

ArchaeoMontan 2013

Krušná krajina

Erz(gebirgs)landschaft – Ore Landscape



LANDESAMT
FÜR ARCHÄOLOGIE



Freistaat
SACHSEN



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti

ArchaeoMontan 2013

Mezinárodní konference
Kadaň, 26. až 28. září 2013

*Internationale Fachtagung
Kadaň 26. bis 28. September 2013*



ÚSTAV ARCHEOLOGICKÉ PAMÁTKOVÉ PÉČE
SEVEROZÁPADNÍCH ČECH MOST
veřejná výzkumná instituce

LANDESAMT
FÜR ARCHÄOLOGIE



Freistaat
SACHSEN

Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege Beiheft 28



HERAUSGEBER:
LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN
ZUR WETTERWARTE 7 · D-01109 DRESDEN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt mit finanzieller Unterstützung von:



Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti



Ziel 3 | Cíl 3
Ahoj sousede, Hallo Nachbar.
2007-2013. www.ziel3-cil3.eu

Herausgegeben von Regina Smolnik

Redaktion:

Petr Lissek, Petr Hrubý, Radim Šolc, Petr Karlíček, Yves Hoffmann, Lucie Harasim, Jitka Hříčková und Klára Kovaříková

Bildbearbeitung:

Jiří Beran

Satz, Gestaltung, Herstellung:

Jiří Beran

Produktion:

Chráněná grafická dílna Slunečnice

© Landesamt für Archäologie Sachsen · Dresden 2014

<http://www.archaeologie.sachsen.de>

<http://www.archaeomontan.eu>

info@lfa.sachsen.de; Tel.: 0049 (0)351/ 8926-603

Alle Rechte vorbehalten.

Jegliche Vervielfältigung einschließlich fotomechanischer und digitalisierter Wiedergabe nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren eigenverantwortlich.

Printed in Czech Republic: ISBN 978-3-943770-14-8 · ISSN 0138-4546

Inhalt / Obsah

REGINA SMOLNIK	JIŘÍ CRKAL, MARTIN VOLF
Předmluva/Vorwort 5	Počátky města Přisečnice 95
	Anfänge der Stadt Preßnitz (Přisečnice) 103
PETR LISSEK, OLDŘICH HOLEŠINSKÝ	JAROSLAV KLOUB
Letecké laserové skenování referenční oblasti projektu	Pozůstatky železářské výroby v údolí Černé vody 109
ArchaeoMontan 7	Überreste der Eisenproduktion im Tal des Schwarzwassers 115
Airborne Laserscanning des Referenzgebietes des Projektes	
ArchaeoMontan 14	MARTIN VOLF
	Historická zmínka o tzv. Křimovském újezdě v zrcadle
MICHAL URBAN, ONDŘEJ MALINA	archeologických pramenů 121
Strukturní pozice greisenových žil v blatenském	Historische Nachrichten über das sogenannte Besitztum Kríma
masívu v Krušných horách 19	im Spiegel archäologischer Quellen 129
Strukturelle Positionen der Greisengänge im Plattener Massiv	
im Erzgebirge 25	PETR PLACHÝ, MICHAL B. SOUKUP, JOSEF VEČEŘA
	Stopy středověké těžby v horách nad Osekem, okres Teplice 137
VLADIMÍR BRŮNA, JAN PACINA	Spuren des mittelalterlichen Bergbaus im Gebirge über Osseg (Osek),
Role geotechnologií v montánní archeologii 31	Kreis Teplitz (Teplice) 142
Die Rolle von Geotechnologien in der Montanarchäologie 38	
RENGERT ELBURG, FANET GÖTTLICH, HEIDE HÖNIG, THOMAS REUTER	PETR HRUBÝ
Montanarchäologie und Dokumentation an der Nordseite des	K periodizaci počátku rané exploatace drahých kovů
Erzgebirges – Ein Arbeitsbericht 43	na Českomoravské vrchovině 147
Montánní archeologie a dokumentace na severní straně Krušných hor –	Zur Periodisierung des Beginns der frühen Ausbeute von Edelmetallen
pracovní zpráva 50	in der Böhmischem-Mährischen Höhe 151
CHRISTIANE HEMKER, IVONNE BURGHARDT, HEIDE HÖNIG	HAUKE KENZLER
Annaberg revisited – Archäologische Beobachtungen zum	Bergbau und Kolonisation. Die Rolle des Montanwesens innerhalb
Altbergbau in Annaberg 55	der mittelalterlichen Besiedlungsgeschichte des Erzgebirges 157
Annaberg revisited – Archeologické průzkumy k historické těžbě	Hornictví a kolonizace. Role hornictví ve středověkém osídlení
ve městě Annabergu 64	Krušných hor 163
EVA ČERNÁ	JAN FROLÍK
Archeologie Krušných hor – výpověď hmotných pramenů	Doklady hornické činnosti v areálu Jezuitské koleje v Kutné Hoře
k dějinám města Přisečnice 69	(Předběžná zpráva) 169
Archäologie des Erzgebirges – Aussagen der materiellen Quellen	Belege der Bergbautätigkeit auf dem Gelände des Jesuitenkollegs
zur Geschichte der Stadt Preßnitz (Přisečnice) 77	in Kuttendorf (Zwischenbericht) 175
MAREK PŮLPÁN, JAN BLAŽEK	PETR BOHDÁLEK, VLADIMÍR ŠREIN, MARTIN ŠTASTNÝ,
Výšinná lokalita z doby bronzové a železné v Místě,	LEONA BOHDÁLKOVÁ
okr. Chomutov. Zpráva z výzkumu v roce 2013 83	Podlesice – geochemický záznam polykulturní historie v aluvii
Eine Höhensiedlung aus der Bronze- und Eisenzeit in Platz (Místo),	Třebčického potoka 179
Kreis Komotau (Chomutov). Forschungsbericht 2013 89	Podletitz – geochemischer Pfad der polykulturellen Geschichte im
	Alluvium des Fließgewässers Třebčický potok 184

VLADIMÍR ŠREIN, PETR BOHDÁLEK, BLANKA ŠREINOVÁ	
Stříbro z lokality Kremsiger	189
<i>Silber vom Standort Kremsiger</i>	194

EVA BŘÍZOVÁ	
Rašeliniště Krušných hor jako archivy pro studium vlivu člověka na přírodní prostředí	199
<i>Erzgebirgische Mooregebiete als ein Archiv zum Studium der menschlichen Auswirkungen auf die Natur</i>	204

EMILIA TCHERKEZOVA, HRISTO POPOV, ALBRECHT JOCKENHÖVEL	
LiDAR-Daten zur Unterstützung der montanarchäologischen Untersuchungen am spätbronzezeitlichen Goldbergwerk Ada Tepe (Stadt Krumovgrad, Rhodopen/Südostbulgarien) ...	209
<i>LiDAR – data, podporující montánně archeologické průzkumy zlatého dolu z pozdní doby bronzové Ada Tepe (město Krumovgrad, Rodopy/jihovýchodní Bulharsko)</i>	217

Anhang

Autorenverzeichnis/Seznam autorů	223
Abbildungsnachweis/Seznam vyobrazení	225

Předmluva / Vorwort

Již téměř dva roky je projekt *ArchaeoMontan*, podpořený z programu Ziel3/Cil 3, stejně tak dobře zavedený v česko-saském pohraničí, jako ve vědeckém světě, který se zabývá středověkým hornictvím. Důsledná a angažovaná realizace projektu má významnou odezvu a odráží se i v intenzivním zpravodajství médií.

V tomto sborníku Vám předkládáme příspěvky druhé mezinárodní konference projektu *ArchaeoMontan*, která se konala ve dnech 26.-28. září 2013 v severočeské Kadani. Pořadatelé této konference byli čeští projektoví partneři z Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech, kteří připravili rozsáhlý program.

Příspěvky se většinou zabývaly referenčním územím, prvními zajímavými výsledky projektu a postupem výzkumu z hlediska různých vědních oborů, ale také dalšími montánními oblastmi. Středem pozornosti byly především archeologie, historické bádání, průzkum pramenů, geovědy a jejich interdisciplinární spolupráce v rámci projektu. Byla představena dokumentace, zpracovávaná v rámci projektu na vysoké úrovni pro referenční území v Česku a v Sasku.

Na konferenci se hovořilo i o využití moderních metod průzkumu a dokumentace, jako je laserové skenování (Airborne Laserscanning), analýzy pomocí geografických informačních systémů a využití geochemických a archeobotanických výzkumů. Zajímavá byla analýza hmotné kultury a pozůstatků bývalých výrobních areálů. Přesný pohled na druh a složení archeologických nálezů vytváří nové otázky a to i z pohledu montánní archeologie.

Movité nálezy a pozůstatky těžby a zpracování rud ukázaly jejich velkou a nevyčerpatelnou vědeckou hodnotu. Diskuse k nim ale nemohou být vedeny bez zohlednění, nebo dokonce i nového hodnocení historických skutečností. Historické bádání a archeologie se navzájem doplňují a představují impulsy pro další výzkumy.

Pořadatelé z Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech v Mostě připravili pestrý a poutavý program. Všem spolupracovníkům, především paní Kláře Kovaříkové a celému kolek-

Seit nunmehr zwei Jahren ist das Ziel 3/Cil 3-Projekt *ArchaeoMontan* am Start und in der sächsisch-tschechischen Grenzregion ebenso gut eingeführt wie in der wissenschaftlichen Welt, die sich mit der Überlieferung des Bergbaues im Mittelalter auseinandersetzt. Die Resonanz auf die konsequente und engagierte Umsetzung des Projektgedankens ist erheblich und schlägt sich auch in einer intensiven Berichterstattung in den Medien nieder.

Mit dem jetzt erschienenen Band werden die Beiträge der 2. internationalen Fachtagung des *ArchaeoMontan*-Projektes, die vom 26.-28. September 2013 im nordböhmischen Kadaň (Kaaßen) stattfand, vorgelegt. Verantwortlich für die Tagung zeichneten die tschechischen Projektpartner vom Institut für archäologische Denkmalpflege in Most (Brüx) (Ústav archeologické památkové péče severozápadních Čech), die ein umfangreiches Programm zusammengestellt hatten.

Die meisten Beiträge beschäftigen sich unmittelbar mit dem Arbeitsgebiet, den ersten beeindruckenden Projektergebnissen und der Herangehensweise aus der Sicht verschiedener Wissenschaften, aber auch mit weiteren Montangebieten. Im Mittelpunkt standen dabei besonders die Archäologie, die Geschichts- und Quellenforschung sowie die Geowissenschaften und ihr spartenübergreifendes Zusammenspiel im Rahmen des Projektes. Vorge stellt werden die im Projekt durchgeführten Dokumentationen und auf hohem Niveau durchgeführten Erfassungen in den Referenzregionen in Sachsen und Tschechien.

Dargestellt wird der Einsatz moderner Prospektions- und Dokumentationsmethoden wie Airborne Laserscanning und GIS-Analysen ebenso wie der Einsatz geochemischer und archäobotanischer Untersuchungen. Besonders beeindruckend stellt sich die Analyse der materiellen Kultur und der Überreste einstiger Produktionsstätten dar. Der genaue Blick auf die Art und Zusammensetzung der archäologischen Funde gibt neuen Fragestellungen, auch aus montanarchäologischer Sicht, Raum.

Die Bodenfunde und Überreste von Erzförderung und -verarbeitung haben gezeigt, welch ein großer

LiDAR-Daten zur Unterstützung der montanarchäologischen Untersuchungen am spätbronzezeitlichen Goldbergwerk Ada Tepe (Stadt Krumovgrad, Rhodopen/Südostbulgarien)

Einführung

Das luftgestützte Laserscanning (engl. Airborne Laser-scanning – ALS, bekannt auch als Light detection and ranging – LiDAR) hat sich in den letzten Jahren als oft verwendetes Verfahren zur Vermessung von Geländetopografie, Landschaftsoberflächen und -strukturen etabliert. Es bietet hohe vertikale Genauigkeit, flächendeckende Effektivität und Kostengünstigkeit bei der Befliegung und dient zur Erstellung von hoch detaillierten digitalen Gelände-, Landschafts- und Bebauungsmodellen. Der ALS-Einsatz ermöglicht Gewinnung und Erfassung von umfassenden digitalen Daten über die Erdoberfläche, auch in bewaldeten und schwer zugänglichen Gebieten (Bofinger 2007, 16). Die auf der Basis von Laserdaten gerechneten digitalen Höhen- und Oberflächenmodelle (DHM; DOM) sind wichtige Grundlagen zur Errechnung von verschiedenen geomorphometrischen Parametern und Variablen, morpho- und hydrografischen Elementen der Erdoberfläche sowie auch zur Modellierung von verschiedenen Prozessen, z. B. Erosion, Disposition, Bergstürze, Oberflächen- und Grundwasserabfluss. Aus diesem Grund werden diese Modelle in vielen Fachdisziplinen, wie z. B. Geomorphologie, Landschaftsökologie, Landschafts- und Stadtplanung, Archäologie u. a. verwendet (Tcherkezova 2012b).

Die Hauptschwerpunkte des LiDAR-Einsatzes in der Archäologie liegen meistens auf der archäologischen Prospektion in Waldgebieten (Devereux u.a. 2005; Doneus/Briese 2006; Risbol u.a. 2006; Sittler/Schellberg 2006; Sittler u.a. 2007; Crow u.a. 2007; Doneus u.a. 2008), auf geoarchäologischen Prospektionen und ihren Auswertungen (Challis 2005, 2006; Challis u.a. 2006; Carey u.a. 2006), auf der Identifizierung und Beschreibung von archäologisch relevanten Strukturen, wie z. B. Resten von Siedlungen, Ackerfluren, Steinbrüchen, Altwegen (Challis u.a. 2008), archäologischen Stätten, Artefaktstreuungen usw. (Štular 2011). ALS-Daten werden zunehmend in montanarchäologischen Untersuchungen verwendet (z. B. Albrecht 2011; Hemker 2011; Päßgen 2011; Tcherkezova 2012a, 2012b).

Die meisten Arbeiten inklusive einige montanarchäologischen Untersuchungen konzentrieren

sich auf Errechnung von Schummerungsmodellen und ihre visuelle Interpretation (z. B. Albrecht 2011; Hemker 2011; Päßgen 2011). Ein Schummerungsmodell stellt die Abbildung der Geländeoberfläche unter verschiedenen Belichtungswinkeln dar. Es ermöglicht eine visuelle Darstellung der Erdoberfläche, auf deren Grundlage markante Strukturen und Elemente des Reliefs visuell erkannt werden können. Außerdem wird das Schummerungsmodell oft als Kartengrundlage verwendet.

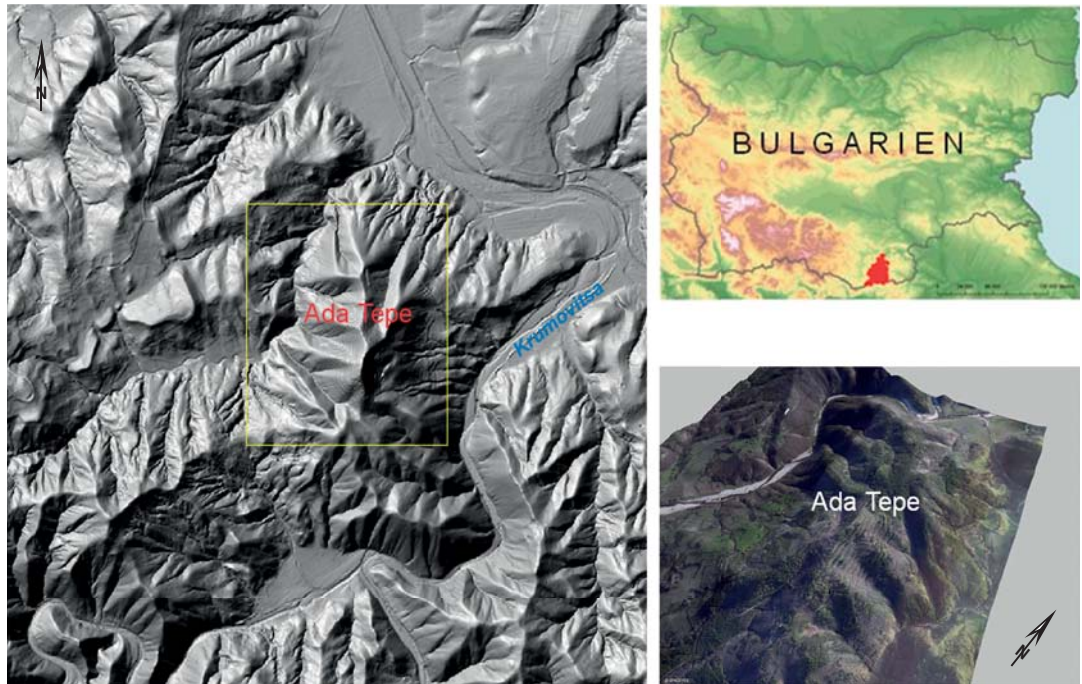
Wenige Arbeiten in der geoarchäologischen Forschung widmen sich anderen Methoden der digitalen Bearbeitung des LiDAR-digitalen Höhenmodells. Hesse verwendet Tiefpassfilter (engl. low pass filter), um eine räumliche Auflösung (Kernel-Größe von 25 m) des DHM zu bestimmen. Das Ziel ist die Ableitung von bekannten und die Identifizierung von unbekannten archäologischen Merkmalen (Hesse 2009, 636). Zur Gewinnung von neuen archäologisch relevanten Informationen aus LiDAR-DHM extrahiert Štular (2011) einige geomorphometrische Variablen und Indices, z. B. topografischer Bodenfeuchteindex und den sogenannten Sky View Factor. Mit Hilfe der Fuzzylogik (engl. fuzzy logic) identifizierte Tcherkezova (2012b) morphografische Einheiten von der Höhe des Ada Tepe, dem Untersuchungsobjekt: Höhen, Kämme, Flusswege, ebene Bereiche und Niederungen/Gruben. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fuzzylogik eine geeignete Methode zur Ermittlung morphografischer Einheiten ist und mit anderen geomorphologischen Methoden kombiniert werden kann (Tcherkezova 2012b).

Die Hauptziele des LiDAR-Teilprojektes im Rahmen der geoarchäologischen Untersuchung des spätbronzezeitlichen Goldbergwerkes auf dem Ada Tepe sind:

1. Vollständige Aufnahme und Dokumentation der Forschungsregion und der angrenzenden Gebiete vor Beginn des kommerziellen Goldabbaus zwecks „virtueller Erhaltung“, da die Bergkuppe in der nächsten Zeit abgetragen wird,
2. Erfassung und Interpretation aller erkennbaren Anomalien im ständigen Abgleich mit den lau-

Abb. 1. Untersuchungsgebiet „Ada Tepe“. Links: LiDAR-Scan; rechts oben: Lage in Bulgarien; rechts unten: 3-D-Modell.

Obr. 1. Zájmové území „Ada Tepe“. Vlevo: Snímek LiDAR; vpravo nahoře: Poloha v Bulharsku; vpravo dole: trojrozměrný model.



fenden archäologischen und geologischen Forschungen,

3. Analyse des DHM zwecks Extrahierung und Regionalisierung von geomorphologisch relevanten morphometrischen Variablen und morphografischen Merkmalen,
4. Unterschiedliche Modellierungen.

Spezielle Ziele sind dazu Untersuchungen zur Ausdehnung und Intensität des Bergbaues (sichtbare Bergbauspuren), zur Haldenausdehnung (2-D), zur Berechnung der Haldenkubaturen und -volumina und des Verhältnisses von Haldenmenge zum Goldgehalt (Grundlage: bereits durchgeführte Bestimmung des noch in dem Haldenmaterial vorhandenen goldhaltigen Quarzes), das heißt Untersuchungen zur Kapazität des Bergbaus (wie kalkulierbare Ausbeute); Erfassung der Infrastruktur (Siedlung, Wasserversorgung, Kommunikationsnetz [Altwege] u. a.).

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse vorgestellt, die zur Unterstützung der Topografie des Untersuchungsgebietes sowie zur Analyse der rezenten geomorphologischen Situation dienen. Es werden methodische Fragen der Bearbeitung und Auswertung der LiDAR-Daten für das Goldbergwerk auf dem Berg Ada Tepe behandelt. Das Ziel ist es, festzustellen inwieweit das luftgestützte Laserscanning zur Erkennung und Beurteilung archäologisch und geomorphologisch relevanter Geländemerkmale beträgt. Solche Merkmale können Geländekanten, im Relief ausgeprägte archäologische Strukturen (z. B. Tagebaustrukturen) sowie morphometrische Variablen und morphografische Elemente sein.

Untersuchungsgebiet

Lage

Das spätbronzezeitliche Goldbergwerk liegt in den östlichen Rhodopen Südostbulgariens etwa 3 km entfernt von der Stadt Krumovgrad (Bez. Kardzhali) (Koordinaten: 41° 24' 55.8" – 41° 27' 41.184" nördlicher Breite; 25° 37' 18.372" – 25° 40' 45.0114" östlicher Länge) und gehört dem Einzugsgebiet des Flusses Krumovitsa (Abb. 1).

Geologie und Mineralogie

Das Relief des Untersuchungsgebietes ist durch einen komplizierten geologisch-tektonischen Aufbau gekennzeichnet. Einen großen Teil der geologischen Untergrunds bilden die metamorphen Gesteine des sogenannten Kessebir-Domes (Kozhukharov u.a. 1988). Dieser Komplex besteht aus zwei Hauptgruppen: Gruppe der Gneis-Migmatite und Gruppe aus verschiedenen Gesteinen (engl. Variegated Complex). Die Gruppe der Gneis-Migmatite ist von vulkanischen Gesteinen vertreten, wie z. B. Metagranite und Migmatite, welche aus pelitischen Gneisen und Amphiboliten bestehen (Marchev u.a. 2004, 63). Diese Gruppe ist überdeckt von dem sogenannten „Variegated“-Komplex (pelitischer Schiefer, Paragneise, Amphibolite, Marmore und Ophiolit-Körper [Kozhukharova 1984; Kolcheva/Eskenazi 1998]). In der Krumovgrad-Region liegt diese Gruppe unter der sogenannten Shavarofo-Formation (Maastricht-Paläozän) (Goranov/Atanasov 1992), die wiederum von den oberen eozänen und unteren oligozänen



Abb. 2. Ada Tepe. [a] Blick auf Ada Tepe von Nordwesten; [b-g] montanarchäologische und archäologische Befunde und Funde (Späte Bronzezeit; ca. 15. –12. Jh. v. Chr.): [b] Osthang. Abbaustrukturen. Pinge Nr.1; [c] Südwesthang. Galerie mit Abzweigungen; [d] Gipfel. Reste einer Befestigungsmauer mit dahinter liegenden Hausstrukturen; [e] Kügelchen einer Goldschmelze vom Gipfelbereich; [f] Nordosthang. Spätbronzezeitliche Gefäße in situ in einem der freigelegten Häuser; [g] Osthang. Haldenreste.

Obr. 2. Ada Tepe. [a] Pohled na lokalitu Ada Tepe od severozápadu; [b-g] montáně-archeologické a archeologické movité a nemovité nálezy (pozdní doba bronzová; cca. 15.–12. stol. před Kristem) [b] východní svah. Struktury těžby. Píňka č. 1; [c] jihozápadní svah. Galerie s rozvětvením; [d] vrchol. Zbytky opevnění a za ní se nacházející pozůstatky objektů; [e] Kulička z tavby zlata z vrcholové části; [f] severovýchodní svah. Nádobý z pozdní doby bronzové in situ v jednom z odkrytých objektů; [g] východní svah.

lithologischen Formationen überlagert wird (Marchev u.a. 2004, 63).

Die Goldlagerstätte am Ada Tepe befindet sich in der maasricht-paläozänen Shavarovo-Formation (Marchev u.a. 2004, 63) an der Grenze des sedimentären Komplexes zum darunter liegenden metamorphen Komplex. Diese Grenze ist durch das sogenannte „detachment fault“ definiert. Außerdem tritt Gold in zahlreichen Quarzgängen der sedimentären Ablagerungen auf der heutigen Kuppe auf. Diese reichen Goldablagerungen sind durch das aufsteigende hydrothermale Wasser entstanden (Baltov/Donchev 2012). Die quartären Ablagerungen sind weit verbreitet. Sie stellen den oberen Teil der Verwitterungszone dar und bestehen aus eluvialen, kolluvialen und alluvialen Materialien (Tcherkezova 2012b).

Archäologie

Die archäologischen Untersuchungen an Ada Tepe haben bisher eine zwölf Jahre lange Geschichte (Popov u.a. 2011a, 116–124). Doch wurde das Objekt als bedeutende montanarchäologische Stätte erst im Jahre 2005 erkannt. Seitdem haben sich die Forschungsperspektiven im Rahmen eines von der Alexander von Humboldt-Stiftung (Bonn) geförderten deutsch-bulgarischen montanarchäologischen, kleinen Forschungsprojektes 2008–2009 interdisziplinär weiter entwickelt (Popov u.a. 2011b, 257–258, 271–284). Die Rahmenbedingungen veränderten sich grundlegend im Jahre 2010, als ein Rahmenvertrag für Notgrabungen im Rahmen des Verursacherprinzips zwischen der Goldbergbaufirma Balkan Mine-

ral and Mining (BMM, Sofia) und dem Nationalen Archäologischen Institut mit Museum der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften, Sofia wegen der vom bulgarischen Staat an BMM vergebenen Goldabbaukonzession am Ada Tepe geschlossen wurde. Die ausgedehnten Feldforschungen wurden im Sommer des Jahres 2013 abgeschlossen. In den Forschungskampagnen 2010–2012 wurden bereits grundlegende Information über den alten Goldbergbau an Ada Tepe und über die ihn begleitenden menschlichen Aktivitäten gewonnen (Abb. 2). Sie liegen diesem Beitrag, der auf der Tagung Dippoldswalde 2012 vorgetragen wurde, zugrunde.

Laut aktuellem Forschungsstand begannen die ersten Bergbauaktivitäten am Ada Tepe am Beginn der Spätbronzezeit (frühes 15. Jh. v. Chr.). Der Bergbau wurde vornehmlich als Tagebau in verschiedenen Bereichen der Ost- und Westhänge und des Gipfels praktiziert (Abb. 2 [b, g]). Unterirdische Abbaufverfahren waren eher eine Ausnahme (Abb. 2 [c]). In späteren Phasen der Spätbronzezeit dehnte sich in den oberen Bereichen der Anhöhe eine den Bergbau begleitende Besiedlung (mit einer Teilbefestigung: Abb. 2 [d]), planmäßig aufgebaute Siedlungsbereiche u.a.: Abb. 2 [f]). Zu den wichtigsten Befunden gehören auch Arbeitsplätze für die Aufbereitung des gewonnenen Golderzes; es konnte sogar eine kleine Kugel einer Goldschmelze gefunden werden (Abb. 2 [e]). In Bezug auf die relative und absolute Chronologie (AMS-Radiocarbon-Datierungen) des gesamten Bergwerkskomplexes kann man derzeit sagen, dass der spätbronzezeitliche Goldbergbau an

Ada Tepe sich kontinuierlich vom 15. bis zur Mitte des 11. Jh. v. Chr. entwickelte. Seit dem Beginn der Älteren Eisenzeit (Ende des 11. – Anfang des 10. Jh. v. Chr.) verändert sich die Situation jedoch wesentlich. Der Umfang der Besiedlung reduzierte sich und die Bergbau- und Erzaufbereitungsaktivitäten werden immer spärlicher, bis der Bergbau und die Siedlung gegen Ende des 10. Jh. v. Chr. aufgegeben wurde (bis heute, 2012, fand kein Nachfolgebergbau an dieser außerordentlich reichen Goldlagerstätte statt!). Einige Jahrhunderte später entstand gegen Ende des 4. Jh. v. Chr. auf dem Gipfel des Ada Tepe ein kleines Heiligtum (temenos), das bis zum Ende des 1. Jh. v. Chr. existierte (Popov/Jockenhövel 2011, 271–280).

Heutzutage stellt das Ada Tepe-Goldbergwerk eine der wenigen gesicherten Edelmetallquellen der bronzezeitlichen Welt Südosteuropas am Nordrand der ägäischen Welt dar. So kann es eine potentielle Goldquelle für die zeitgleichen Goldfunde Südosteuropas und der ägäischen Welt (und darüber hinaus) sein.

Daten und Methodik der LiDAR-Auswertungen

In der Forschungsstrategie spielen die LiDAR-Untersuchungen am Ada Tepe eine wichtige Rolle. Das LiDAR-Scannen war ein wichtiger Bestandteil für die Strategie der Feldforschungen, welche für die Notgrabungen am Ada Tepe in den folgenden Kampagnen ein informationsreiches Abbild bieten sollten. So wurden in der ersten Forschungsetappe im Jahre 2010–2011 auch großflächige geophysikalische Untersuchungen (Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Prof. Dr. Rainer Herd [mit Georadar: Dr. Hellfried Petzold, Potsdam]), systematische Feldprospektionen, Kartierungen und Sondageschnitte in verschiedenen Bereichen der Anhöhe durchgeführt (NAIM-BAW, Sofia [Dr. Hristo Popov]; Westfälische Wilhelms-Universität, Münster [Prof. Dr. Albrecht Jockenhövel]).

Im Dezember 2010 wurde das Untersuchungsgebiet mit dem luftgestützten Laserscanner TopEye LRF 2 von der Firma Blom Bulgaria EOOD dreidimensional erfasst (Blom Bulgaria EOOD 2010). Das beflogene Gebiet deckt eine Fläche von 25 km² ab und umfasst die Anhöhe des Ada Tepe und seiner näheren Umgebung (Abb. 1, links). Das Laserscanning lieferte eine Dichte von 25 Punkten/m², eine relative Höhengenaugigkeit von 4 cm und eine relative Lageposition von 6 cm. Die Laserdaten wurden in LAS-Format nach räumlichen Kriterien (300x300

m Kacheln) geliefert. Für jeden Punkt enthalten die Laserdaten x-, y-, z-Koordinaten sowie Daten über die Intensität, den Laserscannwinkel und die Zeit ihrer Aufnahme. Diese Daten wurden mit Hilfe der Open Source Software SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) bearbeitet, in deren Umgebung aus den Punktwolken digitale Höhen- und Oberflächenmodelle (DHM; DOM) mit verschiedener Auflösung (20x20 cm, 1x1 m und 5x5 m) hergestellt und analysiert werden (Tcherkezova 2012a, 2012b).

Das methodische Vorgehen in dieser Arbeit basiert ausschließlich auf einer Analyse der Laserdaten und den generierten DHM. Die Orthophotos werden nur für die visuelle Darstellung der Ergebnisse verwendet. Mit der Filterung des digitalen Höhenmodells durch neigungsbasierten DHM-Filteralgorithmus und durch Filteralgorithmen Laplace und ‚Simple‘ (Edge) sowie der anschließenden Merkmalsextraktion und der digitalen geomorphometrischen Analyse lässt sich das methodische Vorgehen in folgenden Schritte einteilen:

- a. Importieren der ALS-Daten und Visualisierung der Punktwolken,
- b. Generierung von DHM und DOM für alle Kacheln,
- c. Filterung der digitalen Höhenmodelle der einzelnen Kacheln,
- d. Extraktion von im Relief der Erdoberfläche ausgeprägten geomorphologischen und archäologischen Strukturen sowie von morphometrischen Variablen und morphografischen Einheiten.

Vorläufige Ergebnisse

Das Open Source Software SAGA GIS ermöglicht den Import und Visualisierung von Laserscannerdaten in LAS-Format als Punktwolken. Aus den Punktwolken wurden digitale Höhen- (DHM) und Oberflächenmodelle (DOM) für jede Kachel generiert, die danach in einem für das Untersuchungsgebiet gesamten DHM und einem DOM in einer räumlichen Auflösung von 0,2x0,2m, 1x1m und 5x5 m zusammengefasst wurden. Für die Analyse der geomorphologischen und archäologischen Strukturen wurde das digitale Höhenmodell mit der Auflösung 20x20 cm für jede Kachel verwendet.

Die Laplace- (engl. ‚Laplacian‘) und ‚Simple‘-Filterungen des DHM wurden zur Identifizierung von markanten Höhenveränderungen und Geländekanten eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch diese Vorgehensweise sowohl archäologi-

sche als auch Geländestrukturen, wie z. B. Erosionsrinnen, Wege und Geländekanten identifiziert und extrahiert werden konnten (Abb. 3; 4). Die identifizierten Strukturen sind neu erkannte lineare Strukturen (Abb. 3), welche jedoch keinen Zusammenhang mit dem spätbronzezeitlichen Goldbergwerkes haben.

Weiter wurden im Relief ausgeprägte archäologische Strukturen, sonstige Geländestrukturen und Merkmale der Infrastruktur (z. B. Wege) mit Hilfe der Laplace-Filterung erkannt (Abb. 4). Es handelt sich um den offen zu Tage liegenden Stollen eines kleineren Untertagebaus (sogenannte Galerie) am Westhang des Ada Tepe mit in seiner Nähe liegenden Gesteinsstrukturen, Bündeln von parallel verlaufenden Erosionsrinnen, Wegen, Verlauf von archäologischen und geologischen Sondageschnitten.

Das Ziel des zum Einsatz kommenden neigungs-basierten DHM-Filteralgorithmus besteht in einer Klassifikation aller im Relief der Erdoberfläche ausgeprägten Strukturen. Aufgrund dieses Verfahrens wurden auch solche Strukturen erkannt, die nicht zur ursprünglichen Geländeoberfläche gehören. Es handelt sich z. B. um Steine, die während der Vorbereitung der Gelände für die Ausgrabungen gesammelt und am Rand der Wege abgelegt wurden (Abb. 4, rote Linien). Durch diese Vorgehensweise konnte ein verbessertes DHM hergestellt werden.

Die morphometrischen Eigenschaften der Erdoberfläche können durch geomorphometrische Merkmale qualitativ beschrieben werden. In der Literatur werden sie als lokale (z. B. Neigung, Exposition, Wölbung) und komplexe (z. B. Bodenfeuchteindex) Merkmale beschrieben (Kleefisch/Köthe 1991; Moore u.a. 1995). Im Rahmen der geoarchäologischen Untersuchungen wurden solche geomorphometrischen Merkmale und morphografischen Elemente abgeleitet, welche die laufenden geomorphologischen Arbeiten im Rahmen des Projektes nachhaltig unterstützen. Von prioritären Bedeutung sind die lokalen geomorphometrischen Merkmale, wie Hangneigung und Wölbung. Während die Neigung den Winkel zwischen der Horizontalebene und dem jeweiligen Bezugspunkt bezeichnet, wird die Wölbung mit Hilfe der horizontalen und vertikalen Wölbungskomponente erfasst (Dikau 1988, 11). Für diese beiden Komponenten werden konkave, konvexe, gestreckte und gerade Wölbungsrichtungen unterschieden, welche eine Klassifikation der Formelemente nach Vertikal- und Horizontalwölbung erlauben (Dikau 1988, 25 Abb. 6):

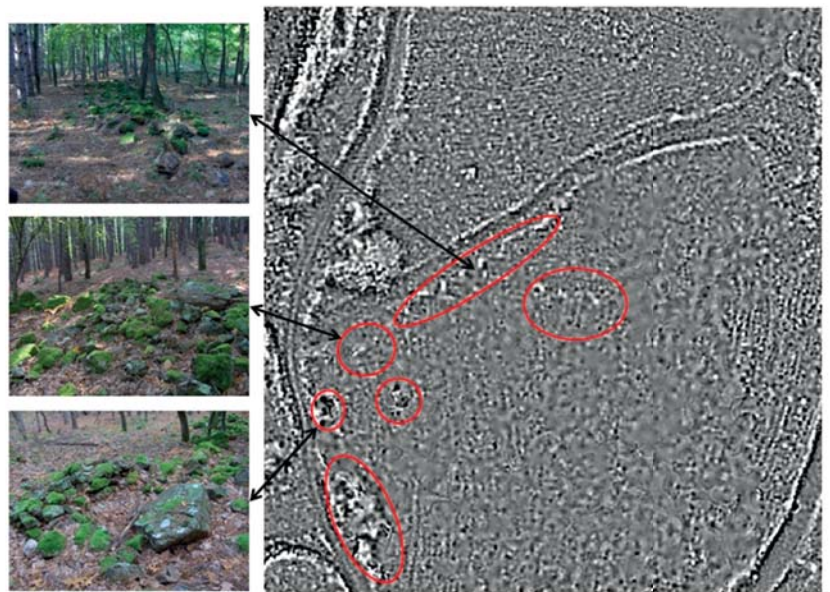


Abb. 3. Ada Tepe, mittlerer Osthang. Im Wald erkannte Gesteinsstrukturen (DHM-Filterungsmethode – Laplace Filter).

Obr. 3. Ada Tepe, střední část východního svahu. Horninové struktury, rozeznané v lese (metoda filtrování DHM – filtr Laplace).

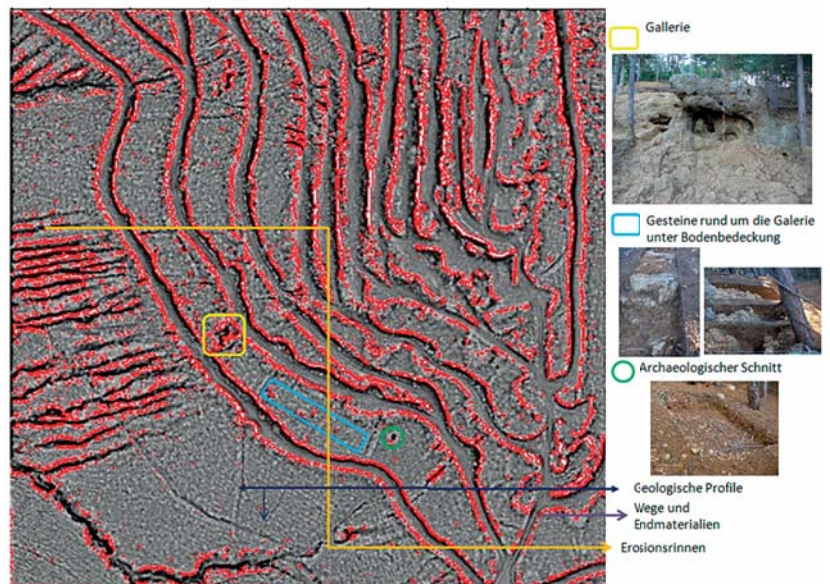


Abb. 4. Ada Tepe, mittlerer Westhang. Laplace-gefiltertes digitales Höhenmodell der Kachel 304 (graue Farbe) und neigungs-basierte Filterung (rote Linien) als Grundlage für Identifizierung archäologischer Strukturen und Geländekanten.

Obr. 4. Ada Tepe, střední část západního svahu. Digitální výškový model dlaždice 304 (šedě), filtrovaný pomocí filtru Laplace, filtr na bázi svahitosti.

- X/X – konvexe/konvexe,
- GE/X – gestreckte/konvexe,
- V/X – konkave/konvexe,
- X/GR – konvexe/gerade,
- GE/GR – gestreckte/gerade,
- V/GR – konkave/gerade,
- X/V – konvexe/konkave,
- GE/V – gestreckte/konkave,
- V/V – konkave/konkave Wölbung.

Komplexe geomorphometrische Merkmale sind solche, für deren Berechnung mehrere Rasterzellen einbezogen werden (Kleefisch/Köthe 1991).

Im Rahmen der geomorphologischen Analyse sollen an dieser Stelle vier morphometrische Merkmale kurz betrachtet werden (Abb. 5). Die Höhe über der lokalen Erosionsbasis liefert Information über die Rauheit und die relative Höhe des rezenten Reliefs (Abb. 5 [1]). Die Tiefe der Flusstäler und weiteren Wasserrinnen zeigt die Intensität des Gewässernetzes in der Umgebung des Ada Tepe an (Abb. 5 [2]). Der Bodenfeuchteindex ist eine von der Geländetopografie abhängige Größe der theoretischen räumlichen Verbreitung der Bodensättigung und des Sättigungsabflusses (Tcherkezova 2004). Die Bildung von lokalen Sättigungsflächen wird nicht nur von der Topografie, sondern auch vom hydraulischen Gefälle beeinflusst und erfolgt dann, wenn die Speicherkapazität des Bodens überschritten wird (Beven/Kirkby 1979). Der topografische Bodenfeuchteindex wurde verwendet, um nach rezenten Wasserquellen im Gelände zu suchen. Das Ergebnis zeigt deutlich an, dass die räumliche Verbreitung der topografisch bedingten Sättigungsflächen mit dem Auftreten von (für den antiken Goldbergbau und die zugehörige Siedlung außerordentlich wichti-

gen) Wasserquellen zusammenfällt (Abb. 5, [2]). Der Index der Reliefrauheit liefert quantitative Informationen über die Rauheit der Erdoberfläche (Riley u.a. 1999). Die höheren Werte konzentrieren sich in den Bereichen mit starker Hangneigung und anthropogener Belastung (wie Wege) (Abb. 5 [4]).

Die Grundtypen der Reliefformen sowie deren Extrahierung aus dem DHM wurden in der geomorphologischen Literatur mehrmals beschrieben und charakterisiert (z. B. Kleefisch/ Köthe 1991; Köthe/ Lehmeier 1996; Wood 1996; Wilson/Gallant 2000). In dieser Arbeit werden folgende Geländeformen abgeleitet: Kämme, obere Hangbereiche, offene Hangbereiche, Ebenen, Täler, höhere und niedrigere Entwässerungsgebiete, Flüsse.

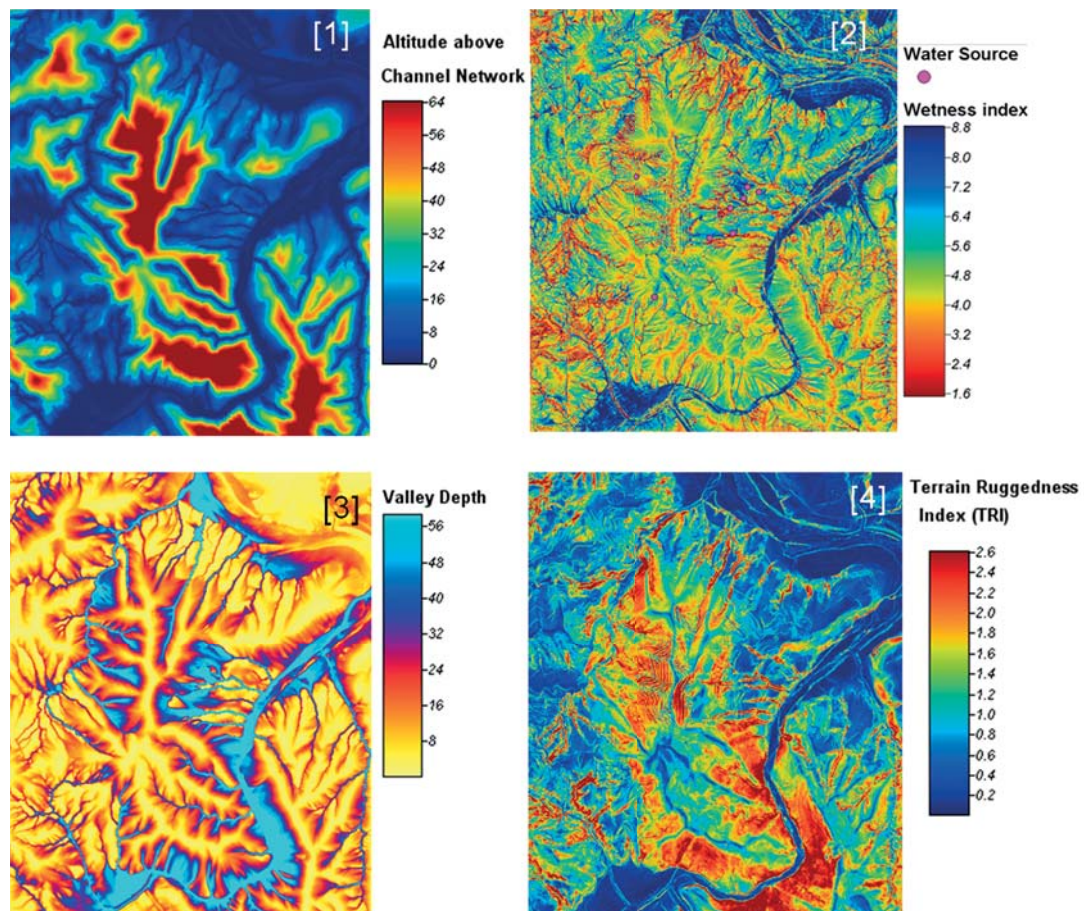
Bei einer weiteren komplexen geomorphologischen Analyse werden die abgeleiteten Variablen und morphografischen Elemente einbezogen, um die rezente geomorphologische Situation noch besser beurteilen zu können.

Zusammenfassung

Das luftgestützte Laserscanning wird immer öfter in der Vermessung von Geländetopografien, Landschaftsoberflächen und -strukturen verwendet. Es dient zur Erstellung von hochdetaillierten digitalen

Abb. 5. Ada Tepe. Komplexe geomorphometrische Merkmale: [1] Höhe über der lokalen Erosionsbasis, [2] Bodenfeuchteindex (mit Lage von rezenten Wasserquellen), [3] Taltiefe, [4] Reliefrauheit.

Obr. 5. Ada Tepe. Komplexní geomorfometrické znaky: [1] Výška nad lokální erozní bází, [2] Index půdní vlhkosti (s polohou recentních vodních zdrojů), [3] Hloubka údolí, [4] Hrubost reliéfu.



Gelände- und Landschaftsmodellen auch in bewaldeten und schwer zugänglichen Gebieten. In diesem Beitrag werden methodische Fragen der Bearbeitung und Auswertung der Laserdaten für das erst im Jahre 2005 erkannte spätbronzezeitliche Goldbergwerk auf dem Berg Ada Tepe (Stadt Krumovgrad, Rhodopen, Südostbulgarien) behandelt, die zur weiteren Identifizierung von archäologischen Strukturen und relevanten geomorphologischen Merkmalen dienen, die besonders die am Ada Tepe bisher durchgeführten terrestrischen Prospektionsmethoden (wie Geophysik, Geoelektrik, Georadar) ergänzen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Anwendung von DHM-Filterungsalgorithmen, wie z. B. des Laplace-Filterungsoperators und des neigungs-basierten Filters, verbesserte Ergebnisse zur Erkennung und Extrahierung der obigen Strukturen (z. B. Tagebaustrukturen, archäologische Stätten, Artefaktstreuung, Infrastruktur, Geländekanten usw.) als eine reine visuelle Interpretation des Schummerungsmodell liefern. Durch einen gezielten geomorphometrischen Ansatz kann aus dem LiDAR-DHM eine Reihe von relevanten geomorphometrischen Merkmalen und morphografischen Einheiten abgeleitet werden, die eine komplexe Analyse der rezenten geomorphologischen Situation ermöglicht und ein komplexes geoarchäologisches Analyseverfahren unterstützt. Die abgeleiteten raumbezogenen Einheiten archäologischer und geomorphologischer Relevanz dienen als Basisgrundlage für weitere Analysen und Bewertungen, z. B. Bewertung der Ausdehnung und der Intensität des antiken Bergbaues am Ada Tepe.

Danksagung

Dieser Beitrag ist Teil des Projektes „Rahmenvertrag zwischen Balkan Mineral and Mining EAD (BMM) und dem Nationalen Archäologischen Institut mit Museum – Bulgarische Akademie der Wissenschaften (NAIM-BAW) zwecks wissenschaftlicher Rettungsforschung des spätbronzezeitlichen und früheisenzeitlichen Goldbergwerkes Ada Tepe (Gemeinde Krumovgrad)“.

Literatur:

- Albrecht 2011: H. Albrecht, Das Welterbe-Projekt Montanregion Erzgebirge und die Archäologie. In: R. Smolnik (Hrsg.), Aufbruch unter Tage. Stand und Aufgaben der montanarchäologischen Forschung in Sachsen. Internationale Fachtagung Dippoldiswalde 9. bis 11. September 2010. Landesamt für Archäologie. Freistaat Sachsen, 53–60.
- Baltov/Donchev 2012: I.T. Baltov/I.J. Donchev, Gold and auriferous ore georesources and processing technologies in Bulgaria. Изд. „Геология и минерални ресурси“, Sofia, 193–181.
- Beven/Kirkby, 1979: K. Beven/M. Kirkby, A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. In: Hydrol. Sci. Bulletin, 24: 43–69.
- Blom Bulgaria EOOD 2010: Blom Bulgaria EOOD. Technical Specification of ALS-scanning of Ada Tepe (unpublished). 2010.
- Bofinger 2007: J. Bofinger, Flugzeug, Laser, Sonde, Spaten. Fernerkundung und archäologische Feldforschung am Beispiel der frühkeltischen Fürstensitze. Regierungspräsidium Stuttgart, Landesamt für Denkmalpflege, (Esslingen a. N. 2007) (deutsch, englisch, http://www.denkmalpflege-bw.de/fileadmin/media/publikationen_und_service/onlinepublikationen/Flugzeug_Laser_Sonde_Spaten_Bofinger.pdf, Zugriff vom 15. Dezember 2010).
- Carey u.a. 2006: C. Carey/ T. Brown / K. Challis, A. J. Howard / L. Cooper, Predictive modelling of multi-period geoarchaeological resources at a river confluence: a case study from the Trent-Soar, UK. In: Archaeological Prospection 13(4), 241–50.
- Challis 2005: K. Challis, Airborne LIDAR: a tool for geoarchaeological prospection in riverine landscapes. In: H. Stoepker (ed.), Archaeological heritage management in riverine landscapes (Rapportages Archeologische Monumentenzorg 126), Amersfoort: Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, 11–24.
- 2006: K., Challis, Airborne Laser Altimetry in Alluviated Landscapes. In: Archaeological Prospection 13, 2006, 103–127.
- Challis u.a. 2006: K. Challis / A. J. Howard / S. N. Smith/ B. R. Gearey / D. Miscrop / C. J. Carey/ Thompson, Using airborne lidar intensity to predict the organic preservation of waterlogged deposits. 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 (British Archaeological Reports International Series 1568), Oxford: Archaeopress, 93–98.
- Challis u.a. 2008: K. Challis/Z. Kokalj/M. Kincey/D. Miscrop/ A.J. Howard, Airborne lidar and historic environment record. In: Antiquity 82, 1055–1064.
- Crow u.a. 2007: P. Crow / S. Benham / B. J. Devereux / G. S. Amable, Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR. In: Forestry, Vol. 80, No. 3. Zugriff vom 26 Nov. 2012 auf: <http://forestry.oxfordjournals.org/content/80/3/241.full.pdf+html>.
- Devereux u.a. 2005: B. Devereux/ G. Amable / P. Crow / A. Cliff, The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies. In: Antiquity 79, 648–660.
- Dikau 1988: R. Dikau, Entwurf einer geomorphographisch-analytischen Systematik von Reliefeinheiten. In: Heidelberger Geographische Bausteine Vol. 5, Heidelberg.
- Doneus / Briesse 2006: M. Doneus / C. Briesse, Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laser-scanning. In: Ioannides / D. Arnold / F. Niccolucci / K. Mania (ed.) VAST 2006: Proceedings of the 7th International Symposium on virtual reality, archaeology and cultural heritage, 30 Oct–4 Nov 2006, Nicosia, Cyprus, Aire-la-Ville: Eurographics Association, 155–162.
- Doneus u.a. 2008: M. Doneus / C. Briesse / C. Fera / M. Janner, Archaeological prospection in forested areas using full-

- waveform airborne laser scanning. In: *Journal of Archaeological Science* 35, Elsevier Ltd., 882–93.
- Goranov/Atanasov 1992: A. Goranov / G. Atanasov, Lithostratigraphy and formation conditions of Maastrichtian-Paleocene deposits in Krumovgrad District. In: *Geol. Balc.*, 22(3), 71–82.
- Hemker, C. 2011, Montanarchäologie und Denkmalpflege in Sachsen. In: R. Smolnik (Hrsg.), *Aufbruch unter Tage. Stand und Aufgaben der montanarchäologischen Forschung in Sachsen*. Internationale Fachtagung Dippoldiswalde 9. bis 11. September 2010. Landesamt für Archäologie. Freistaat Sachsen, 37–48.
- Hesse, R. 2009: Extraction of archaeological features from high-resolution LIDAR data. – 14th International Congress „Cultural Heritage and New Technologies“, Vienna, 2009, 636–642. http://www.academia.edu/1045403/Extraction_of_archaeological_features_from_high-resolution_LIDAR_data.
- Kleefisch/ Köthe 1991: B. Kleefisch/R. Köthe, Wege zur rechnergestützten bodenkundlichen Interpretation digitaler Reliefdaten. In: *Geol. Jb.*, Hannover, 119.
- Köthe/Lehmeier 1996: R. Köthe/F. Lehmeier, SARA – Ein Programmsystem zur Automatischen Reliefanalyse. Benutzerhandbuch UNIX-Version. 2. Auflage, Geogr. Inst. Universität Göttingen.
- Kolcheva/Eskenazi 1998: K. Kolcheva / G. Eskenazy, Geochemistry of metaeclogites from the Central and eastern Rhodope Mountains (Bulgaria). In: *Geol. Balc.*, 18, 61–78.
- Kozhukharov u.a. 1988: D. Kozhukharov / E. Kozhukharova D. Papanikolaou, Precambrian in the Rhodope massif. In: V. Zoubek, (ed.), *Precambrian in Younger Fold Belt*, Chichester, 723–778.
- Kozhukharova 1984: E. Kozhukharova, Origin and structural position of the serpentinized ultrabasic rocks of the Precambrian ophiolitic association in the Rhodope Massif. Geologic position and composition of ophiolite association. In: *Geol. Balc.*, 14, 9–36 (in Russian).
- Marchev u.a. 2004: P. Marchev / B.S. Singer / D. Jeleu / S. Hasson / R. Moritz / N. Bonev, The Ada Tepe deposit: a sediment hosted, detachment fault-controlled, low-sulfidation gold deposit in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria. In: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 84, 59–78.
- Moore u.a. 1995: I.D. Moore / R. B. Grayson / A. D. Ladson, Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. In: K. J. Beven / I. D. Moore (Eds.), *Terrain analysis and distributed modelling in hydrology*. Chichester, N.Y., Brisbane, 7–35.
- Päffgen 2011: B. Päffgen, Montanarchäologie in Bayern. In: R. Smolnik (Hrsg.), *Aufbruch unter Tage. Stand und Aufgaben der montanarchäologischen Forschung in Sachsen*. Internationale Fachtagung Dippoldiswalde 9. bis 11. September 2010. Landesamt für Archäologie. Freistaat Sachsen, 179–187.
- Popov/Jockenhövel 2011: H. Popov/A. Jockenhövel, At the Northern Borders of the Mycenaean World: Thracian Gold Mining from the Late Bronze and the Early Iron Age at Ada Tepe in the Eastern Rhodopes. In: *Anodos. Studies of the Ancient World* 10/2010. Trnava, 2011, 265–281.
- Popov u.a. 2011a: H. Popov / A. Jockenhövel / Ch. Groer, Ada Tepe (Ost-Rhodopen, Bulgarien): Spätbronzezeitlicher – ältereisenzeitlicher Goldbergbau. In: *Anatolian Metal V*, Bochum, 2011, 167–186.
- Popov u.a. 2011b: H. Popov / A. Jockenhövel / Z. Tsintsov / S. Iliev, Montanarchäologische Forschungen in den Ostrhodopen, Südostbulgarien. In: V. Nikolov/K. Bacvarov/H. Popov (Eds.), *Interdisziplinäre Forschungen zum Kulturerbe auf der Balkanhalbinsel*. Sofia, 2011, 253–290.
- Riley u.a. 1999: S. J. Riley / S. D. De Gloria / R. Elliot, A Terrain Ruggedness that Quantifies Topographic Heterogeneity. In: *Intermountain Journal of Science*, Vol.5, No.1–4, pp.23–27.
- Risbol u.a. 2006: O. Risbol / A. Kristian Gjertsen / K. Skare, Airborne laser scanning of cultural remains in forests: some preliminary results from a Norwegian project. 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 (British Archaeological Reports International Series 1568), Oxford: Archaeopress, 107–112.
- Sittler/Schellberg 2006: B. Sittler / S. Schellberg, The potential of lidar is assessing elements of cultural heritage hidden under forest canopies or overgrown vegetation: possibilities and limits in detecting micro relief structures for archaeological surveys. 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 (British Archaeological Reports International Series 1568) Oxford: Archaeopress, 117–122.
- Sittler u.a. 2007: B. Sittler / H. Weinacker / M. Gültlinger / L. Koupaliantz, The potential of Lidar in assessing elements of cultural heritage hidden under forests. In: Z. Bochenek, (ed.), *New Developments and Challenges in Remote Sensing*. Millpress. Rotterdam, 539–548.
- Štular 2011: B. Štular, The use of lidar-derived relief models in archaeological topography. The Kobarid region (Slovenia) case study. In: *Arheološki vestnik* 62, 2011, 393–432. (siehe http://www.academia.edu/1280992/The_use_of_lidar-derived_relief_models_in_archaeological_topography_The_Kobarid_region_Slovenia_case_study. Accessed on Dec 6, 2012).
- Tcherkezova 2012a: E. Tcherkezova, LiDAR data manipulation and visualization using the free LAS conversion tool (Las2Txt) and Open Source software SAGA GIS. International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, 08–09 November 2012, Sofia.
- Tcherkezova 2012b: E. Tcherkezova, E. Multi-scale fuzzy-landform classification of Arda, Varbitsa and Krumovitsa watershed basins (Eastern Rhodope Mountains, Southern Bulgaria). (in Bulgarisch). *Problems of Geography*, kn. 3–4, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia.
- Tcherkezova, 2011: E. Tcherkezova, Automatic derivation and estimation of height accuracy digital terrain model from LiDAR data for geo-archaeological investigation in Ada Tepe, Southern Bulgaria. International conference 'Archaeology and predictive modeling', 26–30 May 2011, Ahtopol. Abstract.
- Tcherkezova, 2004: E. Tcherkezova, GIS-gestützte geomorphologische Untersuchungen an Beispielen aus dem nördlichen Teil der Bucht von Burgas (Schwarzmeerküste, Bulgarien). *Berliner Geographische Studien*. Band 52. D 83. Berlin.
- Wilson/Gallant, 2000: J. P. Wilson / J. C. Gallant, *Terrain Analysis – Principles and Applications*. John Wiley & Sons, 520p.
- Wood 1996: J. Wood, *The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models*. 1996. PhD Thesis Department of Geography, University of Lancaster, UK. (siehe: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>).

EMILIA TCHERKEZOVA, HRISTO POPOV, ALBRECHT JOCKENHÖVEL

LiDAR – data, podporující montánně archeologické průzkumy zlatého dolu z pozdní doby bronzové Ada Tepe (město Krumovgrad, Rodopy/ jihovýchodní Bulharsko)

Úvod

Letecké laserové skenování (*angl.* Airborne Laser-scanning – ALS nebo též Light detection and ranging – LiDAR) se v posledních letech stalo často používaným postupem k zaměřování topografie terénu, povrchu a struktury krajiny. Nabízí vysokou vertikální přesnost, plošnou efektivitu a příznivé ceny při leteckém snímkování. Pomocí tohoto postupu je možno vytvářet velmi detailní digitální modely povrchu, krajiny i zástavby. Využití ALS umožňuje získávat a shromažďovat digitální data o povrchu terénu a to i v zalesněných a obtížně přístupných územích (Bofinger 2007, 16). Digitální výškové modely a modely povrchu, generované na základě laserových dat, jsou důležitým podkladem pro výpočet nejrůznějších geomorfologických parametrů a proměnných, morfo- a hydrografických prvků zemského povrchu a podkladem pro modelování různých procesů, jako je například eroze, dispozice, řízení skal, povrchový odtok a odtok podzemní vody. Proto tyto modely využívá řada vědních oborů, jako například geomorfologie, krajinná ekologie, krajinné a městské plánování, archeologie a další (Tcherkezova 2012b).

Hlavními těžišti využívání LiDAR v archeologii spočívá většinou v archeologickém průzkumu lesních oblastí (Devereux et al. 2005; Doneus/Briese 2006; Risbol et al. 2006; Sittler/Schellberg 2006; Sittler et al. 2007; Crow et al. 2007; Doneus et al. 2008), v archeologickém průzkumu a jeho vyhodnocení (Challis 2005, 2006; Challis et al. 2006; Carey et al. 2006), v identifikaci a popisu archeologicky relevantních struktur, jako jsou pozůstatky osídlení, plůžiny, kamenolomy, staré cesty (Challis et al. 2008), archeologická naleziště, rozptýl artefaktů atd. (Štular 2011). Data z ALS jsou stále více využívána pro montánně archeologické průzkumy (například B. Albrecht 2011; Hemker 2011; Päffgen 2011; Tcherkezova 2012a, 2012b).

Většina prací včetně některých montánně archeologických výzkumů se soustředí na výpočet stínových modelů a jejich vizuální interpretaci (například B. Albrecht 2011; Hemker 2011; Päffgen 2011). Stí-

novaný model zobrazuje povrch terénu za různého úhlu osvitů. Tento model umožňuje vizuální zobrazení zemského povrchu. Na základě tohoto zobrazení je možno vizuálně rozeznat markantní struktury a prvky reliéfu. Kromě toho se stínový model často využívá jako mapový základ.

Dalšími metodami digitálního zpracování digitálního výškového modelu LiDAR se zabývá pouze několik málo prací z oblasti geoarcheologického výzkumu. Hesse využívá pro určení prostorového rozlišení digitálního výškového modelu (velikost Kernel 25 m) low pass filter. Cílem je odvození známých a identifikace neznámých archeologických znaků (Hesse 2009, 636). Pro získání nových archeologicky relevantních informací z digitálního výškového modelu extrahuje Štular (2011) několik geomorfometrických proměnných a ukazatelů, například topografický index půdní vlhkosti a tak zvaný Sky View Factor. Za pomoci fuzzy logic identifikovala Tcherkezova (2012b) monografické jednotky ve výši Ada Tepe, objektu průzkumu: výšiny, hřebeny, vodoteče, rovinaté oblasti a sníženiny / doly. Jak výsledky této práce ukazují, je fuzzy logick vhodnou metodou pro zjišťování topografických jednotek, kterou lze kombinovat s ostatními geomorfologickými metodami (Tcherkezova 2012b).

Hlavními cíli dílčího projektu LiDAR v rámci geoarcheologického průzkumu zlatého dolu z pozdní doby bronzové na lokalitě Ada Tepe jsou:

1. Komplexní záznam a dokumentace řešeného území a sousedních území od počátků komerční těžby zlata za účelem „virtuálního zachování“. Vrchol bude totiž v nejbližší době odtěžen.
2. Dokumentace a interpretace všech rozeznatelných anomálií při neustálém porovnávání s probíhajícími archeologickými a geologickými výzkumy.
3. Analýza digitálního výškového modelu za účelem extrahování a regionalizace geomorfologicky relevantních morfometrických proměnných a monografických znaků.
4. Různé modelování.

Kromě toho jsou specifickými cíli výzkumu rozšíření a intenzita důlní činnosti (viditelné stopy hornictví), výzkumy k rozloze výsypek (2-D), výpočet objemu výsypek a poměr hlušiny k obsahu zlata (základ: již provedené určení zlatonosného křemene, který se nachází ve výsypkách), tzn. výzkumy kapacity těžební činnosti (jako je kalkulatelná výtěžnost), dokumentace infrastruktury (sídla, zásobování vodou, komunikační síť [staré cesty] ad.).

V tomto příspěvku budou představeny první výsledky, sloužící k podpoře topografie řešeného území a k analýze recentní geomorfologické situace. Budou pojednány metodické otázky zpracování a vyhodnocení dat LiDAR pro zlatý důl na vrcholu Ada Tepe. Cílem je zjistit, do jaké míry přispívá letecké laserové skenování k rozeznání a posouzení archeologicky a geomorfologicky relevantních znaků terénu. Takovými znaky mohou být terénní hrany, archeologické struktury v reliéfu (například struktury povrchových dolů) a morfometrické proměnné a morfografické prvky.

Řešené území

Poloha

Zlatý důl z pozdní doby bronzové se nachází ve východních Rodopech na jihovýchodě Bulharska zhruba 3 km od města Krumovgrad (okr. Kardzhali) (souřadnice: 41° 24' 55.8" – 41° 27' 41.184" severní šířky; 25° 37' 18.372" – 25° 40' 45.0114" východní délky) a patří k povodí řeky Krumovitsa (obr. 1).

Geologie a mineralogie

Reliéf řešeného území se vyznačuje komplikovanou geologicko-tektonickou skladbou. Velká část geologického podloží je tvořena přeměněnými horninami tak zvaného Kesibir-Domes (Kozhukharov et al. 1988). Tento komplex se skládá ze dvou hlavních skupin: skupiny rulových migmatitů a skupiny z různých hornin (angl. Variegated Complex). Skupina rulových migmatitů je zastoupena vulkanickými horninami, jako jsou například metagranity nebo migmatity, sestávající z pelitických rul a amfibolitů (Marchev et al. 2004, 63). Tato skupina je překryta smíšeným komplexem (pelitická břidlice, pararuly, amfibolity, mramory a ofiolitová tělesa [Kozhukharova 1984; Kolcheva/Eskenazi 1998]). V regionu Krumovgrad se tato skupina nachází pod tak zvanou Shavarovovou formací (maastrichtský paleocén) (Goranov/Atanasov 1992), která je překryta horními eocenními a dolními oligocenními litologickými formacemi (Marchev et al. 2004, 63).

Ložiska zlata na vrchu Ada Tepe se nacházejí v maastrichtsko-paleocenní Shavarově formaci (Marchev et al. 2004, 63) na hranici sedimentárního komplexu se spodním metamorfovaným komplexem. Tato hranice je definována tak zvaným „detachment fault“. Zlato se kromě toho vyskytuje v řadě křemenných žil sedimentárních usazenin na dnešním vrchu. Tyto bohaté usazeniny zlata vznikly stoupající hydrotermální vodou (Baltov/Donchev 2012). Čtvrtohorní usazeniny jsou dalece rozšířené. Představují svrchní část zvětrávací zóny a sestávají z eluviální, koluviálních a aluviálních materiálů (Tcherkezova 2012b)-

Archeologie

Archeologický výzkum lokality Ada Tepe probíhá již po dobu dvanácti let (Popov et al. 2011a, 116–124). Význam této lokality pro montánní archeologii byl ale rozeznán teprve v roce 2005. Od té doby se perspektivy výzkumu v rámci malého německo-bulharského montánně-archeologického výzkumného projektu v letech 2008 – 2009 dále interdisciplinárně rozvinuly. Tento projekt byl podpořen Nadací Alexandra von Humboldta z Bonnu ((Popov et al. 2011b, 257–258, 71–284).

Podmínky se zásadním způsobem změnily v roce 2010, kdy došlo k podpisu rámcové smlouvy o záchranných výzkumech na základě principu původce. Smlouva byla podepsána mezi důlní společností Balkan Mineral and Mining (BMM Sofia) a Národním archeologickým ústavem a muzeem Bulharské akademie věd. Příčinou byla koncese k těžbě zlata v lokalitě Ada Tepe, udělená firmě BMM bulharským státem. Rozsáhlé terénní výzkumy byly ukončeny v létě roku 2013. Během výzkumných kampaní 2010 – 2012 byly získány zásadní poznatky o těžbě zlata v lokalitě Ada Tepe a o souvisejících lidských aktivitách (obr. 2).

Tyto poznatky jsou základem příspěvku, který byl přednesen na konferenci v Dippoldiswalde v roce 2012.

Podle aktuálního stavu výzkumu lze první těžební aktivity v lokalitě Ada Tepe datovat na počátek pozdní doby bronzové (rané 15. stol. př. n. l.). Těžba probíhala především povrchovým způsobem v různých částech východního a západního stavu a na vrcholu (obr. 2 [b, g]). Hlubinná těžba představovala spíše výjimku (obr. 2 [c]). Během pozdějších fází pozdní doby bronzové se v horních částech výšiny prostíralo osídlení, doprovázející hornickou činností (s dílčím opevněním: Obr. 2 [d]), plánovitě budované sídelní oblasti apod.: Obr. 2 [f]). Mezi nejdůležitější nálezy patří pracoviště pro zpra-

cování získané zlaté rudy; podařilo se získat malou kuličku z tavby zlata (obr. 2 [e]). Ve vztahu k relativní a absolutní chronologii (radiokarbonové datování AMS) celého důlního komplexu lze v současné době konstatovat, že těžba zlata v pozdní době bronzové v lokalitě Ada Tepe se průběžně rozvíjela od 15. do poloviny 11. století př.n.l.. Od počátku starší doby železné (konec 11. – počátek 10. stol. př.n.l. se však situace významně mění. Rozsah osídlení se zredukoval a intenzita aktivit v oblasti těžby a zpracování rudy klesala. Ke konci 10. století př.n.l. byla těžba i osídlení ukončeny (dodnes, do roku 2012, neprobíhala na tomto mimořádně vydatném ložisku žádná další těžba!). O několik století později vzniká ke konci 4.stol. př.n.l. na vrcholu Ada Tepe malý svatostánek (temenos), který zde existoval do konce 1 stol. př.n.l. (Popov/Jockenhövel 2011, 271–280).

Zlatý důl Ada Tepe představuje dnes jeden z mála zajištěných zdrojů cenných kovů jihovýchodní Evropy doby bronzové na severu egejského světa. Může tak představovat potenciální zdroj zlata pro stejnověkové nálezy zlata v jihovýchodní Evropě a egejského světa (a mimo něj).

Data a metodika vyhodnocování LiDAR

Průzkumy LiDAR hrají na lokalitě Ada Tepe důležitou roli. Skenování LiDAR představovalo důležitou součást strategie terénních výzkumů, které mělo pro záchranný průzkum v lokalitě Ada Tepe v následných kampaních poskytnout řadu informací a poznatků. V rámci první etapy výzkumu v letech 2010 – 2011 byly provedeny plošné geofyzikální průzkumy (Braniborská technická univerzita v Choctěbusi [Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Prof.Dr. Rainer Herd [s georadarem: Dr. Hellfried Petzold, Postupim]], systematické terénní prospekce, mapování a sondáže v různých částech výšiny (NAIM-BAW, Sofia [Dr. Hristo Popov]; Vestfálský Vilémova univerzita v Münsteru [Westfälische Wilhelms-Universität, Münster] [Prof. Dr. Albrecht Jockenhövel]).

V prosinci roku 2010 byl pomocí leteckého laserového skenování přístrojem TopEye LRF 2 firmy Blom Bulgaria EOOD pořízen trojrozměrný snímek řešeného území (Blom Bulgaria EOOD 2010). Snímané území pokrývá plochu 25 km² a zahrnuje výšinu Ada Tepe a její bližší okolí (obr. 1 vlevo). Laserové skenování bylo provedeno v hustotě 25 bodů / m², relativní přesností výšky 4 cm a relativní polohou 6 cm. Laserová data byla dodána ve formátu LAS podle územních kritérií (300x300 m dlaždice). Data obsahují pro každý bod souřadnice x, y a z a údaje

o intenzitě, úhlu a času záznamu. Tato data byla zpracována pomocí open source softwaru SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses), v jehož prostředí se z bodových mračen vytvoří a zanalyzuji digitální výškové a terénní modely s různým rozlišením (20x20 cm, 1x1 m a 5x5 m) (Tcherkezova 2012a, 2012b).

Metodický postup těchto prací spočívá výlučně na analýze laserových dat a vygenerovaného digitálního výškového modelu. Letecké snímky jsou používány pouze pro vizuální zobrazení výsledků. Filtrováním digitálního výškového modelu pomocí algoritmu, spočívajícího na svažitosti a algoritmu Laplace a 'Simple' (Edge) a následnou extrakcí znaků a digitální geomorfometrickou analýzou lze metodický postup rozdělit do následujících kroků:

- Import dat z ALS a vizualizace množin bodů,
- Generování digitálního výškového modelu a digitálního modelu povrchu pro všechny dlaždice,
- filtrování digitálních výškových modelů jednotlivých dlaždic,
- extrakce geomorfologických a archeologických struktur z reliéfu zemského povrchu a morfometrických proměnných a morfografických jednotek.

Předběžné výsledky

Open Source software SAGA GIS umožňuje import a vizualizaci dat laserového skenování ve formátu LAS jako množiny bodů. Z množin bodů byly pro každou dlaždici vygenerovány digitální výškový model a modelu povrchu, které byly následně shrnuty v digitálním výškovém modelu a v modelu povrchu pro celé řešení území v rozlišení 0,2x0,2 m, 1x1 m a 5x5. Pro analýzu geomorfologických a archeologických struktur byl použit digitální výškový model s rozlišením 20x20 cm pro každou dlaždici.

Laplace (angl. Filtr „Laplacian“ a „Simple“ digitálního výškového modelu byly využity pro identifikaci markantních změn výšek a hran terénu. Výsledky ukazují, že tímto způsobem lze identifikovat a extrahovat jak archeologické, tak i terénní struktury, jako jsou erozní rýhy, cesty a hrany terénu (obr. 3; 4). Identifikované struktury jsou nově rozeznány lineární struktury (obr. 3), které však nesouvisí s dolem z pozdní doby bronzové,

Pomocí filtru Laplacian byly v reliéfu rozeznány struktury, hrany terénu a značky infrastruktury (např. cesty) (obr.4). Jedná se o viditelnou štolu malého hlubinného dolu (tak zvaná galerie) na západním svahu Ada Tepe s horninovými strukturami v jeho blízkosti s paralelně probíhajícími erozními rýhami, cestami, archeologickými a geologickými sondážemi.

Cílem použitého algoritmu filtrace pro digitální výškový model je klasifikace všech v reliéfu povrchu země vytvořených struktur. Na základě tohoto postupu byly rozeznány i takové struktury, které nepatří k původnímu povrchu. Jedná se například o kameny, které byly během přípravy terénu na vykopávky sesbírány a odloženy na okraji cest (obr. 4, červené čáry). Tímto postupem bylo možno vytvořit vylepšený digitální výškový model.

Pomocí geomorfometrických znaků lze kvalitativně popsat morfometrické vlastnosti zemského povrchu. V literatuře jsou popisovány jako lokální (například svažitost, expozice, zakřivení) a komplexní (například index původní vlhkosti) znaky (Kleefisch/Köthe 1991; Moore et al. 1995). V rámci geoarcheologických průzkumů byly odvozeny takové geomorfometrické znaky a monografické prvky, které trvale podporují běžné geomorfologické práce v rámci projektu. Prioritní význam mají geomorfometrické znaky, jako jsou svažitost a zakřivení. Zatímco svažitost označuje úhel mezi horizontální úrovní a příslušným vztažným bodem, je zakřivení zaznamenáváno pomocí horizontálních a vertikálních prvků (Dikau 1988, 11). Pro obě tyto komponenty jsou rozlišovány konkávní, konvexní, podélné a rovné směry zakřivení, umožňující klasifikaci prvků forem podle vertikálního a horizontálního zakřivení (Dikau 1988, 25 obr. 6):

X/X – konvexní/konvexní,
GE/X – podélné/konvexní,
V/X – konkávní/konvexní,
X/GR – konvexní/rovné,
GE/GR – podélné/rovné,
V/GR – konkávní/rovné,
X/V – konvexní/konkávní,
GE/V – podélné/konkávní,
V/V – konkávní/konkávní zakřivení.

Komplexní geomorfometrické znaky jsou takové znaky, do jejichž výpočtu je zahrnuto několik rastrových buněk (Kleefisch/Köthe 1991).

V rámci geomorfologických analýz budou na tomto místě krátce osvětleny čtyři morfometrické znaky (obr. 5). Výška nad lokální erozní bází poskytuje informaci o hrubosti a relativní výšce recentního reliéfu (obr. 5 [1]). Hloubka říčních údolí a dalších vodotečí ukazuje na intenzitu sítě vodních toků v okolí Ada Tepe (obr. 5 [2]). Index půdní vlhkosti představuje veličinu teoretického územního rozšíření nasycenosti půdy a nasyceného odtoku, která závisí na topografii terénu (Tscherkezova 2004). Vytváření lokálních nasycených ploch je ovlivno-

váno nejen topografií, ale i hydraulickým spádem. Dochází k němu tehdy, pokud dojde k překročení retenční kapacity půdy (Beven/Kirkby 1979). Topografický index půdní vlhkosti byl použit pro vyhledávání recentních vodních zdrojů v terénu. Výsledek jasně ukazuje, že územní rozšíření topograficky podmíněných nasycených ploch souvisí s výskytem (pro antickou těžbu zlata a příslušné osídlení mimořádně důležitých) vodních zdrojů (obr. 5, [2]). Index hrubosti reliéfu poskytuje kvantitativní informace o hrubosti zemského povrchu (Riley et al. 1999). Vyšší hodnoty se soustřeďují do velmi svažitých oblastí a do antropogenně zatížených oblastí (jako jsou cesty) (obr. 5 [4]).

Základní typy forem reliéfu a jejich extrahování z digitálního výškového modelu již byly v geomorfologické literatuře několikrát popsány a charakterizovány (např. B. Kleefisch/Köthe 1991; Köthe/Lehmeier 1996; Wood 1996; Wilson/Gallant 2000). V této práci jsou odvozeny následující formy terénu: Hřebeny, horní části svahů, otevřené části svahů, roviny, údolí, výše a níže ležící odtoková území, řeky.

Odvozené proměnné a monografické prvky jsou zahrnuty do další komplexní geomorfologické analýzy tak, aby bylo možno lépe posoudit recentní geomorfologické situace.

Shrnutí

Letecké laserové skenování se stále více používá v oblasti zaměřování topografie terénu. Povrchu a struktury krajiny. Slouží k vytváření velmi detailních modelů povrchu a modelů krajiny a to i v zalesněných a obtížně přístupných oblastech. Tématem tohoto příspěvku jsou metodické otázky zpracování a vyhodnocení laserových dat ze zlatého dolu z pozdní doby bronzové na vrchu Ada Tepe (město Krumovgrad, Rodopy, jihovýchodní Bulharsko), které později přispěly k další identifikaci archeologických struktur a relevantních geomorfologických znaků, které doplňují terestrické metody prospekce (jako jsou například geofyzika, geoelektrika, georadar). Výsledky ukázaly, že používání filtračních algoritmů digitálního výškového modelu, jako jsou například operátory Laplace a filtr na bázi svažitosti poskytují lepší výsledky pro rozeznání a extrahování shora popsaných struktur (například struktury povrchových dolů, archeologická naleziště, rozptýlené artefaktů, hrany terénu atd.), než čistě vizuální interpretace modelu se stínováním. Prostřednictvím cíleného geomorfometrického přístupu lze z digitálního výškového modelu LiDAR získat řadu relevantních geomorfometrických znaků a monografických jed-

notek, umožňujících komplexní analýzu recentních geomorfologických situací a podporujících komplexní geoarcheologický postup analýzy. Získané územní jednotky s archeologickou a geomorfologickou relevancí slouží jako základ dalších analýz a vyhodnocení, například pro vyhodnocení rozšíření a intenzity antické důlní činnosti v lokalitě Ada Tepe.

Poděkování

Tento příspěvek je součástí projektu „Rámcová smlouva mezi společností Balkan Mineral and Mining EAD (BMM) a Národním archeologickým ústavem s muzeem Bulharské akademie věd za účelem vědeckého záchranného výzkumu zlatých dolů z pozdní doby bronzové a rané doby železné v lokalitě Ada Tepe (obec Krumovgrad)“.

Autorenverzeichnis/Seznam autorů:

Mgr. Jan Blažek
Ústav archeologické památkové péče
severozápadních Čech, v. v. i.
Jana Žižky 835
CZ-43401 Most
blazek@uappmost.cz

Ing. Petr Bohdálék
Česká geologická služba, Praha
Geologická 6
CZ-15200 Praha
petr.bohdalek@geology.cz

Mgr. Leona Bohdálková, Ph.D.
Česká geologická služba, Praha
Geologická 6
CZ-15200 Praha
leona.bohdalkova@geology.cz

Ing. Vladimír Brůna
Katedra informatiky a geoinformatiky
Fakulta životního prostředí, Univerzita Jana
Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem
Dělnická 21
CZ-43401 Most
bruna@geolab.cz

RNDr. Eva Břízová, CSc.
Česká geologická služba, Praha
Klárov 3
CZ-11821 Praha
eva.brizova@geology.cz

Ivonne Burghardt M. A.
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
ivonne.burghardt@lfa.sachsen.de

Jiří Crkal
Ústav archeologické památkové péče
severozápadních Čech, v. v. i.
Jana Žižky 835
CZ-43401 Most
jiri.crkal@seznam.cz

PhDr. Eva Černá
Ústav archeologické památkové péče
severozápadních Čech, v. v. i.
Jana Žižky 835
CZ-43401 Most
cerna@uappmost.cz

Rengert Elburg
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
rengert.elburg@lfa.sachsen.de

PhDr. Jan Frolík, CSc.
Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.
Letenská 4
CZ-11801 Praha
frolik@arup.cas.cz

Dipl.-Ing. (FH) Fanet Göttlich
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
fanet.goettlich@lfa.sachsen.de

Dr. Christiane Hemker
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
christiane.hemker@lfa.sachsen.de

Mgr. Oldřich Holešinský
ČR – Správa Národního parku České Švýcarsko
Pražská 52
CZ-40746 Krásná Lípa
o.holesinsky@npcs.cz

Heide Hönig
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
heide.hoenig@lfa.sachsen.de

Mgr. Petr Hrubý, Ph.D.
Archaia Brno, o. p. s., pracoviště Jihlava
Židovská 26
CZ-58601 Jihlava
petrsilberbergbau@seznam.cz

Prof. Dr. Albrecht Jockenhövel
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Abteilung für Ur- und Frühgeschichtliche
Archäologie des Historischen Seminars
Robert-Koch-Str. 29
D-48149 Münster
jockenh@uni-muenster.de

PD Dr. Hauke Kenzler
Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Lehrstuhl für
Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit
Wilhelmsplatz 3
D-96047 Bamberg
hauke.kenzler@uni-bamberg.de

PharmDr. Jaroslav Kloub
Kochova 3695
CZ-43001 Chomutov
klimek@email.cz

Mgr. Petr Lisek
Ústav archeologické památkové péče
severozápadních Čech, v. v. i.
Jana Žižky 835
CZ-43401 Most
lissek@uappmost.cz

Mgr. Ondřej Malina, Ph.D.
Národní památkový ústav, územní odborné
pracoviště v Lokti
T. G. Masaryka 133/9
CZ-35733 Locket
malina.ondrej@npu.cz

Ing. Jan Pacina, Ph.D.
Katedra informatiky a geoinformatiky
Fakulta životního prostředí, Univerzita Jana
Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem
Dělnická 21
CZ-43401 Most
jan.pacina@ujep.cz

Petr Plachý
Svobody 282
CZ-41705 Osek
petrarcheo@seznam.cz

Doc. Dr. Hristo D. Popov
Nazionalen acheologitscheski institut s musej
pri BAN
Saborna 2
BG-1000 Sofia
popovhristo@yahoo.co.uk

Mgr. Marek Půlpán
Ústav archeologické památkové péče
severozápadních Čech, v. v. i.
Jana Žižky 835
CZ-43401 Most
pulpan@uappmost.cz

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Reuter
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
thomas.reuter@lfa.sachsen.de

Dr. Regina Smolnik
Landesamt für Archäologie
Zur Wetterwarte 7
D-01109 Dresden
regina.smolnik@lfa.sachsen.de

Mgr. Michal Soukup
Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.,
pracoviště Žatec
Dvořákova 1935
CZ-43801 Žatec
soukup@arup.cas.cz

RNDr. Vladimír Šrein, CSc.
Česká geologická služba, Praha
Geologická 6
CZ-15200 Praha
vladimir.srein@geology.cz

RNDr. Blanka Šreinová
Národní muzeum
Mineralogicko-petrologické oddělení
Cirkusová 1740
CZ-19300 Praha – Horní Počernice
blanka_sreinova@nm.cz

RNDr. Martin Štátný, CSc.
Geologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.
Rozvojová 269
CZ-19500 Praha
stastny@gli.cas.cz

Dr. Emilia Tcherkezova
Nazionalen institut po geofizika, geodezija
i geografija
ul. Akad. G. Bonchev, bl. 3
BG-1113 Sofia
etcherkezova@geophys.bas.bg

RNDr. Michal Urban, CSc.
Montanregion Krušné hory – Erzgebirge, o. p. s.
Náměstí Republiky 1
CZ-36251 Jáchymov
hengster11@gmail.com

RNDr. Josef Večeřa
Česká geologická služba, pracoviště Jeseník
Erbenova 348
CZ-79001 Jeseník
josef.vecera@geology.cz

Bc. Martin Volf
Ústav archeologické památkové péče
severozápadních Čech, v. v. i.
Jana Žižky 835
CZ-43401 Most
martin.volf@gmail.com