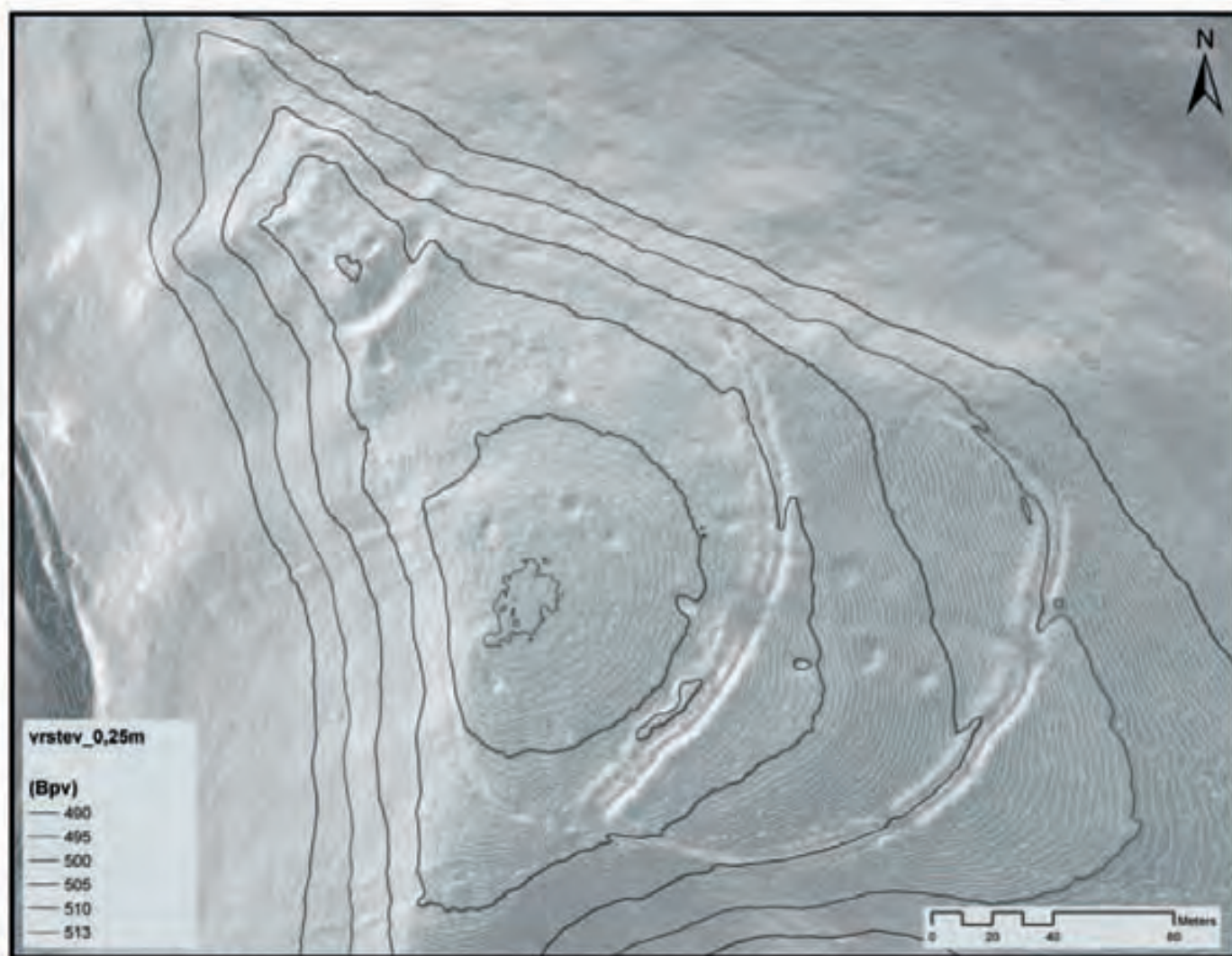
Výpovědní hodnota leteckého laserového průzkumu při průzkumu vybraných archeologických lokalit v Karlovarském kraji

1. Úvod

Obecné výhody použití leteckého laserového snímání byly představeny české odborné veřejnosti již v několika publikacích (Gojda 2005, Gojda – John – Starková 2011). Cílem tohoto příspěvku je konfrontace výpovědní hodnoty LLS a ostatních způsobů dokumentace archeologických lokalit, které jsou aktuálně zkoumány Národním památkovým ústavem, územním odborném pracovišti v Lokti. Při výběru analyzovaných lokalit bylo přihlédnuto k různým podmínkám dochování, stavu jejich dokumentace nebo stupněm poznání lokalit autorem článku.

2. Metoda

Vlastní rozbor poskytnutých dat získaných metodou leteckého laserového snímání probíhal pomocí aplikací Surfer 9.9.785 a ArcMap 10.1. Poskytnutá data byla interpolována do podoby digitálního výškového modelu pomocí metody „krigování“. Ta byla představena jako univerzální metoda výpočtu s prostorově nepravidelně rozloženými daty snímání (John 2008, 254). Interpretace dokumentovaných objektů se opírala o několik forem zobrazení digitálního modelu terénu. Především se osvědčilo zobrazení digitálního modelu povrchu s umělým na-



Obr. 1 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Celkový digitální model reliéfu lokality.
Fig. 1 – Hilltop site of Kolová, cadastral area Libavské údolí, Sokolov region. A complete digital model of the terrain on site.

světlením, tzv. „shaded relief“. Směr nasvícení byl volen ve čtyřech úhlových variantách, jež odpovídaly směrům světových stran SZ, SV, JV, SZ. Úhel dopadu umělého světla byl volen mezi 25 – 35° ploše půdorysu umělého povrchu. Dalším často používaným zobrazením byl podrobný vrstevnicový plán s výškovým rozestupem vrstevnic 0,10 – 0,25 metru. Tato podrobnost již zachycovala všechny archeologicky interpretovatelné objekty a zároveň odpadl problém přesvícených a zcela zastíněných ploch, který nastává při jednosměrném osvětlení umělého povrchu (viz *Žokalj – Oštir – Zakšek 2012*).

Rozbor jednotlivých snímků a jejich konfrontace s ostatními mapovými podklady probíhal v programu ArcMap 10.1. Analýzou těchto zobrazení vznikl interpretovaný plán každé lokality. Ten byl případně doplněn terénní fotodokumentací či archivními snímky loketského pracoviště Národního památkového ústavu.

Práce využívá také výsledky nedestruktivního průzkumu části lokalit a výsledků záchranných archeologických výzkumů pracoviště Národního památkového ústavu, územního odborného pracoviště v Lokti.

3. Výšinné sídliště Kolová

3. 1 Lokalizace, charakteristika, historie poznání

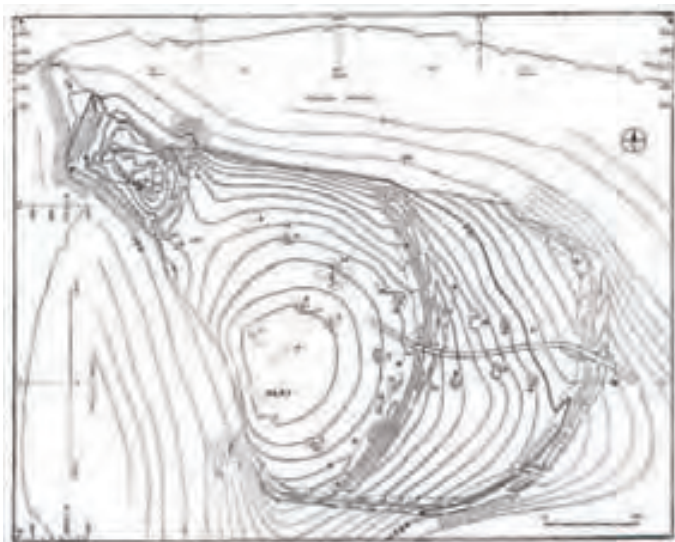
První z archeologických památek, kde bylo zkoumáno porovnávání výpovědní hodnoty leteckého laserového snímkování (dále LLS) v Karlovarském kraji je výšinné opevněné sídliště Kolová. Lokalita je vzdálena 1,6 km východně od jádra současného města Kynšperka nad Ohří, a to na vrchu nad soutokem Malé a Velké Libavy. Samotný vrch, nazývaný Starý Zámek, má nepravidelný, bochníkovitý tvar s osou hřebene orientovanou SZ-SV a nejvyšším bodem v 515 m n.m. Ten se nachází přibližně v půdorysném středu vrchu. Od něj přechází severozápadním směrem do úzké ostrožny s příkrými svahy, která je nejbližší soutoku uvedených vodotečí. Dominantu lokality tvoří hlavní obvodový příkop a val.

Přes mírně zavádějící pojem hradiště se lokalita v současnosti považuje za pozůstatek městského lokačního provizoria města Kynšperka, které je archeologicky datováno do 2. třetiny 13. století. Vznik lokality je spojován s dochovaným privilegiem Václava I. uděleném dolanskému klášteru, a to k založení města v místě zvaném Cuningberch a k provozování zdejšího trhu (*Kuča 2002*,



Obr. 2 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské údolí, okr. Sokolov. Celkový digitální model reliéfu lokality s interpretovanými objekty.

Fig. 2 – Hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, Sokolov region. A complete digital model of the terrain of site with interpreted features.



Obr. 3 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské údolí, okr. Sokolov. Geodetický plán z r. 1986 (Velímský 1992, 112).

Fig. 3 – Hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, Sokolov region. Geodetic plan from 1986 (Velímský 1992, 112).

319). Z lokality pochází také relativně početný soubor keramických fragmentů datovaných do pozdní doby bronzové (Pospíchalová 1966; Beneš 1974). Lokalita je definovaná tvarem ostrožny a hlavním obvodovým valem. Celkově zaujímá plochu přibližně 3,5 ha v severozápadní části vrchu Starý Zámek.

První topografické zaměření lokality pochází z r. 1942 (Himesch 1941–1942), které při porovnání s mladšími plány vykazuje překvapivou přesnost. Především je zajímavé, že toto zaměření, jako jediné eviduje jeden antropogenní, zahloubený objekt i v ploše tzv. akropole. K této ploše se podrobněji vrátím při rozboru výsledků LLS. Většinu dvacátého století byla lokalita považována za slovanské hradiště. Také se setkáváme s hypotézou, že plocha akropole skrývá pozůstatky středověkého hradu (Šimek 1955). Interpretaci lokality jako slovanského hradiště vyvrátily výsledky archeologického výzkumu Olgy Pospíchalové (1966). Výzkum se soustředil na bezprostřední okolí linie opevnění, konstrukci středního valu a obsahu severního okraje akropole. Byla zachycena především tenká kulturní vrstva, která na různých místech vykazovala stopy požáru. Především byl tak zachycen movitý archeologický materiál, který však bylo možné datovat do 2. třetiny 13. století nebo do období pozdní doby bronzové. Výrazným způsobem doplnil a shrnul poznání lokality T. Velímský v roce 1986 (Velímský 1992). Ten doložil skutečnost, že pravidelně rozmístěné zahloubené objekty, které se nacházejí podél hlavní přístupové komunikace, jsou pozůstatky zemnic z uvedeného období. Během prací došlo k vyhotovení přesného topografického plánu lokality (obr. 3). S uvedeným plánem budeme nejvíce porovnávat výsledky LLS. Poslední odbornou archeologickou aktivitou na uvedené památce byl revizní výzkum nelegálních výkopů předstihový průzkum pomocí detektorů kovů v okolí těchto zásahů. Výzkum v roce 2010 realizovalo loketské pracoviště Národního památkového ústavu ve spolu-

práci s katedrou archeologie Západočeské univerzity v Plzni (Prekop – Švejcár 2010). Výzkum odhalil soustředění nelegálních výkopů především v oblasti akropole, které kopírují koncentrace nalezených kovových i nekovových artefaktů během výzkumu.

3.2 Morfologie lokality

Souhrnné zobrazení sledované plochy pomocí LLS lokality je obrázek č. 1. Interpretovanou část pak obrázek č. 2. Geodetické zaměření lokality od T. Velímského představuje obr. 3.

Lokalitou Kolová je chápána plocha vymezená linií valů a příkopů od jihu a jihovýchodu ostatní částí vrchu Starý Zámek. Od jihozápadu, západu, severu a většinu severovýchodu její hranici udává přirozená terénní hrana vrcholové partie ostrožny. Samotný areál je dále dělen do tří ploch dílčími fortifikačními prvky. Pro přehlednost části lokality budu označovat jako vnější areál, vnitřní areál a akropole. Přibližně v místech hřebene protíná linii vnějšího i vnitřního valu přístupová cesta, která se ztrácí severně od nejvyššího bodu ostrožny. Podél ní se v místech vnějšího i vnitřního areálu objevují zahloubené objekty, pozůstatky středověkých podzemnic. Hlavní přístupová cesta vedla pravděpodobně v linii dnešní cesty v ose hřebenu ostrožny.

3.3 Popis lokality na základě LLS

Obecným porovnáním geodetického zaměření lokality s posuzovaným LLS snímkem je patrné, že oba snímky mají velmi podobnou výpovědní hodnotu. Všechny kategorie objektů, které byly zaznamenány na geodetickém zaměření, je možné nalézt na snímku LLS. Dále se budu věnovat rozdílům či novým skutečnostem, které LLS snímek přinesl.

3.4 Vnější linie opevnění

Obvodová linie opevnění podkovovitě obepíná jižní a jihovýchodní obvod lokality. Skládá se především z dominantního příkopu a valu, přiléhajícímu k jeho vnitřnímu líci. Hloubka příkopu činí 1,5 m a šířka 4 m. Převýšení mezi dnem příkopu a vrcholem vnitřního valu činí 3 m. Oproti geodetickému zaměření je jasně patrný také val na vnější hraně příkopu, který nepřesahuje 1,5 m šířky a výšky 0,5 m. Jeho tvar je nejvýraznější v hlavním čele opevnění, tedy na jihovýchodním obvodu, kde přepažuje hřeben ostrožny. Směrem k severovýchodu se postupně vytrácí, přesto jeho přítomnost je markantní jistě až k linii zlomu linie opevnění. Na tomto místě se začíná stáčet k severozápadu. Obdobná situace je v linii opevnění jihozápadním směrem. Zde je vnější val patrný ještě přibližně 10 metrů jižně od druhého přepažení opevnění lesní cestou. Následně je již setřen lesními cestami. Příkop obvodového opevnění je zaznamenán na LLS snímku ve stejném rozsahu a tvaru jako byl zachycen již v roce 1986 T. Velímským (obr. 3), obdobně jako val přiléhající k jeho vnitřnímu líci. Je zajímavé, že na jižní straně se areál vyděluje od jižního výběžku ostrožny, která dosahuje stejné výškové úrovně jako vnější opevněný areál. Příkop

rovněž dosahuje největších rozměrů v místech hlavního čela opevnění jihovýchodním směrem. Jeho mohutnost postupně ubývá k jihozápadu a následně k severozápadu.

3.5 Prostupy vnějším opevněním

Vnější linie opevnění vykazuje dva výrazné prostupy, které v současnosti využívají lesní hospodáři. Třetí prostup je diskutabilní. Za hlavní prostup je považován ten, který přistupuje od jihovýchodu a dále navazuje na cestu procházející v ose zahloubených objektů – polozemnic. Tím je interpretována jako původní středověká komunikace (Velímský 1992, 113). Zobrazení prostupu pomocí LLS se jeví jako poněkud složitější. Domnívám se, že linie vnějšího valu nekončí u linie cesty, ale pokračuje severovýchodním směrem v délce cca 15 metrů a mírně se rozšiřuje do oválného objektu, který převyšuje okolní terén o několik málo desítek centimetrů a šířce cca 8 metrů. Dále je val přerušen ve vzdálenosti cca 2,5 m a následně relativně ostře pokračuje. Je zajímavé, že příkop v místě přerušení je poněkud mělčí a navazuje na úroveň přerušení a směrem k prostupu vnitřního valu se mírně prohlubuje. Hrana příkopu je naopak příkrá. Nevylučuji tedy, že původní komunikace mohla vést tímto směrem a současná přímá linie je výsledkem druhotného zkreslení dlouhým hospodářským užíváním cesty v mladších obdobích.

Druhý prostup vnějšího opevnění se nachází přibližně 72 m jihozápadním směrem od hlavního prostupu. Přestože byl zohledněn již v roce 1942, považují jej za druhotný hospodářský průjezd, především z důvodu pokračování, jelikož přepažuje jak vnější, tak vnitřní val velmi ostře a přímé linii. Třetí prostup se nachází v samotném severovýchodním závěru vnějšího opevnění. Jedná se spíše o obcházkou valu než prosup. Odskok terénní hrany od linie závěru vnějšího opevnění je zohledněn i na geodetickém zaměřování T. Velímského. Současný snímek zobrazuje liniovou depresi před i za osou opevnění ve stejném prostoru.

3.6 Vnější areál

Plocha vnějšího areálu lokality obsahuje skupinu osmi konkávních depresí, interpretovaných jako polozemnice. Celková plocha vnějšího areálu dosahuje 1,26 ha. Obrázek LLS pochopitelně nezachycuje objekt č. 21, který byl identifikován pouze pomocí pozorovaných bioindikátorů (Velímský 1992, 114). Stejně tak objekt č. 18 je poněkud nejednoznačný při porovnání s tvarem a rozsahem ostatních objektů. Také je jistě předmětem diskuze či dalšího výzkumu objekt č. 13. Zcela jistě je zapuštěn druhotně do vnější části vnitřního opevnění. Je otázkou, zda i v tomto případě se mohlo jednat o obytný objekt stejného charakteru jako v ostatních případech. Novou skutečností, je relativně výjimečná deprese při jižní straně hlavního prostupu vnějšího opevnění. Geodetické zaměření zde, postihlo nepravděpodobné odskočení oblouku opevnění, ale depresi již nezachycuje. Plynulé hrany objektu neumožňují přesnou definici jeho rozměrů, přesto se pravděpodobně pohybují okolo 6 x 20 m.

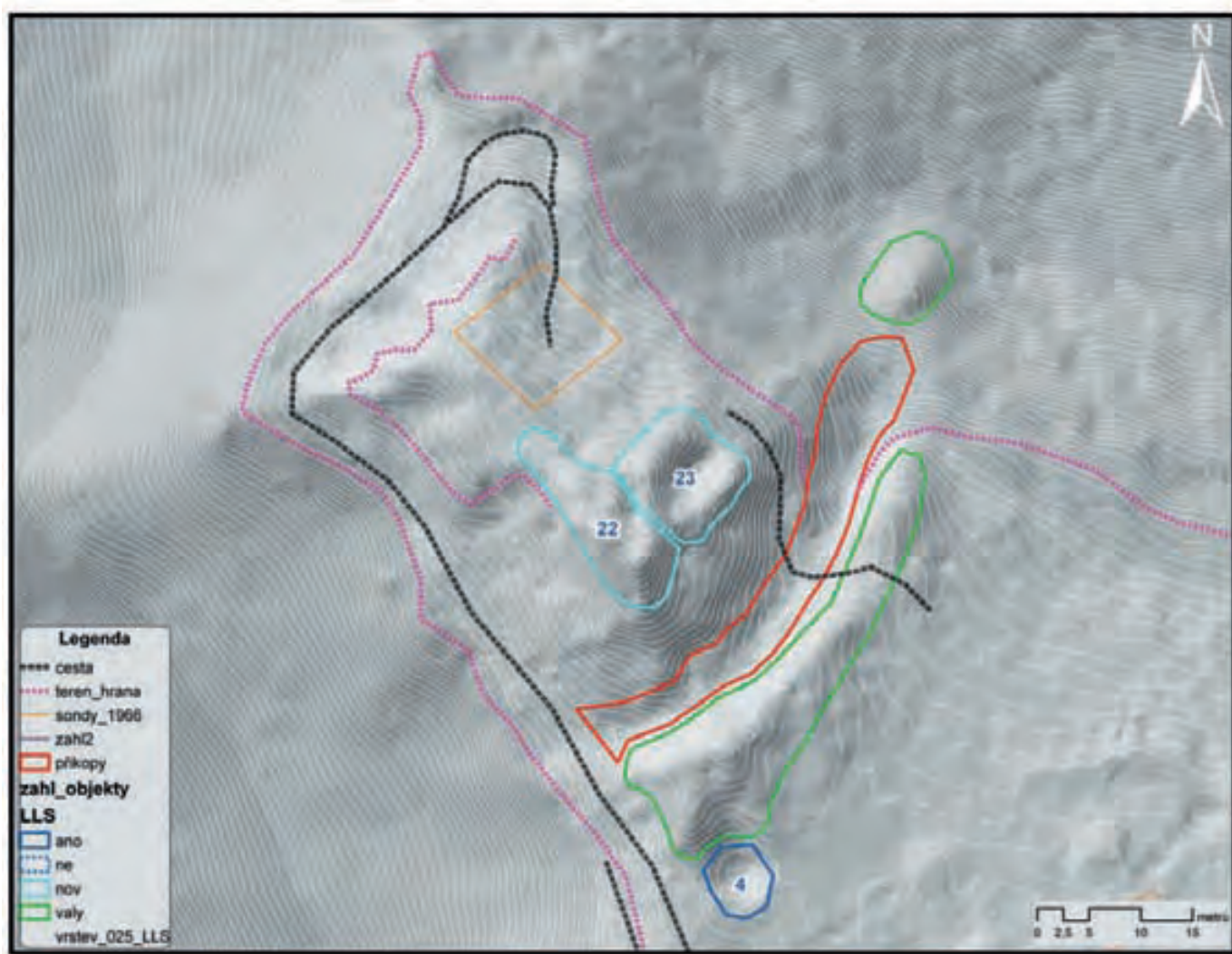
Považuji za pravděpodobné, že v souvislosti se zmíněnými nepravidelnostmi, může tento objekt společně s výše zmíněnými, odrážet poněkud složitější konstrukci prostupu, jako důležitého bodu opevnění. Dále je velmi patrná protáhlá deprese v severovýchodním koutu vnějšího areálu, kde O. Pospíchalová umístila jednu ze sond. V současnosti nelze rozhodnout, zda se jedná o pouze o relikv sony nebo v sobě skrývá i tvar zkoumaného objektu. Dále snímek LLS přináší detailnější poznání průběhu komunikací. Větší množství cest je vedeno při jižním okraji areálu, vně i uvnitř linie opevnění. Přestože považuji za pravděpodobné, že v těchto místech se nacházela rovněž souběžná komunikace, viz dále, jsou výrazně překryty novodobými hospodářskými cestami.

3.7 Vnitřní opevnění

Vnitřní linie opevnění odděluje vnější areál od vnitřního areálu a nachází se přibližně 90 metrů za linií vnějšího opevnění. Vnitřní linie opevnění se skládá rovněž z příkopu a dvou valů, které přiléhají k vnějšímu a vnitřnímu okraji příkopu. Linie má rovněž tvar mírného oblouku. Na rozdíl od vnějšího opevnění ale není nijak zalomena a po celou svou délku se pouze mírně stáčí od severovýchodu, kde vychází z terénní hrany vrcholové partie, k jihu a posléze k jihozápadu. Zde přiléhá k jižní části vnějšího opevnění. V tomto místě končí linie vnitřního opevnění a dále pokračuje pouze vnější opevnění. Snímek LLS napovídá, že linie vnitřního opevnění mohla pokračovat dále k jihu ve svém plynulém zalomení. Terénní revize místa možného křížení tomu však nenasvědčuje. V terénní nepravidelnosti vně setkání obou opevnění však můžeme spatřovat pouze výsledek druhotné hospodářské cesty. Při terénním průzkumu nic nenasvědčovalo superpozici cesty se starším liniovým objektem.

3.8 Vnitřní areál

Vnitřní areál lokality zabírá přibližně plochu 1,65 ha a obsahuje plochu s nejvyšším bodem vrchu. Půdorys areálu má tvar nepravidelného lichoběžníku. Nejvyšší bod s nadmořskou výškou 509 m se nachází v jeho jihozápadní části. Okolo nejvyššího bodu se v okruhu 30 m rozprostírá dalších osm zahloubených objektů, které dosahují velmi podobných rozměrů jako v případě těch ve vnějším areálu. Oproti geodetickému zaměření objekty dosahují poněkud oválnějších tvarů. To jistě způsobuje aproximace vrstevnic. Přesnější zobrazení je patrné u objektů č. 16 a č. 17, které se nacházejí při lici vnitřního valu, jižně od hlavní cesty. Objekt č. 17 vykazuje oválnější tvarů a zasahuje do objemu valu. Umístění nejhlubší části objektu č. 16 odpovídá geodetickému zaměření. Podle zobrazení snímku LLS je však patrné, že objekt jižním směrem zabíhá ještě do objemu vnitřního valu. Odpověď na otázku, zda se nejedná o druhotné zkreslení, by mohla odpovědět až případná exkavace. Objekt 20 není na LL snímku patrný, především z důvodu, jeho definování na základě mírného navršení lomových kamenů (Velímský 1992, 114). Ve vzdálenosti 23 m severozápadně od objektu č. 11 jsou na snímku



Obr. 4 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské údolí, okr. Sokolov. Digitální model reliéfu tzv. akropole s interpretovanými objekty.

Fig. 4 – Hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, Sokolov region. Digital terrain model of the so-called acropolis with interpreted features.

LLS patrně pozůstatky po sondě „E“ Olgy Pospíchalové, které rovněž jsou zaznamenány na geodetickém plánu. Objekt č. 4, který přiléhá k opevnění akropole je dobře patrný a podle LSS poněkud více zapouštěný do tělesa valu.

3.9 Opevnění akropole

Opevnění akropole se skládá z předsunutého valu a za ním přiléhajícího příkopu (obr. 4). Stejně jako v případě vnitřního a vnějšího opevnění osa opevnění radiálně zatáčí od severovýchodu k jihu a posléze na jihu k jihozápadu. Celková délka valu dosahuje 45 m. Šířka a výška je proměnlivá. Nejmohutnější je v jihozápadní části, kde dosahuje šířky 11 m a výšky 1,75 m. Je zajímavé, že v této části po přibližně 14 m dosahuje val téměř dvojnásobných rozměrů než ve zbylých částech. V tomto místě také val nedosahuje až k terénní hraně, ale končí 4 metry před jejím závěrem. V těsné blízkosti této zmožnělé části valu a jeho volného prostupu se nachází další zahloubený objekt č. 4. Ten je částečně pohlcen objemem valu při jeho lici do směru vnitřního areálu. Kombinace těchto indicií napovídají, že se zde mohlo nacházet více objektů zajišťujících kontrolovaný vstup do plochy akropo-

le. Všechny uvedené vlastnosti jsou schematicky zobrazeny již na geodetickém plánu. Nově zřetelné je mírné zahloubení profilu valu v jeho zakončení při jihozápadní části. Domnívám se, že toto uskupení zvláštních tvarů uvedených objektů je možné bezpečně interpretovat jako bránu (obr. 5).

Opačný, severní závěr valu je naopak výrazně menší. Dosahuje šířky 5 m a terén vnitřního areálu převyšuje o cca 0,8 m. Přibližně 13 m od severního okraje vrcholové partie se nachází druhý prostup valem. Vstup považuji za druhotný, především z důvodu částečného zasypání příkopu pod tímto porušením, které přibližně odpovídá chybějící části objemu valu. Stejně tak považuji za nepravděpodobnou nutnost dvou prostupů v takto relativně krátké linii opevnění.

Ve skutečnosti, že val je veden ve stejném oblouku se středem v akropoli, tedy na severozápadní straně linie opevnění, spatřuji jasnou souvislost a stejný účel opevnění akropole jako u ostatních linií opevnění, které mají stejný průběh své osy. Domnívám se, že se zde jednalo o prvek, který vymezuje a chrání plochu akropole od vnitřního areálu. Nikoliv naopak, jak uvádí T. Velimský (1992, 144). K této skutečnosti napovídá



Obr. 5 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Fotografie oblasti prostupu linií opevnění akropole, pohled k severozápadu. (autor F. Prekop).

Fig. 5 – Hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, Sokolov region. A photo of the line permeation in the area of the acropolis fortifications, a view from the northwest (by F. Prekop).



Obr. 6 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Fotografie terasního stupně, možné přístupové cesty k objektu v ploše akropole, pohled k jihozápadu (autor F. Prekop).

Fig. 6 – Hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, Sokolov region. A photo of a terrace, a potential access path to the feature of the acropolis, a view from the southwest (photo by F. Prekop).

i další rozbor morfologie a současného stavu poznání aktivit na dané ploše, viz následující kapitola. Na rozdíl od předcházejících linií je zde příkop opevnění vytažen za terénní hranu severním směrem, kde jej po 10 metrech uzavírá návrší, o plošných rozměrech 6 x 20 m, které převyšuje okolí ve svém středu o 1,5 m. Oproti předchozím liniím opevnění, zde příkop pokračuje severovýchodně dále za terénní hranu a přechází do homolovitého útvaru, který uzavírá jeho čelo a brání možnosti jeho obcházení.

3.10 Akropole

Plocha akropole zaujímá rozlohu 0,18 ha a má tvar téměř pravidelného obdélníku (obr. 4). Ke skutečnosti, že akropole byla místem funkčního sídlení, napovídá několik indicií. Dosavadní plán a popis T. Velímského tuto plochu opomíjí. Jak bylo uvedeno, ten oblast považoval za těžbu kamene pro stavbu obydlí na ploše lokality a pravděpodobně z tohoto důvodu se místu příliš nevěnoval. Snímek LLS naopak zobrazuje relativně ucelenou situaci několika intepretovatelných objektů.

Nejvýraznějším objektem akropole je terénní hrana a tedy

možná komunikace, která navazuje na vstup u jihozápadní části valu a dále pokračuje ke koutu jihozápadnímu a severozápadnímu okraji vrcholové plošiny. Zde terasa dále pokračuje, prudce se stáčí podél terasní hrany k severovýchodu. Následně mírně stoupá a při severním nároží vrcholové partie se stáčí k jihu, do středu ostrožny. V místě nároží je možné spatřit ještě paralelní liniovou depresi, která mírně klesá a opět poněkud prudce stoupá a napojuje se na dříve popsanou trasu. Při jihozápadním a severozápadním závěru vnitřní části akropole je pozorovatelná další terasní hrana, která vymezuje vnitřní plochu akropole od obvodové terasy (obr. 6).

Dominantu akropole tvoří dva objekty, které se nacházejí při lici příkopu. Na snímku LLS jsou označeny jako obj. č. 22 a č. 23 (obr. 7). Je však pravděpodobné, že se jedná pouze o objekt jediný. Pro rozdílnost jejich tvarů a případně tedy původních funkcí je rozdělují. Objekt č. 22 obsahuje nejvyšší bod ostrožny a nachází se v jihozápadní polovině střední části ostrožny. Nejvyšší partie má přibližný tvar obdélníku o šířce 6 m a délce 13 m. Hlavní osa plochy je orientována kolmo k linii opevnění a v hlavní ose akropole. Na objekt č. 22 navazuje na



Obr. 7 – Výšinné sídliště Kolová, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Fotografie objektu č. 23 v ploše akropole, pohled k jihozápadu (autor F. Prekop).
Fig. 7 – Hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, Sokolov region. A photo of feature no. 23 on the acropolis, a view from the southwest (photo by F. Prekop).

severovýchodní straně objekt č. 23. Jedná se o zahluobený objekt obdélného tvaru, který je lemován zvýšenými hranami oproti okolnímu terénu. Objekt má rozměry 10 x 10 m. Patrná jsou především obvodové partie objektu. Vytvářejí téměř přesný čtverec s délkou strany 10 m. Strany jsou orientovány rovnoběžně a kolmo vůči linii opevnění akropole. Nejnižší obvodová partie je na jeho severovýchodní straně. Obvodové hrany rovnoběžné s linií opevnění jsou rozměrově podobné a obě mírně stoupají k jihozápadu. Po celém obvodu zahluobeného objektu hrany vystupují nad terén a tvoří tak zdůrazněný obvod objektu.

Domnívám se, že oba objekty tvoří pozůstatek obytné komponenty a náleží ke stejné kategorii objektů, které již byly za pozůstatky obydlí jasně prokázány výzkumem v r. 1986. Spojení objektů č. 22 a č. 23 vzniká největší objekt této kategorie. I samotný zahluobený objekt č. 23 mírně přesahuje plochu největšího objektu č. 1 nebo č. 14. Rovněž rozpoznatelná původní cesta, která je úmyslně komplikovaná, napovídá, že se jednalo o nejdůležitější partii lokality.

Snímek LLS napovídá, že můžeme počítat s dalším objektem mimo vlastní areál lokality, který s ní však mohl funkčně souviset. Jedná se o dílčí vyvýšeninu ve svahu směrem k soutoku, 30 m za severozápadní hranou akropole. Jistý jazykovitý výběžek pod úrovní akropole zobrazuje již geodetický plán. Snímek LLS zobrazuje však jeho závěr v kontextu nejbližšího okolí. Je patrné, že se jedná o dílčí vrcholek o rozměrech 6 x 15 m, který je spojen s plochou akropole úzkým hřebenem. Ten dále pokračuje i za uvedeným objektem po svahu k úpatí vrchu. Komunikační obslužnost objektu z plochy akropole je možná ze severního nároží akropole, kde dochází k poklesu terénu terénní hrany, jenž navazuje na uvedený hřeben.

3. 11 Komunikační síť

Zvláště bych se chtěl vyjádřit ke komunikačnímu schématu lokality, která díky LLS působí výrazně složitěji, než bylo doposud pojednáváno. Dříve byla pojednávána pouze středová komunikace probíhající v místech hřebene vrchu. Další rameno komunikace pravděpodobně vedlo při jižním obvodu vnějšího

opevnění. V místech křížení vnější a vnitřní linie opevnění, v jižní části lokality, je situace méně přehledná z důvodu intenzivního soudobého hospodářského využívání.

Také je pravděpodobná komunikace vedená podél jižní hrany střední areálu, kde se nachází terasní stupeň, který je rozpoznatelný po celé délce vnitřního areálu, až po počátek opevnění akropole. Je patrné, že při závěru zmíněného příkopu je terénní hrana, velmi nepatrná. Zde se také mohl nacházet vstup do vnitřního areálu lokality.

3.12 Celkový přínos LLS pro poznání lokality

Přestože lokalita Kolová je jednou z nejlépe dokumentovaných archeologických lokalit, ukázalo se, že použité LLS představuje značný posun v jejím poznání. Především byly odhaleny podrobné situace v místě akropole, které stále jsou archeologicky interpretovatelné. Celkově lze konstatovat, že LLS je oprostěná od nutnosti generalizovat zobrazení při tvorbě geodetického plánu. Ty je možné vnímat dvojím způsobem. Především zdůrazňují názor autora a umožňují potlačovat jevy, které pokládá za nepodstatné. Představovaná skutečnost je tak více názorná, i když existuje riziko „dezinterpretace“ a nemožnost konfrontace se skutečností. Celkově je možné říci, že LLS potvrdil platnost geodetického zaměrování provedeného v 80. letech. Snímek věrněji zobrazil nepravidelnosti především linie opevnění a celkový výškopisný plán lokality. Zahluobené objekty, tzv. polozemnice, byly rovněž identifikovány, přesto jejich tvar je více zgeneralizován. V tomto případě považuji za přesnější zobrazení na základě terénního geodetického měření, které umožňuje přesné zvolení zobrazovaného bodu a přímo určit relevanci jeho výpovědní hodnoty pro tvorbu plánu.

4. Liščí vrch

4.1 Lokalizace, charakteristika lokality, historie poznání

Výšinné opevněné sídliště Liščí Vrch, se nachází na stejnojmenném kopci, 0,8 km západně od obce Velichov a 4,8 km jihovýchodně od města Ostrov. Zaujímá závěr podkovovité ostrožny, která se stáčí od severozápadu k jihovýchodu a vytváří výraznou krajinnou dominantu severního břehu řeky

Ohře. Vrcholová plošina dosahuje výšky 485,2 m n.m. Dílčí vrchol v ploše předhradí výšky 479 m n.m. Lokalita je charakteristická svým mohutným příkopem, jenž ji vyděluje od zbylé části ostrožny. Na lokalitě byly provedeny pouze povrchové sběry, které přinesly keramické fragmenty ze střední a pozdní doby hradištní, stejně jako z pozdní doby bronzové (*Plesl – Hájek – Martínek 1983, 76–77*). V roce 1971 našel Antonín Beneš na lokalitě také nedatovatelný zlomek pazourku a několik fragmentů železné strusky (*Beneš 1971, 147–148; Čtverák – Lutovský – Slabina – Smejtek 2003, 333*).

Pravděpodobně pro svou rozlehlost, nebyla zatím lokalita nikdy geodeticky zaměřena. Nejvěrnější plán lokalit pochází od Antonína Beneše z r. 1971, který je ale značně schematický a sloužil pouze pro označení míst povrchových nálezů (obr. 10).

4.2 Morfologie lokality

Z důvodů absence geodetického zaměření, se geomorfologický rozbor sídliště bude opírat pouze o měření získané pomocí LLS (obr. 8. a 9), které byly doplněny terénní revizí vybraných objektů. Celková plocha lokality je 2,9 ha a má půdorysný tvar obráceného písmene „L“. Kratší rameno vede od severozápadu k jihovýchodu. Delší rameno pokračuje po ostrém zalomení k jihu, kde končí v mírně zašpičatělém oblouku. Lokalitu lemují velmi příkré svahy. Pouze od severozápadu je lokalita uměle vydělena hlubokým příkopem a od severu rovněž mohutnou terasou. Vnitřní plochu hradiště můžeme rozdělit do několika částí: severní vnější areál, západní vnější areál a vnitřní areál. Pojem akropole v tomto případě úmyslně opomím z důvodu rozsáhlosti nejzazší části lokality, která dosahuje téměř poloviny celkové plochy.

4.3 Popis lokality na základě LLS

4.3.1 Vnější linie opevnění

Vnější linii opevnění tvoří pouze přímý příkop, který je charakteristickým prvkem lokality. Dosahuje úctyhodných rozměrů. Po celých 110 m své délky má přibližně stejný lichoběžníkovitý průřez. Při koruně je příkop široký 20 m a při dně 10 m. Ve své střední části dosahuje hloubky 3,5 m. Dno příkopu je ploché a po přibližně délce 55 m ve své střední části. Jihozápadním směrem příkop již mírně kopíruje prudce klesající svah. Je patrný do vzdálenosti 21 m od hrany vrcholové partie ostrožny. Zde přechází do terasy, která dále pokračuje 10 metrů a prudce se stáčí k jihovýchodu po vrstevnici 444 m n.m. Po dalších 40 m je terasa uzavřena nevýrazným valem (mezi?), který po spádnicí stoupá opět k terénní hraně vrcholové partie kopce.

Opačným směrem od osy ostrožny přechází dno příkopu do zítky, která zpevňovala cestu pro příjezd zemědělských povozů na lokalitu a výrazně zkruskuje tvar dna příkopu. Ten dosahoval pravděpodobně stejných tvarů jako na jihozápadním konci. Zde také přibližně po 30 m přechází vnější líc příkopu do valu prudce se stáčejícímu k jihovýchodu, kam pokračuje v dél-

ce dalších 26 m. Na vytrácející se val dále navazuje kamenná mez, která pokračuje ve směru spádnic k severovýchodu. Již ji považují za pozůstatek novověké zemědělské parcelace.

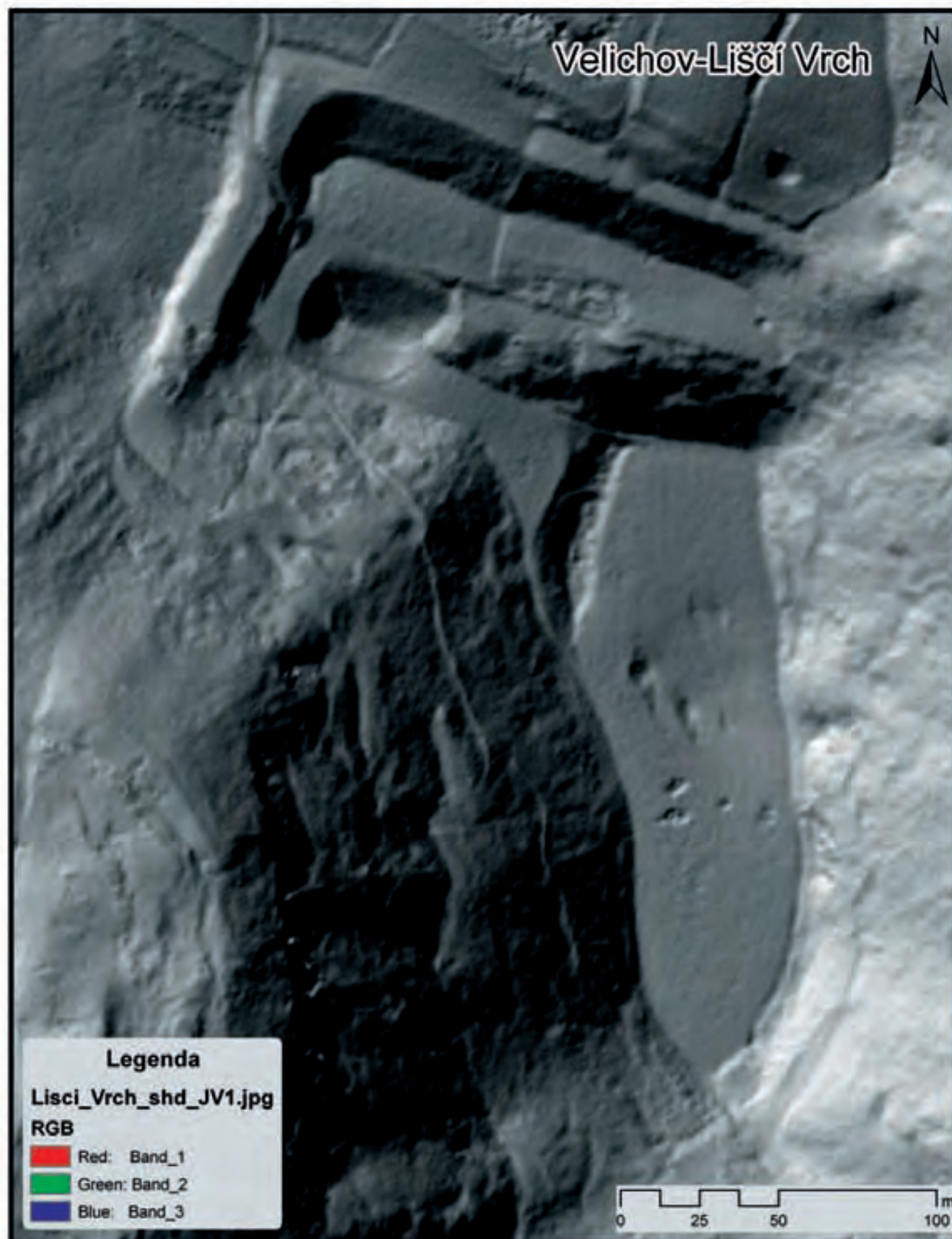
K vnější linii opevnění můžeme zahrnout také pozůstatky valových těles při vnitřním líci příkopu. Nejvíce patrný je val ve střední části, kde se dochoval ve výšce 1 m a šířce 3 až 5 m. Nejvíce patrné fragmenty se nachází v severozápadním nároží. Zde je vidět mírné zalomení po obvodu vrcholové plošiny k jihovýchodu. Obdobný tvar je zřejmý, i když méně, v jihozápadní části ostrožny. Val je zde vedený při hraně obvodového příkopu a stáčí se po hraně vrcholové plošiny k jihovýchodu, ve směru hlavní osy ostrožny.

4.3.2 Vnější areál

Část lokality vymezenou obvodovým příkopem na severozápadě a vnitřním valem na jihovýchodě označují za vnější areál. Přibližně 15 m za korunou obvodového příkopu se počíná zvedat výrazná homole, vytvářející jeden ze dvou vrcholů kopce. Základna objektu zabírá plochu 40 x 30 m a její vrchol převyšuje plochu okolí o 9,7 m. Popsaný útvar je pravděpodobně převážně přírodního původu. Jeho poloha je však velmi markantní a jistě nezůstala nevyužita. Na vrcholu útvaru se nachází dílčí skládaný objekt z lomového kamene (obr. 11). Účel či časové zařazení takového objektu však není možné určit. Podrobný vrstevnicový plán zobrazuje patrnou přístupovou cestu od severozápadu. Ta stoupá po jeho severní straně a stáčí se k vrcholu od východu.

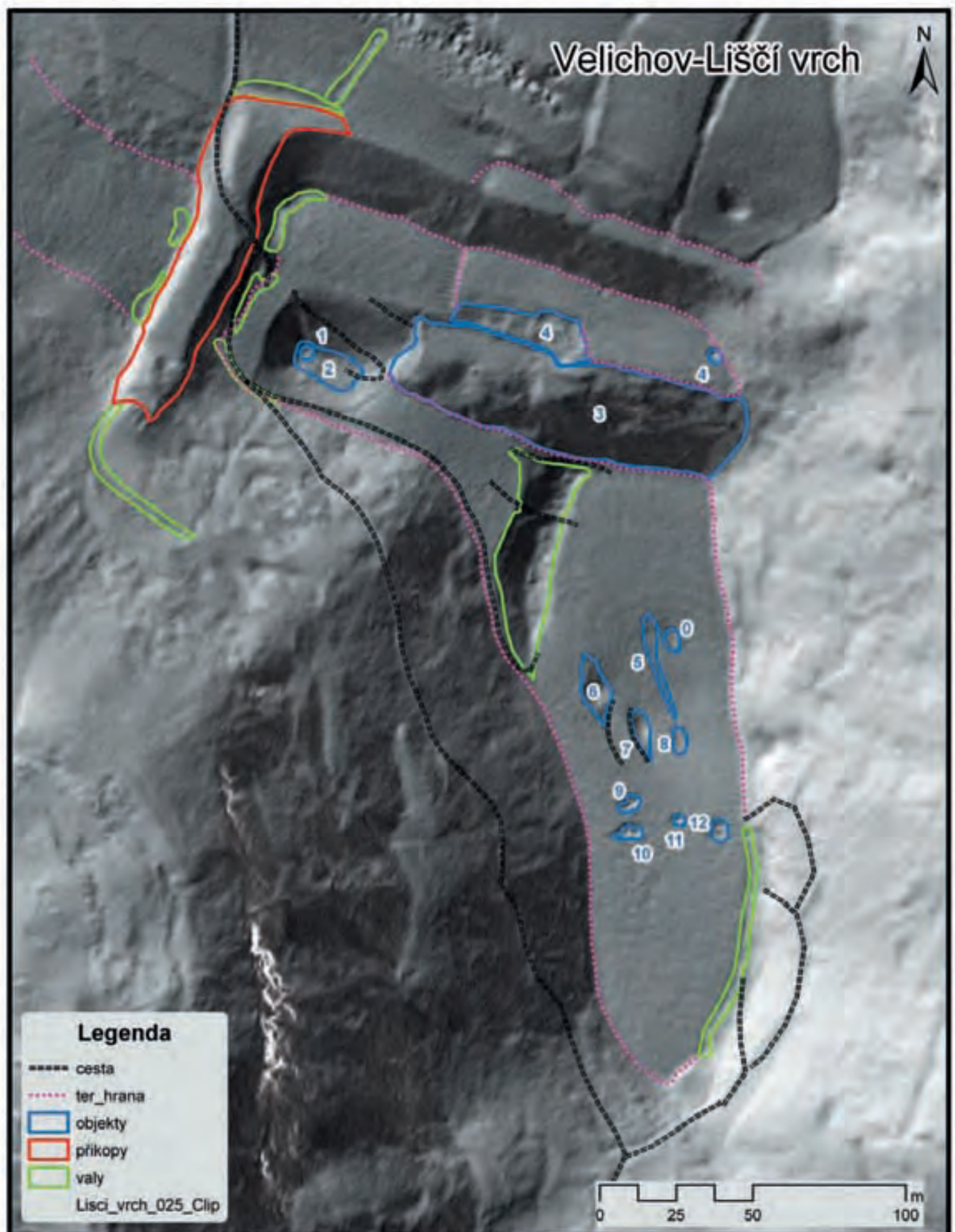
Vrcholová partie počíná klesat od místa osy ostrožny severním a následně severovýchodním směrem kde ve svahu přechází do terasy dlouhé 150 m a široké 30 m. Terasa končí při východním svahu vrcholu v nadmořské výšce 462 m. To je 21 m pod úroveň vnitřního areálu, jenž se rozprostírá jižním směrem. V severní části vnějšího areálu můžeme pozorovat několik výrazných objektů. Především je to skalní stěna, která odděluje plochu severní části vnějšího areálu a vnitřní areál a dosahuje výšky 21 m. S největší pravděpodobností se jedná o stěnu kamenolomu, který výrazně zúžil vrcholovou partii Liščího vrchu. Nelze vyloučit, že zde nebyl těžěn kámen již pro potřeby stavby opevnění samotného hradiště, např. vnitřního valu. Vytěžená kubatura však markantně převyšuje všechny možné potřeby v ploše hradiště. Těžba zde tak musela trvat nebo opětovně fungovala v mladších obdobích a mohla například souviset s novověkým hospodářstvím v oblasti. Při patě kamenolomu se nachází ještě kamenný odval, pravděpodobně natěžený nebo sesunutý skalní blok (obr. 15). Na východním okraji terasy se nachází homolovitý objekt č. 5, který se skládá z lomového kamene. Pravděpodobně se jedná o následek druhotné zemědělské činnosti.

Plocha předhradí při jižním okraji homolovitého útvaru, na rozdíl od severní poloviny, stoupá. Z cesty široké 4 m, při jižním úpatí homolovitého útvaru, se postupně stává širší široká 18 metrů. Ve vzdálenosti 115 metrů od vnitřního líce obvodového valu



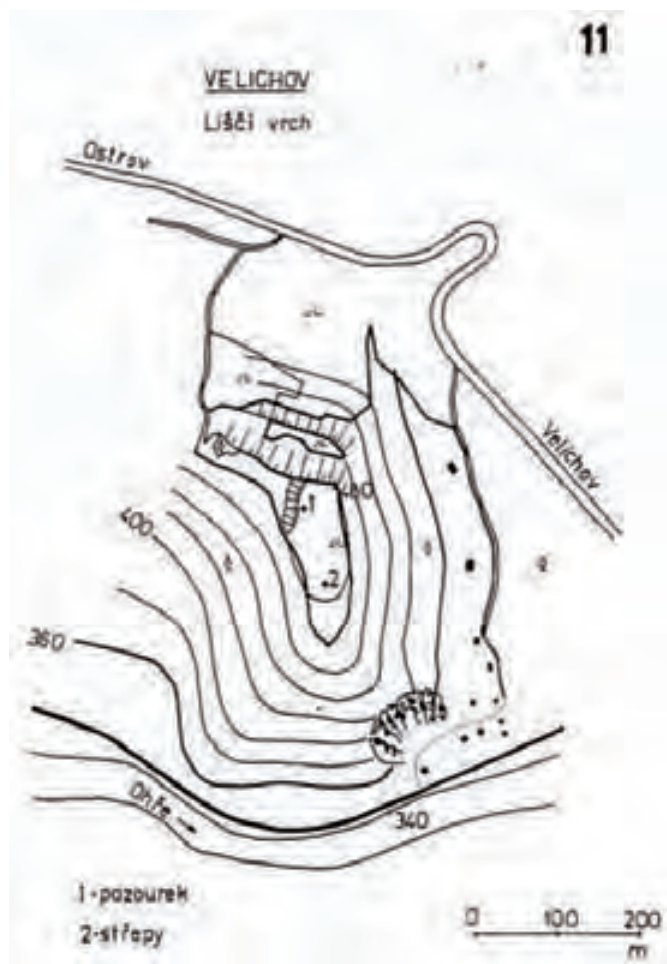
Obr. 8 – Výšinné sídliště Liščí Vrch, k.ú. Velichov, okr. K. Vary. Celkový digitální model reliéfu lokality.

Fig. 8 – Hilltop site of Liščí vrch, cadastral area Velichov, Karlovy Vary region. A complete digital model of the terrain on site.



Obr. 9 – Výšinné sídliště Liščí Vrch, k.ú. Velichov, okr. K. Vary. Celkový digitální model reliéfu lokality s interpretovanými objekty.

Fig. 9 – Hilltop site of Liščí vrch, cadastral area Velichov, Karlovy Vary region. A complete digital terrain model of the so-called acropolis with interpreted features.



Obr. 10 – Výšinné sídliště Liščí Vrch, k.ú. Velichov, okr. K. Vary. Celkový plán lokality z r. 1974 (Beneš 1974).

Fig. 10 – Hilltop site of Liščí vrch, cadastral area Velichov, Karlovy Vary region. A complete plan of the site from 1974 (Beneš 1974).

končí jižní část vnějšího areálu, a to linií vnitřního opevnění. Na podrobném vrstevnicovém plánu můžeme pozorovat linii komunikací při severním a jižním okraji vnějšího areálu. Obě míjí val a pokračují do vnitřního areálu lokality. Severní komunikace vstupuje do nejvyšší části vnitřního areálu, jižní komunikace pak do jižněji a níže položené části. Odtud je opět možné vystoupat podél paty valu do nejvyšší části vnitřního areálu (obr. 9).

4.3.3 Vnitřní opevnění

Linii vnitřního opevnění tvoří jediné těleso kamenného valu, které směřuje od severovýchodu k jihozápadu. Má tvar jednoduché přímé linie o délce 60 m. Je diagonálně umístěn v místě zalomení ostrožny k jihu, kde přirozeně prudce stoupá úroveň ostrožny. Tato nerovnost jej činí výrazně vyšším od strany vnějšího areálu. Koruna valu je široká 7,2 m a šířka při jeho patě dosahuje až 17 m. Přibližně v severní třetině valu je pozorovatelný průkop. Pravděpodobně se jedná o amatérský zásah. Koruna valu je poškozena několika recentními volnočasovými aktivitami.

4.3.4 Vnitřní areál

Plocha vnitřního areálu lokality má tvar obdélníku protáhlého k jihu o šířce 60 m a délce 200 m. Obvod je definovaný příkrými svahy na severu, východě, jihu a západě. Pouze od severozápadu hřeben vrchu přepažuje výše popsané opevnění. Severní hrana areálu není přirozená, ale je poznamenaná kamenolomem se základnou v ploše severní části vnějšího areálu. Terén vnitřního areálu je velmi plochý, lze jej však dále rozdělit na další dvě části o různých výškových úrovních. Severní třetina



Obr. 11 – Výšinné sídliště Liščí Vrch, k.ú. Velichov, okr. K. Vary. Fotografie objektu č. 1 na vrcholu homolovitého útvaru v ploše vnějšího areálu. Pohled k jihu (autor F. Prekop).

Fig. 11 – Hilltop site of Liščí vrch, cadastral area Velichov, Karlovy Vary region. A photo of feature no.1 on the top of a cone-shaped area within the larger extent of the site. A view from the south (by F. Prekop).

areálu tvoří nejvyšší partii Liščího vrchu o nadmořské výšce 485 m n.m. a je téměř vodorovná. Jižní část vnitřního areálu se rozprostírá o 5 metrů níže a dále směrem ke svému jižnímu konci mírně klesá do výšky 475 m n.m.

Severní část vnitřního areálu nevykazuje žádné další interpretovatelné součásti lokality z období, kdy mohla plnit funkci hradiště. Nacházíme zde pouze pozůstatky po intenzivní novověké zemědělské činnosti. Objekt č. 7 označuje pravděpodobně dílčí mez. Objekt č. 6 považujeme za snos kamení, které pochází ze svého nejbližšího okolí. Pravděpodobně jediné pozůstatky z období fungování lokality jako hradiště je možné spatřovat v objektech na rozhraní dvou výškových ploch vnitřního areálu – objekty č. 8, 9 a 11. Ty mohou obsahovat pozůstatky po zdůrazněném vyčlenění obou ploch. Do jaké míry se však jedná o přírodní útvary nelze opět přesněji stanovit.

V jižní části vnitřního areálu lokality je možné rozpoznat dalších několik homolovitých objektů, označených čísly 10, 12, 13, 14. Jejich interpretace je rovněž nesnadná. Nejpravděpodobnější se jeví možnost, že se jedná o pozůstatky novověkého zemědělství. V tomto případě by objekty mohly vzniknout jako výsledek vyklízení obdělávané plochy. Diskutabilní se jeví jejich umístění uprostřed zájmové plochy. Při jihovýchodní hraně plošiny lze rozpoznat mírný val, široký 3,5 m a vysoký 0,7 m. Pravděpodobně přirozeně začíná 15 m od nejj jižnějšího výběžku plošiny a pokračuje při východní hraně v délce 90 m, kde se vytrácí. Je zajímavé, že se tak děje v blízkosti zmíněných homolovitých objektů č. 12, 13 a 14. Při vnějším lici valu můžeme pozorovat poněkud složitější situaci pěšin a dílčích teras, které mohou napovídat o existenci alternativního přístupu do vnitřního areálu.

V takovém případě by byla i odůvodněna existence zmíněného valu. V blízkosti jazykovitého závěru vrcholové plošiny, je dílčí plošina, která pokračuje 1,5 m pod terénní hranou a sama je dále ostře vymezena příkrým svahem ze západu, jihu a východu. Opět považujeme za pravděpodobné, že i na tuto plochu bylo nutné v období fungování lokality jako hradiště reagovat a mohla tak být funkčně začleněna do vnitřního areálu.

4.3.5 Celkový přínos LLS pro poznání lokality

Přínos LLS pro poznání lokality Liščí Vrch se ukázalo jako zcela zásadní, a to především z důvodu dosavadní absence jakéhokoliv přesného geodetického zaměření. LLS nám zde pomohlo k definování určitých otázek, než k nalezení konkrétních odpovědí. Stále není možné zodpovědět, zda všechny uvedené části areálu tvořili jeden funkční celek v určitém časovém období či se jedná o odraz kulturního palimpsestu užívání v obdobích nesouvislých. Nevíme také, do jaké míry raný středověk vtiskl novou podobu lokality či vycházel již z definované podoby. Zarážející je především rozměrnost a monumentálnost vnějšího opevnění od severozápadu, severu a severovýchodu, která není typická ani pro jedno z uvedených období a spíše by mohlo řadit lokalitu do období halštatského. V každém případě považujeme lokalitu za výjimečnou i v nadregionálním kontextu. Pro zodpovězení nebo alespoň pro směřování dalšího vyhodnocování lokality, dále považujeme za nutné provedení dílčích zjišťovacích sond v různých plochách lokality, které by mohli přinést první relevantní archeologický materiál a pomoci k objasnění jednotlivých částí lokality, jejich vzájemného spoluzívání, celkové době užívání a intenzitě užívání jednotlivých komponent.



Obr. 12 – Výšinné sídliště Liščí Vrch, k.ú. Velichov, okr. K. Vary. Fotografie objektu valu v západní části vnitřního areálu. Pohled k severu (autor F. Prekop).

Fig. 12 – Hilltop site of Liščí vrch, cadastral area Velichov, Karlovy Vary region. A photo of the rampart in the western part of the site. A view from the north (by F. Prekop).



Obr. 13 – Výšinné sídliště Liščí Vrch, k.ú. Velichov, okr. K. Vary. Fotografie místa těžby kamene (?). Východní část severního vnějšího areálu. Pohled k jihozápadu (autor F. Prekop).
Fig. 13 – Hilltop site of Liščí vrch, cadastral area Velichov, Karlovy Vary region. A photo of the stone quarry (?). Eastern part to the north of the site. A view from the southwest (by F. Prekop).

5. Údolí u Lokte

5. 1 Lokalizace, charakteristika, historie poznání

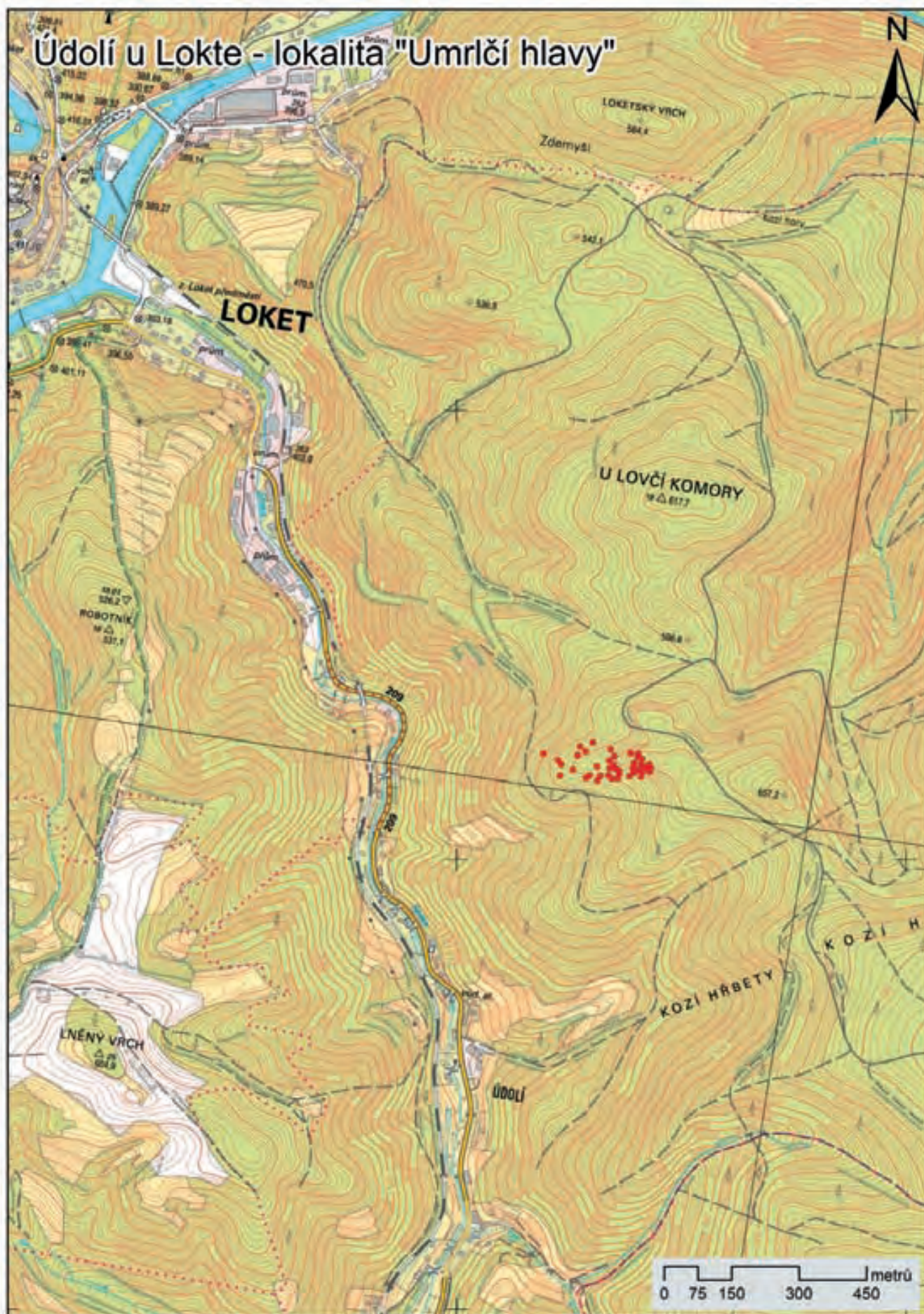
Poslední z lokalit, na které bylo využito snímkování LLS v Karlovarském kraji, byly tzv. „Umrličí hlavy“, které se nachází na katastru obce Údolí u Lokte (obr. 14). Lokalita je známá také pod německým názvem: „Bei dem Totenköpfen“. Podstatu tvoří skupina mohylovitých útvarů o výšce 0,4 až 1,2 m (obr. 17). Ty se rozprostírají na výrazném hřbetu, který vybíhá z východní strany hlubokého údolí nad obcí Údolí. Nachází se 1,8 km jihovýchodním směrem od jádra města Loket. Úctyhodná je nadmořská výška lokality. Úsek hřbetu vrchu, na kterém se objekty nacházejí se pohybuje v rozmezí 592 až 633 m n.m.

Lokalita byla poprvé zmiňována v literatuře v r. 1864, kde pan Schmitt, mimo jiné, vylučuje hornický původ objektů, a to z důvodu absence jakýchkoliv hornických i jiných kutacích aktivit v oblasti a považuje objekty za pravěké mohyly s neznámým obsahem (Schmitt 1863, 250). Značná nejasnost o kvantifikaci i vyhodnocení panovala celé dvacáté století a svým způsobem trvá dodnes (Hereit 1994, 87). V roce 2011 byl proveden záchranný archeologický výzkum jednoho z objektů, který byl značně poškozen průjezdem lesní hospodářské techniky (Křišťuf – Prekop – Švejcar 2012). Během výzkumu došlo k vyhledání všech obdobných objektů a jejich geodetickému

zaměření včetně provedení jejich popisu a evidenci poškození. Bylo tak identifikováno 42 mohylovitých objektů. Během průzkumu nebylo vyloučeno, že objekty zasahují i do těžko dostupného mladého lesního porostu severozápadním směrem. Výzkum porušení jednoho z objektů však nepřinesl žádný archeologicky vyhodnotitelný materiál, který by pomohl lokalitu blíže chronologicky či funkčně zařadit. Objekt tvořil především kamenný plášť, který nasedal na tenkou uhlíkatou vrstvu. Ta dále překrývala dílčí zahloubeninu do skalnatého podloží. Kamenný plášť byl opět převrstven slabou vrstvou uhlíků a lesní hrabanky (obr. 18).

5.2 Morfologie lokality

Díky LLS došlo k zmapování krajiny v bezprostředním okolí lokality, které by bylo jiným způsobem velmi obtížně proveditelné (obr. 16). Samotné mohylovité objekty, které byly zaměřeny terénním geodetickým průzkumem, patrně však nejsou (porovnej obr. 15 a 16). Je zřejmé, že se všechny soustřeďují na svah dílčího hřebene, který prudce spadá k západu. Objekty se rozprostírají po obou stranách tohoto hřebene a soustřeďují se především v blízkosti jeho vrcholu. Samotný hřeben vykazuje několik dílčích teras. Patrně jsou čtyři, a to ve vzdálenosti 25, 60, 120 a 190 m západně od nejvyššího bodu. Více rozptýlené jsou objekty severozápadním směrem, přestože se jich zde nachází



Obr. 14 – „Umrličí hlavy“, k.ú. Libavské údolí, okr. Sokolov. Mapa umístění homolovitých objektů v krajině.

Fig. 14 – „Dead-men's heads“, cadastral area Libavské údolí, Sokolov region. A map of the locations of cone-shape features in the landscape.



Obr. 15 – „Umrlčí hlavy“, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Celkový digitální model reliéfu lokality.

Fig. 15 – „Dead-men's heads“, cadastral area Libavské údolí, Sokolov region. A complete digital model of the terrain on site.

pouhých 15 z celkových 42 identifikovaných. Tímto severozápadním směrem se objekty vyskytují ve vzdálenosti 20 až 240 m od vrcholu hřebene. Je možné, že objekty se rozprostírají právě severním směrem, kde začíná mladý lesní porost. Jeho neprostupnost znemožňovala terénní průzkum. Ostatní objekty je možné nalézt jižním a jihozápadním směrem v ploše 25 až 150 m od vrcholu hřebene. Z uvedeného hřebenu vyhází severovýchodním směrem pás nepravidelných nerovností, které mohou být geologického původu. Antropogenní původ se zde nepodařilo prokázat. Ze snímku LLS je zřejmé, že lokalita se nachází v blízkosti svazků úvozových cest, které jsou pozůstatky po intenzivním využívání komunikace mezi Horním Slavkovem a Loktem pravděpodobně již v období pozdního středověku. Snímek také potvrzuje, že v celém území, které pokrývá LLS se nenachází žádné nápadné zahluobené objekty. To potvrzuje terénní průzkum z roku 2011 i konstatování p. Schmitta z r. 1864. Stále však přetrvává hypotéza, že objekty jsou pozůstatky specifické hospodářské lesní činnosti.

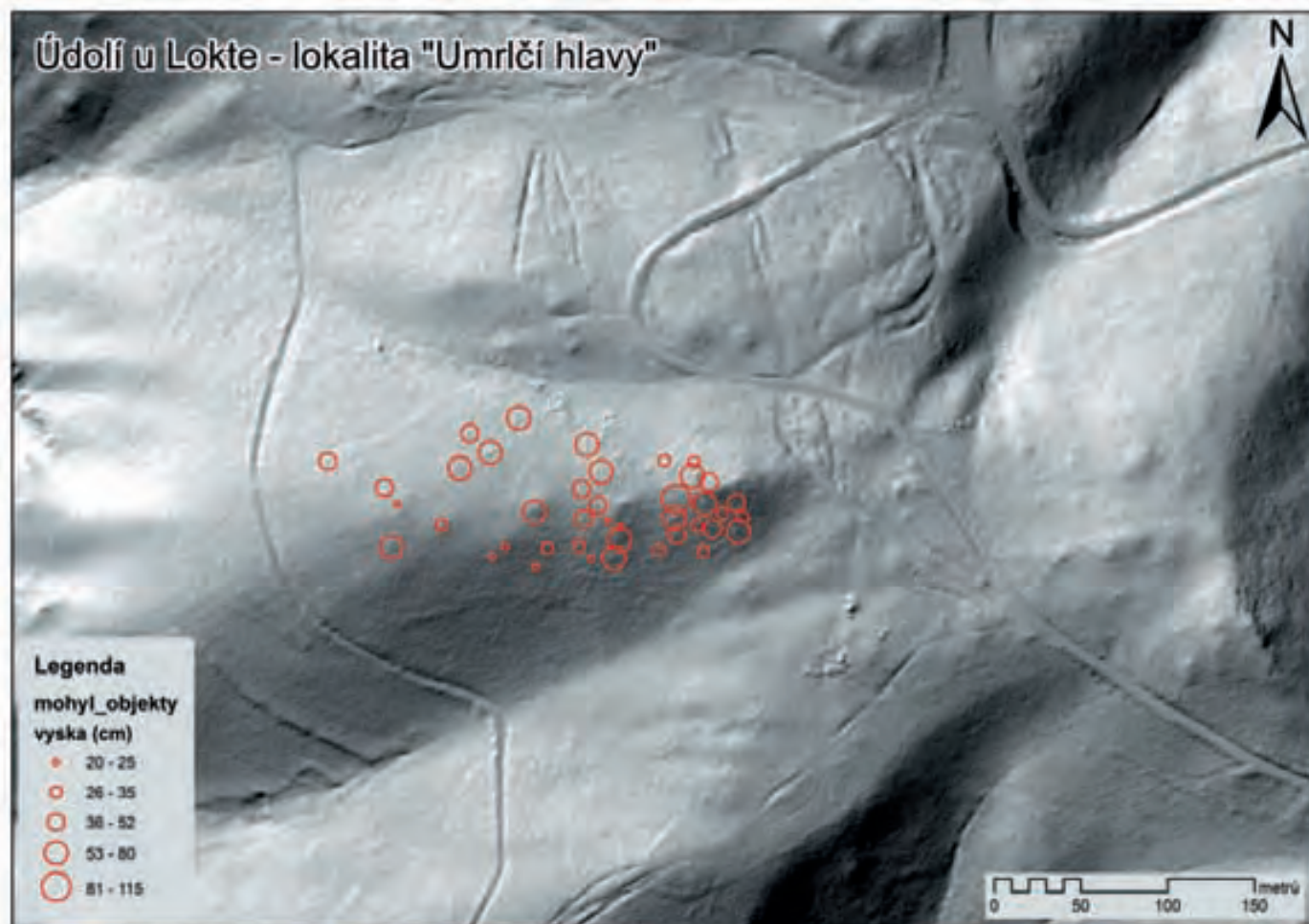
5.3 Celkový přínos LLS pro poznání lokality

V případě sledování lokality „Umrlčí hlavy“ přispěl LLS snímek především k poznání terénu nejbližšího okolí. Samotné mohylovité objekty jsou na rozhraní či pod hranou rozpoznatelnosti. Na

základě znalosti terénu, je možné, že výpovědní hodnota LLS je zde negativně ovlivněna hustotou mladého lesního porostu. Přesto i zde spatřuji přínos v jeho použití. Došlo zde k efektivnímu kombinování různých soudobých metod terénní dokumentace. Přesné geodetické zaměřování se mohlo soustředit pouze na lokalizaci jednotlivých objektů a jejich přesnou geodetickou polohu. LLS snímek naopak vhodně doplnil představu o povaze terénu na lokalitě, tak v jejím nejbližším okolí.

6. Závěr

Ve všech sledovaných lokalitách se projevil značný přínos průzkumu pomocí LLS. Zcela nedosažitelným pokrokem v povrchové dokumentaci je jeho nasazení pro průzkum velkých území či dokumentaci velkých antropogenních objektů. Domnívám se, že vyšší využívání LLS výrazným způsobem ovlivní metodu povrchového průzkumu většiny archeologických lokalit v archeologii jako celku. Bylo by jistě naivní se domnívat, že díky LLS je možné nahradit či zcela opustit jinou metodu terénního průzkumu, např. geodetické měření. Naopak je zcela nutné definovat součinnost všech dosavadních metod průzkumu, tak aby docházelo k jejich efektivnímu doplňování pro dosažení nejlepšího dokumentačního výsledku za vynaložení optimálních nákladů a odborných kapacit.



Obr. 16 – Umrlčí hlavy“, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Celkový digitální model reliéfu lokality s interpretovanými objekty.

Fig. 16 – „Dead-men’s heads“, cadastral area Libavské údolí, Sokolov region. A complete digital model of the terrain on site with interpreted features.

Obr. 17 – Umrlčí hlavy“, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Homolovitý objekt č. 12, předmět lokality.

Fig. 17 – „Dead-men’s heads“, cadastral area Libavské údolí, Sokolov region. A cone-shaped feature no.12 on site.

Obr. 18 – Umrlčí hlavy“, k.ú. Libavské Údolí, okr. Sokolov. Řez porušeným objektem č. 10.

Fig. 18 – „Dead-men’s heads“, cadastral area Libavské údolí, Sokolov region. A cut through feature no. 10.



Další zásadní výhodu použití LLS spatřuji ve skutečnosti, že je možné opět více oddělit krok archeologické analýzy od ostatních kroků archeologické metody, především při interpretaci zkoumaných objektů. Dosažené závěry a názory jsou tak opět více reversibilní a názorné pro ostatní badatele. Tato výhoda se ukázala především při vyhodnocování lokality Koloová. Zde došlo ke konfrontaci výpovědní hodnoty LLS s plošným geodetickým plánem a starší dokumentací. Ukázalo se, že i přes správnost a platnost mnoha skutečností, je geodetické zaměrování velkých ploch zatíženo jistou generalizující chybou a interpretací prováděnou badatelem. Samozřejmě selekce relevantních informací od irelevantních bude pro výklad dané lokality vždy nutná. Stanovení této hranice, však nově není podmíněno terénní selekcí dokumentovaných objektů ani povahou konečného grafického výstupu. Jinými slovy je možné se lépe zabývat menšími archeologickými objekty a možnými strukturami v kontextu větších prostorových celků.

9

The validity of airborne laser scanning for the survey of selected archaeological sites in the region of Karlovy Vary

This paper considers the validity of airborne laser scanning for surveying surface of the terrain in comparison with the traditional modes of archaeological recording, mainly the geodetic survey and fieldwalking. The comparison is undertaken for three selected sites in Karlovy Vary region. A hilltop site of Kolová, cadastral area of Libavské údolí, is a poly-cultural site with evidence for Late Bronze Age and medieval settlement. It was documented using various techniques from the beginning of the 20th century, including a detailed geodetic survey in the 80s of the 20th century. The application of ALS helped to make a more precise plan of the site and pointed out the possibility for an archaeological interpretation of further parts of the site, particularly the acropolis.

The second site is a hilltop site of Liščí vrch, with evidence for settlement in the Late Bronze Age and Early Middle Ages. The whole geodetical plan of the site has never been made. Using ALS it was possible to capture the complete outline and spatial organisation of the site, which could also reflect its past functional organisation. The results of the ALS helped to define the subsequent steps for a potential further survey of the site.

The last site represents the barrow features on the site of “Bei dem Toten köpfen”, cadastral area Údolí u Lokte. Although the site is mentioned in the specialist literature from

the 2nd half of the 19th century, its interpretation remains unclear. It is composed of at least 42 stone heaps of various sizes, which are concentrated on a dominant ridge of Slavkovský les. The features were also geodetically surveyed last year. In this case, laser scanning did not bring significant results, although it contributed to a better understanding of the site's vicinities.

The main advancement from using the ALS method lies in the fact that we can separate one stage in the analysis from other stages of the archaeological method, mainly from the interpretation of studied features. The final results and interpretations are hence more reversible and clearer for other researchers. This advantage is particularly apparent for the site of Kolová. Here, the validity of the ALS results could be confronted with the results of the geodetic survey and previous documentation. Although the many findings of the geodetic survey are still valid, a survey of larger areas is laden with a certain generalisation on the side of the researcher. Of course, the selection of relevant information will still play a major role for the interpretation of any site, but the dividing line is no longer in the stage of the recording of features in the field or in the nature of their representation in drawing. In other words, it is possible to deal with more complex archaeological features and potential structures in the context of larger spatial units.

Příspěvek leteckého laserového skenování k poznání dvou zaniklých středověkých vesnic mezi Líšnou a Točníkem

1. Úvod

Článek je věnován identifikaci a základnímu popisu dvou zaniklých středověkých vesnic, jejichž relikty jsou dochovány v zalesněném terénu na pomezí Plzeňského a Středočeského kraje na území Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Křivoklátsko. Jedná se o lokality známé z písemných pramenů pod názvy Okrouhlík a Zábdiší. Přesná lokalizace prvně jmenované vsi a pořízení základního plánu obou vesnic bylo nově umožněno díky využití metody leteckého laserového skenování.

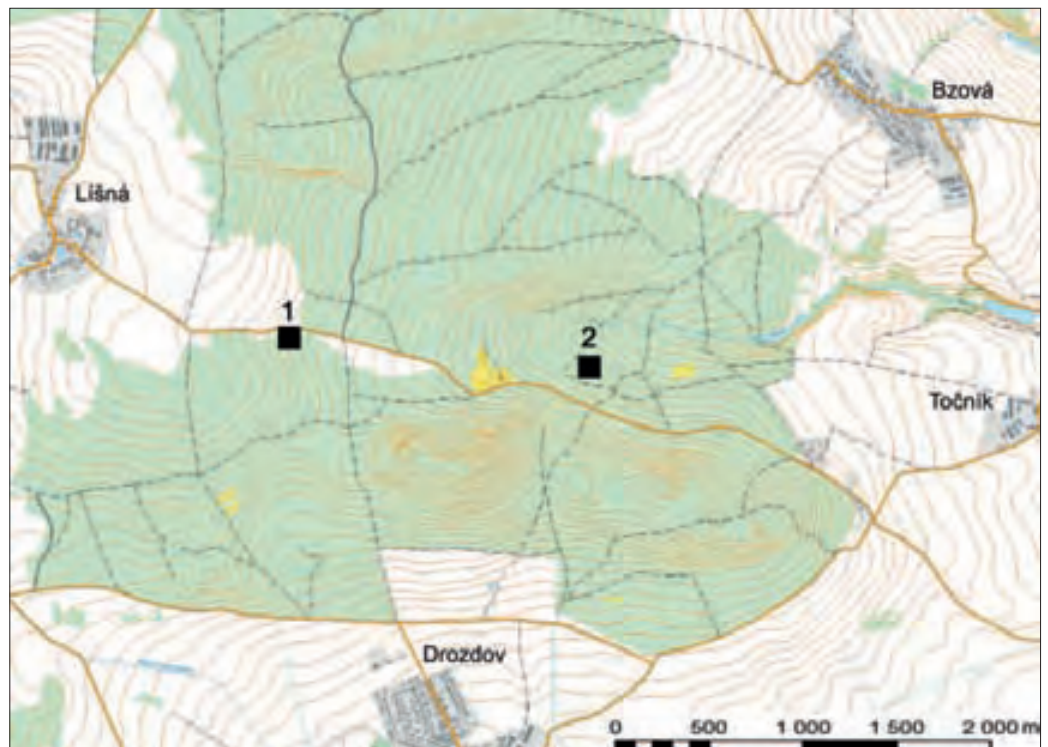
2. Data a jejich zpracování

Data byla pořízena v rámci grantového projektu: Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (viz *Gojda-John-Starková 2011*). Skenování oblasti o rozloze 12 km² v okolí obce Líšná (okr. Rokycany) provedla společnost Milan Geoservice dne 25. 3. 2010 z výšky cca 600 m za pomoci skeneru Riegl LMS-Q560 s deklarovanou výškovou přesností ± 10 cm, polohovou přesností ± 30 cm a hustotou měření cca 4 body/m². Klasifikovaná data byla následně transformována do podoby digitálního modelu reliéfu (DMR) s prostorovým rozlišením 1 m, a to

pomocí triangulace s lineární interpolací (TIN) v prostředí programu Surfer. Jako vizualizační metodu v této práci využijeme stínování digitálního modelu (*hillshade*).

3. Zaniklá středověká vesnice Okrouhlík (k. ú. Líšná, okr. Rokycany)

Relikty vesnice se nachází cca 1700 m VJV od obce Líšná, jižně od silnice vedoucí z této obce směrem na Žebrák (obr. 1). Nadmořská výška lokality se pohybuje okolo 510 m. Dnes se zde rozkládá les a louka s pomístním názvem „Okrouhlík“ jež protíná hranici k. ú. Líšná a Drozdov (*Rožmberský 2006, 46*). Státní archeologický seznam vesnici mylně lokalizuje na pole severně od silnice do polohy „Na rumu“, kde byla v minulosti nalezena středověká keramika, železné předměty, dokonce i zlaté mince a část dlouhého opracovaného kamene, která nejspíše souvisí s existencí dvora (*Anderle – Švábek 1993, 23*). Lokalitu s pomístním názvem Okrouhlík lze patrně ztotožnit také s polohou „Na Vescích“ nebo „Na Potokách“, kde odborný učitel z Hořovic Václav Los společně s Václavem Matouškem objevili již v roce 1923 pozůstatky bývalé vesnice Okrouhlík a patrně i přilehlého dvora (zpráva ArÚ čj. 366/23).



Obr. 1 – Poloha zmiňovaných zaniklých středověkých vesnic v rámci topografické mapy. 1: ZSV Okrouhlík, 2: ZSV Zábdiší.

Fig. 1 – The location of the deserted medieval villages mentioned in the text on a topographical map. 1: Deserted medieval village Okrouhlík, 2: Deserted medieval village Zábdiší.



Obr. 2 – Okrouhlík. DMR intravilánu a extravilánu vesnice. Označení objektů: a – prameniště, b – konkávní objekty (pravděpodobně komory či sklepy domů), c – recentní jáma, d – úvozová cesta, e – milíř se zahloubeným objektem, f – plužina.

Fig. 2 – Okrouhlík. DTM of the village site and its vicinities. Features are labelled: a – spring, b – concave features (probably sunken rooms or cellars), c – a recent pit, d – trackways, e – charcoal-burning platform, f – ridge and furrow.

Dvůr Okrouhlík se v písemných pramenech poprvé objevuje v roce 1331, kdy Jan Lucemburský odkázal Oldřichovi z Valdeka mimo další vesnice i alodiální dvůr Okrouhlík „*alodio Okruhlik*“ se všemi příjmy a veškerým příslušenstvím do dědičné držby (*RBM III*, č. 1828, s. 712). Není známo, kdy kolem dvora vznikla vesnice. Ves náležela do manství nedalekého hradu Řebřík. V poslední zprávě z roku 1552 se objevuje Okrouhlík jako vesnice, kdy byla společně s Líšnou a řebříckým poplužím odkázána arciknížetem Ferdinandem křivoklátskému písaři Jiříku Protivci z Entnšlanku (*Sedláček 1934*, 264). Podle zápisu byla již ves Okrouhlík pustá (*Kočka 1936*, 55).

Během povrchového průzkumu v březnu roku 2011 v souvislosti s verifikací a interpretací dat leteckého laserového skenování, byly v luční enklávě identifikovány relikty zaniklé vesnice Okrouhlík (obr. 2). Vesnice se nachází pod pramennou pánví bezejmenné vodoteče, která vyvěrá z prameniště na jihozápadním okraji vesnice. Přítomnost minulého osídlení zde dokládá i synantropní barvínek (*Vinca minor*). Od prameniště vede cca

150 m ve směru JZ-SV dlouhý relikv úvozové cesty o šířce 5–6 m s jednou boční větví. Kolem úvozové cesty bylo rozpoznáno cca 10 konvexních a konkávních antropogenních tvarů reliéfu představující jednotlivé objekty v rámci středověkých usedlostí. Na DMR a během povrchového průzkumu bylo výrazně patrných zejména 4–5 pravidelných zahloubených objektů (komor či sklepů?) mezi úvozovou cestou a silnicí. Výrazný zahloubený objekt na kraji silnice při ústí úvozu představuje recentní jámu. Konkávní objekty byly rozpoznány během průzkumu i na základě kamenných destrukcí kolem objektů. Na DMR jejich rozlišení nebylo tak výrazné jako v případě konkávních objektů.

Při průzkumu extravilánu byl jihozápadně od vesnice identifikován malý milíř o průměru cca 7–8 m a nedaleko od něj zahloubená jáma. Výrazně se na DMR projeví také relikty plužiny jižně od vesnice, které byly zjištěny v podobně několika rovnoběžných mezních pásů stoupajících do mírného svahu. Relikty plužiny byly rozpoznány i během povrchového průzkumu.

ZSV Okrouhlík představuje lokalitu poměrně dobře vizuálně čitelnou během povrchového průzkumu. Podle typologie půdorysů středověkých vsí představuje Okrouhlík malou lesní návěsní vesnici (cf. Černý 1973). V kombinaci s DMR se podařilo ověřit a interpretovat některé antropogenní relikt středověkých usedlostí. Konvexní objekty představují pravděpodobně stavby středověkých vesnických domů s kamennými podezdívkami a s pozitivními destrukcemi nadzemních konstrukcí, pravidelné větší konkávní objekty zahluobené části (např. komory) středověkých domů (cf. Vařeka 2006a, 57).

Zajímavé je srovnání se zjištěními, které učinili odborníci učitel Václav Los z Hořovic s Václavem Matouškem v roce 1923. Na místě zaniklé vesnice objevili vyvýšené obdélníkovité pozůstatky domů označené v původní zprávě jako „mohylovité pahrbky“, které byly v některých případech ještě pečlivě obloženy bulžňníkovitým kamenem. U jednoho objektu našli „popel a střepy“. Mimo to ještě zaznamenali několik nízkých kruhových „mohyl“ s průměrem nejvýše 2,5 m, které byly rovněž obloženy bulžňníkem a menším kamenem (archiv ArÚ čj. 366/23). Na základě upozornění badatelů, někdejší Státní archeologický ústav v Praze provedl v roce 1923 pod dohledem J. A. Jíry výzkum několika „mohyl“, které na základě výzkumu byly interpretovány jako pozůstatky podezdívek „chalup“. Při výzkumu byla nalezena pozdně středověká keramika zdobená radélkem a zlomky cihel. Lokalita byla správně popsána jako zaniklá středověká vesnice (archiv ArÚ, čj. 346/23).

V extravilánu vesnice se během průzkumu podařilo rozpoznat relikt pluziny a pozůstatek tzv. černých lesních řemesel v podobě milíře a další konkávní objekty neznámé funkce. Ve zprávě V. Los popisuje četné malé jámy, které patřily k hospodářskému zázemí vsi a terasovité úpravy polí (zpráva ArÚ čj. 366/23).

Existence dvora nebyla průzkumem prokázána. Dvůr se pravděpodobně mohl nacházet v poloze „Na rumu“ nedaleko vesnice, kde v minulosti byly nalezeny středověké artefakty. Tato situace by si vyžádala podrobnější archeologický výzkum (cf. Anderle – Švábek 1993, 23).

4. Zaniklá středověká vesnice Zábdiší (k. ú. Drozdov, okr. Beroun)

Pozůstatky vesnice se nacházejí 1600 m východně od ZSV Okrouhlík, severně od silnice Líšná – Žebrák. Zalesněný terén zde tvoří mírný severovýchodní svah o nadmořské výšce 420 – 430 m. Po zaniklé vsi se zde dochoval pomístní název „Zábdiška“ nebo „Zábisko“.

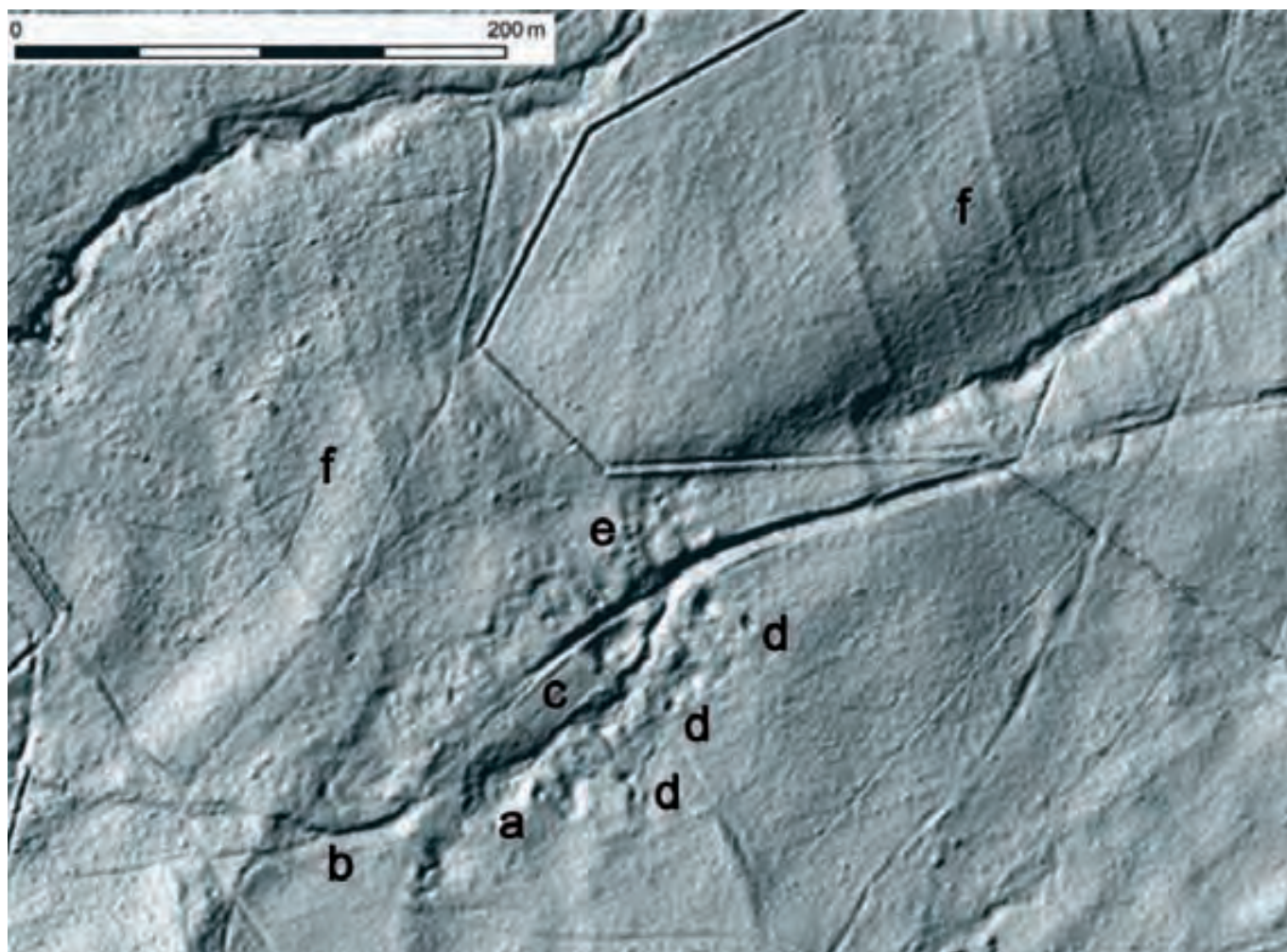
Vesnice se poprvé připomíná roku 1336, kdy vyměnil Zbyněk Zajíc panství Žebrák (hrad Žebrák, městečko Žebrák, vesnice Hředle, Lhota, Chodouň, Tlustice, Bíleč, Zábdiší, Habařce a části vsí Praskolesy a Sedlec) za královské panství Budyně (RBM IV, č. 265, s. 106). K roku 1557 je již osada uváděna jako pustá (Sedláček 1934, 160).

Lokalizací této vsi se na základě pomístního názvu zabývala koncem 70. let 20. století L. Olivová-Nezbedová (1977). V sou-

pisu pomístních jmen pro Drozdov a Bzovou si všimla pomístního názvu „Zábisko“ a „Na Zábisku“ pro část lesa a lesní louku na hranicích katastrů obou obcí. Ten je bezpochyby svědectvím o zaniklé středověké vsi Zábdiší. V rámci archeologického ověřování toponomastické lokalizace ZSV na okrese Beroun zde provedli J. Klápště a Z. Smetánka v roce 1980 povrchový průzkum (Klápště – Smetánka 1981), při kterém přesně lokalizovali pozůstatky zaniklé vsi s antropogenními reliktami a nálezy keramiky.

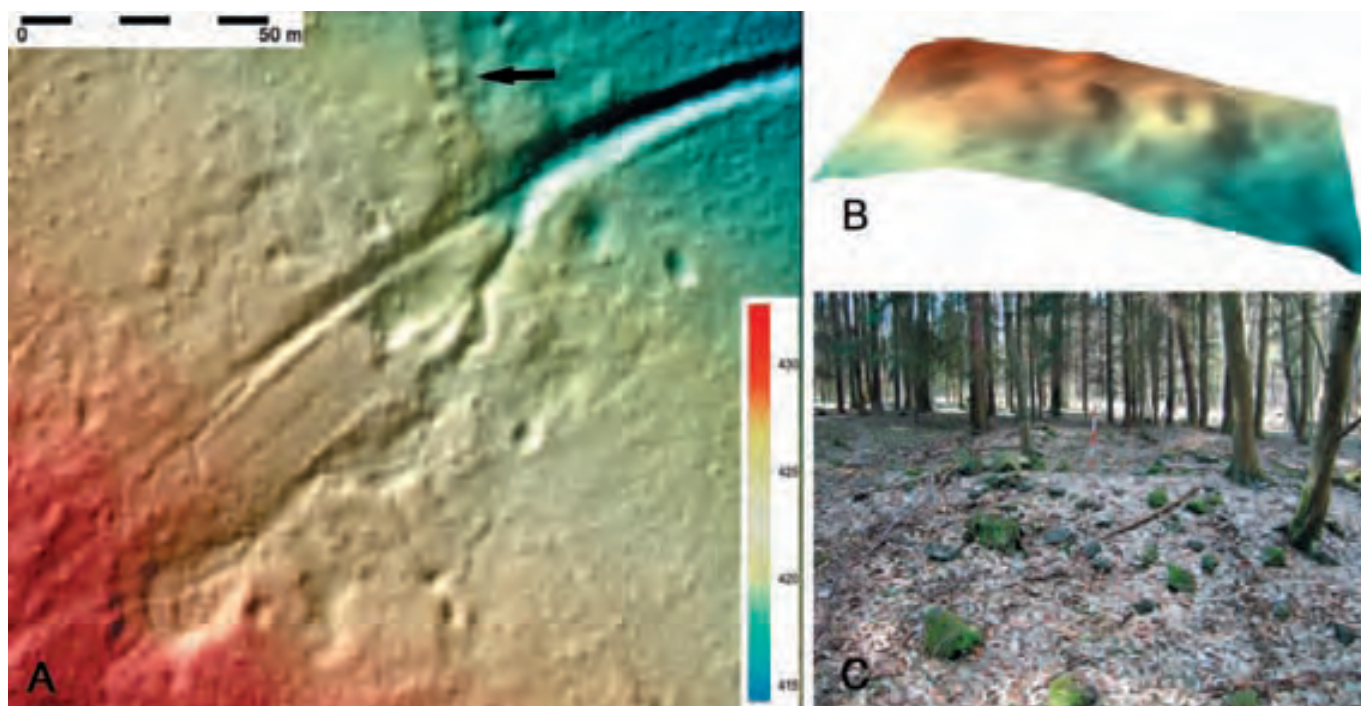
Při verifikaci DMR během povrchového průzkumu v březnu roku 2011 byl na lokalitě zjištěn reliéf s výraznými antropogenními zásahy, které představují relikt zaniklé středověké vesnice Zábdiší (obr. 3). Středem vesnice prochází ze severovýchodní strany výrazný terénní relikt úvozové cesty o šířce 5 – 10 m pokračující jihozápadním a poté západním směrem. Na protilehlé straně návsí protéká směrem z jihozápadu na sever bezejmenná vodoteč. Představuje pravobřežní přítok Pekelského potoka a vyvěrá z prameniště na jihozápadním okraji vesnice. Na severním okraji návsí se vodoteč a úvoz přetínají. V těsné blízkosti úvozové cesty, cca 150 m JZ od prameniště, byly identifikovány dvě jámy nejasného účelu. Úvoz a vodoteč vymezují nevelkou oválnou návěs, na níž se v nedávné minulosti nacházela lesní školka o velikosti cca 35 x 15 m. Kolem úvozové cesty a vodoteče byly zjištěny antropogenní relikt středověkých usedlostí. V některých případech bylo možné rozpoznat i prostorové vymezení jednotlivých usedlostí. Lépe byla čitelná situace zejména na severní straně úvozové cesty, kde bylo možné identifikovat přibližně 8 – 12 usedlostí. Na protilehlé straně návsí se podařilo rozpoznat cca 6–8 usedlostí. V rámci usedlostí byly na DMR a během verifikace povrchového průzkumu zjištěny poměrně pravidelné relikt obdélných konvexních objektů nebo kombinace konvexních a konkávních objektů, které rozměrově odpovídají půdorysům středověkých trojdílných domů. Kolem obdélných objektů se nacházely výrazné kamenné destrukce, které v některých případech vymezovaly i hrany půdorysů. Destrukce jsou tvořeny kameny z místní horniny a ojedinele cihlami. Velmi výrazný objekt představuje zřejmě trojdílný dům tvořený konvexním objektem (jizba?) o rozměrech cca 10 x 5 m a odděleným nepravidelně čtvercovým objektem s centrální vkleslinou (komora?) o rozměrech cca 5 x 4 m. Relikty trojdílného domu se nacházejí na SV okraji vesnice a jsou dobře patrné i na DMR a interpolovaném 3D modelu (obr. 4). Mezi tímto domem a úvozem se nachází velké množství zlomků keramiky, které můžeme datovat do 15. až 1. poloviny 16. století.

Na jihovýchodním a jižním okraji vesnice bylo identifikováno několik výrazně zahluobených objektů s ostrým sklonem stěn a zvodnělým povrchem, které by mohly představovat studny nebo drobné vodní nádrže. Na DMR byly zjištěny na svahu severně nad vesnicí i relikt pluziny v podobě rovnoběžných mezních pásů, které prostorově navazují na schéma jednotlivých usedlostí. Ve svahu severně od vesnice (mimo výřez obr. 3) se rovněž nacházejí relikt několika milířů a terasovitě úpravy terénu.



Obr. 3 – Zábdiší. DMR intravilánu a extravilánu vesnice. Označení objektů: a – prameniště, b – úvozová cesta, c – lesní školka, d – studny/cisterny, e – dobře dochovaný relikt středověkého domu, f – plužina.

Fig. 3 – Zábdiší. DTM of the village site and its vicinities. Features are labelled: a – spring, b – trackway, c – forest nursery, d – wells/cisterns, e – well-preserved remains of a medieval house, f – ridge and furrow.



Obr. 4 – Zábdiší. A – DMR intravilánu vesnice doplněný o barevnou škálu nadmořské výšky. Šipka ukazuje relikt trojdílného domu (cf. obr. 3e). B – 3D vizualizace DMR za-
niklého středověkého trojdílného domu, pohled od východu. C – fotografie reliktu komory téhož domu.

Fig. 4 – Zábdiší. A – DTM of the village site complemented with a colour scale of height above sea level. The arrow shows the remains of a three-part house (cf. Fig. 3e).
B – 3D visualisation of the DTM of the deserted medieval three-part house, a view from the east. C – a photo of the stone constructions of the same house.

ZSV Zábdiší je lokalitou s výrazně dochovanými relikty zejména středověkých usedlostí, kde je možné rekonstruovat i v několika případech jejich původní prostorové vymezení. Jádrem usedlostí byl pravděpodobně trojdílný dům s kamennou podezdívkou, orientovaný štítově k návsi. Rozměrově se relikty trojdílných domů podobají jiným lokalitám trojdílných domů zejména z oblasti jižního a jihozápadního Rokycanska (cf. *Vařeka – Holata – Rožmberský – Schejbalová 2011, 334*). Podle typologie půdorysu ZSV Zábdiší představuje návesní ves s oválnou návsi a záhumenicovou plužinou, doloženou však jen z části na severní straně vesnice (cf. *Černý 1973*).

5. Závěr

Zaniklé vesnice Okrouhlík a Zábdiší doplňují sídelní komplex středověkých lokalit – vesnických sídel v okolí hradu Řebřík, k je-

hož manství náležely (*Durdík 1977, 231–235; Hnízdilová 2006, 125–139*). Představují zároveň lokality, u kterých nebyl dosud proveden podrobnější archeologický povrchový průzkum.

Letecké laserové skenování v kombinaci se základním povrchovým průzkumem umožnilo přesnou lokalizaci zaniklých vesnic, dále poznání charakteru jejich půdorysu a zástavby v intravilánu a některých objektů hospodářského charakteru v extravilánu vsí, včetně pozůstatků zemědělských aktivit v podobě reliktních plužin.

Studie poukázala na možnosti identifikace pozůstatků zaniklých středověkých vesnic s pomocí dat leteckého laserového skenování. Data s dostatečnou hustotou skenování evidentně umožňují zachycení i relativně malých objektů (komora středověkého domu) a jsou neocenitelná při dokumentaci zázemí vesnic (průběh úvozových cest, nenápadné relikty plužin apod.).

10

Airborne laser scanning contribution to the survey of two deserted medieval villages between Líšná and Točník

The paper focuses on the spatial identification and basic description of two deserted medieval villages, preserved in the forested terrain on the border of Western and Central Bohemia. The sites are known from written sources as Okrouhlík and Zábdiší. The precise location of the first village and the basic mapping of the layout of both villages were made possible thanks to the use of airborne laser scanning. The data were collected as part of the funded project: The potential of archaeological research of landscape in the Czech Republic using remote laser 3D scanning (see *Gojda-John-Starková 2011*). Airborne laser scanning in combination with surface survey made possible the recording of the

layout and structuring of the site (houses, water management structures) and several other activity areas and features in the vicinity of the village (e.g. charcoal-burning platforms), including the remains of agricultural activities (field systems).

The research confirmed the great potential of airborne laser scanning for the identification of the remains of deserted medieval villages. Data with adequate density of scanning are evidently suitable for recording even relatively small features (sunken rooms of medieval houses) and they are invaluable for the documentation of the hinterlands of villages (trackways, ridge and furrow etc.).

Využití dat leteckého laserového skenování ke studiu středověké a novověké krajiny Velechvinského polesí, okr. České Budějovice

1. Úvod

V letech 2010 a 2011 probíhalo systematické mapování, povrchový a geodeticko-topografický průzkum lesního komplexu tzv. Velechvinského polesí, jenž se nachází přibližně 12 km severozápadně od Českých Budějovic u Ševětína.¹¹ Velechvinské polesí s řadou dochovaných unikátních nemovitých památek z období středověku a novověku představuje území vhodné pro výzkum v oblasti krajinné a prostorové archeologie. Během nedestruktivního průzkumu byly zjištěny a zaměřeny intravilány zaniklých středověkých vesnic Prochod a Žďár a zároveň proběhl systematický povrchový průzkum širšího extravilánu obou vsí, kde byla zjištěna celá řada pozůstatků antropogenních aktivit souvisejících jak se středověkem, tak i s novověkem činností (Čapek 2011, 227–248; Čapek – Baierl 2012, 193–201). Tato kapitola je zaměřena na využití dat leteckého laserového skenování (LLS) při vyhledávání, dokumentaci a verifikaci nemovitých archeologických památek ve Velechvinském polesí a možnostem zpracování a vizualizace lidarových dat v programech ArcMap a ArcScene.

2. Vymezení zájmového území a přírodní prostředí

Zájmové území se dvěma zaniklými středověkými a novověkými vesnicemi Prochod a Žďár se nachází ve Velechvinském polesí (500 m n. m.), které je součástí Ševětínské vrchoviny na jihu vymezené průběhem Lišovského prahu a na severovýchodě Třeboňskou (Borkovickou) pávní. Lokality jsou situovány na geologickém podloží moldanubických (karbon) metamorfovaných hornin migmatitu tvořených biotickým granodioritem, místy s příměsí muskovitu a svrchnokřídovými senonskými kaolinitickými pískovci, arkózovitými slepenci, červenohnědými jílovci a prachovci tzv. klikovského souvrství. (Chábera a kol. 1985; Demek 1987). Půdní pokryv představují hnědé oglejené a pseudoglejené půdy kambizemě s přechody k rankeru (Tomášek 2007). Území spadá do oblasti mírně teplého a suchého podnebí nižší vrchoviny MT9-MT10 (Quitt 1971). Územím protéká povodí Dubenského a Borového potoka. Na mapě potenciaální příro-

zené vegetace území spadá do oblasti výskytu acidofilních biko-vých, jedlových, březových a borových doubrav (Neuhäselová a kol. 1998). Současné stromové patro tvoří místy hustý porost jehličnanů s převahou smrku, borovice a modřínu.

Za zájmové území byl vybrán polygon – čtverec o rozměrech 5 x 5 km a celkové ploše 25 km² (obr. 1). Polygon překrývá podstatnou část zalesněného západního území Velechvinského polesí se zaniklými středověkými vesnicemi.

3. Metoda zpracování dat LLS

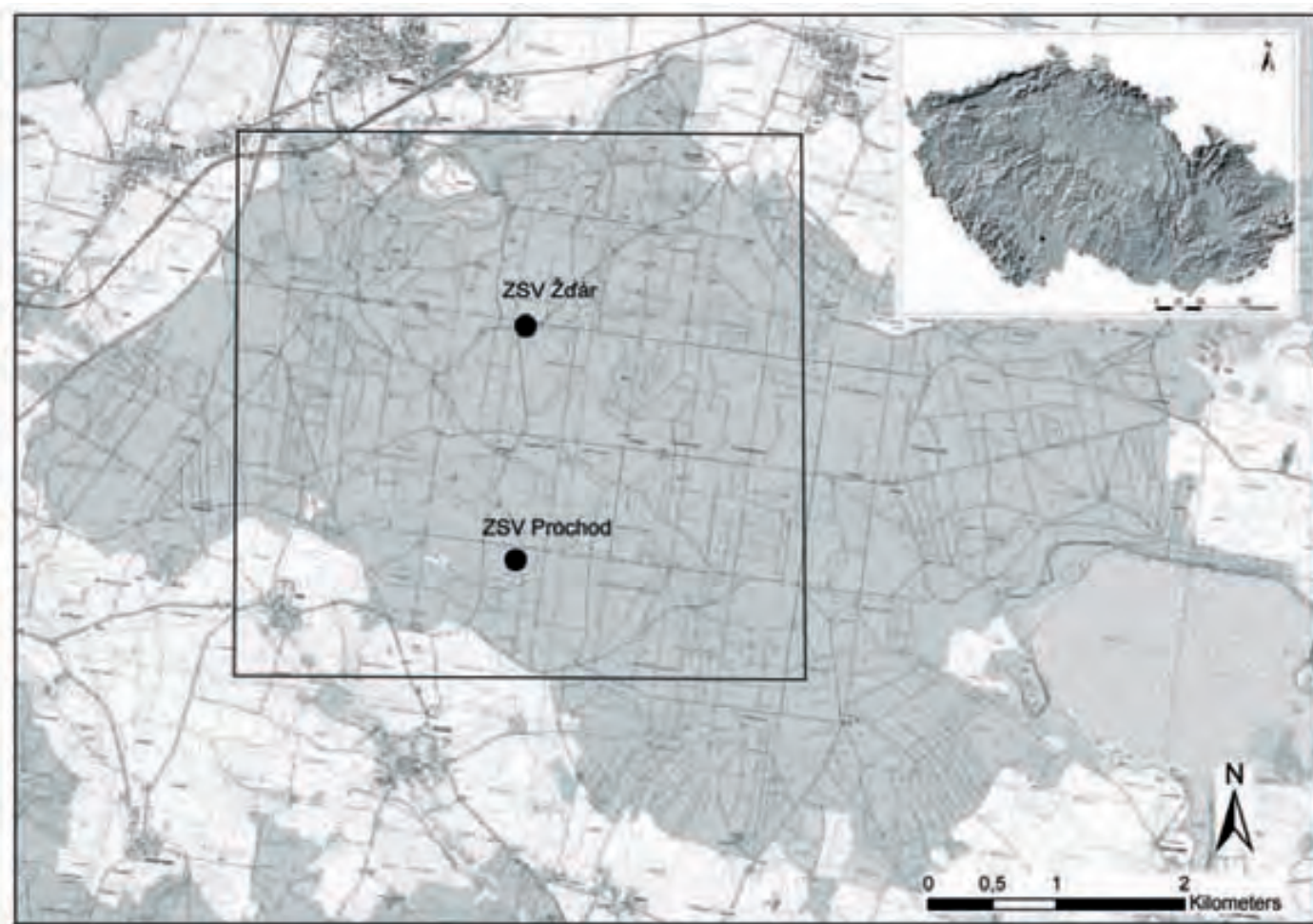
Základní informace a principy leteckého laserového skenování v archeologii (dále jen LLS) byly již dříve v domácí literatuře zpřístupněny (Gojda 2005, 806–810; John 2011, 24–28; Gojda – John – Starková 2011, 680–698 s odkazy na další literaturu) a přehledně jsou popsány v 1. kapitole této monografie. Data z LLS dnes postupně nacházejí široké uplatnění v oblasti krajinné a prostorové archeologie také v České republice. Poprvé byla data z LLS využita při výzkumu zaniklých středověkých vesnic na Plzeňsku ve Štáhlavském polesí (ZSV Javor), na Rokycansku (ZSV Sloupek, Kaliště, Zábdiší a Okrouhlík) a na Černokostelecku ve středních Čechách (ZSV Lažany, Vyžlovka, Aldašín) v rámci projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LiDAR)* (Gojda – John – Starková 2011, 686–689).

V této kapitole je pozornost věnována konkrétním metodám zpracování dat LLS pro území Velechvinského polesí. Data poskytnutá na základě žádosti a smluvní dohody Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK)© byla dodána v podobě mračen naměřených bodů po automatické klasifikaci ve čtyřech mapových listech o velikosti 2,5 x 2,5 km pro výpočet digitálního modelu terénu.

Zájmové území náleží do oblasti, kde jsou zatím pouze k dispozici data nižšího rozlišení, z nichž bude po jejich dalším zpracování připraven nový výškopis ČR (5. generace). Surová data pro zpracování byla poskytnuta v podobě mračen naměřených a filtrovaných bodů ve formátu ACSII/*.*asc. pro výpočet jak digitálního modelu reliéfu (DMR), tak i digitálního modelu povrchu (DMP). Data byla již převedena do souřadnicového systému JTSK a výškopisného systému Bpv.

Data z LLS byla zpracována pomocí funkce 3D Analyst Tool v programu ArcMap 10. Nejprve byla provedena transformace – konverze dat z formátu ACSII/*.*asc na souřadnice

11 Projekt byl realizován na základě grantu: *Studium sídelních a sociálních struktur v jižních a západních Čechách*, SGS 2010–43. Tato kapitola je zároveň výstupem z projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LiDAR)*, GAČR P405/10/0454.



Obr. 1 – Polygon leteckého laserového skenování (LLS) Velechvínského polesí, okr. České Budějovice.
Fig. 1 – A polygon of airborne laser scanning (ALS) of Velechvínský forest, region of České Budějovice.

XYZ. Ze zobrazených dat v podobě XYZ byl vypočítán na základě výškopisných hodnot Z rastrový model reliéfu DMR pomocí metody interpolace *Kriging* s prostorovým rozlišením rastru o velikosti pixelu 0,5 x 0,5 m. Zobrazený DMR v programu ArcMap 10 byl upraven na stínovaný výškový model reliéfu pomocí analýzy rastrového povrchu, tzv. *Hillshade*.

Metoda zobrazení pomocí funkce *Hillshade* umožňuje uměle nasvítit terén analyzovaného snímku pod libovolným úhlem a směrem azimutu, např. až v extrémně nízké pozici virtuálního světelného zdroje (slunce těsně nad obzorem při východu nebo západu) a využít tak principů tzv. stínových příznaků (Gojda – John – Starková 2011, 690, srov. Davis 2012, 12–13). Viditelnost potenciálních archeologických objektů je však do jisté míry závislá na počtu výběrů optimálních azimutů osvětlení (např. Devereux et al. 2005, 648–660). Jako optimální byl zvolen azimut světelného zdroje 315, v úhlu osvětlení 30° a výšky Z = 0,5 m.

Výsledný stínovaný model DMR bylo nutné ještě vyhladit a zmírnit krycí efekt některých přírodních reliéfních změn povrchu vytvořením diferenčního modelu odečtením hodnot z různých stínových modelů DMR. Výsledkem bylo zobrazení *Lokálního modelu reliéfu* (Local relief modelling – LRM) se zvýrazněními jak pozitivními (konvexními), tak i negativními

(konkávními) antropogenními objekty, na úkor potlačení některých neostrých přírodních reliéfních tvarů. Tato metoda zobrazení je vhodná zejména v případě nepřiliš členitého povrchu s malým převýšením (podle Hesse 2010, 67–72). K analýze bylo využito funkce *Focal Statistics* pro vyhlazení buněk rastru a následně funkce odečtení hodnot dvou rozdílných stínových modelů DMR s různým rozlišením pomocí funkce *Math Plus* (Davis 2012, 15–16).

Z hlediska dalšího studia, vizualizace a prezentace digitálních modelů reliéfu bylo využito i 3D zobrazení rastrového modelu v programu *ArcScene*. Ten umožňuje snadné a rychlé vytvoření 3D modelu, jehož výhodou je možnost otáčení v prostoru, a také nasvícení pod různým azimutem a úhlem umělého osvětlení pomocí nastavení vlastností osvětlení ve *Scene Properties*. Pomocí *ArcScene* lze tak detekovat i málo viditelné objekty s malým převýšením vůči okolnímu reliéfu (Davis 2012, 16–19).

4. Lokální model reliéfu (LRM) intravilánu a extravilánu zaniklé středověké vesnice Prochod

Zaniklá středověká vesnice Prochod (k. ú. Velechvín) byla systematicky nedestruktivně mapována v letech 2010–2011. Intravilán vesnice byl kompletně geodeticky zaměřen pomocí

totální stanice Leica TCR 407. Zázemí vesnice – extravilán byl mapován a zaměřován pomocí stanice GPS Trimble Pathfinder ProXH. Výsledkem měření bylo vytvoření půdorysného plánu zaniklé středověké vesnice a jejího přilehlého zázemí (k metodě srov. Černý 1979; Smetánka – Klápště 1979; 1981; Vařeka a kol. 2006, 57–59).

Nedestruktivním povrchovým průzkumem bylo na ZSV Prochod o rozloze 5,7 ha, nacházející se podél úvozové cesty, zjištěno 46 antropogenních reliéfních tvarů, které představují archeologizované struktury jednotlivých středověkých usedlostí – domy a jejich hospodářské zázemí (Čapek 2011, 241–242; Čapek – Baierl 2012, 193–201). Celkem bylo zjištěno 10 konvexních objektů a 24 konkávních objektů a v sedmi případech jejich kombinace. Konvexní objekty představují pravděpodobně stavby středověkých vesnických domů s dovnitř spadlými destrukcemi nadzemních konstrukcí, pravidelné větší konkávní objekty zahluobené části zpravidla nadzemních středověkých domů. (srov. Černý 1979; Vařeka a kol. 2006, 57–59). Menší kruhové objekty s výrazným sklonem stěn a zvodnělým dnem představují studny. Dále bylo zjištěno 13 vodních ploch – drobných vodních nádrží (haltýřů, nebesáků), některé s dochovanou hrází. Celkem bylo na ZSV Prochod zjištěno a rekonstruováno 6–7 usedlostí s hospodářským zázemím. S převažujícím počtem konkávních objektů můžeme uvažovat o jedno nebo dvouprostorových obytných domech, podobné jako u zaniklých středověkých vesnic na Táborsku (srov. Krajč 1980, 168; 1983, 112–113).

Podle typologie půdorysu představuje ZSV Prochod lesní lánovou vesnici, kde se většina objektů koncentruje po pravé straně úvozové cesty. V severovýchodní části se nachází oválná vyvýšenina s menšími konvexními a konkávními objekty, avšak bez dokladů vnějšího opevnění v podobě příkopu nebo valu. Oválná vyvýšenina pravděpodobně představuje polohu manského dvorce na základě výsledků geofyzikálního zaměření a drobného archeologického odkryvu (Čapek – Baierl 2012, v tisku; srov. Kovář 2011, 260). Archeologické nálezy z drobného zjišťovacího odkryvu jedné usedlosti a manského dvorce uskutečněného v roce 2011, společně s nálezy z povrchových sběrů, vymezují v souladu s písemnými prameny počátek a zánik existence vesnice do 13. – 15. století.

Geodeticko-topografické zaměření zaniklé středověké vesnice Prochod pomocí totální stanice a GPS bylo porovnáno s lokálním modelem reliéfu (LRM) a vytvořeného rastrového 3D modelu v programu ArcScene (obr. 2, 4 a 5).

Na snímku LRM a 3D modelu je nejvýraznějším antropogenním objektem ZSV liniový úvoz o délce více než 500 m a šířce 7–10 m s výrazným sklonem stěn vedoucí ve směru jihozápad-severovýchod přes intravilán vesnice a zároveň úhlopříčně na současné lesní komunikace. Kolem úvozu jsou pravidelně rozmístěny objekty středověkých usedlostí, které se ve větší míře koncentrují na pravé straně úvozu. Nejvýrazněji se projevují na LRM zejména zahluobené konkávní objekty – zahlou-

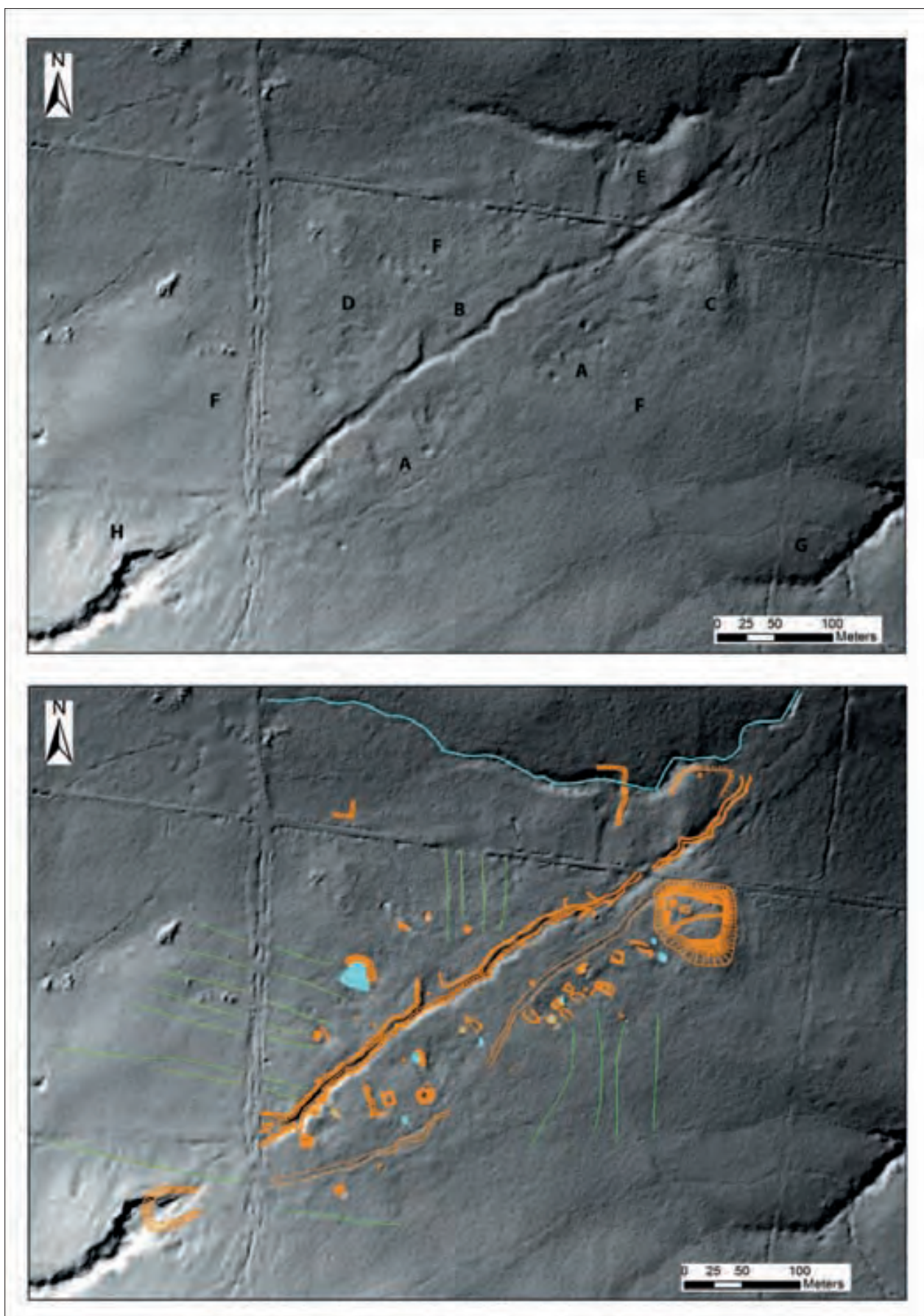
bené části domů (komory) a studny. Konvexní objekty jsou na snímku hůře patrné a jejich rozlišení na LRM je obtížné. Rozlišení pravidelných konvexních objektů usedlostí bylo obtížné i během předchozího samotného povrchového průzkumu, neboť přesné vymezení průběhu hran objektů bylo ztíženo jak vzrostlou vegetací, tak i spadnými suchými smrkovými větvemi. Lépe viditelné jsou pak hráze zaniklých vodních nádrží. Výrazně se projevila na LRM oválná vyvýšenina na severovýchodním okraji vesnice o rozměrech 90 x 70 m, na níž stál manský dvorec.

Během povrchového průzkumu nebyly zjištěny reliкты plužin. Na LRM se nevýrazné a místy přerušené linie plužin (mezních pásů) lesními cestami na několika místech objevily. Plužina je však značně nepravidelná a zjištěné reliкты neumožňují rekonstruovat zcela původní stav. Pravděpodobně se však jednalo o záhumenicovou plužinu lesní lánové vsi, neboť plužina místy navazuje na objekty usedlostí, i když značně nepravidelně. Severně od vesnice protéká drobná vodoteč, přítok Borového potoka. Ostře zařezané koryto potoka je na LRM dobře patrné, stejně jako hráz zaniklého rybníka. Posledním identifikovaným objektem během povrchového průzkumu byly základy novověkého seníku z 19. století, nacházejícího se poblíž křižovatky cest severně nad vesnicí. Seník se však nachází v husté smrkové školce a na LRM není vůbec patrný.

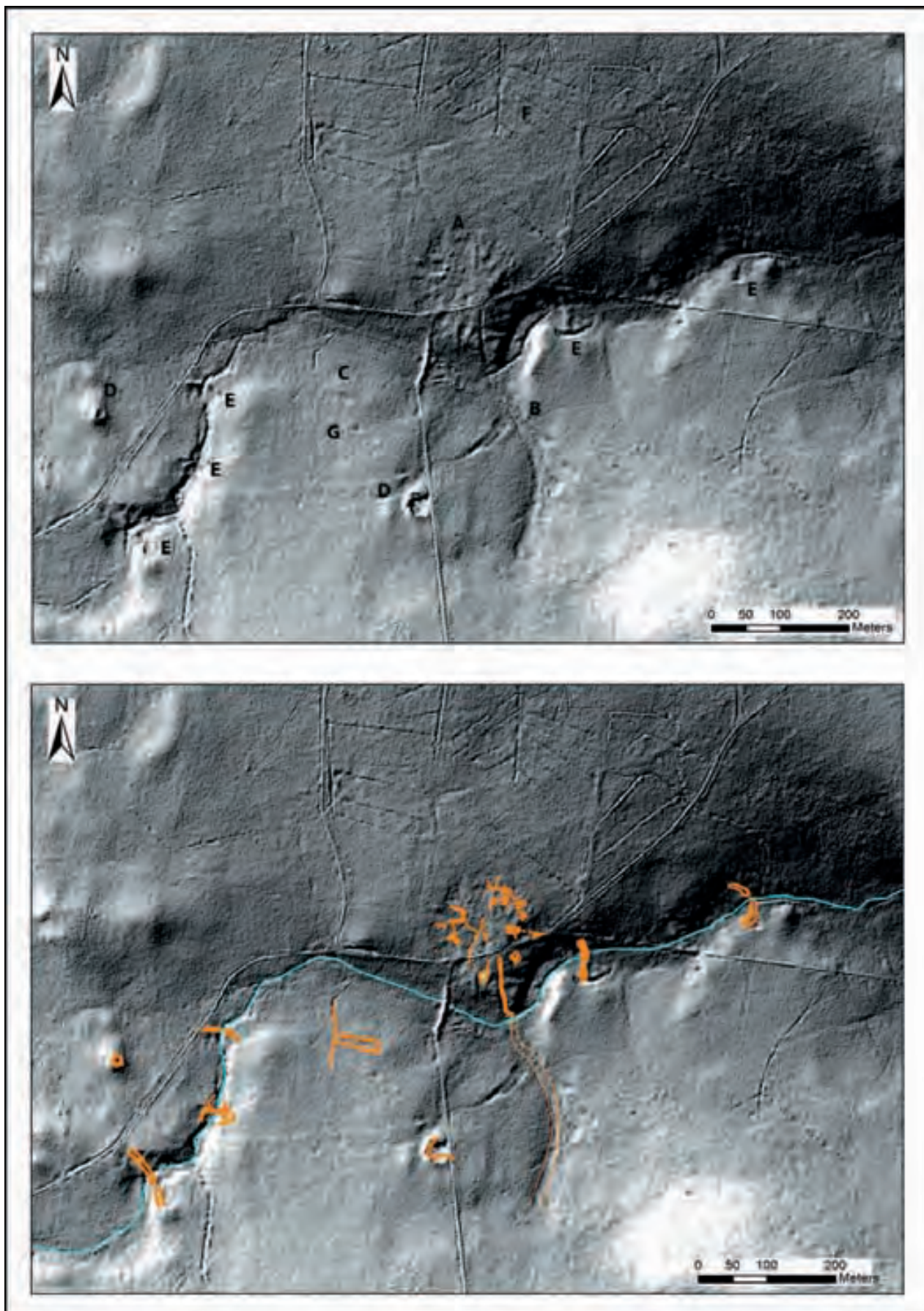
Přestože se vesnice nachází v nepřilíh hustém smrkovém lese, některé z menších převážně konvexních objektů ZSV nebyly ani na LRM patrné. Viditelné byly zejména liniové a konkávní objekty či výrazně větší vyvýšeniny. Horší kvalita zobrazení, byť upravená do podoby zvýrazněného a vyhlazeného modelu lokálního reliéfu (LRM), je způsobena jak samotným rozlišením, tak zejména spadnými suchými smrkovými větvemi, které mohou zkreslovat interpretaci některých objektů na snímcích (srov. John 2011a, 28).

5. Digitální model reliéfu (DMR) intravilánu a extravilánu zaniklé vesnice Žďár

Na 2,5 km severně vzdálené zaniklé středověké vesnici Žďár (k. ú. Kolný), ležící nad Borovým potokem o rozloze 1,6 ha, bylo nedestruktivním povrchovým a geodeticko-topografickým průzkumem zjištěno celkem 38 antropogenních objektů, které se koncentrují kolem oválného prostoru návsi (Čapek 2011, 234–235; Čapek – Baierl 2012, 193–201). Podle typologie půdorysu ZSV Žďár představuje malou lesní návsní vesnici. Z antropogenních objektů bylo zjištěno 16 pravidelných konvexních objektů, 5 konkávních objektů, dále liniové strouhy, hráze zaniklých rybníků a úvozová cesta vycházející od středu vesnice. Počet usedlostí stanovených na základě vymezení jednoduchých a vícedílných objektů byl přibližně šest až sedm. Rozměrově tyto usedlosti odpovídají půdorysům trojdílných domů pozdního středověku (srov. Vařeka 2004, 334; srov. Vařeka – Holata – Rožmberský – Schejbalová 2011, 334, 338, obr. 8). Na jejich stavbě se uplatňoval kámen a dřevo-hliněné

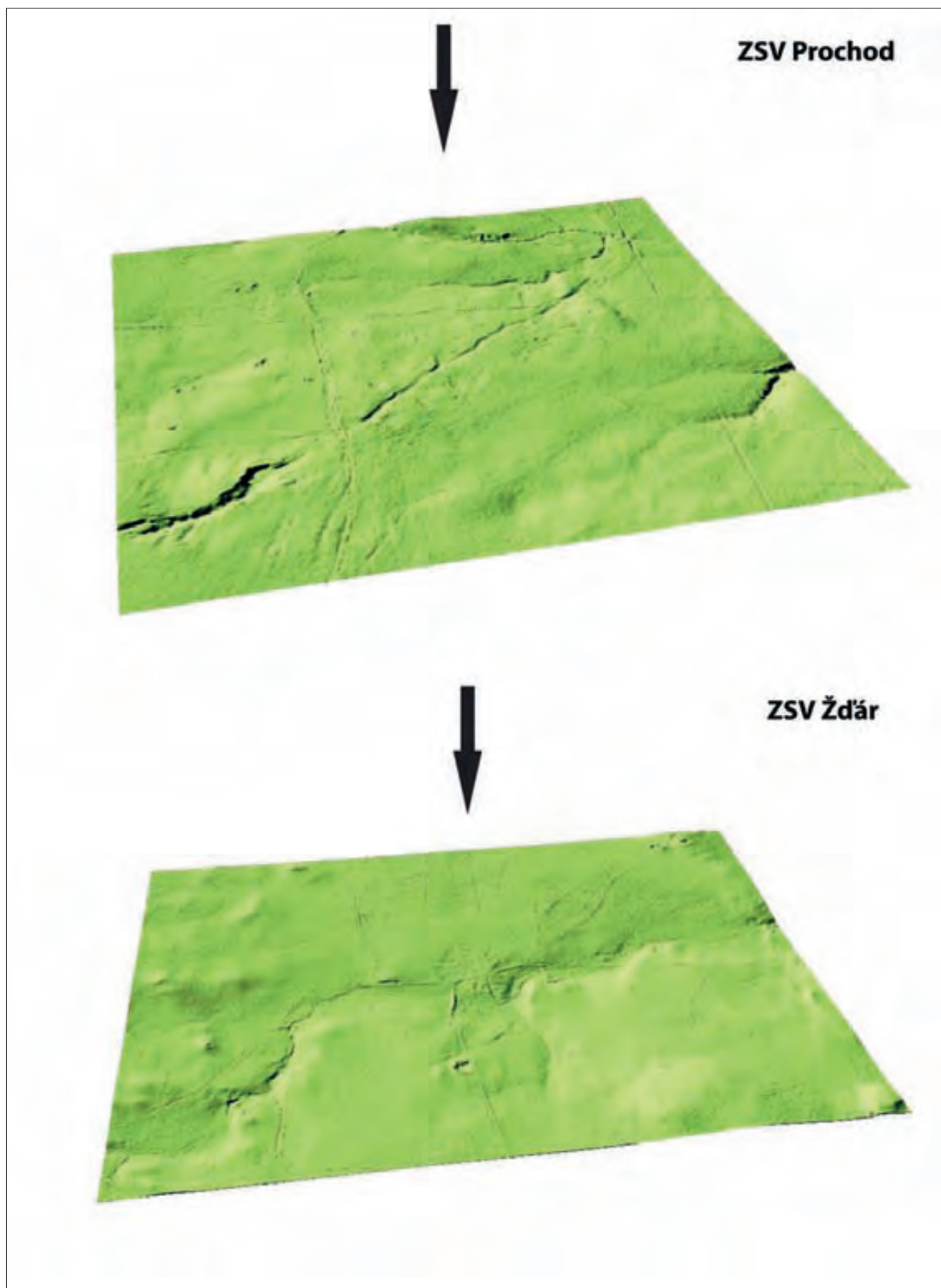


Obr. 2 – Zaniklá středověká vesnice Prochod. Srovnání lokálního modelu reliéfu (LRM) s geodeticko-topografickou dokumentací vesnice, A – intravilán vesnice s antropenními objekty zaniklých usedlostí, B – úvozová cesta u ZSV, C – manský dvorec, D – velký rybník, F – reliktý plužin, G – úvozová cesta, H – recentní těžba písku.
Fig. 2 – Deserted medieval village of Prochod. A comparison of the local relief model (LRM) with geodetic-topographic documentation of the village, A – the village site with anthropogenic features of the deserted structures, B – a trackway near the village, C – a farmhouse, D – a large pond, F – field system remains, G – a trackway, H – remains of recent sand exploitation.

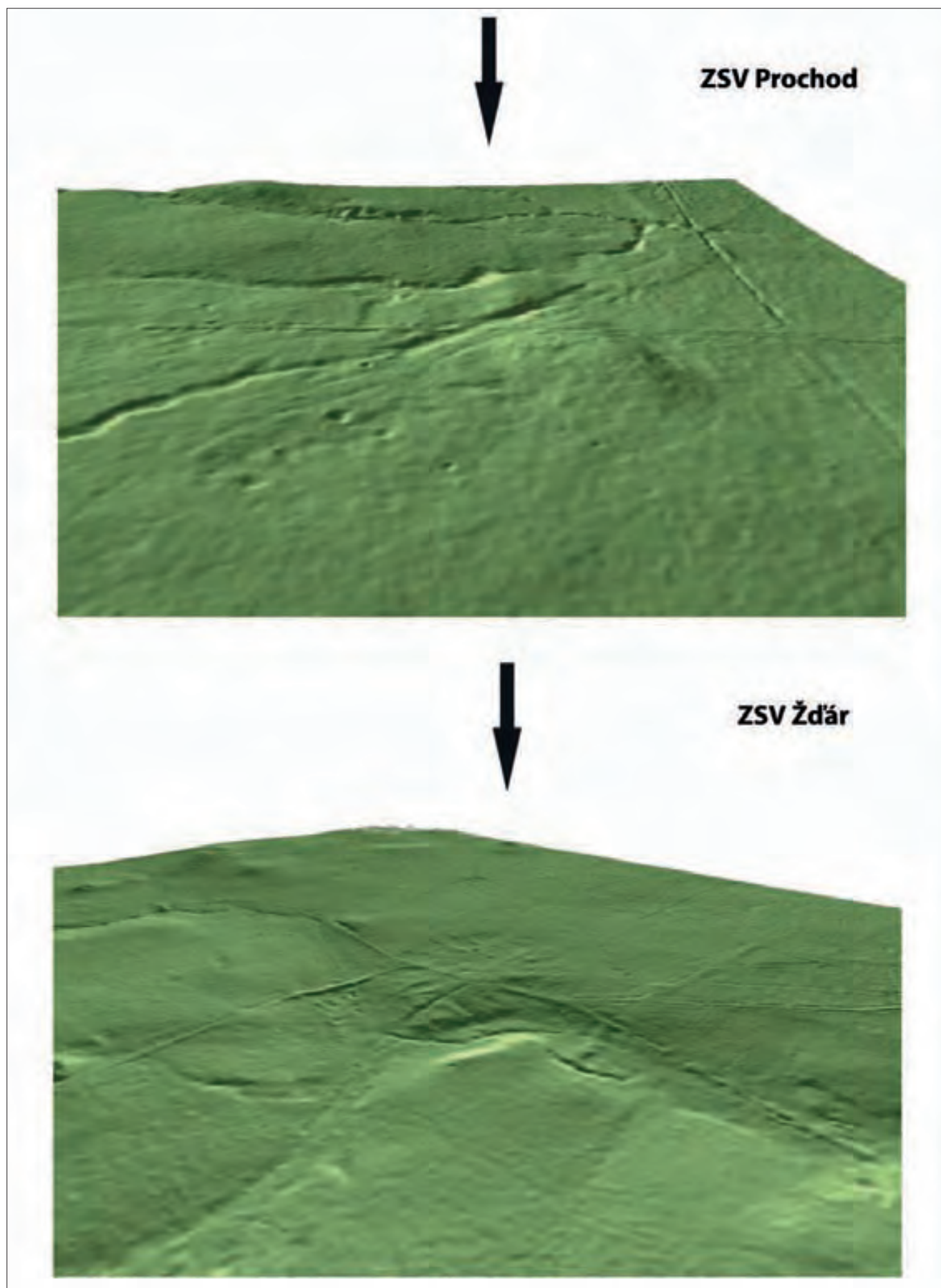


Obr. 3 – Zaniklá středověká vesnice Žďár. Srovnání lokálního modelu reliéfu (LRM) s geodeticko-topografickou dokumentací vesnice, A – intravilán vesnice s antropogenními objekty zaniklých usedlostí, B – úvozová cesta u vesnice, C – novověký ovčín, D – lomy na kámen, E – hráze zaniklých rybníků, F – recentní lesní meliorace, G – studna u ovčína.

Fig. 3 – Deserted medieval village of Žďár. A comparison of a local relief model (LRM) with geodetic-topographic documentation of the village, A – the village site with anthropogenic features of the deserted structures, B – a trackway near the village, C – a modern sheep house, D – quarries, E – pond dikes, F – recent forest melioration, G – a well by the sheep house.



Obr. 4 – 3D modelace intravilánů a extravilánů zaniklých středověkých vesnic Prochod a Žďár v programu ArcScene.
Fig. 4 – A 3D model of the deserted villages Prochod and Žďár and their vicinities in ArcScene software.



Obr. 5 – 3D modelace intravilánů zaniklých středověkých vesnice Prochod a Žďár v programu ArcScene.
Fig. 5 – A 3D model of the deserted villages Prochod and Žďár in ArcScene software.

nadzemní konstrukce podle nálezů destrukce kamenů a mazanice kolem objektů. Z povrchových sběrů a drobné zjišťovací sondáže jedné usedlosti byla získána vrcholně středověká keramika ze 14. – 15. století. Po zániku vesnice byl v polovině 16. století založen u vesnice režijní dvůr a ovčín a na Borovém potoce bylo založeno několik rybníků v průběhu 16. a 17. století (srov. Pletzer 1973, 10–11).

V rámci analýzy lidarových dat bylo geodetické zaměření zaniklé středověké vesnice Žďár pomocí totální stanice a GPS podobně jako u předchozí vesnice Prochod porovnáno s lokálním modelem reliéfu (LRM) a rastrovým 3D modelem vytvořeným v programu ArcScene (obr. 3, 4 a 5).

Již na první pohled je patrný na LRM zcela odlišný půdorys ZSV. Vesnice typu lesní návěsní ves se nachází u rozcestníku cest mezi Ševětínem a Velechvínem v poloze „U Doubku“. Velmi dobře patrný je na LRM kruhový půdorys vesnice. Středem vesnice dnes prochází lesní průsek. O něco horší je však již samotné rozlišení objektů jednotlivých usedlostí, které se koncentrují kolem kruhové návsi, a kde na rozdíl od Prochodu výrazně převažují konvexní objekty. Jednotlivé objekty se projevují na LRM více či méně neklidným povrchem. Nejvýrazněji je na LRM patrná hráz kruhového rybníka s výpustí, nacházející se v bezprostředním sousedství vesnice na západní straně. Jižně od vesnice se táhne ve směru sever-jih liniový relikt zaniklé úvozové cesty o délce téměř 400 a šířce 6–9 m. Vesnice se nachází v blízkosti Dubenského potoka, jehož zařízlé a meandrující koryto je na LRM dobře patrné. Na Dubenském potoce vznikly po zániku vesnice v 16. a 17. století rybníky, jejichž hráze jsou v reliéfu rovněž dobře patrné.

Přibližně 200 m jihozápadně od vesnice se na mírném svahu nacházejí relikt novověkého ovčína zaniklého během třicetileté války. Obdélný půdorys ovčína o rozměrech 80x40 m je dobře patrný zejména z důvodu v terénu dobře dochovaných průběhů kamenných konstrukcí. Jižně od ovčína byla objevena zaniklá studna. Z dalších aktivit zjištěných v extravilánu vesnice jsou lomy na kámen u lesních cest směrem na Velechvín a Chotýčany. Datace lomů nebyla zjištěna, ale lomový kámen je stejného typu,

jaký byl použit na stavbu ovčína a zpevnění hrází rybníků. Plužiny zaniklé vesnice nebyly zjištěny a ani se neprojevily na LRM. Výrazné paprskovité linie – rýhy severně od vesnice nejsou stopami plužin, ale jsou způsobeny lesní činností, zakládáním lesních školek a zejména lesními melioracemi.

6. Závěr

Přestože použitá data leteckého laserového skenování (LLS) mají sníženou kvalitu zobrazení, lze jimi za použití určitých analytických nástrojů v programech ArcGis dosáhnout zajímavých výsledků. Pro zobrazení dat se osvědčily analytické nástroje Focal Statistics a Math Plus k vytvoření lokálního modelu reliéfu (LRM), jež potlačil některé neostré přírodní reliéfní tvary k lepšímu zvýraznění antropogenních objektů. Za významné faktory ovlivňující zkreslení a kvalitu zobrazení lze považovat i hustotu lesního porostu. Ve Velechvínském polesí je převažující lesní dřevinou smrk. Četné suché spadané smrkové a borovicové větve mohly výrazně zkreslit kvalitu zobrazení některých objektů na základě zkušeností se zpracováním dat z leteckého laserového skenování (např. John 2011a, 28).

Zobrazené lokální modely reliéfu (LRM) umožnily identifikovat, studovat a interpretovat intravilány obou zaniklých vsí, projevující se odlišnou půdorysnou strukturou, počtem a charakterem usedlostí. K samotné identifikaci jednotlivých objektů usedlostí však tato data kvalitativně nepostačovala. Analýza DMR i LRM byla vhodná zejména k zobrazení antropogenních reliéfních tvarů v extravilánech zaniklých vesnic. Velmi dobře byly na DMR a LRM patrné liniové objekty – úvozy, hráze rybníků, koryta a meandry vodotečí, a v některých případech i plužiny. Dále bylo možné rozlišit výrazné konkávní objekty, například studny nebo těžební areály – lomy na kámen.

Z hlediska vizualizace a prezentace dat se velmi osvědčila 3D modelace reliéfu pomocí programu ArcScene, ve kterém bylo možné upravovat, měnit a uměle zobrazovat stínovaný reliéf pod různou hodnotou azimutu a úhlem umělého osvětlení. Pomocí ArcScene bylo možné snadno a rychle vyhledávat i antropogenní objekty, které nebyly na dvourozměrném LRM patrné.

Ladislav Čapek

11

The application of airborne laser scanning for the study of medieval and modern landscape of Velechvínský forest, region of České Budějovice

This study deals with the application of airborne laser scanning (ALS) or the so-called LIDAR data (LIDAR – Light detection and ranging), for the search, recording and verification of immovable archaeological features in Velechvínský forest (region of České Budějovice). Velechvínský forest represents a unique forest complex with the remains of two deserted medieval villages Prochod and Žďár. During the systematic non-destructive surface survey the village sites were geodetically surveyed using total station. Simultaneously, there was undertaken a systematic survey of the vicinities of both villages using GPS, during which many medieval and modern remains were

recorded. Geodetic-topographic survey of the deserted villages was compared with the LRM (LRM – Local relief modelling), created on the basis of a differential digital relief model with the aim of a clearer capturing of anthropogenic features on the principle of diminishing screening effects of fuzzy natural relief features. Also, a visualization of the digital models in 3D was used for the depiction of a raster model in ArcScene software. Applying LLS data and geodetic-topographic survey aided the verification and interpretation of the anthropogenic relief features in the vicinity of the deserted villages (trackways, pond dikes, mining remains, field systems, a sheep house).

12

Lidar a interpretace historického antropogenního reliéfu v zázemí dvou kostelů na Černokostelecku

1. Úvod

V rámci projektu Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (lidar), který probíhá pod vedením M. Gajdy na Západočeské univerzitě v Plzni od roku 2010, byla pořízena i data pokrývající část Černokostelecka. Zdejší krajina se dlouhodobě těší zájmu o problematiku zaniklého středověkého osídlení (především *Klápště 1978*, *Smetánka 1959*, *Smetánka 1961*). Hlavní předností je zde četný výskyt zaniklých sídel, která nepřežila sídelní transformaci, ale přitom jejich relikty nebyly převrstveny, neboť mladší osídlení se jim vyhnulo.

Významnou roli hrály v rámci středověkého a novověkého osídlení sakrální stavby. Dva kostely středověkého původu, Aldašín a Kozojedy, nacházející se ve snímaném polygonu 12 – Černokostecko, představují spolu s relikty zaniklého osídlení ve svém zázemí jedinečnou šanci na poznání jejich významu v sídelní síti prostřednictvím metod nedestruktivní archeologie (obr. 1). Tuto situaci podtrhuje i skutečnost, že v těsné blízkosti obou kostelů byl realizován archeologický výzkum a v zázemí kozojedské svatyně rovněž poměrně podrobné povrchové sběry. Z metodického hlediska vybízí ke srovnání i fakt, že zatímco okolí aldašinského kostela sv. Jiří je kompletně zalesněno, svatomartinský kostel stojí uprostřed polí, a množství terénních reliktních je zde proto diametrálně odlišné.

2. Kostely a jejich existence

Pro středověké stáří a farní status obou svatyní svědčí registr papežských desátků (1352, *Udassin 9 gr.*, *Kozoged 9.gr*, *RDP*, 50, obr. 2). Autentika z roku 1402, nalezená v roce 1729, dokládá k aldašinskému kostelu patrocínium sv. Jiří. Podle J. Kurky šlo již o druhou stavbu (myšleno zřejmě na tomtéž místě, *Kurka 1915*, 34–35). Řadu indicií staršího než novověkého datování nabízí i průzkum stavebně-historický, případně umělecko-historický (Kozojedy: *Merhautová 1971*, 149; *Podlaha 1907*, 98; *Hauserová 2010*; Aldašín: *Hauserová 2006*). V těsném zázemí aldašinského kostela byl během výzkumu P. Vařeky získán materiál datující sídelní aktivity do 13. století, respektive do 14. – 1. ½ 15. století u mladší rozlišené fáze (*Vařeka 2006*). Lokalita Aldašín zanikla jako sídlo až v novověku (*Klápště 1978*, 431). Výhodou kosteleckého panství a tím i sledované lokality je poměrně velké bohatství no-

vověkých písemných pramenů (*Procházka 1923*, 25). Přestože jejich analýza není primárním cílem tohoto textu, je třeba uvést alespoň některé. V souboru urbářů a gruntovnic panství Kostelec se mezi lety 1562 a 1661 vyskytují stabilně tři grundy¹². Podobně jako u nedalekého Vojkova lze soudit, že tři novověké grundy s výrazně většími urbárními povinnostmi, než je v okolí zvykem, jsou výsledkem mladšího scelování původně většího počtu hospodářství (Kodera 2009, 56–57).

V těsné blízkosti Kozojedského kostela byl proveden v roce 1972 záchranný archeologický výzkum, který ve shodě se staršími povrchovými sběry doložil postupné pustnutí lokality kolem roku 1300 a v 1. ½ 14. století (*Klápště 1978*, 465).

3. Analýza dat LLS

Analýza dat leteckého laserového skenování (dále i jen LLS) se soustředila víceméně jen na dva druhy objektů. Šlo především o liniové struktury, respektive relikty pracovních klasifikovatelných jako ohrazení nebo vymezení polních či pastevních parcel, případně doklady možné existence záhonů. Pozornost byla částečně věnována i reliktním komunikacím, protože ty vytvářejí při kontaktu s „polními systémy“ díky svému charakteru a četnosti nejčastější superpoziční situace, respektive doklady horizontální stratigrafie, které jsou při analýze dat LLS velmi důležité. Oba druhy reliktních jsou také dostatečně rozsáhlé, aby mohly reagovat na další objekty či parametry přírodního prostředí, což je rovněž významné pro jejich interpretaci.

Prvním cílem bylo rozlišit základní morfologické typy ohrazení, dále pokusit se o detekci superpozičních situací vypovídajících o vzájemné relativní chronologii nebo o vztahu k dalším komponentám zaniklé krajiny. Pozornost byla rovněž věnována základním mapovým dílům současným i historickým. Konečně posledním cílem bylo navrhnout interpretaci vybraných komponent, respektive alespoň popis indicií, které vypovídají o jejich možné funkci.

4. Výběr a popis objektů z dat LLS

4.1 Systém liniových objektů 1

První ze sledovaných objektů představují nízké a široké valy či hřbety, které tvoří systém kolmý na bezejmennou vodoteč prame-

12 zpracoval Mgr. P. Kodera, Ph.D., kterému zároveň děkuji za konzultaci



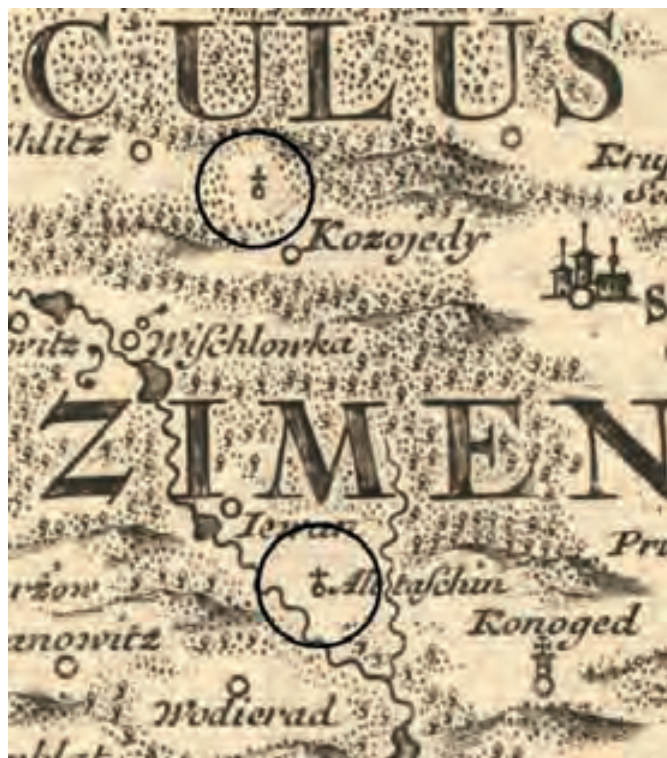
Obr. 1 – Situace analyzovaných výseků polygonu 12. Podkladová mapa – WMS ZM25, zdroj: ČÚZK
 Fig. 1 – The analysed sections of polygon 12.

níci severozápadně od aldašínského kostela¹³ (obr. 3, 4, 5, A – C). Typickým rysem je průběh nerespektující vrstevnice, valy či pásy široké cca 5 – 15 metrů na první pohled připomínají vrcholně středověkou záhumenicovou pluzinu. Té odpovídá šířka jednotlivých parcel, cca 100 – 120 metrů, pásy však na sebe v údolí navazují nepravidelně a na hřbetě mezi drobnými vodotečemi jsou pozemky ukončeny linií kolmou na jejich průběh (A). Zjistitelná výška

objektů je minimální, do cca 30 cm. Ohraničené plochy v jižní části systému (A) mají výměru přibližně 2 hektary, u ploch vymezených liniemi na severněji položeném terénním hřbetu (B) není jasné, zda jsou v polovině přerušené. V kladném případě by měly výměry zhruba poloviční než v předchozí situaci.

Interpretace je sama o sobě obtížná, k možné funkci ploch vymezených popsány pásy však lze uvést několik indicií. Pásy či valy nerespektují vrstevnice a jejich funkce tak zřejmě nesouvisí s omezováním eroze nebo zadržováním vlhkosti. Také se zdá, že využití takto ohraničených ploch bylo spíše intenzivní, extenzivní využití typu pastvy, kde by ohrazení mohlo například bránit zvěři ve vypásání luk, je spíše nepravděpodobné vzhledem k menší velikosti pozemků. Zdá se být rovněž pravděpo-

13 vektorizace objektů byla provedena na základě modelu reliéfu, interpolovaného ze zdrojových dat metodou Kriging s krokem 0,75 metru. K vizualizaci bylo provedeno nasvětlení z 8 základních směrů a generování vrstevnic po 20 cm. Za poskytnutí dat děkuji Prof. PhDr. M. Gojdovi, CSC. a za spolupráci s jejich expertem PhDr. J. Johnovi, Ph.D.



Obr. 2 – Aldašín a Kozojedy na Müllerově mapě z roku 1720, oba zachycené zvláštní mapovou značkou pro samostatně stojící kostely (Templa Solitaria).

Fig. 2 – Aldašín and Kozojedy on Müller's map from 1720, both highlighted with a special map marker for solitary standing churches (Templa Solitaria).

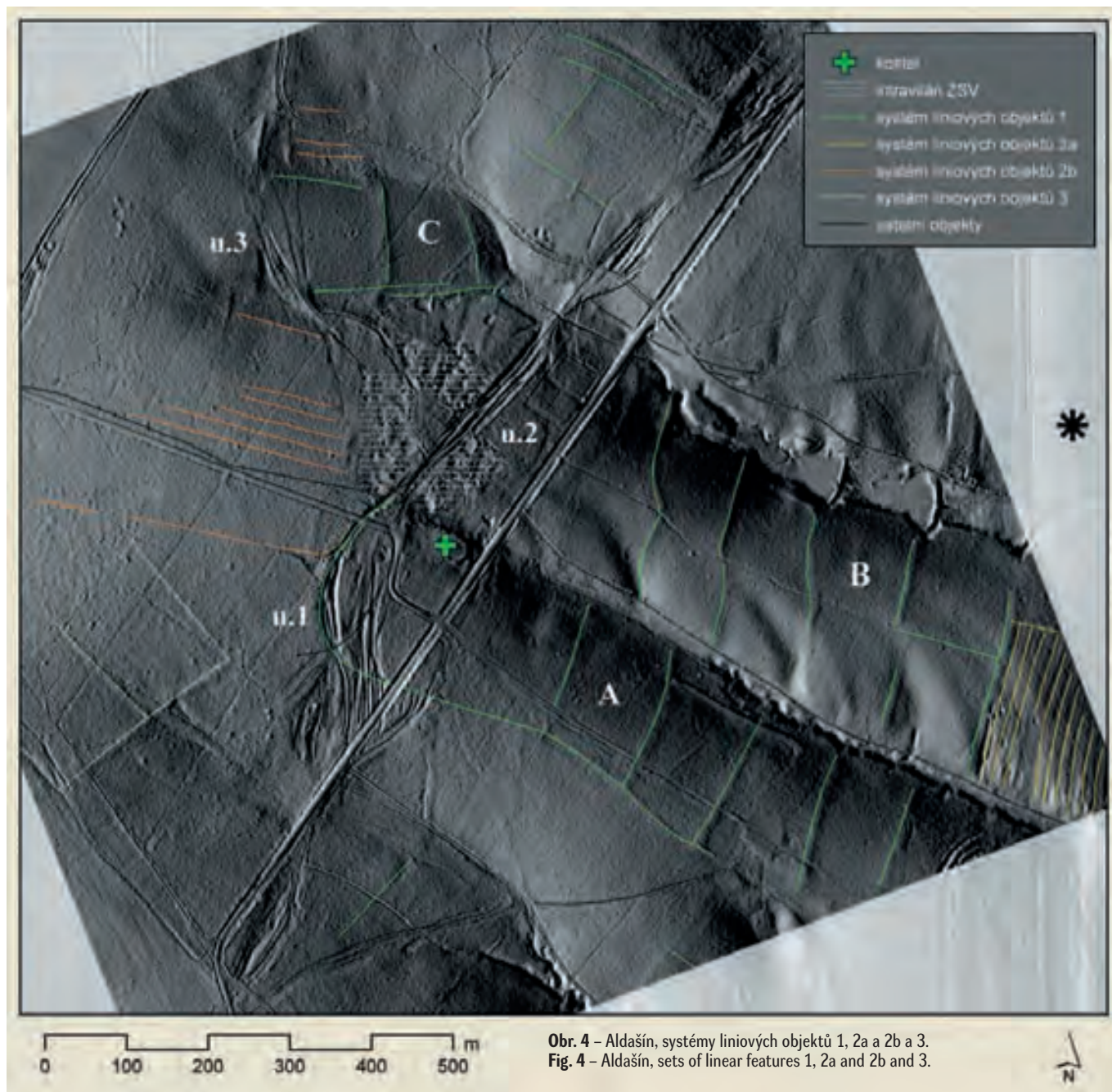
dobné, že jednotlivé pásy ohraničovaly majetek jednotlivých hospodářů. Pro interpretaci je důležitý i fakt, že pozemky vymezené popsáním způsobem se vyskytují minimálně na dvou místech v zázemí aldašinského kostela a vlastního jádra zaniklé vsi.

Z jihozápadu se celý systém zdá být uzavřen linií, která obloukem plynule navazuje na jednu (nejzápadnější) z několika rozlišitelných fází úvozového svazku 1 (obr. 6, u.1). Pro ten je charakteristické, že jeho již zmíněná nejzápadnější fáze (snad nejstarší?, červeně) výše popsaný komplex polních parcel spíše respektuje a obloukem se mu vyhýbá. Úvozy v jeho střední části (mladší fáze?) respektují západní část dnešní hřbitovní zdi a snad i ovlivnily orientaci krátkého úseku dnešní silnice v této části. Jako poslední, určitě však odlišnou, fází snad lze s opatrností posoudit poslední část úvozů – nejvýchodnější (modře), kdy cesta míjela kostel z vý-



Obr. 3 – Okolí kostela v Aldašíně na topografické mapě 1:10000 z roku 1952. Zdroj: <http://archivnimapy.cuzk.cz>; doplněno o analyzované reliktu.

Fig. 3 – the vicinities of the church in Aldašín on a topographic map 1:10000 from 1952.



Obr. 4 – Aldašín, systémy liniových objektů 1, 2a a 2b a 3.
Fig. 4 – Aldašín, sets of linear features 1, 2a and 2b and 3.

chodu. Přitom kolmo protíná linii, vymežující výše popisovaný liniový systém.

Výše uvedenou interpretaci je bez dalšího studia třeba brát jako předběžnou, je ale velmi pravděpodobné, že úvozový svazek 1 je pro porozumění osídlení v okolí kostela zásadní.

Rovněž ve druhé, a mnohem menší části popisovaného systému (C) ležící severně od kostela je důležitý jeho vztah k relikvům komunikace (úvozový svazek 3, (u.3)). Zatímco fáze 1 (červeně), která je snad starší, by spíše respektovala pozemky vymezené popisovaným systémem linií a mohla by tak být s nimi současná, další, patrně mladší fáze úvozů už je trasovaná odlišně (modře). Přestože respektuje směr valu, přetínajícího „ostrožnu“, má své pokračování v úseku, který míjí intravilán západně, a spadá proto pravděpodobně do jiné vývojové etapy osídlení.

4.2 Systém liniových objektů 2a a 2b

2a – I další z analyzovaných liniových relikvů tvoří relativně široké valy či hřbety, tentokrát však širší (okolo 12 m), které v hustém sledu běží ve směru SSV-JJZ (obr. 4, žlutá). Komplex nápadně připomíná středověké nebo novověké záhony a navazuje orientací na systém předchozí. Na snímku LLS lze rozlišit cca 11 pásů, s maximální zjištěnou délkou cca 190 metrů. Je možné, že důvodem vzniku záhonů v této části zázemí byl strmější svah k Bohumilskému potoku.

2b – Jako relikv záhonů se na první pohled jeví i systém linií označený jako 2b (obr. 4, hnědá). Rozlišit lze cca 6 pásů o průměrné šířce 12 metrů a maximální zjištěné délce cca 240 metrů. Proti předchozím relikvům jsou pravidelnější



Obr. 5 – Aldašín, DMR bez interpretace.

Fig. 5 – Aldašín, DTM without interpretation.

a výrazně méně ostře ohraničené, což může mít příčinu v tom, že se vyskytují v rovinaté části. Existence záhonů na Černokostelecku byla již v literatuře zmíněna. Z. Smetánka a J. Klápště je popisují jako klenutá pole na lokalitě Vyžlovka - Ve Spáleném, relikty polí obecně byly rozlišeny ještě v Dolánkách a Lažanech (*Smetánka - Klápště 1981*, 419, 424, 428, 431, 436 a 451).

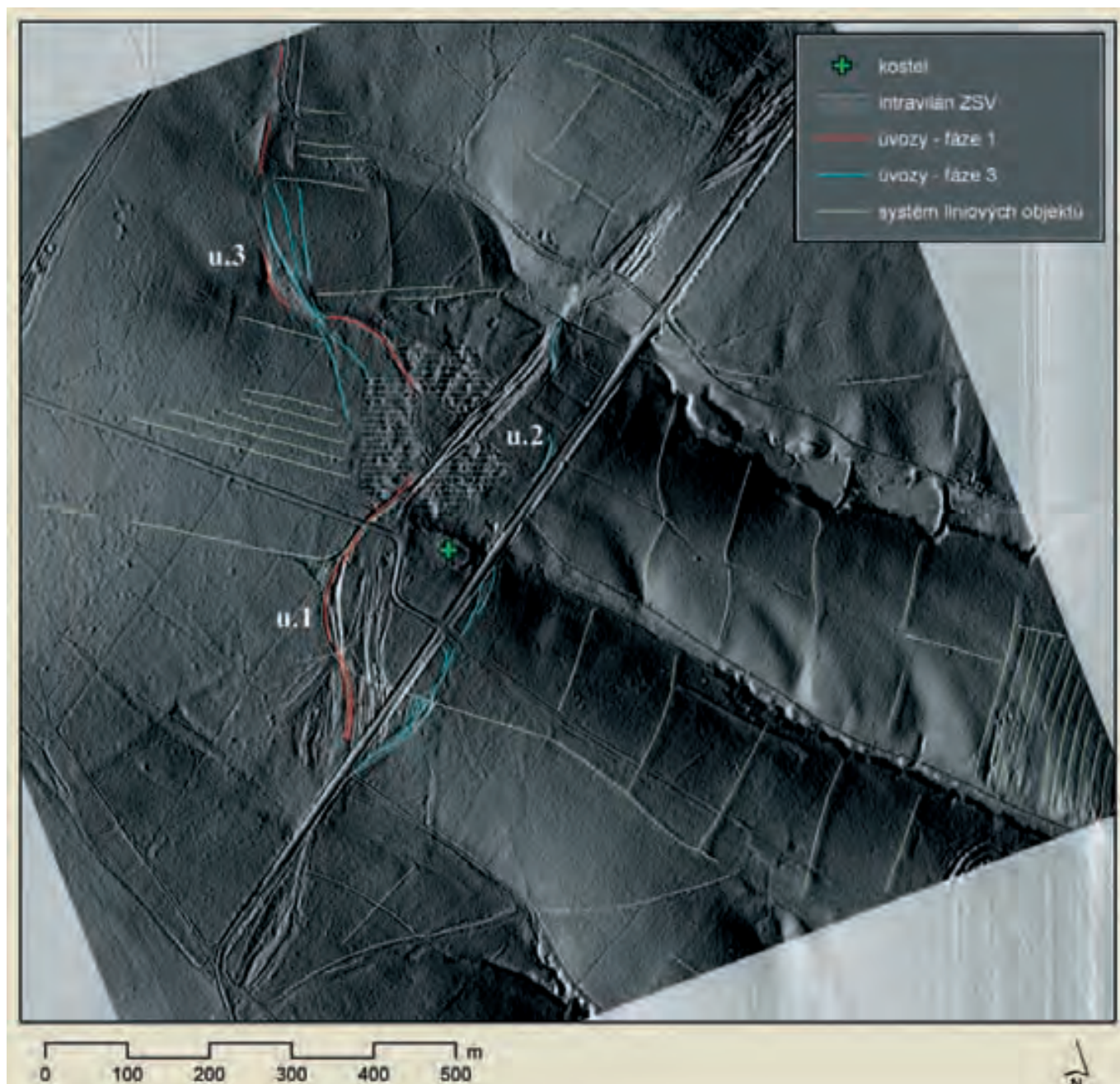
Na datech z LLS se podařilo rozlišit několik superpozičních situací – vazeb na jiné terénní objekty. Nejvýznamnější je relikv (pravděpodobně) cesty se stejnou orientací, který snad plochu s těmito pásy vymezuje od jihu. Stejně je orientován i kostel, což však může být náhoda. Současná cesta systém poměrně logicky ignoruje, stejně tak ale i její starší a klikatější průběh, který je dobře patrný na indikační skice stabilního katastru a částečně také i v současné katastrální mapě.

4.3 systém liniových objektů 3

Jde víceméně jen o 3 linie ve tvaru písmene m (obr. 4, velmi světle zelená). Snad se jedná rovněž o vymezení polních pozemků, které je však výrazně ostřeji ohraničené než u předchozích systémů. Vzhledem k absenci vazby na další objekty nelze k jeho možné funkci nic dalšího uvést.

5. Relikty komunikací a intravilánu

Bohatství zachovaných úvozových svazků na celé lokalitě, jakož i v nejbližším okolí, by si rozhodně zasloužilo detailní studii. V rámci otázek kladených v tomto textu se však omezím pouze na několik aspektů. Souvislost úvozových svazků a analyzovaných polních systémů již byla zmíněna v předchozí části, uvést je však třeba i vztah relikv komunikací ke kostelu a intravilánu zaniklé vesnice, protože i ten je důležitý pro správnou interpretaci liniových systémů (obr. 7).



Nápadný je například vztah intravilánu ZSV Aldašín a trasy komunikace ve směru Kostelec n. Č. l. – Stříbrná Skalice, respektive úvozového svazku 2. Ten se zdá být natolik výrazným zásahem do organismu intravilánu, že nutí k domněnce, zda buď celá trasa směrem od intravilánu k severovýchodu, nebo alespoň její vstup do něj, není mladší a zda komunikace směrem na Kostelec nešla původně severně od intravilánu (přes svazek 3). Základní forma vsi by pak byla tvořena dvěma řadami usedlostí orientovanými téměř přesně ve směru sever–jih (obr. 5), o čemž uvažuje již P. Vařeka na základě povrchového průzkumu (Vařeka 2006).

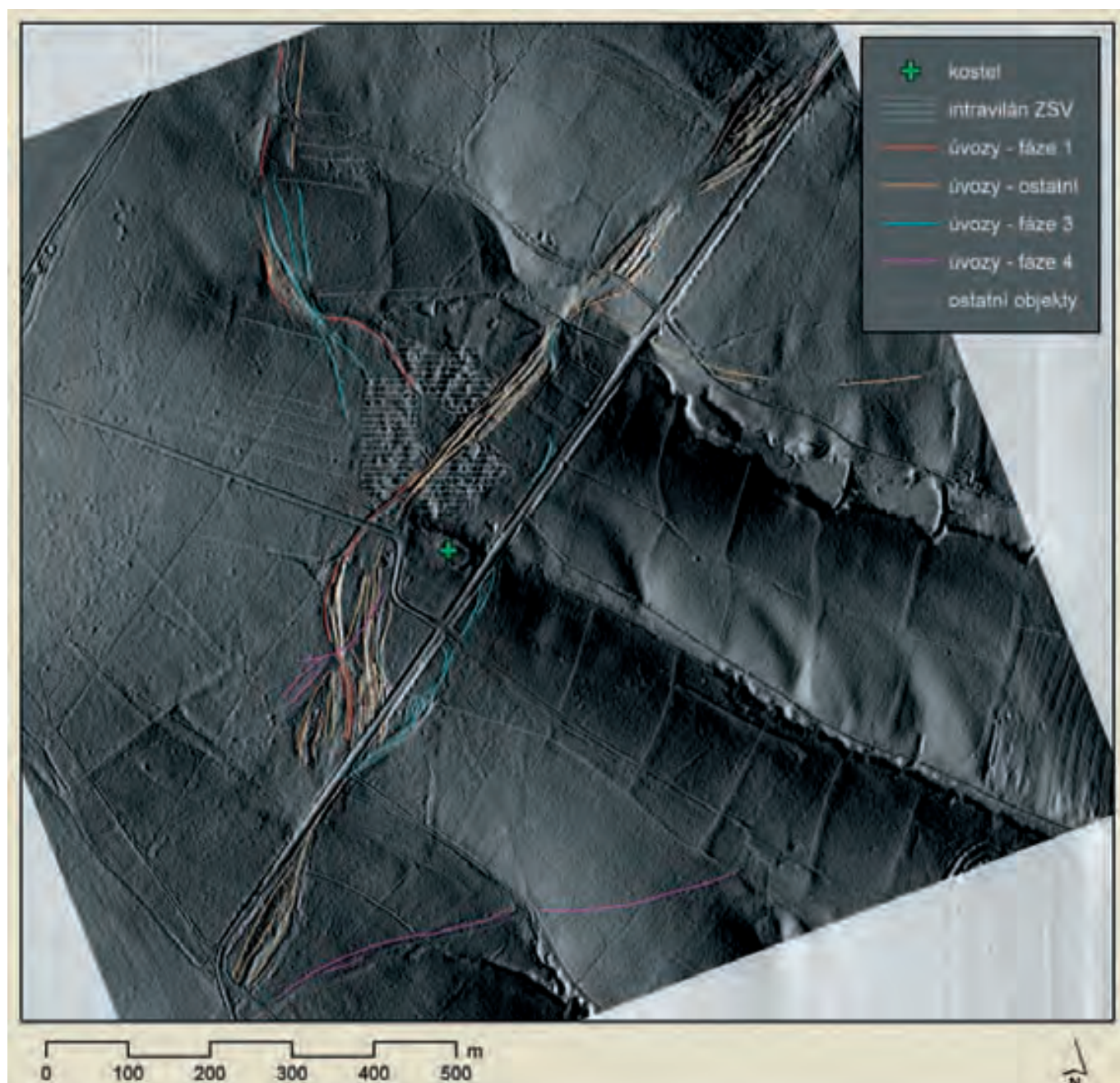
Druhou možností je návesová forma s trojúhelníkovým centrálním prostorem. Logický by byl její vznik ve vazbě na křižovatku komunikací, kde postupný nárůst intenzity provozu a snad i pustnutí gruntů v kontaktu s úvozovým svazkem 2 vedlo ke vzniku popsané spíše superpoziční situace.

Obr. 6 – Aldašín, fáze úvozů s řešeným vztahem k systému liniových objektů 1.

Fig. 6 – Aldašín, trackway phases with highlighted relationship to the linear features 1.

Pozorovaná struktura dvou řad usedlostí kolem komunikace nebo tří řad kolem trojúhelníkové návsi může však být až druhou sídelní fází. Starší vesnice 13. století mohla mít nepravidelnou strukturu, jak tomu bylo pravděpodobně třeba u nedalekého Vojkova (Vařeka 2009, 47). Indicií proměny sídla by mohla být i minimálně přestavba kostela, kterou naznačuje J. Kurka k roku 1402 (Kurka 1915, 35).

Jiný a nejspíše menší rozsah vesnického osídlení je možné předpokládat i pro novověké období. Nasvědčuje mu například rozdíl mezi třemi zmíněnými grunty novověkých urbářů a gruntovnic a počtem usedlostí, který je možné odvodit z pozorovaných reliktních intravilánu a který byl spíše, respektive minimálně, dvojnásobný. Další indicií je absence nálezů z 16. – 1. poloviny 17. století v sondách zkoumaných na ZSV Aldašín v roce 2006, přičemž



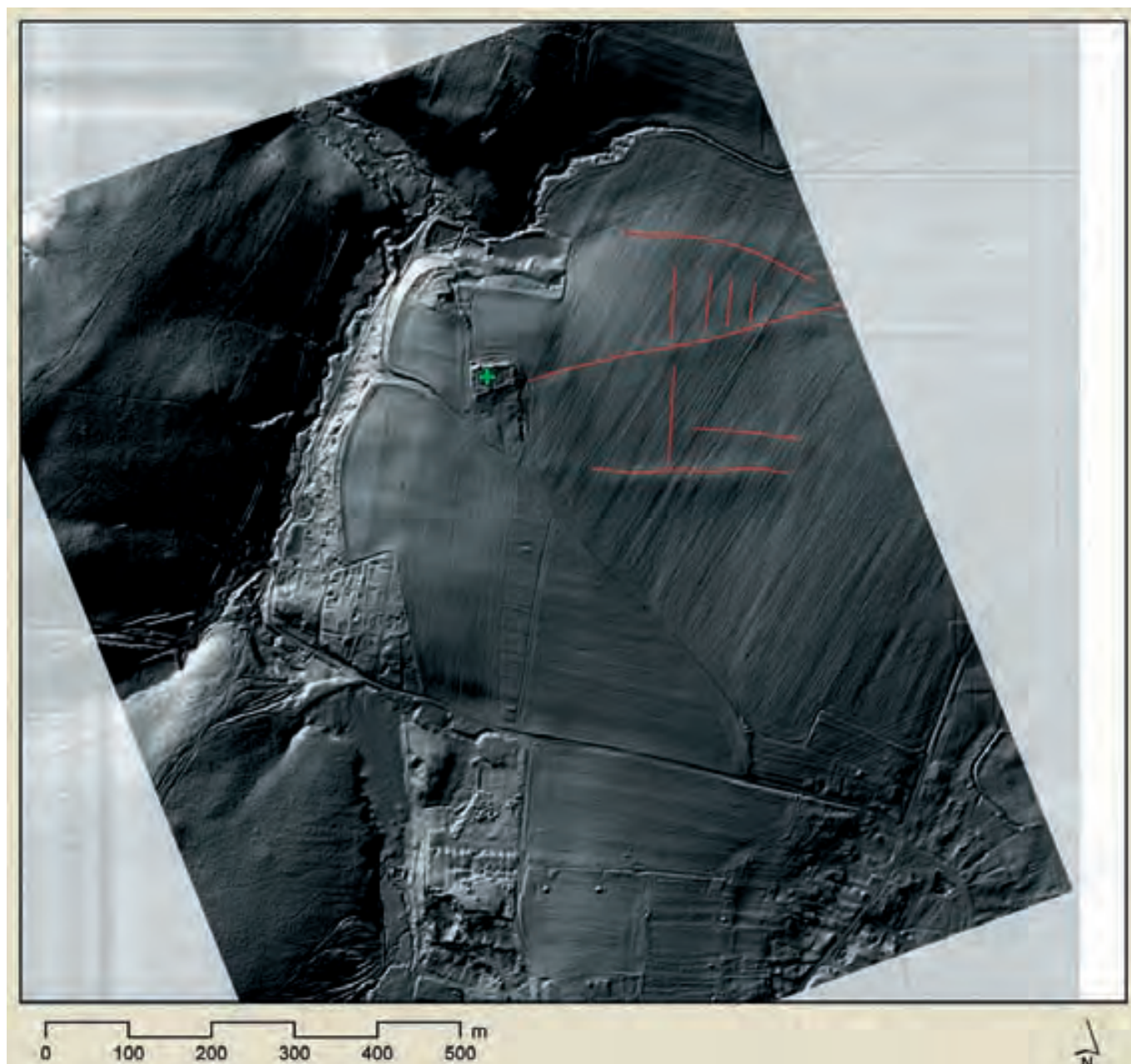
Obr. 7 – Aldašín, detekované úvozy.
Fig. 7 – Aldašín, documented trackways.

víme, že alespoň část intravilánu v novověku osídlena byla (Vařeka 2006). Podobně vypovídá i skutečnost, že u již zmíněného Vojkova se jinak nálezově nejpočetněji zastoupená nejmladší fáze vyskytuje jen na cca 1/3 zkoumané plochy (Vařeka 2009, 46).

Všechny detekované úvozy respektují polohu aldašinského kostela, dokonce včetně plochy dnešního hřbitova. Jeho současný rozsah je novodobý, menší původní rozsah je patrný například na indikační skice stabilního katastru. Kostel pravděpodobně původně stál na skalním výchozu a terén západně od něj ležel níže a byl členitější než dnes, čemuž odpovídá zobrazení několika nepravidelných parcel. Všechny úvozy rovněž obcházejí plochu jižně od kostela, na indikační skice užívanou jako zahrada s drobnou stavbou. O jejím využití může napovědět jen detailní archeologický průzkum.

6. Terénní ověření

K ověření detekovaných situací byl na části zázemí aldašinského kostela proveden terénní průzkum. Část jihovýchodně od současné silnice Penčice – Bohumil je bohužel nepřístupná kvůli ohrazené oboře. Ze systému liniiových objektů 1 byla proto ověřována jen malá část u úvozového svazku 3. Stejně jako u systému liniiových objektů 2a se však nepodařilo relikty v terénu identifikovat ani při přesném určení polohy, které bylo snadno dosažitelné jak díky GPS, tak například díky dobré viditelnosti moderních odvodňovacích rýh. Ty jsou výborně rozlišitelné na vytištěných výstupech dat LLS, které byly v terénu využity, ale i ve skutečnosti. Je přitom pravděpodobné, že liniiové objekty v terénu skutečně existují, jejich převýšení nad okolím je však dnes již tak malé, že nejsou vidět ani v lese bez podrostu. Velmi dobře byly naopak zřetelné všechny úvozové svazky, které byly ověřovány.



7. Další prameny a jejich využitelnost

Pro podporu výše naznačené interpretace lze využít i několika písemných zmínek v kosteleckém urbáři. Ten pro Aldašín specifikuje k roku 1562 berní povinnost jednoho z osedlých: „Fan [!] Řehořův platí z 2 lánů rolí o sv. Jiří 45 gr., též z příjemného z 53 záhonů a z kusu poli nad rybníčky i z rybníčkův tří 1 kopy gr.“ (*Urbář panství Kostelec n. Č. l. z r. 1562*). Přestože se zde nabízí možnost ztotožnit zmínku o paralelní existenci záhonů a lánů s různými druhy liniových systémů viditelných na datech LLS, je tento výklad spíše nepravděpodobný.¹⁴

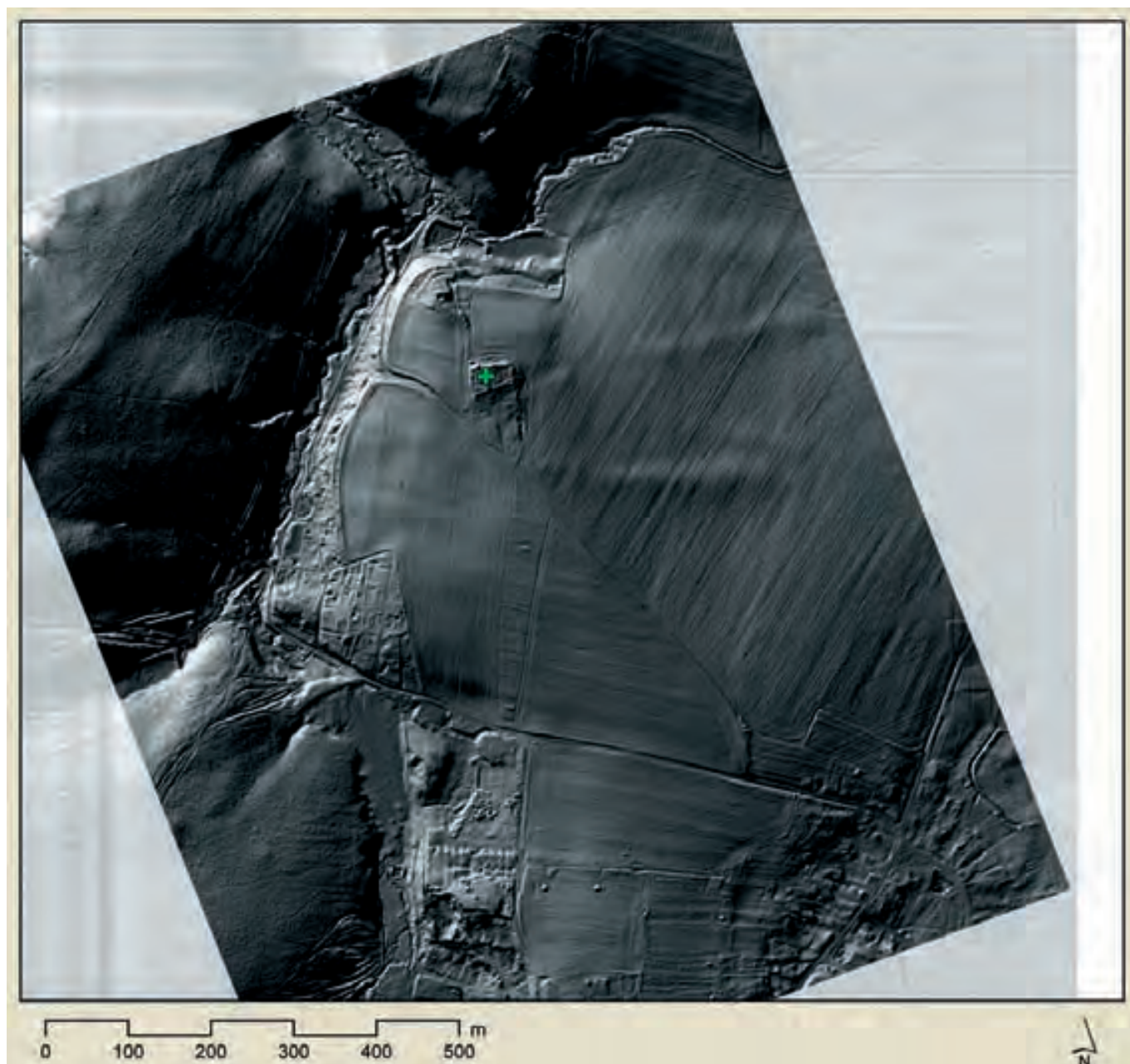
Termín záhon označuje nejspíše berní jednotku v systému, kdy se měřilo buď pouze na kopy a záhony – „v starodávném (prvotním) panství Kosteleckém“, nebo „na statcích později připojených na lány neb korce a též na kopy záhonů“

Obr. 8 – Kozojedy, analyzované liniové objekty.
Fig. 8 – Kozojedy, analysed linear features.

(*Sedláček 1923, 275*). Záhony zde pravděpodobně představují spíše starší jednotku, která byla během 17. století opuštěna (*Sedláček 1923, 356–357*). Na výkladu nejspíše nic nemění ani to, že dělení pouze na lány a záhony je spíše neobvyklé (*Sedláček 1923, 39–56*). Jednodušší je situace u tří rybníčků, jež vidíme jako funkční ještě na základní mapě 1:10000 z roku 1952 a které lze pravděpodobně ztotožnit se zmínkou z roku 1562 (obr. 3).

Jiným problémem interpretace písemných pramenů je, že lán na Černokostecku jako jednotka o cca 18 Ha (*Kodera 2009, 56*) by zahrnoval téměř třetinu sledovaného aldašinského zázemí, přičemž jednotky vymezené liniovými objekty (systém 1) jsou rozhodně menší.

¹⁴ za konzultaci děkuji Mgr. T. Klírovi, Ph.D.



Obr. 9 – Kozojedy, DMR bez interpretace.

Fig. 9 – Kozojedy, DTM without interpretation.

Základ nesouladu tkví nejspíše v rozdílných časových horizontech vývoje aldašínského osídlení. Jak již bylo zmíněno v části věnované intravilánu, lze podle dat LLS rozlišit reliktu cca 8 – 10 usedlostí, což dobře odpovídá výsledku povrchového průzkumu P. Vařeky (2006). Podobnému počtu osedlých by odpovídalo i rozdělení pozemků definovaných systémem liniových objektů 1, i když jejich vnitřní dělení je zatím nejasné. Tři platící osedlí z kosteleckého urbáře již pravděpodobně přísluší mladšímu horizontu, který je výsledkem scelování polností.

Poněkud jiný charakter mají další zmínky, u kterých lze uvažovat o prostorové vazbě ke konkrétnímu místu. Pomístní jméno „v Jonašatech“, které se v indikační skice stabilního katastru vyskytuje západně od kostela (hvězdička na obr. 4), má patrně svou paralelu ve zmínce „Jonas Herolt tu Martin Šmí-

dův“ (*Registra kladení peněz gruntovních na panství kosteleckém 1617*) a nejspíše i ve Vizitačním protokolu berní ruly, jenž zmiňuje pustý Jonášovský grunt o 90 strýších rolí. (1654). Zde se pravděpodobně jedná o doklad výskytu pozemků obhospodařovaných minimálně v novověku i v prostoru, kde se pomístní jméno vyskytuje. Přitom lze předpokládat, že plochy bližší k jádru vsi byly součástí hospodářského zázemí tím spíše. Existence zmíněného pomístního jména poněkud vzdáleného od kostela ukazuje, že části detekovaných liniových systémů jen torzovitě rozlišené v prostoru blíže ke kostelu se pravděpodobně nachází v prostoru v minulosti ještě relativně intenzivně využívaném.

K interpretaci systému liniových objektů 1 se lze vyjádřit i díky situaci u kozojedského kostela. Zde se relativně osamoceně rýsuje několik objektů obdobného charakteru (obr. 8, 9).

K poznání jejich funkce lze dobře využít mapu stabilního katastru, základní linie velmi dobře korespondují s cestou a několi-



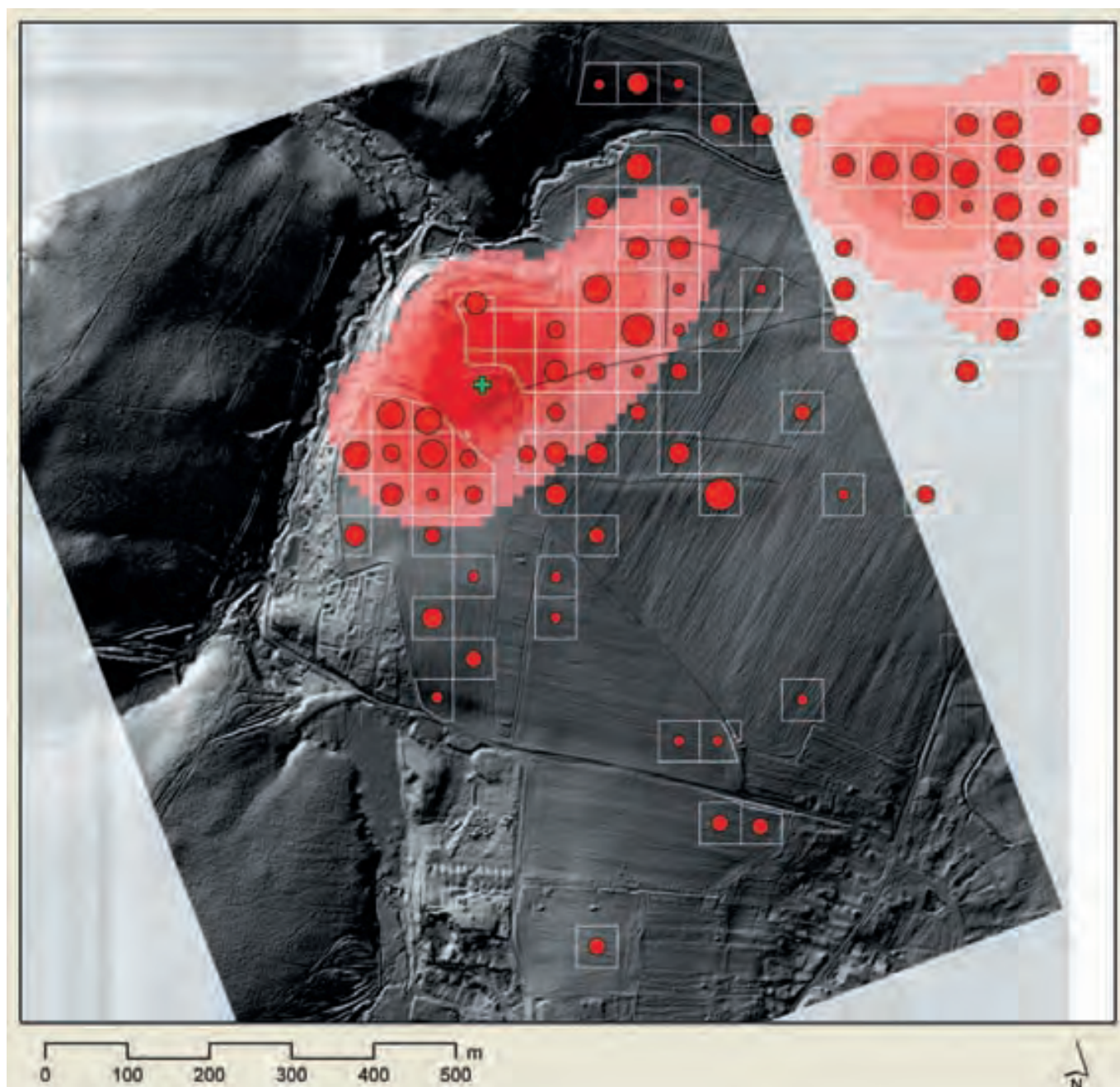
Obr. 10 – Kozojedy, mapa stabilního katastru - 1841, Zdroj: <http://archivnimapy.cuzk.cz>
 Fig. 10 – Kozojedy, cadastral maps – 1841.

ka základními mezemi blokové pluziny (obr. 10). Na strukturu parcel v sousedství kostela odlišnou od převážně traťového uspořádání většiny kozojedského katastru upozornil již J. Klápště (*Klápště 1978*, 459). S hypotézou, že tato „porucha v pluzině“ je reliktem staršího uspořádání polností, se zdají být v souladu i zjištěné objekty. Mají, stejně jako liniové objekty u Aldášina, charakter velmi nízkých, nicméně širokých valů či hřbetů.

Na části plochy s popsány relikty byly v roce 2008 realizovány povrchové sběry keramiky (obr. 11). Přestože jejich intenzita byla volena s ohledem na jiné otázky (*Malina 2011*, 81), dávají jejich výsledky další indicii k určení funkce liniových objektů.

V okolí kozojedského kostela se podařilo vymezit tři základní intenzity výskytu středověké keramiky současně se starší sídelní fází, kterou definoval, stejně jako níže zmíněné polohy, již J. Kláp-

ště (1978, 435–440). Tyto intenzity přitom pravděpodobně odpovídají třem různým sídelním aktivitám. Největší koncentrace se vyskytují v místě zaniklých sídelních poloh Kozojedy „Za lukama“ a na místě sídla existujícího při kostele. Nejspíše indikují prostor zaniklých usedlostí a jejich nejbližšího okolí (k diskuzi o vztahu povrchových koncentrací keramiky a místu původních usedlostí srovnej např. *Schofield 1989*; *Klápště – Tomášek 2000*). Protipólem jsou relativně „prázdné“ plochy, kde samozřejmě nelze vyloučit výskyt menšího množství keramiky přehlédnutého při průzkumu, existenci výše zmíněných koncentrací však víceméně ano. Mezi těmito póly leží plochy s relativně četnými nálezy, které však nevytvářejí koncentrace. To je případ i prostoru s lineárními objekty detekovanými na datech LLS. Rozptýlený výskyt keramiky v úzké vazbě na zaniklé sídlo u kostela by



Obr. 11 – Kozojedy, povrchové sběry ve čtvercové síti 50 m, interpolace metodou Kernel Density (Search Radius 125 m).
 Fig. 11 – Kozojedy, fieldwalking on a square grid of 50 m, interpolation using Kernel Density method (search radius 125m).

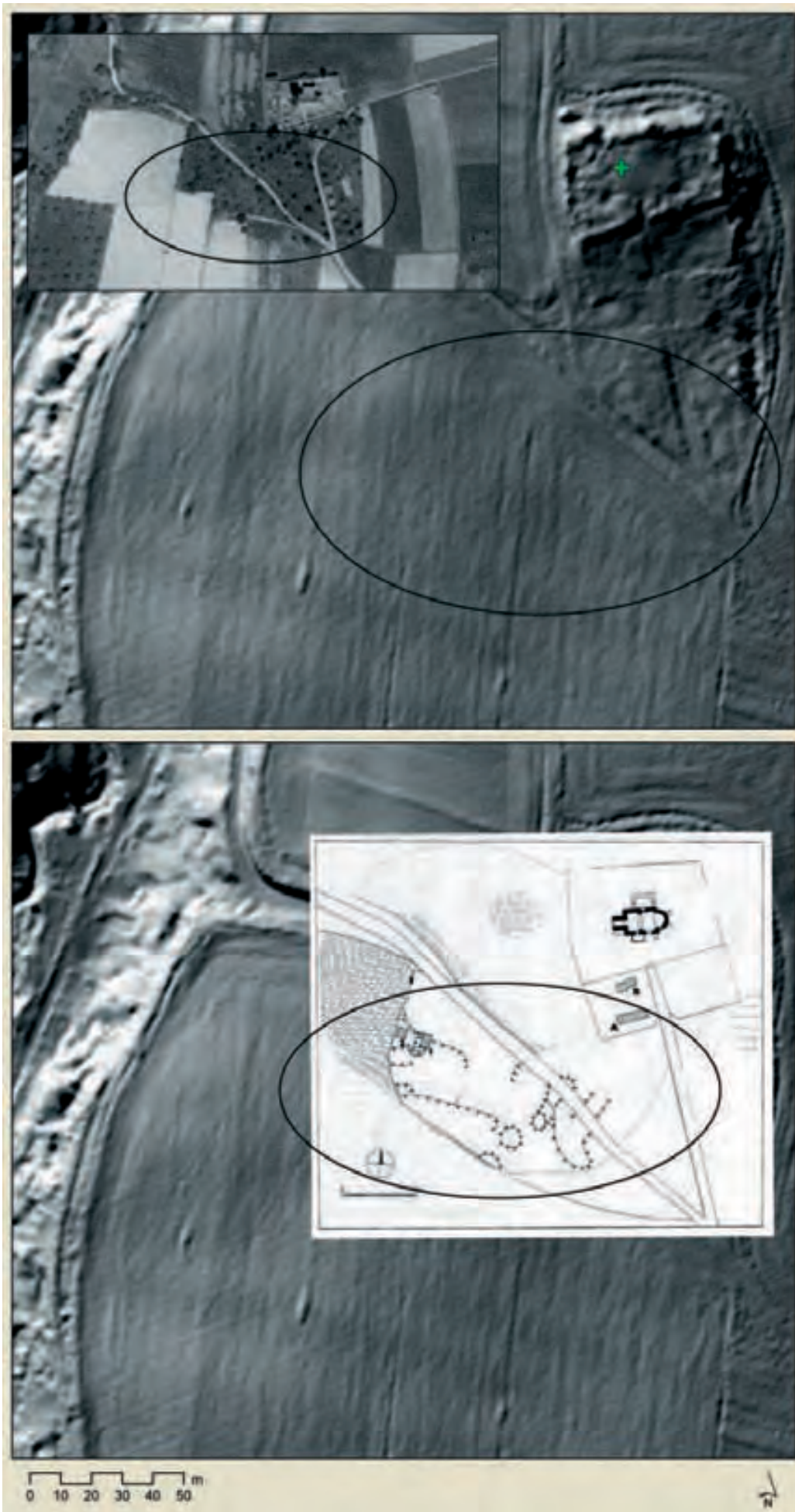
mohl indikovat přítomnost intenzivně obdělávaných polí, kde lze očekávat i hnojení. To odpovídá i situaci na lokalitě Lažany, kde Z. Smetánka a J. Klápště našli keramiku v prostoru zaniklého pole (*Smetánka – Klápště 1981, 424*).

Okrajovou zmínku je třeba věnovat recentním zánikovým transformacím. Na datech LLS je vidět, jak dokonale byl rozorán prostor, kde ještě v roce 1972 mohl J. Klápště zaměřit několik terénních reliktů zaniklého sídla ze starší sídelní fáze (Klápště 1978, 437 – obr. 8, zde obr. 12). Dnes se již tato komponenta projevuje jen koncentrovaným výskytem keramiky a z terénního reliéfu je dokonale vymazána. V této souvislosti není bez zajímavosti otázka, jak je možné, že výše popsané reliktů východně od svatomartinského kostela rozorání přežily.

8. Závěr

Dlouhodobě zalesněná krajina nabízí v otázce zaniklého osídlení především šanci na zachycení terénních reliktů samotných sídel, ale i na detekci méně koncentrovaných komponent, které sloužily k organizaci a využití okolní krajiny. Stejně tak je tomu na analyzovaných výsecích z polygonu 12, kde je bohatství zachovaných reliktů mimořádné.

Většina indicií získaných pouze z dat LLS naznačuje, že popsané liniové systémy jsou reliktem rozdělení parcel, pravděpodobně se zemědělským využitím. Nasvědčuje tomu jak nahlédnutí do písemných pramenů, tak i srovnání s výsledky povrchových sběrů. Ty navíc naznačují, že reliktů podobného systému liniových objektů 1 by mohly být současně se starší sídelní fází v zázemí kozojedského kostela sv. Martina, jejíž zá-



Obr. 12 – Kozojedy, rozorané objekty středověkého sídla. Dole zaměření z roku 1972 (J. Klápště), nahoře ortofotosnímek z roku 1952 (zdroj: <http://kontaminace.cenia.cz>) a současný stav (DMR).

Fig. 12 – Kozojedy, medieval features disturbed by manuring. Bottom – a survey from 1972 (J. Klápště), top – an orthophoto from 1952 and the current situation.

nik J. Klápště datuje do 1. poloviny 14. století (*Klápště 1978, 465*). Uvedené závěry je však třeba brát jako pracovní hypotézu, většina liniových objektů u Aldašina může být i novověkého stáří a vyloučit nelze ani funkci jinou než zemědělskou. Využití v rámci minulých aktivit spojených s mysliveckou činností je spíše nepravděpodobné.¹⁵

Důležitým klíčem k interpretaci objektů jsou v případě analýzy dat LLS analogie. Při aplikaci na polní systémy to například znamená, že není-li možná interpretace určitého typu objektů na jednom místě, je při pokrytí větší oblasti šance na nalezení stejného druhu reliktů v takovém vztahu či superpozici s jinými objekty, který už může relativní chronologii nebo funkční souvislost osvětlit. Z výše uvedeného vyplývá i význam kvantit, které je technologie LLS schopná zajistit. Čím větší množství určitého typu reliktů jsme schopni detekovat, například i pomocí metod automatické extrakce objektů, tím větší je šance, že zkoumaný objekt zachytíme v interpretovatelné vazbě s objekty s jasnějším datováním či funkcí. Zároveň je však třeba zmínit určitý „lidarový paradox“. Technologie LLS nám pravděpodobně již brzy nabídne v rámci nedestruktivní archeologie mimořádné množství často velmi podrobných detailů o zaniklém osídlení. Jejich interpretace však na druhou stranu bude vyžadovat rozsáhlou znalost kontextu, ať už transformačních procesů nebo obecně škály projevů minulých aktivit na povrchu krajiny.

Zpřesnění navržené hypotézy lze očekávat i od detailního studia dalšími archeologickými metodami a od důkladnější analýzy písemných pramenů. Napomoci by mohl terénní výzkum konkrétních situací, byť možnosti archeologie jsou u liniových objektů obvykle omezené. Výběr vhodných situací pro terénní revize archeologickou sondáží však lze chápat jako je-

den z důležitých úkolů analýzy LLS. K důkladnějšímu zpracování zvoleného území vybízí i bohatství novověkých písemných pramenů, které již často mají potřebnou míru prostorové podrobnosti, jak bylo naznačeno na aldašinském příkladu.

Základní charakteristikou rozsáhlého souboru reliktů, který je detekovatelný v zázemí obou kostelů, je obtížnost srozumitelného rozlišení vývojových horizontů. Jde o stejný palimpsest, jaký zná třeba letecká archeologie z šikmých i kolmých snímků území s dobrou viditelností reliktů. Většinou hned několik etap osídlení zanechalo své stopy na jednom a totéž „kulturním“ povrchu. I na lidarových datech, jejichž analýza je základem tohoto textu, je patrná jak řada dokladů vývoje a změn v uspořádání pluziny nebo trasování komunikací, tak i existence komponent, které evidentně vznikly v úzké prostorové návaznosti. A fakt, že pozorujeme více horizontů či vrstev sídelních aktivit najednou, je komplikací i výhodou zároveň.

Celá předkládaná práce je chápána jako víceméně první fáze průzkumu, kdy je kladen důraz na podrobnou prohlídku výstupů LLS a konfrontaci s dobře dostupnými historicko-geografickými a písemnými prameny. Žádoucí detailní terénní a archivní průzkum zde chápu jako náplň fáze navazující, která by již pracovala s dobrou znalostí vypovídacího potenciálu terénních reliktů na konkrétním území.

Domnívám se, že analýza LLS má cenu nikoli jen jako součást hlubší sondy o malém území, ale i jako spíše plošná samostatně uchopitelná fáze výzkumu, která definuje vypovídací schopnost určitého mikroregionu vzhledem ke konkrétním otázkám. Jako výstup pak lze brát například typologii reliktů, jež se na vybraných lokalitách bude ověřovat například povrchovými sběry nebo detailním studiem písemných pramenů.

15 za konzultaci děkuji Mgr. D. Tumovi, Ph.D.

Lidar and the interpretation of historical anthropogenic relief in the vicinities of two churches in the region of Černý Kostelec

Two isolated churches of medieval date in the centre of Černý Kostelec region represent a great opportunity to study the development of medieval and modern settlement system in their hinterlands. The existence of fields in the proximity of St. Martin in Kozojedy made possible the undertaking of a field surface survey; the long-established forest in the vicinities of the church of St. George in Aldašín offered a great opportunity for the identification of remains in the terrain relief (Fig. 1, 2).

The analysis of ALS data focused on the remains previously interpreted as estate (field) boundaries and on the communication system of trackways. Attention was also paid to the site of the deserted village of Aldašín which is located near the church of St. George (Fig. 3, 4, 6, 7, horizontal hatching, green cross – church).

Linear features, the most markedly visible features on ALS data, probably demarcated the individual estates (Fig. 3, 4, 6, A – C). These are probably the original farmers' estates, which were later incorporated into larger units as we can see from the modern written sources. The use of these estates was probably quite intensive and these complexes can be found in many places in the vicinity of the church. Two more complexes of linear features near the church are probably of agrarian origin too. They most likely represent medieval flowerbeds (Fig. 4, yellow, brown). Both probably are of a different origin, but a hint for their function is the connection to the first linear system. The results of fieldwalking near the church of St. Martin in Kozojedy represent another indication of the agrarian function of

the first system. Similar linear features, which could have demarcated the individual fields near Aldašín can be found to the east of the church (Fig. 11). By the density of occurrence of medieval ceramics we can predict here some intensively used fields in the vicinity of houses. The lines delimiting the extent of estates reflect the boundaries of plots recorded on the cadastral maps from 1841 (Fig. 10).

The key element for determining the function and probably also the date are the cases, where the features cut into each other or they are related. For example, in the case of the systems of trackways in Aldašín, we can distinguish three chronological phases, when some reference the above mentioned linear features and others cut into them (Fig. 10). The terrain cuts of the past communication networks are very well apparent in the field, as opposed to the linear systems, which could not have been verified by the field survey. This illustrates the potential of the fine grained ALS data. It is very likely that the remains recorded exist in the terrain, but erosion and recent woodland management levelled them to such an extent that they cannot be distinguished even in a forest without undergrowth.

The aim of this paper is to determine the potential of anthropogenic relief in an area influenced by the medieval settlement transformation. The whole study is understood as a first phase of research which establishes the potential of remains in particular areas, assists the selection of sites for archaeological excavation or shows the possibilities and limitations of the modern written sources, which are relatively abundant for this region.

13

Využití leteckého laserového skenování na příkladu mapování a dokumentace zaniklých vesnic středověkého a novověkého charakteru v Čechách

1. Region Rokycanska

V roce 2005 byl zahájen dlouhodobý projekt v rámci výzkumného projektu *Opomíjená archeologie (2005–2010)*, jehož hlavním řešitelem byla Katedra archeologie Západočeské univerzity v Plzni. Součástí tohoto projektu byla sekce, orientovaná na výzkum efektivitu aplikace archeologického výzkumu v zalesněných oblastech. Tento typ přírodního prostředí umožňuje zkoumat archeologické památky, jejichž relikty nebyly vystaveny destruktivním procesům v podobě zemědělské či stavební činnosti. Z tohoto důvodu je možné archeologickým výzkumem analyzovat takové typy situací, o jejichž existenci svědčí dodnes zachovalé a především mapovatelné nadzemní relikty dílčích komponent (*Vařeka 2006, 7–12*).

Hlavní chronologické zaměření projektu bylo orientováno na problematiku zaniklého osídlení mladšího středověku a časného novověku. Primární tematické okruhy byly orientovány na oblast archeologických transformačních procesů lesního prostředí, na analýzu sídelní struktury a podoby vesnických sídel (*Vařeka 2006, 7; 2007, 150–152*).

V rámci tohoto projektu bylo již zpracováno a částečně publikováno celkem 12 zaniklých středověkých sídelních areálů (*Vařeka 2006; 2007, 150–157; 2008*). Zaniklé středověké vesnice Javor a Sloupek představují jedny z nejlépe prozkoumaných situací celého souboru. Vzhledem k povaze daných lokalit, jež se dá definovat jako archeologicky velice obtížně analyzovatelná oblast, bylo v obou případech aplikováno letecké laserové skenování. Tato situace reprezentuje příkladovou studii aplikace možných kombinací verifikačních archeologických metod na datových podkladech leteckého laserového skenování.

1.1 Zaniklá středověká vesnice Javor (okr. Rokycany)

Tato vesnice byla situována do prostředí Štáhlavského nebo také Kozelského polesí západních Čech nedaleko (cca 1500 m) obce Kornatice. Prostorové vymezení osady je situováno v mírném svahu pánve bezejmenné vodoteče, jež se vlévá do Kornatického potoka. Nadmořská výška této lokality se pohybuje v rozmezí 450–480 m. Podloží je zde tvořeno břidlicemi a drobyspilitového komplexu algonkia, které překrývá zvětralinový plášť svahových sedimentů (*Veselá 2008, 27–28*) (obr. 1).

První zmínky pochází z druhé poloviny 14. století (predikát Čáslava z Javora), a její zánik lze datovat na konec 16. století (*Veselá 2008, 28*).

1.1.1 Terénní úzkum

Od roku 2007 zde bylo provedeno několik výzkumných etap nedestruktivních výzkumných praktik. Prvotní fází byla terénní prospekce dané oblasti a rekognoskace reliktní. Následovala fáze tachymetrického zaměřování a tvorby kompletního plánu prostoru osady prostřednictvím totální stanice Leica TCR 407 (*Veselá 2008, 29–30*). Vytvořený digitální půdorysný plán se stal východiskem pro aplikaci podrobnějších analýz, orientovaných především na strukturální vymezení sídelní aktivity, jednotlivých usedlostí a na jejich interpretaci. Součástí výzkumu byla také snaha o vytvoření a zmapování komunikační sítě intravilánu vesnice. Relikty představující jednotlivé usedlosti jsou soustředěny do podkovovitého tvaru okolo severní části luční enklávy, jež tvoří cca polovinu celé lokality. Celkový počet zaměřených objektů je 93. Jejich podrobný popis uplatnila R. Veselá v rámci své studie (*Veselá 2008, 30–39*).

Volba metodiky aplikovaného výzkumu prokázala vysokou efektivitu. Míra informačního potenciálu, jehož bylo dosaženo navrženým postupem R. Veselé, byla nadstandardně vyčerpána vzhledem k možnostem aplikovaných metod a typu lokality (náročný zalesněný terén). Limitní faktor dosažení kvalitnějších informací představovaly přírodní podmínky a georeliéf. To bylo také důvodem, proč byla analýza extravilánu vsi považována v rámci výzkumu pouze za okrajovou záležitost, a to i přesto, že si R. Veselá jeho význam pro interpretační výstupy plně uvědomovala.

1.1.2 Letecké laserové skenování

V roce 2010 byla Katedrou archeologie získána data leteckého laserového skenování úseku asi 10 km² v oblasti Štáhlavského polesí. Při výběru rozsahu a polohy skenovaného polygonu do něj byla záměrně zahrnuta také zaniklá středověká vesnice Javor a její okolí. Primárním důvodem tohoto rozhodnutí byl fakt předchozích výzkumných aktivit, jež byly na lokalitě uskutečněny a možnosti srovnání dosažených výsledků terénního výzkumu s výstupy leteckého laserového skenování. Hlavní záměr byl orientován na porovnání využitelnosti dílčích metod a vyhodnocení časových, finančních a kvalitativních aspektů.

Lidarová data byla získána prostřednictvím grantového projektu od německé firmy Milan Geoservice GmbH jako surová (*las) i filtrovaná (*asc) data v souřadnicovém systému UTM / WGS – 84. Snímkování bylo uskutečněno skenerem



Obr. 1 – Poloha zaniklé středověké vesnice Javor (okr. Rokycany), mapový podklad 1: 50 000.

Fig. 1 – The location of the deserted medieval village of Javor (Rokycany region), map 1:50 000.

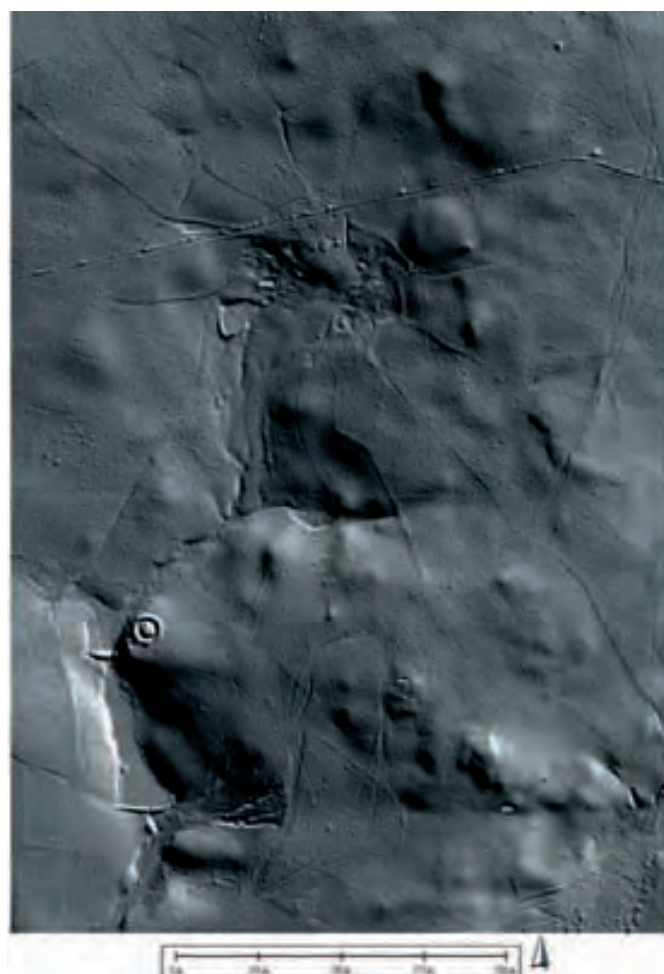
Riegel LMS-Q560 v březnu roku 2010 v letové výšce 600 m. Finální síť bodů (grid) byl vyhotoven s rozlišením 1 x 1 m a hustotou 1–2 body/m².

Po prvotním zpracování dat a vytvoření rastrového digitálního modelu terénu byl jako výchozí vizualizační algoritmus zvolen stínovaný model. Ten se také stal základním srovnávacím podkladem pro následné verifikační metody (obr. 2).

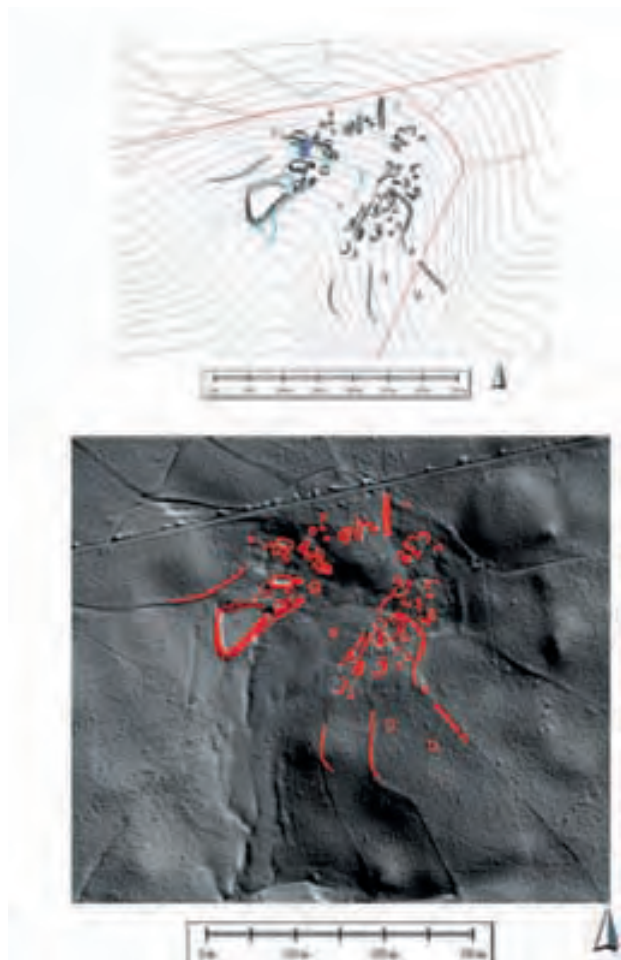
Porovnáním výsledků pozemního zaměření situace pomocí totální stanice a viditelnosti jednotlivých objektů na lidarových snímcích je na první pohled zřejmá vysoká polohová přesnost tachymetrického zaměření ve srovnání s digitálním modelem. Po měření parametrů přesnosti byla zjištěna odchylka v řádech několika decimetrů (obr. 3).

1.1.2.1 Extravilán vesnice

Následný krok zpracování dat směřoval k analýze viditelnosti objektů v bezprostředním zázemí vesnice. Jako mapovaná oblast byl zvolen polygon 400 x 500 m obklopující prostor intravilánu. V této oblasti byl proveden vizuální průzkum lidarových dat a následně mapování objevených situací. Tvrziště situova-



Obr. 2 – Stínovaný digitální model terénu prostoru zaniklé středověké vesnice Javor.
Fig. 2 – Shaded digital terrain model of the site of Javor – a deserted medieval village.



Obr. 3 – Nahoře – výsledný plán tachymetrického zaměření lokality v roce 2007. Dole – kombinace zaměřeného plánu intravilánu vesnice a digitálního modelu terénu leteckého laserového skenování.

Fig. 3 – Top – the final plan of a tachymetric survey of the site from 2007. Bottom – a combination of the surveying map of the village and an airborne laser scanning digital relief model.

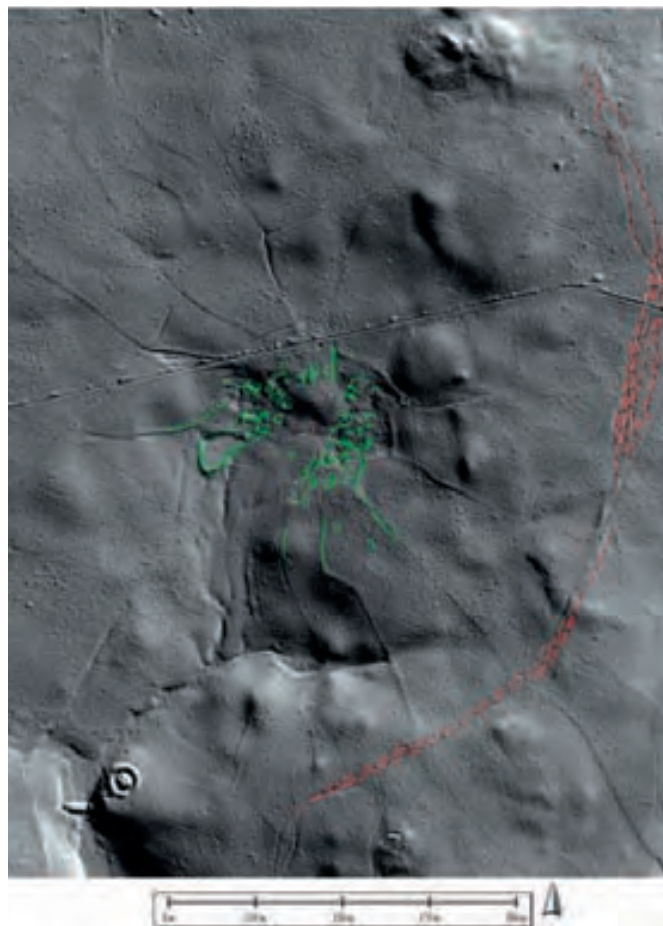
né v jižní části lidarového polygonu nebylo předmětem analýzy. Nejvyšší početní zastoupení detekovaných komponent lze pozorovat v podobě liniových jednoduchých objektů. Z tohoto důvodu jim byla v následné analýze věnována převažující pozornost. Celkový počet nově objevených liniových útvarů ve zvoleném polygonu je 69. Ty byly typologicky kategorizovány do 3 skupin – úvozy, mezní pásy a obecné linie.

1.1.2.2 Úvozy

Objekty, jejichž interpretační charakteristika byla na základě prospekce a mapování lidarových snímků vyhodnocena jako úvoz (31 objektů) představují liniové systémy, situované ve východní části analyzovaného území. Z hlediska relačního polohopisu k vlastní osadě obíhají v mírném pravotočivém oblouku v severojižním směru prostor vesnice (obr. 4).

1.1.2.3 Plužina a mezní pásy

Patnáct liniových objektů interpretovaných jako relikty mezních pásů je situovaných v pravidelných rozstupech paprskovitě kolem vesnického intravilánu. Z těchto 15 objektů R. Veselá ve svém

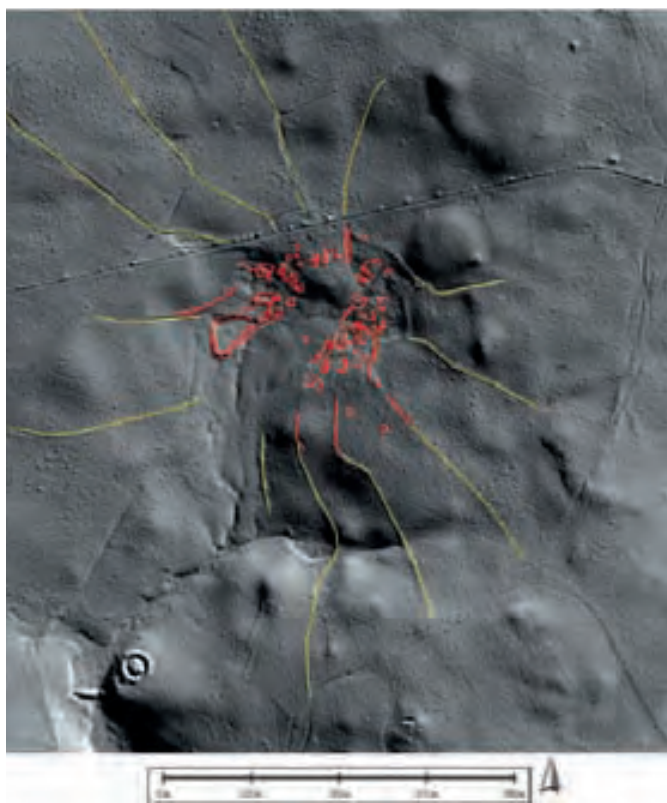


Obr. 4 – Objekty interpretované jako relikty úvozů byly zachyceny při prospekční analýze dat leteckého laserového skenování.

Fig. 4 – Features interpreted as remains of trackways recorded during a prospection analysis of the data derived from airborne laser scanning.

plánu zachytila 2 a malou část třetího mezního pásu v jižní části vesnice. Tyto 3 objekty byly již v rámci terénního výzkumu správně interpretovány jako možné relikty dokládající přítomnost polního systému. V severní části (hůře přístupné) R. Veselá zaznamenala další čtyři liniové objekty a funkčně je determinovala jako relikty úvozových cest. Při bližší prospekci lidarového snímku je však zcela nepochybné, že se také v těchto případech jedná o dochované pozůstatky pásů vymezujících zaniklé polní systémy.

Přítomnost a možné mapování těchto liniových mezních pásů má značný význam také pro vlastní interpretaci celé lokality. Na základě prvotní prospekce terénu a zmapování jednotlivých zaznamenaných útvarů byla sídelní struktura vesnice z hlediska početního zastoupení jednotlivých usedlostí interpretována R. Veselou jako komplex, čítající počet sedmi usedlostí. Na kombinovaném plánu (vytvořeném na základě dat leteckého laserového skenování) mapujícím jak intravilán osady, tak i její bezprostřední zázemí je však možné pozorovat jistou pravidelnost lokace mezních pásů vůči vesnickému půdorysu. Ten lze označit jako typ návesní, se zastavěnou plochou tří stran, obklopujících obdélný centrální prostor a otevřeným vstupním areálem v jiho-



Obr. 5 – Výsledný plán zpodobňující použití kombinace plánu tachymetrického zaměření (detailně mapujícího intravilán vesnice) a interpretačních výstupů prospekční analýzy dat leteckého laserového skenování. Liniové objekty byly v tomto případě definovány jako relikty mezních pásů, určujících prostor zaniklých polních systémů.

Fig. 5 – Final plan depicting the use of a combination of tachymetric survey (mapping the village in detail) and an interpretation of the prospection analysis of data derived from airborne laser scanning. Linear features were in this case determined to be the remains of bordering edges of field systems.

západní části. Nápadnost pravidelného vytyčení mezních linií byla konfrontována s interpretačním vymezením jednotlivých usedlostí. Závěr, který tato komparace představuje lze v tomto případě charakterizovat jako jednoznačně prokazatelnou vazbu rozmístění obytných usedlostí s jejich zázemím vždy v podobě jedné plůžiny. Z tohoto faktu můžeme následně odvodit důsledek ve formě možného zpřesnění počtu přítomných usedlostí na základě kalkulace počtu plůžin. Tímto postupem se dostáváme k počtu minimálně deseti usedlostí. Tento počet také potvrzuje teorii R. Veselého, že severovýchodní část původní osady podlehlá totální zánikové transformaci v důsledku mladší těžební aktivity (Veselý 2008, 48). To je také důvodem, proč nebyly v rámci terénní prospekce v této části jakékoli doklady sídlištní aktivity doloženy. Přítomnost plůžin se tak stává nepřímým indikátorem detekce sídlení v této narušené části vesnice (obr. 5).

Zbylé detekované liniové objekty lze zařadit do kategorií terénních rýh a současných lesních cest bez většího náznaku spojitosti s danou archeologickou lokalitou.

1.1.3 Interpretace a závěr

Vzhledem k prostředí opravdu velmi těžko prostupného terénu s množstvím variabilních georeliéfních anomálií, je aplikace te-

rénní prospekce reliéfních tvarů vysoce limitující metodou. Především mapování a prospekce vesnického zázemí se stává velice zdoluhavou a nákladnou záležitostí. Z časového a především kvalitativního hlediska je aplikace leteckého laserového skenování v tomto případě zcela ideálním přístupem. Limitujícím faktorem pro její aplikaci může být vysoce obtížná detekce jednotlivých objektů, situovaných v oblasti vnitřního prostoru osady. Vytvářet interpretaci této vysoce důležité oblasti pouze na podkladě lidarových dat je nemožné. Proto se jako ideální řešení jeví aplikace kombinace metod terénní prospekce a tachymetrického zaměřování s analýzou digitálního modelu terénu.

1.2 Zaniklá středověká vesnice Sloupek (okr. Rokycany)

Zaniklá středověká vesnice Sloupek představuje jednu z nejkompaktněji prozkoumaných archeologických situací tohoto druhu v Čechách. Archeologická lokalita je předmětem výzkumných zájmů Katedry archeologie Západočeské univerzity v Plzni již od roku 2005 (Vařeka 2008, 63).

V první etapě výzkumu byl celý areál podroben detailní povrchové terénní prospekci a jednotlivé objekty byly zaznamenávány pomocí GPS stanice. Zároveň byl za pomoci mikrosondážní techniky vymezen prostor předpokládaného intravilánu zaniklé vesnice Sloupek a aplikován terénní výzkum odkryvem, v podobě šachovnicové sítě sond 2 x 2 m v zástavbových partiích. V případech analýzy objektů v bezprostřední blízkosti centra vesnice (vodní cisterny a rybníky, výrobní areály atp.) byl použit systém rozsáhlejších sond. V dalších fázích projektu byly mezi aplikované výzkumné metody integrovány rozšiřující verifikační i interpretační technologické postupy v podobě geofyzikální analýzy, fotogrammetrie, geodeticko-topografického průzkumu, využití systematického průzkumu pomocí detektorů kovů, letecké laserové skenování atp.

Na základě keramických nálezů je možné tuto lokalitu datovat do 14. – 1. poloviny 15. století, dle písemných pramenů do období 1379 (1. zmínka v rožmberském urbáři) až 1652 (zbirožský urbář obsahuje informaci o deseti pustých lánech). Typologicky se ta to vesnice vymyká standardnímu charakteru středověkých obcí. Usedlosti jsou umístěny na svažitém terénu v nadmořské výšce, dosahující téměř 500 m. V bezprostředním okolí dané lokality nebyla zaznamenána přítomnost vodního toku (Vařeka 2008, 63) (obr. 6).

V roce 2011 se Katedře archeologie v Plzni podařilo získat snímky leteckého laserového skenování, jež byly podrobeny rozsáhlé analýze za účelem verifikace dosud interpretovaných výsledků výzkumu a zároveň se projekt analýzy laserových dat orientoval na detekci nově objevených lokalit, polohopisného i výškopisného zpřesnění datových souborů výzkumu.

V tomto případě byl pro práci určen datový soubor nasnímaný v březnu roku 2011, jakožto jeden ze dvou dílčích skenovacích fází grantového projektu GAP405/10/0454 Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR) (Gojda – John – Starková 2011). Data byla pořízena firmou Geodis Brno s.r.o.



Obr. 6 – Poloha zaniklé středověké vesnice Sloupek (okr. Rokycany), mapový podklad 1: 25 000.

Fig. 6 – The location of the deserted medieval village of Sloupek (Rokycany region), map scale 1: 25000.



Obr. 7 – Polygon naskenovaného polygonu oblasti zaniklé středověké vesnice Sloupek leteckým laserovým skenováním v roce 2011.

Fig. 7 – The scanned polygon of the area of the deserted medieval village of Sloupek surveyed by airborne laser scanning in 2011.

Vstupní datový soubor analýzy této lokality tvoří filtrovaná a klasifikovaná data v podobě textových souřadnicových formátů (X,Y,Z) transformovaných do souřadnicového systému S-JTSK a výškopisného systému Bpv (obr. 7).

1.2.1 Letecké laserové skenování

Datové soubory leteckého laserového skenování byla poskytnuta ve formátech jak neklasifikovaných dat (*.las), tak i dat filtrovaných a klasifikovaných (*.asc). Pro zpracování daného projektu byla zvolena z mnoha praktických důvodů (především absence výkonnostně dostačujících hardwarových i softwarových zařízení) již filtrovaná data v podobě textových souborů souřadnicových záznamů vygenerovaného digitálního modelu terénu. Ta byla následně přetransformována do pod-

by rastrových podkladových dat. V případě aplikace vizualizačních analytických algoritmů byl za podkladový soubor zvolen digitální elevační model s rozlišením 1 metr (obr. 8).

Výsledky lidarových dat byly konfrontovány s dílčími výsledky jednotlivých metod, aplikovaných jak ve vnitřním zastavěném prostoru osady, tak i jejího širšího zázemí. V tomto případě je využití lidarových dat v podstatě dokompletováním aplikovatelných nedestruktivních metod v rámci daného projektu výzkumu archeologické lokality.

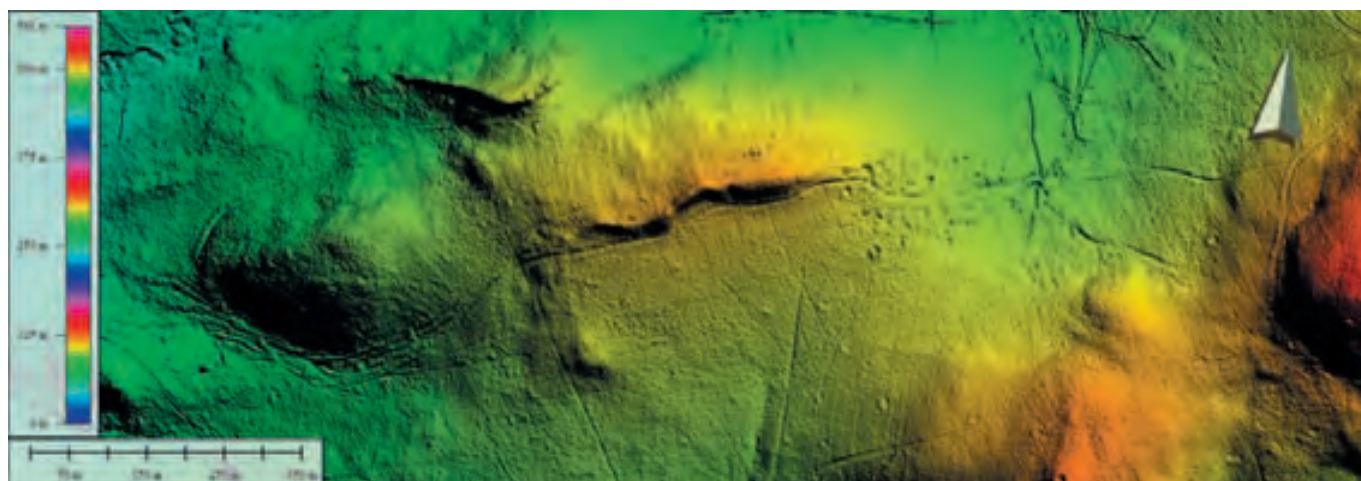
Hlavním cílem projektu bylo kompletní zpracování lidarových dat nasnímaného polygonu vesnice a blízkého okolí. Analýza se v tomto případě sestávala z úplného mapování veškerých objektů, které by dle interpreta mohly být odrazy antropogenní činnosti v daném teritoriu.

1.2.1.1 Vizualizační algoritmy

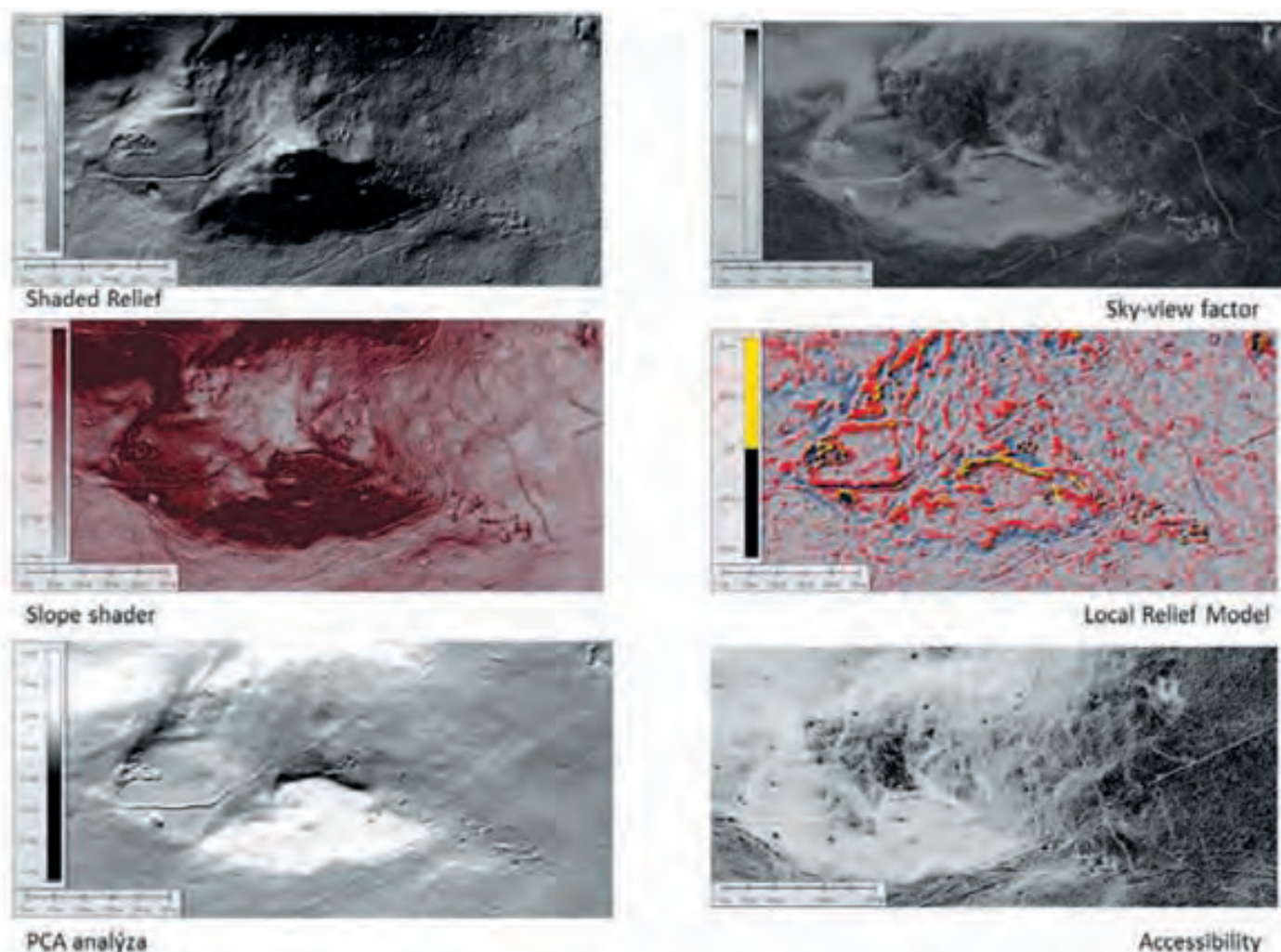
Za výchozí podkladovou vrstvu byl vybrán stínovaný model terénu v základním provedení odstínů šedi. Podrobnou analýzou bylo objeveno několik stovek jednotlivých objektů, které byly rozčleněny do tří skupin dle tvarového zastoupení. Nejvyšší početní zastoupení představují jednoduché bodové entity (417). Druhá kategorie je tvořena jednoduchými liniovými objekty (302). Poslední skupina je zastoupena polygonovými útvary, které byly vytvářeny v místech velké kumulace dílčích objektů (46).

Dosažení těchto výsledných hodnot početního zastoupení jednotlivých objektů bylo prostřednictvím aplikace variabilní sféry vizualizačních algoritmů. Na bázi analýzy základního stínovaného modelu byl dosažen počet 289 bodových objektů, 47 linií a 8 polygonových areálů.

Aplikací rozšiřujících vizualizační techniky, umožňující zviditelnovat další objekty byl dosažen výrazný nárůst počtu



Obr. 8 – Lokalita Sloupek (okr. Rokycany) zaniklá středověká vesnice. Vizualizace je provedena v podobě kolorovaného stínovaného digitálního modelu terénu.
Fig. 8 – The site of Sloupek (Rokycany region) – a deserted medieval village. The visualisation has been done as a coloured and shaded digital terrain model.



Obr. 9 – Lokalita Sloupek (okr. Rokycany) zaniklá středověká vesnice. Srovnání výstupů vizualizačních analýz aplikovaných na nově objevený areál v podobě reliktů těžebních jam a jejich obvalů. Areál detekován na podkladě vizualizační techniky Sky-view faktor. Porovnání viditelnosti objektů v závislosti na typu aplikovaného vizualizačního algoritmu.
Fig. 9 – The site of Sloupek (Rokycany region) – a deserted medieval village. A comparison of the results of visualisation analyses applied on the newly discovered mining remains and spoil heaps. The site was detected using the visualisation technique of Sky-view faktor. The comparison and visibility of features is dependent on the type of the applied visualisation algorithms.

objektů ve všech třech morfologických kategoriích. Celkový výčet vizualizačních praktik, využitých v rámci této případové studie čítá 6 dílčích algoritmů (obr. 9).

Počet nárůstu objevených objektů v závislosti na použitém vizualizačním algoritmu je shrnut v Tabulce 1 (obr. 10).

Jako nejefektivnější technikou pro průzkum této oblasti

Vizualizace	Body	Linie	Polygony
Shaded relief	289	47	40
Slope shader	+56	+21	+2
PCA analysis	+5	+12	+0
Sky-view factor	+32	+53	+0
Trend removal	+9	+133	+4
Accessibility	+26	+36	+0
	417	302	46

Tab. 1

Obr. 10 – Tabulka shrnující porovnání nárůstu nově objevených objektů na základě typu aplikovaného vizualizačního algoritmu. Jako výchozí vizualizační podklad byl zvolen stínovaný digitální model terénu. Hodnoty u něj uvedené představují počet objektů detekovaných na základě analýzy tohoto podkladu. Číselné hodnoty u dalších vizualizačních módů vyjadřují počet nově objevených objektů, které nebyly detekovatelné při primární analýze stínovaného modelu terénu, avšak objekty byly zachyceny pouze v rámci analýzy podkladů přidávaných vizualizačních algoritmů.

Fig. 10 – The table summarises the increase in newly discovered features on the basis of the applied visualisation algorithms. Shaded digital relief model was chosen as the basic visualisation. The values represent the number of features detected using this method. The numeric values of the other visualisation modes represent the number of newly discovered features, which were not detected at the first stage of analysis of the shaded model, but they were recorded during the analysis of additional visualisation algorithms.

byly vyhodnoceny vizualizace stínovaného modelu, analýzy svažitosti, Local Relief Model a Sky-view faktor. Zbylé techniky (Color spectrum, PCA a Accessibility) byly z hlediska nárůstu detekovaných objektů málo významné.

V rámci této analytické fáze byly jednotlivé objekty charakterizovány primární interpretační funkční determinací, jež je součástí atributové tabulky daných vektorových vrstev. Nejčastější zařazení bodových objektů bylo vymezeno termínem milíř (charcoal platform). U liniových objektů byly objekty nejčastěji interpretovány jako mezní pásy (field boundary), následované úvozy (roads) a lesní drenáží (drainage). Interpretace polygonových areálů byla dvojího typu. Četnější zastoupení bylo v podobě potenciálních těžebních areálů a druhá skupina představovala oblasti husté sítě úvozových cest.

Následující fáze projektu představuje konfrontace dosažených výsledků s dostupnými závěry širšího spektra metod, aplikovaných v průběhu komplexního výzkumu této lokality. Do verifikační fáze vstupují v rámci tohoto projektu celkem 4 metody. Jedná se o terestrické zaměřování pomocí GPS, tachymetrické zaměřování totální stanicí, terénní prospekce reliéfních tvarů a exkavační výzkum.

1.2.2 GPS

Pro základní verifikaci byla využita data z terénní prospekce. Při ní byl provádněn povrchový průzkum reliéfních tvarů a jejich mapování prostřednictvím GPS. Soubory, které byly autorce poskytnuty jakožto výsledky této výzkumné fáze nebylo možno považovat za kompletní. Část terénních objektů v podobě milířů byly v prvních fázích povrchového průzkumu mapovány přímo do papírové mapy 1:10 000. Data zatím nebyla převedena do digitální podoby. Z toho důvodu byl verifikační soubor považován pouze za orientační, nikoli za směroplatný z hlediska počtu lokalit. Situace u mapování povrchové těžby a těžebních areálů oproti tomu odráží již skutečný početní stav objektů zaznamenaných v terénu.

Porovnáním stavu výskytu těžební aktivity dle lidarového snímku a výstupů terénní prospekce byla nalezena shoda u všech zaměřených typologicky zařazených těžebních areálů (celkem 3) detekovaných v terénu a polygonů, primárně interpretovaných jako těžba, v databázi vektorizovaných objektů. Za relikty reflektující stopy po povrchové těžbě bylo v terénu označeno 10 oblastí. Srovnáním s lidarovým mapováním nalezneme shodu u 7 z nich. Celkový počet záznamů definovaných jako těžební aktivity na základě analýzy digitálního modelu terénu byl rozdělen do dvou kategorií – polygony, označující rozsáhlou těžební aktivity (celkem 10) a jednotlivé body mapující dílčí objekty (83).

Druhou kategorií s nejvyšším počtem detekovaných objektů jak v terénu, tak i vizuální analýzou reprezentují objekty milířů. Terénní prospekci bylo dosaženo počtu 100 záznamů (jak již bylo zmíněno, počet není v tomto případě definitivní), analýzou lidarových dat byly jako tyto výrobní komponenty označeno 427 objektů. Verifikovat tento počet záznamy z GPS je v tomto případě zcela nevhodné, z důvodů poměrně vysoké odchylky GPS, kdy dochází ke zkreslení polohového určení (někdy až v rádech desítek metrů) a to je vzhledem k hustotě a rozměrům (8 – 12 m) daných objektů značně limitující.

1.2.3 Tachymetrie

Do této kategorie verifikačních praktik byla zařazena také srovnávací analýza výpovědní hodnoty lidarového podkladu v oblasti podrobného mapování vesnického intravilánu. Celkový plán vesnického intravilánu byl zaměřen pomocí totální stanice v průběhu dvou – tří výzkumných sezón. V současné době již máme jeho kompletní podobu k dispozici, proto jsme schopni vyhodnotit výpovědní kvalitu obou přístupů. V tomto případě docházím k závěru identickému jako v případě analýzy zaniklé středověké vesnice Sloupek. Lidarová data nejsou schopna poskytnout informace jasně definovatelných a interpretovatelných objektů sídlištních komponent. Aplikace tachymetrie v tomto případě zcela převládá a dominuje (obr. 11).

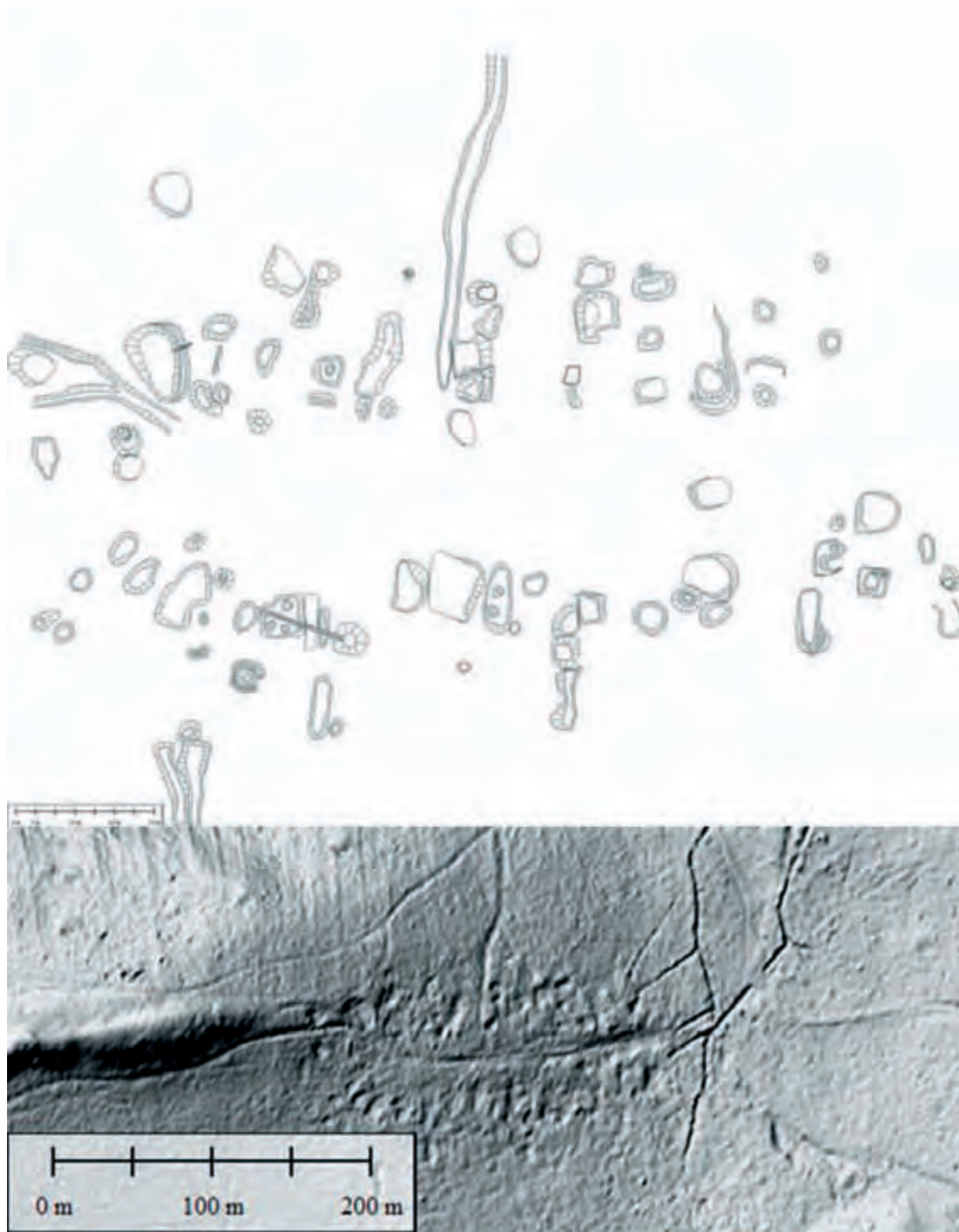
Kombinací jednotlivých výzkumných metod bylo na ploše 245 x 130 m detekováno 96 reliéfních antropogenních tvarů. Koncepce vesnické dispozice je v tomto případě tvořena dvěma řadami usedlostí, lemujícími obdélný prostor návsí. Počet usedlostí byl ve finální podobě ustanoven na 9 – 10.

1.2.4 Exkavační výzkum

Posledním zástupcem aplikované verifikační metody byl aplikovaný terénní exkavační výzkum, probíhající v šesti po sobě jdoucích sezónách. Bohužel zatím nejsou výsledky tohoto výzkumu publikovány, proto zůstává informační kapacita z tohoto zdroje dosud nevyužita.

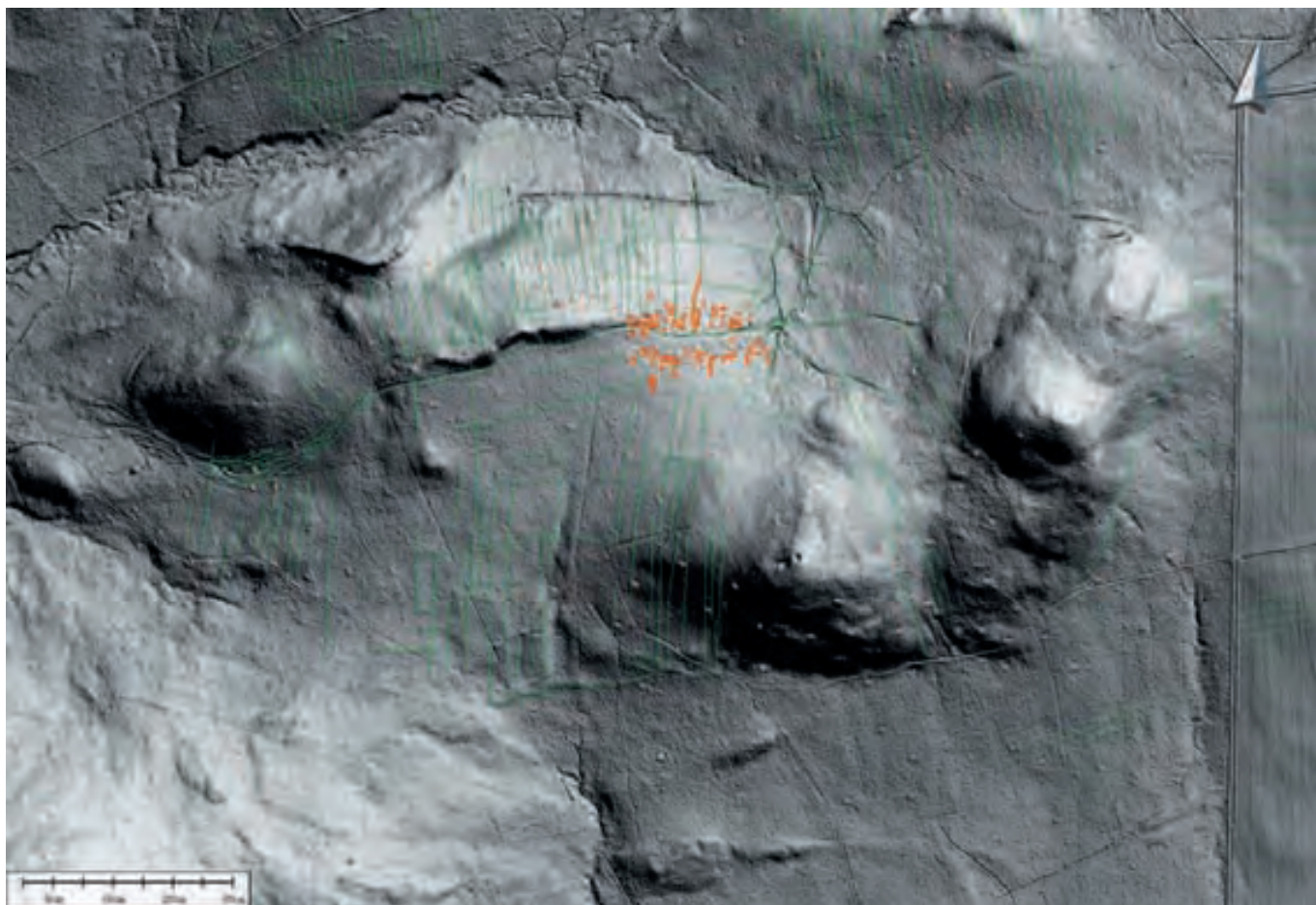
1.2.5 Interpretace a závěr

Interpretační analýzy využité v rámci této lokality již od samého počátku zpracování podkladových dat vysoce ovlivňují kva-



Obr. 11 – Porovnání viditelnosti a mapovatelnosti individuálních objektů, tvořících vlastní intravilán zaniklé středověké vesnice. Nahoře – plán vytvořený na základě podrobného tachymetrického pozemního zaměření lokality pomocí totální stanice. Dole – identická situace a její viditelnost na základě stínovaného digitálního modelu terénu, vytvořeného z dat leteckého laserového skenování.

Fig. 11 – A comparison of the visibility of individual features on the site of the deserted medieval village. Top – a plan created on the basis of a detailed tachymetric surface survey of the site using a total station. Bottom – an identical situation and its visibility on the basis of a shaded digital terrain model, created using data from airborne laser scanning.



Obr. 12 – Výsledný plán lokality zaniklé středověké vesnice Sloupek zkombinovaný z plánu tachymetrického zaměření interního prostoru osady a interpretačního plánu dílčích objektů, zachycených a zdigitalizovaných na podkladě zpracovaných dat leteckého laserového skenování.

Fig. 12 – A final plan of the site of the deserted medieval village of Sloupek combined with the plan derived from a tachymetric survey of the settlement and the interpretation plan of the individual features, which were documented and digitalised using airborne laser scanning.

litu dosažených výstupů. Porovnáním dílčích vizualizačních praktik bylo dosaženo detekce výrazně vyššího počtu terénních útvarů. V tomto směru dominují techniky stínovaného modelu terénu jakožto základní podklad primární interpretace, analýza svažitosti (velice vhodná pro vyhledávání liniových objektů), Sky – view faktor (nejvyšší uplatnění bylo nalezeno v oblasti mapování objektů mířířů a těžební aktivity) Local Relief Model (především v oblasti rozlišení konvexnosti a konkávnosti dílčích objektů).

Vyhodnocení porovnání interpretačních výstupů mapování pomocí lidarových dat a využitých verifikačních metod prokazuje v tomto případě dosti významnou shodu. V oblasti těžebních aktivit jsou výsledky terénní prospekce prokazatelně identické s výstupy vizuální analýzy. Počet dílčích objevených útvarů na digitálním modelu terénu je výrazně vyšší, nicméně vzhledem k pozitivním výsledkům verifikace lze předpokládat, že tyto objekty byly interpretovány typologicky správně a lze je s největší pravděpodobností považovat za doklady rozsáhlé těžební aktivity, jež byla v této oblasti zaznamenána.

Srovnávací analýzou orientovanou na zhodnocení možností získání podrobných a přesných informací z lidarových

data a tachymetrického měření byla vyhodnocena jednoznačně ve prospěch tachymetrického měření. Tato metoda je nezbytně nutným doplňkem v případech aplikace podrobných analytických prospekci objektů, stejně tak jako v případě mapování menších areálů, hustě zastoupených dílčími komponentami (obr. 12).

1.3 Oblast Národního parku České Švýcarsko

Krajina severočeského Šluknovského výběžku představuje velmi specifický model přírodního prostředí. Tato extrémně hornatá a výškově proměnlivá krajina představuje typ krajiny, který nepochybně skýtá zajímavé informace z oblasti archeologie (středověké a především novověké) a historie, nicméně lze tuto oblast považovat za velice obtížně zkoumatelnou prostřednictvím tradičních archeologických metod.

1.3.1 Historie archeologických výzkumů

V 90. letech 20. století byla oblast Českého Švýcarska podrobena poměrně detailnímu archeologickému průzkumu pomocí povrchové prospekce, při němž bylo objeveno několik pravěkých lokalit z období mezolitu (pro účely ověření lidarovým systémem kategoricky nevhodné vzhledem k jejich

převážné lokaci pod skalními převisy), zároveň byl nálezový fond výrazně rozšířen o objevy mnohých dokladů lidské aktivity z období středověku a raného novověku (sídelní struktury, výrobní činnost, exploatace nerostných surovin atd.), viditelných často v podobě fragmentárních nadzemních reliktů. Prvotním krokem k získání dat, týkajících se archeologických akcí byla rešerše dostupných databázových zdrojů. Analýzou Archeologické databáze Čech byl vymezen základní přehled archeologických lokalit. Ten byl později rozšířen heuristickou fází kompletace a studia příslušné literatury. V současné době známe okolo jednoho sta archeologických lokalit, pocházejících z výše popsané oblasti, převážně v podobě zaniklých středověkých vesnic (Mikulášovice 420 m n.m., Brtníky 400 m n.m., Kopec 355 m n.m.), hradů (Šaunštejn, Falkenštejn, Chřibský, Kyjovský, Vlčí hrádek), těžebních areálů (vápený lom Brtníky, Vlčí Hora), výrobních areálů (dehet, smola, sklo), dokladů těžby lomového kamene (limonický pískovec – Železné jámy u Kyjova, dobývky u zaniklé středověké vesnice Purkatice) a úvozů (*Zápotocký 1977, 521–553; Gabriel 1987; Černá 1994; Pažourek – Velinský 1995, 197–212; Svoboda a kol. 1999*).

1.3.2 Zaniklá osada Hely (*Nassendorf*)

Jako jedna z příkladových studií projektu byla zvolena lokalita zaniklé osady Hely (okr. Krásná Lípa).

První zmínka bezprostředně se týkající této sídelní polohy pochází z roku 1614 v souvislosti s nedalekou sklářskou osadou a hutí Doubice. Záznam pozemkových knih z roku 1654 uvádí fakt, že v této době žilo v osadě již 9 obyvatel. Následující záznam z roku 1713 informuje o rozrůstání osady Hely, čímž je založena nejstarší část dnešního Kyjova. Část osady byla v této době stále považována za původní Hely, avšak ze správního hlediska již byla řazena pod území rozrůstajícího se Kyjova. Z této doby je uváděn počet 15 usedlostí osady Hely a 44 usedlostí Kyjova. Až do roku 1842 jsou Hely součástí obce Kyjova. V roce 1842 se Kyjov stává samostatnou obcí a osada Hely je připojena ke Krásnému Buku (*Stein 1993, 3–17; Vaněk 2003, 31–35*). Vesnice byla násilně vysídlena v 50. letech 20. století, v 60. letech (1957) byla srovnána se zemí.

Hlavní důvody výběru této lokality lze shrnout do několika bodů:

- Absence archeologického výzkumu na daném území.
- Vysoká morfologická variabilita objektů.
- Možnost analýzy efektivity nové metody při výzkumu zaniklých vesnic.
- Příspěvek k výzkumu zalesněného prostředí a historické krajiny.
- Detekce velkého množství obtížně interpretovatelných objektů na podkladě lidarů a jejich terénní verifikace.
- Analýza komunikačních a distribučních sfér typického (v tomto případě výrobního, těžebního a sklářského) územního regionu.

1.3.2.1 Letecké laserové skenování

Výchozí pramennou základnou pro tuto studii tvoří datový fond projektu zmapování krajiny Českosaského Švýcarska pomocí lidarového systému, který vznikl pod záštitou Ústavu pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Technické univerzity v Drážďanech (IPF), (pod vedením M. Trommlera a E. Csaplovicse) za finanční podpory European Union – Programme Interreg III A a Saského ministerstva životního prostředí v letech 2004–2006. Hlavním cílem tohoto projektu bylo vytvoření jednotné digitální mapy celého území (jak českého, tak i německého) primárně pro účely ekologické, geologické, turismu, managementu území, dokumentace lesních porostů atd. Proces snímání proběhl v 11 dubnových dnech roku 2005 v celkové počtu 16 přeletových pásem s průměrnou výškou 1200 m (*Csaplovics – Trommler 2007, 121–123*) (obr. 13).

Laserovým skenerem bylo zaznamenáno cca 6 miliard jednotlivých měření, ze kterých byl s pomocí matematických algoritmů vypočítán rastrový model terénu s prostorovým rozlišením 1 m. Digitální model terénu sestává z tzv. modelu reliéfu a modelu povrchu. Lidarová měření podnikla německá služba TopoSys Topographische System Daten GmbH, Biberach, zpracování získaných bodových mračen probíhalo již pod péčí Technické univerzity v Drážďanech, konkrétně v prostředí programu SCOP, který je vyvíjen firmou Inpho ve spolupráci s Technickou univerzitou ve Vídni (*Gasior 2006, 69*).

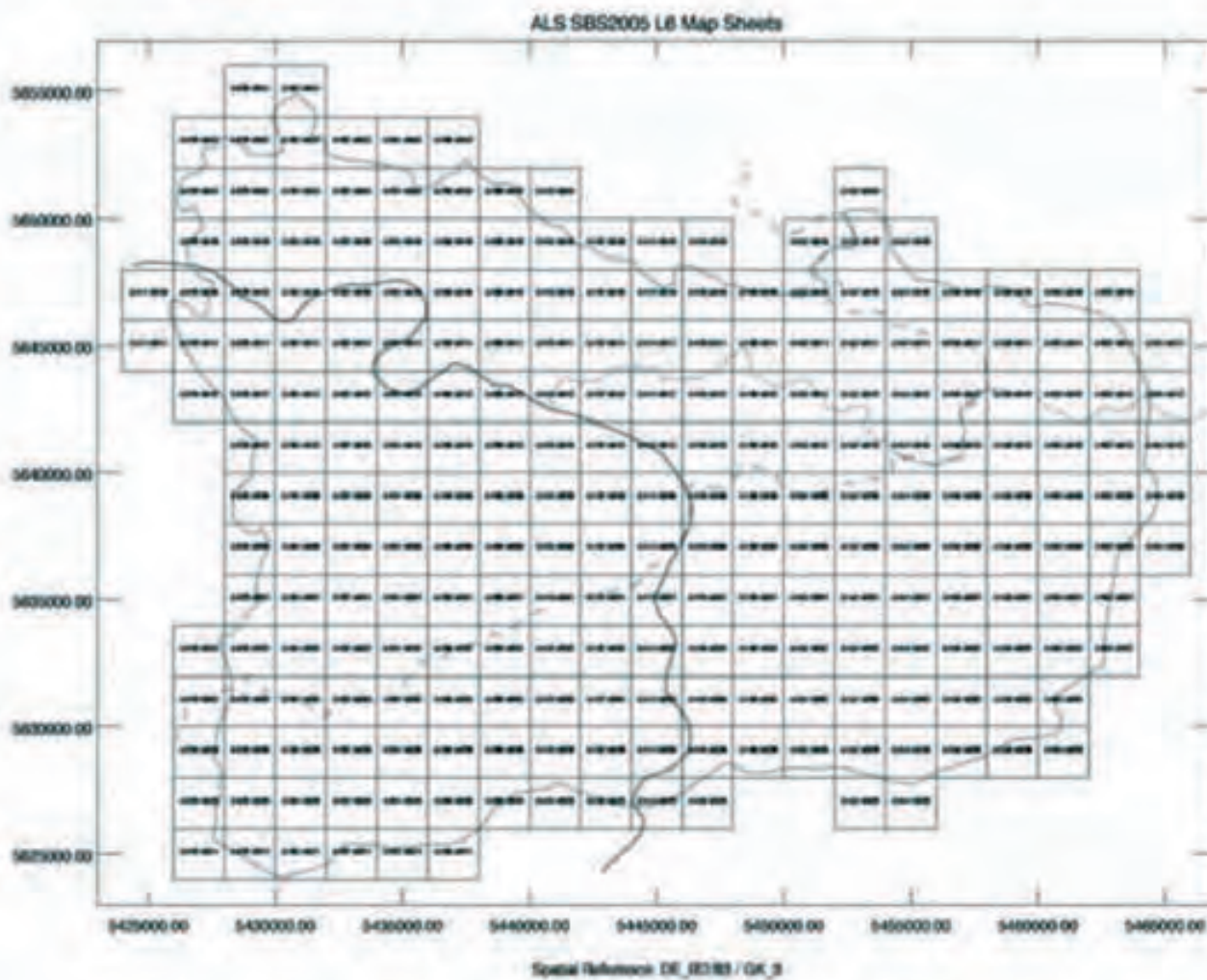
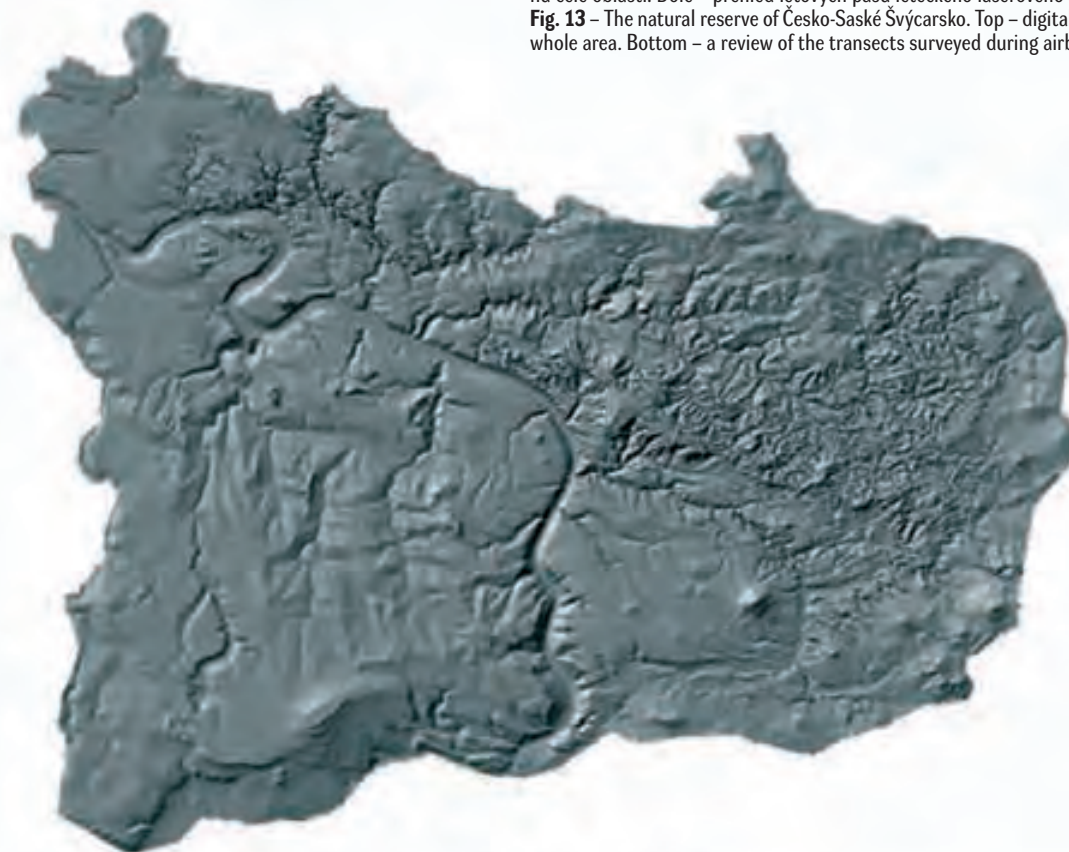
Prvním krokem tohoto výzkumu bylo zpracování a podrobná analýza lidarových dat, jejich konfrontace s historickými mapami a plány a vymezení hlavních otázek celého výzkumu. Následovala heuristická fáze, doplněná o analýzu dostupných historických dat, majících vazbu k dané oblasti.

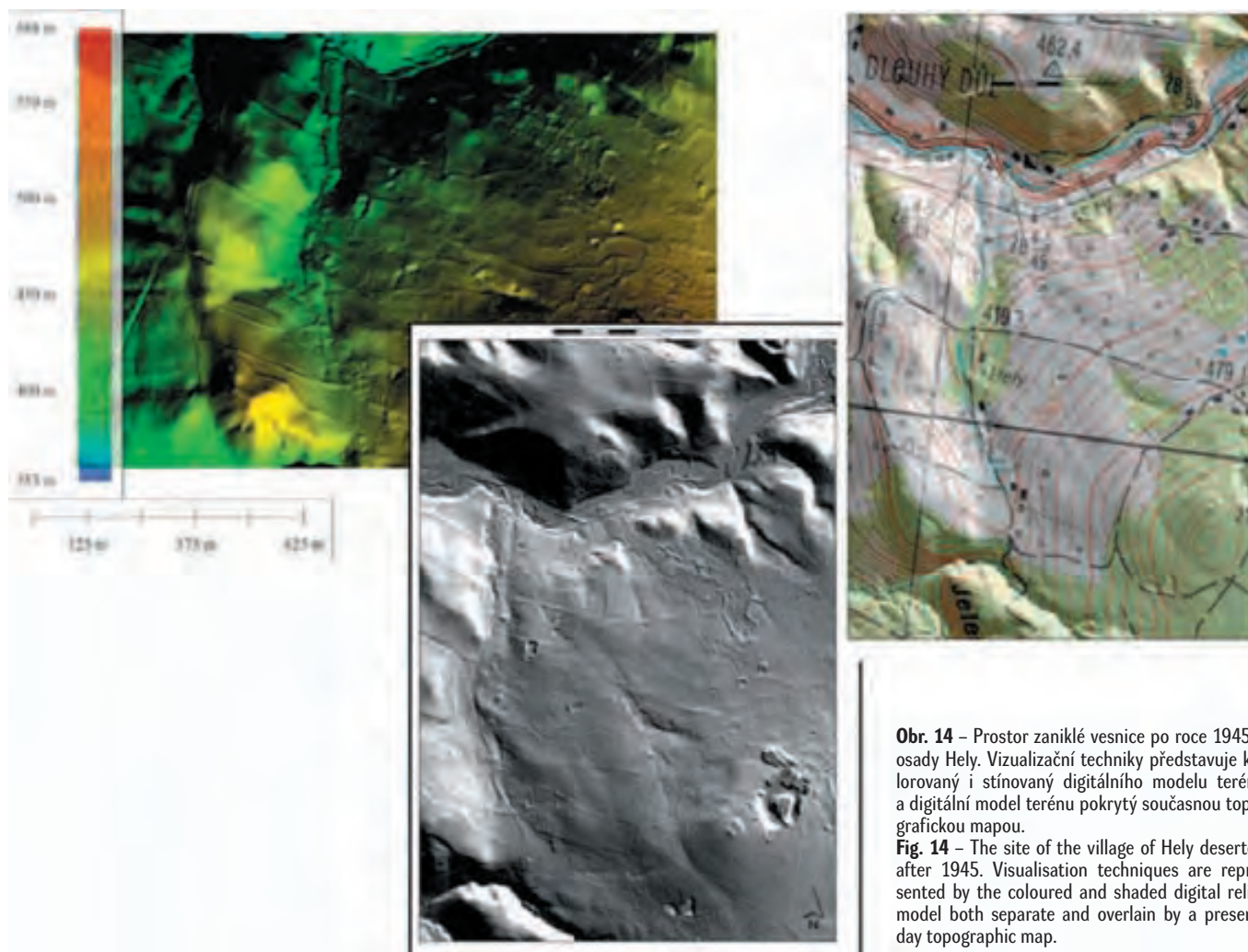
V návaznosti na tuto fázi byl zahájen terénní výzkum lokality: 1) přesné polohopisné zaměření vytypovaných objektů vesnice dochovaných v terénním reliéfu (pomocí totální stanice a GPS) a následné zpětné srovnání s lidarovými daty; 2) fotografická dokumentace jednotlivých detekovaných reliktů. Jako finální výstup je předkládán kompletní plán dané situace, vytvořený pomocí kombinace jednotlivých nedestruktivních metod aplikovaných v rámci celého výzkumu a zhodnocení míry jejich využití (finanční, časové, efektivní) na tomto typu archeologické lokality.

Výměra analyzovaného území byla stanovena 1,2 x 1,3 km. Centrální prostor tohoto polygonu je tvořen údolní nivou s bezejmennou vodotečí. Na obou březích potoka je v délce 750 m situována osada Hely (obr. 14).

Základní analýza spočívala v porovnání výpovědní hodnoty historických map a leteckých fotografií pro účely interpretačního mapování objektů lidarového snímku. Z oblasti historických kartografických podkladů byly využity především mapy I., II. a III. Vojenského mapování a mapa Stablního katastru. Historické snímky letecké fotografie zastupovaly kolmé měřické snímky z roku 1953 (tedy z období zánikových horizontů vesnice) (zdroj: www.kontaminace.cenia.cz).

Obr. 13 – Oblast Národního parku Česko-Saské Švýcarsko. Nahoře – digitální model terénu celé oblasti. Dole – přehled letových pásů leteckého laserového skenování.
Fig. 13 – The natural reserve of Česko-Saské Švýcarsko. Top – digital terrain model of the whole area. Bottom – a review of the transects surveyed during airborne laser scanning.





Obr. 14 – Prostor zaniklé vesnice po roce 1945 – osady Hely. Vizualizační techniky představuje kolorovaný i stínovaný digitální model terénu a digitální model terénu pokrytý současnou topografickou mapou.

Fig. 14 – The site of the village of Hely deserted after 1945. Visualisation techniques are represented by the coloured and shaded digital relief model both separate and overlain by a present-day topographic map.

Výsledná zjištění kompatibility využitých zdrojů a lidarových dat byla nad očekávání pozitivní. Po přidání adekvátního výřezu mapy Stablního katastru a jejím georeferencování, byla zjištěna téměř 100% shoda v oblasti viditelných liniových útvarů. Z tohoto důvodu byl jako výchozí mapovací podklad využit mapový výřez Stablního katastru, který byl zdigitalizován do podoby vektorového plánu a následně doplněn o objekty, detekované na digitálním modelu terénu v průběhu prospekční analytické fáze.

Výsledný plán představoval v nadcházejících analýzách vysoce efektivní verifikační zdroj (obr. 15 a 16).

V další fázi projektu byla pozornost zaměřena na zhodnocení výpovědní hodnoty vertikálního leteckého snímku z roku 1953. V tomto případě se předmětem analýzy staly jednotlivé usedlosti. Z map Stablního katastru lze odvodit celkový počet 32 jednotlivých usedlostí. Letecký snímek z roku 1953 svědčí o přítomnosti pouze 17 zřetelně patrných objektů. Oblastí, jíž je možno podrobně se zabývat, je sledování míry archeologizace jednotlivých objektů. Ukázkovým příkladem může být srovnání viditelných dochovalých relikvů mezních pásů.

Mapové podklady I., II. a II. vojenského mapování nebyly vzhledem k primárním interpretačním potřebám tohoto projektu nijak výrazně využity. Odlišný aspekt představuje

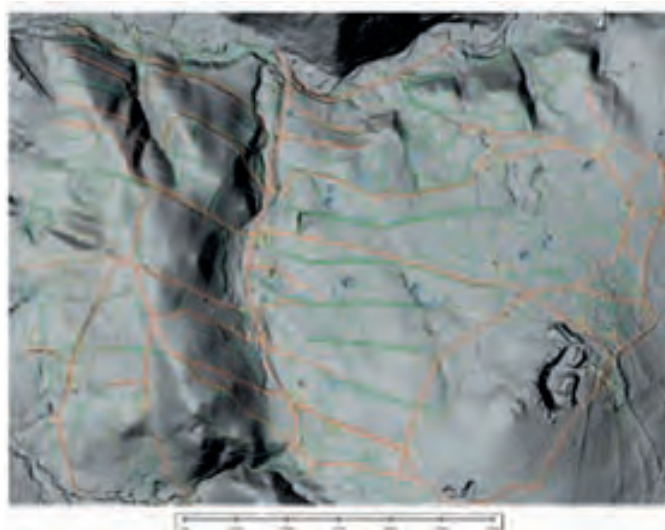
oblast historické verifikace vývojových fází osady, známých z písemných pramenů. Na mapových podkladech II. vojenského mapování lze již rozeznat usedlosti nově založené vesnice Doubice oproti I. vojenskému mapování, kde je doložena pouze přítomnost osady Hely (Nassendorf). Tento fakt potvrzuje výše uvedené fáze historického vývoje vesnického sídlení tohoto regionu.

1.3.2.2 Terénní prospekce

Terénní archeologický výzkum probíhal ve dvou etapách roku 2010 za přítomnosti studentů Katedry Archeologie Západočeské univerzity v Plzni. Jeho hlavním cílem bylo terénní ověření objektů, zaznamenaných při analýze lidarových dat regionu Českého Švýcarska. Celkový počet lokalit byl ustanoven na šest vybraných, typologicky variabilních situací. Jednou z nich tvořil prostor zaniklé osady Hely.

Verifikační průzkum odhalil a zpřesnil interpretační nejasnosti u několika dílčích kruhových – oválných objektů (vodní nádrže), jichž lze na lidarovém snímku zaznamenat vysoký počet.

Odlišný zájem představoval terénní průzkum orientovaný na analýzu stavu dochovalosti jednotlivých usedlostí. Do tohoto výzkumu byla zapojena GPS stanice a jednotlivé usedlosti byly v rámci možností zaměřeny (v závislosti na hustě zalesně-



Obr. 15 – Lokalita Hely (okr. Krásná Lípa). Zobrazení výsledků mapování. Digitální model terénu, překrytý vrstvou vygenerovaných vektorizovaných datových výstupů mapování objektů v daném prostoru. Modré polygony znázorňují vodní plochy, žluté budovy. Zelené plochy představují území, pokrytá vegetací a liniový systém představuje komunikační sféru areálu včetně rekonstrukce vytyčení mezních pásů.
Fig. 15 – The site of Hely (region Krásná Lípa). Depiction of survey results. The digital terrain model is overlain by a layer of the generated vectorised data from the survey of the area. Blue polygons represent water, structures are in yellow. Green represents the spaces overgrown by vegetation and the lines represent the communication network including demarcations of the edges of field systems.

né podmáčené oblasti). Současně se zaměřováním byly jednotlivé reliktů dokumentovány fotograficky. Celkový počet usedlostí, lokalizovaných na základě terénních nadzemních reliktů (v několika případech se jedná o poměrně dosti zachované stavby bez známek násilné destrukce) nabyly hodnoty 16 jednotlivých záznamů. Odchylna měření pomocí GPS v některých případech dosahovala hodnoty až 11 m. Vzhledem k tomu, že se však nejedná o hustou zástavbovou oblast, dají se jednotlivé body bez problémů přiřadit dílčím budovám. (obr. 17).

1.3.2.3 Tachymetrické měření

Aplikace pozemního zaměřování vybraných objektů byla zastoupena jakožto metoda hodnotící kvalitativní parametry lidarových dat v oblasti přesnosti a vypovídající hodnoty. Pro tyto účely byly zvoleny objekty vodní nádrže a terénní hrany. Přesnost podrobného pozemního zaměřování prokázalo maximální odchylku do 28 centimetrů, což je možné pro archeologické účely považovat za nadstandardní úroveň.

Geodetické zaměření bylo aplikováno také v prostorách ohrazení nepravidelného tvaru detekovaného na lidarových podkladech, který se nachází cca 700 metrů severovýchodním směrem od středu osady. Tento objekt byl na základě prvotní analýzy vyhodnocen jakožto jednoznačně obtížně interpretovatelný. Srovnáním s historickými kartografickými prameny byla zjištěna jeho přítomnost také na všech čtyřech použitých mapových zdrojích (mapy I., II., III. vojenského mapování a Stabliního katastru). Vzhledem k jeho prezenci již na I. vojenském mapování, lze jeho stáří klást již do samotných počátků existence osady. Terénní prospekci byla zjištěna jeho struktura,



Obr. 16 – Lokalita Hely (okr. Krásná Lípa). Zobrazení výsledků mapování. Současný letecký ortosnímek v Měřítku 1:5000, překrytý vrstvou vygenerovaných vektorizovaných datových výstupů mapování objektů v daném prostoru.

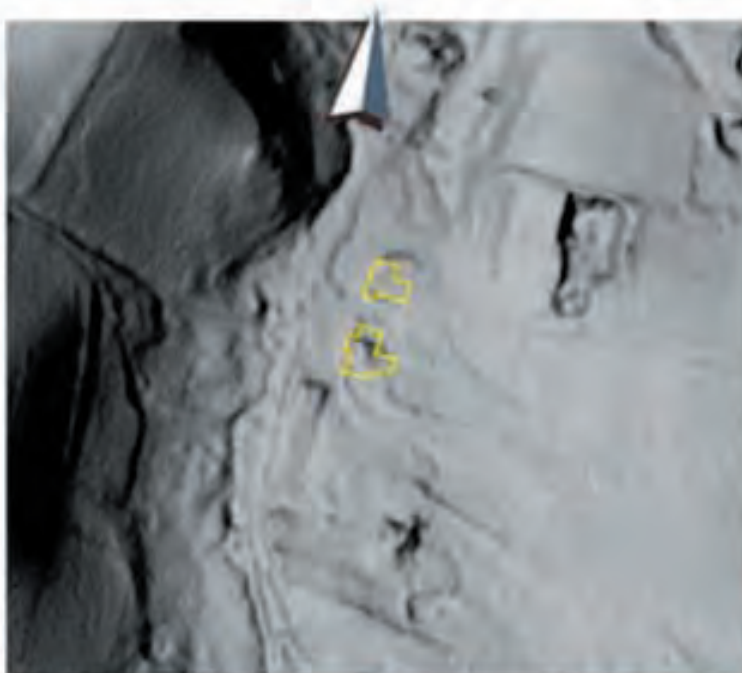
Fig. 16 – The site of Hely (region Krásná Lípa). Depiction of survey results. A present-day orthophoto (scale 1:5000) overlain by a layer of generated vectorised data which resulted from the survey of the area.

jež se sestává z několika na sebe navazujících valů, složených z na sebe naskládaných středně velkých až velkých kamenů. Ty ohraničují prostor vyplněný značným množstvím kamenných hromad a zjevně velmi starým bukovým porostem. Bližší analýzou byl typ horniny určen jako čedič, což výrazně usnadnilo interpretaci celého prostoru. Asi 370 metrů jihovýchodním směrem od tohoto ohrazení se nalézá bývalý kamenolom, jehož těžební materiál představovaly právě čedičové sloupce. Nad veškerou pochybnost námi analyzovaný prostor sloužil již od počátku těžby kamene jako skladovací přepravní prostor mezi lomem a hlavní cestou do Krásné lípy (obr. 18, 19).

1.3.3 Syntéza a interpretace

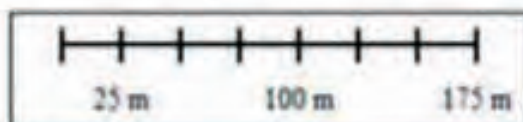
Výzkum aplikovaný v prostředí zaniklé osady Hely podává informační výčet širokého spektra verifikačních metod v tomto případě ověřujících primární interpretační výsledky analýzy dat leteckého laserového skenování širšího krajinného prostoru.

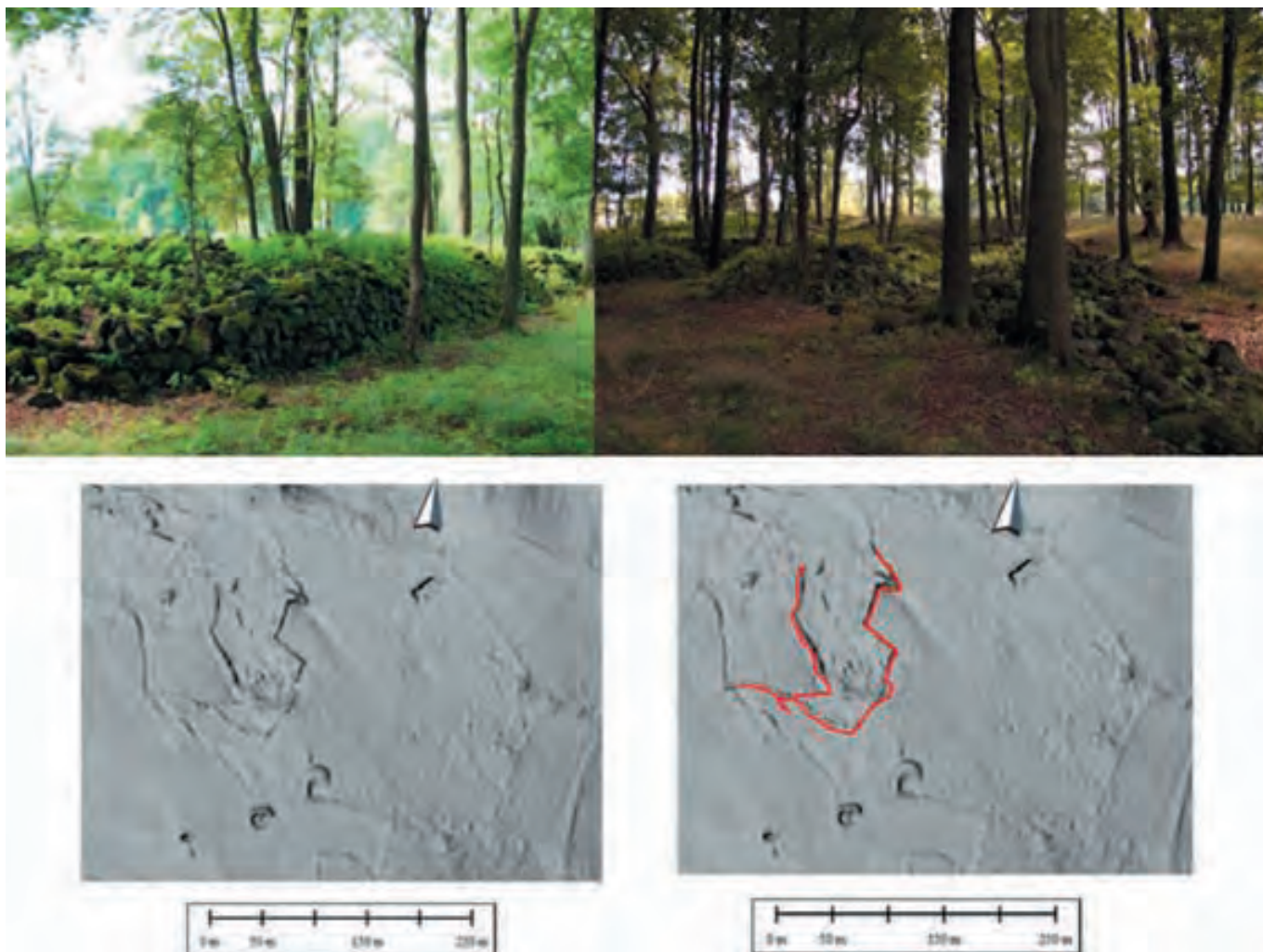
Jednou z hlavních otázek, jimž byl tento projekt věnován, je otázka efektivity a zhodnocení míry využitelnosti laserové techniky snímání pro účely archeologie. V první řadě je nutné kriticky nahlížet na rozsáhlý okruh faktorů, jež více či méně ovlivňují kvalitativní a kvantitativní aspekty výstupů. Jedině objektivním zhodnocením všech těchto atributů pramenů lze konečně přistupovat k syntéze získaných dat a jejich implementaci do archeologického kontextu. K základním faktorům lze zařadit: parametry snímání, technický postup při zpracování surových dat, softwarové a hardwarové nároky velkoobjemových formátů dat, komplementárnost aplikovaných analytických metod, přírodní charakter vybraného zájmového



Obr. 17 – Fotografie představují terénní dokumentaci dochovaných reliktvů domů č. 7 a č. 9. Dole – identické objekty a jejich viditelnost na podkladě stínovaného digitálního modelu terénu leteckého laserového skenování. Polygony vymežující polohu těchto usedlostí byly odvozeny a zdigitalizovány z podkladové vrstvy mapy Stablního katastru.

Fig. 17 – The photo represents the field recording of the houses no. 7 and no. 9. Bottom – identical features and their visibility on a shaded digital relief model based on airborne laser scanning. The polygons that demarcate the location of these structures were derived and digitalised using a cadastral map base layer.





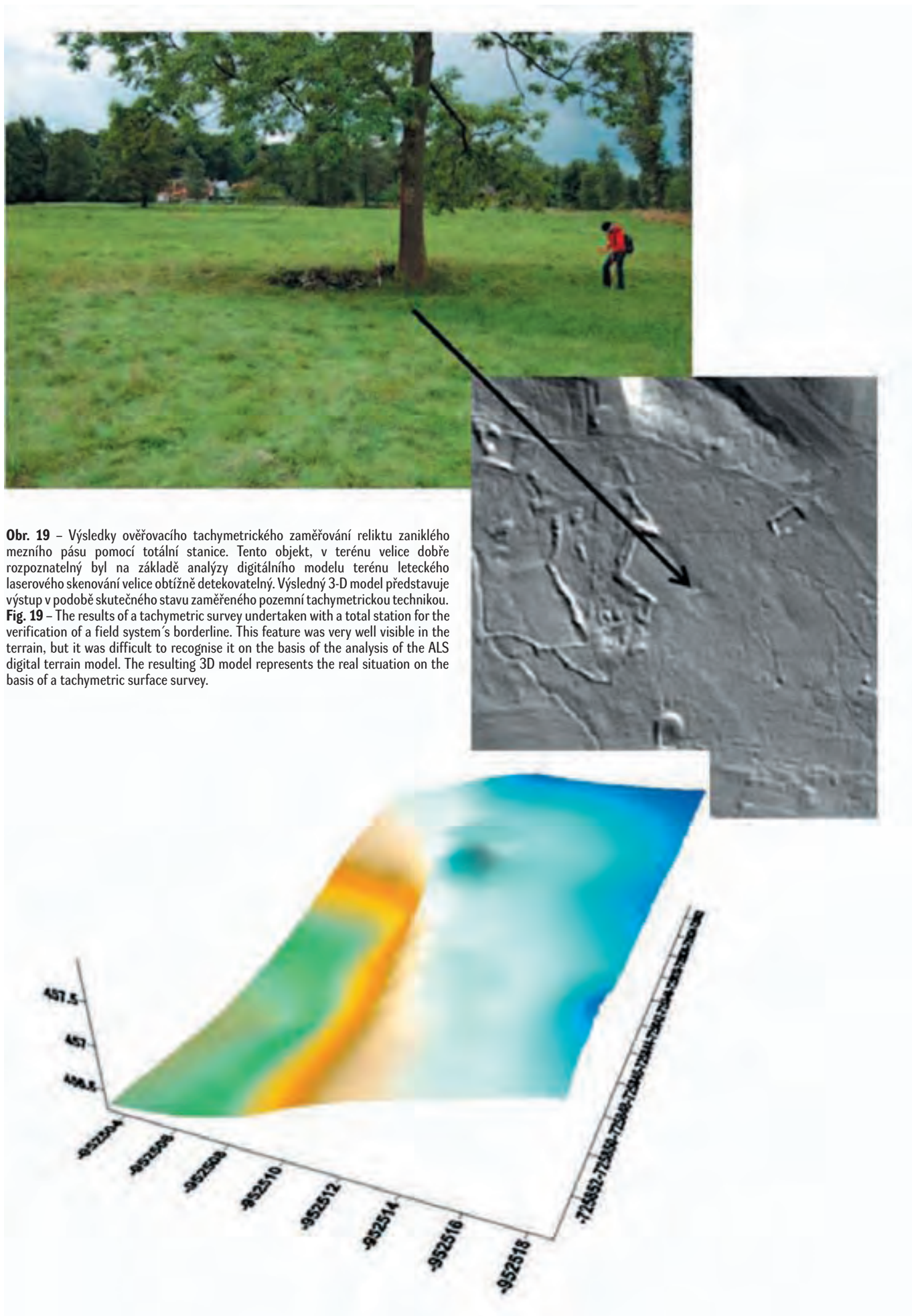
Obr. 18 – Nahoře – vnitřní prostor kamenného ohrazení, detail kamenného valu nepravidelného ohrazení. Dole – komparace viditelnosti a možnosti digitalizace daného objektu na základě digitálního modelu terénu a s výstupy ze zaměření daného areálu prostřednictvím totální stanice.

Fig. 18 – Top – the inner side of stone fortifications, a detail of the irregular stone ramparts. Bottom – comparison of the visibility and a possible digitalisation of the site on the basis of a digital relief model with results of a total station survey.

území. Oproti tomu je potřeba zmínit nezpochybnitelné pozitivní aspekty využití laserového skeneru, zejména:

- z hlediska časové úspory vzhledem k možnostem značného rozsahu pokrytí vybraného území
- možnosti aplikace této metody v zalesněných oblastech
- detekce objektů v celé ploše, včetně terénu s relikty, které jsou běžnými metodami obtížně lokalizovatelné
- v současnosti poměrně snadná dostupnost získání lidarových dat
- možnost analýzy rozsáhlých krajinných transektů, a tedy syntézy prostorových vztahů vybraných archeologických pramenů
- revize starších archeologických situací a jejich výzkumů novými prostředky

Stejně tak jako v předchozích příkladech i u této lokality bylo prokázáno vysoká efektivita aplikace komparačních a verifikačních technik k získání uceleného přehledu dané lokality.



Obr. 19 – Výsledky ověřovacího tachymetrického zaměřování reliktu zaniklého mezního pásu pomocí totální stanice. Tento objekt, v terénu velice dobře rozpoznatelný byl na základě analýzy digitálního modelu terénu leteckého laserového skenování velice obtížně detekovatelný. Výsledný 3-D model představuje výstup v podobě skutečného stavu zaměřeného pozemní tachymetrickou technikou.

Fig. 19 – The results of a tachymetric survey undertaken with a total station for the verification of a field system's borderline. This feature was very well visible in the terrain, but it was difficult to recognise it on the basis of the analysis of the ALS digital terrain model. The resulting 3-D model represents the real situation on the basis of a tachymetric surface survey.

13

The use of airborne laser scanning for mapping and documentation of medieval and modern deserted villages in Bohemia

This paper deals with the issue of remote sensing data in archaeology as for their potential and interpretation possibilities. The basic approaches applied in this study are the search, theoretical definition and subsequent practical application of the methods, which can objectively evaluate and verify the validity of the outcomes of remote sensing survey.

This study aims to complexly evaluate (both theoretically and practically) the selected approaches to remote sensing survey from the initial stages of data collection and analyses to the subsequent interpretation. Using this approach we can also compare the qualitative aspects of individual methods and evaluate their potential, in this case confronted with a relative interpretative aid.

The initial source of data is represented by two most widely used techniques of remote sensing – aerial survey and airborne laser scanning. These two methods can nowadays be considered as archaeologically comprehensive.

The aspects of site selection for analysis as part of this thesis project were given by the criteria to use sites of variable geomorphologic character and the representation of a wide range of methods of remote sensing. The third criterion was a chronological representation of various historical periods (Middle Ages, Modern era).

Two main study regions were selected in Bohemia:

Region of Rokycany. The Rokycany region became the centre of attention of archaeological research for the study of deserted medieval village settlements. Research projects have been undertaken here by the Department of Archaeology of University of West Bohemia in Pilsen since 2004. The evidence of medieval settlements in this region was preserved in environment which to a large extent protects them from destruction. It is particularly the densely forested landscape with high variability of terrain relief. The height above sea level in this region is between 400 – 560 m.

The selection of specific sites was in this case very much determined by the availability of data (particularly as for airborne laser scanning). For this reason the polygons of deserted medieval villages Javor (Rokycany region) and Sloupek (Rokycany region) were selected for case studies. The methods applied during research on these sites as of a non-destructive character and in the case of Sloupek we also have the first results of excavation both on the site itself and in its hinterlands.

Natural reserve of České Švýcarsko. the second case study is a hilly and rocky landscape, which is also densely forested with very variable height above sea level.

The source of data of similar significance for this study was the archive of datasets of airborne laser scanning, created as part of a project of the Department of Archaeology in Pilsen.

Využití lidarových dat v archeologii konfliktu středověku: obléhačí práce z 15. století

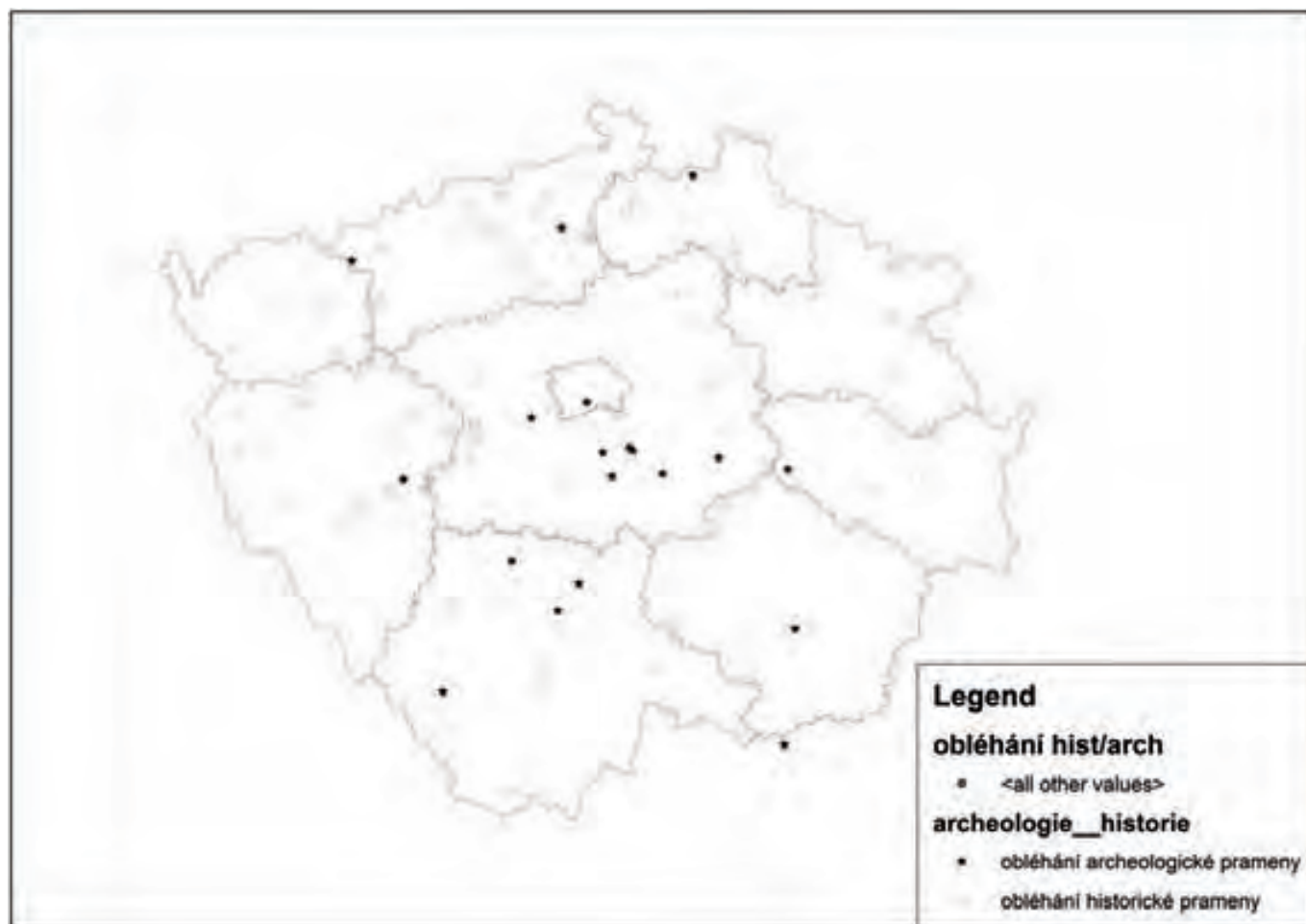
1. Úvod

Vývoj vojenské taktiky, v podobě zapojení většího počtu palných zbraní a úpadku významu těžké jízdy v pozdně středověkých Čechách, patrně vedl k nutnosti většího využívání ženijních prací. Ty se v zalesněném prostředí dochovaly v podobě nemovitých artefaktů. Zejména lze hovořit o obléhačích pracích v okolí hradů (Meduna 1994, 243 – 250). Při konfrontaci historických a archeologických pramenů zjišťujeme, že archeologicky poznaných obléhání hradů je méně než 12 % (Koscelník 2010a, 56) – obr. 1. Obléhačí práce jsou často rozmístěny na základě nepsaných strategických pravidel, které se promítají do prostorových struktur. Tyto struktury lze analyzovat a dále predikovat na nových doposud neprozkoumaných lokalitách. Kombinace lidarových snímků a prostorového modelu

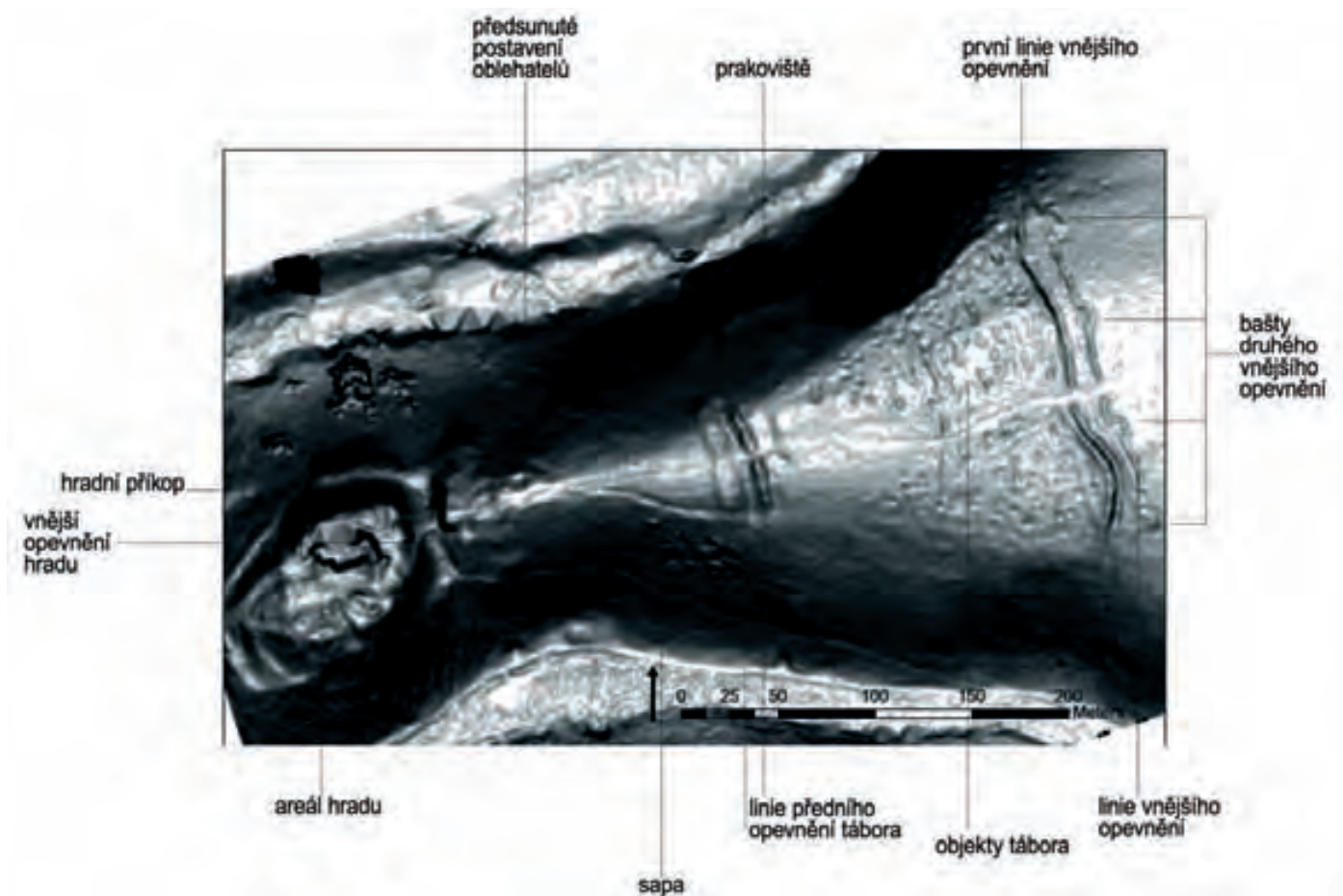
by mohla přinést výrazné rozšíření archeologických dat. Obléhatelé se pokoušeli obehnat hrad prstencem obléhačích prací, což v praktickém měřítku znamená pozemní průzkum cca 2 km² v často těžko přístupném terénu. Metoda průzkumu pomocí lidarových snímků může značně usnadnit samotný terénní průzkum antropogenních tvarů reliéfu.

Doposud málo archeologicky reflektovanými ženijními pracemi je okopání vozové hradby. Minimum doložených zemních prací je v rozporu s doklady v historických pramenech (souhrnně Kudrnáč 1973, 110).

Ženijní práce jsou pouze jednou součástí konfliktního areálu. Další součástí je prostorová distribuce movitých artefaktů. Movité artefakty, zejména projektily palných a mechanických střelných zbraní, dovolují částečně interpretovat jednotlivé ne-



Obr. 1 – Srovnání obléhání hradů zmiňovaných v historických pramenech a archeologicky zkoumaných dokladů v Čechách.
Fig. 1 – A comparison of the sieges of castles mentioned in the written sources and archaeologically studied in Bohemia.



Obr. 2 – Lidarový snímek obléhacího tábora u Nového Hradu u Kunratic vizualizovaný algoritmem curvature.
Fig. 2 – A LIDAR image of the siege camp at Nový hrad near Kunratic visualised using curvature algorithm.

movité artefakty. Doplnují prázdná místa prstence obléhacích prací, případně napovídají při interpretaci průběhu konfliktu. Publikací lidarových snímků se lokalita stává ohroženou ze stran ilegální detektorové prospekce. Je proto velice vhodné doplňovat výstupy lidarových snímků o plošné detektorové výzkumy. Případně řešit tento problém jiným způsobem.

Pro účel příkladové studie byly vybrány dobře známé lokality obléhacích táborů (Nový Hrad u Kunratic, Kostelec nad Sázavou, Lopata). Nabízejí nám tak možnost srovnání plánů získaných pozemním měřením a lidarových snímků.

2. Metoda

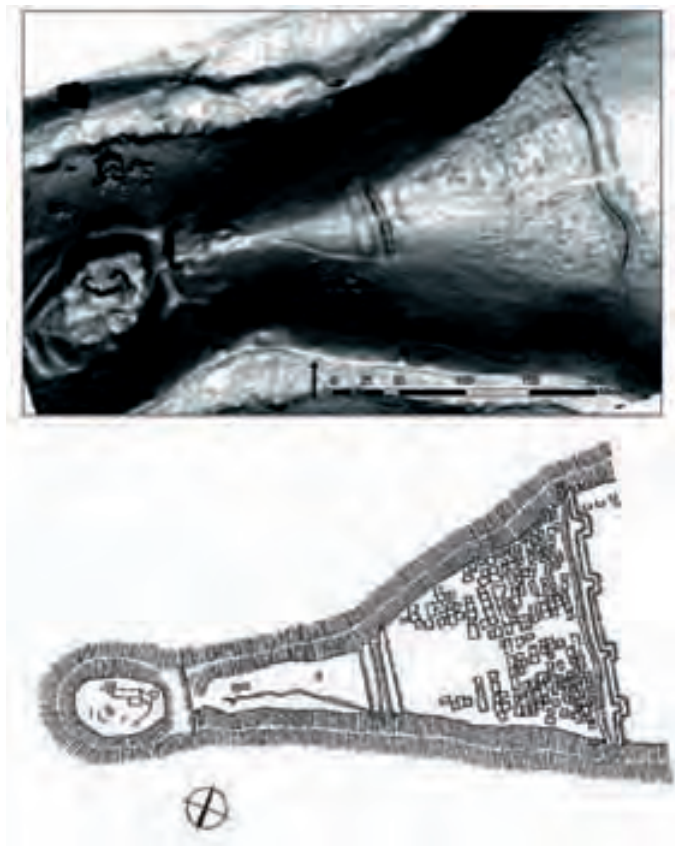
Vyhodnocení lidarových snímků bylo provedeno v SW ArcGIS 10. Filtrovaná zdrojová data 5. generace (DMR 5G) byla poskytnuta ČÚZK. Pro analýzu obléhacího tábora u hradu Lopaty byla využita data pořízená katedrou archeologie FF ZČU (viz Gojda – John – Starková 2011). Vizualizace byly prováděny na filtrovaných a klasifikovaných datech holého povrchu reliéfu terénu (DMR). Samotné zpracování dat do analyzovatelné podoby proběhla převedením lidarových dat z formátu ASCII na body (point shapefile), následně zpracované do vrstvy triangulační sítě (TIN), která byla převedena do vrstvy digitálního výškového modelu (DEM). Vrstva DEM se stala základní pracovní vrstvou pro vizualizační algoritmy. Z vrstvy DEM bylo analyzováno 8 vrstev

Hillshade pod vertikálním úhlem 35° a radiálními úhly 45°; 90°; 135°; 180°; 225°; 275°; 315° a 360°. Pro doplnění byly využity analýzy zakřivení povrchu a sklonu svahu (Curvature, Slope).

3. 1 Obléhací tábor u Nového Hradu u Kunratic

Nový Hrad u Kunratic zaujímá polohu na konci ostrožny, kterou obtéká Kunratický potok. Hřeben ostrožny je převýšen pouze o 8 m. Ostatní návrší v polohách přes údolí jsou převýšená max. o 2 m. Pětiboký areál hradu se obracel k hřebenu ostrožny ostrou hranou. Od ostrožny byl oddělen šijovým příkopem. Hrad obíhal parkán zajištěný ve svahu ještě dalším opevněním vybíhajícím ze šijového příkopu. Přístup do parkánu byl kontrolován malou věžovitou bránou. Do vlastního jádra byl vstup oddělen vyzděným příkopem kontrolovaným další branskou věží. Tato věž byla obklopena převážně obytnými budovami. Hlavní obdélný věžovitý palác svou delší osou sledoval průběh hřebene ostrožny, tak aby byl v případě ostřelování ohrožen svou užší částí (Durdík 2009, 389–390).

Hrad byl oblehnut dne 31. 12. 1420 pražskými husitskými vojsky. Pražané zde podle písemných pramenů zbudovali boudy a stany, které ohradili ze všech stran příkopem. Do hradu stříleli z pušek a tří praků kamennými projektily, které poničily střechy. Poté se přiblížili k příkopu, z kterého malým prakem zbořili všechna podsebití. Obránci hradu se vzdali dne



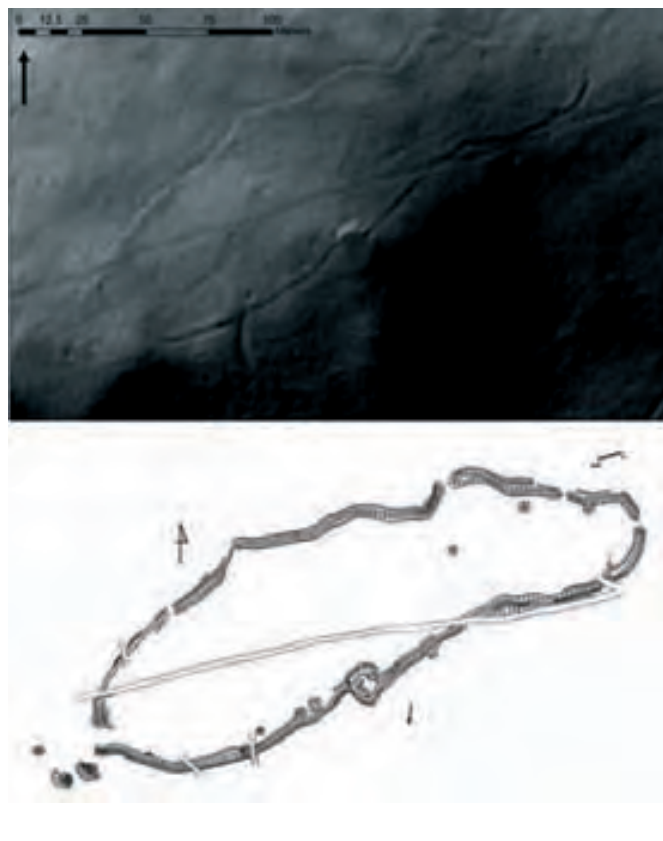
Obr. 3 – Srovnání zviditelněných objektů obléhacího tábora u Nového Hradu u Kunratic metodou curvature a publikovaného pozemního plánu resp. terénního náčrtku (autor; Durdík 2009, obr. 10)

Fig. 3 – A comparison of the highlighted features of the siege camp at Nový Hrad near Kunratic using curvature method and the published surface plan, i.e. field drawing (by the author and after Durdík 2009, fig. 10).

25. 1. 1421. Posádce byl umožněn volný odchod a hrad byl následně vypálen (Ed. Bláhová 1979, 80, str. 205–206).

Relikty po obléhání se nacházejí na hřebenu ostrožny před hradem (obr. 2). Jedná se o plochu o rozloze 2,4 ha, vymezenou dvojicí liniového opevnění přetínající ostrožnu. Čelní opevnění přetíná ostrožnu ve vzdálenosti 168 m mohutným příkopem a valem (měřeno od parkánu hradu). K čelnímu valu přiléhá z vnitřní strany plošina, která mohla sloužit jako prakoviště trojice praků zmiňovaných v historických pramenech (Ed. Bláhová 1979, 80, str. 205 – 206). Při archeologických výzkumech v 50. letech byla na předním valu nalezena plošina s upravenou kamennou podlahou. V okolí této plošiny se nacházely prakové koule. V předním valu obléhacího tábora byl nalezen projektil vystřelený z tarasnice (Drobná 1953, 199). Vnější stranu areálu tábora opevňuje systém, který se skládá z hlavního valu s příkopem a nižšího vnějšího valu, vybaveného čtverhrannými velikostně neunifikovanými baštami. Tento val je opět chráněn menším příkopem. Oba opevňovací systémy jsou na lidarových snímcích velmi dobře patrné.

V opevněném areálu a částečně i za ním se nachází 210 reliktních zemnic, které se koncentrují směrem od hradu. Zemnice jsou orientovány do ulic přibližně kolmých k průběhu ostrožny. Objekty zemnic patří vzhledem k jejich rozloze k špatně zobrazitelným objektům na lidarových snímcích čtvrté generace. Ve formátu hillshade je lze pozorovat pouze jako nepravidelně zvl-



Obr. 4 – Srovnání zviditelnění obléhacího tábora metodou hillshade v poloze Hradečnice s pozemní dokumentací (autor; Richteroová 2003)

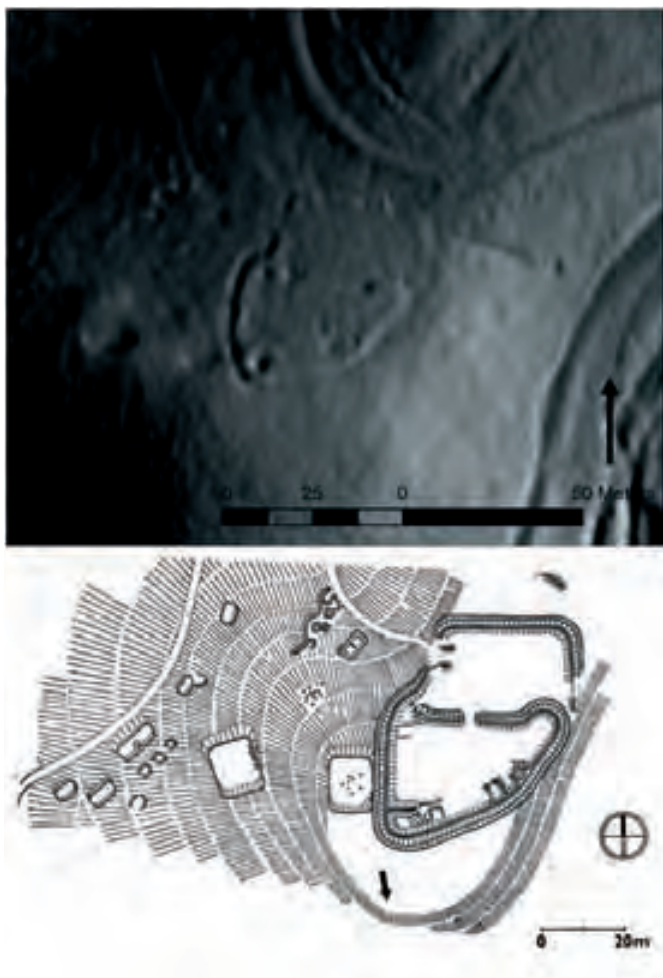
Fig. 4 – A comparison of the highlighted siege camp at Hradečnice using hillshade method and the surface survey records (by the author and after Richteroová 2003).

něný neohrazený povrch. Z toho důvodu byl použit vizualizační algoritmus curvature, na kterém jsou patrné obrysy jednotlivých objektů (obr. 3). Přesto nelze patrně identifikovat veškeré objekty tábora. Rekognoskační v roce 2009 bylo zjištěno pouhých 210 zemnic z původních 220, které uvádí Z. Drobná (1953, 198). Ve srovnání s plánem publikovaným v práci T. Durdíka (2009, obr. 10), lze konstatovat, že relikty zanikají v okolí recentních cest při okrajích a ve středu areálu. Celá JV část areálu postupně zaniká kvůli oblíbě cyklistů, kteří relikty využívají jako zajímavý terén.

Z čelního valu vybíhá na jižním okraji směrem k hradu do svahu zahluobená sapa, která vede k předsunutému postavení oblehatelů. Toto předsunuté postavení můžeme pravděpodobně ztotožnit se zmínkou o předsunutém postavení praku (Ed. Bláhová 1979, 80, str. 206).

3.2 Obléhací tábory u hradu Kostelec nad Sázavou

Hrad Kostelec nad Sázavou zaujímá místo na ostrožně nad soutokem řeky Sázavy a Kamenického potoka. Hrad je vystaven na dominantním místě kontrolujícím brod přes řeku Sázavu. Ostrožna vybíhá z vrchu Hradečnice, který je převyšena až o 118 m. Hrad prodělal složitý stavební vývoj, který ve svých pozdějších fázích sledoval především obranyschopnost hradu. Dispozice hradu je dvoudílná. Spodní hrad obklopoval ze tří



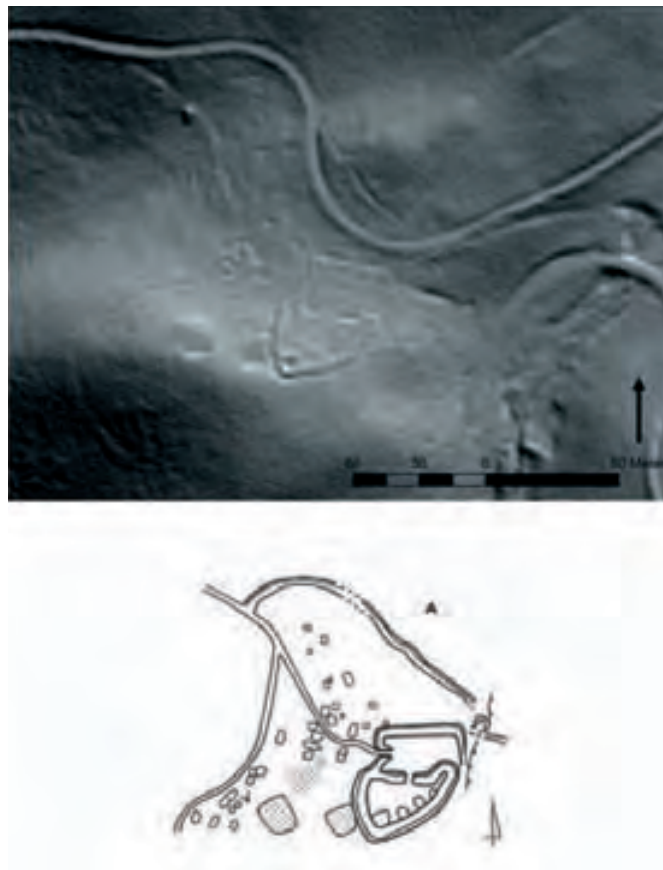
Obr. 5 – Srovnání zviditelnění velitelské pevnůstky obléhacího tábora u hradu Kostelec nad Sázavou metodou hillshade a pozemní dokumentace (autor; Meduna 1984, obr. 2)

Fig. 5 – A comparison of the highlighted commander's fort of the siege camp by Kostelec nad Sázavou castle using hillshade method and the surface survey records (by the author and after Meduna 1984, fig. 2).

stran výše položené hradní jádro. Byl přístupný přes vyzděný příkop, který vyúsťoval v baštovitý výběžek a masivní val. Přístup do hradu zajišťovala brána. Brána v průběhu času změnila třikrát svou polohu. Mimo vlastní areál je na jih vysunutá hláska, která kontroluje celý prostor okolo brodu. Vlastní jádro hradu bylo sevřené v plášťové zdi (Záruba 2004, 183 – 184).

Hrad prodělal několik vojenských konfrontací. První obléhání bylo na jaře 1449. V této době držel hrad Kuneš Rozkoš z Dubé, který byl označen za zemského škůdce. Po neúspěšném obléhání Zdeňkem ze Šternberka bylo podepsáno 10. dubna 1449 příměří na dobu jednoho roku. V roce 1450 oblehl Zdeňk ze Šternberka hrad znovu, tentokrát společně s pražskými vojsky Jiřího z Poděbrad a krajským lidem v čele s Jankem z Roučnova. Pomocí děl a praků byl hrad dobyt a pobořen dne 23. května 1450. Hrad a část panství připadl Zdeňkovi ze Šternberka. Definitivní konec hradu přichází s oblehnutím a dobytím vojsky Jiřího z Poděbrad v roce 1467 (Záruba 2004, 180 – 181).

V porovnání lidarových snímků a plánů získaných pozemním měřením, můžeme sledovat řadu objektů spojených s obléháními hradu. První obléhací tábor se nachází v poloze Hradeč-

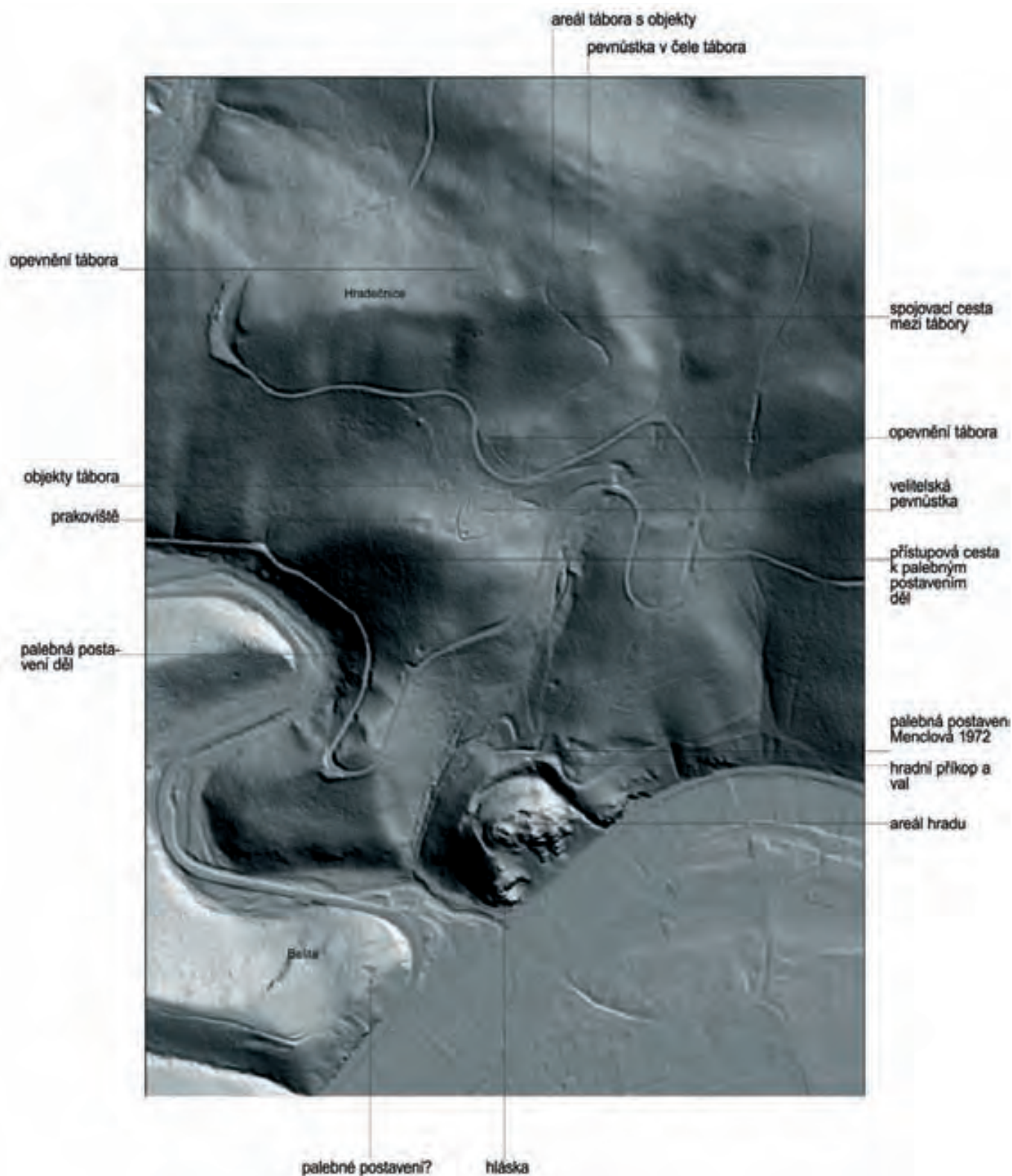


Obr. 6 – Srovnání zviditelnění areálu druhého obléhacího tábora u hradu Kostelec nad Sázavou a pozemní dokumentace (autor; Meduna 1994, obr. 5/A)

Fig. 6 – A comparison of the highlighted second siege camp by Kostelec nad Sázavou castle using hillshade method and the surface survey records (by the author and after Meduna 1994, fig. 5/A).

nice (obr. 4). Jedná se o vojenské ležení o rozloze cca 1 ha vymezené valem a příkopem, které zaujímá vrchol kopce. Uprostřed jižní linie opevnění se nachází pevnůstka, plnící pravděpodobně strážní funkci. V areálu se nachází několik zahluobených objektů. Západně od areálu se mimo opevnění se nachází další dvojice objektů. Tuto lokalitu identifikovala již J. Richterová (Richterová 2003). Při konfrontaci lidarových snímků a plánu je patrné, že na snímcích jsou zobrazené i menší zahluobené objekty. V tomto případě lze nalézt i objekty, které na plánu nejsou zanesené. Nicméně nelze například pozorovat detaily pevnůstky v čele tábora a baštovitého zakončení západní strany tábora.

Druhý obléhací tábor se nachází jižně od polohy Hradečnice na protilehlé ostrožně hradu (dále dle Meduna 1984, 119 – 128; týž 1994, obr. 5/A). Oba tábory spojuje dobře patrná cesta. Jádro tábora tvoří dobře zviditelněný dvoudílný areál, interpretovaný jako stanoviště velitele (obr. 5). Z jižní trojúhelníkovité části areálu vybíhá na sever okrouhlá bašta. K linii jižního opevnění stanoviště velitele přiléhají špatně patrně zahluobené objekty. Ze severní strany areálu vybíhá val s příkopem, který je porušen recentní cestou (obr. 6). Opevnění zajišťuje další sku-



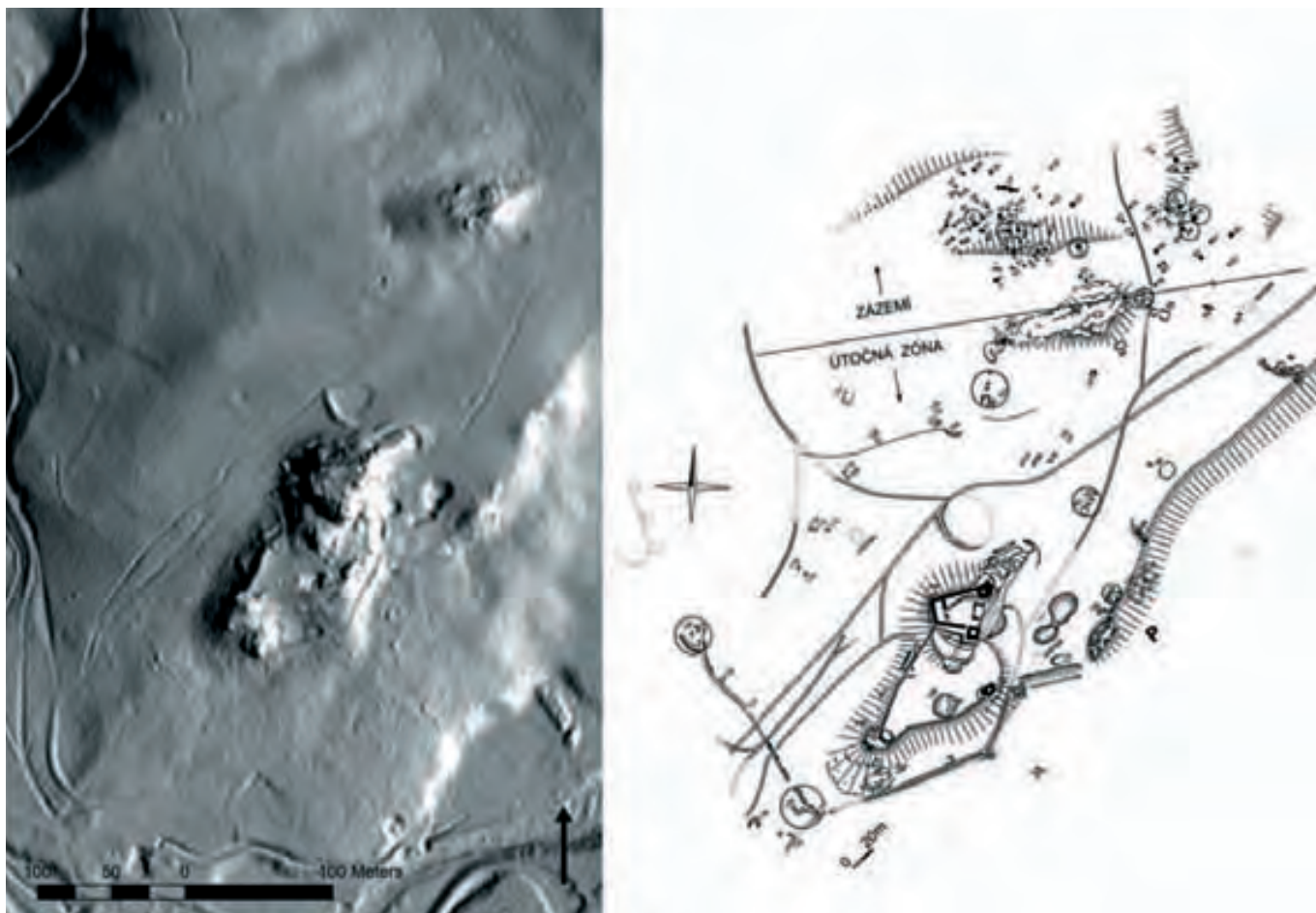
Obr. 7 – Celkový pohled na situaci zviditelněných objektů metodou hillshade v okolí hradu Kostelce nad Sázavou.

Fig. 7 – A complete view of the highlighted features using hillshade method in the vicinities of Kostelec nad Sázavou castle.

pinu do svahu zahloubených objektů. Na lidarových snímcích lze sledovat pouze ty nejvýraznější. Na západní straně sousedí s velitelskou pevnůstkou dobře zviditelněná dvojice prakovišť. Na východní straně vybíhá do svahu zahloubený liniový objekt.

Z areálu obléhacího tábora vede cesta k dvojici přibližných palebných postavení děl. U cesty lze sledovat pouze část

jejího průběhu. Dvojice palebných postavení je porušena recentní cestou. Mimo tato palebná postavení se má nacházet další dvojice palebných postavení SV od hradu (*Menclová 1972, obr. 539, Meduna 1994, obr. 6, 7/x*). Ve světle lidarových snímků a kontextu okolního terénu se palebná postavení jeví spíše jako přírodní útvary. Další spekulativní objekty, které by



Obr. 8 – Srovnání zviditelnění obléhacích prací v okolí hradu Lopata metodou hillshade a pozemní dokumentace (autor; Novobilský 2008, obr. 52)

Fig. 8 – Comparison of visualization of the siege works around the castle Lopata using hillshade method (left) and results of surface survey (author; Novobilský 2008, Figure 52)

mohli prezentovat palebná postavení děl se nacházejí v poloze „Bašta“. Objekty jsou zahluobené do opýše ostrožny v protilehlé poloze hlásky. Mimo objekty obléhacích prací je patrný komunikační systém v okolí hradu.

Na lidarových snímcích jsou patrné oba tábory. V poloze Hradečnice je dobře identifikovatelné opevnění tábora v čele s pevnůstkou. Částečně lze sledovat i některé objekty tábora. Dobře patrná je spojovací cesta mezi tábory (obr. 7).

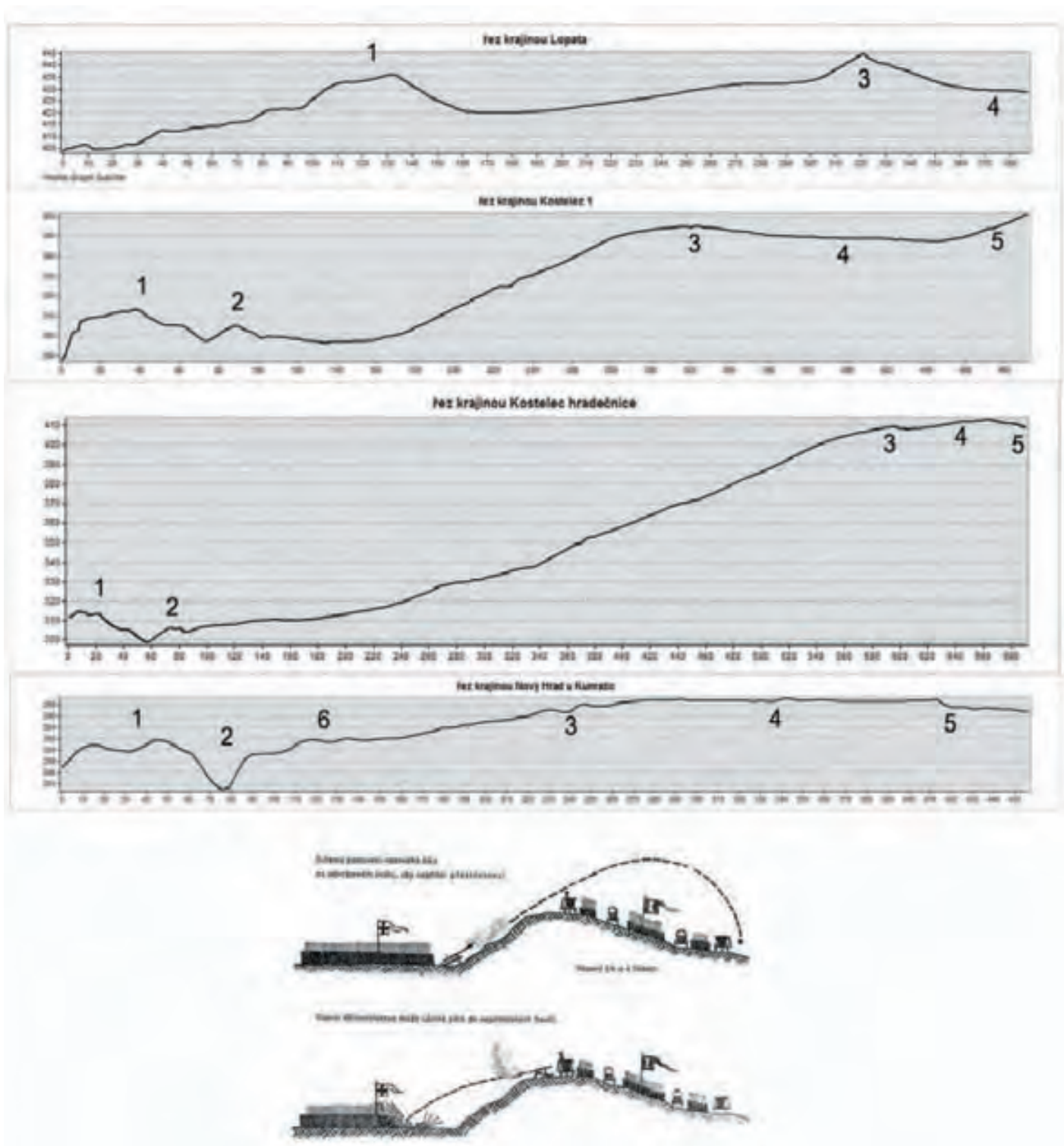
3.3 Obléhací tábor u hradu Lopata

Hrad Lopata se nachází na výběžku z terasy, kterou tvoří Hádecký a Kornatický potok. V okolí jsou polohy s maximálním převýšením 30 m. Hrad je dvoudílné dispozice, kterou tvořilo předhradí a jádro hradu. Předhradí bylo vymezené lehkým ohrazením, které bylo vybavené čtverhrannou věží při vstupu. Vlastní jádro hradu, je vystaveno na výše položeném skalním suku. Vstup do jádra kontrolovala čtverhranná věž v jihovýchodním nároží. V západní části byl situován palác. V severovýchodním nároží se nacházel kruhový bergfrit. Mezi čtverhrannou věží a bergfritem se nacházel menší objekt. Jádro bylo z jižní strany vybavené parkánem (Novobilský 2008, 15 – 17).

Hrad prodělal dvě vojenské konfrontace. První zmínka pochází z roku 1397, kdy ležel pod hradem markrabí Prokop, hejt-

man královský. Podruhé byl hrad oblehnut roku 1432. Důvodem bylo loupení v okolí hradu Habartem z Lopaty. Hrad oblehli 27. října 1432 Přibík z Klenové, Jan Zmrzlík ze Svojsína, Svojsje ze Zahrádky, Jan Řitka z Bezdědic, lid Menhartův z Hradce a měšť Horáždovic, Sušic, Klatov a Domažlic. K dobývání bylo propůjčeno velké dělo od Klatovských. Hrad byl obléhán do února roku 1433. Obleženým došly zásoby jídla a pití, ze zoufalosti zapálili hrad a v nastalém zmatku se snažili uprchnout. Obléhatelé ale velké množství obránců pochytali (Sedláček 2000, XIII, 73).

V okolí hradu se nacházejí relikty obléhacích prací, které hrad prstencovitě svírají (obr. 8). Pro konfrontaci s lidarovými snímky byl použit plán publikovaný M. Novobilským (2008, obr. 52). Je nutné předem dodat, že některé objekty publikované v plánu nebyly nalezeny ani při rekognoscaci lokality v roce 2009. Početná skupina relikvů tábora se kumuluje na návrší severně od hradu, kde využívá přirozené ochrany skalního suku a odvráceného svahu. Z těchto je patrné pouze malé množství. Tábor není nijak ohrazen. V prstenci okolo hradu se nacházejí relikty palebných postavení z nichž je patrná pouze nejvýraznější dvojice (obj. 90 – 93, 98 – 101). Severovýchodním směrem od hradu se nachází špatně identifikovatelná plošina interpretovaná jako prakoviště (obj. 88; Novobilský 2008, 49). Nejvýraznějším systémem obléhacích prací se nachází jihozápadním směrem



Obr. 9 – Srovnání profilů georeliéfu mezi hradem a obléhacím táborem. Od shora: Lopata, Kostelec nad Sázavou druhý obléhací tábor, Kostelec nad Sázavou Hradečnice, Nový Hrad u Kunratic, schematické znázornění rady umístění vozové hradby. 1: areál hradu; 2: hradní val/příkop; 3: čelní opevnění tábora; 4: areál tábora; 5: zadní opevnění tábora; 6: předsunuté postavení oblehatelů. Pozn: Pro lepší znázornění georeliéfu není osa X a Y rovnoměrná. (autor; *Durdík 1953*, 146)

Fig. 9 – A comparison of the highlighted siege works in the vicinities of Lopata castle using hillshade method and the surface survey records (by the author and after *Novobilský 2009*, fig.52).

od hradu. Systém se skládá z liniové okopy s nízkým valem a mělkým zákopem (*Novobilský 2008*, 54). Na severním konci je okop zakončen dobře zviditelněnou pevnůstkou. Při jižním konci okopy se kumulují skupiny objektů interpretované jako palebné postavení děla (*Novobilský 2008*, 52 – 53). Systém okopy přerušují dobře zviditelněné svazky komunikací. V okolí hradu jsou velmi dobře patrná mířičště.

4. Zhodnocení

V rámci obléhacích prací z 15. století se poměrně pravidelně vyskytují objekty různého účelu, které identifikoval a interpretoval P. Meduna (*1994*, 243 – 250). Po formální stránce, která souvisí se zviditelněním pomocí LLS lze objekty rozdělit na:

Výrazné objekty:

Do této kategorie patří zejména liniové objekty, jakými jsou opevnění táborů, přibližovací příkopy a okopy a zejména pak opevnění bašt – tzv. velitelských stanovišť. Fortifikace těchto stanovišť dosahuje výšky až 3 m a šířky až 8 m. Vyjma obléhacích táborů z husitských válek s patrnou absencí stanoviště velitele lze konstatovat, že se jedná o nejmasivnější objekty. Mezi dobře zviditelněné objekty náleží ještě větší plošné objekty jakými jsou palebná postavení děl a prakoviště. V případě, kdy se tyto objekty nacházejí samostatně mimo areál obléhacího tábora, je problematické je na lidarových snímcích interpretovat. Je nutné sledovat kontext celého okolí hradu a provést pozemní průzkum.

Nevýrazné objekty:

Do této kategorie náleží většina zahluobených sídelních, výrobních a skladovacích objektů, které nedosahují velkých rozměrů. Zatímco se liniové objekty na lidarových snímcích poměrně dobře vykreslují, malé plošné objekty lze sledovat jen s velkými obtížemi. Jsou lehko zaměnitelné s objekty nesouvisejícími obléháním případně s objekty přírodního původu.

5. Využití terénu získaného pomocí LLS

Vojenské aktivity vždy sledovaly terén, který by poskytoval určité výhody. Analýza 23 bojišť od 10. do 19. století ukázala, že většina bitev se odehrála v podobném terénu (*Carmen, J. – Carmen, P. 2006, 120 – 126*). Také v českých vojenských naučnicích z 15. století lze obdobný trend sledovat, který se týká postavení vozové hradby. Vojenské řády však zcela mlčí o obléhání pevností, přesto prostorová analýza reliktních obléhacích prací ukázala na prostorové struktury, které lze považovat jako součást taktiky rozmístování obléhacích prací (*Koscelník 2010b*).

Povrch terénu získaný pomocí LLS umožňuje lépe analyzovat vztah mezi obléhaným hradem a ženijními pracemi. Článek č. 24 Vlčková vojenského řádu sleduje umístění vozové hradby způsobem aby nemohl být ostřelována nepřítelem „... *Hledte vždy zjištěného místa se položití, aby krajné vozy nahoře na vrchu byly a vojsko při stráni doluov. Jestliže by proti vám táhli, poživte jich dobře z děl. Vy budete moci k nim bít, ale oni k vám nic. A v dolině rovné též...*“ (*Ed. Durdík 1952, 5b, str. 47*). Obdobná rada se také nachází v Seldeneckově vojenském řádu v čl. č. 64: „*Hejtman nad vozy hledí všemožně získati rozlehlo velkou výšinu před nepřítelem tak, aby šik vozový skloniti mohl na svahu proti nepříteli...*“ (*Kuffner 1908, str. 87*).

Tato vojenská doporučení lze testovat pomocí SW ArcGIS. Software ArcGIS nabízí několik metod k řešení této otázky. První metodou může být porovnání profilů georeliéfu krajiny mezi hradem a táborem (obr. 9). Jak je patrné z analýzy georeliéfu, dodržuje umístění táborů jednotnou formu zmiňovanou ve vojenských řádech.

Druhá metoda zkoumá viditelnost objektů tábora z hradu. Jako místo pozorovatele jsou určeny obvodové linie objektů hradu. Určení výšky pozorovatele je problematické vzhledem

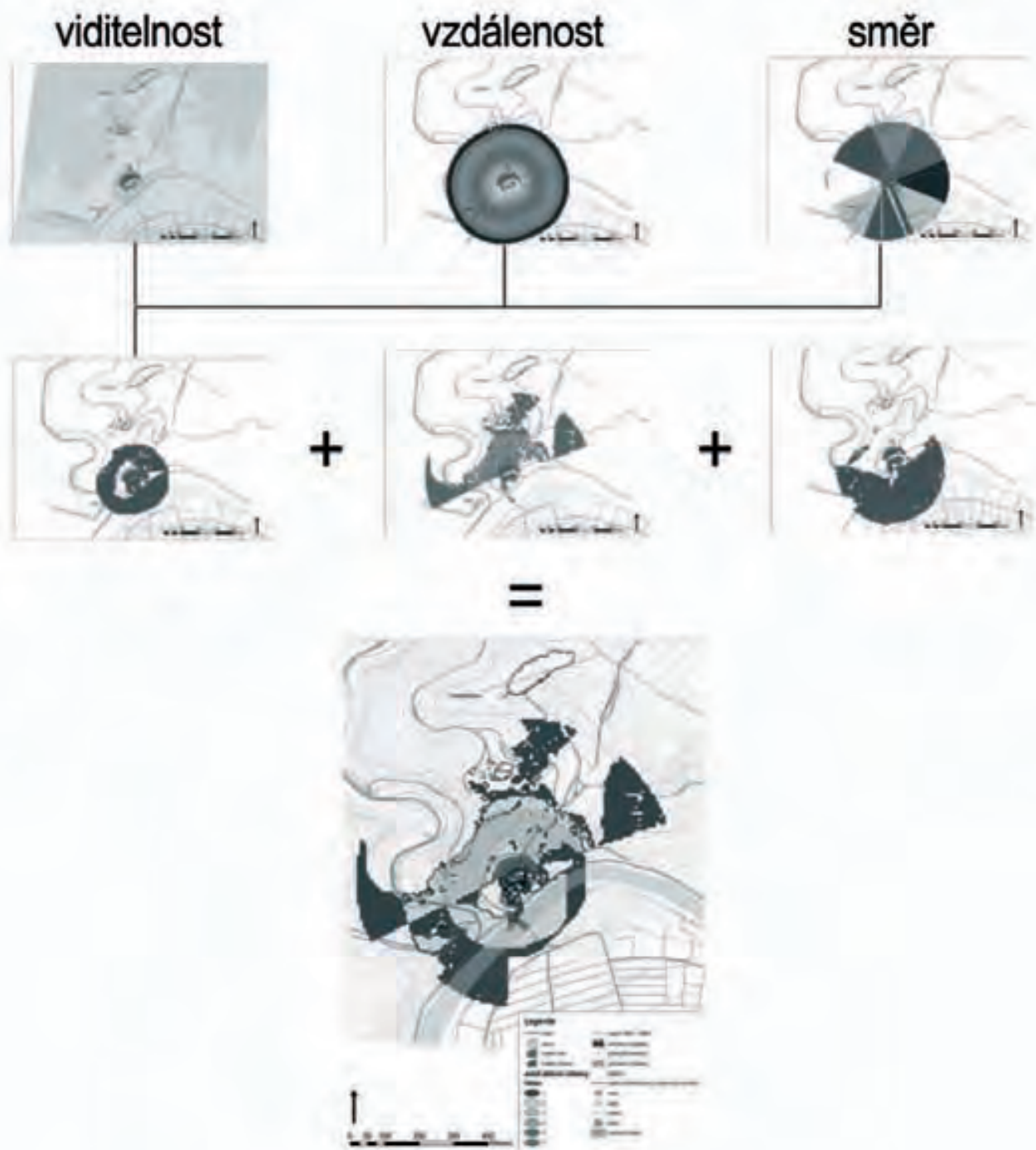
k tomu, že hrad je již ve značně destruovaném stavu. Z tohoto důvodu byly výšky jednotlivých objektů stanoveny arbitrárně, pokud není uvedena přesnější hypotetická výška na základě archeologických výzkumů.

Na tuto metodu přímo navazuje třetí způsob, kterým je analýza hypotetického areálu aktivní obrany hradu, kterou získáme kombinací analýz viditelnosti, euklidovské vzdálenosti a radiálního směru (obr. 10). Tímto způsobem získáme rastrovou vrstvu, kterou lze použít pro další operace (např. predikčním modelování). Vzdálenost je omezena dostřelem dané zbraně. Dostřely zbraní byly ovlivněné řadou faktorů, nelze tedy toto stanovení určit s přesností a musíme počítat s určitou variabilitou. Za nevěrohodnější údaje o dostřelu zbraní lze považovat archeologické nálezy projektilů vystřelených z hradu. Z jednotlivých objektů hradu je spočítán pomocí rastrového kalkulátoru model hypotetického areálu aktivní obrany. Jednotlivé modely jsou následně reklasifikovány do binárního formátu a sečteny. Výsledkem je finální hypotetický areál aktivní obrany.

Výhoda využití lidarových snímků při aplikaci tohoto modelu spočívá ve výrazně větší přesnosti analýzy viditelnosti oproti analýzám prováděným na rastrových vrstvách DEM vytvořených z vrstevnicových podkladů. Důvodem je zejména prevalence geomorfologických prvků. Samotné operace vytvoření modelu hypotetického areálu aktivní obrany lze řešit pomocí nadstavby ArcGIS military analyst. Tato analýza však vyžaduje převod rastrových vrstev do katalogů DTED (Digital Terrain Elevation Data), který je ale poměrně náročný na hardware.

6. Závěr

Výzkum obléhání hradů je prakticky řešen pozemním průzkumem antropogenních reliéfních tvarů a v menším rozsahu průzkumem pomocí detektorů kovů. Vzhledem k povaze těchto metod může při nekritičnosti vznikat velké množství pseudoartefaktů a pseudostruktur. Hodnocení antropogenních reliéfních tvarů je dosti subjektivní činností. To se může projevit i při hodnocení lidarových snímků. Provedené rekognoskace například ukazují, že relikty v okolí hradu Vízmburka považované za pozůstatky po obléhání jsou ve skutečnosti jámy po těžbě materiálu pro úpravu lesních cest (*Slavík 1999, 198*). Na problematiku nekritičnosti při průzkumu antropogenních tvarů reliéfu poukazují J. Kypta a J. Richterová (*Kypta – Richterová 2002, 54 – 56*). Většina dnes užívaných plánů obléhacích táborů je zatížena nepřesností. Lidarové snímky 4. generace mají pro účel studia středověkých ženijních prací poměrně řídkou hustotu bodů, která se projevuje absencí některých objektů, případně ztrátou informací o detailech objektů. Bez pozemního průzkumu nelze rovněž vyloučit, že některé zviditelněné objekty nejsou antropogenního původu. Přesto je patrné, že lze obléhací práce na snímcích identifikovat a snímky dále využít k analýzám terénu souvisejících s obléháním. Za velmi důležitý faktor při identifikaci obléhacích prací v okolí hradů pomocí LLS považují přítomnost liniových objektů.



Obr. 10 – Schematický postup analýzy hypotetického areálu aktivní obrany hradu.
Fig. 10 – A schematic process of the analysis of a hypothetical active defence of the castle.

14

The application of lidar data in conflict archeology of the Middle Ages: 15th century siege works

In the Czech Republic, the 15th century military campaigns are most commonly preserved as the remains of siege works in the form of anthropogenic relief features. These remains can be very well detected using ALS. ALS can considerably contribute to a faster broadening of knowledge base on the topic of siege

works. This study considers the potential of ALS as a tool for the search of new sites. It summarises the surface survey data on three well-known siege camp sites and compares the results with ALS images. It also outlines the potential of resulting digital terrain model for spatial analyses.

Evaluace archeologického potenciálu lesního prostředí jihozápadní části Radečské vrchoviny s využitím lidarových dat¹⁶

16 Studie vznikla v rámci grantového projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR) č. GAP405/10/0454*, realizovaného na Katedře archeologie FF ZČU v Plzni. Dílčí výsledky byly prezentovány v září 2012 na konferenci *Aerial Archaeology, Remote Sensing and the Archaeological Process* v Budapešti (Brejcha 2012).

1. Úvod

Lesní prostředí, díky hustému vegetačnímu krytu, významným způsobem zpomaluje erozi nadzemních archeologických objektů, respektive akumulaci sedimentů v zahloubených objektech, které tak mají mnohonásobně vyšší šanci zachování v reliéfu než památky situované v oblastech s odlišným *land use*. Na druhou stranu intenzivní moderní lesní hospodářství představuje pro archeologické památky vážnou hrozbu. Těžba dřeva a lesní orba pro výsadbu nových stromů je realizována za pomoci těžké techniky, která zapříčiňuje postupnou degradaci směřující k úplné destrukci antropogenních tvarů reliéfu. Monitoring a účinná ochrana památek zachovalých v lesním prostředí je proto naléhavým úkolem současné archeologie (cf. *Byrnes 2010; Hamberger et al. 2010; Neustupný 2010*). Efektivní management je však přirozeně možné aplikovat pouze u identifikovaných, řádně lokalizovaných a zdokumentovaných komponent. Stromový kryt lesa z tohoto úkolu diskvalifikuje, respektive výrazně omezuje možnosti jinak jednoznačně neúčinnějších metod v oblasti získávání nových archeologických dat, jakými jsou letecká fotografie a aplikace družicových snímků. Tradiční metodou zabývající se vyhledáváním a mapováním antropogenních tvarů reliéfu v lesním prostředí je povrchový průzkum či výzkum, respektive jeho varianta rozšířená o geodetická měření nazývaná geodeticko-topografický průzkum či výzkum (*Kuna – Tomášek 2004*). Nejpřesnější zaměrování terénních reliktních, včetně architektury, probíhá v současnosti nejčastěji prostřednictvím totální stanice či pozemního laserového scanneru. Z naměřených bodů je vygenerován digitální model terénu/reliéfu (DMR), který bývá vizualizován formou vrstevnicového plánu, „drátěného“ modelu, stínovaného či barevného povrchu nebo jejich kombinacemi (cf. *Barber – Mills – Bryan 2003; John 2008; Kersten et al. 2010*). Velkou výhodou DMR je fakt, že jej lze ve fázi počítačového zpracování digitálně upravovat, např. zvýrazněním reliéfu barevnou škálou výškopisu, aplikací virtuálního slunečního svitu nebo odvozováním sekundárních modelů sklonu či orientace terénu, dostupnosti, viditelnosti atd. 3-D dokumentace pomocí pozemních přístrojů je však efektivní v měřítku jednotlivých objektů či komponent, ovšem mapování rozsáhlejších krajin-

ných celků tímto způsobem je časově a finančně extrémně náročné a ještě nedávno by se takový úkol mohl zdát takřka neuskutečnitelným. V posledním desetiletí však nedestruktivní archeologie implementovala nesmírně efektivní metodu pracující v měřítku regionů, potažmo celé krajiny, kterou je letecké laserové snímkování (LLS). Jedná se o aktivní metodu dálkového průzkumu Země (DPZ), kterou od pasivních metod DPZ, jakou je např. letecká fotografie zaznamenávající odraženou část viditelného či infračerveného rozpětí elektromagnetického spektra na film nebo digitální senzor, odlišuje aktivní princip získávání dat emitováním a přijímáním odražených laserových paprsků, a tím získává hustou síť trojrozměrných bodů na Zemském povrchu. Pro LLS není lesní kryt překážkou, neboť je možné odlišit laserové pulsy odražené od objektů na Zemském povrchu, jako jsou vrcholky stromů, střechy, elektrické vedení atd., od posledního pulsu, který je obvykle odražen od povrchu terénu (*Doneus – Briese 2006, 99–100*). DMR vygenerovaný z lidarových dat, získaný odfiltrováním vegetace a archeologicky irelevantních struktur z digitálního povrchu terénu (DMP), umožňuje získat georeferencovanou prostorovou reprezentaci povrchu reliéfu z níž lze interpretačním procesem extrahovat objekty archeologického zájmu. Výhodou je především získání extenzivního záznamu o reliéfu za krátkou dobu a přijatelné náklady, který slouží jako podklad pro systematický průzkum zacílený na vyhledávání archeologických struktur (nejen) v zalesněném terénu (*Doneus – Briese 2011, 60–61*). S pozemním geodeticko-topografickým průzkumem má LLS společné zaměrování reliéfu a obě metody by měly vyústit v interpretační mapu (typicky různě upravený DMR). Signifikantním rozdílem je pak skutečnost, že zatímco archeolog-zeměměřič filtruje archeologické struktury od nearcheologických přímo v terénu na základě svých empirických zkušeností, a tudíž zaměřuje pouze to co subjektivně považuje za archeologicky relevantní, během LLS je celá zájmová oblast pokryta stejnou hustotou bodů¹⁷ bez ohledu na to, zdali ob-

17 Na povrch terénu skrze vegetační pokryv nicméně neproniknou všechny laserové pulsy, ale jen jejich určitá část.

sahuje archeologické objekty či nikoliv. Zatímco proces interpretace v případě pozemního zaměřování probíhá paralelně s touto činností, interpretace dat LLS se uskutečňuje později na pracovišti a může být opakována libovolněkrát a kýmkoliv. Co však archeolog nezaznamená během zaměřování v terénu, nebude ve výsledném výstupu zachyceno. Ovšem fyzická přítomnost archeologa na interpretované komponentě je i přesto žádoucí, respektive nutná, neboť jedině tímto způsobem je možné potvrdit, že struktura detekovaná na DMR je skutečně strukturou archeologickou a nikoliv přírodní nebo recentní (Doneus – Briese 2006, 100).

Každá metoda nedestruktivního průzkumu má svůj specifický potenciál, ovšem pro získání spolehlivých informací vedoucích ke správnému porozumění archeologickým pramenům a aplikování vhodného managementu, je nutný komplementární přístup integrující metody archeologie krajiny, které jsou pro konkrétní projekt dostupné.

2. Cíle práce

Tato práce, jakožto jeden z výstupů projektu „Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímání“, je ve shodě s jeho filozofií zaměřena na testování možností leteckého laserového snímání v podmínkách naší krajiny a na zhodnocení jeho vypovídacích schopností v oblasti identifikace, evidence, mapování a dokumentace území s archeologickými nálezy (Gojda – John – Starková 2011, 680). Jedním ze 14 testovacích polygonů, pro které byla explicitně za účelem archeologické prospekce pořízena lidarová data, byl i polygon č. 4 s pracovním názvem „Březina“ (Gojda – John – Starková 2011, 685–686), zaujímající 13 km² kopcovitého území téměř kompletně zalesněné vrchoviny, který je předmětem této studie. Zadáním práce bylo jak zmapování stavu již známých nemovitých památek, tak především rozšíření pramenné základny o nově identifikované komponenty na základě dat LLS. Stěžejní terénní metodou byl podrobný geodeticko-topografický průzkum území s využitím DMR jako hlavního kartografického podkladu pro *ground-thruthing*, neboli verifikaci potenciálních archeologických struktur detekovaných na DMR, a to formou rekognoskace antropogenních tvarů reliéfu chůzí v terénu. Nicméně tato výsledná stať je pojata šířeji a snaží se k rekonstrukci minulých podob krajiny využít i dalších dostupných dat ze spektra historických a environmentálních věd, neboť jedním z cílů je též zasadit komponenty do kontextu jejich minulé funkce v této specifické krajině. Celkové vyhodnocení archeologického potenciálu a pokus o interpretaci využívání této krajiny v minulosti pak tvoří hlavní cíle práce.

3. Vybraná specifika LLS a parametry pořízeného souboru dat

Ačkoliv v poslední době je zaznamenáván značný nárůst archeologických projektů využívajících lidarová data, často v publikačních výstupech chybí přehled metadat, tedy technických parametrů týkajících se jejich pořízení. Metadata jsou důleži-

tou informací pro evaluaci archeologického potenciálu výsledného produktu, neboť každý parametr má na něj určitý vliv. V případě absence těchto dat o datech se LLS stává jakousi „černou skříňkou“ bez možnosti kritického zhodnocení (Doneus – Briese 2011, 62).

Data LLS pro polygon „Březina“ byla naměřena pomocí scanneru Riegl LMS-Q560, který spadá do skupiny tzv. *full-waveform* laserových scannerů, které od starších tzv. *discrete echo* scannerů (zvaných též konvenční scannery) odlišuje způsob sběru dat. Zatímco konvenční scannery jsou schopny zaznamenat od dvou do čtyř odražených pulsů (*echoes*) jednoho emitovaného laserového paprsku, přičemž pro rozlišení odrazů musí být výškový rozdíl mezi skenovanými objekty alespoň 1,5 m, *full-waveform* scannery snímají celý průběh každého odraženého paprsku, včetně rozpětí odraženého pulsu a jeho amplitudy. Z toho vyplývá, že *full-waveform* scannery poskytují detailnější informaci o každém laserovém paprsku, a tudíž dávají více možností konečnému uživateli kontrolovat interpretační proces filtrování (Wagner et al. 2004; Doneus – Briese 2006, 100–101; Crutchley 2010, 5–7). Prakticky to znamená, že DMR odvozený z konvenčních scannerů může narazit na značné problémy v oblastech s nízkou a hustou vegetací, zatímco *full-waveform* scannery poskytují detailnější data, tudíž v průběhu filtrace lze snáze odstranit i vegetaci nižších pater (Doneus – Briese 2011, 62, 63, Fig. 5.3).

Dostupné informace týkající se vlastního sběru dat jsou následující. Data LLS pro polygon „Březina“ byla pořízena na objednávku speciálně pro potřeby archeologie německou společností Milan Geoservice GmbH, která se minulosti již na archeologických projektech tímto způsobem participovala. Skenování probíhalo dne 25. 3. 2010. Výška letu činila 600 m nad terénem s deklarovanou výškovou přesností ± 10 cm a polohovou přesností ± 30 cm. Hustota měření se uvádí na 4 body/m² (Gojda – John – Starková 2011, 690).

Georeferencování dat, jakožto první činnost po jejich pořízení, je obvykle prováděna poskytovatelem a metoda tohoto procesu většinou není reflektována v metadatech. V místech kde se jednotlivé naskenované pásy překrývají mohou vznikat diskrepance vedoucí ke vzniku reálně neexistujících struktur, tzv. lidarových artefaktů, které jsou při archeologické interpretaci rušivými elementy. Některé z nich, jako jsou různé vlnité struktury připomínající vrstevnice či tzv. rybí kosti (Crutchley 2010, 26, Fig 33, 27, Fig 34) lze celkem snadno identifikovat jako chybové virtuální struktury, ovšem v jiných případech to tak zřejmě na první pohled být nemusí (Doneus – Briese 2011, 64, Figure 5.4 a 5.5; Crutchley 2010, 18, Fig 22). Aby bylo možné při archeologické interpretaci věnovat zvýšenou pozornost místům jejich potenciálního vzniku, tedy překryvovým oblastem, a případně je eliminovat (např. metodou *3D strip adjustment* – Doneus – Briese 2011, 64), je potřeba znát šířku záběru jednoho přeletu a míru překrytí skenovaných pásů. Tyto parametry však nebyly pro polygony v rámci našeho projektu zveřejněny. Lze však konstatovat, že v polygonu „Březina“ nebyly žádné výše popsané výrazné tzv. lidarové artefakty zaznamenány.



Obr. 1 – Radečská vrchovina – JZ část. Polygon „Březina“ s těžebními a výrobními komplexy. Trojúhelníky označují vsi středověkého původu a kružnice o poloměru 2 km přibližný dosah každodenní dostupnosti.

Fig. 1 – North-Western part of Radeč Upland. Polygon „Březina“ with mining and production complexes is highlighted. Triangles indicate villages of medieval origin and circles of 2 km radius indicate estimative everyday accessibility.

Oproti otevřené krajině, kde první a poslední odražený puls jednoho laserového paprsku jsou často identické, v zalesněných oblastech reprezentují navracené pulsy výškové difference mezi jednotlivými patry vegetačního krytu a teprve poslední echo může reprezentovat vlastní povrch terénu. Ve skutečnosti však reprezentuje poslední objekt od kterého se paprsek odrazil, což často nemusí být vlastní povrch, ale např. kmen stromu, hustý podrost, ale třeba i lesní zvěř. Pro získání DMR určeného pro archeologickou interpretaci je proto nutné klasifikovat body reprezentující poslední odražené pulsy (echa) na povrchové a nadpovrchové a následně odstranit všechny nadpovrchové archeologicky irelevantní body. Protože filtrace dat probíhá automatizovanými postupy prostřednictvím předdefinovaných algoritmů specializovaných softwarů (nejčastěji TerraScan nebo SCOP++), hrozí odstranění historické architektury, objektů menších rozměrů či naopak neodfiltrování takových objektů, které souvisejí např. se současným lesním hospodařením (Crutchley 2010, 25–26; Doneus – Briese 2011, 65–66). Pro polygon „Březina“ byla pro tvorbu DMR v této fázi použita data filtrovaná poskytovatelem, a tak ve výsledné vizualizaci absentují nejen nežádoucí současné stavby, ale například i pseudogotický altán nad Korečným potokem, který je pozůstatkem někdejšího gotického donjonu hradu Březina. Na druhou stranu je zde zastoupeno velké množství objektů, které byly v terénu ověřeny jako produkty moderního lesního hospodaření (hromady větví často uspořádané do pravidelných řad, kme-

ny pokácených stromů, lesní školky atd.). V dalších fázích výzkumu proto bude nutné zaměřit se na nedostatky tohoto typu vzniklé automatickou filtrací a pokusit se na základě dodatečných pozorování o vygenerování archeologicky co nejvíce relevantního DMR.

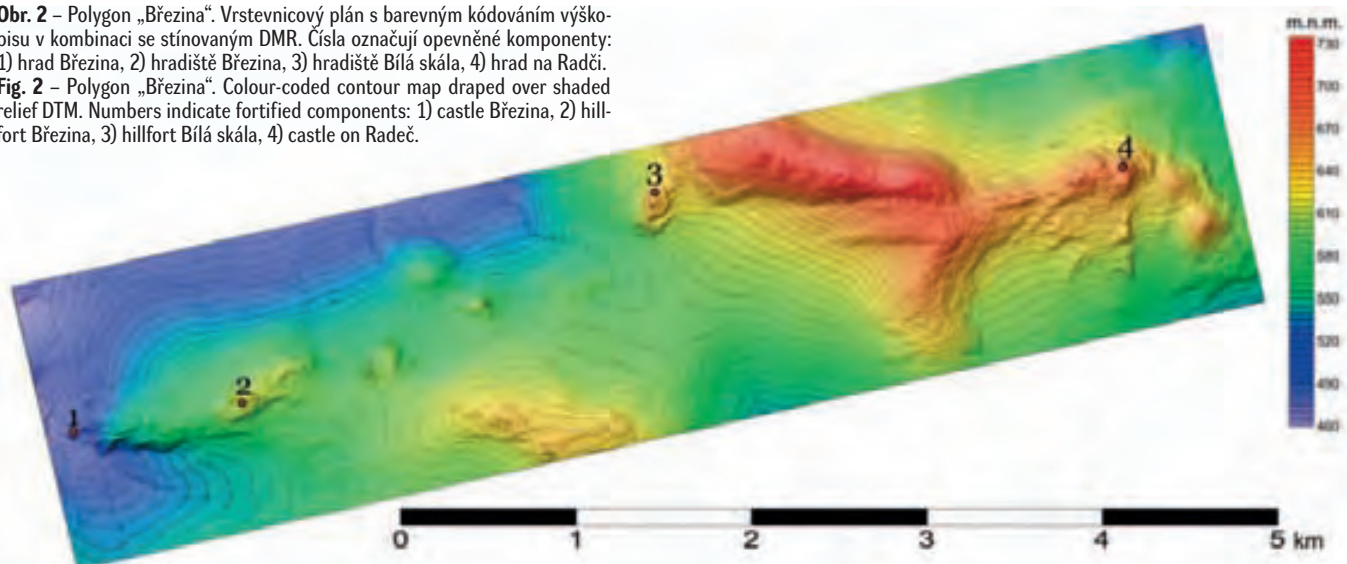
4. Základní charakteristika zájmové oblasti

Rozsah zkoumaného území byl determinován hranicemi polygonu (obr. 1), který byl pokryt leteckým laserovým skenováním (LLS) v rámci projektu „Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování“. Jednalo se o 13 km², což z něj činí druhou prostorově nejrozsáhlejší oblast v rámci projektu (cf. Gojda – John – Starková 2011).

Administrativně se rozprostírá v okrese Rokycany a zahrnuje katastrální území čtyř obcí. Největší plochu zaujímá katastr obce Sklená Huť, a to 6,73 km² (51,76 %), následují Březina u Rokycan – 3,80 km² (29,22 %), Těškov – 1,76 km² (13,5 %), Lhota pod Radčem – 0,44 km² (3,35 %) a Přivětice – 0,28 km² (2,17 %).

Jedná se o poměrně vysoko položené území (470 – 720 m. n.m.; obr. 2), jež náleží k Radečské vrchovině, jejíž nejvyšší vrchol Radeč (721 m. n.m.) je zároveň nejvyšším bodem Zbizožské, potažmo Křivoklátské vrchoviny, což jsou její geomorfologicky nadřazené celky patřící k Brdské oblasti Pobebovské subprovincie. Svahy Radče jsou charakteristické četnými ostrohrannými suťoviskami a suťovými proudy a drobnými skalními výchozy ve vrcholových partiích (Suda 2008, 58).

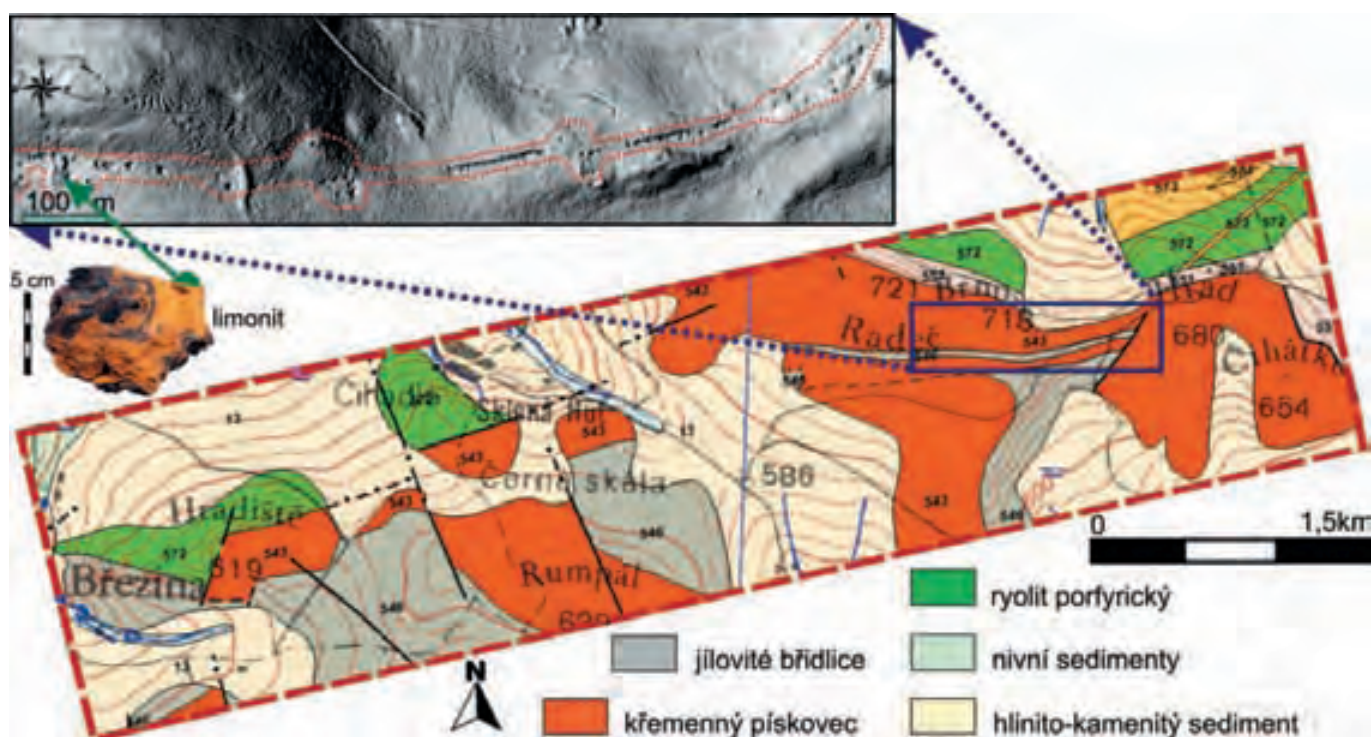
Obr. 2 – Polygon „Březina“. Vrstevnicový plán s barevným kódováním výškopisu v kombinaci se stínovaným DMR. Čísla označují opevněné komponenty: 1) hrad Březina, 2) hradiště Březina, 3) hradiště Bílá skála, 4) hrad na Radči.
Fig. 2 – Polygon „Březina“. Colour-coded contour map draped over shaded relief DTM. Numbers indicate fortified components: 1) castle Březina, 2) hillfort Březina, 3) hillfort Bílá skála, 4) castle on Radeč.



Průměrné roční srážky se pohybují od 570 – 610 mm v nejnižších partiích až po 770 – 810 mm v nejvyšších partiích Radče, ovšem pro většinu rozlohy polygonu platí průměrné hodnoty 610 – 690 mm za rok. V tomto ohledu se řadí k oblastem s nejvyšším množstvím srážek v rámci Plzeňska, které tvoří souvislý pás od JZ části Švihovské vrchoviny právě po okolí Radče. Průměrná roční teplota klesá od 7,5 – 7 °C v nejnižších partiích, přes 7 – 6,5 °C na většině území polygonu, až po 6,5 – 5,5 °C v nejvyšších nadmořských výškách, čímž se oblast Radče řadí na třetí místo, co se týče nejnižší průměrné teploty, za ty partie Slavkovského lesa a Brdské vrchoviny, které zasahují do oblasti Plzeňska (Hostýnek – Tolasz 2008, 67–69).

V geologické skladbě převládají paleozoické sedimentární horniny ordovického stáří, konkrétně křemenné pískovce dobrotivského a libeňského souvrství a jílovité břidlice dobrotivského souvrství, doplněné enklávami vulkanických porfyrických ryolitů křivoklátsko-rokycanského komplexu z přelomu kambria a ordoviku. Zbylé území, jež zaujímá polygon Březina, je tvořeno kvarténními hlinito-kamenitými sedimenty (obr. 3).

Právě geologická skladba, respektive surovinový potenciál byl hlavním determinantem a rozhodujícím činitelem pro osídlování tohoto zemědělsky nevhodného a pro život nelehkými podmínkami vyznačujícího se mikroregionu. V místním spodnoordovickém vulkanosedimentárním komplexu se totiž vy-



Obr. 3 – Polygon „Březina“. Geologická mapa a stínovaný DMR s vyznačením hlavního těžebního tahu. Zelená šipka vyznačuje místo povrchového nálezu limonitu.
Fig. 3 – Polygon „Březina“. Geological map and the shaded relief DTM with highlighted main mining component. Green arrow shows the place of surface find of the limonite.

skytují relativně bohaté zásoby sedimentárních oolitických železných rud a v povrchových zónách pak snadno dostupný limonit (viz kap. 6.1.1.). Nejstarší doklady zpracování železa známe přímo z lokálního mocenského centra raného středověku, totiž z vnitřní plochy opevněného hradiště Březina (obr. 2:2, obr. 12), kde byly archeologicky zdokumentovány vrstvy obsahující spolu s mladohradištní keramikou, mazanici a uhlíky také značné množství kovářské strusky a zlomky železných předmětů (Bašta 1992). Ačkoliv předslovanské stáří opevnění není prokázáno, v areálu hradiště došlo též k nálezům pravěké keramiky náležející do období starší doby železné (Sklenář 1989, 14–16), což by mohla být indicie dovolující alespoň hypoteticky uvažovat o tom, že už tehdejší obyvatelé tohoto kraje mohli mít určité povědomí o místních železnorudných ložiscích. Nejintenzivnější exploatace nerostných a organických surovin spadá do období vrcholného středověku – počínaje 14. stoletím – a raného novověku, kdy toto území fungovalo především jako zásobárna železné rudy a dřevěného uhlí pro okolní železářské hutě (Pleiner et al. 1984, 272) a tvořilo tak relativně stabilní a intenzivně využívaný *utmark* (k tomuto pojmu viz kap. 7.1). Těžba nebo alespoň prospekční činnost směřující k identifikaci ložisek zde probíhala až do 50. let minulého století. Ostatně dodnes je téměř jedna čtvrtina zájmového polygonu (3,045 km²) vedena v geologických registrech jako chráněné ložiskové území Březina u Rokycan č. 23560000 (http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_chranena_uzemi/mapserver/WMSserver).

5. Metodika výzkumu

5.1 Příprava dat leteckého laserového skenování (LLS) pro práci v terénu

Data LLS pro polygon „Březina“ byla pořízena dne 25. 3. 2010 a celkový počet naměřených bodů činí 11 382 360 s hustotou měření 4 body/m². Nejprve jsem obdržel data ve formátu GRD/* .grid pro program Surfer, která představovala již vypočtený DMR. Surfer umožňuje zobrazit DMR mimo jiné prostřednictvím stínovaného povrchu (*shaded relief map* nebo též *hillshade*), který dovoluje uměle nasvítit terén analyzovaného snímku pod libovolným úhlem a směrem a tím využít principu stínových příznaků pomáhajících zviditelnit antropogenní reliéfní tvary zachované na povrchu terénu (Gojda 2005, 806–807; Crutchley 2010, 22–23). Tento způsob vizualizace dat LLS byl ideální pro vytvoření základní představy o krajinném reliéfu studovaného polygonu, množství a charakteru různorodých reliéfních tvarů. Pozorováním morfologie terénu na podkladě stínovaného DMR proběhla primární konceptualizace studovaného prostoru, a to na základě identifikace pravidelných anomálií, u kterých bylo možné předpokládat vznik prostřednictvím antropogenního činitele. Tímto způsobem byly vyčleněny jak komponenty dosud nevidované, tak samozřejmě také ty, které jsou zachycené v ADC a odborných publikacích (v případě tohoto polygonu se jedná o 5 lokalit – viz níže).

Dalším plánovaným krokem mělo být vytvoření vrstvy s identifikovanými objekty. Ukázalo se však, že data v GRD/* .

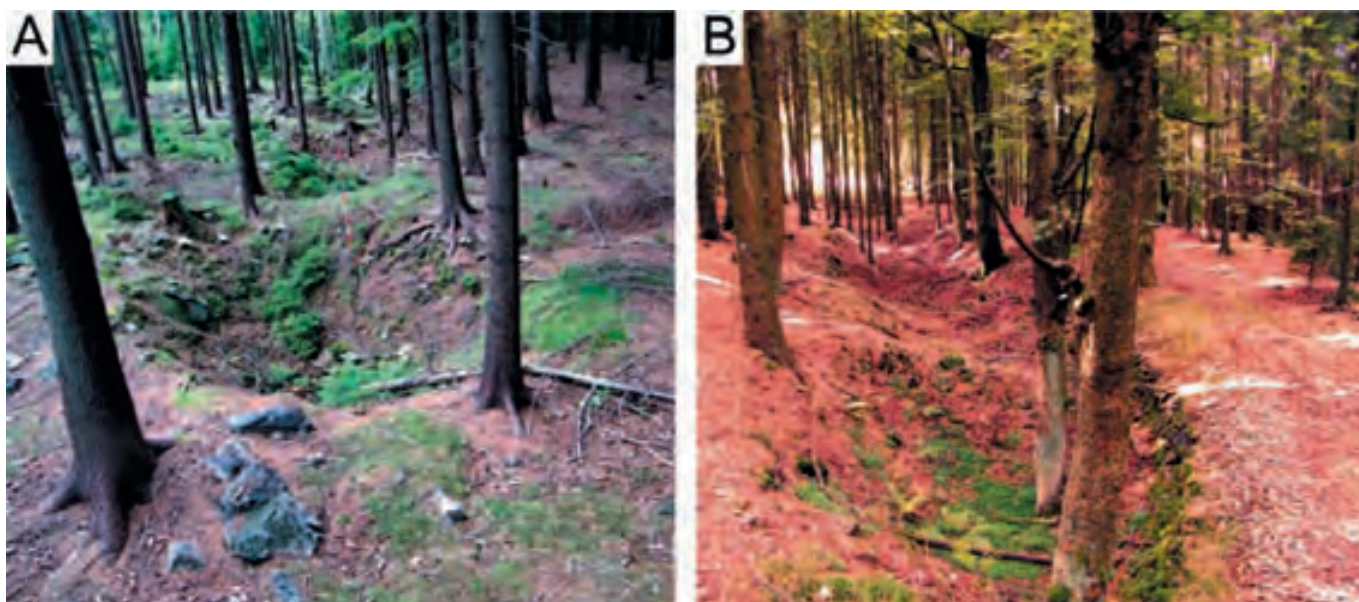
grid v souřadnicovém systému WGS 84/UTM zone 33N obsahují chybu, konkrétně hodnota každé souřadnice X byla zvětšena o 33000000, tzn. že např. namísto X = 403351 byla hodnota X = 33403351 apod. To znemožňovalo řádný import dat do GIS, neboť je nebylo možné správně ukotvit ve virtuálním geografickém prostoru. Z tohoto důvodu, a také pro možnost filtrace vybrané části naměřených dat, bylo přistoupeno k vygenerování zcela nového DMR z dat ve formátu ASCII/* .asc, jež byla upravena eliminováním chyby v souřadnicích X. DMR byl vytvořen metodou nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) v open source programu GRASS GIS 6.4, který je prostřednictvím zásuvných modulů plně kompatibilní s používaným geografickým informačním systémem Quantum GIS.

Teprve po tomto kroku mohla započít finální fáze přípravy dat pro jejich verifikaci (*ground-truthing*) v terénu (cf. Giardino – Haley 2006, 66; Crutchley 2010, 27–28). Objekty archeologického zájmu, vytipované výše uvedeným způsobem, byly sumarizovány vytvořením příslušné vrstvy v GIS, která byla vyexportována do formátu GPX/* .gpx a následně prostřednictvím USB kabelu nahrána do GPS přijímače.

5.2 Terénní výzkum

Vyhledávání komponent, počáteční fáze tzv. *ground-truthing*, probíhalo za pomoci ručního GPS přijímače (typ Garmin Dakota 10), do jehož paměti byly nahrány vrstvy obsahující koordináty vytipovaných, jak předpokládaných tak i na základě jiné evidence dříve ověřených, antropogenních tvarů reliéfu. Současně bylo při terénním průzkumu využíváno stínovaného modelu reliéfu v tištěné podobě na papírových arších¹⁸. Jakmile se podařilo konkrétní komponentu dohledat v terénu, byla provedena fotodokumentace za použití geodetických výtyček sloužících jako měřítko, zaznamenány byly údaje o morfologických vlastnostech, počtu objektů v rámci komponenty a jejich prostorovém kontextu, předběžná funkční interpretace, případně další zjištěné skutečnosti. Při klasifikaci reliéfních tvarů byla použita formalizovaná terminologie přejatá z antropogenní geomorfologie, upravená a publikovaná v dnes již klasické příručce „Nedestruktivní archeologie. Teorie, metody a cíle“ (Kuna – Tomášek 2004). U objektů známých z odborné literatury byl zaznamenán jejich aktuální stav. Ve čtyřech případech byly odebrány vzorky uhlíků z vybraných relikvů milířišť (obr. 10). Pro porovnání možností lokalizační přesnosti byla dodatečně každá zjištěná komponenta zaměřena pomocí GPS přijímače. Taktéž v případě objevu dalších antropogenních objektů v terénu, které nebyly zahrnuty do předpřipravené vrstvy, proběhlo jejich zaměření GPS přijímačem. Pro dodatečné odlišení

18 Optimální řešení pro práci s lidarovými daty v terénu by však představoval GPS přijímač s integrovaným Pocket PC v jedné schránce, umožňující manipulaci s digitálními daty a tvorbu GIS přímo v terénu, jako například přístroj GeoExplorer GeoXT od firmy Trimble, který je vybaven technologií Everest™ pro bezproblémové měření ve ztížených podmínkách, např. pod korunami stromů (<http://www.trimble.com/geoxt3000.shtml>; Crutchley 2010, 28, Fig. 35).



Obr. 4 – Úseky nejdelšího těžebního tahu sledujícího hlavní žilné ložisko. Vlevo: obvalová část tahu. Vpravo: liniová část tahu.

Fig. 4 – Segments of the longest mining component tracking the main iron deposit. Left: pit part of the main mining component. Right: linear part of the main mining component.

takto identifikovaných objektů byly tyto pojmenovávány odlišným alfanumerickým kódem (začínajícím písmenem „R“ oproti řadě „P“, tedy objektům identifikovaným předem na PC).

Polygon Březina je pokryt smíšeným lesem s převahou jehličnanů (cca 70:30), měření probíhala převážně mimo vegetační období, a tak mohly být po počítačovém zpracování naměřených dat konstatovány vcelku očekávané závěry. V místech s řídkou hustotou vegetace a nízkou momentální oblačností, kde přijímanému signálu z družic stálo v cestě minimum překážek, byla shoda naměřené pozice s pozicí odečtenou z dat LLS velmi dobrá až výborná, nezřídka do 1 – 2 metrů. Relativně dobré přesnosti dosáhl přístroj Garmin Dakota 10 při nízké oblačnosti překvapivě i v hustším porostu středně vzrostlých jehličnatých stromů; ovšem byla zaznamenána i jedna odchylka od skutečné pozice ve

vzdálenosti 15 m. Velmi zarážející však byla místy až velmi hrubá nepřesnost digitalizovaných datových modelů ZABAGED ZM 25 (1 : 25000), zprostředkovaných komerčně ČÚZK, které byly zkušebně použity ve finální fázi zpracování dat jako jedna z podkladových vrstev v GIS. Některé výrazné krajinné prvky, jako jsou vodoteče, vodní plochy, výrazné skalní hřebeny apod., vykazují odchylku od dat LLS, potažmo bodů zaměřených GPS až těžko uvěřitelných 112 – 134 m.

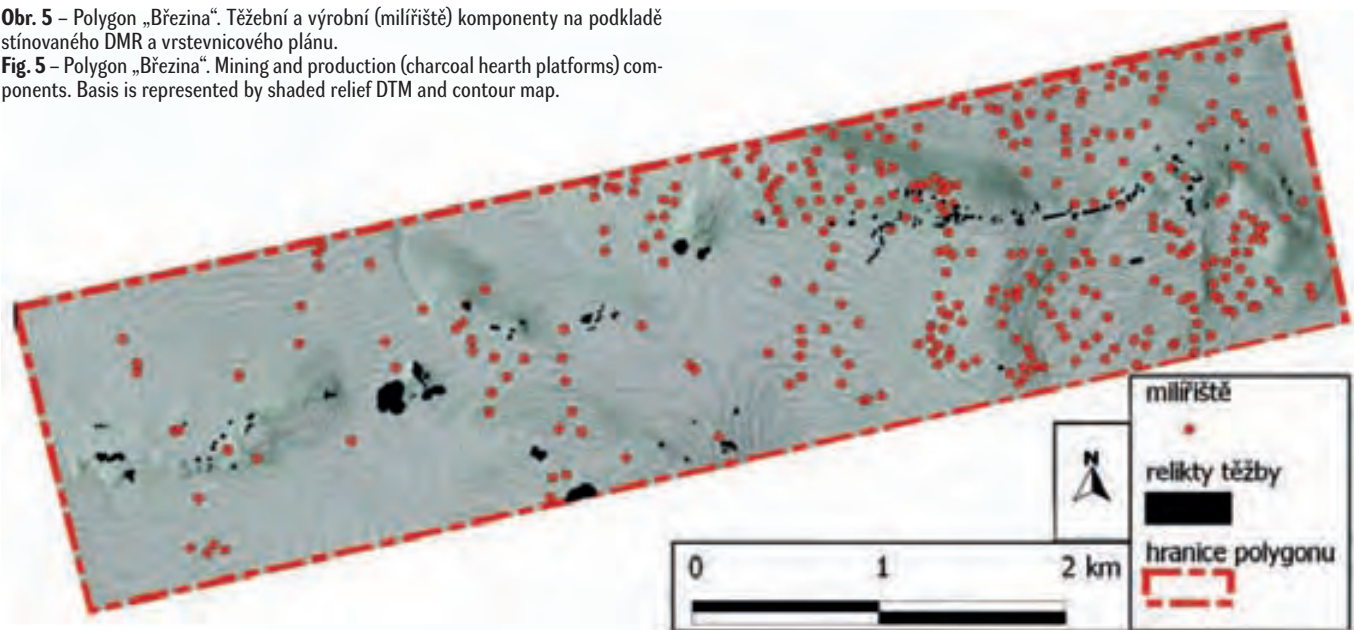
6. Výsledky ověřování lidarových dat a interpretace antropogenních tvarů reliéfu

6.1 Těžební komponenty

V rámci polygonu „Březina“ bylo prostřednictvím kombinace interpretovaných lidarových dat a terénního průzkumu identifi-

Obr. 5 – Polygon „Březina“. Těžební a výrobní (milířiště) komponenty na podkladě stínovaného DMR a vrstevnicového plánu.

Fig. 5 – Polygon „Březina“. Mining and production (charcoal hearth platforms) components. Basis is represented by shaded relief DTM and contour map.



kováno celkem 202 objektů nebo skupin objektů, které byly interpretovány jako relikty po exploataci nerostných surovin (obr. 5).

6.1.1 Exploatace železných rud

Oblast jihozápadního Barrandienu, v němž se nalézá území Radče a Březiny (Chlupáč et al. 2011, 73, Obr. 43), je z geologického hlediska významné výskytem sedimentárních železných rud. V rámci uloženin ordovického stáří mají největší význam ložiska spodnoordovická s oolitickou stavbou, která jsou tvořena hlavně hematitem a sideritem (Novák et al. 2006 [online], 1). V oblasti Radče leží mocné polohy oolitických rud a dále jsou zde přítomny menší čočky sideritických rud, jež se vyvinuly na výrazných litologických rozhraních mezi křemenci a břidlicemi (Mergl 2005, 4). V povrchových zónách této oblasti se pak vyskytuje nejrozšířenější železná ruda, kterou je limonit (Pleiner et al. 1984, 68), tedy $\text{Fe}(\text{OH})_3$ neboli hnědel (obr. 3), vzniklý větráním v oxidačních pásmech (Pleiner 1958, 48). Ložiskové území u Březiny a Radče se stalo zásobárnou železné rudy pro huť v Radnicích, jež byla uvedena do provozu zřejmě již ve 14. století (Pleiner et al. 1984, 272), později v Oseku, Darové a nakonec v Břasech (Pleiner et al. 1984, 68).

Z výše uvedeného vyplývá, že tato oblast byla v minulosti vyhledávána pro svůj surovinový potenciál, představovaný v první řadě zmíněnými ložisky železných rud. Právě s prospekci nebo povrchovou, případně přípovrchovou těžbou těchto ložisek lze spojit převážnou část z 202 identifikovaných těžebních objektů¹⁹ (zbytek představují kamenolomy). Nejintenzivnější koncentrace je pozorovatelná podél hřebene radečského masivu od kóty Hrad na východě po kótu Radeč na západě (obr. 3 a 5). Na základě prostorové distribuce a charakteru reliktních hornických prací je možný pokus o rekonstrukci průběhu hlavního žilného ložiska (obr. 3). Na východní straně je počátek jeho exploatace naznačen skupinou 16 objektů nacházejících se pod skalnatým výběžkem asi 300 m JZ směrem od kóty Hrad. Skupina se sestává jak z nepřilís hlubokých kutacích jam s odvaly, signalizujících prospekci, tak z rozměrnějších a hlubších jámovitých objektů s odvaly pŕlměsícovitě vysypanými po obvodu těžní jámy (u kterých nelze vyloučit, že by se mohlo jednat o propadlé obvaly), jenž zřejmě představují počátek vlastní povrchové těžby. Tato skupina je orientována ve směru SV – JZ, rozprostírá se na šířce do 50 m a asi po 180 m délky na ni plynule JZ směrem navazují čtyři, místy přerušené, podélné příkopy s členitým dnem o délce 25, 85, 25 a 100 m a málo kolísající šířce v rozmezí 5 – 8 m, které vytvářejí téměř souvislý tah o hloubce 1,5 – 2,5 m (obr. 3, obr. 4:B). Nasnadě je interpretace těchto objektů jako reliktních povrchové dobývky liniového typu sledující průběh žilného ložiska, ovšem na první pohled zarazí úplná ab-

sence odvalů vytěžených hlušiny po jedné či druhé straně u všech objektů. Ta buď byla odvezena, anebo by se mohlo jednat o propadlinu horizontálního báňského díla, tedy transformovaný reliktní hlubinné těžby. Dále západním směrem se táhne až do vzdálenosti téměř 1 km obvalový tah (obr. 4:A), jeví se místy spíše jako obvalový pruh (cf. Nováček 2000 [online], pozn. 2), který kopíruje jižní úpatí masivu Radče (obr. 3). Nejvyšší hustoty, co do počtu objektů, dosahuje pod kótou Brno, přičemž dále západním směrem jeho intenzita postupně slábne až se za kótou Radeč zcela vytrácí. Je příznačné, že popsaný tah v celé své délce přesně kopíruje úzký pruh černých jílovitých břidlic dobrotivského souvrství středního ordoviku (obr. 3), neboť jak je známo ze stratigrafického schématu ordoviku Barrandienu (Chlupáč et al. 2011, 74, Obr. 44), na rozhraní dobrotivského a šareckého souvrství se právě v jílovitých břidlicích nalézají sedimentární železné rudy. Celková délka tahu, včetně kutacích objektů při obou jeho koncích, činí 1700 m.

Malá skupina 12 objektů, zastoupených obvaly a kutacími jámami, se pak nalézá v místech západního předpolí hradiště Březina, z toho 3 obvaly s typickým odvaly pŕlměsícovitě vysypanými po obvodu těžní jámy jsou situovány uvnitř plochy stratigraficky staršího ohrazeného předhradí (obr. 6:A).

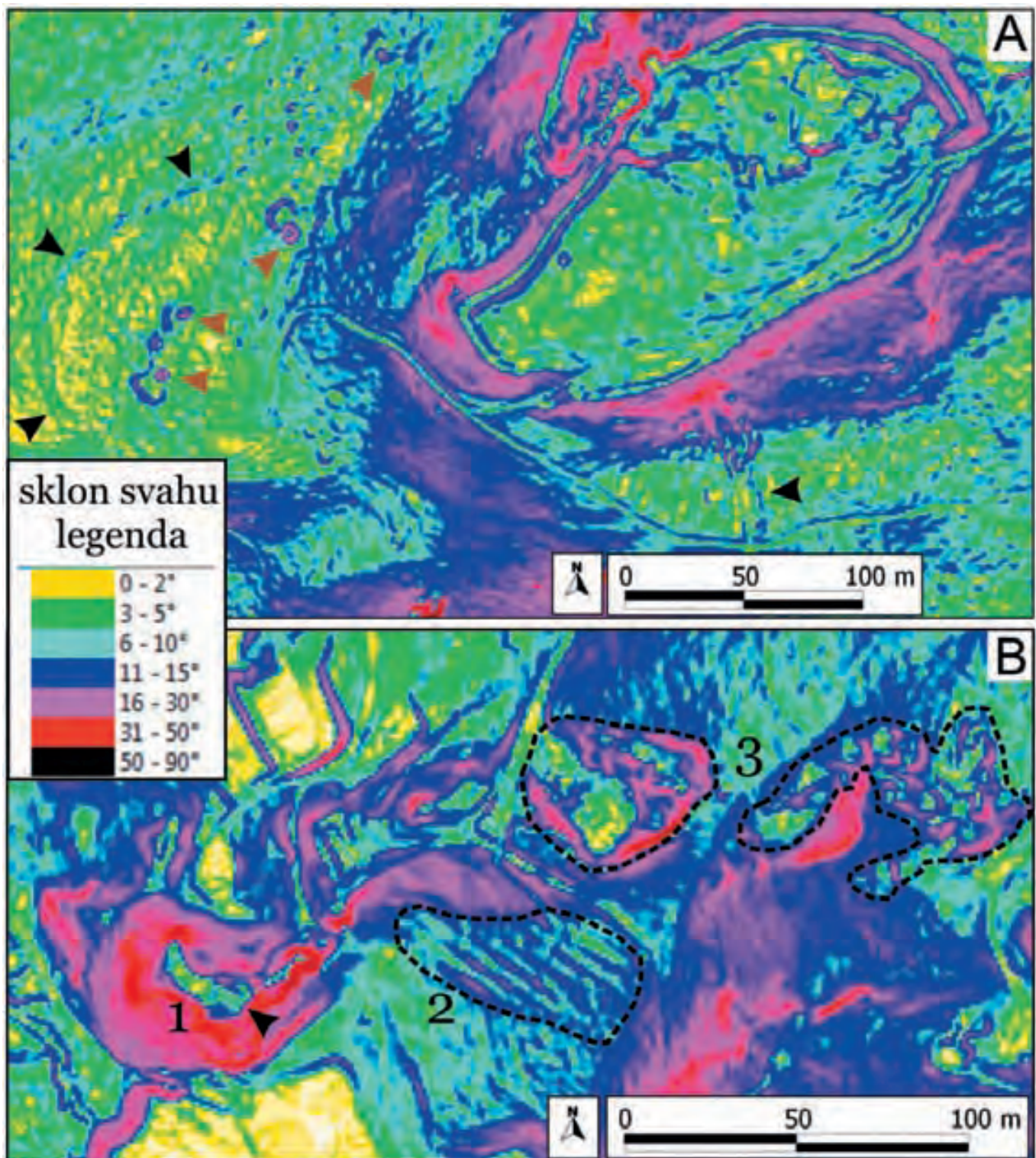
Kromě historických těžebních komponent se zde vyskytují i moderní zasypané průzkumné šachtice, označené v terénu informační cedulí s údaji o názvu a kódu, rozměrech, roku ukončení těžby (zpravidla 2. pol. 50. let 20. století) a datu likvidace opuštěného prospekčního důlního díla.

6.1.2 Exploatace nerudných surovin

Plošně rozsáhlejší vytěžené prostory s absencí odvalů hlušiny, dislokované převážně při výrazných výchozech především křemenných pískovců a také břidlic, byly interpretovány jako kamenolomy. Křemenný pískovec byl nepochybně těžen za účelem výroby skla v místní hutí. Dokládá to i kupní smlouva z roku 1679, kdy bylo novému majiteli Janu Reegrovi povoleno „písek z hory nad sklárnou ležící ... užívat jen pro potřeby hutí, ale nesmí jej prodávat a odvážet jinam“ (Rožmberský 2009, 6). Tato normativní dikce mimo jiné svědčí o kvalitě zdejšího křemene. V okruhu do 800 m od sklárny (k její lokalizaci viz kap. 6.2.1.4) jsou v terénu ve svazích kopců vějířovitě dislokovány čtyři větší (od 45 do 80 m v průměru) nepravidelné svahové sníženiny s členitým dnem a více než tucet podobných jámovitých útvarů menších rozměrů s podobnou morfologií. Pomocí geologické mapy bylo ověřeno, že všechny tyto těžební komponenty leží na křemenných pískovcích a je proto možné je s velkou mírou jistoty spojit s novověkou těžbou této nerudné suroviny pro potřeby nedaleké sklárny.

Rozsáhlé vytěžené prostory se nacházejí také na ložiscích jílovitých břidlic. Ostatně nejrozsáhlejší objekt o rozměrech 155 x 170 m interpretovaný jako kamenolom se nachází na lokální břidličné vyvýšenině příznačně zvané Rumpál. Pro korektní interpretaci účelu těžby místní břidlice a jejího následného zpracová-

19 V následujícím textu se při klasifikaci terénních reliktních povrchových stop starého dolování držím výhradně terminologie navržené K. Nováčkem (Nováček 2000 [online]).



Obr. 6 – DMR s vizualizací sklonu svahu. A) hradiště Březina. Černé šipky vyznačují relikv opevnění západního předhradí, hnědé šipky označují těžební jámy s půlměsícovitými odvaly. B) okolí hradu Březina. 1: plocha zaniklého areálu hradu Březina, černá šipka vyznačuje polohu reliktu donjonu; 2: terasovité úpravy svahu; 3: kamenolomy. **Fig. 6** – DTM with slope visualization. A) Březina hillfort. Black arrows indicate relict of the western bailey, brown arrows indicate mining holes including bicornuate spoil heaps. B) surroundings of the Březina castle. 1: extent of the deserted castle Březina area, black arrow shows position of the donjon relict; 2: hillside terraces; 3: stone quarries.

ní by bylo nutné znát její přesnou skladbu – především obsah síry, každopádně oblast širšího Radnicka, včetně obcí v blízkém okolí zkoumané oblasti, byla v novověku proslulá zpracováním vitriolových břidlic pro produkci rozmanitého sortimentu výrobků, mezi které se řadí kamenec (Kamenec), vitriolový louh a vitriolový kámen (Libštejn, Kozojedy, Bujesily, Darová), oleum neboli kyselina sírová (Břasy, Kamenec, Kříše, Horní Stup-

no.), kolkotar, caput morium (Horní Stupno), kyselina chlorovodíková (Břasy) a vodní sklo (Kamenec) (Fencl 1978).

6.2 Výrobní komponenty

6.2.1 Výroba dřevěného uhlí

K nejčastějším antropogenním objektům identifikovaným na základě dat LLS a posléze zverifikovaných na povrchu součas-

ného terénu se s naprostou převahou řadí relikty platformou sloužících k výrobě dřevěného uhlí²⁰, tzv. milířišť. (obr. 5, 7, 10)²¹. Z tohoto důvodu, a také proto, že se v rámci archeologického bádání jedná stále o dosti marginalizovanou problematiku, bude uhlířskému řemeslu, resp. jeho hmotným pozůstatkům věnováno v této práci více prostoru než je tomu u ostatních kategorií památek identifikovaných ve studovaném prostoru.

Vlastní výrobní zařízení, v době fungování situované na urovnaném, vodorovném povrchu, se nazývá milíř, což je podle definice Naučného slovníku lesnického v podstatě: „... za účelem pálení dřevěného uhlí narovnaná hromada dříví, obvyč. sortimentů palivních, opatřená těsnicí pokrývkou k částečnému zamezení přístupu vzduchu“ (Konšel 1935, 924). Pálení uhlí v těchto nadzemních konstrukcích je bezpochyby nejznámější historický způsob výroby, praktikovaný od středověku (Pleiner 1958, 65) až v podstatě do zavedení výroby dřevěného uhlí v železných pecích ve 20. století²² (Kmošek 2011, 11). Konkrétně v oblasti křivoklátských lesů byla tato nová technologie v provozu od 2. světové války do 80. let 20. století, což koreluje s etnologickými zprávami z 50. a 60. let, kdy se o tradiční výrobě dřevěného uhlí v milířích píše jako o zanikajícím jevu²³. Razantní úpadek však uhlířství zaznamenalo již v průběhu 19. století v souvislosti s přechodem především železářských hutí na jiné druhy paliva, tj. kamenné uhlí a koks²⁴ (Dragoun – Matoušek 2004, 733; Woitsch 2010,

354). V některých částech východní Evropy však i v současnosti probíhá kontinuální výroba tradiční milířovou technologií; jedná se především o oblast rumunské Transylvánie (Woitch 2009, 46, 49–51, Obr. 1–4), případně okolí Egeru v pohorí Bükk v Maďarsku (Groenewoudt 2007, 329, Fig. 2.).

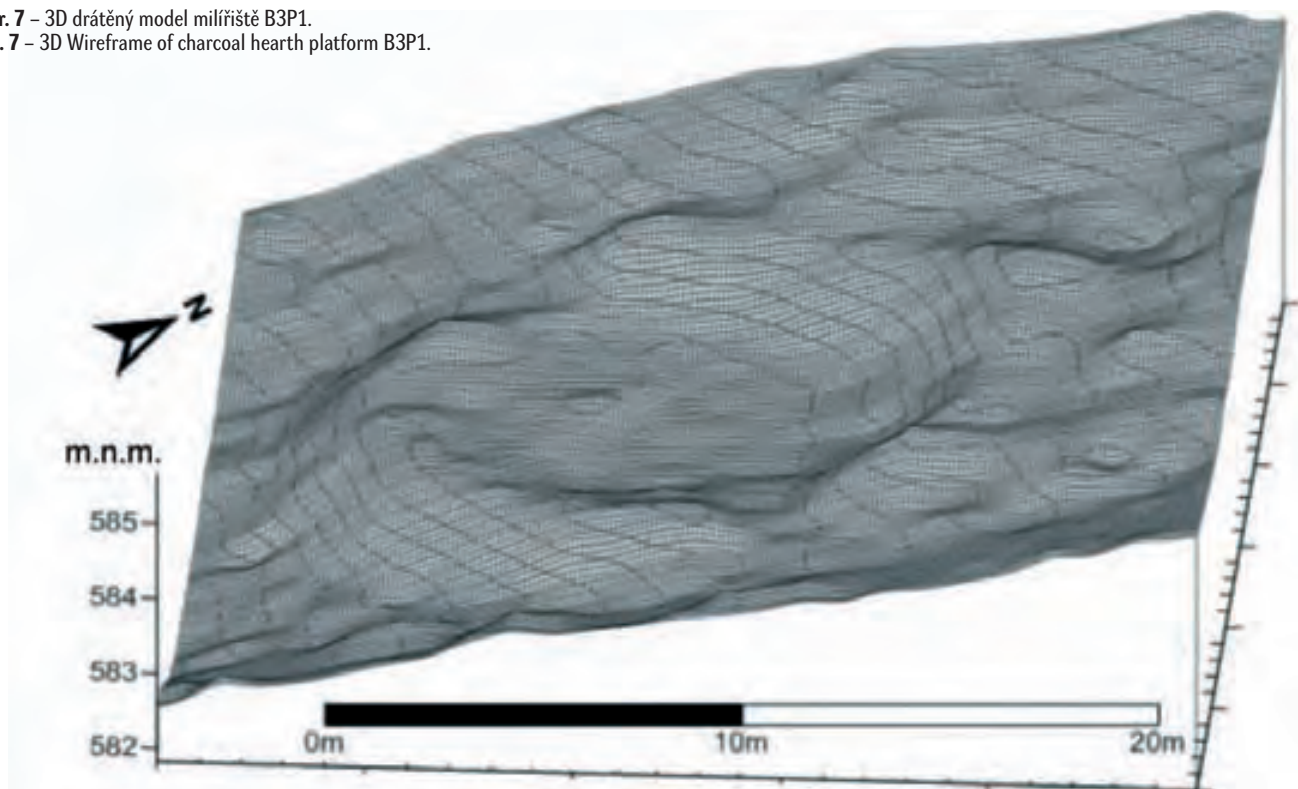
Velmi problematičtější nadále zůstává chronologická otázka nástupu technologie pálení dřevěného uhlí v milířích. Dosavadní skrovné archeologické či historicko–geografické bádání má charakter buďto lokálních geodeticko–topografických průzkumů, které se zaměřují spíše na prostorovou distribuci milířišť v terénu (Plekanec – Havránek 2004; Havránek 2002), případně jejich vlastní morfologii a stratigrafii (Dragoun – Matoušek 2004) či v poslední době stále populárnější experimentální výpaly sledující rekonstrukci výrobních postupů (Hlavatý 1989; Dragoun – Matoušek 2004; Woitch 2009; Cyrus – Matoušek 2009; Kadera 2011; Kmošek 2011) otázku chronologie neřeší buďto vůbec anebo odvozují jejich relativní stáří od nepřímých dokladů. Pro naše území je tedy nutno konstatovat téměř úplnou absenci absolutních dat z reliktních milířů (opačná situace platí např. pro Norsko, kde je to tento způsob datace běžným standardem – cf. Helliksen 1997, 108, 114, 126–135, Tabell 14, 15, 16–22), ačkoliv právě uhlíkaté vrstvy milířišť obsahují dostatečné množství materiálu vhodného pro radiokarbonové datování. Jediný rozsáhlejší soubor radiokarbonových dat (26 vzorků) ze zaniklých milířišť v severní části Brdské vrchoviny ukazuje na jejich fungování od 2. čtvrtiny 18. století do 1. čtvrtiny 19. století (Bobek nedatováno²⁵; výsledky projektu ještě bez dat ¹⁴C cf. Bobek 2008). Písemné zprávy nejrůznější povahy nás sice spolehlivě informují o existenci uhlířského řemesla ve středověkých Čechách, z privilegia Jana Lucemburského z roku 1327 máme doložen i uhlířský cech, vzniklý zřejmě na samém počátku 14. století, který je zároveň nejstarší doloženou řemeslnickou korporací v měřítku střední Evropy (Woitch 2010, 350), ovšem co v těchto dokumentech postrádáme je popis technologického postupu i vlastních výrobních zařízení. Písemné zmínky o karbonizaci dřeva v milířích se v Evropě objevují od 16. století, přičemž v roce 1540 vyšlo z pera V. Biringuccia první rozsáhlé pojednání o této problematice (Gerber – Portmann – Kündig 2002, 12, 14). Ve svém díle Pirotechnica popisuje výrobní postup, diskutuje a porovnává výhody pálení dřevěného uhlí v milířích se starší a podstatně méně efektivnější – co do kvantity i kvality – technologií pálení uhlí v jamách (Kmošek 2011, 13). Reprezentativní výběr archeologických lokalit ze střední a severní Evropy s nálezy uhelných jam z období od starší doby železné (lokalita Waschenberg, Rakousko) až po přelom 13./14. století n.l. (lokalita Tramen, Švédsko) uvádí R. Pleiner (2000, 121). I když přechod od jámové technologie k nadzemním milířům neprobíhal v rámci Evropy rovnoměrně, zdá se, že nálezy uhelných jam ze švédského Tramen jsou systémově jedny z nejmladších, neboť publikovaná radio-

- 20 Proces zuhlení, tzv. pyrolyza neboli suchá destilace, je tepelný rozklad dřeva za omezeného přístupu vzduchu, kdy vedle dřevěného uhlí vzniká dehet (na jehož získávání byly konstruovány speciální dehtařské pece – cf. Maličský 1968, 179; Lissek 2004, 72, 76 – 77, Obr. 2 a 3 – nebo starší, jednodušší jámy či milíře – Nováček 2007, 170), čpavek a velké množství především plynných látek. O vlastním procesu pyrolyzy, chemických a fyzikálních vlastnostech výsledných produktů bylo již vícekrát referováno (cf. Dragoun – Matoušek 2004, 731–732; Kmošek 2011, 15 – 16; Woitch 2009, 47–48), nebudu se zde proto tímto aspektem podrobněji zabývat.
- 21 V česky psaných novověkých pramenech se místo pro pálení dřevěného uhlí též označuje jako uhlíště, uhelníště, uhelnák, uhelný plac nebo jen plac (Dragoun – Matoušek 2004, 734). Výchozím německým ekvivalentem je Meilerplatz (cf. Nelle et al., 2003, 458, Abb. 1), anglicky charcoal hearth platform (cf. Bond 2007, 281, Fig. 4), francouzsky la charbonnière (cf. Gerber – Portmann – Kündig 2002, 63, Fig. 57–60), norský kullgrop (Helliksen 1997, 123, 130, Fig. 57).
- 22 Vývoj a proměny sociálního statusu českých uhlířů v období 14. – 19. století, kdy se z privilegovaných řemeslníků s vysokou mírou osobní svobody postupně stávali námezdní dělníci a trpění obyvatel lesů na pokraji společnosti, přibližuje J. Woitch (2010, 349–355).
- 23 Obecně lze konstatovat, že zanikání této tradiční technologie v období po polovině 20. století je signifikantní pro většinu evropských oblastí, včetně těch západoevropských. Pro Anglii cf. Bond (2007, 293), v oblasti Veluwe ve středním Nizozemí definitivně zaniká výroba až kolem roku 1975 (Groenewoudt 2007, 328) a z oblasti Romoos, uvnitř švýcarského horského masivu Napf existuje dokonce záznam, že ještě v roce 1982 tucet místních uhlířů vyprodukovalo za rok na 50 tun dřevěného uhlí tradiční milířovou technologií (Gerber – Portmann – Kündig 2002, 14).
- 24 Pokusy s minerálním uhlím při zkujňování železa ve výhni se objevovaly od konce 60. let 18. století v železárnách ve Zbirohu, Radnicích a Hořovicích, avšak ukázalo se, že po přímém styku s uhlím je železo kontaminováno sírou. Východisko přineslo koksování černého uhlí, ovšem první koks byl nevalné jakosti a používal se jako příměs ke kvalitnějšímu dřevěnému uhlí (Pleiner et al. 1984, 103).

25 Za poskytnutí této nepublikované práce – posteru děkuji Mgr. Přemyslu Bobkovi z Botanického ústavu AV ČR.

Obr. 7 – 3D drátěný model milířiště B3P1.

Fig. 7 – 3D Wireframe of charcoal hearth platform B3P1.



karbonová data z dalších středověkých objektů tohoto typu ukazují na jejich výskyt od 6./7. století (v Bavorsku; *Nelle et al. 2003*) do přelomu 10./11. století, s těžištěm v 8. a 9. století (severojižní pás západního Nizozemí; *Groenewoudt 2007, 330–331*). Poblíž obce Langquaid (Dolní Bavorsko) byl odkryt mírně zahlabený milíř vanovitěho tvaru, radiokarbonovou metodou datovaný do 11. století, který byl interpretován jako přechodný typ mezi uhelnou jámou a nadzemním milířem (*Guggenbichler – Nelle – Rind 2000; Nelle et al. 2003, 463*). Vybrané vzorky ^{14}C (Greifswald, Německo: *Nelle et al. 2003, 463* a Brigstock Great Park, Anglie: *Bond 2007, 282*), získané z klasických nadzemních milířů, pak shodně ukazují, že tyto milíře fungovaly v období vrcholného středověku.

S ohledem na současný stav bádání tedy prozatím nelze vyslovit konkrétnější hypotézu, než že přechod výroby dřevěného uhlí z drobnějších zahlabených jam do efektivnějších nadzemních milířů probíhal na území Evropy pozvolna v období vrcholného středověku a raného novověku²⁶ (cf. *Nelle et al. 2003, 463*;

Groenewoudt 2007, 328) a byl úzce spjat se zvýšenou poptávkou po dřevěném uhlí vyvolanou rozmachem železářského průmyslu (*Gerber – Portmann – Kündig 2002, 12*).

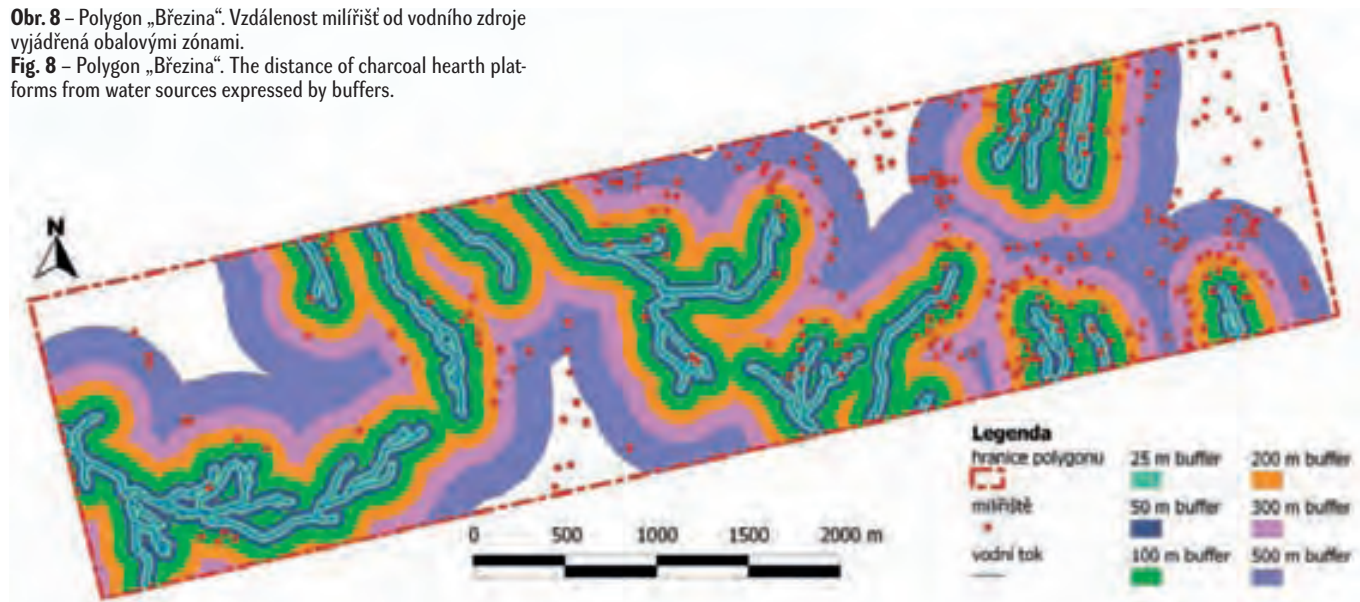
Ve zkoumané oblasti bylo identifikováno celkem 322 relikvů platform pro výrobu dřevěného uhlí, čili jejich průměrná hustota činí 25 milířů na 1 km², přičemž převážná část z nich se koncentruje ve východní polovině polygonu po obou stranách masivu Radče (obr. 5). Jelikož výzkum probíhal výhradně nedestruktivním způsobem, k jejich typologii se lze vyjádřit jen rámcově. Milířiště jsou oválného až kruhového tvaru, lokalizovány jak ve více či méně relativní rovině, tak velmi často ve svahu, kde polovina objektu je do něj zahlabena a druhá umístěna na zarovnaném odvalu. Po obvodu většiny milířů se vyskytuje nízký rov (nejčastěji 30 – 40 cm), který je tvořen odhnutým mourem z předchozího výpalu. Vnější průměr se pohybuje nejčastěji mezi 6 – 12 m, u největších však dosahuje téměř 20 m (obr. 7). Uhlířské placy byly užívány vícekrát, dokud byl v okolí dostatek dřeva, neboť na novém placu je výtěžek dřevěného uhlí vždy nižší, a to o 10 – 25%, nežli na starém (*Konšel 1935, 925; Dragoun – Matoušek 2004, 735*). Na základě půdorysu se tedy jednalo o stojaté milíře (ležaté nebo též švédské milíře jsou rozšířeny pouze ve Skandinávii), s největší pravděpodobností o tzv. typ slovanský, označovaný někdy také jako vlášský. Tento typ milířů se od milířů německých a alpských liší detaily ve vnitřní konstrukci a způsobem zápalu (cf. *Dragoun – Matoušek 2004, 735–736*).

Důležitou podmínkou ovlivňující volbu místa pro stavbu milíře byla blízkost vody. Pro určení vzdálenosti byly na základě DMR a terénní verifikace zdigitalizovány v GIS všechny využitelné vodní zdroje s výjimkou zřetelně recentních meliorač-

26 Výroba dřevěného uhlí v zahlabených jamách však trvala i nadále (cf. *Dragoun – Matoušek 2004, 736; Kmošek 2011, 14; Pleiner 1958, 65*), ovšem v malých objemech a pro okamžitou spotřebu. Je podstatně méně časově, fyzicky i materiálně náročná než je tomu u milířů, neboť jak ukázaly experimenty z jedné jámy o průměru nejčastěji 80 – 100 cm a hloubce 120 – 145 cm (*Kmošek 2011, 18, Tabulka 3*) je možné za 48 hodin od vsázky získat až 0,4 prn dřevěného uhlí, dosahující vysoké objemové výtěžnosti (až 54 %), ovšem nízké kvality (obsah fixního uhlíku průměrně 70 %) a na rozdíl od milířů je s ohledem na nízké riziko požáru možné tuto techniku praktikovat v bezprostřední blízkosti sídlišť či hutí (*Kmošek 2011, 33*). Na okraj je třeba podotknout, že jednou z podmínek příhodného místa pro stavbu milíře je vhodná půda, z které lze vytvořit kvalitní hliněný plášť (*Dragoun – Matoušek 2004, 735*), a proto v případě absence takové zeminy v místě plánované výroby dřevěného uhlí, mohla být dána přednost právě této méně náročnější technologii.

Obr. 8 – Polygon „Březina“. Vzdálenost milířišť od vodního zdroje vyjádřená obalovými zónami.

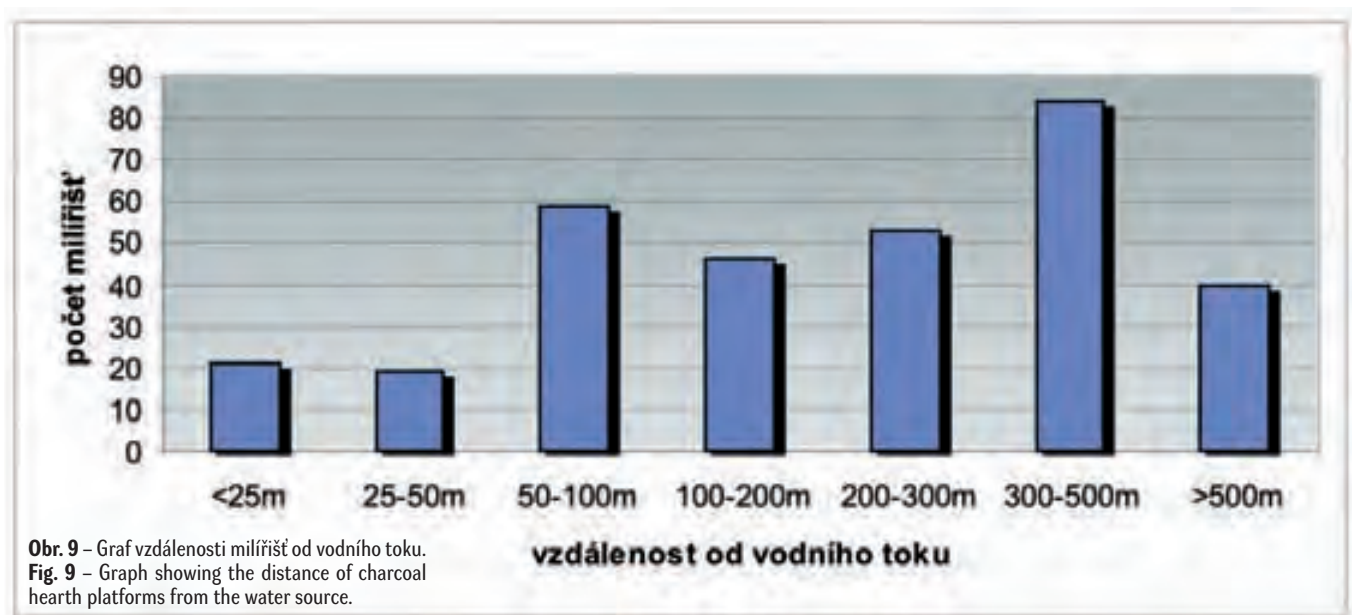
Fig. 8 – Polygon „Březina“. The distance of charcoal hearth platforms from water sources expressed by buffers.



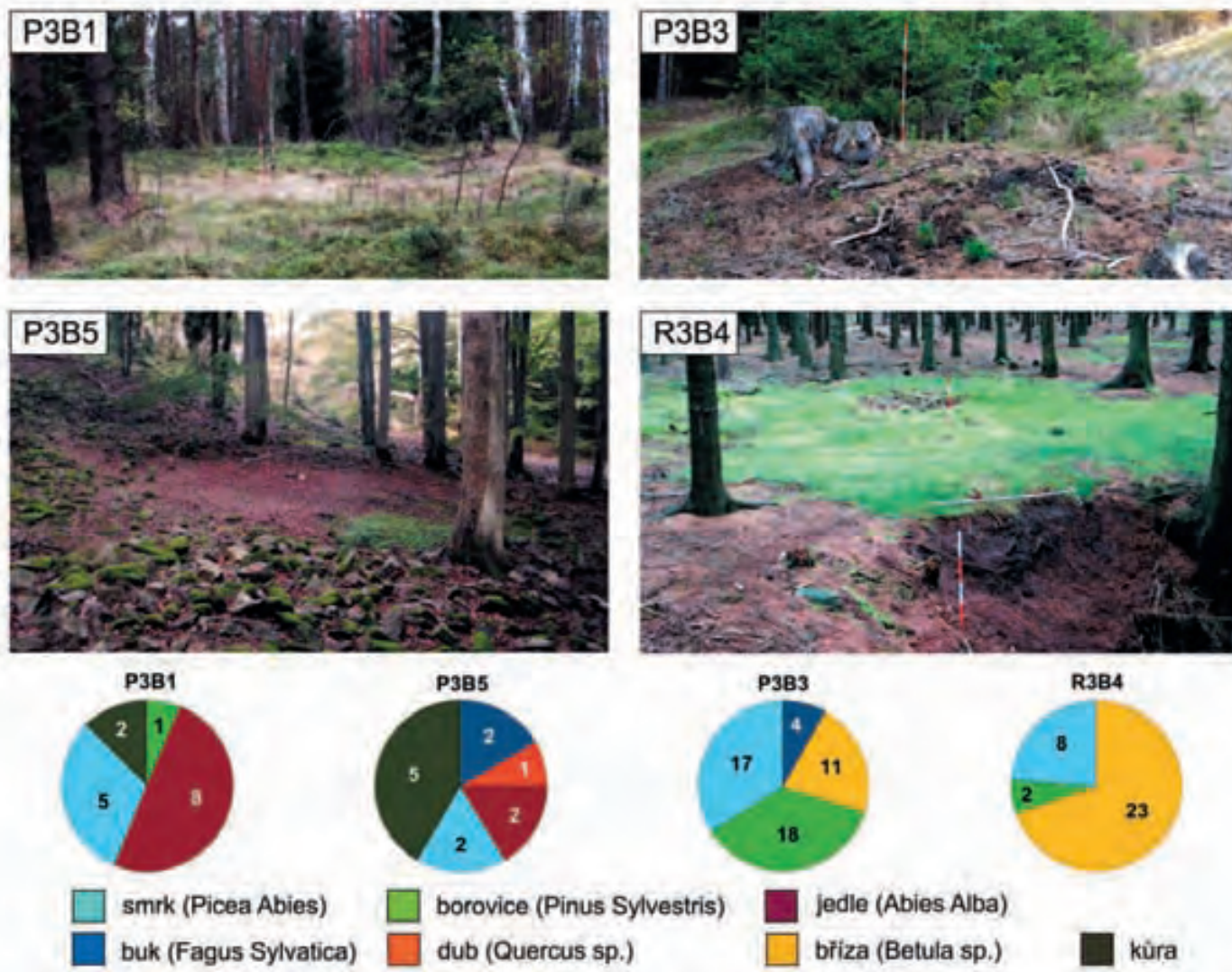
ních kanálů. Pomocí obalových zón (tzv. bufferů) bylo stanoveno 6 kategorií vzdálenosti, od 25 m do 500 m (obr. 8). Z výsledného grafu (obr. 9) pak vyplývá, že vynikající až dobrou pozici (do 100 m) mělo z tohoto pohledu 99 milířů (31 %), v relativně dostačující vzdálenosti (100 – 300 m) pak leželo opět 99 milířů a zbytek, tj. 124 (38 %) se pak nachází v příliš velké vzdálenosti, než by postačovalo k bezproblémové operativní manipulaci s vodou. Zásobování těchto milířů vodou pak muselo probíhat nějakým specifickým způsobem, například vytvořením umělé cisterny v jejich blízkosti či využitím potenčních studánek, které se při terénním průzkumu nepodařilo dohledat. Nicméně je třeba mít na paměti, že hydrologická situace v době provozu se jistě poněkud lišila od té současné.

Důležitým tématem při studiu problematiky pálení dřevěného uhlí je otázka intencionální selekce. Kvalita a míra výhřevnosti uhlí je vedle efektivity karbonizačního procesu determinována

druhem použitého dřeva. Uhlí z lehkého a měkkého dřeva se vzněcuje rychle, nehoří příliš pravidelně a rychleji vyhořívá, oproti tomu dobře vypálené uhlí z kompaktního, tvrdého dřeva hoří rovnoměrně, dlouho, bez dýmu a je proto vhodnější k redukci železa (Cowgill 2002, 52). Mezi dřevěným uhlím nalezeným ve sklářských provozech 16. století v Anglii byla identifikována bříza, olše, vrba a méně dub – podle charakteru vzorků však spíše odpadního charakteru (Gale 2002, 40). Skutečnost, že pro sklářské provozy nebylo nutné disponovat vysoce kvalitním dřevěným uhlím svědčí mimo jiné i normativní písemná zmínka, týkající se sklenohtské sklárny, ve které vrchnost povoluje pálit dřevo na uhlí pouze z nahnilého dříví a vývratů (Rožmberský 2009, 7). Odebrané vzorky ze 4 milířů v rámci polygonu „Březina“ ani v jednom případě nepotvrdily přísnou selekci a v dotčených milířích bylo zastoupeno široké spektrum druhů (obr. 10). Ze 111 určených vzorků byla v 36 případech zastoupena bříza, ve 32 smrk,



Obr. 9 – Graf vzdálenosti milířů od vodního toku.
Fig. 9 – Graph showing the distance of charcoal hearth platforms from the water source.



Obr. 10 – Relikty milířišť, z nichž byly odebrány vzorky pro antrakologickou analýzu. Grafy vyjadřují podíl zastoupení jednotlivých druhů dřevin.
 Fig. 10 – Relics of charcoal hearth platforms which were subject of an anthracological analysis. Graphs express the rate of representation of particular wood species.

v 21 borovice, v 10 jedle, v 6 buk a pouze v 1 případě dub. Zbýlých 7 ks bylo reprezentováno kůrou, která jak známo snižuje účinky pyrolýzy a není vhodná pro uhlí určené k tavbě železné rudy (Kmošek 2011, 16). Navíc při posuzování možné preference určitého druhu je nutné přihlídnout ke skutečnosti, že uhlíště bylo užíváno pro několikanásobné opakování výrobního procesu, dokud se nevyčerpala zásoba dřeva v jeho okolí. Bez možnosti důsledného rozlišení provenience uhlíků z jednotlivých vrstev milířišť proto není možné se k otázce selekce blíže vyjádřit (Bobek 2008, 424). Co však lze říci s velkou mírou jistoty je skutečnost, že druhy zjištěné v jednotlivých milířích rostly v době užívání v bezprostřední blízkosti výrobního zařízení. Hlavním důvodem výroby dřevěného uhlí *in situ* bylo výrazné usnadnění jeho transportu do místa spotřeby, neboť při procesu pyrolýzy ztrácí dřevo asi 60 % své hmotnosti v surovém stavu (Bobek 2008, 424).

S transportem konečného výrobku úzce souvisí i komunikační síť, na niž byla většina milířišť napojena bezprostředně. Ve východní části polygonu jsou tyto objekty situovány podél většiny významnějších cest. Je ovšem typické, že milířiště vzdálenější od hlavních – často dodnes užívaných – komunika-

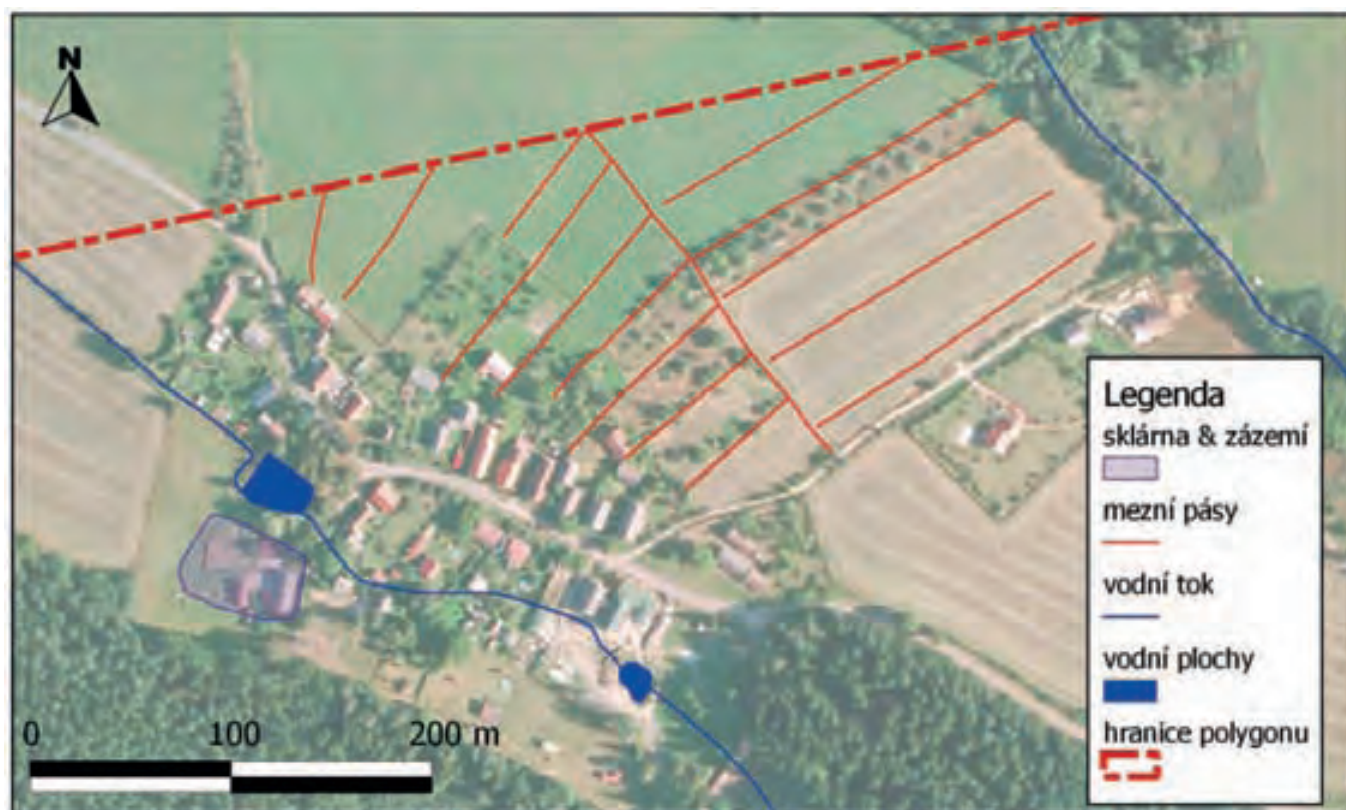
cí jsou napojeny na tyto drobnými cestami, jejichž vznik byl determinován čistě potřebami uhlířů. Dnes jsou tyto komunikace nejnižšího řádu velmi těžko rozeznatelné v terénu a bez použití DMR by jej často bylo téměř nemožné identifikovat.

6.2.1 Výroba skla a souvisejících produktů

6.2.1.1 Sklářská huť ve světle historických pramenů

Při severním a zhruba 2,3 km od západního okraje studovaného polygonu je situována obec Sklená Huť (něm. Glashütte, později Glashütten; obr. 11). Její název je odvozen od sklárny vybudované zde okolo roku 1655 nákladem české komory na návrh Kryštofa Schürera, člena podnikatelské rodiny výrobců skla a železa. Zpočátku se sklárně vůbec nedařilo, byla v provozu jen příležitostně, výrobu omezoval nedostatek surovin, huť rychle chátrala²⁷, nájemci se často střídali, přičemž druhý

27 O neutěšeném stavu sklárny se dozvídáme z jedné z nájemních smluv z roku 1663, kde se praví, že je „na stavení hrubě sešlá a k upadnutí, podhnijíce podvaly, od velikých větrů skloněna jsouce“ (Rožmberský 2009, 5).



Obr. 11 – Sklená Huť. Ortofoto s vyznačením lokalizace zaniklé sklárny a mezních pásů zaniklé plužiny.
Fig. 11 – Sklená Huť. Position of the deserted glass works and ridges of the deserted ploughland are highlighted.

z nich byl dokonce pro dluhy uvězněn v Plzni. Celkem se zde nájemců vystříдалo šest, když nakonec byla sklárna i s pozemky roku 1679 prodána poslednímu nájemci Janu Reegerovi, držiteli sklárny v Broumově na křivoklátsku. Za Reegrů huť prosperovala, pracovalo zde vícero zaměstnanců, vyrábělo se zde nejen tabulové a terčové okenní sklo, ale i exkluzivnější ozdobně ryté stolní sklo. Roku 1729 se sklárna ocitla v rukou vdovy po posledním mistru z rodiny Reegerů a již roku 1734 byla zpustlá, zadlužená a zřejmě již sklo ani neprodukovala, neboť v soupisu majetku z tohoto roku chybí vlastní huť s pecí. Roku 1740 ji převzal poslední soukromý majitel, ten do huti investoval, ale bez úspěchu, neboť ji ještě týž rok prodal zbrožskému panství, které sklárnu i s pozemky roku 1767 rozprodalo pravděpodobně bývalým zaměstnancům a/nebo novým osadníkům. Ponechalo si v režii zřejmě jen bývalé obydlí sklářského mistra s hospodářstvím a přeměnilo je na vrchnostenský dvůr, který byl však zanedlouho zrušen v rámci Raabovy reformy zahájené v Čechách roku 1775 (Rožmberský 2009).

Z radnické matriky se dozvídáme o některých zaměstnancích, mezi něž patřili nejen lidé bezprostředně spjatí s výrobou skla v huti, tedy sklářští tovaryši, včetně specializovaného tabuláře, rytkyně a šalíři (dohlížející na oheň v peci), ale také např. popeláři, spalující v okolních lesích dřevo na popel, který dodávali do sklárny (Rožmberský 2009, 7–8). Přítomnost příslušníků tohoto specifického lesního řemesla mezi přímými zaměstnanci sklárny, spolu s existencí „flusárny s železným kotlem“, uváděné v soupisu majetku sklárny z roku 1734 (Rožmberský 2009, 9),

podávají nepřímé svědectví o dalším zde provozovaném řemeslu, bezprostředně spjatém s výrobou skla, totiž o draslářství.

6.2.1.2 Výroba dřevěného popele

Popel byl klíčovou surovinou pro výrobu skla. Zpočátku se přidával do sklářského kmene v surové podobě, později rafinovaný ve formě potaše (viz níže) (Černá 2005, 116). Z písemných záznamů se dozvídáme o zásobách popele při sklenohuťské sklárně a také o dvou zaměstnancích, provozujících toto řemeslo v okolních lesích (Rožmberský 2009, 4, 7, 8). Víme také, že vrchnost povolovala pálit pro potřeby huti pouze popel z dříví ležatého a shnilého (Rožmberský 2009, 4, 5), a že nejlepší druh dřevin pro získání popele na výrobu kvalitního skla byl získáván z jedle, buku, osiky a habru (Rožmberský 2009, 11).

Poměrně sofistikovaným výrobním zařízením pro výrobu popele byly jednoduché popelářské pece obezděné ze tří stran nebo obložené nasucho kladenými kameny, které zaručovaly rovnoměrné a rychlé spálení organických hmot. Na našem území se ovšem předpokládá především jednoduché spalování popele na otevřených ohništích, doposud však nebyl učiněn jediný nález, který by byl interpretován jako popelářské ohniště. Nicméně, na základě provedených experimentů a skandinávských analogií, byly popsány typické znaky, na základě kterých by bylo možné případný relikv tohoto typu archeologicky identifikovat. Popelářská ohniště se mohou v terénu jevit jako mělce zahloubené objekty, často s kamennou plentou na okrajích a charakteristickým silně propáleným podložím, které po jed-

nom výrobním cyklu dosahuje mocnosti 5 – 10 cm, u dlouhodobě užívaných ohnišť je podstatně výraznější. Konstatována byla též prezence vegetačních příznaků. Je nasnadě, že tato ohniště mohou být snadno zaměňována s relikty milířů či dehtáren. Od těch lze popelářské ohniště rozpoznat na základě absence dřevěného uhlí a zbytků dehtu, které jsou produktem pyrolýzy, ovšem při pálení dřeva za přístupu vzduchu nevznikají. Očekávat lze téměř úplnou absenci popela v objektu i jeho okolí, neboť ten byl jako vzácná surovina odvezen (Woitsch 2006, 14).

Jelikož první popisovaná etapa prací v polygonu Březina probíhala výhradně nedestruktivními postupy formou geodeticko-topografického průzkumu, nemohla být případná popelářská ohniště vydělena od reliktní platformy pro pálení dřevěného uhlí (resp. od těch objektů, kde nebyly přírodními procesy nebo zooturbantou obnaženy vrstvy dřevěného uhlí). Jak víme z písemných pramenů (viz výše), popelářství zde bylo intenzivně provozováno minimálně pro potřeby sklehohuťské sklárny, tudíž objekty reliktní ohnišť musí být v těchto lesích přirozeně přítomny. V terénu bylo vytipováno několik mírně zahloubených objektů s povrchovou absencí fragmentů dřevěného uhlí a podstatně menším průměrem než je obvyklé u milířů, jejich verifikace a funkční interpretace je však úkolem pro případnou archeologickou sondáž.

6.2.1.3 Výroba potaše

Flusárna, připomínaná i zde v rámci místní sklárny k r. 1734 (Rožmberský 2009, 9), někdy označovaná též pojmy draslárna či potašárna, byla provozována specializující se na výrobu potaše, nazývaného též flus, draslo nebo salajka. Potaš byla, vedle nadrceného křemene (SiO_2) a vápence (CaO), důležitou komponentou přidávanou do tzv. sklářského kmene kvůli usnadnění tavby křemičitých písků. Jednalo se o směs chemických látek, z nichž kyslíkem sloučeninou byl uhličitán draselný (K_2CO_3), jehož prostřednictvím pronikají do skla alkálie jako K_2O (Woitsch 2006, 4; Černá 2005, 116). Vlastní technologie výroby potaše ve flusárnách sestávala z vyloužení dřevěného popela vodou, odpaření filtrátu a kalcinace surového drasla. Onen železný kotel²⁸, uvedený jako součást místní flusárny (viz výše), sloužil jako pojemník popelového filtrátu ve fázi jeho odpařování a zahušťování a sloužil též k dalšímu zahřívání flusu při nejjednodušším způsobu kalcinace. Nahrazení kalcinace v odpařovacích kotlích podstatně účinnějším způsobem vypalování v tzv. pálcích pecích bylo běžné až od 2. pol. 18. století (Woitsch 2006, 9–10), to už se však existence sklárny ve Sklené Huti chýlila k definitivnímu konci a výroba skla zde již s velkou pravděpodobností neprobíhala.

Sklehohuťská flusárna byla tedy zřejmě malou provozovnou bez kalcinační pece bezprostředně spjatou se sklářskou hutí u níž lze předpokládat odběr vody z příslušných náhonů a koryt

(cf. Woitsch 2006, 16) vedoucích nejspíš z rezervoáru vody s mlýnem, které jsou připomínány r. 1734 (Rožmberský 2009, 9).

6.2.1.4 Lokalizace sklárny a přilehlých objektů

Rezervoár lze ztotožnit s dosud existujícím rybníkem situovaným ve spodní, severozápadní části obce. Vlastní sklárnu lze pak celkem s jistotou situovat do blízkosti uvedeného rybníčku, konkrétně jihozápadně od něj (obr. 11). V těchto místech je na 1. vojenském mapování (1764 – 1768) znázorněn velký objekt tvořený zděnými budovami částečně uzavírajícími čtvercové nádvoří, u kterého je zakreslena značka poháru, jež označuje sklárnu. Mapování tak zachytilo sklárnu s přilehlými hospodářskými budovami v období přeměny na vrchnostenský dvůr (Rožmberský 2009, 10, 15, Obr. 1). V současné době je v těchto místech pozorovatelná pouze plochá vyvýšenina na louce nad rybníčkem (č. parc. 8/1, v blízkosti čp. 1). Její těleso bylo částečně odkopáno a takto získaný materiál byl použit na zpevnění hráze rybníčku a vyrovnání okolního terénu. V srpnu 2007 odtud P. Rožmberský z KAR ZČU v Plzni získal sběrem zlomky sklářských pánví, úlomek cihly z pece, skleněný a keramický střepový materiál, včetně barevné skloviny. Keramika je datována do 2. pol. 17. století. V roce 2008 proběhlo zaměření reliktní sklárny a dalších přilehlých antropogenních reliéfních tvarů pracovníky Oddělení výzkumných projektů KAR ZČU v Plzni (Rožmberský 2009, 10–11). Výsledky však doposud nebyly zpřístupněny.

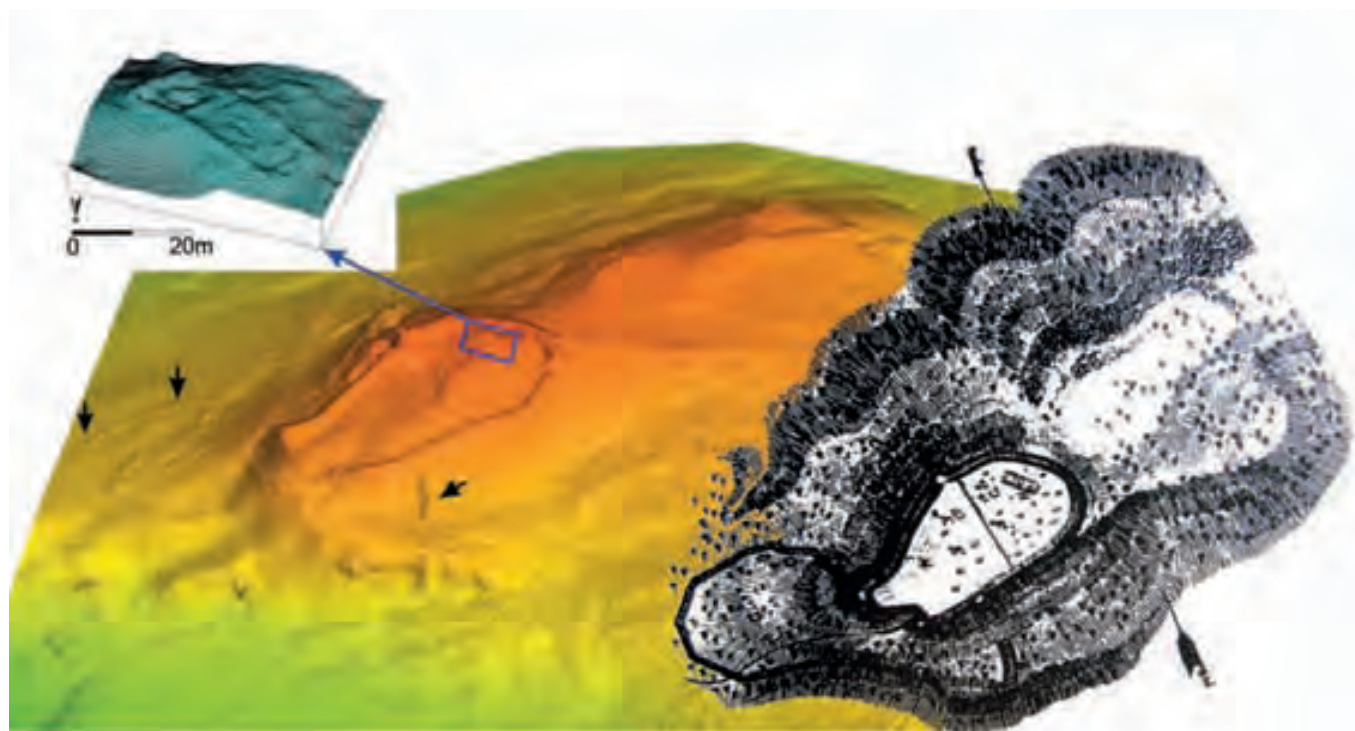
6.3 Opevněné komponenty

Do této kategorie spadají známé památky publikované v odborné literatuře a jako jediným komponentám spadajícím do rámce zájmového polygonu se jim dostalo intenzivnějšího vědeckého zájmu (obr. 2).

6.3.1 Hradiště Březina

V první řadě jde o nejvýznamnější památku mikroregionu – raně středověké hradiště Březina (obr. 2:2, 6:A, 12), umístěné na temeni vrchu Hradiště (kóta 618 m.n.m.). Vnitřní plocha hradiště o výměře 1,44 ha (podle nového DMR jde však o plochu 1,84 ha) je opevněna kamennými valy, zachovanými do výše 5 – 6 m, v JV a JZ části prochází cesta hradištěm nejspíše původními branami, soudě podle zahnutí valů směrem dovnitř (Čtverák et al. 2003, 45–46). Díky datům LLS nyní disponujeme bezpochyby nejpřesnějším zaměřením tohoto areálu ve formě digitálního modelu terénu. Obr. č. 12 ukazuje porovnání nejstaršího (1837) a nejnovějšího (2011) plánu hradiště. Na současném plánu, vytvořeném P. Jansou, na základě dat LLS v open source programu Grass 6.4, lze pozorovat v terénu téměř nepatrný pozůstatek valového opevnění západního předhradí, jehož původní průběh zachytil ještě K. Brantl v roce 1837 (na obr. č. 12 je označen černými šipkami). Část reliktu při Z okraji hradiště měří 120 m a další část v délce 70 m se přimyká k hlavnímu valu hradiště asi 60 m východně od JZ brány. Na DMR lze též pozorovat půdorys základů obdélníkové stavby o rozměrech 14 x

28 Samotný název potaše je odvozen od užívaného kotle. Původní německý termín *Pottasche* je složeninou slov *Pott* (označení železného kotle) a *Asche* (popel, který se v kotli odpařoval a i primitivně kalcinoval) (Woitsch 2006, 4).



Obr. 12 – Hradiště Březina. Vlevo: DMR hradiště z dat LLS – černé šipky vyznačují současný stav relikvů opevnění předhradí. Vpravo: Plán hradiště od K. Brantla z roku 1837 s dobře patrným opevněným předhradím. Vlevo nahoře: DMR základů dvoudílné obdélníkové stavby.
Fig. 12 – Březina hillfort. Left: DTM of the hillfort derived from lidar data – black arrows show the contemporary state of preservation of the relics of the bailey. Right: Plan drawn by K. Brantl in 1837 with clearly visible fortified bailey. Left corner: DTM of the base of a rectangular bipartite building.

33 m (obr. 12 vlevo nahoře), která je považována bez bližších důkazů za novověkou (Čtverák *et al.* 2003, 45–46), nicméně vzhledem ke skutečnosti, že byly z jámy v této destrukci získány zlomky středověké keramiky (Sklenář 1989, 16) bude třeba chronologií této stavby v budoucnu věnovat více pozornosti.

6.3.2 Hradiště Bílá skála

Další, blíže nedatované hradiště se nachází na ostrožně vybíhající z JZ obvodu masivu Radče a nese traťový název Bílá skála (obr. 2:3, obr. 13). Rozprostírá se na oválné ostrožně na ploše 2 ha (podle nového DMR jde však o plochu 2,75 ha), na V, J a Z straně je chráněno přírodními překážkami (prudké srázy až kolmé skalní stěny), na S straně je areál hradiště vymezen přímým úsekovým valem probíhajícím ve směru JVV – SZZ, dlouhým 43 m, širokým 4 m a vysokým přes 1 m (Beneš 1978; Čtverák *et al.* 2003, 283–284). Komplettní půdorys hradiště, včetně příčného valu, je velmi dobře patrný z DMR a charakter této lokality byl velmi věrně zachycen už na II. vojenském mapování z let 1836 – 1852 (obr. 13 vlevo).

6.3.3 Hrad Březina

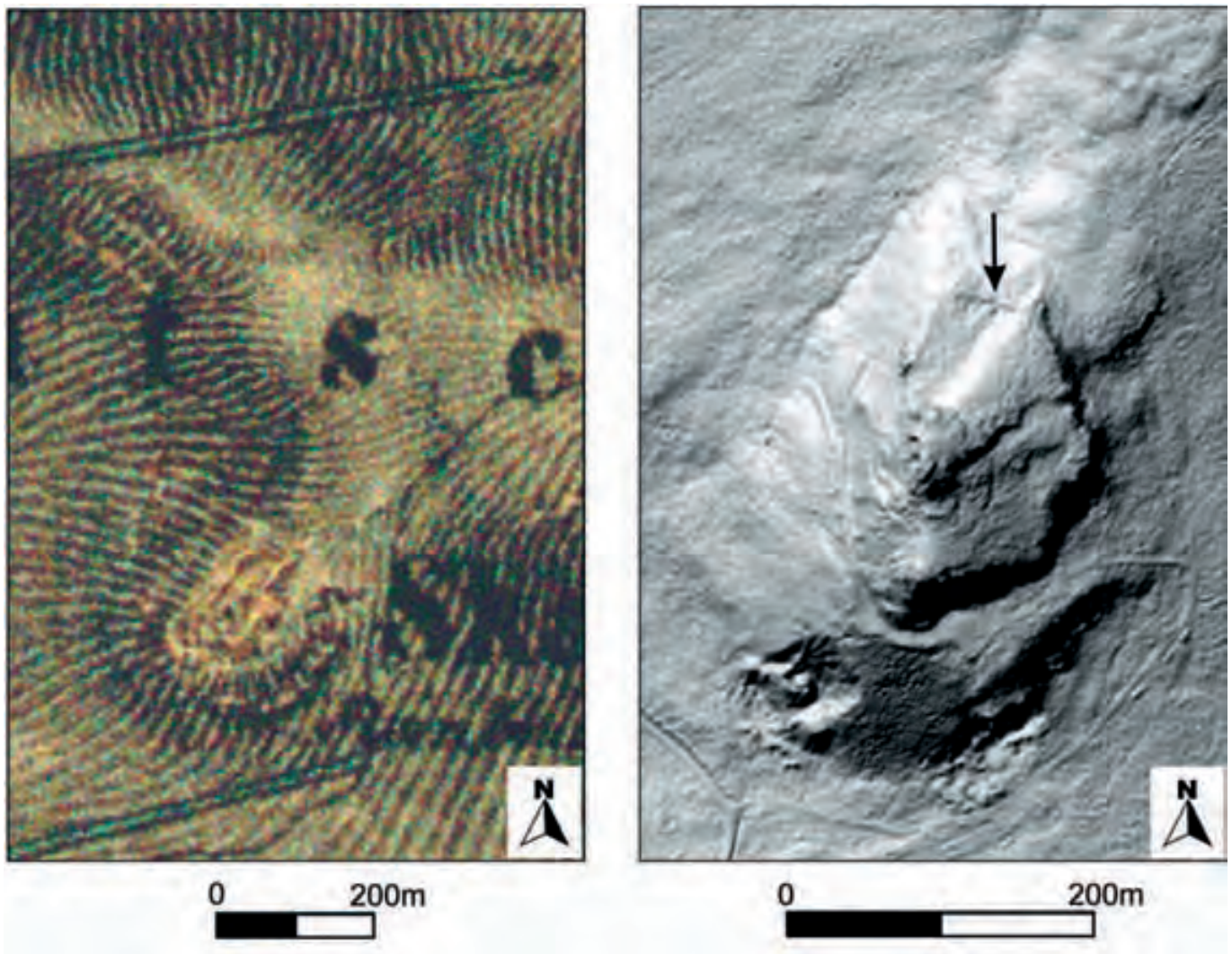
Do skupiny opevněných areálů spadají i dvě vrcholně středověká opevněná sídla.

Prvním z nich je hrad Březina, ležící na skalnatém výběžku půlměsícového půdorysu nad Korečným potokem při jižním okraji zámeckého parku (obr. 2:1 a obr. 6:1). První zmínky o jeho existenci pocházejí ze 14. století, zanikl ve století 17. Hrad od plochy mimo ostrožnu odděloval ve skále vytesaný

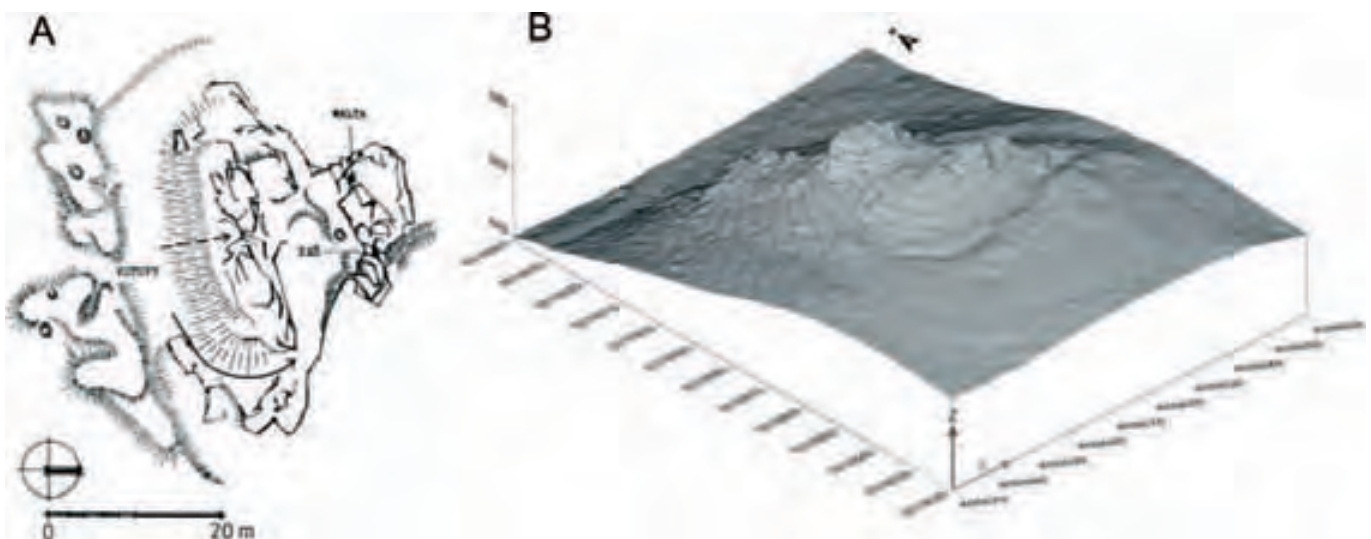
příkop, z hradu se zachovala zřícenina donjonu se zaoblenými nárožními a břitem, který byl v roce 1810 pseudogoticky upraven do podoby altánu Šternberky – majiteli blízkého zámku (Durdík 1984; Týž 2003).

6.3.4 Hrad na Radči (autor subkapitoly: Ivan Peřina)

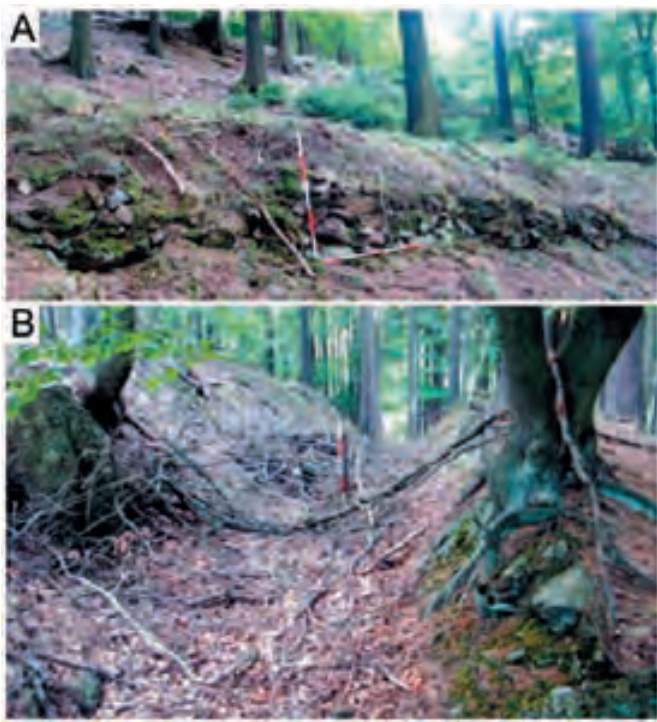
Na východním okraji hory Radeč se od plochého temene vrchu vyděluje skalnatý vrchol se stopami středověkého osídlení, které je v literatuře popisováno jako hrad na Radči (obr. 2:4 a obr. 14). Skála staveniště je od okolního terénu vydělena půlkruhovým příkopem, jehož výhoz vytvořil nepravidelný vnější val. V čele sídla za příkopem se vypíná úzký skalní hřbet tvořící přirozenou formu ochrany. Tato skalní bariéra bývá spojována s opevněním hradu na způsob hradby, jejíž zděná část se zřítla do příkopu. Dle terénní prospekce se ovšem zdá, že v příkopu je pouze hrubé kamenivo bez stop malty. Za skalním hřbetem se nachází nevelká plochá rozsedlina mezi skalními bloky na západě s obdélnou vyvýšeninou, pod kterou byl při povrchovém průzkumu nalezen větší fragment mazanice. Tato rozsedlina byla přístupná z čela hradu buď úzkou nepravidelnou puklinou ve středu skalního hřbetu, nebo bylo využíváno skalní římsy obcházející hřbet od východu. Plochu sídla nad srázem uzavírá nejvyšší skalní blok se stopami malty na západě a s vyžděním pukliny lomovým zdívem na vápennou maltu na východní straně. Na tento skalnatý vrchol je hypoteticky kladena hlavní zástavba hradu. Dochované stopy i stísněnost prostoru ovšem nedovolují jednoznačně rozhodnout, zda skalisko neslo složitější ne nepříliš velkou



Obr. 13 – Hradiště Bílá skála. Vlevo: II. vojenské mapování (1836 – 1852). Vpravo: Stínovaný DMR s vyznačením příčného valu.
Fig. 13 – Bílá skála hillfort. Left: 2nd Military Suvey (1836 – 1852). Right: Shaded DTM; black arrow shows the transverse wall.



Obr. 14 – Hrad na Radči. Vlevo: Plán opevněného sídla zaměřeného v r. 1978 (podle *Anderle – Švábek 1989*, 119, Obr. 8). Vpravo: DMR téhož objektu vytvořený na základě lidarových dat vizualizovaný formou 3D drátěného modelu. Souřadnice odpovídají systému UTM 33N.
Fig. 14 – Castle on Radeč. Left: Plan of the fortified site measured in 1978 (after *Anderle – Švábek 1989*, 119, Obr. 8). Right: DTM of the same site derived from lidar data and visualised in form of 3D Wireframe. Coordinates correspond to UTM 33N system.



Obr. 15 – Zaniklé komunikace na JV úpatí vrchu Čihátko. A) cesta ve svahu zpevněná kamennou substrukcí; B) úvozová cesta částečně zatesaná do skály.
Fig. 15 – Deserted routes. A) a way in slope braced by stone substruction; B) a holloway cut partly into the rock.

stavbu či zda pouze bylo zapojeno do hrazení jednoduchého areálu sídla.

Písemné prameny o lokalitě mlčí, spojení s hradem Mitrvald bylo již v minulosti spíše vyvráceno (Anderle – Švábek 1989, 119–121). Jedinou zmínkou je zpráva v urbáři Zbizožského panství z roku 1652, kde se mluví o lečích při Těžkově pod starým hradem (Sedláček 1889, 262). Archeologické nálezy datují existenci sídla do průběhu 14. století. Kromě keramiky byly na lokalitě v 19. století nalezeny při dobývání pařezů rozpadající se stříbrné penízky, snad halíře z doby Lucemburské, rovněž pak sekera, dvě podkovy a prý také železné dveře a pod hradem starý meč (Sedláček 1889, 261–262).

Skromný stav dochování sídla i nečetné prameny písemné a archeologické nabízí otázku, jaké specifické nevelké jednoduché sídlo bylo vystavěno v hlubokých lesích mimo urbánní krajinu patrně v průběhu 14. století, kdy oblast náležela Rožmberkům. Již dříve bylo sídlo spojováno se stopami hornických a hutnických aktivit souvisejících s prospekci, těžbou a zpracováním železné rudy (Anderle – Švábek 1989, 111). Hrad na Radči měl tak především vojensky zabezpečit a kontrolovat okolní těžbu. Tato skutečnost je poslední dobou doložena pro řadu lokalit, kdy v blízkosti hornických sídlišť nebo přímo v jejich areálu se nachází hrad či jiné menší opevnění typu motte, které s důlní činností přímo souvisí (Schwabenicky 2007, 147). Již A. Sedláček (1889, 261) vyslovil opomíjené pochybnosti o podobě sídla, kdy dle ústní tradice uváděl, že vlastní hrad stával před příkopem a za ním stávala na skále jen věž plnící funkci hlásky za skalním hřbetem, který byl nazýván baštou. Rovněž

je uváděno pojmenování kovárna náležející skalní sluji u paty skalního hřbetu. Zdánlivě bájné označení některých míst v rámci sídla může ovšem ledacos nepřímou napovědět o vlastní funkci sídla. Před příkopem nebylo doposud nalezeno ani předhradí ani vlastní hrad, kdy lze u šlechtického sídla obecně předpokládat dva hradní oddíly ve formě předhradí a hradního jádra. Právě jednoduché hrady vykazují často specifickou funkci související s důvodem svého založení. Otázkou dalšího výzkumu zůstává, zda ovšem sídlo označované jako hrad na Radči není více než hradem, spíše pouze opevněním typu motte, které sloužilo přímo hutníkům a horníkům, kteří zde nacházeli potřebné útočiště a rovněž i úložiště natěžené suroviny. Sídlo by tak využívalo skálu nad srázem doplněnou příkopem a obvodovou hradbou se zástavbou spíše dřevěné konstrukce v rozsedlině mezi skalními bloky. Pojmenování kovárna by pak mohlo rovněž souviset s existencí dílny, kde se opravovalo a brousilo hornické nářadí. Daleký rozhled a bezpečnost na vyvýšené skalnaté poloze s lehkým opevněním a nepříliš jasně definovaným vstupem lehké konstrukce odpovídá i jiným zjištěným prospektorským sídlům (cf. Lissek 2003, Gabriel 2004).

6.4 Ostatní komponenty

Na prvním místě je třeba jmenovat systém zaniklých komunikací. Na lidarových snímcích a následně v terénu bylo identifikováno velké množství zaniklých cest. Některé mají podobu úvozů (obr. 15:B), některé jsou zpevněny kamennou substrukcí (obr. 15:A). Drobnější a v terénu slabě patrné cesty velmi často spojují milířiště s komunikacemi vyššího řádu.

Na jižním svahu v blízkosti hradu Březina bylo identifikováno 7 umělých schodovitých úprav terénu o délce 40 – 60 m (obr. 6:2). Je vysoce pravděpodobné, že se jedná o terasy související se zemědělským obděláváním půdy. S orebním zemědělstvím pak bezpochyby souvisí zaniklá záhumenicová plužina náležející k obci Sklená Huť. Její průběh byl rekonstruován na základě kombinace porostových příznaků zachycených na vertikálním leteckém snímku a terénního mikroreliefu, jenž je místy stále ještě patrný na lidarovém DMR. Jednotlivé polní parcely bezprostředně navazují na parcely příslušných usedlostí a situace identifikovaná z dat DPZ je takřka identická se situací zobrazenou na mapě stabilního katastru z roku 1839.

S těžbou nerostných surovin pak zřejmě souvisí v terénu dobře patrný pravoúhlý konvexní objekt s pravidelným mírně konkávním dnem (označen jako BR6) o rozměrech 4 x 4 m a výškou 40 – 50 cm, nacházející se v západním sousedství hradiště Březina. Je situován necelých 10 m za vrcholem výběžku břidličného hřebene, v němž jsou patrné stopy po dobývce kamenné suroviny. Nelze vyloučit, že by se mohlo jednat o tzv. kavnu, tedy provizorní hornickou boudu, které byly stavěny právě nad těžními objekty aby sloužily k provozním účelům spjatým s těžbou, ke skladování či k ochraně před nepřízní počasí (cf. Nováček 1994, 165)

Jedním z výraznějších objektů je taktéž podkovovitý konvexní útvar s pravidelnými šikmými (60°) stěnami a konkávním

dnem a kamenným obložení částí vnitřních stěn detekovaný v lese nad zámeckým parkem. Svou délkou 25 m, šířkou 12 m a hloubkou 2–4 m by mohl splňovat parametry vodní nádrže, sloužící v minulosti patrně ve spojitosti se zámeckým parkem.

Ve zkoumané oblasti je také četný výskyt recentních objektů spojených s běžnou lesní údržbou, jako jsou odvodňovací kanály, lesní školky, snosy kamení, amorfni hromady hlíny a další desítky funkčně nespécifikovatelných objektů.

7. Diskuze

7.1 Radečská vrchovina jako příklad *utmark* středoevropského typu

Utmark, nikoli jen jako *terminus technicus*, ale jako svébytný koncept archeologie krajiny zaměřený na studium neagrárních oblastí situovaných mimo klasické sídelní zóny, je produktem skandinávské postprocesuální archeologie posledních dvou dekád (cf. *Helliksen 1997; Anderson – Ersgård – Svensson eds. 1998; Holm – Innselset – Øye eds. 2005*).

V tradičním univerzálním konceptu socioekonomického využívání přírodních zdrojů krajiny předindustriálního období v oblasti evropského mírného pásu bývá *land use* rozdělován do čtyř částečně se prolínajících kategorií. V bezprostředním okolí sídliště se střídá orná půda (pole, zahrady) s pastvinami a za touto hranicí pak leží trvale neobdělávané území – ve smyslu orby – sestávající se v různém poměru z luk (pastva a zdroj sena) a lesů (příležitostná pastva, zdroj píce a dřeva), které leží v okruhu každodenní dostupnosti (*Aston 1985, 103–106, Fig. 59*). Oblastem ležícím za touto hranicí, jež byly např. ve středověké norštině nazývány příznačně termínem *almeningr* – prostor pro všechny (*Øye 2005, 10*), však doposud archeologie věnovala jen málo pozornosti. Skandinávský koncept *utmark* staví právě takové periferní oblasti do popředí badatelského zájmu.

Tento koncept chápe *environmentální prostředí jako jsou odlehlejší lesy, mokřiny, horské a pobřežní oblasti (outfields) a jejich sociálně-kulturní aspekty jako součásti hospodářského systému, jako komplementární komponenty sídelních areálů (infields), přičemž akcentuje význam využívání surovinových zdrojů vyskytujících se v těchto marginálních oblastech. Zároveň zpochybňuje, potažmo popírá tuto marginalitu a ukazuje, že ve středověku právě ony byly oblastmi inovace a změny, neboť se v nich koncentrovaly klíčové industriální aktivity typu hornictví, železářství, uhlířství, dehtářství a podobně* (*Øye 2005, 9–11*). Po teoretické stránce vykazuje *utmark* některé shodné rysy s tzv. nadkomunitním areálem v rámci teorie sídelních areálů (*Neustupný 2007, 37–38*).

Do naší literatury uvedl pojem *utmark* J. Woitsch, který zároveň na příkladu lesních řemesel přesvědčivě ukázal (*Woitsch 2010*), že ačkoliv se tento koncept zdá být vhodný spíše pro oblasti s méně stabilizovanou sídelní a sociální strukturou, lze jej úspěšně aplikovat i na oblast střední Evropy, potažmo našeho území, kdy především od období vrcholně středověké kolonizace tvořila celá řada zalesněných oblastí poměrně intenzivně využívaný *utmark*. Okrajové lesní oblasti zdaleka nebyly jen zdrojem

dřeva pro příslušné vlastníky, ale především ekonomickým prostorem pro okolní obyvatele (*Woitsch 2010, 342*). S tímto konceptem, přestože jej explicitně nenazývá *utmark*, pracuje i K. Nováček při výzkumu nezemědělských výrobních odvětví v lesní oblasti Středních Brd (*Nováček 2007; Nováček 2011 [online]*).

Právě oblast nedalekého Strašicka, respektive Středních Brd, vykazuje mnoho shodných rysů se studovaným územím Radečské vrchoviny. Stejně jako Strašicko se oblast Radče vyznačuje vyšší nadmořskou výškou, souvislým zalesněním, kontinuálně řídkým osídlením a nízkým stupněm archeologického poznání. V obou oblastech se vyskytují relativně bohatá ložiska železných rud, díky nimž a díky dostatečným energetickým zásobám se obě oblasti nejméně od 14. století přiřadily k významným železářským oblastem Čech. Tato skutečnost zapříčinila výskyt téměř totožných kategorií archeologických památek spojených s těžbou a zpracováním železné rudy a přidružených výrobních odvětví lesních řemesel. Písemnými prameny je pak doloženo též sklárství (pod Radčem i archeologicky) a výroba potaše (cf. *Nováček 2007; Nováček 2011 [online]*). Velká část identifikovaných těžebních a výrobních areálů Strašicka leží za hranicí pravidelné každodenní dostupnosti dodnes existujících, případně zaniklých, vsí středověkého původu – jež byla arbitrárně stanovena na okruh 2 km – a předpokládá se, že tamní pracovníci bydleli v sezónních provizorních příbytcích či v dnes již zaniklých sídlištních areálech neagrárního charakteru (*Nováček 2011 [online], 4–5, 9, Obr. 4*). Výrazně podobná situace zde opět platí i pro centrální oblast Radečské vrchoviny (obr. 1). Význam obou oblastí podtrhuje přítomnost lehčích opevněných sídel v rámci exploatačních areálů, jejichž úkolem bylo zřejmě vojensky zabezpečovat a kontrolovat okolní těžbu železa (*Anderle – Švábek 1989*).

Strukturálně analogicky koncipovanou, i když geograficky, politickým a socio-ekonomickým významem o několik řádů vzdáleně položenou krajinu, lze spatřovat v oblasti dánského severního Skåne. Jedná se o klasický *utmark* v plné šíři tohoto významu. Rozprostírá se v nejjihnějším cípu Skandinávského poloostrova, čili z dánského pohledu představoval politicky rizikovou, geograficky marginální, ale ekonomicky naprosto klíčovou oblast nanejvýš z důvodu přítomnosti nesmírně bohatých železných rud. V souvislosti s těžbou zde vzniklo obrovské množství výrobních areálů zaměřujících se na výrobu dřevěného uhlí a dehtu. Takový systém by byl samozřejmě bez politicko-vojenské podpory dlouhodobě neudržitelný, z tohoto důvodu zde v průběhu 13.–14. století také vznikla minimálně 3 strategická sídla, opevněné hrady subtilnější konstrukce, jejichž bezprostřední souvislost s železnorudnými okrsky dokládá velké množství strusky nalezené v jejich areálech, přičemž na jednom z nich – hradu Vitsjö – se pak podařilo odkrýt přímo kovářskou dílnu (*Ödman 1998*).

Přizpůsobíme-li systémově základní charakteristiky oblastí typu *utmark* středoevropské reality, může nám tento skandinávský koncept archeologie krajiny pomoci vnést více světla do problematiky neagrárních, tzv. „marginálních“ oblastí a snadno zjistíme, že ona zdánlivá marginalita nevyjadřuje socio-eko-

nomický význam krajiny tohoto typu pro předindustriální společnosti, ale pouze a jen marginalitu z hlediska archeologického zájmu o jejich výzkum. Na základě výše stručně nastíněné koncepce je možné Strašicko a Radečsko pokládat za charakteristické představitele osobité středoevropské varianty *utmark*.

7.2 Ekologické aspekty průmyslové exploatace *utmark*

Intenzivní hospodářské využívání *utmark* se zásadním způsobem promítalo v ekologické stabilitě území, rozsahu a hustotě vegetačního pokryvu.

Exploatace nerostných surovin byla vždy jedním z nejvýraznějších antropogenních zásahů do krajinného rázu, projevující se zejména změnami mikroreliefu a vegetační skladby způsobené získáváním surovin dolováním (především povrchovou, přípovrchovou i hlubinnou dobývkou, produkující velké množství hlušiny deponované na povrchu), ale i následnými činnostmi, jako např. rýžováním v případě zlata a úpravě rud mokrou cestou, které způsobily zanesení vodních toků velkým množstvím sedimentů (cf. *Nováček 2001, 298*). Změna morfologie terénního povrchu je nejvýraznějším přímo pozorovatelným impaktem v oblasti Radečského masivu. Neklidný povrch, typický konkávními výkopy a konvexními deponiemi hlušiny, je důsledkem exploatace místních bohatých ložisek železných rud (viz kap. 6.1.1). Také těžba křemence pro potřeby skleno hutské sklárny a exploatace břidlicových výchozů (viz kap. 6.1.2), se nemalou měrou zasloužily o změny mikroreliefu. Pominout nelze ani získávání kamene pro stavební účely, ke kterým jistě sloužila např. skupina kamenolomů v bezprostředním okolí hradu Březina (obr. 6:3).

Dalšími výraznými změnami, souvisejícími též s proměnami morfologie krajiny, je ovlivnění komunikační sítě budováním nových cest, případně rozšiřováním těch starých, směřujících k ohniskům těžby a výroby. Dále pak adaptace vodních toků budováním náhonů a rybníků k hutím (*Nováček 2001, 296*). V rámci území, které zaujímá polygon Březina, sice neznáme z písemných pramenů ani z terénní prospekce žádnou železářskou huť, ale adaptace vodního toku je dobře pozorovatelná v bezprostředním okolí novověké sklárny ve Sklené Huti, kde byly zbudovány náhony a rybník s mlýnem pro potřeby hutí.

Těžba a zpracování kovů s sebou však v obecné rovině nese další, nepřímý pozorovatelný, ale o to závažnější negativní ekologické dopady na krajinu, jejichž dopad se v některých oblastech může projevat dodnes. Jedná se především o kontaminaci půdy a spodní vody těžkými kovy, jež je v některých oblastech pozorovatelná dodnes (cf. *Marshall 2002*), a znečištění ovzduší exhalacími (*Nováček 2001, 296*).

Samostatnou kapitolou pak zůstává odlesňování a jeho ekologický dopad na krajinu. Zatímco důsledky deforestace (eroze a akumulace půd, proměna biotopů atd.) a její příčina (tj. intencionální těžba dřeva) jsou zcela zřejmé, pak účel a podoba antropogenní formy tohoto procesu se liší region od regionu, lokalita od lokality. Nechám stranou lesnické hospodaření a jeho historii, jehož hlavní náplní je vedle pěstování lesních porostů právě

těžba a zpracování stavebního i palivového dřeva (cf. *Frič 1932; Němec – Hrib eds. 2009*) a stručně nastíním konsumpci lesa ostatními aktivitami, doloženými v rámci studovaného polygonu, využívajícími a zpracovávajícími dřevní hmotu přímo v lese.

Kategorie účelu těžby dřeva v této oblasti byla, přirozeně různě intenzivně v jednotlivých obdobích, determinována obzvláště dlouhodobě hornictvím a hutnictvím železa na jedné straně a v menší míře pak činnostmi vázanými na novověkou výrobu skla na straně druhé. V rámci těchto industriálních aktivit lze rozlišit dřevo těžené jako surovina pro opracování (typicky stavební dříví) a dřevo určené pro přetvoření na kvalitativně odlišné produkty (typicky dřevěné uhlí a popel). Zatímco odhadnout podíl těžby vzrostlého dřeva za účelem budování staveb²⁹ a speciálních konstrukcí (v rámci dolování jde o nosné prvky důlní výstroje, části strojů a zařízení) na celkovém obraze lesní exploatace je s ohledem na individuální specifika a stav archeologického a archeobotanického výzkumu stále úkolem těžko řešitelným (*Nováček 2001, 298*), údajů o míře konsumpcie dřeva na produkty lesních řemesel, potažmo na produkty z nich vytvořené, byla již publikována celá řada.

Z hlediska studovaného polygonu má největší význam výroba dřevěného uhlí. Přestože dřevěné uhlí mělo v minulosti široké uplatnění (cf. *Dragoun – Matoušek 2004, 732*), jeho hlavní využití bylo coby palivo pro nejrůznější odvětví průmyslové výroby (cf. *Gale 2002, 31 – 36*). Jako palivo alternovalo dřevo, jehož termální kapacita je ovlivněna chemickou kompozicí daného druhu a podílem ligninu a celulózy vzhledem k množství obsažené vody. Maximální teplota dosažitelná spalováním je ovlivněna velikostí a tvarem dřeva, strukturou výhně nebo pece a přísunem kyslíku (cf. *Gale 2002, 36*). Dřevěné uhlí obsahuje minimální množství příměsí, v ideálním případě hoří bez plamene (jde o produkci tepelného záření, která je výsledkem reakce C s O), bez dýmu, rovnoměrně a relativně dlouho (*Dragoun – Matoušek 2004, 731*) a jeho výhřevnost je zhruba dvakrát vyšší než u nekarbonizovaného dřeva (*Gale 2002, 36; Bond 2007, 290*).

Z těchto důvodů a především pak pro to, že dřevěné uhlí je díky vysokému obsahu (78 – 92 %) uhlíku zároveň výborným redukčním činidlem při výrobě železa (podrobněji viz *Pleiner et al. 1984, 72 – 74; Pleiner 2000, 115–116*), bylo pro toto odvětví klíčovou surovinou, tudíž hlavní požadavek na jeho výrobu vycházel ze strany železářských hutí, a to až do zavedení koksu pro hutnění železa (*Bond 2007, 290*). Zvýšená potřeba dřevěného uhlí vedla báňské podniky v Čechách k tomu, že od 2. poloviny 16. století přecházely na výrobu uhlí ve vlastní režii a intenzita velkovýroby byla hlavní příčinou degradace lesů zejména na severu a východě Čech (*Woitsch 2010, 352*). Již právě ve 2. polovině 16. století byly následkem extenzivní těžby pro potřeby dolů

29 Jedním z mála, kdo se u nás o něco podobného pokusil byl J. Mařík, který předložil odhad kubatury dřeva potřebného při stavbě opevnění raně středověkého hradiště v Libici nad Cidlinou (*Mařík 2009, 143*).

a hutí prakticky odlesněny např. svahy Krkonoš (Rybníček 1990, 88). O dvě století později se situace vyhrotila takovým způsobem, že všechny nejdůležitější železářské hutě v Čechách trpěly nedostatkem dřeva pro výrobu dřevěného uhlí (Pleiner et al. 1984, 207; Pleiner 2000, 129). Ačkoli jednotlivé pokusy o odhad množství paliva potřebného na výrobu a zpracování železa, provedené různými badateli na základě experimentálních rekonstrukcí, se liší často velmi významným způsobem, což je ovlivněno mnoha faktory, není zapotřebí reprodukovat již mnohokrát publikovaná zjištění (např. Gale 2002, 42–43; Cowgill 2002; Gerber – Portmann – Kündig 2002, 110–111; souhrnně pak Pleiner 2000, 126 – 129), aby bylo možné konstatovat, že železářství bylo díky intenzitě výroby napříč časovou osou odvětvím, které mělo zásadní podíl na změnách integrity lesů následkem masivní deforestace, především díky poptávce po dřevěném uhlí.

Přestože dřevo bylo, (nejen) za účelem výroby kvalitního paliva a redukčního činitele v jednom, těženo v minulosti bezpochyby masivně a velkoplošně, mohl být právě z těchto důvodů na určitých místech praktikován takový lesní management (výmladkování, tzv. *coppicing* a *pollarding*), který cestou udržitelného rozvoje mohl významně zmírnit důsledky takového jednání (Cowgill 2002, 56). V nemálo regionech tedy mohla nastat paradoxní situace, kdy intenzivní průmyslová exploatace lesa v konečném důsledku přispěla k jeho dlouhodobému udržení v takto dotčených oblastech. Bylo totiž v zájmu samotných lesních řemeslníků udržovat a chránit si les, přestože ve značně modifikované podobě, neboť nejenže představoval stále vzácnější zdroj energetické suroviny, na jejíž produkci byli ekonomicky závislí, ale zároveň obecně pro předindustriální společnosti tvořil nepostradatelný základ jejich socio-ekonomické stability, a to na všech úrovních (Gale 2002, 42).

8. Závěr

Archeologický potenciál jihozápadní části Radečské vrchoviny byl doposud hodnocen jako velmi nízký, což platí především pro výše položené, dlouhodobě zalesněné oblasti s drsnějšími přírodními podmínkami, které byly nevhodné pro standardní agrární hospodaření. Takové oblasti byly nazírány prizmatem archeologie tradičních paradigmat jako marginální z pohledu přítomnosti potenciálních „nalezišť“, čehož následkem je přirozeně chudá evidence archeologických pramenů.

Tato studie byla zaměřena na evaluaci archeologického potenciálu konkrétní oblasti o rozloze 13 km², rozprostírající se mezi obcemi Březina, Sklená Huť, Lhota pod Radčem a Těškov, která plně odpovídá představě archeologické marginální oblasti v tomto tradičním pojetí. Do současné doby bylo na tomto území evidováno 5 lokalit archeologického zájmu, z toho 4 představují opevněné areály (2 hradiště a 2 hrady) a poslední je areál zaniklé novověké sklárny. Následkem orientace archeologie výhradně na výrazné lokality se pak zdejší krajina jevila jako chudý soubor těchto diskretních bodů, oddělených prázdným prostorem. Nicméně již na základě prvotní konceptualiza-

ce studovaného prostoru a porovnání s výsledky projektů postprocesuálně orientované archeologie krajiny bylo zřejmé, že současná evidence absence je zapříčiněná absencí evidence. Vzhledem ke skutečnosti, že vegetační kryt lesa významným způsobem snižuje riziko eroze a následné destrukce archeologických objektů, bylo oprávněné očekávat množství antropogenních tvarů zachovaných v reliéfu, které lze identifikovat nedestruktivním průzkumem. Jeho efektivita je nicméně limitována mnoha faktory, především mírou úspěšnosti vizuální detekce závisující na hustotě překrytí objektů vegetací, vysokou časovou a finanční náročností v případě precizního geodetického zaměřování rozsáhlejších krajinných celků. Jedním z cílů projektu, jehož součástí je i tato studie, bylo proto zhodnotit potenciál nové metody DPZ, kterou je možné využít i v zalesněných oblastech, totiž leteckého laserového snímkování.

Ve shodě s předešlými projekty využívajícími LLS se ukázalo, že s ohledem na míru přesnosti a prostorového záběru se v současnosti jedná o nejefektivnější nástroj v oblasti identifikace, evidence, mapování a dokumentace antropogenních terénních reliktů (nejen) v zalesněném prostředí. V kombinaci s terénním průzkumem byla pramenná základna rozšířena o zhruba 550 dosud neevidovaných antropogenních subcentrálních objektů, které bylo možné přiřadit k minulým komponentám těžebního, výrobního, strategického a komunikačního charakteru plus komponenty ostatních, v této fázi neinterpretovatelných funkcí. Na základě digitálního modelu terénu, vygenerovaného z dat LLS, je k dispozici jejich současné nejpřesnější možné polohopisné a výškopisné zaměření. Všechny relevantní informace, zahrnující archeologické, geologické, topografické, hydrologické, orografické a široké spektrum dalších údajů, byly propojeny do komplexního geografického informačního systému, v němž je možné provádět rozmanité analýzy a získat tak představu o vzájemných prostorových a kauzálních vztazích.

Získané výsledky přispěly nejen k výraznému rozšíření pramenné základny, ale tvoří především nezbytný podklad pro zefektivnění ochrany archeologických památek zachovaných v lesním prostředí této oblasti, která, jak se ukázalo propojením poznatků o environmentálních podmínkách s artefaktuální a sociální pamětí krajiny, tvořila především ve vrcholném středověku a raném novověku ač odlehlý, přesto mimořádně důležitý ekonomický prostor neagrárního charakteru.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl vyslovit vřelé díky zainteresovaným kolegům, díky jejichž ochotě a vůli se mi podařilo zrealizovat nedestruktivní průzkum této oblasti, jehož první výsledky jsem se pokusil představit v této stati. Mgr. Pavlu Jansovi děkuji za pomoc s počítačovým zpracováním lidarových dat, Mgr. Jiřímu Ungerovi a Mgr. Ivanu Peřinovi za podporu při terénním průzkumu. Mgr. Peřina je navíc autorem subkapitoly 6.3.4 o hradu na Radči. V neposlední řadě děkuji Mgr. Přemyslu Bobkovi za provedení antrakologické analýzy uhlíků z reliktů milířišť.

Roman Brejcha

15

An evaluation of the archaeological potential of the woodland in south-western part of Radeč Upland with the use of LIDAR data

The erosion of above-ground archaeological features and the accumulation of sediments in sunken features are significantly slower in woodlands, thanks to the dense vegetation cover.

The archaeological remains hence have a much higher chance of preservation compared to features situated in areas with different land use. On the other hand, the modern intensive woodland management represents a serious threat for the archaeological features. Wood exploitation and forest manuring for the planting of seedlings is realised with the use of heavy machinery, which causes a degradation and complete destruction of anthropogenic features in the terrain. The monitoring and effective heritage management of remains in woodlands is a very acute issue in current archaeology. Effective management can of course be applied only to the identified and properly recorded features. The traditional method aimed at their search and mapping is the surface survey or its variation extended for a geodetic recording – the geodetic-topographic survey. The mapping of more extensive portions of the landscape and the documentation of the current state of relief features with the use of a total station or other more basic tools is very financially demanding and time-consuming. Within the last decade, non-destructive archaeology implemented a very effective remote sensing method of airborne laser scanning (LIDAR). DTM generated using the LIDAR data allows us to obtain a georeferenced spatial representation of the relief surface and extract from it the features of archaeological interest. The advantage of such records is particularly the acquisition of extensive data about the relief in a short period of time and the

endless possibilities of reinterpretation of the data and the detected archaeological structures.

One of the areas covered in the ALS pilot Czech project “The potential of archaeological survey of the landscape in the Czech Republic using airborne laser 3D scanning (LIDAR)” was the polygon “Březina”, situated in the southwest part of Radeč highlands in Rokycany region. In this polygon of 13 km² in extent there were recorded 11 382 360 points in the density of 4 points/m² in March 2010. A DTM was created using the data filtered in an open source programme GIS Grass. In combination with the Surfer programme, more than 550 potential archaeological features of anthropogenic origin were identified, classified and recorded as preserved in the relief. For selected features a detailed 3D model was then made. A large part of these was subsequently located using GPS, verified and photographically documented during surface survey. Part of the “ground-truthing” was also the recording of morphological characteristics, the number of features and their spatial context, preliminary interpretation and other relevant information. On the basis of this interpretation the documented features were divided into the following categories: exploitation areas, working areas, fortifications and others. The data obtained were uploaded into GIS, where various spatial analyses were applied. This complex GIS record, including relevant archaeological and geographical information represents an ideal basis for effective management of the archaeological heritage preserved in the woodlands of this region, which were a specific source area for raw material and goods in the Middle Ages and early modern era.

16

Odraž Železné opony v datech leteckého laserového skenování na příkladu Novohradských hor**1. Úvod**

Případová studie analyzuje lidarová data, která zachycují areály osad Mlýnský Vrch, Nové Hutě, Staré Hutě, Lukov a část areálu vesnice Hojná Voda při jižní hranici ČR v oblasti Novohradských hor. Zkoumán je především areál osad Nové Hutě a Lukov, které zcela zanikly po roce 1948 v souvislosti s budováním, postupným rozšiřováním a technickým zdokonalováním tzv. zakázaného pásma na hranici tehdejšího Československa a Rakouska.

Pro srovnání lidarových dat s výsledky ostatních technik zkoumání prostoru vesnic zaniklých po roce 1945 byl předmětný kvadrant vybrán z následujících důvodů: územím prochází obě linie ženíjně technických zátaras (starších i mladších), osady byly zpočátku v hraničním, později v zakázaném pásmu, jedna z osad (Lukov) měla snad svého zaniklého středověkého předchůdce a po určité období byla pustá, a v areálu bylo identifikováno více typů/forem zánikové transformace.

Případová studie z Novohradských hor není klasickým příkladem analýzy lidarových snímků prováděné za účelem vyhledávání doposud neznámých archeologických situací, nebo upřesňování a doplňování prostorových informací již známých lokalit (*Gojda 2005*, 806). Celá řada těchto informací je pro zkoumání vesnic a kulturní krajiny zaniklé po roce 1945 v českém pohraničí k dispozici z jiných zdrojů a konfrontace s lidarovými daty (DMR5G) testuje meze této techniky dálkového archeologického průzkumu a její možný přínos pro archeologii současnosti.

2. Historická charakteristika areálu

Osada Lukov (něm. Luggau, 830 m n. m.) je připomínána již v roce 1379, avšak k roku 1534 je uvedena jako pustá. Před rokem 1641 byla znovu obnovena (*Fröhlich 1994*, 3). V roce 1930 se ve vsi uvádí 14 domů s 52 obyvateli (*Statistický lexikon 1934*, 141). Nové Hutě (něm. Neuhütten, 820 m n. m.) vznikla původně kolem sklářské hutě založené v roce 1623 (*Fröhlich 1994*, 4; *Fröhlich 1996*, 4; *Kovář – Koblasa 2006*, 332). Část osady, která náleží do katastru Hojně Vody, měla v roce 1930 26 domů, v nichž žilo 84 obyvatel (*Statistický lexikon 1934*, 143). V části Nových Hutí, která ležela na katastru Starých Hutí žilo v roce 1930 83 obyvatel ve 21 domě (*Statistický lexikon 1934*, 141). Původní německé obyvatelstvo Lukova a Nových Hutí bylo po roce 1945 vysídleno. Do vzdálenosti 2 000 metrů od státní hranice bylo s platností od 1. 6. 1951 podle Ustanovení o pohraničním území č. S – 2231/40 – taj. – 51, vydaném 28. 4. 1951 ministrem národní bezpečnosti ČSR zřízeno tzv. zakázané pásmo. V tomto pásmu nesměl nikdo bydlet ani do

něj vstupovat kromě službu konajících hlídek Pohraniční stráže. Výjimečně byla do zakázaného pásma vydávána propustka se vstupem jen v denní době a v doprovodu Pohraniční stráže. Podle stejného nařízení bylo zřízeno i tzv. hraniční pásmo. Hraniční pásmo navazovalo na zakázané pásmo o hloubce 2–5 km do vnitrozemí, v nepřehledném a horském lesním terénu až 12 km. V tomto pásmu se ocitly nejen Lukov a Nové Hutě, ale také sousední osady Mlýnský Vrch, Staré Hutě a Hojná Voda. Občané, kteří zde měli trvalé bydliště, byli ministerstvem národní bezpečnosti podle zvláštních směrnic prověřeni. Pak teprve získávali povolení k trvalému pobytu v hraničním pásmu pro území hraničního pásma omezené okresem jejich bydliště. Krátkodobý vstup do hraničního pásma z důvodu zaměstnání, zemědělských prací apod., stejně jako návštěvy příbuzných byl povolován příslušným velitelstvím Národní bezpečnosti podle místa bydliště na doporučení předsedy MNV. V hraničním pásmu bylo zakázáno provozování hromadné letní a zimní rekreace. Byly odstraněny silniční ukazatelé míst a turistické značení. Usedlíci směli provozovat jen společné hony. Na základě tajného rozkazu ministra národní bezpečnosti z 12. 11. 1951 byly s okamžitou platností vysídleny všechny obce v zakázaném pásmu a z obcí v hraničním pásmu musely odejít všechny tzv. státně nespolehlivé osoby. Podle další tajné směrnice ministerstva vnitra ze dne 16. 8. 1952 bylo stanoveno, že do konce roku 1953 budou zbořeny všechny budovy v zakázaném pásmu kromě těch, které využije armáda nebo Pohraniční stráž. V letech 1952 – 1953 proběhla podél státních hranic první velká destrukce nemovitostí. V polovině padesátých let se likvidovaly další stavby, tentokrát i v hraničním pásmu. Všechno bylo oficiálně vysvětlenu snahou o zlepšení vzhledu krajiny a odstranění nebezpečí úrazu, které rozpadávající se stavby pro obyvatele představovaly. V letech 1951–1952 byl podél státní hranice zřízen průsek o šířce až 20 metrů, v kterém byly zřízeny tzv. ženíjně technické zátarasy. V závislosti na exponovanosti prostoru byly ženíjně technické zátarasy tvořeny ostnatými dráty na dvoumetrových kůlech až ve třech řadách za sebou, na zemi doplněných kotouči ostnatých drátů a na bývalých příhraničních cestách i betonové protivozidlové jehlany. Do středního elektrického drátěného zátarasu byl v noci a za ztížené viditelnosti vpouštěn elektrický proud o vysokém napětí. Podél elektrických drátěných zátaras byly vybudovány dřevěné hlídkové věže – pozorovatelný. Před drátěným zátarasem byl zřízen zoraný a neustále příslušníky Pohraniční stráže obnovovaný kontrolní pás na odkrytí stop běženců (*Jílek – Jílková 2006*, 30–34). Do obecného povědomí se tato pohraniční opatření dostala

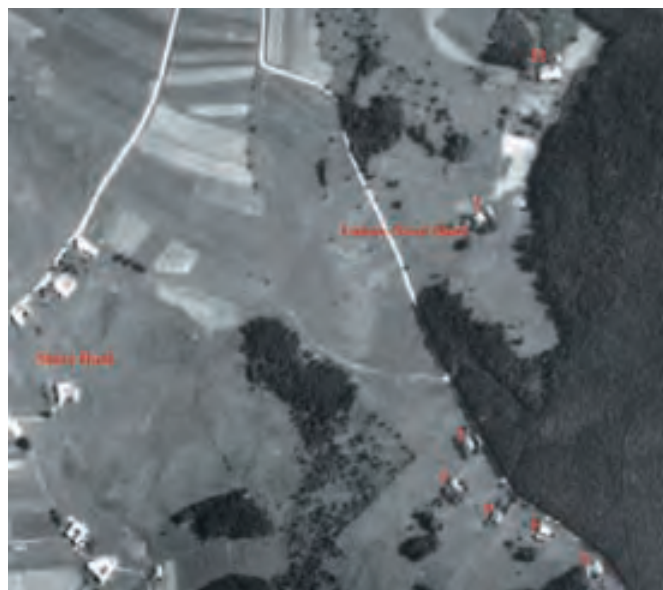
jako Železná opona. V souvislosti se zřízením obou pásem zanikl Lukov a Nové Hutě a mezi léty 1952 a 1958 byla většina domů zdemolována a část areálu byla následně zalesněna. V druhé polovině 60. let 20. století došlo k posunu linií ženíjně technických zátaras směrem do vnitrozemí a zároveň byly změněny i technické parametry těchto zátaras. Zatímco dosavadní ženíjně technické zátarasy se nacházely ve vzdálenosti několika set metrů od státní hranice, nová signální stěna byla posunuta do vzdálenosti několika kilometrů od státní hranice. Signální stěnu tvořil plot vysoký 220 cm, jehož ostanaté dráty se napájely pouze slaboproudem. Před vlastním zátarasem byl 5–6 metrů široký kontrolní pás zorané země určený k odkrytí stop běženců. Tento zachycovač stop byl ženíjnými jednotkami pravidelně upravován s využitím traktorů a koňských spřežení. Druhá stěna tvořila ochranný plot proti nežádoucímu spuštění signalizace průnikem zvěře. V plotech byly uzamčené branky pro pěší a vrata pro průjezd vozidel z cesty vedoucí podél signální stěny. Signální stěnu doplňovaly drátěné nášlapné překážky se signalizací, světlomety, betonové a železné jezci a další ženíjní překážky. Při zátarasu byly postaveny ocelové hlídkové věže. Signální stěna byla doplněna systémem cest tak, aby motorizovaná hlídka v případě zjištění průniku mohla běžence dostihnout ještě před překročením hranice. V osmdesátých letech se obvykle ženíjně-technické zabezpečení skládalo ze dvou plotů, znemožňujících zvěři přístup k prostřední tzv. signální stěně s elektrickým signálním zařízením (Jilek – Jílková 2006, 30 – 34). Lukov i Nové Hutě se tímto posunem dostaly do zakázaného pásma a prostor obou osad byl až do roku 1990 omezeně hospodářsky využíván jako lesy a louky. Obě zaniklé osady, které byly tvořeny roztroušenou zástavbou zemědělských usedlostí a dřevařských domků v současnosti již nelze od sebe prostorově oddělit a jsou zkoumány jako jeden sídelní areál.

3. Archeologické relikt

Základní sledovanou jednotkou výzkumu je komponenta jakožto analytická jednotka pramenů, s jejíž pomocí lze popsat sídelní areál (Neustupný 2010, 150). S pomocí současných i historických kartografických podkladů, historických leteckých měřičských snímků a současných satelitních snímků v kombinaci s podrobným povrchovým průzkumem bylo v areálu Lukova a Nových Hutí identifikováno 60 komponent. Komponenty stavební povahy (zejména usedlosti) zkoumaného areálu byly rozčleněny do již dříve definované transformační škály zahrnující tři základní typy zánikové transformace (A) úplnou destrukci, (B) částečnou destrukci a (C) samovolnou postupnou destrukci, přičemž úplná destrukce (A) se dále dělí na (1) úplnou destrukci provedenou beze zbytku, (2) úplnou destrukci se zbytky ponechanými v místě volně rozptýlenými, (3) úplnou destrukci se zbytky ponechanými v místě shrnutými do náspu a (4) úplnou destrukci se zbytky ponechanými v místě vyrovnanými do mochy. Typy transformace též vyjadřují předpokládaný způsob demolice a předpokládanou míru recyklace materiálu, zatímco formy úplné destrukce reflektují způsoby záměrného nakládání

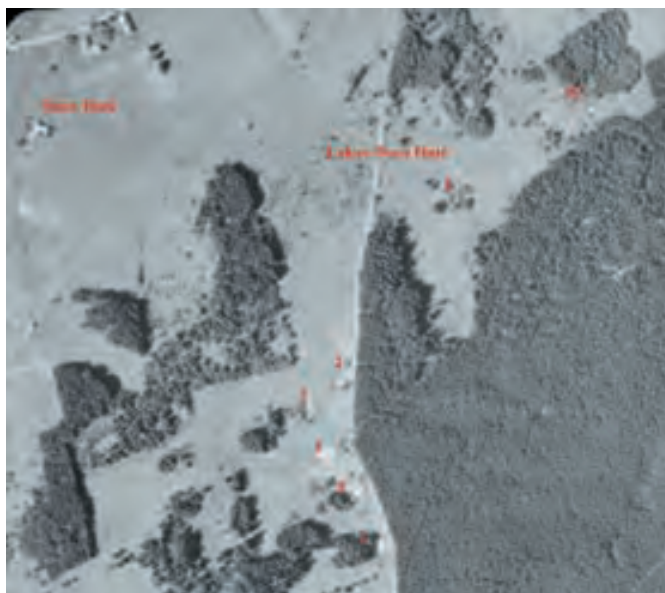
se zbytky v průběhu zánikové transformace (Bureš 2013). U všech komponent byl určen druh postdepoziční transformace a současné využití území.

Z celkového počtu 60 doposud identifikovaných komponent je 54 komponent stavební povahy (52 usedlosti a 2 kapličky). Jedna komponenta je netransformovaná (výklenková kaple v Lukově), ostatních 53 je transformovaných. Z toho ve dvou případech se nepodařilo určit typ zánikové transformace, 45 komponent zaniklo úplnou destrukcí provedenou beze zbytku, 2 komponenty zanikly úplnou destrukcí se zbytky ponechanými v místě volně rozptýlenými a 4 komponenty zanikly částečnou destrukcí. Částečná destrukce jakožto typ zánikové transformace je charakterizována demolicí do cca parapetní výšky, přičemž zbytek je ponechán samovolně postupně destrukci. V průběhu demolice je hodnotný materiál, jako je stavební dřevo, cihly nebo pálená střešní krytina, odvezen a recyklován, zatímco stavební kámen a nepoužitelné zlomky ostatního materiálu jsou ponechány v místě. Pod úplnou destrukcí je třeba rozumět kompletní demolici stavební konstrukce usedlosti nebo jiné stavby, přičemž veškerý stavební materiál z demolice je odvezen (Bureš 2013). Ve zkoumaném areálu Lukova – Nových Hutí byly identifikovány dvě formy úplné destrukce a to úplná destrukce provedená beze zbytku, kdy po demolici v místě zůstává jen rovina upravená buldozerem někdy i válcem a zbylý materiál z demolice pokud nebyl odvezen, byl shrnut po svahu a/nebo do připravených jam, a dále úplná destrukce se zbytky ponechanými v místě volně rozptýlenými, kdy po demolici vzniká rovina nebo terasa upravená buldozerem někdy i válcem a zbylý materiál z demolice je shrnut do svahu terasy, nebo roztažen do stran (srov. Bureš 2013). Charakter úplné destrukce provedené beze zbytku na území zkoumaného areálu Lukova a Nových Hutí dobře dokresluje srovnání komponent 2–6 na obr. 1 (rok 1949 – před demolicí) a obr. 2 (rok 1958 – po demolici).



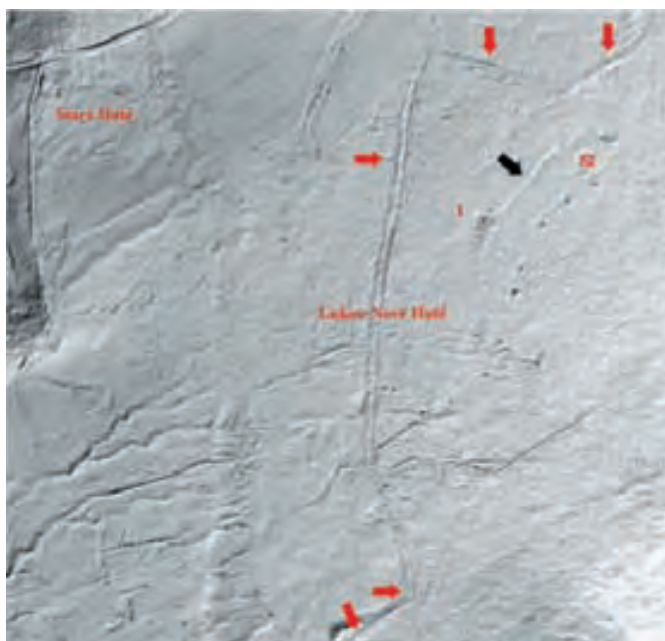
Obr. 1 – Letecký snímek z roku 1949 (VGHMÚř 8660/1949) zachycuje usedlosti 1–6 a usedlost 52 v jejich netransformované podobě.

Fig. 1 – Aerial photo from 1949 (VGHMÚř 8660/1949) depicts the houses 1–6 and house 52 untransformed.



Obr. 2 – Letecký snímek z roku 1958 (VGHMÚř 14632/1958) dokumentuje usedlosti 1–6 a usedlost 52 po zánikové transformaci. U komponent 2–6 došlo k úplné destrukci usedlostí provedené beze zbytku, u komponent 1 a 52 došlo pouze k částečné destrukci.

Fig. 2 – Aerial photo from 1958 (VGHMÚř 14632/1958) depicts the houses 1–6 and house 52 after exit transformation. Features 2–6 were completely destroyed, features 1 and 52 were only partially destroyed.



Obr. 3 – Na digitálním modelu reliéfu je možno ze skupiny komponent 1–6 a 52 identifikovat pouze komponenty 1 a 52 a mezní pás mezi nimi (označený černou šipkou), který je patrný také na leteckém snímku z roku 1949 jako hranice obdělávaných polí (obr. 1). Liniový útvar označený červenými šipkami představuje terénní relikt ženíjně technických zábran budovaných v tomto prostoru od sklonku 60. let a odstraněných v roce 1990. Zdvojení reliéfních útvarů v severojižní linii je způsobeno vedením tzv. signální cesty paralelně s ženíjně technickými zábrany v tomto úseku.

Fig. 3 – On a digital terrain model we can identify only features 1 and 52 (from the group 1–6 and 52) and the field boundary between them (marked with a black arrow), which is also visible on the aerial photo from 1949 as a border of fields (fig.1). The linear feature marked with red arrows represents the terrain remains of sappers' technical barrages built here towards the end of the 1960s and dismantled in 1990. The doubling of the features in north-south direction is a result of the so-called "signal route" running parallel with the barriers in this section.

Takto realizovaná úplná destrukce se však při povrchovém průzkumu projevuje ve sledovaném areálu odlišným způsobem v závislosti na druhu postdepoziční transformace resp. na současném využití území. V zalesněném prostředí se projevuje jinak než na louce, lesní pasece nebo v náletu (k postdepozičním transformacím komponent zaniklých vesnic Novohradských hor obecně srov. Bureš 2013). Komponenty zaniklé úplnou destrukcí, které se nacházejí na loukách, lesních pasekách nebo v současných náletech jsou povrchovým průzkumem identifikovatelné maximálně vegetačními příznaky (nejčastěji ovocné stromy) anebo nejsou identifikovatelné vůbec – vegetace překrývá terénní nerovnosti i pozůstatky stavebního materiálu. Obdobně zaniklé komponenty, které se v současnosti nacházejí v lesním prostředí, se projevují jako mírně vyvýšená kamenná pole, nevýrazné muldy tvořené stavebním materiálem nebo dokonce patrnými částmi dochovaných půdorysů budov. Výjimkou nejsou ani dobře patrné relikty studní, sklepů, nebo některé výrazné artefakty jako jsou fragmenty kamenných koryt nebo kamnových kachlů vyskytujících se jako odpad na povrchu. Půdní pokryv byl v minulých desetiletích, kdy lesní porost dosáhl již příslušného stáří, prost vegetace a umožnil prostorově omezenou půdní erozi, která tak odhalila zmíněné relikty a artefakty, které byly původně při demolici zahrnuty zeminou.

Zbýlých 6 komponent je tvořeno 2 mezními pásy, 1 terénní úpravou zahrady (?), 1 lesní meliorací a konečně linií ženíjně technických zábrar z let 1951–1952 a druhou linií mladších ženíjně technických zábrar (obr. 6).

4. Projev komponent na digitálním modelu reliéfu

Na lidarovém snímku (DMR5G) bylo spolehlivě identifikováno pouze 5 komponent: komponenty stavební povahy (usedlosti) 1 a 52, mezní pás 57 mezi usedlostí 1 a 52 a obě dvě linie ženíjně technických zábrarů.

Usedlosti a meze

Usedlosti 1 a 52 zachycené lidarovým snímek (obr. 3) zanikly částečnou destrukcí. Letecký měřičský snímek z roku 1949 (obr. 1) dokumentuje usedlosti této části zkoumaného areálu v zachovalém stavebně technickém stavu. Usedlosti 1 a 52 ležící nejbližší k Starým Hutím (na západě) a Hojně Vodě (na severu) jeví na snímku znaky dosídlení – v jejich bezprostřední blízkosti je půda zjevně zemědělsky obdělávána (obr. 1), zatímco další komponenty areálu (např. 2–6, obr. 1) takové znaky nevykazují. Na leteckém snímku z roku 1952 (<http://kontaminace.cenia.cz/>) jsou komponenty 1–6 a 52 netransformované, ale v blízkosti ani jedné z nich nelze identifikovat zemědělskou činnost. Na snímku z roku 1958 (obr. 2) jsou již komponenty 1–6 a 52 transformované. Usedlosti 1 a 52 částečnou destrukcí, komponenty 2–6 úplnou destrukcí provedenou beze zbytku. Zániková transformace areálu je tak vymezena časovým úsekem 1952 – 1958. Lze předpokládat, že usedlosti 1 a 52 byly na rozdíl od ostatních usedlostí a domů

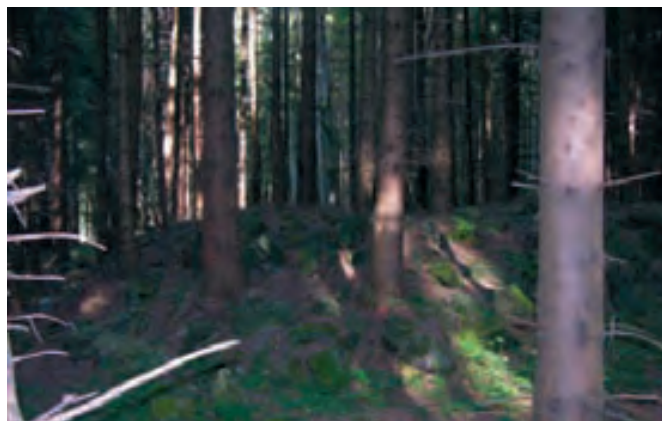
areálu po roce 1945 dosídleny, minimálně u komponenty 52 je to téměř jisté. Dokazuje to již zmíněná zemědělská aktivita v bezprostředním okolí, dále skutečnost, že na mapě reambulovaného třetího vojenského mapování (list 4553/2) je komponenta 52 označena jako hájovna a hájovny bývaly dosídlovány v hraničním pásmu a v některých případech přežívaly osídlené i po posunutí ženině technických zátaras směrem do vnitrozemí, čímž se dostaly do zakázaného pásma. Nepřímým důkazem dosídlení je i nález smaltovaného hrnku získaný povrchovým sběrem v ruinách komponenty 52, na kterém je dobře zachované vyobrazení ženy v sokolském kroji cvičící s kužely. Celkem spolehlivě lze tento nález spojovat s XI. Vsesokolským sletem v roce 1948 se slavnou moderní skladbou právě žen s kužely (www.sokol.eu). Hypoteticky lze předpokládat, že jako dosídlené se usedlosti 1 a 52 vyhnuly hlavní vlně demolic (na sklonku roku 1952?) a později po opuštění, ještě však před rokem 1958, proběhla jejich částečná destrukce. Následně byl prostor komponent z větší části zalesněn a pozůstatky komponent se ztratily ze zřetele příslušných orgánů.

Komponenta 1, která se nachází na pomezí lesa a lesní paseky, se zachovala v reliktech typických pro tento druh postdepoziciční transformace: postupnou destrukcí obvodových stěn a příček zachovaných po zániku částečnou destrukcí vznikly muldy tvořené destrukcí v základních obrysech zachovávající původní půdorys usedlosti (obr. 4). V podobném stavu se zachovaly též relikty komponenty 52, na rozdíl od reliktní komponenty 1, které jsou zčásti zarostlé náletem a jinou vegetací, jsou relikty komponenty 52 velmi dobře patrné, neboť je v jejím prostoru v současnosti vzrostlý smrkový porost, který udržuje destrukci bez vegetačního pokryvu (obr. 5). Identifikaci mezního pásu 57 mezi komponentami 1 a 52 na lidarovém snímku lze zčásti vysvětlit jeho zachováním v zalesněném prostoru, ale zejména tím, že byly identifikovány komponenty 1 a 52, které jsou na lidarovém snímku markantními body. Mezní pásy se projevují na lidarovém snímku i jinde ve zkoumaném areálu, ale pro absenci jasně identifikovatelných markantních bodů je nelze odlišit od přirozených terénních vln, funkčních cest a stezek apod. Zbylé dvě komponenty 13 a 15 zaniklé rovněž částečnou destrukcí lidar nemohl zachytit, neboť relikty těchto komponent zanikly později po roce 1958, jak je zřetelné i ze satelitního snímku oblasti a jak to prokázal povrchový terénní průzkum. Po roce 1958 též zanikla i komponenta 21 (mlýn?), která je na snímku z roku 1958 ještě v zachovalém stavebně technickém stavu. Pro absenci mladších leteckých měřičských snímků nelze určit bližší okolnosti zániku, v terénu se však zachoval velice zřetelný zářez do svahu, do kterého byla vestavěna budova, z které se zachovala celá řada stavebních prvků. Lidarový snímek nepřesvědčivě zobrazuje pouze zářez do svahu. Také identifikace komponent 42 a 43 zaniklých úplnou destrukcí se zbytky ponechanými v místě volně rozptýlenými na lidarovém snímku je značně nejednoznačná, přestože se obě komponenty při povrchovém průzkumu jeví zcela zřetelně. Důvodem je pravděpodobně malý plošný rozsah komponent 21, 42 a 43 vzhledem k možnostem prostorového rozlišení



Obr. 4 – Terénní relikty komponenty 1 zjištěné povrchovým průzkumem (foto M. Bureš, září 2012).

Fig. 4 – Terrain remains of feature 1 detected during surface survey (photo by M. Bureš, September 2012).



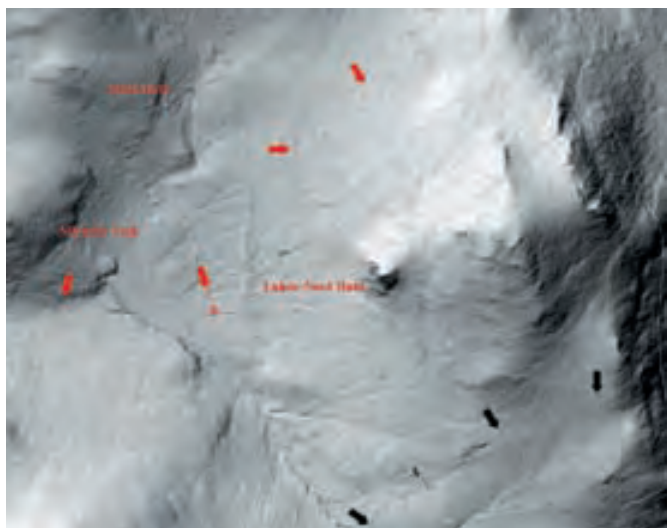
Obr. 5 – Terénní relikty komponenty 52 zjištěné povrchovým průzkumem (foto M. Bureš, září 2012).

Fig. 5 – Terrain remains of feature 52 detected during surface survey (photo by M. Bureš, September 2012).



Obr. 6 – Na satelitním snímku prostoru analyzovaného areálu Lukov – Nové Hutě lze na základě porostových příznaků rozeznat linie ženině technických zátaras budovaných v letech 1951–1952 (linie označená černými šipkami) a zátaras zřízených v šedesátých letech 20. století (linie označená červenými šipkami).

Fig. 6 – On a satellite image of a studied area Lukov – Nové Hutě we can (on the basis of vegetation marks) observe the linear features of sappers' technical barges built between 1951–1952 (lines marked with black arrows) and barges built in the 1960s (lines marked with red arrows).



Obr. 7 – Lidarový snímek prostoru analyzovaného areálu Lukov – Nové Hutě. Dobře identifikovatelná linie ženíjně technických zátaras budovaných v letech 1951–1952 je označena černými šipkami, linie zátaras zřízených v šedesátých letech 20. století je označena červenými šipkami. Písmena A a B označují místa dokumentovaných řezů relikty ženíjně technických zátarasů.

Fig. 7 – A LIDAR capture of the studied area Lukov – Nové Hutě. Well-identifiable line of sappers' technical barrages built in the years 1951–1952 marked with the black arrows, lines of barrages built in the 1960s are marked with red arrows. Letters A and B mark the places of documented cuts of the sappers' technical barrages.



Obr. 8 – Detail DMR relikty ženíjně technických zátarasů z let 1951–1952 s vyznačeným místem dokumentovaného řezu A (zářez s odvaly).

Fig. 8 – A DTM detail of the remains of the sappers' technical barrages from 1951–1952 marked with the documented cut A (cut with waste heaps).



Obr. 9 – Řez A vedený reliktem ženíjně technických zátarasů z let 1951–1952.

Fig. 9 – Cut A through the feature of sappers' technical barrages from 1951–1952.

snímkování, což platí i pro povrchově rozpoznatelné relikty komponent zaniklých úplnou destrukcí provedenou beze zbytku.

Ženíjně technické zátarasy

V kontrastu k výše uvedenému zjištění stojí podrobně zachycené linie obou časově odlišných ženíjně technických zaří-

zení ostrahy hranic (obr. 7). Satelitní snímek na obr. 6 zachycuje celý zkoumaný areál Lukov – Nové Hutě. Na jihu v těsné blízkosti státní hranice je patrná linie ženíjně technických zátaras z let 1951–1952, dále do vnitrozemí je zřetelná linie zátaras z 60. let 20. století. Bez povrchového průzkumu nebo studia dalších kartografických pramenů zachycujících průběh ženíjně technických zátaras lze často vegetační příznaky někdejších zátaras zaměnit s průseky, cestami apod. Lidarový snímek obě linie nejen dobře zachycuje ve velkém měřítku (obr. 7), ale v detailu lze rozeznat i některé konstrukční prvky a tím jednoznačně odlišit relikty ženíjně technických zátaras od cest a průseků pouze s využitím technik dálkového průzkumu země bez provedení terénního povrchového archeologického výzkumu.

Nejdůležitějším prvkem ženíjně technického zabezpečení hranic byl drátěný zátaras, který byl od roku 1951 do 1952 budován jako jedностěnný nebo trojstěnný, a který byl doplňován 3–4 m širokým kontrolním orným pásem. Na kontrolním pásu měl případný „narušitel“ zanechat stopy, které hlídce označily místo přechodu a přecházející mohl být pronásledován. Zátaras byl v této podobě využíván do poloviny 60. let, kdy byl nahrazen dvoustěnným zátarasem, kdy mezi oběma stěnami vedenými na betonových sloupcích byl zřízen orný kontrolní pás o šířce 8 m. Tento zátaras vznikl poté, co bylo rozhodnuto, že veškerá výstavba ženíjně technického zabezpečení bude nadále centrálně plánována, aby se zabránilo živelné výstavbě z iniciativy nižších velitelů. Dále bylo stanoveno, že samotný zátaras může zabírat pouze pruh půdy široký 20 m. Ostatní půda měla být předána k hospodářskému využití. V roce 1972 byl Vojenskou radou Veličelství Pohraniční stráže schválen jednotný profil trasy ženíjně technických zátaras, který zahrnoval napájecí a telefonní vedení, cestu 3 m širokou, pomocný kontrolní pás v šířce 3–4 m, kontrolní pěšinku, signální stěnu, hlavní kontrolní pás o šířce 5–6 m. Celková šířka trasy byla stanovena na 16–17 m. Ženíjně technické zátarasy se stavěly do upraveného terénu, čímž se rozumělo urovnání terénu, zřízení propustí a kanálů a můstků s uzamykatelnými mřížemi na potocích (Pulec 2006, 93–97).

Nadzemní části ženíjně technických zařízení, vodiče, miny, nástražná zařízení a podobně byly odstraněny do roku 1990 respektive v roce 1990, mnoho propustí, kanálů, můstků i zamřížovaných propustí bez údržby za více jak dvacet let zaniklo, terén upravený pro vedení ženíjně technických zátaras, však zůstal ve většině své trasy v málo osídlených pohraničních oblastech zachován postupně jako archeologický relikv.

Profil dochovaných relikvů je značně nejednotný. Pravidla terénních úprav se měnila v průběhu desetiletí, místní velitelé si je stanovovali sami nebo alespoň sami přizpůsobovali, a v každém případě se musely terénní úpravy přizpůsobovat charakteru okolního terénu, kterým zátarasy procházely. Na lidarovém snímku lze určit, zda byla terénní úprava pro zátaras provedena formou terénního zářezu s odvaly, jak dokumentuje výřez na obr. 8, kontrolní řez A na obr. 9 a snímek dokumentovaného úseku na obr. 10, nebo formou náspu s pří-

kopy (většinou s meliorační funkcí) po obou stranách, jak dokumentuje výřez na obr. 11 a kontrolní řez B na obr. 12.

Polní systémy

Linie mladších ženíjně technických zábran, která na rozdíl od své předchůdkyně, procházela ve zkoumaném prostoru zemědělsky využívanou kulturní krajinou, tvoří na lidarovém snímku zřetelnou hranici dělicí území na zemědělský prostor kultivovaný orbou a na prostor pastvin, luk a lesů. Mezi linií zábran a státní hranicí jsou relikty polních systémů jen velmi zřídka, těžko a nepřesvědčivě rozeznatelné, zatímco směrem od linie zábran do vnitrozemí jsou polní systémy zcela zřetelné (obr. 7). Přitom orné zemědělství se před druhou světovou válkou provozovalo na obou stranách této hranice a v současnosti se neprovozuje ve sledovaném území prakticky nikde. Orná půda je v prostoru Lukova a Nových Hutí doložena nejen na indikační skice stabilního katastru (*NA sign. IS, BUD 002, 098* z let 1826–1827), ale i na leteckém snímku z roku 1949, i když v nepatrném rozsahu. Rozdíl nelze hledat ani v současném využití území, protože větší část analyzovaného prostoru zůstala nezalesněna. Nezdá se pravděpodobné ani, že by tento odlišný obraz byl způsoben časovým posunem v ukončení orného zemědělství, neboť tento posun je reprezentován rozdílem pouze několika desetiletí. Příčiny je tak třeba hledat spíše v současném managementu nezalesněných prostor. Směrem do vnitrozemí jsou bývalá pole hospodářsky využívána jako dvojsečné louky, zatímco louky v bývalém zakázaném pásmu jsou jednou za dva roky maximálně jednou ročně v září až říjnu mulčovány. Ve vegetačním období není porost tvořen trávou jako ve vnitrozemí, ale plevelem. Je tak možné, že vegetační pokryv nezalesněného území, který dostatečně nekopíruje terén, je hledanou příčinou nulového nebo nedostatečného odrazu polních systémů na lidarovém snímku.

5. Závěr

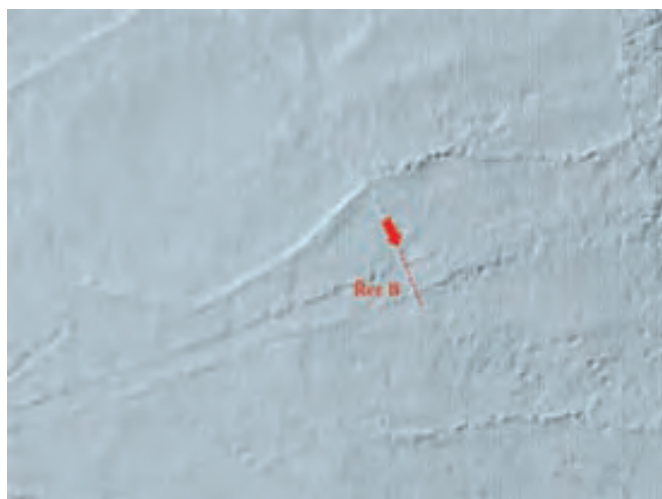
Případová studie analýzy lidarových snímků území osad Lukov a Nové Hutě zaniklých po roce 1948 ukázala přínos digitálního modelu reliéfu pro studium širších území a průběžných, liniových či velkoplošných útvarů (srov. *Gojda – John – Starková 2011*, 695). Srovnání odrazu archeologických objektů na lidarových snímcích se zaniklou skutečností je však důkazem toho, že využití této průzkumné techniky je závislé na mnoha podmínkách a okolnostech a někdy může zachycovat jen zcela zanedbatelné procento zaniklých situací. V případě analýzy areálu Lukov a Nové Hutě mají tak lidarové snímky pro archeologický výzkum spíše doplňkový význam.

Prameny:

- <http://kontaminace.cenia.cz/>
- Národní archiv, 1. oddělení, archivní fond Indikační skizy, 1826 – 1843 (1879):
- Sign. IS, BUD 002, Staré Hutě, 1826
- Sign. IS, BUD 098, Hojná Voda, 1827



Obr. 10 – Terénní relikty ženíjně technických zábrarů z let 1951–1952 zjištěné povrchovým průzkumem v místech dokumentovaného řezu A (foto M. Bureš, září 2012).
Fig. 10 – The terrain remains of the sappers' technical barrages from 1951–1952 documented by surface survey in the vicinity of cut A (photo by M. Bureš, September 2012).



Obr. 11 – Detail DMR reliků ženíjně technických zábrarů z 60. let 20. století, s významným místem dokumentovaného řezu B (násep s příkopy).
Fig. 11 – DTM detail of the remains of the sappers' technical barrages from the 1960s marked with the documented cut B (escarpment with ditches).



Obr. 12 – Řez B vedený reliktem ženíjně technických zábrarů z 60. let 20. století.
Fig. 12 – Cut B through the feature of sappers' technical barrages from the 1960s.

- Statistický lexikon obcí v Republice Československé vydán ministerstvem vnitra a Státním úřadem statistickým na základě výsledků sčítání lidu z 1. prosince 1930. Praha 1934.
- Ústřední archiv zeměměřičtví a katastru, 3. vojenské mapování, listy č. 4553/2.
- Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce, Letecké měřičské snímky 8660/1949, 14632/1958.
- www.sokol.eu. Navštíveno 8. 10. 2012

16

“Iron Curtain” reflections in airborne laser scanning data: a case study from Novohradské Hory

This case study analyses the LIDAR data, which reflect the sites of Mlýnský Vrch, Nové Hutě, Staré Hutě, Lukov and a part of the village of Hojná Voda near the southern border of the Czech Republic in the region of Novohradské hory. Specific attention was paid to the villages of Nové Hutě and Lukov, which were deserted after 1948 in relation to the building, gradual widening and technical elaboration of the so-called “forbidden zone” in the borderlands of Czechoslovakia and Austria.

The village of Lukov (*Luggau* in German, 830 metres above sea level) is first mentioned in the written sources in 1379, but after 1534 it was recorded as deserted. Before 1641 it was renewed (Fröhlich 1994, 3). In 1930 the village comprised of 14 houses with 52 inhabitants (Statistical lexicon 1934, 141). The village of Nové Hutě (*Neuhütten* in German, 820 metres above sea level) was founded as a settlement near a glass-house that was established in 1623 (Fröhlich 1994, 4; Fröhlich 1996, 4; Kovář–Koblasa 2006, 332). The original German inhabitants of Lukov and Nové Hutě were moved out after 1945. During the years 1951–1952, sappers’ technical barrages were built along the state border. These borderland devices became widely known as the Iron Curtain. Lukov and Nové Hutě were deserted between 1952 and 1958, most of the houses were demolished and part of the site was forested. In the second half of the 1960s the line of sappers’ technical barrages was moved further inland. The dividing line between the deserted villages cannot be spatially distinguished any more, as each village was extended with spread out farmhouses and cottages. Hence, they are studied as a single site.

In accordance with the methods elaborated for the study of transformation processes of villages deserted in Novohradské hory after 1945 (Bureš 2013), there were established the types and forms of exit transformations for the individual features of Lukov and Nové Hutě on the basis of current and historical carto-

graphic sources, historical aerial photos and current satellite images in combination with a detailed surface survey.

In order to compare the LIDAR data with the results of other methods for the study of the village sites deserted after 1945, the study area was selected for the following reasons: there were both the older and the more recent line of sappers’ technical barrages in the area, the study area was at first within the borderland region and then within the “forbidden zone”, the site directly adjoins living villages, one of the studied villages (Lukov) had its medieval predecessor before it went through a period of desertion and on site there were identified several types of exit transformations.

Only 5 features were reliably identified on the LIDAR image – all from the desertion period of 1952–1958: features of structures (houses) 1 and 52, which were partially destroyed, field boundary 57 between the houses 1 and 52 (fig. 1–5) and both lines of the sappers’ technical barrages (features 59 and 60, fig. 6–7). In contrast with the low number of identified transformed structures, both lines of sappers’ technical structures for border defence which were built in different years are captured in great detail. On the LIDAR images we can even see the construction characteristics of these barrages (fig. 8–12).

The case study from Novohradské hory is not a classic example of the analysis of LIDAR images undertaken in order to search for unknown archaeological features, or for their specification and completion of spatial data about recorded sites. A whole range of this kind of information for the study of villages and the cultural landscape deserted after 1945 in the Czech borderlands is available from other sources. The confrontation with LIDAR data tests the limitations of this method of remote sensing in archaeological survey and its potential for archaeology of contemporary past.

Identifikace starých cest a dalších objektů za pomoci LLS

První výsledky multidisciplinárního projektu

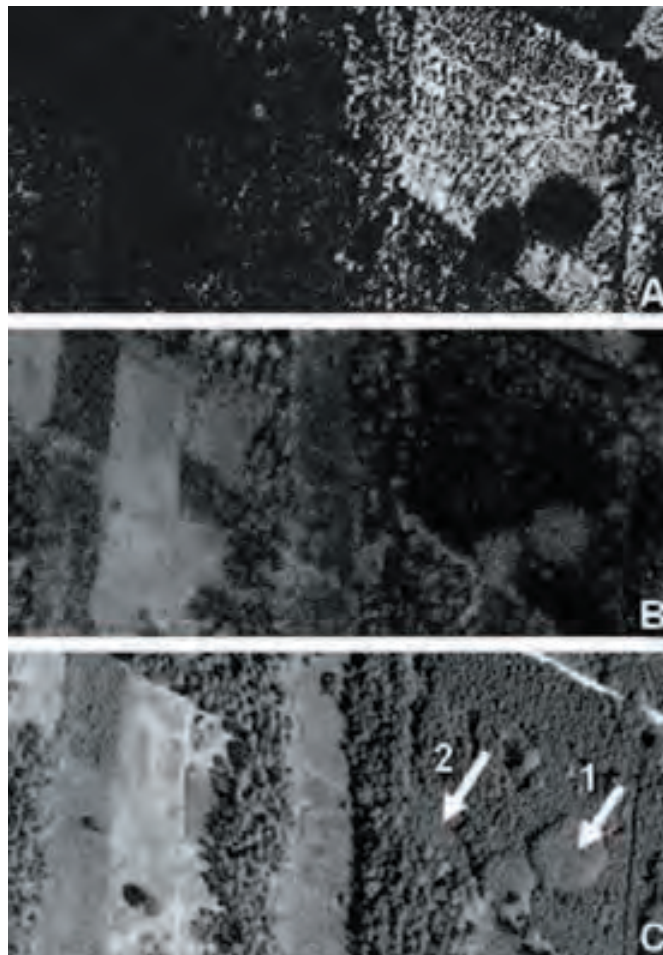
Tato kapitola je dílčím výstupem projektu „Výzkum historických cest v oblasti severozápadní Moravy a východních Čech“ řešeného v rámci Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI), který byl vyhlášen a finančně podpořen Ministerstvem kultury ČR. Jedná se o společný projekt Centra dopravního výzkumu (hlavní koordinátor projektu), Archeologického centra Olomouc a Univerzity Palackého v Olomouci, řešený skupinou odborníků z oborů informatiky, geoinformatiky, geografie, geologie, archeologie a historie. Projekt byl zahájen v roce 2011 a jeho ukončení je plánováno na rok 2014. Informace o projektu jsou dostupné na stránkách <http://www.historicke-cesty.cz/>.

Jak již sám název projektu napovídá, předmětem zájmu jsou staré cesty středověkého a novověkého stáří, především pak jejich relikty dochované v terénu ve formě terénních nerovností (náspů, úvozů, kolejí, strží, mělkých depresí nad zavezenými úvozy atd.), či ve skrytých formách rozpoznatelných na leteckých snímcích pomocí příznaků (vegetačních, půdních, stínových, sněžných aj.), na výstupech z geofyzikálních měření atd. K identifikaci viditelných terénních pozůstatků je kromě terénní prospekce využíváno také leteckého laserového skenování (LLS) jako nové moderní metody, která umožňuje v krátké době zaznamenat velké množství prostorových informací. Jedná se o převratnou technologii, která v mnoha oblastech výzkumu nabízí doposud netušené možnosti aplikace. Tato data se stávají hlavním zdrojem digitálních terénních informací (Raber 2007; Wehr 1999; Watkins 2005). Jejich použití v rámci výzkumu starých cest bude obsahem následujícího textu.

1. Vymezení oblastí ke skenování

Zájmovým územím projektu je oblast severozápadní Moravy a východních Čech, na jejímž okraji se nacházejí města Brno, Vyškov, Olomouc, Litovel, Mohelnice, Zábřeh, Králíky, Žamberk, Choceň, Vysoké Mýto, Chrast, Skuteč, Polička, Letovice a Kuřim.

Při sestavování plánu letu se přednostně volí takové lokality, kde je již prokázána existence zkoumaných terénních tvarů, především reliktních cest. Ve většině případů se jedná o prostory, kde je koncentrace cest tak vysoká, že není možné či ekonomicky únosné tyto objekty zaměřit klasickou pozemní prospekci. Dále jsou vybírána místa, která jsou z pohledu archeologie svým způsobem unikátní. Může se jednat o ukázkové případy vztahu cest a fortifikací, o přechody cest přes brody, svazky úvozů, mohylová pohřebiště v blízkosti cest apod. Tyto objekty mohou být již známé, nebo nově zjištěné přímo v terénu, studiem archivních leteckých snímků, leteckou prospekci a dalšími metodami.



Obr. 1 – Vliv vegetace na hustotu bodů z laserscanningu. A) Mračna bodů po filtraci posledních odrazů (světlejší plochy značí nižší hustotu bodů). B) Mapa intenzity odrazů laserových impulzů (světlé plochy značí silnější odrazy od terénu a tmavé slabší). C) Ortofotomapa: 1 – opadané listnáče, 2 – mladý hustý porost jehličnanů. Jak lze vidět, listnaté lesy v době vegetačního klidu ovlivňují měření jen minimálně. Naopak husté mladé jehličnany mohou počet odražených bodů dosti zredukovat (většinu signálu pohltí vegetace, proto se výsledný signál jeví jako slabý).

Fig. 1 – The influence of vegetation on the density of points from laserscanning. A) Point clusters after the filtration of the last reflection (lighter areas represent a lower density of points). B) A map of the intensity of laser impulse reflections (lighter areas represent stronger signals and darker areas are weaker reflections in the terrain). C – Orthophotomap: 1 – deciduous trees, 2 – younger high-density coniferous wood-cover. As it is apparent, the impact of leaf trees on survey in a non-vegetative season is minimal. On the contrary, a cover of dense young coniferous trees can considerably reduce the number of reflected points (most of the signal is lost in the vegetation and that is why the results are weak).

2. Letecké laserové skenování

Skenování probíhá vždy v jarních měsících, kdy je vegetace ještě bez olistění a nízké porosty jsou zcela slehlé, takže laserové paprsky mohou snadněji proniknout až na terén. Vliv vegetace



Obr. 2 – Vytyčení ploch pro letecké laserové skenování v letech 2011 a 2012.
Fig. 2 – The delimitation of areas for airborne laser scanning in 2011 and 2012.

na hustotu bodů je ukázán na obr. 1. V rámci projektu NAKI byly za použití leteckého skeneru Riegl LMS-Q680i postupně skenovány jednotlivé předem vymezené pásy z výšky okolo 600 až 900 m nad úrovní terénu, čemuž odpovídá šířka skenovaných pásů v rozmezí ca 700 až 1000 m a hustota měření 3 až 5 laserových bodů na m^2 . V roce 2011 bylo na vybraných úsecích testováno také měření s dvojnásobně vysokou hustotou bodů, tedy 10 laserových bodů na m^2 . Po vyhodnocení prvních výstupů bylo zjištěno, že pro účely projektu je zcela postačující hustota měření 3 laserové body na m^2 , a to na všech zkoumaných lokalitách. Během prvních dvou let bylo takto naskenováno 80 pásů na 51 vymezených polygonech v rámci území Olomouckého, Pardubického a Jihomoravského kraje o celkové výměře 135 km^2 bez přesahů (viz obr. 2). Měření prováděla brněnská firma Geodis Brno (*Geodis 2012*).

3. Zpracování naměřených dat

Výsledkem laserového skenování je soubor prostorových bodů, tzv. „mračen bodů“, s 3D souřadnicemi a hodnotou intenzity odrazu. Z těchto dat jsou nejprve odstraněny veškeré chybné body vzniklé během letu. Dále následuje proces selekce, kdy

jsou vybírány pouze body posledních odrazů, čímž vznikne model DMR. Z nového souboru dat jsou dále odstraněny body nad budovami a dalšími antropogenními objekty (mimo terénních úprav). Upravená vektorová mračka bodů se následně převádí do formátu PostGIS Layers za účelem archivace dat ve vektorové podobě. Nad těmito daty se provádí interpolace typu IDW (metoda vážené inverzní vzdálenosti) a převod na rastr formátu Arc/Info ASCII.

Vzhledem k průměrné hustotě 3 laserové body na 1 m^2 je rozlišení rastru DMR 1 m, při kterém je možné rozpoznat většinu sledovaných objektů jako jsou např. cesty, úvozy, úvozové cesty, mělké deprese nad pohřbenými úvozovými cestami, náspy, příkopy, valy, okopy, mohyly, rozory, terasy, meze, kupy, haldy, těžební tvary, jámy, rybníční hráze, strže, rokle, skalní útvary, krasové tvary, koryta vodních toků, údolních nivy atd. Rozlišení je dodrženo i pro návazné analýzy a modelování. Míra čitelnosti objektů v závislosti na rozlišení rastru je demonstrována na obr. 3.

DMR je v souřadnicovém systému S-JTSK, výškovém systému baltském po vyrovnání s polohovou a výškovou přesností do 12 cm. Rastrová data formátu Arc/info ASCII jsou rozděle-

na na kilometrové dlaždice uložené v samostatných souborech. Veškeré tyto úpravy provádí firma Geodis Brno.

4. Analýzy DMR

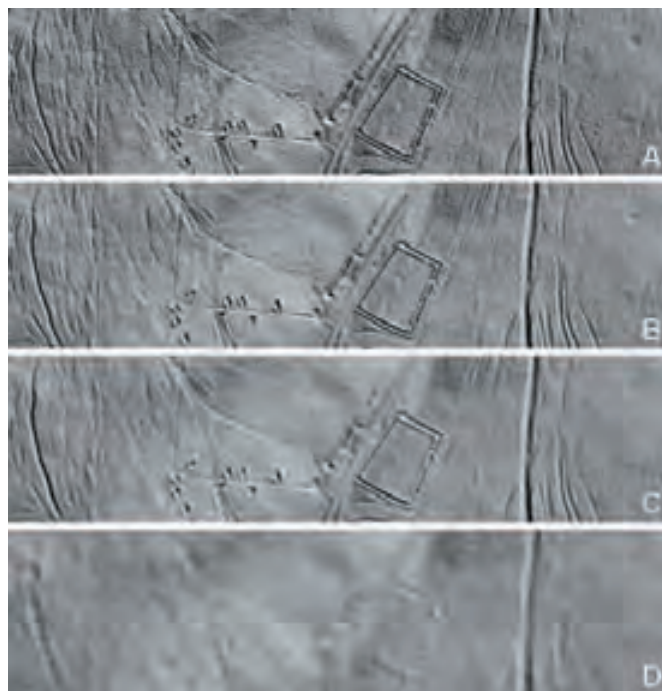
Pro zpracování naměřených dat pro účely projektu NAKI je využíváno více softwarových platform. Je to z důvodu testování analytických nástrojů a ověřování kvality výstupů v obou variantách (komerční, opensource). Z komerčních softwarových řešení je to software ArcGIS Desktop 10.1 se všemi nadstavbami s knihovnou prostorových analýz SEXTANTE a software Atlas DMT 5.0 s nadstavbami ŘEZY, OBJEM, 3D vizualizace, a EROZE. Z hlediska srovnání kvality výstupů a existence analytických funkcí, dáváme přednost opensource řešení s doprovodnými moduly a programy. Pro složitější analytické funkce a modelování nad rastrovými daty využíváme častěji software SAGA GIS, Whitebox Geospatial Analysis Tools (WhiteBox GAT 2.0) nebo GRASS, který je z pohledu nabízených funkcí pro potřeby projektu dokonce vhodnější než ArcGIS. Limitem použití softwarových řešení je omezení velikosti zpracovávaných dat (omezení počtu prvků vstupujících do analýz).

4.1 Úpravy DMR v aplikaci QGIS s využitím externí aplikace GRASS

Ke zpracování naměřených dat byl zvolen software Quantum GIS (QGIS), který poskytuje v rámci skupiny volně šiřitelných GIS aplikací nejvíce analytických a kartografických nástrojů, navíc v českém prostředí, což umožňuje široké využití programu v praxi. Oficiální instalační soubor je dostupný na webu <http://www.qgis.org/> pod licencí GPL. Poslední stabilní verze 1.8.0 (ke dni 27. 10. 2012) je uváděna pod označením QGIS Lisboa. Stejná verze, pouze opravená o některé aplikační chyby, je dostupná také na stránkách ruského projektu NextGIS. Instalační soubor je možné stáhnout na adrese: <http://nextgis.ru/en/nextgis-qgis/>. S použitím nadstaveb lze přímo z prostředí QGISu přistupovat také k dalším externím programům jako jsou GRASS, SAGA GIS, LAStools atd.

Analýzy terénu se v aplikaci QGIS provádějí prostřednictvím modulu *Rastr > Analýza > DEM (modely terénu)*, kde lze zvolit jednotlivé režimy (typy) výpočtu. V rámci projektu NAKI byly použity: Stínovaný reliéf (hillshade), Svazitost (slope) a Orientace (aspect). Gridy svazitosti a orientace je možné dále upravovat formou zvýraznění určitého intervalu či změnou barevné stupnice. Kromě těchto analýz jsou využívány také další typy výpočtů: prostorové operace v rámci jedné vrstvy (lokální, fokální, zonální, globální), algebraické operace napříč rastrovými vrstvami atd. V některých případech jsou vytvářeny také příčné profily generované z rastrových dat DMR, s jejichž pomocí lze vykreslit např. příčný profil úvozových cest, strží, valů, hrází apod.

V následující části textu jsou představeny vybrané analýzy terénu s vizualizací v odstínech šedi vyjádřených paletou 256 barev počínaje černou odpovídající hodnotě 0 a konče bílou

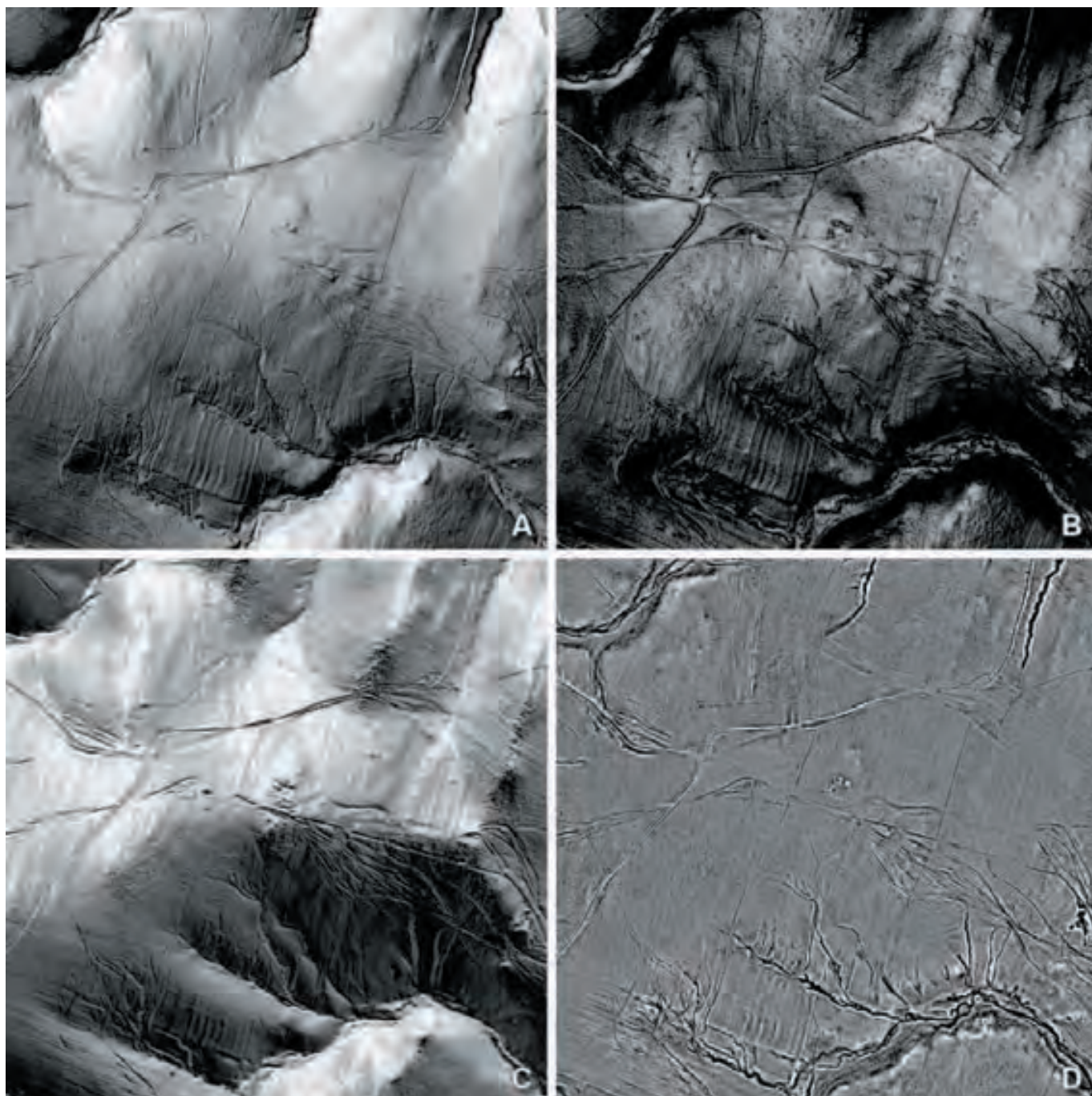


Obr. 3 – Možnosti vykreslení detailů na rastroch stínovaného reliéfu v závislosti na použitém rozlišení. A) Rozlišení 0,5 m. B) Rozlišení 1 m. B) Rozlišení 2 m. C) Rozlišení 5 m. Pro studium drobných terénních tvarů jako jsou cesty, terasy, valy, příkopy, strže atd. je optimální rozlišení 0,5 m či 1 m. Při rozlišení 5 m a více dochází již ke značnému setření stop.

Fig. 3 – The possibilities of depiction detail on the raster of a shaded relief in dependence on the resolution used. A) Resolution 0.5 m. B) Resolution 1 m. C) Resolution 2 m. D) Resolution 5 m. For the study of small relief features such as roads, terraces, banks, ditches, ravines etc. the optimal resolution is 0.5 or 1 m. In a 5 m resolution the traces become very much obliterated.

s hodnotou 255. Nastavení barev je možné provádět změnou symboliky, nebo přímo přepočtem rastru. Přepočet rastru je používán zejména za účelem prohlížení dat mimo GIS software v běžných grafických programech jako jsou IrfanView, Photofiltre, Photoshop apod. V tomto případě je nutné jednak zaokrouhlit hodnoty buněk na celá čísla (obvykle se používá datový typ Byte – 8 bitové celé číslo bez znaménka), a také přepočítat stupnici původních hodnot na interval 0 až 255. Výsledky analýz jsou ukázány na obr. 4.

Analýza stínovaného reliéfu simuluje osvit reliéfu slunečním světlem. Směr slunečních paprsků se stanoví azimutem a výškou slunce nad obzorem, přičemž optimální hodnota azimutu je 315°. U lineárních struktur je nutné volit azimut ve vztahu ke směru linií nebo volit kombinaci více azimutů (Doneus 2008, Štular 2010). Nejméně vhodné je naopak nasvícení z jihovýchodního směru, při kterém může dojít k tzv. inverznímu vnímání reliéfu (jedná se o optický klam, při němž se hřbety jeví jako údolí a údolí jako hřbety). V případě, že jsou rozdíly mezi stinnými a světlými plochami malé, provádí se úprava svislého převýšení tzv. Z-faktoru. Pokud je Z-faktor nastaven např. na hodnotu 3, budou všechny výškové hodnoty 3× větší. V rámci projektu NAKI je používán Z-faktor s hodnotou 2 až 4. U liniových tvarů je doporučeno provést nasvícení ve směru kolmém k průběhu terénních struktur s výškou slunce nad obzorem ca 45°. S klesající výškou slunce se stíny zvýrazňují, díky čemuž



Obr. 4 – Výstupy z analýz DMR. A) Stínovaný reliéf s výškou slunce 45° a azimutem 315°. B) Grid svažitosti vykreslující plochy od 0° do 15°, od 15° výš jsou plochy pouze černé. C) Grid orientace rozdělený na dva intervaly, kde první část 1° až 180° odpovídá rozsahu barev 255 až 0 a interval 181° – 360° barvám 0 až 255. D) Grid lokálních anomálií zvýrazňující konvexní tvary bílými odstíny a konkávní tvary černými odstíny.

Fig. 4 – The results of DRM analyses. A) Shaded relief with the sun altitude 45° and azimuth 315°. B) Declination grid showing areas between 0° and 15°, from 15° and higher the surfaces are black. C) Orientation grid divided in two intervals, where the first part from 1° to 180° reflects the distribution of colours from 255 to 0 and the interval from 181° to 360° reflects colours 0 to 255. D) A grid of local anomalies highlighting the convex features with white and concave features with shades of black.

můžeme rozpoznat i relativně malé nerovnosti. Nasvícení z nižších výšek lze však použít jen u rovinatějšího reliéfu. Výraznější údolí či náhlé výškové změny totiž obvykle omezí viditelnost prvků. Zde je nutné změnit výškový úhel osvětlení. V případě, že stíny převažují i při vyšších polohách slunce, je dobré kombinovat stínovaný reliéf s dalšími výstupy analýz terénu tak, aby sledované tvary byly rozlišitelné i v členitějším reliéfu (mapová algebra). V rámci vizualizace dat pomocí stínovaného reliéfu lze volit i složitější postupy a analýzy (viz Štular 2012). V dané fázi projektu je použití standardní metody vyhovující.

Analýza svažitosti je dalším často užívaným výstupem DMR analýz. V základním zobrazení nabývá rastr hodnot 0° až 90°, které jsou obvykle zobrazeny v barvách 255 až 0. Jelikož je zastoupení strmých ploch, vzhledem k ostatním plochám, procentuálně menší, provádí se úprava histogramu, kdy je plný barevný rozsah 0 až 255 přiřazen pouze dílčímu intervalu hodnot svažitosti, přičemž ostatní hodnoty jsou zobrazeny černou barvou. V projektu NAKI je používán nejčastěji interval 0° až 25° případně 0° až 15° pro zvýraznění drobných tvarů na plochách s mírnějším sklonem.

Analýza orientace je používána spíše pro další analýzy (analýzy odtokových poměrů, využitelnost území pro konkrétní zemědělské plodiny, atd.). Po určitých úpravách lze však její výstupy použít i pro zvýraznění (detekci) drobnějších povrchových nerovností. Ve výchozím nastavení jsou hodnoty azimutu 1° až 360° vyjádřeny barevnou stupnicí 0 až 255. Tato je však nepoužitelná, jelikož na rozhraní ploch s azimutem 360° a 1° je patrný ostrý přechod mezi černou a bílou barvou, což se jeví ve výsledku nepřirozeně. Proto je vhodné rozdělit původní interval 1° až 360° na dvě části, kde první část 1° až 180° bude odpovídat rozsahu barev 255 až 0 a interval 181° – 360° barvám 0 až 255, čímž se docílí plynulých přechodů. Při tomto nastavení jsou nejlépe rozpoznatelné liniové objekty (zahlobené či vyvýšené) probíhající pod úhlem 90° resp. 270° . V případě úvozů probíhajících tímto směrem jsou boční stěny orientované k jihu černé, zatímco severní stěny jsou bílé. U liniových objektů probíhajících pod jiným azimutem je doporučeno provést zobrazení barevné stupnice tak, aby nejsvětlejší a nejtmaší plochy byly orientovány opět ve směru kolmém k průběhu reliktu. Jestliže je liniový objekt orientován ve směru např. 45° resp. 225° , pak černá barva bude na svazích s azimutem 135° a bílá barva na svazích s azimutem 315° . Úpravy barev lze provést také přepočtem hodnot jednotlivých buněk rastru pomocí mapové algebry (v QGISu je označena jako Rastrový kalkulátor), kdy hodnoty aspektu převádíme na hodnoty odstínů šedi. Po přepočtu buněk je vhodné provést také odstranění šumu, který je tvořen plochami bez orientace (u rovných ploch). K tomu lze využít některou z filtrací rastrových dat.

Analýza lokálních anomálií je vhodná k identifikaci drobných konkávních a konvexních tvarů. Pracovní název analýzy je odvozen od metodiky publikované v práci Hesse (2010) – tzv. LRM (Local Relief Models), která je častým způsobem vizualizace archeologických objektů z Lidarových dat. Rastr lokálních anomálií (RLA) vznikne po odečtení výškových hodnot shlazeného povrchu tzv. trendu od hodnot původního povrchu ($RLA = DMR - TREND$). V rastru RLA jsou potom konvexní tvary (nad úrovní trendu) vyjádřeny kladnými hodnotami a konkávní tvary (pod úrovní trendu) zápornými hodnotami. Čím je hodnota vyšší, tím je terénní tvar výraznější. Shlazený povrch je vypočítán pomocí filtrační metody „operace v okolí“. Její použitelnost byla testována na více velikostech matice filtru, nejlepší výsledky byly získány aplikací matice 11×11 buněk. Výpočet filtrace byl proveden v aplikaci QGIS pomocí příkazu `r.neighbors` (součást příkazů GRASS) dostupném přes nadstavbovou knihovnu analytických funkcí SEXTANTE Toolbox. Podobné výsledky, ale s hladšími přechody mezi prvky reliéfu, poskytuje tzv. „Gausova filtrace“ (Štular 2012).

V rámci řešeného projektu byly testovány také další poněkud náročnější prostorové operace, mezi něž patří např. výpočet původního reliéfu. Tímto výpočtem jsou odstraněny veškeré lokální výškové anomálie vzniklé přírodní erozí či antropogenní činností. Jedná se jak o konkávní tvary (úvozy,

úvozové cesty, příkopy, vojenské zákopy, rozory, těžební tvary, jámy, strže, rokle, koryta vodních toků), tak i nerovnosti konvexního charakteru (silniční násypy, valy, mohyly, terasy, kupy, haldy, rybníční hráze). Přes operace mapové algebry lze odečtením takto upraveného modelu terénu od DMR získat přesné hodnoty zahlobených nebo vystouplých tvarů.

4.2 Úpravy DMR v aplikaci ArcGIS

Použití ArcGIS vychází z používaných extenzí a nástrojů (3D Analyst, Spatial Analyst), pro rutinní zpracování většího množství dat a pro složitější analýzy je využíván Model Builder. ArcGIS je stejně jako QGIS využíván pro dílčí rastrové analýzy a modelování. I když obsahuje poměrně rozsáhlý balík nástrojů pro práci s rastrovými daty, využíváme často nadstavbovou knihovnu analytických funkcí SEXTANTE Toolbox. Stejně jako v případě QGIS je dostupná přímo z prostředí ArcGIS. Nespornou výhodou pro práci s ArcGIS jsou zdrojová data v ASCII grid formátu firmy ESRI.

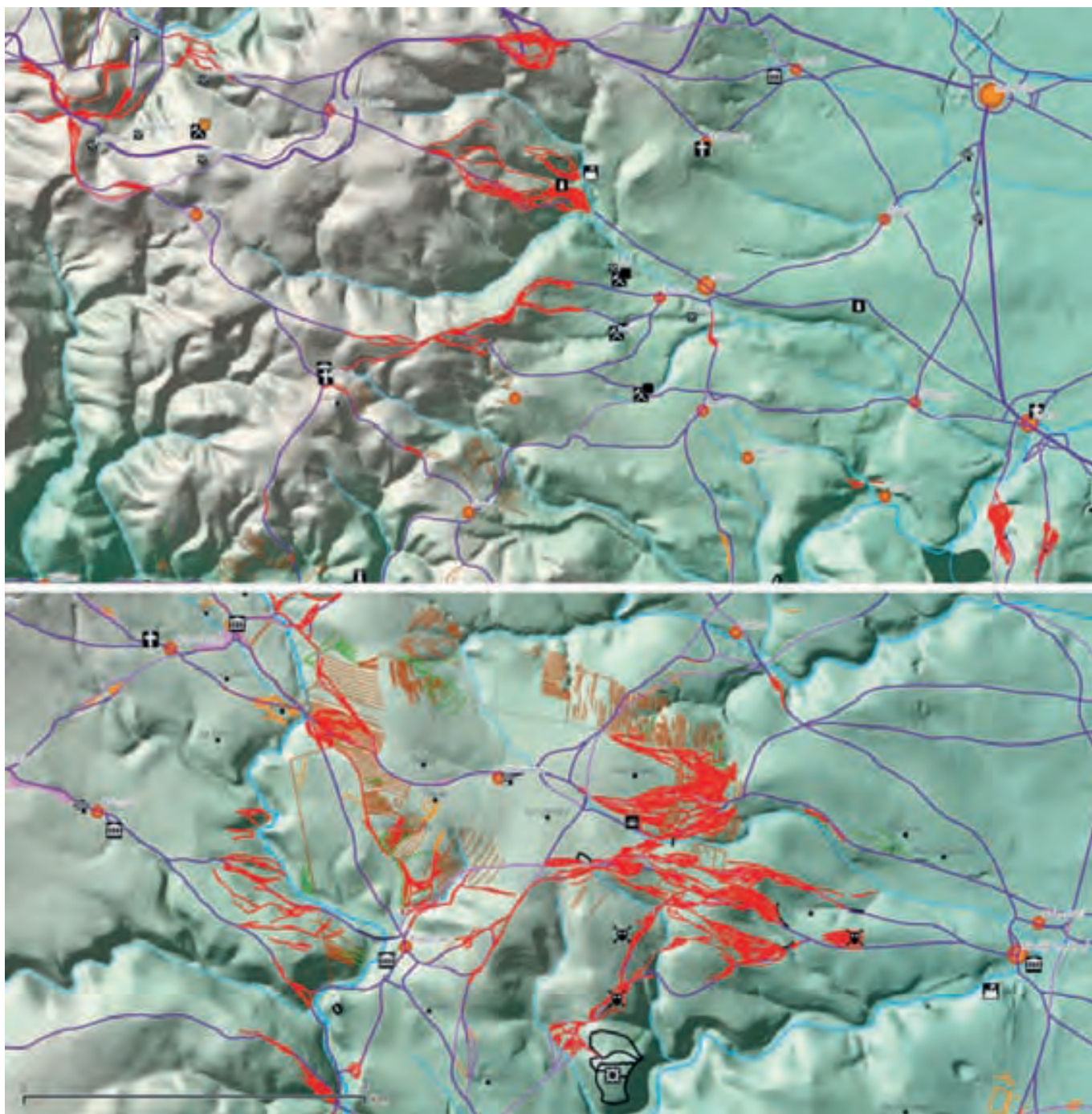
Podobně jako opensource produkty i ArcGIS má své limity pro vizualizaci většího množství dat. V interních materiálech lze nalézt pro zobrazování ve 3D režimu limit 20 milionů prvků, verze Atlas 5.0 Max má limit ca 40 milionů prvků. Pro analýzy větších celků a většího množství dat je nutné zvolit vhodnější software, nebo rozdělit území na menší celky.

5. Vektorizace vybraných objektů na výstupech z LLS v aplikaci QGIS

Kromě vizuální kontroly dat je prováděna také ruční vektorizace objektů identifikovaných na výstupech z LLS v podobě bodů, linií a polygonů. Dílčí zákresy jsou ukládány v podobě shapefile souborů do „Digitální mapy cest a souvisejících objektů“ (viz obr. 5). Jedná se o prostorovou databázi spravovanou v prostředí QGIS. Mimo výstupů z LLS obsahuje tato databáze také další prostorové informace, získané na základě studia historických písemných pramenů, z map (dobových i současných), z leteckých snímků a dalších dostupných obrazových a textových podkladů. V současnosti (2012) obsahuje databáze již více jak 18 000 objektů.

6. Prezentace výsledných dat

Data obsažená v Digitální mapě cest a souvisejících objektů jsou v pravidelných intervalech publikována na mapovém serveru VectorMap (viz obr. 6), na jehož vývoji pracuje tým odborníků z Centra dopravního výzkumu již od roku 2006. Interaktivní webová mapová aplikace je postavena na základech technologie Adobe Flash, díky čemuž je zachována „vektorovost“ vstupních dat při použití běžně rozšířených webových technologií. Tento přístup otevírá mnohé možnosti, které jsou u doposud běžně používaných přístupů v publikování prostorových dat na internetu obtížně aplikovatelné. Velkou výhodou tohoto řešení je také možnost vkládání vlastních animací (vektorových i rastrových) do mapy dle vlastní volby. Aplikaci lze



Obr. 5 – Výřezy Digitální mapy starých cest a souvisejících objektů (z aplikace QGIS). Ve výřezech jsou zobrazeny jednak staré cesty překreslené z map II. vojenského mapování (fialové linie), dále zaměřené úvozy (červené linie), významné objekty při cestách (černé bodové symboly), sídla (oranžové kruhy), průběhy opevnění (černé linie), terasy, rozory či jiné hranice mezi pozemky (hnědé linie), vegetační příznaky zjištěné z ortofotomap (oranžové linie), vodní toky (modré linie), pomístní názvy (černé body s popisem), stínovaný reliéf doplněný o barevnou hypsometrii a další objekty.

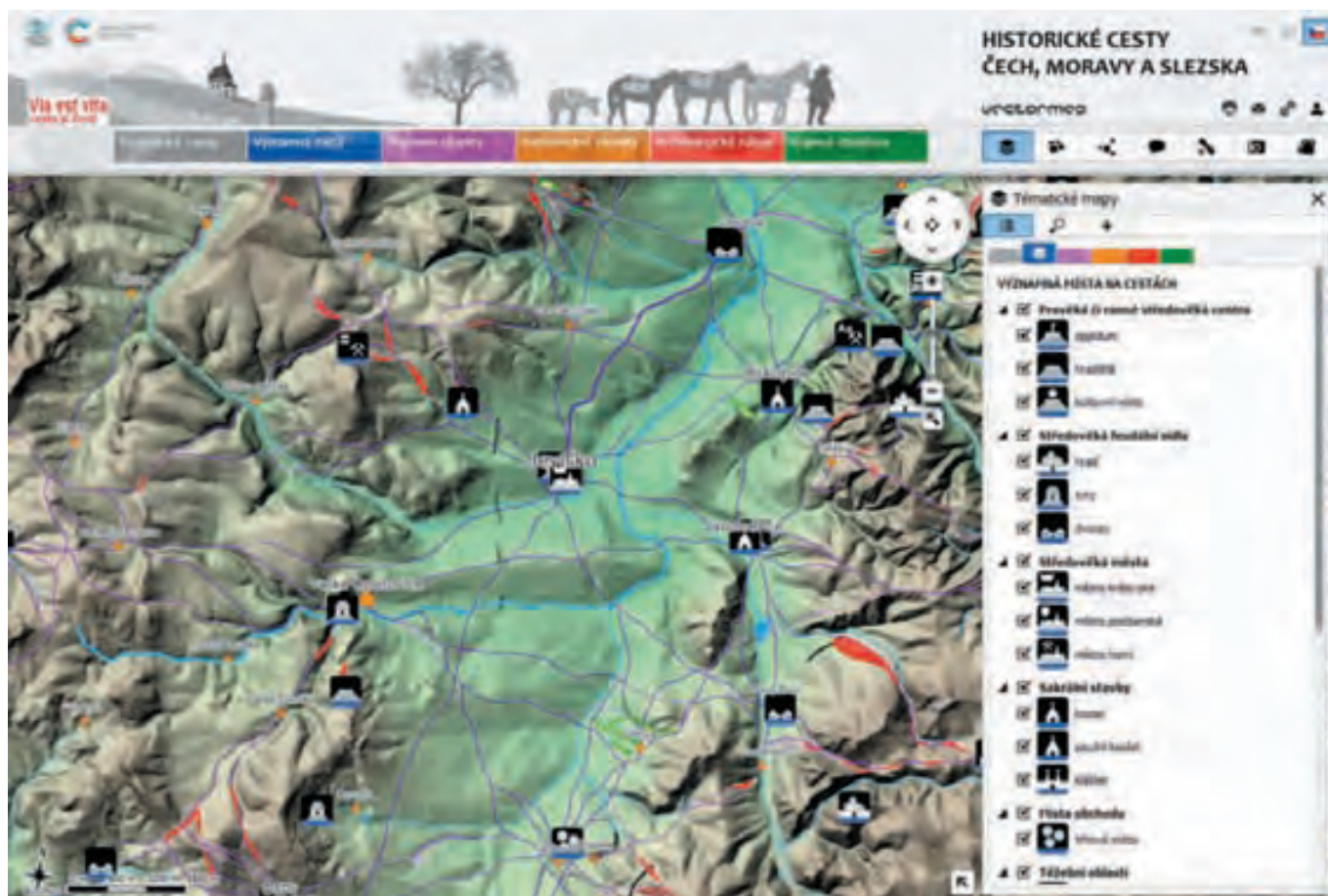
Fig. 5 – Part of the Digital maps old road and related features (application QGIS). Apart from the old roads redrawn from the II. military mapping (purple lines), there are visible also the recorded trackways (red lines), important features alongside the roads (black points), settlements (orange circles), fortifications (black lines), terraces, estate boundaries (brown lines), vegetation markers recorded on orthophotomaps (orange lines), water courses (blue lines), local names (black points with labels), shaded relief complemented with a colour hypsometry and other features.

také doprogramovat s pomocí skriptovacího programovacího jazyka Python přímo „na míru“ danému účelu.

Těchto možností bylo využito i v rámci projektu NAKI, kde jsou vybrané moduly vyvíjeny speciálně pro potřeby výzkumu starých cest. Jednotliví uživatelé zde budou moci vytvářet vlastní pracovní vrstvy, sdílet data s jinými uživateli, vznášet připomínky k novým datům přímo do mapy atd. Součástí mapového serveru bude samozřejmě i prezentace výstupů z LLS,

kde bude možné jednotlivé vrstvy zapínat a vypínat, nastavovat jejich průhlednost nebo dokonce i měnit parametry přímo na webu (pomocí dynamického voliče bude možné měnit např. směr nasvícení, rozsah stupnice sklonů terénu atd.)

Vzhledem k možnému zneužití dat, zejména nelegálními skupinami provádějícími detektorové průzkumy, je přístup do aplikace v současnosti chráněn heslem. Do budoucna je však plánováno alespoň částečné zpřístupnění. Základní informace



Obr. 6 – Struktura aplikace VectorMap.
Fig. 6 – The structure of VectorMap application.

o aplikaci jsou prezentovány na stránkách <http://www.vectormap.cz/>, přičemž mapový projekt, zaměřený na problematiku starých cest, je dostupný na adrese <http://naki.vectormap.cz/>.

7. Studované lokality – základní charakteristika a interpretace objektů z LLS

7.1 Oblast západně od Náměště na Hané (okr. Olomouc)

Ve vymezené oblasti bylo nalezeno několik systémů úvozových cest, jejichž převládající směr je západovýchodní. Při studiu výstupů z LLS jsme identifikovali jisté zákonitosti, které se opakují i na jiných lokalitách. Častým znakem je sbíhavost cest do jednoho bodu, kde se nachází či nacházely výrazné orientační prvky v krajině: vysoké stromy, sakrální objekty, feudální sídla atd. (obr. 8. A). Ještě dnes lze na mnohých těchto místech, především ve smrkových monokulturách, spatřit mohutné listnáče. Směrování úvozů může být ovlivněno také blízkostí určité překážky (obr. 8. B), nebo změnou využití půdy (obr. 8. C). V některých případech byly úvozy setřeny zakládáním nových polí (obr. 8. D), budováním rybníků (obr. 8. E) atd. Vlivem povrchové vodní eroze se tyto pohřbené tvary cest mohou časem opět obnovit v jiné formě (obr. 8. F). Při studiu výstupů z LLS lze na vybraných místech rozpoznat i svazky úvozů, které přímo v terénu není možné vizuálně rozpoznat (obr. 8. G).

Na strmějších úsecích nebo na spodních okrajích svazků

úvozů, případně v místech, kde je podklad více nestabilní, se mohou časem vytvářet i strže. Na stínovaném reliéfu je označen systém úvozů (obr. 8. H), který směrem po spádu postupně přechází do hlubokých strží (obr. 8. J). Ve středním úseku se stopy částečně ztrácejí. Zde byly úvozy patrně zasypány při budování nových polí. Jelikož zemina v úvozech nebyla zcela kompaktní, po čase začalo docházet k opětovnému vymílání, v důsledku čehož vznikly tyto drobné deprese.

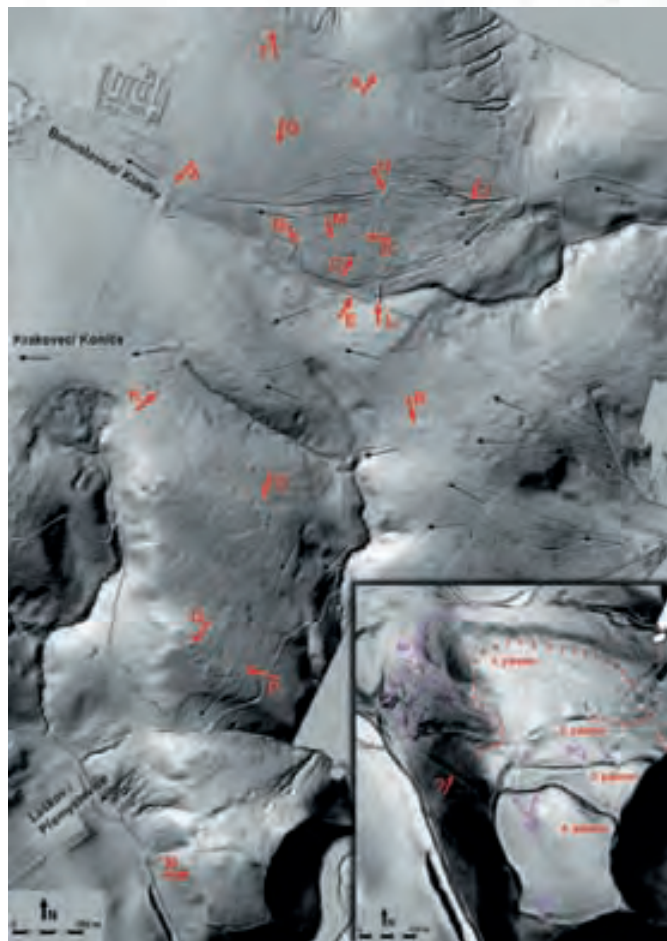
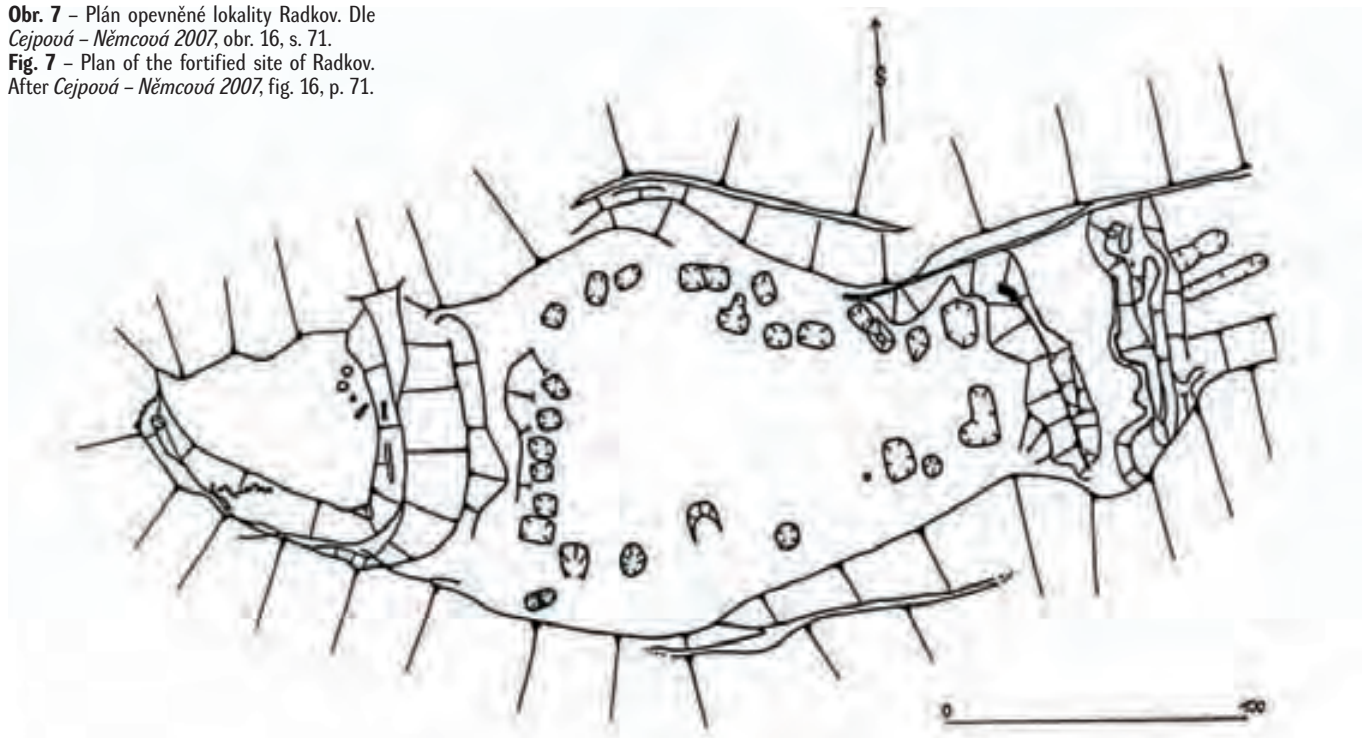
Kromě reliktních cest lze na výstupech z LLS v předmětné oblasti rozpoznat také další objekty jako např. struktury záhonů zaniklých plužin (obr. 8. D a 9. A), dále vojenské polní opevnění označované jako „reduta“ (obr. 8. B) či pozůstatek mohutné hráze rybníka (obr. 8. L), která překrývá část svazku úvozů ze směru Náměšť na Hané – Krakovec (obr. 8. E). Zajímavá je i dokumentace novodobých aktivit Sovětské armády po roce 1968, kdy byl tento prostor opakovaně využíván jako cvičiště. Podél lesních cest jsou patrné okopy pro vojenská motorová vozidla (obr. 8. K). Samostatnou kapitolu tvoří pravěké nálezy, především mohylové pohřebiště (obr. 8. O, 8. P) a pravěké hradisko situované v poloze Rmíz (obr. 8. N). Bližší popis k těmto objektům je uveden níže.

7.1.1 Reduta v lokalitě Chrast (okr. Olomouc)

V literatuře se objevují zmínky o obdélném valovém opevnění v souvislosti s podobným objektem u Luděrova, který byl done-

Obr. 7 – Plán opevněné lokality Radkov. Dle *Cejpová – Němcová 2007*, obr. 16, s. 71.

Fig. 7 – Plan of the fortified site of Radkov. After *Cejpová – Němcová 2007*, fig. 16, p. 71.



Obr. 8 – Komunikační oblast západně od Náměště na Hané. Stínovaný reliéf: červené šipky odkazují na popis v textu, černé šipky vyznačují hlavní směry starých cest vycházející z Náměště na Hané. Hradisko Rmíz – rastr svažitosti (výřez v pravé dolní části): červené a fialové šipky odkazují na popis v textu, fialové body vyznačují průběhy reliktních cest v okolí hradiska Rmíz, červené body vyznačují vybrané části valů.

Fig. 8 – Region to the west of Náměště na Hané. Shaded relief. Red arrows reference descriptions in the text; black arrows demarcate the direction of past roads leading from Náměště na Hané. Rmíz hillfort – declination raster (caption in the right bottom corner): red and purple arrows reference descriptions in the text; purple points highlight roads in the vicinity of Rmíz hillfort; red points highlight selected portions of the ramparts.

dávna interpretován jako tzv. keltská svatyně „Viereckschanze“ (*Houdek 1884, 56; Čižmár 1973, 81; Čižmářová 2004; Šmíd 2010, 58*). Opevnění se nachází v bezprostřední blízkosti dvou svazků starých úvozových cest. Západní a jižní strana je ohraničena jedním příkopem a naspaným valem, zatímco u severní a východní strany jsou patrné val a dva příkopy. Opevnění můžeme nejspíš datovat do období Třicetileté války, kdy na střední Moravě operovala různá uskupení císařských a švédských vojsk (40. léta 17. století) a kdy tato opevnění kontrolovala důležité cesty z Olomouce do Čech (další známe také u Choliny a u již zmíněného Luděrova).

Jelikož se opevnění nachází v hustém jehličnatém porostu, jeho přesné rozměry nebylo tudíž možné pozemní prospekci spolehlivě určit. Teprve na základě LLS (obr. 8. B) se provedlo první přesné zaměření lokality (severní strana 85 m, západní strana 50 m, jižní strana 85 m a východní strana 64 m) s orientací delší severní a jižní strany (SZ – JV) a kratší západní a východní strany (SSV – JJZ). Severně od polního opevnění se vějířovitě sbíhá početný svazek úvozů vedoucích od Náměště na Hané na Olbramice (cesta Olomouc – Konice). Opakovaný detektorový průzkum v okolí svazů cest přinesl množství nálezů s nimi souvisejících. Jednalo se hlavně o zlomky železných podkov datovaných od středověku po novověk, velké železné kované hřeby, ostruha s bodcem ze 13. století (obr. 8. M) a drobné nálezy datované do 19. století (mince).

7.1.2 Švédské šance u Luděrova (okr. Olomouc)

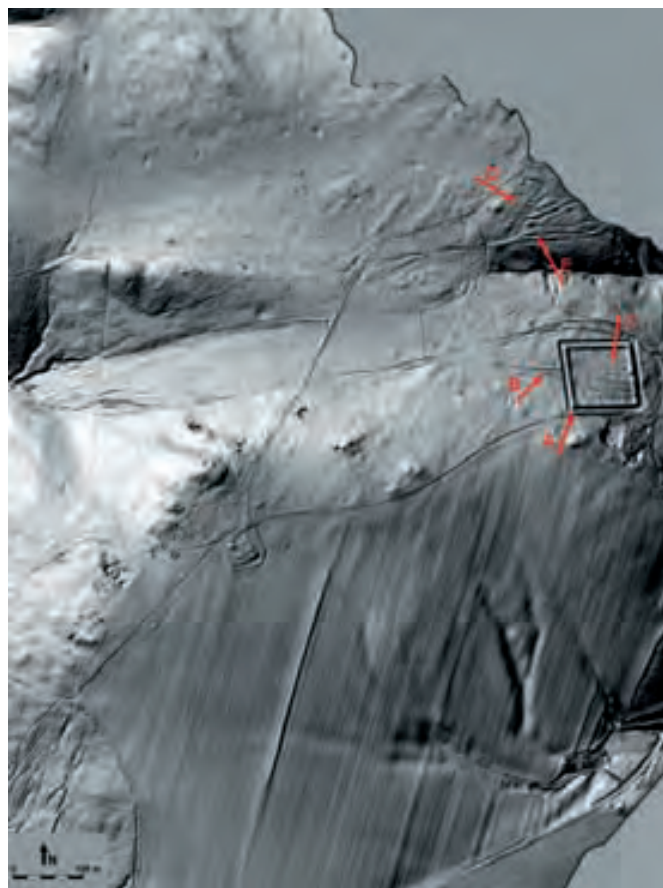
V severozápadní části katastrálního území Luděrova (dnes místní část obce Drahanovice) se na zalesněném svahu nachází viditelný reliktní opevnění zvané „Švédské šance“. Vnitřní plocha je ze všech stran ohraničena valem o délkách 115 m (J), 109 m (V), 116 m (S), 108 m (Z) a výšce 1 až 2 m nad úrovní

terénu, přičemž nároží jsou vyvýšená (viz obr. 9. A). Kolem valu je vyhlouben příkop, jehož dno je ca o 3 až 4 m níže, než je koruna valu (Čižmář 1973, 78). V jižní části východního opevnění je situován dodnes patrný vstup, který byl patrně prokopen v souvislosti s těžbou dřeva uvnitř objektu v době, kdy již pozbyl svého významu (Faktor 1896, 82; Čižmář 1973, 78). Na základě povrchové prospekce „Švédských šancí“ a nálezů laténského sídliště, které je situováno ca 50 metru východním směrem, je tato lokalita některými autory označována jako keltské svatyně tzv. „Viereckschanze“ (Čižmář 1973, 78; Čižmářová 2004, 225–226). Nemovitou kulturní památkou č. 16675/8-1865 je však zapsána jako polní opevnění tzv. Švédské šance a nikdy nebyla s Kelty spojována.

Na výstupech z LLS bylo identifikováno kromě signifikantního tvaru opevnění i několik svazků úvozů, z nichž některé směřují přímo k západnímu valu opevnění (obr. 9. B) a dále pokračují jeho vnitřním prostorem (obr. 9. C) Je tedy zřejmé, že opevnění vzniklo teprve v době, kdy již relikty cest byly zformovány. S největší pravděpodobností se tedy nejedná o keltskou svatyni, ale o novověké polní opevnění – redutu, která vznikla patrně ke konci třicetileté války, kdy byla Olomouc obléhána Švédy (Nešpor 1998, 164), čemuž nasvědčuje i název objektu. Tato skutečnost byla zjištěna již během revize objektu Pavlem Šlézarem, Pavlem Bolinou a Dušanem Cendelínem (Cendelín 2007) a také při reidentifikaci památky NPÚ ÚOP v Olomouci v roce 2007. Objekt mohl být vybudován i během prvních let válek o rakouské dědictví, kdy Olomouc obsadilo pruské vojsko (Nešpor 1998, 195–196). Reduta však musela vzniknout ještě před rokem 1746, kdy je již zobrazena na mapě náměšťského panství (Čižmář 1973, 78). Vzhledem k poloze opevnění vůči reliktním cest lze předpokládat, že objekt vznikl jako důležitý kontrolní bod na dálkové komunikaci, která přicházela z Čech přes Malou Hanou směrem k Olomouci. Její relikty jsou na této lokalitě dodnes patrné v terénu v podobě několika svazků úvozů.

7.1.3 Pravěké hradisko Rmíz (okr. Olomouc)

Významné pravěké hradisko se nachází asi 4 km jihozápadně od obce Laškov (katastrálně na území obce Náměšť na Hané) v zalesněných prostorách Bouzovské vrchoviny (viz obr. 8. N). Leží v nadmořské výšce 340–360 m a její svahy prudce klesají do údolí potoka Šumice či do zářezu bezejmenné vodoteče. Jen na severu je ostrožna spojena sedlem s okolním terénem. Lokalita byla uvedena do literatury r. 1884 V. Houdkem a 1896 I.L. Červinkou. J. Skutil (1956) na něj podal obecnější pohled, včetně plánu J. Kšíra z r. 1948. Sondážní, resp. zjišťovací, výzkumy všech zjištěných linií opevnění zde prováděl od v období 1979, 1988–90 M. Šmíd, následně ve spolupráci s americkým týmem z univerzity v Dallasu v letech 1998, 1999 a 2001 s pozoruhodnými výsledky nové datovací metody (OCR-datování).

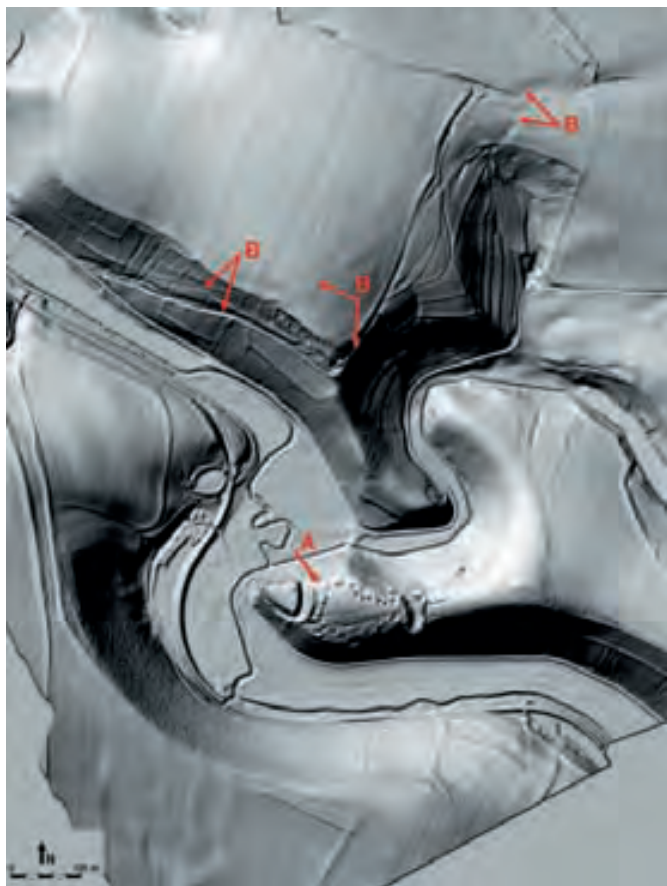


Obr. 9 – Švédské šance u Luděřova. Stínovaný reliéf. Červené šipky odkazují na popis v textu.

Fig. 9 – Švédská šance near Luděřov. Shaded relief. Red arrows reference description in the text.

Z nejpřístupnější strany lze v terénu pozorovat čtyři pásma valů (ve 3. pásmu se zdvojeným příkopem) působící souběžným dojmem. Vrcholová centrální část je opevněna nejmohtnějším valem (výška až 4 m) a příkopem, přičemž ten dále jako terasová hrana ohraničuje celý obvod akropole o velikosti 6,5 ha. Celková opevněná plocha hradiska představuje asi 17,5 ha. Nejstarší opevnění ze staršího období kultury nálevkovitých pohárů (cca 3 800 BC) mělo podobu mělkého do skály zapuštěného příkopu a hradby sestavené z čelní kamenné zdi držené z vnitřní strany hliněným násypem, obnoveno bylo ve 3. pásmu nejspíše v době klasické badenské kultury. Vnitřní fortifikace byla přebudována v době platěnické kultury doby halštatské. Mladší hradba měla rovněž kamennou konstrukci a těleso vytvořené pomocí dřevěné komorové konstrukce o výšce 3,5–4 m. Výzkum možná zachytil relikty vstupu. S výjimkou staršího osídlení kulturou s moravskou malovanou keramikou jsou k dispozici také nálezy laténské a středověké (Čižmář 2004, 186–7; Šmíd 2007 se starší literaturou).

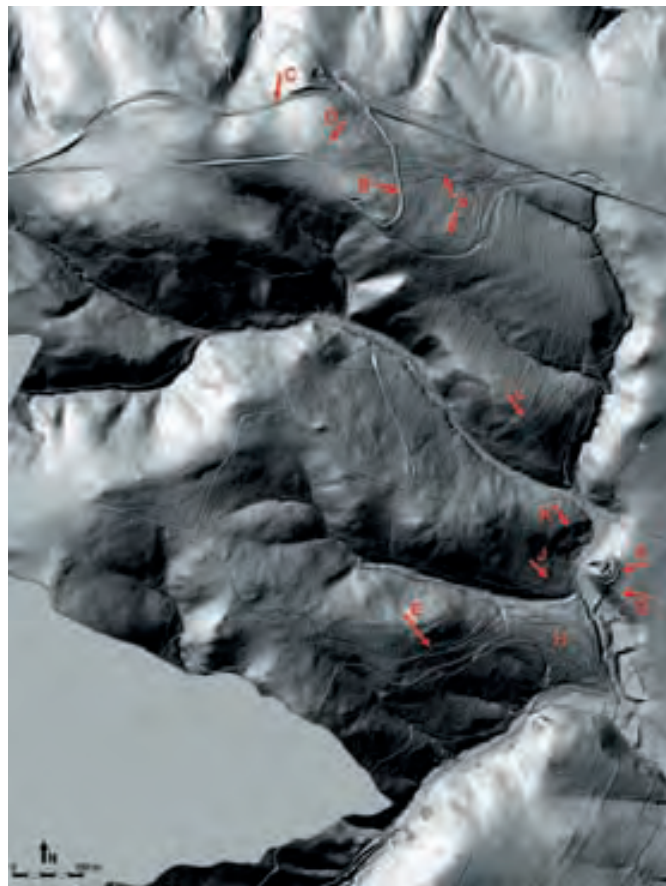
LLS snímkování hradiska a jeho okolí ukázalo řadu nových a velice podnětných skutečností. Mimo jiné se na akropoli vcelku zřetelně projevuje obvodové opevnění po celé jeho délce s jasným přerušením (bránou?) na J straně (obr. 8. N1), kde je náznak částečného zdvojení buď z důvodu ochrany vstupního koridoru nebo jako pozůstatek časově odlišné fortifikace



Obr. 10 – Lokalita Radkov na trase Moravská Třebová – Mohelnice/Lišnice. Stínovaný reliéf. Červené šipky odkazují na popis v textu.

Fig. 10 – Radkov site on the route Moravská Třebová – Mohelnice/Lišnice. Shaded relief. Red arrows reference description in the text.

(v úvahu by přicházela sekvence eneolit – doba halštatská). Severní strana tohoto 4. pásma je ve svém SZ sektoru minimálně 2x přerušena vstupem (obr. 8. N2). Jakkoliv nelze vyloučit recentní perforaci hradby (vstup vpravo), archeologická sondáž v těchto místech původní vstup naznačuje (Šmíd 2007, 22 ad.). Podobně pozorujeme trojitě přerušení hradby ve 3. pásmu, přičemž prostředním žádá současná lesní cesta vedena není (obr. 8. N3). Předmětem dalšího výzkumu by se měla stát podoba 2. a 1. pásma opevnění jeví se dříve jako paralelně probíhající obloukovitá nebo mírně zvlněná linie v délce 300 a 240 m (Čižmář 2004, 186; Šmíd 2007, 8 ad.). V případě 2. pásma vidíme na snímku náznak jeho prodloužení směrem k Z i k V. Nejvíce na sever situované pásmo (1.) opevnění obepíná obloukovitě celý Rmíz od hrany prudkého svahu nad údolím Šumice na V až po jeho stočení se směrem k J (k akropoli) s návazností na 2. pásmo opevnění zhruba v polovině průběhu o celkové délce 770 m. Tato nová podoba laškovského hradiska může souviset s jeho postupným budováním v době lužických popelnicových polí (?), ale hlavně v době halštatské, kdy o podobě jeho předhradí víme jen velice málo. Bez zajímavosti není ani skutečnost, že ze svazku úvozových cest S a SZ od hradiska se oddělují min. dvě linie mířící podél 1. pásma opevnění do jeho útrob, snad až na akropoli (obr. 8. N4). Prokázat případné



Obr. 11 – Lišnická tvrť při vyústění komunikačního koridoru směřujícího z Moravskotřebovska do prostoru Mohelnické brázdy. Stínovaný reliéf. Červené šipky odkazují na popis v textu.

Fig. 11 – Fort Lišnická near the end of the route from Moravská Třebová to Mohelnice. Shaded relief. Red arrows reference description in the text.

pravěké stáří komunikace by mohl snad jedině nový archeologický výzkum.

Pokud by se naše interpretace potvrdila, byla by celková prostorová dispozice hradiska od našich dosavadních představ značně odlišná. Kromě ještě podrobnější analýzy získaných LLS snímků bude nezbytná konfrontace a event. nová dokumentace zjištěných skutečností přímo v terénu. Další prostorové souvislosti, provázanost systémů nebo datování terénních relikvů musí být podepřeno alespoň sondážním archeologickým výzkumem.

7.1.4 Mohylové pohřebiště Křemela I. a II. (okr. Olomouc)

V nejbližším okolí hradiska na „Rmízu“ se v lesích na katastru obce Náměšť na Hané nacházejí mohylová pohřebiště nositelů kultury nálevkovitých pohárů z doby boletázkého stupně vývoje badenské kultury a jsou považována za funerální okrsky budovatelů fortifikace. Pohřebiště „Křemela 1“ (obr. 8. O) bylo objeveno M. Šmídem v r. 1988 jen 800 m severně od hradiska na východním mírném svahu stejnojmenného kopce (kóta 406 m). Čítá celkem 58 oválných mohylových násypů na ploše ca 2,5 ha (rozměry 180 x 140 m) s delší osou SZZ-JVV. Délka násypů kolísá mezi 6 až 29 m a šířka od 7 do 12 m při zachovalé výšce 0,5 – 2,7 m (Šmíd 2003, 35–36, tab. 48–52).

Druhý mohylník „Křemela 2“ (obr. 8. P) leží na V svahu JV exponovaného táhlého návrší pouhých 200 m severně od hradiska a byl identifikován M. Šmídem v r. 1989. Zahrnuje 17 malých mohyl oválného půdorysu s delší osou ve směru V – Z s rozměry délky 6–11 m a šířky 5–6 m. Mohylky jsou situovány na ploše obdélníka o stranách 77 x 39 m (Šmíd 2003, 37–38, tab. 53–57).

Související mohylová pohřebiště v okolí hradiska jsou na snímcích velice dobře ohraničená. U mohylníku Křemela 2 se v jeho bezprostředním JZ sousedství jeví v terénu hned několik nerovností kruhového půdorysu o průměru 12 m (obr. 8. Q), což nevylučuje buď pokračování (jiný typ mohyl) nebo identifikaci nového mohylníku s těsnou návazností. Podle osobního sdělení M. Šmída se v této části nachází několik pravidelných skalních výchozů. Zatím bez interpretace zůstává seskupení podélných objektů s opačnou orientací (S – J) než jsou mohylníky ca 600 m na SV od pohřebiště Křemela 1 (obr. 8. R).

7.1.5 Mohylové pohřebiště U žlíbku (okr. Olomouc)

Mohylové pohřebiště Luděrov „U žlíbku“ (obr. 9. D) objevil M. Šmíd v r. 2000 na zalesněném k V obráceném mírném svahu jen 200 – 250 m od Švédské šance. Je lokalizováno mezi asfaltovou lesní cestou vedoucí z Náměště k hájovně nad Luděrovem a žlíbkem s bezejmennou vodotečí. Rozpoznáno dosud bylo 25 oválných mohylových násypů na ploše obdélníka 100 × 75 m. Jejich delší osa kolísá mezi 8 – 13 m, resp. 15 – 22 m. Mohylky se koncentrují do tří výrazných seskupení (4, 6 a 15 mohyl) a terén převyšují od několika decimetrů až po více než 1 m. (Šmíd 2003, 29–30, tab. 34–38). Datovány jsou do drahanovické fáze středomoravských pohřebišť, tj. do mladšího období nálevkovitých pohárů s prvními projevy nástupu boležáckých elementů.

Studium LLS snímků potvrdilo identifikaci mohylníku s tendencí ke kumulaci do skupin. Průběh svazku úvozových cest kolem mohyl vytváří dojem superpozice, terénní pozorování však svědčí pro respektování nebo spíše nepraktičnost vedení komunikace přes navršené násypy. Současně podává definitivní důkaz o neexistenci tzv. dlouhých mohyl (jedná se právě o ony úvozové cesty viz obr. 9. E).

7.2 Komunikační koridor Moravská Třebová – Mohelnice/Líšnice

Severně od zříceniny středověkého sídla Radkov (obr. 10. A) probíhá nevelký systém cest (obr. 10. B), který je vyústěním komunikačního koridoru směřujícího z prostoru Mohelnické brázdy do oblasti Moravskotřebovska. Přibližně 1,3 km severovýchodně od hradu navazuje na tento systém již znatelně rozsáhlejší systém hlubokých úvozů, který v několika svazcích pokračuje severně nad Žipotínem směrem na Studenou Loučku, kde se trasa větví do dvou základních směrů, jednak na Mohelnici a jednak na Líšnici.

Na první větvi probíhající východním směrem lze rozpoznat hned několik vývojových fází cest počínaje nejstaršími úvozovými cestami (obr. 11. A), které byly v polovině 18. století nahrazeny císařskou silnicí v podobě serpentiny (obr. 11. B), a konče současnou silnicí 1. třídy R35 (obr. 11. C). Jak je patrné z obrázku č.

11, stavbou nové císařské silnice byly úvozy přerušeny, čímž se patrně zamezilo jejich dalšímu užívání. Kromě dopravních objektů lze na obrázku rozpoznat také struktury polí (obr. 11. D), které jsou narušeny jednotlivými svazky úvozů. Lze tedy předpokládat, že většina úvozů je mladší než okolní terasy.

Druhá větev sestupuje jihovýchodním směrem v početném svazku úvozů (obr. 11. E), který končí v údolí toku Podhrádek. Přímo nad místem bývalého brodu se nacházejí zbytky valů Líšnické tvrže (obr. 11. F), která patrně kontrolovala náročný sestup cest do údolí stejně jako již zmíněné sídlo Radkov. Podobný model byl zjištěn i na dalších lokalitách. Tyto strážné objekty se nacházejí zejména v blízkosti důležitých cest, které ústí ze svažitých zalesněných ploch do starých sídelních oblastí nebo v místech přechodů cest přes vodní tok.

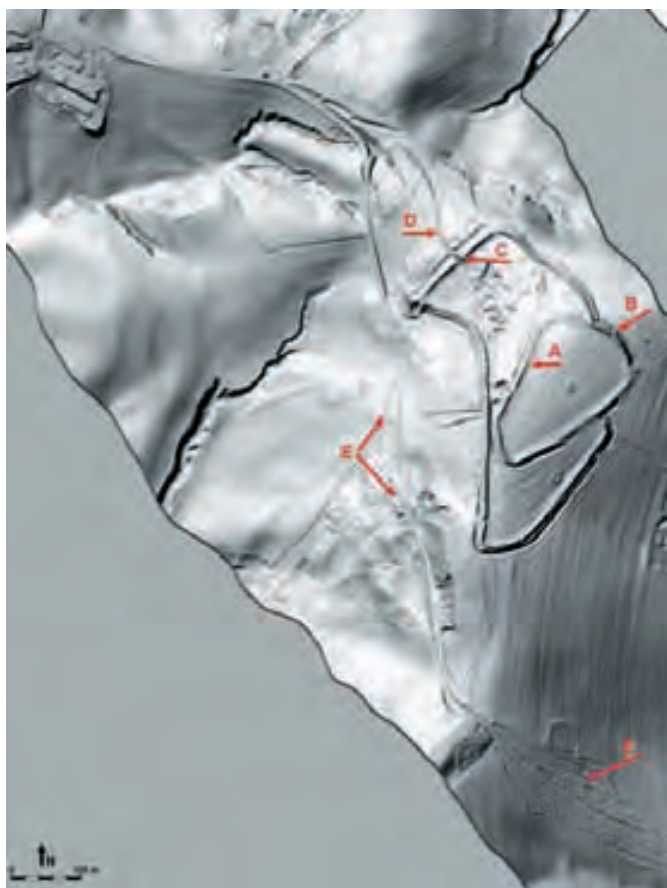
7.2.1 Radkov (okr. Svltavy)

Na nízké ostrožně nad tokem Třebůvky se na katastrálním území obce Gruna nacházejí pozůstatky rozlehlého opevněného středověkého sídla, které je známo pod jmény Hradisko anebo Radkov. V místě úzké šíje je tato lokalita oddělena od okolí dvojitými příkopů mezi nimiž byl nasypán val. Nad druhým příkopem byla postavena kamenná štítová zeď, která chránila rozlehlé předhradí o rozměrech 190 × 120 m (Plaček 2001, 248). Na ploše předhradí jsou pravidelně rozmístěny zahloubené sídlištní objekty, které lze interpretovat jako pozůstatky jednotlivých usedlostí. Na konci ostrožny je příkopem od předhradí vymezený areál, který má trojúhelný tvar 60 m dlouhý s 50 m širokým čelem. V tomto areálu byla patrně situována rezidence majitele celého středověkého sídla (Plaček 2001, 248). Opevněné sídliště urbánního charakteru v katastru obce Gruna vzniklo ve 13. století a pojí se s osobou Boreše z Riesenburka, který zde vytvořil centrum svého panství (Cejpová – Němcová 2007, 53; Bolina – Němcová – Šlézar 2008, 81). Na snímcích z LLS lze rozpoznat většinu již známých objektů, které byly geodeticky zaměřeny M. Cejpovou (viz obr. 7. a 10. A).

7.2.2 Líšnická tvrz (okr. Šumperk)

Známá středověká tvrz z 13. až 15. století, k níž se váže neobvyklé množství písemných zpráv. Nalézá se na skalnatém výběžku levého okraje údolí potoka Podhrádek (viz obr. 11. F). Tvrz měla pravděpodobně obdélné jádro (37 × 32 m), které bylo bohužel téměř odtěženo lomem. Z jádra zůstaly dochovány jen zbytky východní části s fragmenty základu vstupní věže a zástavby podél již zmizelé severozápadní a severovýchodní hradby. Objekt je z přístupných stran ohraničen dvěma mohutnými příkopy. První, obklopující jádro, dosahuje šířky 15 až 17 m a hloubky 6 m. Před ním se ve tvaru mezikruží táhne 12,5 až 19 m široké předhradí bez viditelných stop po zástavbě. Předhradí je opevněno příkopem o šířce 13 až 16 m a hloubce 4 m a je na vnější straně lemováno valem až 2,5 m vysokým (Plaček 2001, 351).

Lidarem bylo zjištěno možné další předsunuté opevnění (obr. 11. G). Jedná se o krátký pozůstatek mělkého příkopu za-



Obr. 12 – Mařínské hradisko na staré trase z Čech na Moravu. Stínovaný reliéf. Červené šipky odkazují na popis v textu.

Fig. 12 – Hillfort of Mařínská on the old route from Bohemia to Moravia. Shaded relief. Red arrows reference description in the text.

chycený na hraně svahu asi 50 m jižně od prvního příkopu. Na protější straně údolí západně a jihozápadně od tvrze, byly zdokumentovány průběhy svazků cest (obr. 11. H) mířících z Líšnice na Studenou Loučku (cesta Loštice – Staré Město/Moravská Třebová). Detektorový průzkum zde zjistil přítomnost železných středověkých a novověkých podkov (obr. 11. J) a část bronzové prolamované přezky (obr. 11. K). V blízkém zalesněném okolí jsou patrné pozůstatky plužin (obr. 11. L).

7.3 Mařínské hradisko na staré trase z Čech na Moravu

Lokalita ca 1,5 km JV od obce (viz obr. 12) situovaná na severní konec táhlého hřbetu Moravskotřebovské pahorkatiny (nadmořská výška 570 m) byla objevena již r. 1784 v rámci 1. vojenského mapování a označena jako „Schanze“, opevnění sledujeme také na indikační skice (1824). Do literatury ji uvedl I.L. Červinka (1928) a H. Weinelt (1937) zveřejnil celkový plán. Povrchový sběr zde provedl v souvislosti se zakládáním ovocného sadu B. Novotný (1971) a získal středohradištní materiál z 9. století. Současně lokalitu popsal a nechal zhotovit její vrstevnicový plán (k rozboru nálezů blíže Vích – Profantová 2008, 151–157)..

Hradiště sestává z vnitřního areálu oválného půdorysu (delší osa ca 330 m) a dvou předhradí na severozápadě a jihu.

Celková rozloha fortifikace je odhadována na ca 20 ha. V místech napojení předhradí k vnitřnímu pásmu hradby je na východní straně uváděna brána. Valy o výšce 3–5 m jsou v terénu velice dobře patrné, před nimi se nachází příkop. U konstrukce valu je uváděno propálení a existence kamenné destrukce (Čížmář 2004, 156)

Na LLS snímku se zdá, že krom centrálního opevnění (obr. 12. A) se hradisko skládá v zásadě pouze z jediného předhradí obepínajícího akropoli takřka po celém obvodu s výjimkou východní strany, neboť na západě není spojitost valů patrná. Nově lze identifikovat vstup do vnitřního areálu také na severovýchodě, nedaleko napojení fortifikace předhradí (obr. 12. B). Po jeho obvodu sledujeme více přerušení (min. 4) se zřetelným hlavním vstupem a cestou uprostřed severozápadní hradby předhradí (obr. 12. C). Nejasná je situace na jeho obou nárožích (narušení v Z rohu?). Podobně diskutabilní jsou případná další přerušení (vstupy?) po obvodu vnitřního opevnění. Problém by mohla vyřešit konfrontace LLS snímku s podrobnou terénní prospekci.

Kromě opevnění bylo na výstupech z LLS identifikováno také několik, erozí již dosti poničených, systémů úvozových cest, z nichž jeden výrazný relikt směřuje přímo do vnitřní části hradiska (obr. 12. D). Jeho geneze byla již částečně popsána v práci D. Cendelína (2004). Většina úvozů (obr. 12. E) vznikla v rámci dálkové trasy vedoucí z Litomyšle přes Svitavy kolem Mařínského hradiska dále na Jevíčko, Konici a Olomouc. Tato historická komunikace je detailně popsána v publikaci (Cendelín – Bolina – Adam 2010).

8. Závěr

Metoda LLS přináší v oblasti studia starých cest zcela nové poznatky, které by jinými metodami bylo jen obtížně možné získat. Hlavní předností těchto dat je jejich plošná spojitost, díky čemuž jsou zaznamenány s přesností na centimetry veškeré nerovnosti v terénu. Díky tomu můžeme detailně sledovat veškeré prostorové souvislosti, jako např. vztah cest ke struktuře záhonů, k polohám osad, dvorců či opevněných objektů, dále vztah cest k říční síti (brodová místa), k reliéfu a na vybraných lokalitách dokonce i vývoj cest v čase (viz obr. 11). V mnohých případech dochází k situaci, kdy na výstupech z LLS jsou identifikovány objekty, které přímo v terénu nejsou pouhým pohledem rozpoznatelné. Především se to týká hranic záhonů, jejichž stopy jsou dosti setřené.

Jak již bylo uvedeno, během prvních dvou let proběhlo skenování na ploše o výměře ca 135 km². Přestože z těchto dat byla zpracována zatím pouze menší část, již nyní lze potvrdit vysokou úspěšnost dané metody. V konečné fázi by takto mělo být skenováno ca 350 km² v předmětném území. Lze tedy očekávat, že další velice překvapivé objevy budou následovat.

The identification of past communication routes and other features using ALS

First results of an interdisciplinary project

Airborne laser scanning has been undertaken on selected sites of northwest Moravia and east Bohemia since 2011 as part of the project of applied research NAKI MKČR, which aims to identify the remains of past communication networks in the landscape. Using the ALS data with the density of 3 to 5 points per m², an elevation digital relief model (DRM) is created with one metre resolution. Further analyses of the terrain surface are then calculated on the basis of this model – shaded relief, slope gradient analysis, orientation analysis and the analysis of local anomalies. Other, somewhat more complex spatial operations are also applied, such as the reconstruction of the original terrain (a reconstruction of original relief without anthropogenic features), of the profiles etc. The results of individual analyses are visualised in the shades of grey, the scale of which is adjusted in dependence on the shape and structure of the studied features. The colour scale can be changed by altering the symbols or the raster calculation. The majority of calculations is undertaken in Quantum GIS (QGIS) software, which features the most analytical and cartographic tools among the widely available GIS applications. Some calculations are also undertaken in the commercial ArcGIS application. The selected newly recorded features are vectorised in the form of points, lines and polygons and then exported into the web-based map server VectorMap, which a team of specialists from the Centre for Transport Research has been developing since 2006.

On the results of ALS we can detect the remains of past roads preserved in the terrain as escarpments, trackways, beaten tracks, gills, shallow depressions and silted up pathways etc. Regarding these features we have identified certain regularities, which repeatedly appear on a number of sites. A common marker is particularly the convergence of roads into one spot which creates the typical structure of the so-called cluster

of trackways. On steeper or lower portions of these clusters, or in places where the terrain is unstable, chasms can be formed, which can sometimes be deeper than 10m. In some cases, the trackways disappear as they are overlain with new fields, ponds etc. Apart from the remains of roads, the outcomes of ALS can provide data about other features such as the structure of furrows of past field systems, various medieval fortifications in the form of banks, ditches, pits and ruins of structures. The documentation of modern activities of the Soviet army after 1968 is also interesting; we encounter these in the form of trenches for military vehicles dug along the forest roads. Prehistoric remains represent a separate chapter – particularly barrow sites and prehistoric hillforts. Very interesting discoveries were made on the site of Rmíz near Laškov, where there were identified the remains of previously unrecorded sections of the fortifications of prehistoric hillfort and also a cluster of past trackways following the 1st line of fortifications to their interior. The prehistoric date of the communication network could be verified only by a new archaeological research.

The ALS method brings new discoveries into the field of studies of past communication routes, which would be difficult to obtain using other methods. The main advantage of these data is their spatial continuity, when all irregularities in the terrain are measured with several centimetres precision. Hence we can follow all spatial relationships in detail, for example the roads in relation to the furrows, the location of settlements, farmhouses, and the fortified sites, as well as to the waterways (fords), the relief and in some places we can also discern the development of the communication network through time. In many cases it happens that the results of ALS are identified as features which are not recognisable on the terrain surface by a naked eye. This is particularly the case of furrow edges, which are normally mostly disappeared.

Literatura a prameny

- Arnold, V. 2011:* Celtic Fields und andere urgeschichtliche Akkersysteme in historisch alten Waldstandorten Schleswig-Holsteins aus Laserscan-Daten. Archäologisches Korrespondenzblatt 41/3, 439–455.
- Anderle, J. – Švábek, V. 1993:* Tvrze v rokycanském okrese III. Část, Sborník Muzea dr. B. Horáka v Rokycanech 5, 11–36.
- Anderson, H. – Ersgård, L. – Svensson, E. eds. 1998:* Outland use in Pre-industrial Europe. Lund Studies in Medieval Archaeology 20. Lund.
- Archiv ArÚ, čj. 366/23:* Zpráva o starodávné osadě proti Točnicku a vykopávkách na Valdeku od V. Lose v roce 1923.
- Archiv ArÚ, čj. 346/23:* Zpráva o starodávné osadě proti Točnicku a vykopávkách na Valdeku od J. A. Jíry v roce 1923.
- Aston, M. 1985:* Interpreting the Landscape. Landscape Archaeology and Local History. London – New York.
- Axelsson, P. 1999:* Processing of Laser Scanner Data – Algorithms and Applications. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, 138–147.
- Bašta, J. 1992:* Březina, okr. Rokycany. Výzkumy v Čechách 1988–1989, 20.
- Barnes, D. 2002:* Using ArcMap to Enhance Topographic Presentation. Cartographic Perspectives, Journal of the North American Cartographic Information Society 42, 5–11.
- Bayer, T. 2008:* Algoritmy v digitální kartografii. Praha: Nakladatelství Karolinum.
- Beneš, A. 1964:* Vrcovice, Bulletin záchranného oddělení 1, 1963, 95–97.
- 1965: Vrcovice, Bulletin záchranného oddělení 2, 1964, 112–114.
- 1966: Vrcovice, Bulletin záchranného oddělení 3, 1965, 84–87.
- 1967: Vrcovice, Bulletin Záchranného oddělení 4, 1966, 49.
- 1974: Výzkumy expozitury Archeologického ústavu ČSAV v Plzni v západočeském kraji v letech 1963–1972. Minulostí Západočeského kraje 10, 180.
- 1978: Kolonizace jižních Čech. In: Pleiner, R. – Rybová, A. (eds.), Pravěké dějiny Čech. Praha, 347–352.
- 1978: Sklená huť, o. Přivětice, okr. Rokycany. Výzkumy v Čechách 1975, 81.
- Bewley, R. H. – Crutchley, S. P. – Shell, C. A. 2005:* New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. Antiquity 79, 636–647.
- Biermann, F. – Macháček, J. 2012:* Pennigsberg und Pohansko – vergleichende Untersuchungen zu Landnutzungssystemen und Siedlungsstrukturen im frühmittelalterlichen Ostmitteleuropa. In: F. Biermann – T. Kersting – A. Klammt – T. Westfalen edd., Transformationen und Umbrüche des 12./13. Jahrhunderts. Beiträge zur Ur – und Frühgeschichte Mitteleuropas 64, Langenweißbach, 181–190.
- Bobek, P. 2008:* Vývoj lesní vegetace Brd v novověku – rekonstrukce na základě antrakologické analýzy uhlíků z reliktní milířů. In: Beneš, J. – Pokorný, P. eds., Bioarcheologie v České republice, České Budějovice – Praha, 421–442.
- *nedatováno:* Modern woodland history from anthracological records of charcoal kiln sites in Brdy Highland. Poster. Nepublikováno, uloženo v archivu autora.
- de Boer, A. D. – Laan, W. N. H. – Waldus, W. – van Zijverden, W. K. 2008:* LIDAR-Based Surface Height Measurements: Applications in Archeology. In: B. Frischer – A. Dakouri-Hild eds., Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology. BAR, International Series, Oxford: Archeopress, 69–77.
- Bofinger, J. – Hesse, R. 2011a:* As far as the laser can reach... Laminar analysis of LiDAR detected structures as powerful instrument for archaeological heritage management in Baden-Württemberg, Germany. In D. Cowley (ed.): Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. EAC Occasional Paper No.5, 161–172.
- 2011b: Neue Wege der archäologischen Prospektion aus der Luft. Mit Airborne-Laserscanning Bodendenkmalen auf der Spur. Denkmalpflege in Baden-Württemberg 40/1, 35–39.
- 2011c: Der Einsatz von Airborne Laserscanning zur Entdeckung von archäologischen Geländedenkmalen. In: J. Bofinger – Merkl, M. eds., Mit Hightech auf den Spuren der Kelten. Archäologische Informationen aus Baden-Württemberg 61, Esslingen: Schriftenreihe des Keltenmuseums Hochdorf/Enz, 70–89.
- Bofinger J. – Kurz, S. – Schmidt, S. 2006:* Ancient maps – modern data sets: different investigative techniques in the landscape of the Early Iron Age princely hill fort Heuneburg, Baden-Württemberg. In S. Campana, – M. Forte (eds): From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. BAR International Series 1568, 87–92.

- Bolina, P. – Němcová, J. – Šlězár, P. 2008:* K počátkům hradů na Moravskotřebovsku – Zum Beginn der Burg in der Region Moravská Třebová (Mährisch Trübau), *Castellologica Bohemica* 11, Praha, 53–88.
- Bollandsås O. M. – Risbøl, O. – Ene, L. T. – Nesbakken, A. – Gobakken, T. – Næsset, E. 2012:* Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests: an experimental study of the effects of pulse density and DTM smoothing. *Journal of Archaeological Science* 39/8, 2733–2743.
- Bond, J. 2007:* Medieval charcoal-burning in England. In: J. Klápště – P. Sommer eds., *Ruralia. Arts and crafts in medieval rural environment*. Turnhout, 277–294.
- Brázdil, K. 2009:* Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor* 55/97–7, 145–151.
- Brázdil, K. 2012a:* Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G). Pardubice: Zeměměřický úřad – Zeměměřický Odbor Pardubice. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G_15012012.pdf 22. 10. 2012.
- Brázdil, K. 2012b:* Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Pardubice: Zeměměřický úřad – Zeměměřický Odbor Pardubice. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf 22. 10. 2012.
- Brejcha, R. 2012:* Deep in the forest by LIDAR. Post-processing of the data and ground-truthing in the forested upland in Western Bohemia. In: A. Bödöcs – O. Aldred – Z. Czajlik eds., *Aerial Archaeology, Remote Sensing and the Archaeological Process*. Programme and abstract volume, 31–32.
- Bureš, M. 2013:* Problémy transformace v archeologii současnosti. In: Vařeka, P. – Symmonds, J. (eds.): *Archeologie modernity. Témata – Přístupy – Metody*. Archaeology of modernity. Topics – Approaches – Methods. Plzeň: Vydavatelství Západočeské Univerzity v Plzni – University of West Bohemia Press, v tisku.
- Carmen, J. – Carmen, P. 2006:* Bloody meadows. Investigating landscape of battle. Sutton publishing.
- Cejpová, M. – Němcová, J. 2007:* Záchraný archeologický výzkum na lokalitě Radkov u Gruny (Ra III.), okr. Svitavy, *Archeologické výzkumy v Čechách 2006*, sborník referátů z informačního kolokvia, *Zprávy České archeologické společnosti*. Supplement 68, Praha, 52–53.
- Cendelín, D. 2004:* Mařinské hradisko ve světle komunikačních souvislostí a fortifikačních anomálií. In: *Vlastivědný věstník moravský* 56/ 3, 285–297.
- 2007: Novodobé polní opevnění nebo keltská svatyně? K otázce datování tzv. Švédských šancí u Luděřova na Olomoucku. In: *Vlastivědný věstník moravský* 59/ 3, 306–308.
- Cendelín, D. – Bolina, P. – Adam, D. 2010:* Jevíčko na cestě z Prahy do Olomouce v období raného středověku. Jevíčko: Město Jevíčko 2010.
- Crow, P. – Benham, S. – Devereux, B. J. – Amable, G. S. 2007:* Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR. *Forestry* 80/3, 241–252.
- Crutchley, S. 2010:* The Light Fantastic. Using airborne LiDAR in archaeological survey. Swindon.
- Csaplovics, E. – M. Trommler 2008:* Využití digitálního modelu terénu pro ochranu přírody a krajiny Labských pískovců. In: *Labské pískovce: historie, příroda a ochrana území*. Děčín: AOPK ČR, Správa CHKO Labské pískovce.
- Cracknell, A. P. – Hayes, L. 2007:* Introduction to Remote Sensing. London/New York/Philadelphia: Taylor and Francis.
- Crutchley, S. – Crow, P. 2010:* The Light Fantastic. Using Airborne Lidar in Archaeological Survey. Swindon.
- Cyrus, M. – Matoušek, V. 2009:* Lhota 2007. Experimentální pálení milíře tradiční technologií. *Archeologia technica* 20, 54–60.
- Čapek, L. 2011:* Dvě zaniklé středověké vesnice ve Velechvínském polesí, okr. České Budějovice. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 24, 227–248.
- Čapek, L. – Baierl, P. 2012:* Zjišťovací archeologický výzkum zaniklých středověkých vesnic Prochod a Ždár ve Velechvínském polesí. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 25, 193–201.
- Černá, E. (ed.) 1994:* Středověké sklo v zemích Koruny české. Katalog výstavy. Most.
- 2005: Středověké sklárny. In: O. Drahotová ed., *Historie sklářské výroby v českých zemích I*. Praha.
- Černý, E. 1973:* Metodika průzkumu zaniklých středověkých osad a pluzin na Drahanské vrchovině I-II. *Zprávy ČSSA při ČSAV* 15, sešit 6. Praha.
- 1979: Zaniklé středověké osady a jejich pluziny. *Metodika historicko – geografického výzkumu v oblasti Drahanské vrchoviny*. Praha.
- Červinka, I.L. 1896:* Pravěká hradiska n Moravě. Kroměříž.
- 1928: Slované na Moravě a říše Velkomoravská. Brno.
- Čížek, J. – Slavík, J. 2010:* Zemní opevnění z 18. století ve východních Čechách. In: Slavík, J. (ed.). *Polní opevnění od třicetileté války do roku 1945 řada Monumentae vivent*, 37–44. Jaroměř – Josefov.
- Čižmář, M. 1973:* Keltská „Viereckschanze“ u Luděřova, okr. Olomouc. *Archeologické rozhledy* 25, 77–81.
- 2004: *Encyklopedie hradišť na Moravě a ve Slezsku*. Praha.
- Čižmářová, J. 2004:* *Encyklopedie Keltů na Moravě a ve Slezsku*. Praha, 225–226.
- Čtverák, V. – Lutovský, M. – Slabina, M. – Smejtek, L. 2003:* *Encyklopedie hradišť v Čechách*, Praha: Libri.
- Danese, M. – Biscione, M. – Coluzzi, R. – Lasaponara, R. – Murgante, B. – Masini, N. 2009:* An Integrated Methodology

- for Medieval Landscape Reconstruction: The Case Study of Monte Serico. In: O. Gervasi et al., *Computational Science and Its Applications*, Berlin: Springer-Verlag, 328–340.
- Davis, O. 2012: *Processing and Working with Lidar Data in ArcGis: A Practical Guide for Archaeologists*. The Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales. Aberystwyth. <http://www.rcahmw.gov.uk/media/259.pdf>.
- Demek, J. (ed.) 1987: *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Praha.
- Devereux, B. J. – Amable, G. S. – Crow, P. – Cliff, A. D. 2005: The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies. *Antiquity* 79/305, 648–660.
- Devereux, B. J. – Amable, G. S. – Crow, P. 2008: Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity* 82, 470–479.
- Dolanský, T. 2004: Lidary a letecké laserové skenování, *Acta Universitatis Purkynianae*. 99. Ústí nad Labem, UJEP FŽP.
- Doneus, M. – Briese, C. 2006: Full-Waveform Airborne Laser Scanning as a Tool for Archaeological Reconnaissance. In: S. Campana – M. Forte eds., *From Space to Place: Proceedings of the 2nd International Workshop on Remote Sensing in Archaeology*, CNR, Rome, Italy, Dec 4–7, 2006, BAR, International Series, Oxford: Archeopress, 99–106.
- Doneus, M. – Briese, Ch. 2011: Airborne Laser Scanning in forested areas – potential and limitations of an archaeological prospection technique. In D. Cowley (ed.): *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Occasional Paper No.5, 59–76.
- Doneus, M. – Briese, Ch. – Fera, M. – Janner, M. 2008: Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science* 35/4, 882–893.
- Dostál, B. 1968: K prehistorii a protohistorii Břeclavi. In: Břeclav. Dějiny města, Břeclav, 9–44.
- Dragoun, B. – Matoušek, V. 2004: Archeologický odkryv uhlíště v Olbramově a experimentální pálení dřevěného uhlí v Uhřínově. *Archeologie ve středních Čechách* 8, 727–772.
- Dresler, P. – Macháček, J. 2008a: The hinterland of an Early Mediaeval centre at Pohansko near Břeclav. In: L. Poláček ed., *Das wirtschaftliche Hinterland der frühmittelalterlichen Zentren*. Internationale Tagungen in Mikulčice VI, Internationale Tagungen in Mikulčice, Brno, 313–325.
- 2008b: Hospodářské zázemí raně středověkého centra na Pohansku u Břeclavi In: J. Macháček ed., *Počítačová podpora v archeologii 2*. Brno – Praha – Plzeň, 120–147.
- Dresler, P. – Macháček, J. – Milo, P. 2010: Výzkum raně středověkého sídliště a pohřebiště v Kosticích – Zadním Hrudu. *Jižní Morava* 46/49, 188–191.
- 2011: Kostice – Zadní hrúd v roce 2010. *Jižní Morava* 47, 345–348.
- Drobná, Z. 1953: Husitský polní tábor u Kunratic, *Historie a vojenství* 1963/2, 197–200.
- Dubský, B. 1928 – 1930: Mohyly z doby bronzové na Hřebíčku u Písku. *Památky archeologické* 36, 88–90.
- 1937: Hradiště u Vrcovic na Písecku. *Zlatá stezka* 10, 31–33.
- 1949: Pravěk jižních Čech. *Blatná*.
- Durdík, J. 1953: *Husitské vojenství*. Praha.
- Durdík, T. 1977: Zaniklý sídelní komplex Řebřík. In: *Středověká archeologie a studium počátků měst*. Praha, 231–235.
- 1984: Těškov hrad Radeč, okr. Rokycany. *Výzkumy v Čechách* 1980 – 1981, 124–125.
- 2003: Březina, okr. Rokycany. *Výzkumy v Čechách* 2000, 22–23.
- 2009: *Encyklopedie českých hradů*. Praha.
- Evans, J. S. – Hudak, A. T. 2007: A Multiscale Curvature Algorithm for Classifying Discrete Return Lidar in Forested Environments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45, 1029–1038.
- Fencl, F. 1978: Výrobky a polotovary z vitriolové břidlice. *Sborník muzea okresu Plzeň – sever*, 42 – 55.
- Fisher, P. F. – Tate, N. J. 2006: Causes and Consequences of Error in Digital Elevation Models. *Progress in Physical Geography* 30, 467–489.
- Frič, J. 1932: Vývoj lesního hospodářství podle předpisů a literatury. *Písek*.
- Fröhlich, J. 1969: Středověký zlatorudný mlýn u Vrcovic, *Výběr* 6, č. 4, 28–30.
- 1978a: Rataje, okr. Tábor. *Výzkumy v Čechách* 1975, 78.
- 1978b: Topělec. *Výzkumy v Čechách* 1975, 91.
- 1997a: Písecko v zrcadle archeologie. *Písek*.
- 1997b: Kostelík u Písku. *Výběr* 34, 217–218.
- 1994: Renesanční sklárny na Vilémově hoře. *Archeologický příspěvek k historii rožmberské a buquoyské sklárny*. Jihočeský sborník historický 63, 3 – 14.
- 1996: K lokalizaci skláren v Novohradských horách. *Jihočeský sborník historický* 65, 3 – 8.
- 2000: Stará Otava mezi Pískem a Zvíkovem. I. vydání. *Písek*.
- 2006: Zlato na Prácheňsku. *Kapitoly z historie těžby a zpracování zlata*. *Písek*.
- Fröhlich, J. – Cícha, J. 1998: Pozůstatky grafitového dolu v Borovanech. *Výběr* 35, 201–203.
- Fröhlich, J. – Chvojka, O. 2003: Knovízská výšinná lokalita a mohylové pohřebiště na Chlumu u Sepekova. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 16, 43–60.
- Fröhlich, J. – Michálek, J. 1967: Nové archeologické nálezy na Písecku v letech 1958 – 1963. *Bulletin Záchraného oddělení* 4, 1966, 51–73.
- 1978: Archeologické nemovité památky v okrese Písek. *Zprávy ČSSA* 20, 87–131.

- 2009: Katalog mohylových pohřebišť v okrese Písek. In: Chvojka, O. – Křišťuf, P. – Rytíř, L., Mohylová pohřebišť na okrese Písek. I. díl. Cíle, současný stav poznání a metodika sběru dat. Archeologické výzkumy v jižních Čechách. Supplementum 6. České Budějovice – Plzeň, 31–67.
- Fujii, N. – Saito, K. – Chiba, T. – Sata, I. – Yoshinaga, T. – Tadaki, K. 2012: The New Three-Dimensional Visualization Method of Heritage Sites by Lidar Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 39-B5, 87–92.
- Gabriel, F. 1987: České Švýcarsko očima archeologa. Děčín, Okresní muzeum.
- Gale, R. 2002: Wood-based industrial fuels and their environmental impact in lowland Britain. In: P. Murphy – P. Wiltshire eds., *The environmental archaeology and industry*. Oxford, 30–47.
- Gasior, M. 2006: Laserové skenování pro tvorbu 3D modelu vybrané části Národního parku České Švýcarsko, diplomová práce, Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.
- Geodis 2012. Laserové skenování. Geodis Brno, s.r.o. [citováno 28. 10. 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.geodis.cz/sluzby/laserscanning>>.
- Gerber, C. – Portmann, M. – Kündig, C. 2002: Fours à chaux, four à fer et charbonnières dans le Jura bernois. Vestiges archéologiques médiévaux et modernes découverts entre Moutier et Roches sur le tracé de l'autoroute A16, 1995 – 1997. Bern.
- Giardino, M. – Haley, B. 2006: Airborne remote sensing and geospatial analysis. In: J. Johnson ed., *Remote Sensing in Archaeology. An Explicitly North American Perspective*. Tuscaloosa, 47–77.
- Gojda, M. 2005: Lidar a jeho možnosti ve výzkumu historické krajiny. *Archeologické rozhledy* 57, 806–810.
- 2006: Zaniklá krajina – pohled z výšky. *Vesmír* 85, 614–616.
- 2007: Lety do minulosti – Flights to the Past. Průvodce výstavou. Praha: Národní muzeum.
- 2008a: Historie viděná z výšky. Výstava o letecké archeologii. *Dějiny a současnost* 30/1, 7.
- 2008b: Post-medieval to early modern military landscape of Bohemia. *Earthworks and buried monuments in the view of air survey*, Akta Fakulty filozofické Západočeské univerzity v Plzni, 9–20.
- 2008c: Archiv leteckých snímků Archeologického ústavu AV ČR v Praze (1992 – 2007). *Archeologické rozhledy* 60, 2008, 144–146.
- 2008d: Výročí dvou průkopníků letecké fotografie a dálkového průzkumu, *Archeologické rozhledy* 60/4, 784–786.
- Gojda, M. – Hejman, M. 2012: Cropmarks in main field crops enable the identification of a wide spektrum of buried features on archaeological sites in Central Europe. *Journal of Archaeological Science* 39, 1655–1664.
- Gojda, M. – John, J. 2009: Dálkový archeologický průzkum starého sídelního území Čech – Konfrontace výsledků letecké prospekce a analýzy družicových dat. *Archeologické rozhledy* 61, 467–492.
- Gojda, M. – John, J. – Starková, L. 2011: Archeologický průzkum krajiny pomocí leteckého laserového skenování. Dosavadní průběh a výsledky prvního českého projektu. *Archeologické rozhledy* 63, 680–698.
- Groenewoudt, B. 2007: Charcoal burning and landscape dynamics in the Early Medieval Netherlands. In: J. Klápště – P. Sommer eds., *Ruralia IV. Arts and crafts in medieval rural environment*. Turnhout, 327–337.
- Guggenbichler, E. – Nelle, O. – Rind, M. 2000: Eisenschmelzöfen und Meilergruben von Langquaid. In: M. Rind Hrsg., *Geschichte ans Licht gebracht. Archäologie im Landkreis Kelheim 3 (1997 – 1999)*, 174–194.
- Hájek, L. 1954: Jižní Čechy ve starší době bronzové. *Památky archeologické* 45, 115–192.
- Hájek, P. 2008: Jde pevně kupředu naše zem. Krajina českých zemí v období socialismu, Praha.
- Halounová, L. – Pavelka, K. 2005: Dálkový průzkum Země. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- Hasselquist, N. J. – Germino, M. J. – Sankey, J. B. – Ingram, L. J. – Glenn, N. F. 2011: Aeolian Nutrient Fluxes Following Wildfire in Sagebrush Steppe: **Implications for Soil Carbon Storage**. *Biogeosciences* 8, 3649–3659.
- Hauserová, M. 2006: Aldašín, kostel sv. Jiří, nepublikovaný stavebně historický průzkum.
- Hauserová, M. 2010: Kozojedy, nepublikovaný nástin stavebního vývoje kostela sv. Martina, okr. Praha-východ.
- Havlice, J. – Hrubý, P. 2002: Betrachtung über die Burgwalle und Höhensiedlungen am Ende der Frühbronzezeit in Südböhmen. In: *Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen*, 11. Treffen 20. – 23. 6. 2001 in Oberzell. Rahden/Westf., 42–61.
- Havránek, P. 2002: Milíře u Horní Světlé. *Bezděz* 11, 275–281.
- Hejman, M. – Pavlů, V. 2010: Hnojení – novodobý nástroj nebo odvěká součást zemědělství?. *Vesmír* 10/89, 598–601.
- Hejman, B. 1948: *Soupis lomů ČSR. Číslo 25. Pol. okres Písek*. Praha.
- Helliksen, W. 1997: Gård og utmark på Romerike 1100 f.Kr. – 1400 e.Kr. Gardermoprojektet. Oslo.
- Hendl, J. 2006: Přehled statistických metod zpracování dat. Praha: Portál.
- Hereit, P. 1994: Sokolovsko a archeologie. Sokolov.
- Hesse, R. 2010: LiDAR derived local relief models: a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection* 17, 67–72.
- Hesse, R. 2011: Ambitions and realities of the airborne lidar prospection project in Baden-Württemberg. *Ambitions*

- and Realities. Remote Sensing for Archaeology, Research and Conservation. A joint meeting of the Aerial Archaeology Research Group AARG) and European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) – Abstract book.
- Hesse, R., 2012: Using Lidar-Derived Local Relief Models (LRM) as a New Tool for Archaeological Prospection. In: S. J. Kluiving – E. B. Guttmann-Bond eds., Landscape Archaeology between Art and Science – From a Multi- to an Interdisciplinary Approach, Landscape & Heritage Series, Proceedings, Amsterdam: Amsterdam University Press, 369–378.
- Hiemesch, V. 1941–1942: Vorarbeiten für einen vorgeschichtlichen Burgenatlas des Sudetengauges, Sudeta, 131–133.
- Hlásek, D. 2010: Příspěvek k poznání eneolitických mohyl na Písecku, Prácheňské muzeum v Písku v roce 2009. Písek, 41–49.
- Hlavatý, I. 1989: Experimentální vypálení míře v Rožnově pod Radhoštěm. Národopisné aktuality 26, 57–58.
- Hnízdilová, P. 2006: Zaniklá vesnice a dvůr Řebřík. In: Archeologie zaniklých středověkých vesnic na Rokycansku. 1. Plzeň, 125–139.
- Holden, N. – Horne, P. – Bewley, R. 2002: High-Resolution Digital Airborne Mapping and Archaeology. In R. Bewley – W. Raczkowski: Aerial Archaeology. Developing Future Practice. Nato Series 1, vol. 337, 173–180.
- Holm, I. – Inneset, S. – Øye, I. eds. 2005: „Utmark.“ The Outfield as Industry and Ideology in the Iron Age and the Middle Ages. Bergen.
- Hostýnek, J. – Tolasz, R. 2008: Podnebí. In: V. Dudák ed., Plzeňsko: příroda, historie, život. Praha, 66–72.
- Houdek, V. 1884: Z pravěku Olomoucka. Časopis Vlasteneckého spolku musejního v Olomouci I, s. 49–57.
- Hraše, J. K. 1864 – 1865: Pohanské pohřebiště nad Smutnou u Rataj. Památky archeologické 6, 220–224.
- 1871 – 1873a: Jedenáctero pohanských hřbitovů okolí Ratajského na Táborsku. Památky archeologické 9, 129–140.
- 1871 – 1873b: Zprávy archeologické. 1. Pohanské hroby „na panských“ u Rataj. 2. Pohanské hroby nad Hánovem blízce Opořan na Táborsku. Památky archeologické 9, 659.
- Humme, A. – Lindenbergh, R. – Sueur, C. 2006: Revealing celtic fields from Lidar data using kriging based filtering. In: H.-G. Maas – D. Schneider eds., Proceedings of the ISPRS Commission. Vol. 36, part 5. Dresden, 22–28.
- Hyypä, H. – Yu, X. – Hyypä, J. – Kaartinen, H. – Kaasalainen, S. – Honkavaara, E. – Ronnholm, P. 2005: Factors Affecting the Quality of DTM Generation in Forested Areas. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36, 85–90.
- Chábera, S. a kol. 1985: Jihočeská vlastivěda. Neživá příroda. Praha.
- Challis, K. 2006: Airborne Laser Altimetry in Alluviated Landscapes. Archaeological Prospection 13, 103–127.
- Challis, K. – Forlin, P. – Kincey, M. 2011: A Generic Toolkit for the Visualization of Archaeological Features on Airborne LiDAR Elevation Data. Archaeological Prospection 18/4, 279–289.
- Challis, K. – Carey, C. – Kincey, M. – Howard, A. J. 2011a: Airborne Lidar Intensity and Geoarchaeological Prospection in River Valley Floors. Archeological Prospection 18, 1–13.
- Chen, Q. – Gong, P. – Baldocchi, D. – Xin, G. 2007: Filtering Airborne Laser Scanning Data with Morphological Methods. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 73, 175–185.
- Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Stráník, Z. 2011: Geologická minulost České republiky. Praha.
- Chvojka, O. 2009: Jižní Čechy v mladší a pozdní době bronzové. In: Měřínský, Z. – Klápště, J. (eds.), Dissertationes Archaeologicae Brunenses/Pragensesque 6. Brno, 3–484.
- Chvojka, O. – Militký, J. 2004: Struktura osídlení Bechyňska v době popelnicových polí. In: Popelnicová pole a doba halštatská. Příspěvky z VIII. konference, České Budějovice 22. – 24. 9. 2004. Archeologické výzkumy v jižních Čechách – Supplementum 1. České Budějovice, 223–244.
- Chvojka a kol. 2011: Osídlení doby bronzové v povodí říčky Smutné v jižních Čechách. Archeologické výzkumy v jižních Čechách – Supplementum 8. České Budějovice.
- Isenburg, M. – Liu, Y. – Shewchuk, J. – Snoeyink, J. 2006: Streaming Computation of Delaunay Triangulations. Proceedings of SIGGRAPH'06, 1049–1056.
- Ježek, B. 1933: Dosud neznámé zlatokopecské stařiny v okolí píseckém. Hornický věstník 15, 366–369, 390–392.
- Jílek, T. – Jílková, A. a kol. 2006: Železná opona. Československá státní hranice od Jáchymova po Bratislavu 1948–1989. Praha: Baset.
- Jiráň, L. a kol. 2008: Archeologie pravěkých Čech/5. Doba bronzová. Praha.
- John, J. 2008: Počítačová podpora a dokumentace terénních reliktů v archeologii. Macháček J. (ed.) Počítačová podpora 2. Brno Masarykova univerzita v Brně.
- 2010: Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu. In: Kuchařík, M. – Gál, L. – Košťál, J. eds., Počítačová podpora v archeologii 3, Praha: TerraVerita, 24–28.
- 2011a: Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu. In: Kuchařík, M. – Gál, L. – Košťál, J. (eds.), Počítačová podpora v archeologii 3, 24–28.
- 2011b: Letecké laserové skenování (LLS) jako nástroj vyhledávání a mapování mohylových pohřebišť v Hemerském polesí. In: O. Chvojka a kol., Osídlení z doby bronzové v povodí říčky Smutné v jižních Čechách.

- Archeologické výzkumy v jižních Čechách – Supplementum 8, 245–248.
- Kadera, J. 2011: Výpal milíře ve Staré Huti u Adamova. *Archeologia technica* 22, 45–60.
- Kerscher, H. 2003: Airborne Laserscanning und topographische Denkmalerfassung in Bayern: Überlegungen am Beispiel des Schlossbergs von Marxheim; Landkreis Donau-Ries, Schwaben. *Das Archäologische Jahr in Bayern* 2002, 127–130.
- Kerscher, H. 2012: Die Erfassung und Vermessung des Goldenen Steiges mit Hilfe von Airborne Laserscan-DGM-Daten. *Vorträge des 30. Niederbayerischen Archäologentages*, 315–338.
- Klápště, J. 1978: Středověké osídlení Černokostelecka. *Památky archeologické* 69, 423–475.
- Klápště, J. – Tomášek, M. 2000: Nástin raně středověkého osídlení v Bylanech u Kutné Hory. *Památky archeologické – Supplementum* 13, 165–181.
- Klápště, J. – Smetánka, Z. 1981: Archeologické ověřování toponomastické lokalizace zaniklých středověkých vsí v okrese Beroun. *Zpravodaj místopisné komise ČSAV* 22, 26–29.
- Klimánek, M. 2008: Digitální modely terénu. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- Kmošek, J. 2011: Experimentální pálení dřevěného uhlí v jamách. *Archeologia technica* 22, 11–44.
- Kobler, A. – Pfeifer, N. – Ogrinc, P. – Todorovski, L. – Oštir, K. – Džeroski, S. 2007: Repetitive Interpolation: A Robust Algorithm for DTM Generation from Aerial Laser Scanner Data in Forested Terrain. *Remote Sensing of Environment* 108, 9–23.
- Kočka, V. 1936: Dějiny Rakovnícka. Rakovník.
- Kodera, P. 2009: Zaniklá osada Vojkov na Černokostelecku v raně novověkých písemných pramenech. *Kuděj* 2009/1, 55–62.
- Kokalj, Ž. – Zakšek, K. – Oštir, K. 2011: Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity* 85, 263–273.
- Kokalj, Ž. – Oštir, K. – Zakšek 2012, K.: DEM visualitization techniques for archaeological interpretation. Paris.
- Konšel, J. ed. 1935: Naučný slovník lesnický. Knihovna Československé matice lesnické 29 – 30. Praha.
- Kooistra, M. J. – Maas, G. J. 2008: The widespread occurrence of Celtic field systems in the central part of the Netherlands. *Journal of Archaeological Science* 35/8, 2318–2328.
- Koscelník, P. 2010a: Válečné konfrontace hradů v Čechách a jejich intenzita ve středověku. *Hláška* 11, 4, 55 – 56.
- 2010b: Analýza prostorových a formálních vlastností středověkých obléhacích táborů, Nепublikovaná diplomová práce FF ZČU. Plzeň.
- Kovář, D. 2011: Tvrze, hrady a zámky Českobudějovicka. České Budějovice.
- Kovář, D. – Koblasa, P. 2006: Lidská sídla, historický přehled. In: Dudák, V. (ed.): *Novohradské hory a novohradské podhůří*, Praha: Baset, 325–336.
- Krajíc, R. 1980: Příspěvek k dokumentaci některých zaniklých středověkých osad na Táborsku. *Archaeologia Historica* 5, 165–172.
- 1983: Přehled archeologických výzkumů středověku na Táborsku se zaměřením na zaniklé středověké osady. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 1, 95–127.
- Kraus, K. – Pfeifer, N. 1998: Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53, 193–203.
- Křišťuf, P. – Prekop, F. – Švejcar, O. 2012: Záchranný výzkum porušení lokality Bei dem Totenköpfen, Údolí u Lokte. *Nálezová zpráva NPÚ ú.o.p. v Lokti*.
- Kubů, F. – Zavřel, P. 2011: Der Goldene Steig in Autopsie und Empirie: Archäologische Einsichten. In: F.-R. Erkens Hrsg., *1000 Jahre Goldener Steig*, Passsau: Klinger, 113–141.
- Kuča, K. 2002: Města a městečka v Čechách, na Moravě a ve Slezsku / 3.díl Kolí-Mi. Praha: Libri.
- Kudrnáč, J. 1971: Zlato v Pootaví. *Písek*.
- 1972: Vrcovice. *Výzkumy v Čechách* 1969, 173.
- 1973: Vojenský tábor z doby husitských válek v Klučově. *Památky archeologické* 64/ 1, 105 – 142.
- 1973: Vrcovice, *Výzkumy v Čechách* 1970, 171.
- Kuffner, H. 1908: Husitské vojny v obrazech. *Královské Vinohrady*.
- Kuna, M. – Tomášek, M. 2004: Povrchový výzkum reliéfních tvarů. In M. Kuna a kol.: *Nedestruktivní archeologie*. Praha, 237–275.
- Kurka, J. 1915: Archidiakonáty Kouřimský, Boleslavský, Hradecký a diecése Litomyšlská. *Místopis církevní do r. 1421*. Praha.
- Kypta, J. – Richterová, J. 2002: K metodice studia pozdně středověkých zemních fortifikací. *Hláška* 13/ 4, 54–56.
- Lehrberger, G. A kol. 1997: *Das prähistorische Gold in Bayern, Böhmen und Mähren: Herkunft – Technologie – Funde*. *Památky archeologické – Supplementum* 7. Praha.
- Li, J. – Fan, H. – Ma, H. – Goto, S. 2010: Determination of Large-scale Digital Elevation Model in Wooded Area with Airborne Lidar Data by Applying Adaptive Quadtree-based Iterative Filtering Method. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science* 38, 685–689.
- Lissek, P. 2004: Povrchový průzkum dehtářských pracovišť v Českém Švýcarsku. *Archeologia technica* 16, 72–78.
- Liu, X. 2008: *Airborne LiDAR for DEM Generation: Some Critical Issues*. *Progress in Physical Geography: an International Review of Geographical Work in the Natural and Environmental Sciences*, 32, 31–49.

- Liu, X. – Zhang, Z. – Peterson, J. 2009: Evaluation of the Performance of DEM Interpolation Algorithms for LiDAR Data. In: B. Ostendorf a kol. eds., Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial International Conference, Adelaide: Surveying & Spatial Sciences Institute, 771–780.
- Lloyd C. D. – Atkinson, P. M. 2002: Deriving DSMs from LiDAR Data with Kriging. *International Journal of Remote Sensing* 23, 2519–2524.
- Lutovský, M. 1993: Raně středověké nálezy z jižních Čech ve sbírkách Národního muzea v Praze. Zprávy České archeologické společnosti – Supplément 21. Praha.
- Lutovský, M. 2011: Jižní Čechy v raném středověku. Slovanské osídlení mezi Práchní a Chýnovem. České Budějovice.
- Macháček, J. 2001: Zpráva o archeologickém výzkumu Břeclav – Líbivá 1995–1998. In: Z. Měřínský ed., Konference Pohansko 1999. *Archaeologia mediaevalis Moravia et Silesiana* I. Brno, 39–62.
- Macháček, J. 2011: Fünfzig Jahre archäologische Ausgrabungen in Pohansko bei Břeclav. In: J. Macháček – Š. Ungerman edd., Frühgeschichtliche Zentralorte in Mitteleuropa, Studien zur Archäologie Europas. Bonn, 15–33.
- Machart, J. 1971: Vznik a rozšíření Pootavských ložisek zlata. In: Kudrnáč, J., Zlato v Pootaví. Písek, 7–14.
- Majer, A. 2004: Mapování velkých územních celků s užitím globálního pozičního systému. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách – Supplementum* 1, 307–320.
- Maličský, J. 1968: Středověké smolárny v Brdech. *Vlastivědný sborník Podbrdská* 2, 178–179.
- Malina, O. 2011: Stabilizace sídelní sítě vrcholného středověku ve střední a západní Evropě. Nepublikovaná dizertační práce KAR FF ZČU, Plzeň.
- Mark, R. 1992: Multidirectional, Oblique-Weighted, Shaded-Relief Image of the Island of Hawaii. U.S. Geological Survey. Dostupný z: <http://pubs.usgs.gov/of/1992/of92-422/of92-422.pdf> 29. 9. 2012
- Marshall, P. 2002: Reconstructing the environmental impact of past metallurgical activities. In: P. Murphy – P. Wiltshire eds., *The environmental archaeology and industry*. Oxford, 10–18.
- Mařík, J. 2009: Libická sídelní aglomerace a její zázemí v raném středověku. *Dissertationes archaeologicae Brunenses / Pragensesque* 7. Praha.
- Masini, N. – Coluzzi, R. – Lasaponara R. 2011: On the Airborne Lidar Contribution in Archaeology: from Site Identification to Landscape Investigation. In: C.-C. Wang ed., *Laser Scanning, Theory and Applications*, InTech. Dostupný z: http://cdn.intechopen.com/pdfs/15810/InTechOn_the_airborne_lidar_contribution_in_archaeology_from_site_identification_to_landscape_investigation.pdf 3. 10. 2012
- Matoušek, V. 2006.: Třebel. Krajina po bitvě. Praha 2006.
- Meduna, P. 1984: Pozůstatky středověké militární činnosti u hradu Kostelce nad Sáravou, *Sborník vlastivědných prací z Podblanicka* 25, 119 – 128.
- 1994: Povrchový průzkum komplexu obléhacích prací u Konopiště z let 1467 – 1468. *Castellologica Bohemica* 4, 243 – 250.
- Menclová, D. 1972: České hrady. díl první. Praha.
- Mensík, P. 2008: Mohylová pohřebiště na Táborsku. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 21, 33–58.
- Mensík, P. – Křišťuf, P. – Chvojka, O. 2010: Mohylová pohřebiště na okrese Tábor. Plzeň.
- Mergl, M. 2005: Ordovické železné rudy na Rokycansku a Komárovsku. Plzeň.
- Merhautová, A. 1971: Raně středověká architektura v Čechách. Praha.
- Michálek, J. 1972: Jihočeská skupina mohylové kultury mladší doby halštatské a časné doby laténské. Nepublikovaná diplomová práce PÚ UK. Praha.
- Montelius, O. 1899: Der Orient und Europa. Einfluss der orientalischen Cultur auf Europa bis zur Mitte des letzten Jahrtausends v. Chr. Königliche Akademie der schönen Wissenschaften, Geschichte und Alterthumskunde, Stockholm.
- Militký, J. 1989: Rataje, okr. Tábor. *Výzkumy v Čechách* 1986 – 1987, 167–168.
- Národní archiv, 1. oddělení, archivní fond Indikační skizzy, 1826 – 1843 (1879):
Sign. IS, BUD 002, Staré Hutě, 1826
Sign. IS, BUD 098, Hojná Voda, 1827
- Nejman, M. 2010: Popis lokalit s polními fortifikacemi na severním bojišti války o bavorské dědictví zakreslených na mapových listech 1. vojenského mapování. In: Slavík, J. (ed.). *Polní opevnění od třicetileté války do roku 1945 řada Monumentae vivent*, 104–106. Jaroměř – Josefov.
- Nelle, O. – Guggenbichler, E. – Putz, U. – Schnidgall, J. 2003: Eine mittelalterliche Kohlenbeilergrube im vorderen bayrischen Wald. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 33, 457–467.
- Němec, J. – Hrib, M. eds. 2009: *Lesy v České republice*. Praha.
- Nešpor, V. 1998: *Dějiny Olomouce*, reprint původního vydání z roku 1936. Olomouc.
- Neuhäselová, Z. kol. 1998: Mapa potencionální přirozené vegetace České republiky. Praha.
- Neustupný, E. 2007: *Metoda archeologie*. Plzeň.
- Neuvirtová, A. 2010: Identifikace novověkých polních opevnění na území ústeckého kraje na základě historických map. In: Slavík, J. (ed.). *Polní opevnění od třicetileté války do roku 1945 řada Monumentae vivent*, 104–106. Jaroměř – Josefov.
- Nováček, K. 2000 [online]: Klasifikace povrchových stop po zaniklé těžbě surovin (Příspěvek k povrchovému průzkumu) URL: <http://kar.zcu.cz/texty/Novacek1993.htm> [cit. 18. 09. 2012].
- 2001: Nerostné suroviny středověkých Čech jako archeologický problém: bilance a perspektivy výzkumu se zaměřením na výrobu a zpracování kovů. *Archeologické rozhledy* 53, 279–309.

- 2007: První sezóna průzkumu středověkého výrobního mikroregionu Strašicko. In: P. Křišťuf – L. Šmejda – P. Vařeka eds., *Opomíjená archeologie 2005–2006*. Plzeň, 164–172.
- 2011 [online]: Archeologické dědictví středních Brd: současný stav poznání a problematika jeho ochrany. URL: http://www.academia.edu/1130167/Archeologicke_dedictvi_strednich_Brd_soucasny_stav_poznani_a_problematika_jeho_ochrany_The_archaeological_heritage_of_the_central_Brdy_forest_a_current_stage_of_knowledge_research_and_protection_perspectives_in_Czech_only_ [cit. 16. 10. 2012].
- Novák, M. et al.. 2006 [online]: Ložiska rud – typy ložisek a příklady z území ČR. URL: http://njumy.ic.cz/index_download/download.html [cit. 10. 08. 2012].
- Novák, V. 2002: Topografická mineralogie jižních Čech 1966–1998. Jelmo.
- Novobilský, M. 2008: Obléhání hradu Lopaty. Rekonstrukce obléhání hradu z roku 1432 – 33. Plzeň.
- Novotný, B. 1971: Staroslovanské výšinné hradisko Mařín u Křenova na Svitavsku. *Sborník prací Filosofické fakulty brněnské university* 20, E 16, 217–223.
- Olivová-Nezbedová, L. 1977: Lokalizace zaniklé osady Zábdiší. *Zpravodaj místopisné komise ČSAV* 18, 72–76.
- Oswald, J. 1959: Jihočeské nerosty a jejich naleziště. České Budějovice.
- Ödman, A. 1998: Northern Skåne – a resource area for medieval Denmark. In: H. Anderson – L. Ersgård – E. Svensson eds., *Outland use in Pre-industrial Europe*. *Lund Studies in Medieval Archaeology* 20, 204–218.
- Øye, I. 2005: Introduction. In: I. Holm – S. Innselset – I. Øye eds., „Utmark.“ *The Outfield as Industry and Ideology in the Iron Age and the Middle Ages*. Bergen, 9–20.
- Památky archeologické 1868–1869: Schůze archeologického sboru Musea království českého (zpráva M. Koláře). *Památky archeologické* 8, 154–155.
- Parcak, S. 2009: *Satellite Remote Sensing for Archaeology*. London – New York: Routledge.
- Pažourek, V. – Velímský, T. 1995: Nově zjištěné raně středověké nálezy z Labských pískovců – příspěvek k počátkům slovanského osídlení ve Šluknovském výběžku. In: Blažek, J. – Meduna, P. (eds.): *Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 1983 – 1992*. Most, 197 – 212.
- Pfeifer, N. – Stadler, P. – Briese, C. 2001: Derivation of Digital Terrain Models in the SCOOP++ Environment. In: Torle-gård, K – Nelson, J. eds., *Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models 1 – 3*. March 2001. Dostupné z: <http://bono.hostireland.com/~euroedr/publications/40.pdf> 17. 9. 2012
- Píč, J. L. 1909: *Starožitnosti země české*, III. sv. 1. Čechy za doby knížecí. Praha.
- Plaček, M. 2001: *Ilustrovaná encyklopedie moravských hradů, hrádků a tvrzí*. Praha.
- Pleiner, R. 1958: *Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích*, *Monumenta archaeologica*, tomus VI. Praha.
- 2000: *Iron in archaeology. The European bloomery smelters*. Praha.
- Pleiner, R. – Kořan, J. – Kučera, M. – Vozár, J. 1984: *Dějiny hutnictví železa v Československu 1*. Praha.
- Plekanec, M. – Havránek, P. 2004: Milíře na Weberbergu a v Milířské dolině. *Bezděz* 13, 283–288.
- Pletzer, K. 1973: Zaniklé osady v okolí Hluboké nad Vltavou a Lišova. *Jihočeský sborník historický* 43/1, 1–13.
- Plzák, J. 2008: *Prostorové aspekty mohylových pohřebišť na k. ú. Držov, Louka, Oslov a Topělec (okr. Písek)*. Nepublikovaná bakalářská práce KAR FF ZČU v Plzni.
- Podlaha, A. 1907: *Soupis památek historických a uměleckých 24. Politický okres československý*, 98–99.
- Pospíchalová, O. 1969: Výzkum hradiště Kolová. *Nálezová zpráva* 4640/69. *Archiv nálezových zpráv Muzeum Cheb*.
- Prekop, F. – Švejcár, O. 2010: *Výšinné sídliště Kolová. Revizní a preventivní výzkum lokality Kolová. Nálezová zpráva NPÚ ú.o.p. v Lokti*.
- Profous, A. 1949: *Místní jména v Čechách – Jejich vznik, původní význam a změny. Díl II, CH–L*. Praha.
- Procházka, V. 1923: *Česká poddanská nemovitost v pozemkových knihách 16. a 17. století*. ČSAV, Praha. Přichystal, A. 2002: *Objev neolitické těžby zelených břidlic na jižním okraji Jizerských hor (severní Čechy)*, *abstrakt Kvartér (Brno)* 8, 12–14.
- Pulec, M. 2006: *Organizace a činnost ozbrojených pohraničních složek. Seznamy osob usmrčených na státních hranicích 1945–1989*. Praha: Úřad dokumentace a vyšetřování zločinů komunismu, sešity 13.
- Quitt, E. 1971: *Klimatické oblasti Československa*. *Studia geographica* 16.
- Raber, G. T., Jensen, J. R., Hodgson, M. E., Tullis, J. A., Davis, B. A., Berglund, J. 2007: *Impact of LiDAR nominal post-spacing on DEM accuracy and flood zone delineation*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73(7), 793–804.
- Rákosníková, V. 2009: *Historické plány pevnosti Terezín ve vídeňském Kriegsarchivu – archivní studie. Zprávy památkové péče* 69/5, 376–384.
- Rapant, P. 2006: *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: Institut Geoinformatiky, VŠB – TU Ostrava.
- RBM: *Regesta diplomatica nec non epistolaria Bohemiae et Moraviae III*, (Emler, J. ed.). Praha 1890.

- RBM*: Regesta diplomatica nec non epistolaria Bohemiae et Moraviae IV, (Emler, J. ed.). Praha 1892.
- RDP*: Registra decimarum papalium čili registra desátků papežských z diocézi pražské, ed. W. W. Tomek. Praha 1873.
- Registra kladení peněz gruntovních na panství kosteleckém 1617* (purkrechtní soudy), SOA Praha, Vs Kostelec, i.č. 3169, sign. OS 11, kt. 1863.
- Reif, J. 2004*: Metody matematické statistiky. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.
- Richterová, J. 2003*: Obléhání středověkých pevností. Nepublikovaná diplomová práce FFUK Praha.
- Rožmberský, P. 2006*: Soupis zaniklých středověkých vesnic na Rokycansku. In: P. Vařeka a kol.: Archeologie zaniklých středověkých vesnic na Rokycansku, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni 13–56.
- 2009: Sklárna ve Sklené Huti. Sborník Muzea dr. Bohuslava Horáka v Rokycanech 21, 3–16.
- Rybníček, K. 1990*: Human activity at the forest limit in the Czechoslovakian mountains and its influence on vegetation. In: D. Moe – S. Hicks eds., Impact of Prehistoric and Medieval Man on the Vegetation: man at the forest limit. Rixensart, 87–90.
- Sedláček, A. 1923*: Paměti a doklady o staročeských mírách a váhách. Rozpravy České akademie věd a umění I/66. Praha.
- 1934: Hrady, zámky a tvrze Království českého 6. 2. vydání. Praha.
- 1926: Děje Prácheňského kraje. Písek.
- 2000: Hrady, zámky a tvrze Království českého, I – XV. CD – ROM. První elektornické vydání. Praha.
- Shaw, R. – Corns, A. 2011*: High resolution LiDAR specifically for archaeology: are we fully exploiting this valuable resource? In D. Cowley (ed.): Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. EAC Occasional Paper No.5, 77–86.
- Schmitt, 1964*: Zlatá Praha, číslo 21, 1. 11. 1864, 250.
- Schoefield, A., J. 1989*: Understanding early medieval pottery distributions: cautionary tales and their implications for further research. Antiquity 63/240, 460–470.
- Silván-Cárdenas, J. L. – Wang, L. 2006*: A Multi-Resolution Approach for Filtering LiDAR Altimetry Data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 61, 11–22.
- Sithole, G. 2001*: Filtering of Laser Altimetry Data Using a Slope Adaptive Filter. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34, 203–210.
- Sithole, G. – Vosselman, G. 2004*: Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare-Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59, 85–101.
- Sittler, B. 2004*: Revealing Historical Landscapes by Using Airborne Laser Scanning. A 3-D Modell of Ridge and Furrow in Forests near Rastatt (Germany). In: M. Thies – B. Koch – H. Spiecker – H. Weinacker eds., Proceedings of Natscan, Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment – Instruments, Processing Methods and Applications. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 36, 258–261.
- Siu, D. Z. – Maggio, R. C. 1999*: Integrating GIS with Hydrological Modeling: Practices, Problems, and Prospects. Computers, Environment and Urban Systems 23, 33–51.
- Sklenář, K. 1989*: Pravěké nálezy na Rokycansku. Sborník Západočeského muzea v Plzni – Historie 4, 7–94.
- Skutil, J. 1956*: Pravěké nálezy z Náměště na Hané a z neolitického hradiště Rmíz u Laškova, okres Litovel, Sborník Státního a lidovýchovného ústavu kraje Olomouckého II, 117–120.
- Slavík, J. 1999*: Obléhač tábor u hradu Vízmburku? Zpravodaj muzea v Hradci Králové 25, 196–202.
- Smetánka, Z. 1959*: Středověká osada mezi Štíhlicemi a Kozojedy. Archeologické rozhledy 11, 683–691.
- 1961: Záchraný výzkum ve Štíhlicích u Českého Brodu. Archeologické rozhledy 13, 264–267.
- Smetánka, Z. – Klápště, J. 1979*: Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých osad. Archeologické rozhledy 31, 614–631.
- 1981: Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých vsí na Černokostelecku. Památky archeologické 72, 416–458.
- Smrž, Z. – Hlušík, A. 2007*: Polní opevnění z roku 1813 mezi Postoloprty a Budyní nad Ohří: výsledky letecké prospekce a historického bádání, Archeologické rozhledy 59, 713–746.
- Sohn, G. – Dowman, I. 2002*: Terrain Surface Reconstruction by the Use of Tetrahedron Model with the MDL Criterion. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34, 336–344.
- Stal, C. – Bourgeois, J. – De Maeyer, Ph. – De Mulder, G. – De Wulf, A. – Goossens, R. – Nuttens, T. – Stichelbaut, B. 2010*: Kemmelberg (Belgium) Case Study: Comparison of DTM Analysis Methods for the Detection of Relicts from the First World War. In: R. Reuter ed., Proc. 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture Heritage, 65–72.
- Starková, L. 2010*: LIDAR. Potenciál a využití laserového skeneru na příkladu studie národního parku České Švýcarsko. In M. Gojda a kol.: Studie k dálkovému průzkumu v archeologii, 104–111.
- Starková, L. 2011*: Potenciál laserového skenování (Lidar) v archeologii – modelová studie Česko-saské Švýcarsko. In M. Kuchařík – L. Gál – J. Košťál (eds.): Počítačová podpora v archeologii 3, 18–23.

- Statistický lexikon obcí v Republice Československé* vydán ministerstvem vnitra a Státním úřadem statistickým na základě výsledků sčítání lidu z 1. prosince 1930. Praha 1934.
- Stein, K. 1993: K počátkům Kyjova, Děčínské vlastivědné zprávy: časopis pro vlastivědu Děčínska a Šluknovska 3/2-V, 3 – 17.
- Suda, J. 2008: Geomorfologie. In: V. Dudák ed., Plzeňsko: příroda, historie, život. Praha, 55–65.
- Sulaiman, N. S. – Majid, Z. – Setan, H. 2010: DTM Generation from LIDAR Data by Using Different Filters in Open – Source Software. *Geoinformation Science Journal* 10, 89–109.
- Svoboda J. a kol. 1999: Mezolit z perspektivy regionu: výzkumy v ústí Pekla. *Archeologické rozhledy* 51, 243–279.
- Šída, P. et al 2009: The Gravettian of Bohemia. *Dolnověstonické studie* 17, 1–264. Brno.
- Šída, P. – Prostředník, J. 2007: Mezolit a pozdní paleolit Českého ráje: perspektivy poznání regionu. *Archeologické rozhledy* 59, 443–460.
- Šíma, J. 2009. Abeceda leteckého laserového skenování. *Geo-Business: ...srozumitelně o geoinformaticke v praxi. Měsíčník o geoinformaticke v praxi. Springwinter, s.r.o., Praha, č. 3, 22–25.*
- Šíma, J. 2011: Nové zdroje geoprostorových dat pokrývajících celé území státu od roku 2010 – První výsledky výzkumu jejich kvalitativních parametrů. In *Symposium GIS Ostrava 2011, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*, 1–11
- Šimek, E. 1955: Chebsko – dnešní nejzápadnější slovanské území – v staré době. Brno.
- Šmíd, M. 2003: Mohylová pohřebiště kultury nálekovitých pohárů na Moravě. *Pravěk – Supplementum* 11. Brno.
- Šmíd, M. 2007: Rmíz u Laškova. Pevnost kultury nálekovitých pohárů. *Archeologické památky střední Moravy, svazek 14*. Olomouc.
- Šmíd, M. 2010: Pravěké a časně historické osídlení katastru městyse Náměšť na Hané (okr. Olomouc). *Střední Morava, vlastivědná revue* 30, 44–74.
- Šnajdr, L. 1891: Počátkové předhistorického místopisu země České a některé úvahy odtud vycházející. Pardubice.
- Šrein, V. – Šreinová, B. – Šťastný, M. – Šída, P. – Prostředník J. 2002: Neolitický těžební areál na katastru obce Jistebko. *Archeologie ve středních Čechách* 6, 91–99.
- Štular, B. 2011: The use of lidar-derived relief models in archaeological topography. The Kobarid region (Slovenia) case study. *Arheološki vestnik* 62, 393–432.
- Štular, B. – Kokalj, Ž. – Oštir, K. – Nuninger, L. 2012: Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science* 39/11, 3354–3360.
- Tinkham, W. T. – Huang, H. – Smith, A. M. S. – Shrestha, R. – Falkowski, M. J. – Hudak A. T. – Link, T. E. – Glenn, N. F. – Marks, D. G. 2011: A Comparison of Two Open Source LiDAR Surface Classification Algorithms. *Remote Sensing* 3, 638–649.
- Tomášek, M. 2007: Půdy České republiky. Praha.
- Trier, Ø. D. – Pilø, L. H. 2012: Automatic Detection of Pit Structures in Airborne Laser Scanning Data. *Archaeological Prospection* 19/2, 103–121.
- Turek, R. 1958: Slawische Hügelgräber in Südböhmen – Slovanské mohyly v jižních Čechách, *Fontes Archaeologici Pragenses* 1. díl. Praha.
- Urbář panství Kostelec n. Č. l. z r. 1562, SOA Praha, Vs Kostelec, i.č. 3137, sign. F84b.
- Ústřední archiv zeměměřičtví a katastru, 3. vojenské mapování, listy č. 4553/2.
- Václav Vlček z Čenova: Naučení o šikování jízdních, pěších i vozů, In: *Staročeské vojenské řády. Hájek – Vlček – Žižka listy a kroniky*, Ed. Durdík. 1952. Praha.
- Vaněk, V. 2003: Počátky středověkého osídlení Českého Švýcarska a spory o „německou kolonizaci“, In: *Minulosti Českého Švýcarska I.*, sborník příspěvků historické konference 2002, Krásná Lípa. 31–35.
- Vařeka, P. 2004: Archeologie středověkého domu I. Plzeň.
- 2006: Aldašín, nepublikovaná nálezová zpráva.
- 2006a: Dokumentace reliéfních antropogenních tvarů. In P. Vařeka a kol.: *Archeologie zaniklých středověkých vesnic na Rokycansku*, 13–56.
- 2007: Zpráva o výzkumu zaniklých středověkých a novověkých vesnic. In *Opomíjená archeologie 2005 – 2006 = Neglected archaeology 2005 – 2006*, Plzeň: Západočeská univerzita, Filozofická fakulta, Katedra archeologie, 150–157.
- 2008: Sloupek: (k.ú. Těškov, okr. Rokycany). In: *Hledání zmizelého*. Plzeň, Západočeské muzeum. 63–64.
- 2009: Zaniklá středověká vesnice Vojkov na Černokostecku – svědectví archeologie, *Kuděj* 2009/1, 43–54.
- 2009a: Zaniklá ves Chýlava. In: P. Vařeka – P. Rožmberský a kol., *Středověká krajina na střední Úslavě I*, 99–110.
- Vařeka, P. a kol. 2006: Archeologie zaniklých středověkých vesnic na Rokycansku I. Plzeň.
- Vařeka, P. – Holata, L. – Rožmberský, P. – Schejbalová, Z. 2011: Středověké osídlení Rokycanska a problematika zaniklých vsí. *Archaeologia historica* 36/2, 319–342.
- Vavřínek z Březové, *Husitská kronika*, Ed. Bláhová, M. 1979. Praha.
- Velímský, T. 1992: Zur Problematik der Stadtgründung des 13. Jahrhunderts in Kynšperk nad Ohří (Konigsberg). *Památky archeologické* 8/ 1, 105–148.
- Vencl, S. – Michálek, J. – Fröhlich, J. 2006: Soupis pramenů předneolitického osídlení jižních Čech. In: Vencl, S. a kol., *Nejstarší osídlení jižních Čech*. Praha, 17–324.

- Veselá, R. 2008: Zaniklá ves Javor. In: Archeologie zaniklých středověkých vesnic na Rokycansku. 2. Plzeň: Katedra archeologie Fakulty filozofické ZČU v Plzni, 27–51.
- Víth, D. – Profantová, N. 2008: Raně středověké osídlení Malé Hané na pomezí Čech a Moravy. Přehled výzkumů 49, 133–164.
- Vizitační protokol berní ruly – kraj kouřimský, panství Kostelec, 1654, SOA Praha, Vs Kostelec, i.č. 3440, kt. 1926.
- Vlček, V. a kol. 1984: Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže. Praha.
- Vocel, J. E. 1868: Pravek země České. I. díl. Praha.
- Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce, Letecké měřické snímky 8660/1949, 14632/1958.
- Vosselman, G. 2000: Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data. International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences 33, 935–934.
- Watkins, D. 2005. LiDAR Types and Uses: with a Case Study in Forestry. State College, PA, USA: Department of Geography, Pennsylvania State University.
- Wehr, A., Lohr, U. 1999. Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 54 (2–3), 68–82.
- Wilson, J. P. – Lorang, M. S. 2000: Spatial Models of Soil Erosion and GIS. In: Fotheringham, A. S. – Wegener, M. (eds.) Spatial Models and GIS. New Potential and New Models. London: Taylor & Francis, 83–108.
- Weinelt, H. 1937: Grundriss der Schönhengster Burgenkunde, Mitteilungen zur Volks- und Heimatkunde des Schönhengster Landes, 5–88.
- Woitsch, J. 2006: Možnosti archeologického výzkumu zaniklých drasláren ve světle experimentální výroby potaše. Archeologia technica 17, 4–10.
- 2009: Vlastnosti a kvalita dřevěného uhlí vyrobeného při experimentu ve Lhotě na Křivoklátsku. Archeologia technica 20, 46–53.
- 2010: Lesní řemesla v raném novověku: koncept. Český lid 97/4, 337–362.
- Young, J. 2011: Lidar for dummies. Indianapolis.
- Zakšek, K. – Oštir, K. – Kokalj, Ž. 2011: Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique, Remote Sensing 3, 398–415.
- Zápotocký, M. 1977: Slovanské osídlení na Děčínsku – Die slawische Besiedlung der Děčiner Gegend. Archeologické rozhledy 29/5, 521–553, 600.
- Záruba, F. 2004: Zbořený Kostelec. Castellologica bohemia 9, 177 – 210.
- Zhang, K. Q. – Chen, S. C. – Whitman, D. – Shyu, M. L. – Yan, J. H. – Zhang, C. C. 2003: A Progressive Morphological Filter for Removing Non-ground Measurements from Airborne LiDAR Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41, 872–882.
- Van Zijverden, W. K. – Laan, W. N. H. 2005: Landscape Reconstructions and Predictive Modeling in Archaeological Research, Using a LIDAR Based DEM and Digital Boring Databases. In: Archäologie und Computer, Workshop 9, Wien: Phoibos.
- Zimmerman, D. – Pavlik, C. – Ruggles, A. – Armstrong, M. P. 1999. An experimental comparison of ordinary and universal Kriging and inverse distance weighting. Mathematical Geology, 31, 375–389.

<http://archivnimapy.cuzk.cz> – Topo S-1952

<http://archivnimapy.cuzk.cz> – ÚAZK – Císařské otisky stabilního katastru

<http://oldmaps.geolab.cz> – Müllerova mapa Čech

<http://geoportal.gov.cz> – RETM – soubor základních map ČR

<http://kontaminace.cenia.cz/> – ortofotomapa, rok 1952 (převážně)

<http://www.rcahmw.gov.uk/media/259.pdf>. – Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales

Seznam autorů

Prof. PhDr. Martin Gojda, CSc.

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
gojda@kar.zcu.cz

PhDr. Jan John, Ph.D.

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
jjohn@kar.zcu.cz

Mgr. Roman Brejcha

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
r.brejcha@centrum.cz

PhDr. Michal Bureš, Ph.D.

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
bures-michal@volny.cz

Mgr. Ladislav Čapek

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
capekla@kar.zcu.cz, capekla.st@gmail.com

Mgr. Petr Dresler, Ph.D.

Ústav archeologie a muzeologie FF MU
A. Nováka 1 | Brno | Česká Republika
dresler@phil.muni.cz

Jiří Fröhlich

Erbenova 1546 | 397 01 Písek | Česká republika
jiri@Froll.cz

Mgr. Daniel Hlášek

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
dhlasek@kar.zcu.cz, hlasda@centrum.cz

Mgr. Lukáš Holata

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
lholata@kar.zcu.cz

Mgr. Marek Kalábek

Archeologické centrum Olomouc, p.o.
U Hradiska 42/6 | 779 00 Olomouc | Česká republika
kalabek@ac-olomouc.cz

Mgr. Petr Koscelník

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
pkosceln@kar.zcu.cz

RNDr. Aleš Létal, Ph.D.

Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita
Palackého v Olomouci
17. listopadu 12 | 771 46 Olomouc | Česká republika
ales.letal@upol.cz

Prof. Mgr. Jiří Macháček, Ph.D.

Ústav archeologie a muzeologie FF MU
A. Nováka 1 | Brno | Česká Republika
machacek@phil.muni.cz

Mgr. Ondřej Malina, Ph.D.

Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Lokti
Kostelní 81 | 357 33 Loket | Česká Republika
Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
omalin@seznam.cz, malina@loket.npu.cz

Mgr. Jan Martínek

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. - Divize rozvoje
dopravy
Krapkova 3 | 779 00 Olomouc | Česká republika
e-mail: jan.martinek@cdv.cz

PhDr. Petr Menšík, Ph.D.

Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
mensik.p@email.cz

Dr. Peter Milo

Ústav archeologie a muzeologie FF MU
A. Nováka 1 | Brno | Česká Republika
101090@mail.muni.cz

PhDr. Jaroslav Peška, Ph.D.
Archeologické centrum Olomouc, p.o.
U Hradiska 42/6 | 779 00 Olomouc | Česká republika
peska@ac-olomouc.cz

Mgr. Jindřich Plzák
Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
plzakj@kar.zcu.cz

Mgr. Filip Prekop
Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Lokti
Kostelní 81 | 357 33 Loket | Česká republika
prekop@loket.npu.cz, prekop82@gmail.com

PhDr. Jan Prostředník, Ph.D.
Muzeum Českého ráje v Turnově
Skálova 71 | 511 0 Turnov | Česká republika
prostrednik@muzeum-turnov.cz

Dr. Brita Ramminger, Ph.D.
Archäologischen Institut der Universität Hamburg
Mittelweg 177 | 20148 Hamburg | Deutschland
britta.ramminger@uni-hamburg.de

Mgr. Lenka Starková, Ph.D.
Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
lstarkov@kar.zcu.cz

PhDr. Daniel Stolz, Ph.D.
Ústav archeologické památkové péče středních Čech
Nižbor – Zámek čp. 260 | 267 05 Nižbor | Česká republika
danielstolz@seznam.cz

Friedel Stratjel
Otto Berger Heimatmuseum
Haus Nr. 62 | Alte Post, Bernhardsthal | Österreich
friedel.stratjel@a1.net

PhDr. Mgr. Petr Šída, Ph.D.
Katedra archeologie ZČU v Plzni
Sedláčkova 15 | 306 14 Plzeň | Česká republika
petrsida@seznam.cz

Mgr. Pavel Šlézar, Ph.D.
Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v
Olomouci
Michalská 3 | 779 00 Olomouc | Česká republika
slezar@olomouc.npu.cz, slezar.pavel@quick.cz

Mgr. Jakub Vrána
Archeologické centrum Olomouc, p.o.
U Hradiska 42/6 | 779 00 Olomouc | Česká republika
vrana@ac-olomouc.cz

Archeologie a letecké laserové skenování krajiny
Archaeology and airborne laser scanning of the landscape

Martin Gojda – Jan John a kolektiv:

Roman Brejcha, Michal Bureš, Ladislav Čapek, Petr Dresler, Jiří Fröhlich, Daniel Hlásek, Lukáš Holata, Marek Kalábek, Petr Koscelník, Aleš Létal, Jiří Macháček, Ondřej Malina, Jan Martínek, Petr Menšík, Peter Milo, Jaroslav Peška, Jindřich Plzák, Filip Prekop, Jan Prostředník, Brita Raminnger, Lenka Starková, Daniel Stolz, Friedel Stratjel, Petr Šída, Pavel Šlězár a Jakub Vrána.

© Martin Gojda – Jan John a autoři kapitol

Katedra archeologie, Filozofická fakulta
Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
Česká republika

Grafická úprava: Jan Hána
Návrh obálky: Jan John
Anglické překlady: Monika Baumanová

1. vydání

ISBN 978-80-261-0194-9

