

# VIZUELIZACIJA RASTERSKIH PODATAKA LASERSKOG SKENIRANJA IZ ZRAKA

Žiga Kokalj, Ralf Hesse i Admir Mulahusić



PROSTOR, KRAJ, ČAS





PROSTOR, KRAJ, ČAS

# **Vizuelizacija rasterskih podataka laserskog skeniranja iz zraka**

**Žiga Kokalj  
Ralf Hesse  
Admir Mulahusić**

Založba ZRC  
Ljubljana 2018

*Ovu knjigu želimo posvetiti našim voljenim  
suprugama i životnim saputnicama*

*Anji,*

*Isabell,*

*Lejli.*

*Hvala vam za vašu veliku ljubav i podršku u  
ostvarivanju naših snova i životnih ciljeva.*

*Žao nam je što vam nismo jasnije i češće govorili  
koliko nam značite.*

*Vaši,*

*Žiga,*

*Ralf,*

*Admir*

PROSTOR, KRAJ, ČAS 16

## Vizuelizacija rasterskih podataka laserskog skeniranja iz zraka

Žiga Kokalj, Ralf Hesse i Admir Mulahusić

- Uredili: Žiga Kokalj, Tatjana Veljanovski  
Fotografije: Jovan Cukut, Forestry Commission Scotland, Katarina Gerometta, Lawrence Goldman, Žiga Kokalj, Boštjan Laharnar, Brian Lockett, Damir Matošević, Frank Numrich, Darko Veselinović, Michael Wilson  
Izdavač: ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije  
Nakladni zavod: Založba ZRC  
Za njih: Ivan Šprajc, Oto Luthar  
Glavni urednik  
Založbe ZRC: Aleš Pogačnik  
Recenzenti: Nedim Tuno, Benjamin Štular, Marko Krevs  
Lektor: Spomenka Nović  
Prevodilac: Admir Mulahusić  
Štampanje: Collegium Graphicum, d. o. o., Ljubljana  
Tiraža: 150

Prvo izdanje, prvo štampanje. / Prvo e-izdanje.  
Ljubljana 2018

---

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

528.8.044.6:911.5(035)

KOKALJ, Žiga

Vizuelizacija rasterskih podataka laserskog skeniranja iz zraka / Žiga Kokalj, Ralf Hesse, Admir Mulahusić ; [fotografije Jovan Cukut ... [et al.] ; prevodilac Admir Mulahusić]. - 1. izd., 1. štampanje. - Ljubljana : Založba ZRC, 2018. - (Prostor, kraj, čas / ZRC SAZU, ISSN 2335-4208 ; 16)

ISBN 978-961-05-0099-5  
1. Hesse, Ralf 2. Mulahusić, Admir  
295548416

---



Knjiga je besplatno dostupna u pdf-u, ISBN 978-961-05-0100-8 (pdf).

COBISS.SI ID=295548672

Način dostupa (URL): <http://zalozba.zrc-sazu.si/p/P16>

<https://doi.org/10.3986/9789610501008>

Sva prava su pridržana. Niti jedan dio ovog izdanja ne smije se reprodukovati, pohranjivati ili reprodukovati u bilo kojem obliku ili na bilo koji način, elektronski, mehanički, fotokopiranjem, snimanjem ili na drugi način, bez prethodnog pismenog odobrenja izdavača.

© 2018 ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije, autori, Založba ZRC.

Slika na koricama knjige: Sjeverozapadni dio Slovenije. Lidarski podaci od 10 m prostorne rezolucije © ARSO, Slovenija.

Knjiga je objavljena uz podršku Javne agencije za istraživačku djelatnost Republike Slovenije (slo. Javna agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije) (program P6-0079 i projekt J6-7085). Knjiga je štampana zahvaljujući finansijskoj potpori UNESCO-a i općine Visoko (Bosna i Hercegovina).

Ovom prilikom zahvaljujemo se recenzentima Doc.dr.sc. Nedimu Tunji, Doc.dr.sc. Benjaminu Štularu i Prof.dr.sc. Marku Krevsu, koji su predložili dopune i izmjene koje su značajno poboljšale knjigu.

Posebnu zahvalnost dugujemo gospođi Spomenki Nović, koja je sa entuzijazmom, te uz veliku preciznost i stručnost eliminisala mnoge jezične greške i nedosljednosti.



**ARRS**

JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO DEJAVNOST  
REPUBLIKE SLOVENIJE



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

**Regional Bureau  
for Science and Culture  
in Europe**

OPĆINA VISOKO





# Sažetak

Monografija pruža uvid u niz tehnika prikazivanja visokorezolucijskih modela visina. Napisana je u kontekstu istraživanja i tumačenja različitih tipova historijskih i modernih, kulturnih i prirodnih manjih reljefnih oblika. Ova monografija daje koncizne savjete za odabir najboljih tehnika prikazivanja specifičnih tipova pejzaža i prepoznatljivih oblika.

Tri osnovna poglavlja – opis tehnika za prikazivanje digitalnih modela visina, uputstva za njihov odabir i alati za izračunavanje prikaza - prate odabrani primjeri tipičnih arheoloških i geomorfoloških studija, rječnik pojmova (termina) i spisak preporučene literature. Za pojedince iz različitih naučnih oblasti i sa različitim predznanjima o tematici, struktura monografije pomaže da se razumiju različite tehnike prikazivanja, kako ih analizirati, kako odabrati odgovarajuće postavke pri njihovom računanju i kako identifikovati najpogodnije u svrhu istraživanja.

## Ključne riječi

lidar, lasersko skeniranje iz zraka, vizuelizacija, prikaz prostornih podataka, interpretacija, tumačenje, postavke, tehnike, alati, digitalni modeli visina

---

# Abstract

This guide provides an insight into a range of visualization techniques for high-resolution digital elevation models (DEMs). It is provided in the context of investigation and interpretation of various types of historical and modern, cultural and natural small-scale relief features and landscape structures. It also specifies concise guidance for selecting the best techniques when looking at a specific type of landscape and/or looking for particular kinds of forms.

The three main sections – descriptions of visualization techniques, guidance for selection of the techniques, and visualization tools – accompany examples of visualizations, exemplar archaeological and geomorphological case studies, a glossary of terms, and a list of references and recommendations for further reading. The structure facilitates people of different academic background and level of expertise to understand different visualizations, how to read them, how to manipulate the settings in a calculation, and choose the best suited for the purpose of the intended investigation.

## Key Words

lidar, airborne laser scanning, visualization, interpretation, settings, techniques, tools, digital elevation model

---

# Izvleček

Monografija nudi vpogled v nabor tehnik prikaza visokoločljivih modelov višin. Napisana je v kontekstu preučevanja in interpretacije različnih tipov zgodovinskih in modernih, kulturnih in naravnih majhnih reliefnih oblik. Daje jedrnate napotke za izbiro najboljših tehnik prikaza določenih tipov pokrajine in izrazitih oblik.

Tri glavna poglavja – opis tehnik prikazovanja digitalnih modelov višin, napotki za njihovo izbiro in orodja za izračun prikazov –, spremljajo izbrani primeri tipičnih arheoloških in geomorfoloških študij, slovarček pojmov ter seznam literature in priporočenega branja. Posameznikom z različnih znanstvenih področij in z različnim predznanjem o tematiki je struktura v pomoč pri razumevanju različnih tehnik prikazov, kako jih brati, kako izbrati prave nastavitve pri njihovem izračunu in kako prepoznati najbolj primerne za namen zasnovane raziskave.

## Ključne besede

lidar, aerolasersko skeniranje, vizualizacija, prikaz prostorskih podatkov, interpretacija, nastavitve, tehnike, orodja, digitalni model višin

---

# Sadržaj

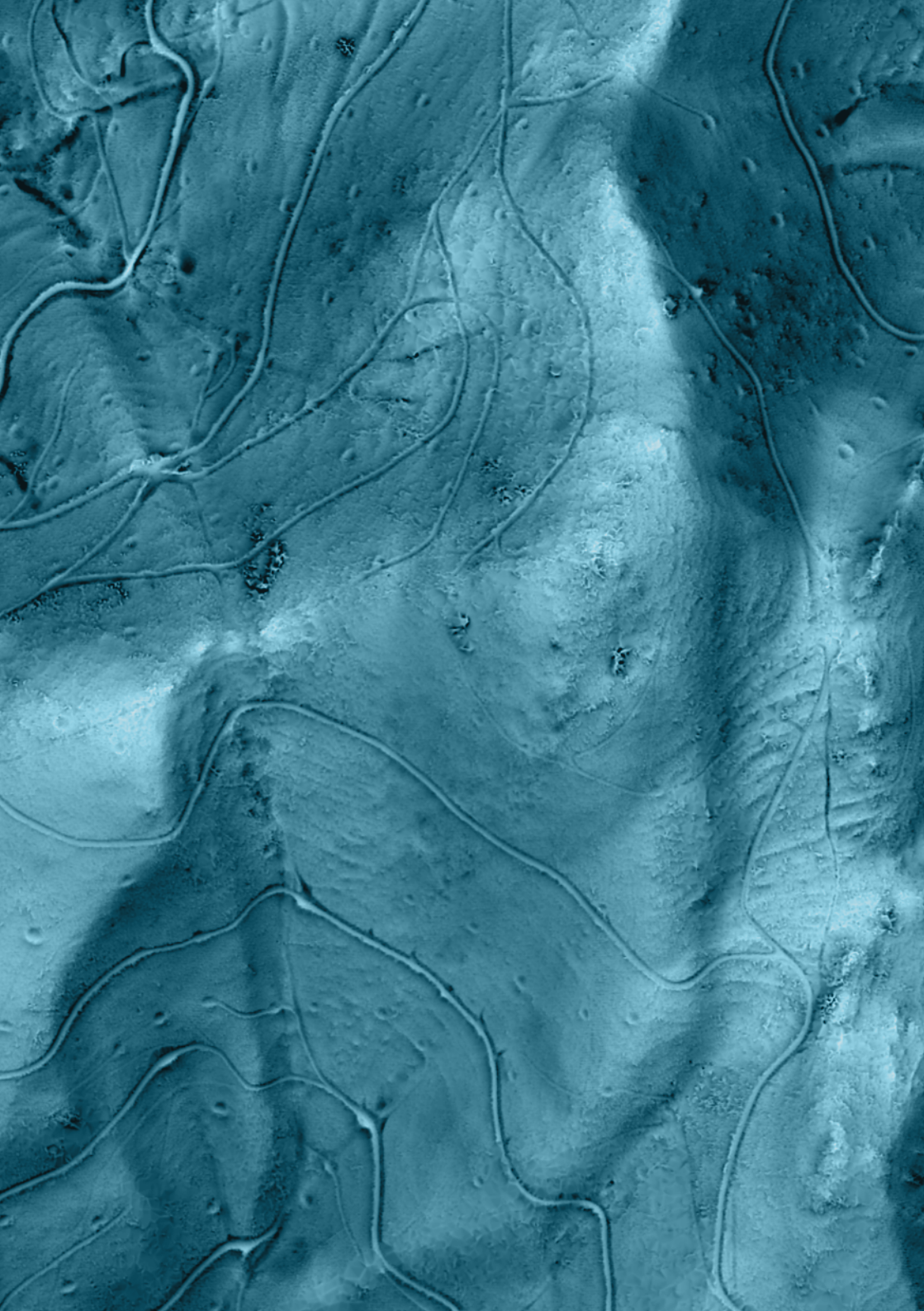
<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>12</b>
1.1	Cilj i djelokrug knjige	14
1.2	Kako koristiti ovu knjigu?	15
1.3	Primjene vizuelizacije lidarskih podataka	15
1.4	Slobodan pristup podacima	16
<b>2</b>	<b>Opis tehnika</b>	<b>18</b>
2.1	Analitičko sjenčenje reljefa i sjenčenje reljefa iz više smjerova	20
2.2	Nagib	26
2.3	Diferencijacija visina	26
2.4	Uklanjanje trenda i lokalni model reljefa	28
2.5	Dio vidljivog neba i neizotropni dio vidljivog neba	32
2.6	Otvorenost	36
2.7	Lokalna dominantnost	38
2.8	Kumulativna vidljivost	38
2.9	Pristupačnost	41
2.10	Više nivooska integralna invarijanta (MSII)	41
2.11	Laplacian-of-Gaussian (LoG)	42
2.12	Vizuelizacija nesigurnosti	44
<b>3</b>	<b>Smjernice za izbor tehnika</b>	<b>50</b>
3.1	Priprema snimaka za detekciju i interpretaciju	52
3.2	Analiziranje i predstavljanje snimaka	55
3.2.1	Odabir odgovarajućih vizuelizacija	55
3.2.2	Osobne sklonosti i međusobna uporedivost	64
3.2.3	Percepcija	65
3.3	Vizuelizacija skupova podataka koji nisu lidarski podaci	66
3.4	Šta je u imenu?	68

<b>4</b>	<b>Alati</b>	<b>74</b>
4.1	Relief Visualization Toolbox (RVT)	76
4.2	Lidar Visualisation Toolbox (LiVT)	77
<b>5</b>	<b>Studije slučajeve</b>	<b>80</b>
5.1	Aluvijalni depoziti iz kanjona Craig u Slanoj dolini, Kalifornija, SAD	84
5.2	Utisnute staze u Volčjem Potoku u Sloveniji	86
5.3	Predhistorijsko naselje iznad Knežaka, Slovenija	90
5.4	Groblje Humka u Pivoli, Slovenija	94
5.5	Odbrana od jedrilica tokom Drugog svjetskog rata u Culbinu u Škotskoj	98
5.6	Geološke karakteristike Julijskih Alpa u Sloveniji	102
5.7	Granitne doline (Granite Dells), SAD	106
5.8	Konusi od pepela i tekuća lava na Mauna Loi, SAD	110
5.9	Slijepa dolina Odolina u Sloveniji	114
5.10	Visoke zgrade u New Yorku, SAD	118
5.11	Margum/Morava i Kulič, Srbija	122
5.12	Rimska centurijacija na području Vrsara, Hrvatska	126
5.13	Monte Castellier, Hrvatska	130
5.14	Morfologija dna jezera Constance, Njemačka, Švicarska, i Austrija	134
	<b>Rječnik</b>	<b>138</b>
	<b>Bibliografija i preporučena literatura</b>	<b>144</b>
	<b>Popis slika</b>	<b>152</b>
	<b>Popis tabela</b>	<b>165</b>



1

Uvod





Cilj ove knjige je pomoći svima koji su zainteresovani da kreiraju, ili da postavljaju pitanja u vezi sa lidarskim proizvodima koji će olakšati “čitanje i istraživanje” krajolika sa ciljem dobivanja smislenih informacija.

## 1 | 1 Cilj i djelokrug knjige

Cilj ove knjige, tj. vizuelizacije rasterskih podataka laserskog skeniranja iz zraka, je pomoći stručnjacima i svima koji su zainteresovani da kreiraju, ili da postavljaju pitanja u vezi sa lidarskim proizvodima koji će olakšati “čitanje i istraživanje” krajolika sa ciljem dobivanja smislenih informacija. Ova knjiga pruža uvid u niz tehnika vizuelizacije visoko rezolucijskih digitalnih modela visina (DEM, engl. *Digital Elevation Model*), njihovih specifičnosti, prednosti i nedostataka u kontekstu istraživanja i interpretacije različitih tipova historijskih i savremenih, kulturnih i prirodnih sitnorazmjernih osobina terena (osobina reljefa) i struktura pejzaža. Ova knjiga također pruža sažete smjernice za izbor najboljih tehnika kada se posmatra određeni tip okoliša i/ili prilikom pretrage određenih vrsta manjih objekata i

sitnijih detalja. Međutim, to ne znači i pružanje u vid drugih, jednako važnih, područja prikupljanje lidarskih podataka, obrade i upravljanja istim. Dok se primjeri uglavnom odnose na arheološke karakteristike terena u obimu od nekoliko metara do nekoliko stotina metara, tehnike prikazane u ovoj knjizi su jednako pogodne za vizuelizaciju mnogih drugih osobina – u obimu od mikroskopskih do kontinentalnih. Nadalje, iako je fokus na digitalnim modelima visina, dobivenih putem zračnih lidarskih sistema, tehnike su primjenjive za bilo koji DEM skup rasterskih podataka (npr. podataka zasnovanih na SAR-u (engl. *Synthetic Aperture Radar*) ili SfM-u (engl. *Structure-from-Motion*)).



## 1 | 2 Kako koristiti ovu knjigu?

Knjiga je namijenjena svima koje zanima vizuelno istraživanje rasterskih modela visina (DEM), koji mogu biti proizvod zračnog lidara ili drugih tehnika. Naučnici, stručnjaci i javnost su fascinirani nivoima detaljnosti koje pružaju lidarski podaci. Dok automatsko otkrivanje detalja dobiva na sve većem značaju, još uvijek je neophodan stručnjak koji pita, misli i odgovara na postavljena pitanja. Vizuelno istraživanje i pregled su jedini načini da se razumije postojanje, zamršeni odnosi i kontekst sitnorazmjernih struktura kod lidarskih podataka. Ova knjiga je strukturirana na taj način da stručnjaci različitih akademskih profila i nivoa znanja mogu razumjeti različite vizuelizacije, kako ih pročitati, kako manipulirati postavkama u izračunima, te koje tehnike koristiti kako bi odgovorili na mnogobrojna pitanja.

Kroz kompletnu knjigu se poziva na detaljna objašnjenja, uporedbe, zapažanja i dalja istraživanja.

Knjiga se sastoji od tri osnovna poglavlja praćena primjerima vizuelizacije sitnorazmjernih struktura, studijâ slučaja arheoloških i geomorfoloških primjera, popisa literature i preporuka za dalja čitanja, kao i rječnika pojmova.

- Opisi tehnika vizuelizacije daju kratak uvod u raznovrsne metode obrade koje pomažu kreiranju smislenih snimaka za posmatranja, istraživanja i tumačenja rasterskih lidarskih podataka. Posebno poglavlje opisuje

kako prepoznati i vizuelizirati nesigurnosti kod podataka.

- Smjernice trebaju "voditi" istraživača kroz osnovne korake postupka, od pripreme podataka do odgovora na sva relevantna pitanja u vezi s izborom tehnika koje su najprikladnije za potrebe predviđenog istraživanja.
- Poglavlje "Alati" ukratko objašnjava i upoređuje osnovne postavke i radne procese RVT i LiVT alata za računanja kod tehnika vizuelizacije. Ko god želi vizuelizirati digitalni model visina (DEM) sa jednom ili više tehnika opisanih u poglavlju "Opis tehnika" trebao bi biti u mogućnosti da to uradi sa pomenutim alatima, bez obzira na njihovo trenutno poznavanje obrade snimaka.

## 1 | 3 Primjene lidarske vizuelizacije

Digitalni modeli visina su rasterski skupovi podataka koji sadrže vrijednosti visina. Kako takvi numerički skupovi podataka nisu čitljivi u tom obliku. Neophodne su tehnike vizuelizacije za pretvaranja digitalnih modela visina u sive tonove ili snimke u boji prepoznatljive ljudskom oku. Očigledan primjer korištenja različitih metoda vizuelizacije je vizuelni pregled (ispitivanje) podataka. Pomenute tehnike olakšavaju interpretaciju podataka terena i koriste se za vizuelnu potvrdu geomorfoloških kvaliteta digitalnih modela visina, npr. u geografiji, geomorfologiji, kartografiji,

arheologiji, hidrologiji, glaciologiji, šumarstvu i upravljanju prilikom katastrofa. Često se koriste za potrebe otkrivanja novih mogućnosti, a posebno u arheologiji, kao i za bolje opisivanje i preciznije pozicioniranje već poznatih objekata kao što su obale rijeka, nasipi, terase za uzgajanje poljoprivrednih kultura, podjele parcela, kameni zidovi, ili područja pod uticajem erozije. Međutim, tehnike, posebno one direktno povezane sa fizikalnim veličinama, također se koriste i za druge namjene. Na primjer, dio vidljivog neba (engl. *Sky-view factor*) koristi se u meteorologiji, jer je fundamentalan za modeliranje izlaganja suncu, te se može koristiti čak i za inženjerske aplikacije kao što su predviđanje dostupnosti GNSS signala u urbanim područjima. Tehnike koje uklanjaju opću topografiju, tipični su primjeri lokalnih modeliranja terena i otvorenosti, te su također dobro prilagođene za automatsku ekstrakciju nekih osobina.

Iako se ova knjiga fokusira na rasterske visinske podatke, vrijedno je spomenuti nastanak i brzu prilagodbu pseudo i stvarnih 3D tehnika za potrebe prezentacije lidarskih oblaka tačaka ili kreiranih 3D modela. Oni nude "novi svijet" mogućnosti, ne samo za vizuelne preglede, već i za naučna istraživanja.

## 1 | 4 Slobodan pristup podacima

Dobivanje podataka lidara za istraživačke potrebe postaje sve jednostavnije, obzirom da je sve veći broj naučnih grupa, vladinih agencija, gradskih vijeća, kantona, regija, pa čak i zemalja koje objavljuju svoje podatke sa besplatnim i neograničenim pristupom. Skupovi podataka su u različitim formatima i stanjima obrade. Rešetkasti/mrežni (engl. *gridded*) modeli površine i terena obično su dostupni, ili kao ASCII tekstualne datoteke ili kao već rasterisane datoteke u TIFF ili sličnim geoprostornim formatima. Sve više klasifikovanih oblaka tačaka također su dostupni. Tabela 1 navodi neke od mogućih izvora gdje se može pristupiti praktičnim eksperimentalnim podacima. Neki portali su lakši za korištenje od drugih, s tim da su korisnički veoma jednostavni u Sloveniji, Engleskoj i Velsu.

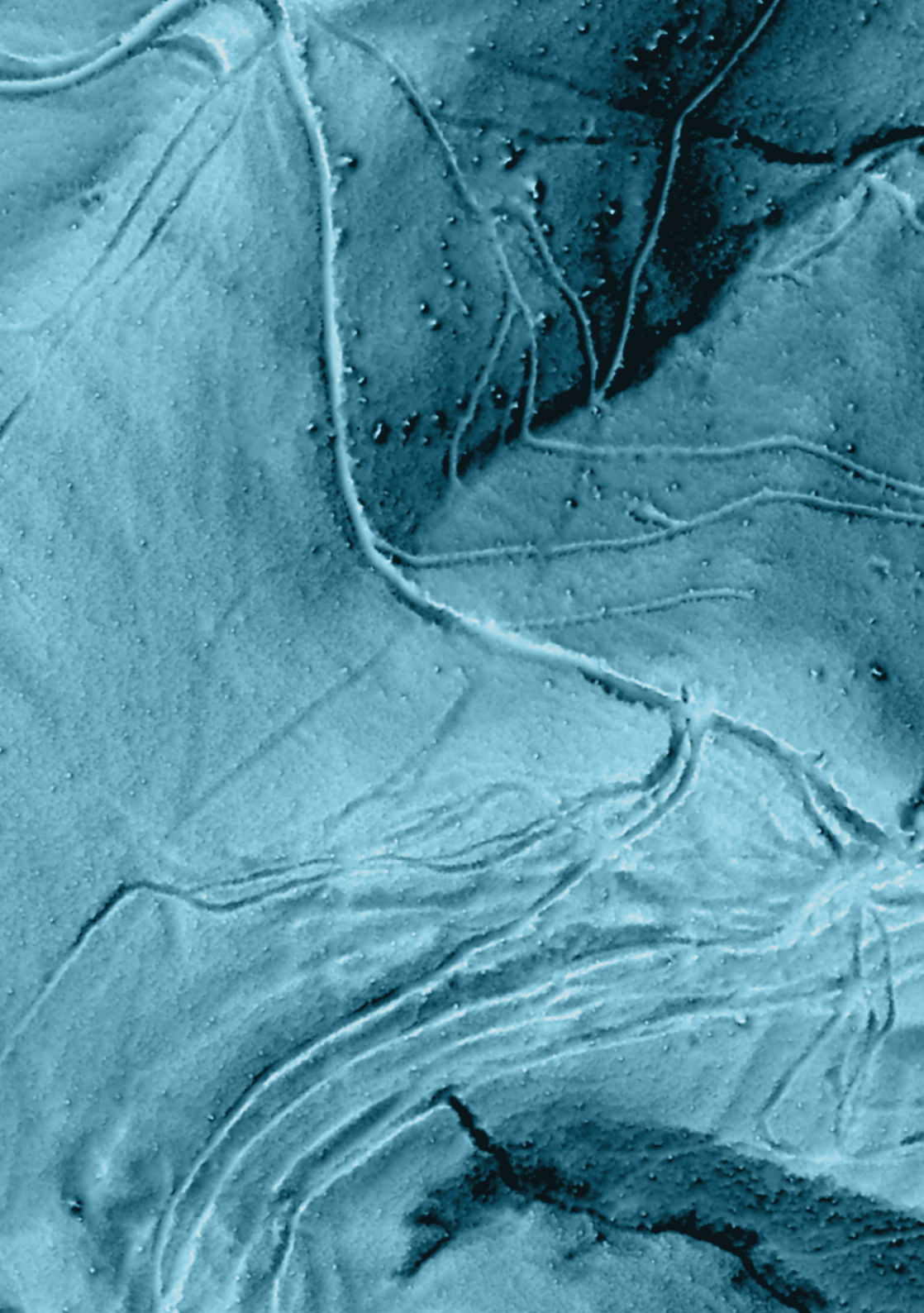
**Tabela 1: Neki korisni izvori za pretraživanje besplatnih lidarskih skupova podataka. Web stranice će se neizbježno promijeniti i novi skupovi podataka postaju redovno dostupni, pa se mogu koristiti omiljeni pretraživači. Svi linkovi aktivni 28.2.2018.**

popis izvora	Terrain Data · openterrain Wiki · GitHub <i><a href="https://github.com/openterrain/openterrain/wiki/Terrain-Data">https://github.com/openterrain/openterrain/wiki/Terrain-Data</a></i>
Danska	Agency for Data Supply and Efficiency <i><a href="http://download.kortforsyningen.dk">http://download.kortforsyningen.dk</a></i>
Engleska	Environment Agency <i><a href="http://environment.data.gov.uk/ds/survey/#/survey">http://environment.data.gov.uk/ds/survey/#/survey</a></i>
Finska	National Land Survey of Finland open map data download <i><a href="http://www.maanmittauslaitos.fi/en/e-services/open-data-file-download-service">http://www.maanmittauslaitos.fi/en/e-services/open-data-file-download-service</a></i>
Holandija	Dutch National SDI (PDOK) <i><a href="https://www.pdok.nl/nl/producten/downloaden-van-data-pdok">https://www.pdok.nl/nl/producten/downloaden-van-data-pdok</a></i> <i><a href="http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_gefilterd.xml">http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_gefilterd.xml</a></i> <i><a href="https://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_int.xml">https://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_int.xml</a></i>
Norveška	Høydedata <i><a href="https://hoydedata.no/LaserInnsyn/">https://hoydedata.no/LaserInnsyn/</a></i>
Slovenija	Ministry of the Environment and Spatial Planning. <i><a href="http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso">http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso</a></i>
Njemačka	Nordrhein-Westfalen <i><a href="https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dgm/dgm1l/index.html">https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dgm/dgm1l/index.html</a></i> Thüringen <i><a href="http://www.geoportal-th.de/de-de/downloadbereiche/download-offenegeodatenh%C3%BCringen/downloadh%C3%B6hendaten.aspx">http://www.geoportal-th.de/de-de/downloadbereiche/download-offenegeodatenh%C3%BCringen/downloadh%C3%B6hendaten.aspx</a></i>
Škotska	Scottish Remote Sensing Portal <i><a href="https://remotesensingdata.gov.scot/">https://remotesensingdata.gov.scot/</a></i>
Španija	Plan Nacional de Observación del Territorio <i><a href="http://pnoa.ign.es/presentacion">http://pnoa.ign.es/presentacion</a></i>
Švedska	Lantmäteriet <i><a href="http://www.lantmateriet.se/en/Maps-and-geographic-information/Elevation-data-">http://www.lantmateriet.se/en/Maps-and-geographic-information/Elevation-data-</a></i>
SAD	OpenTopography <i><a href="http://www.opentopography.org">http://www.opentopography.org</a></i> USGS <i><a href="http://earthexplorer.usgs.gov">http://earthexplorer.usgs.gov</a></i> <i><a href="ftp://rockyftp.cr.usgs.gov/vdelivery/Datasets/Staged/NED/LPC/projects">ftp://rockyftp.cr.usgs.gov/vdelivery/Datasets/Staged/NED/LPC/projects</a></i> NOAA - Coastal Topographic Lidar <i><a href="https://coast.noaa.gov/dataregistry/search/collection/info/coastallidar">https://coast.noaa.gov/dataregistry/search/collection/info/coastallidar</a></i> NASA - G-LiHT: Goddard's LiDAR, Hyperspectral & Thermal Imager <i><a href="https://gliht.gsfc.nasa.gov/downloads/">https://gliht.gsfc.nasa.gov/downloads/</a></i> Search also for data of individual states as many provide them integrated into their own distribution systems.
Vels	Natural Resources Wales <i><a href="http://lle.gov.wales/Catalogue/Item/LidarCompositeDataset/?lang=en">http://lle.gov.wales/Catalogue/Item/LidarCompositeDataset/?lang=en</a></i>

A microscopic image of plant cells, likely from a leaf or stem, showing a network of cell walls. A large, central cell is prominent, containing a dense, grid-like structure that appears to be a specialized tissue or a developing structure. The overall color is a monochromatic blue-green.

2

Opis tehnika



## 2

Istraživačka vrijednost različitih vizuelizacija u značajnoj mjeri varira s obzirom na svojstva posmatranih struktura, njihovu veličinu, oblik, orijentaciju, konkavnost ili konveksnost, stepen izbočine i tip ruba.

Transformacijom digitalnih modela visina u sive tonove ili snimke u boji, različite vrste vizuelizacije pomažu u razumijevanju lidarskih podataka. Pojedine tehnike vizuelizacije kreiraju rezultate koji mogu biti povezani s fizikalnim veličinama (npr. *sky-view factor* – SVF, tj. dio vidljivog neba i *local relief model* – LRM, tj. lokalni model reljefa), dok drugi imaju samo prezentacione vrijednosti (npr. glavne komponente sjenčenja reljefa iz više smjerova). Neke tehnike vizuelizacije bolje funkcionišu na gotovo ravnom terenu (engl. *elevation differentiation*), ili kod topografije sa blagim padinama (LRM), dok druge tehnike daju bolje rezultate na nepristupačnim ili mješovitim terenima (SVF). Njihove istraživačke vrijednosti značajno variraju s obzirom na svojstva posmatranih struktura, njihovu veličinu, oblik, orijentaciju, konkavnost ili konveksnost, stepen neravnina i tip rubova. Ne mogu sve metode biti preporučene za tumačenja obzirom da

se upoređuju apsolutno ili relativno. To je zbog toga što većina metoda može promijeniti posmatrana svojstva, ovisno o postavkama korištenim prilikom računanja. Digitalni model visina može biti podskup digitalnog modela terena (DTM, engl. *Digital Terrain Model*), koji predstavlja visine ogoljenog zemljišta (u tekstu navodimo sa "kao takav"), ili digitalnog modela površine (DSM, engl. *Digital Surface Model*), koji predstavlja visine terena ili objekata na njoj; šta god je veće, ili bilo šta od navedenog. Za pojedinosti pogledati u rječniku pojmova.

## 2|1 Analitičko sjenčenje reljefa i sjenčenje reljefa iz više smjerova

Sjenčenje reljefa (engl. *Relief Shading*, *Hillshading*, *Shaded Relief*) pruža najprirodniju, intuitivno čitljivu, vizuelnu impresiju od svih raspoloživih tehnika. To je opis na koji način reljefna površina

reflektuje upadno svjetlo koje se zasniva na fizikalnim zakonima ili empirijskom iskustvu. Postoje brojne analitičke tehnike sjenčenja reljefa (Horn 1981; Blinn 1977; Batson i dr. 1975.; Minnaert 1961), iako je sama metoda razvijena od strane Yoëli-a (1965) postala standardna u većini GIS softvera. Stoga, kada se govori o analitičkom sjenčenju reljefa (ili sjenčenju reljefa općenito) radi se o metodi koju je razradio Yoëli.

Standardno analitičko sjenčenje reljefa je lako izračunati i jednostavno interpretirati čak i od strane nestručnjaka ili osobe bez bilo kakve obuke iz ovog domena djelovanja. Polazi se od osnovne pretpostavke da je reljef Lambert-ova površina osvijetljena direktnom svjetlošću iz fiktivnog izvora svjetlosti sa beskonačne udaljenosti (svjetlosni snop ima konstantan azimut i visinski ugao za kompletno područje). Izračunata siva vrijednost proporcionalna je kosinusu upadnog ugla osvijetljenja na površinu reljefa - ugao između normale na površinu i svjetlosne zrake. Područja koja su okomita na zrak svjetlosti su najviše osvijetljena, dok su područja s uglom upada jednakom ili većem od  $90^\circ$  tamna (slika 1A). Pod veoma slabim izvorom osvijetljenja uglovi (ispod  $10^\circ$ ) su obilježja ekstremno malih detalja koji mogu biti vidljivi, što može biti izuzetno korisno za potrebe istraživanja u područjima sa veoma malim varijacijama u topografiji (tabela 2, slika 2).

Područja koja gledaju direktno prema, ili od osvijetljenja, najčešće su zasićena (homogeno, jasno ili tamno, respektivno).

Za ta područja nije moguće uočiti, ili je moguće uočiti veoma malo detalja. Jedna svjetlosna zraka također ne otkriva linearne strukture koje su paralelne, što može biti problematično u određenim aplikacijama, a posebno u arheologiji (Devereux i dr. 2008).

Kreiranje više sjenčenih reljefa osvjetljavanjem površine iz više smjerova poboljšava vizuelizaciju topografije (slika 1). Snimci zasjenčenih reljefa ponekad se koriste za izvođenje radova na terenu, ali upoređivanje više snimaka na terenu može biti veoma nepodesno. Korak prema boljem razumijevanju rezultata je kombinovanje višestrukih sjenčenja uz uzimanje u obzir samo srednje vrijednosti (Hobbs 1995), maksimuma, ili raspona vrijednosti, za svaki pojedinačni piksel. Kako bi se jasnije prikazala područja sa niskim rasponom vrijednosti, rezultat može biti dobiven vađenjem kvadratnog korijena.

Uobičajeni primjer je također i kombinacija standardnog sjenčenja reljefa (azimut od  $315^\circ$ ) sa vertikalnim osvijetljenjem (Imhof 1982; Hobbs 1995). Sjenčenje reljefa iz tri različita smjera može se koristiti za kreiranje RGB kolor kompozitnog snimka dodjeljivanjem tri snimka sivih tonova u crveni, zeleni i plavi kanal (Devereux i dr., 2008; Hobbs 1999), što često dobro funkcionise (slika 3A). Budući da su snimci kreirani osvjetljavanjem iz više uglova visoko korelirani (prikazana je ista scena), moguće je "sažeti" podatke pomoću matematičke transformacije s analizom osnovnih komponenti (PCA, engl.

*Principal Component Analysis* (Devereux i dr., 2008). Prve tri komponente izračunate iz više smjerova (npr. 16) obično sadrže visok procenat (obično iznad 99%) varijabilnosti u izvornom skupu podataka. Stoga se može očekivati da pružaju osnovu za vizuelizaciju s minimalnim gubitkom malih osobina. Analiza osnovnih komponenti (PCA) - posebno kombinacija prve i druge osnovne komponente (slika 3B), ili RGB (engl. *Red, Green, Blue*) kolor kompozitni snimak prva tri snimka (slika 3C) – pojednostavljuje tumačenje podataka sa više sjenčenja reljefa.

Međutim, ne daje dosljedne rezultate sa različitim skupovima podataka.

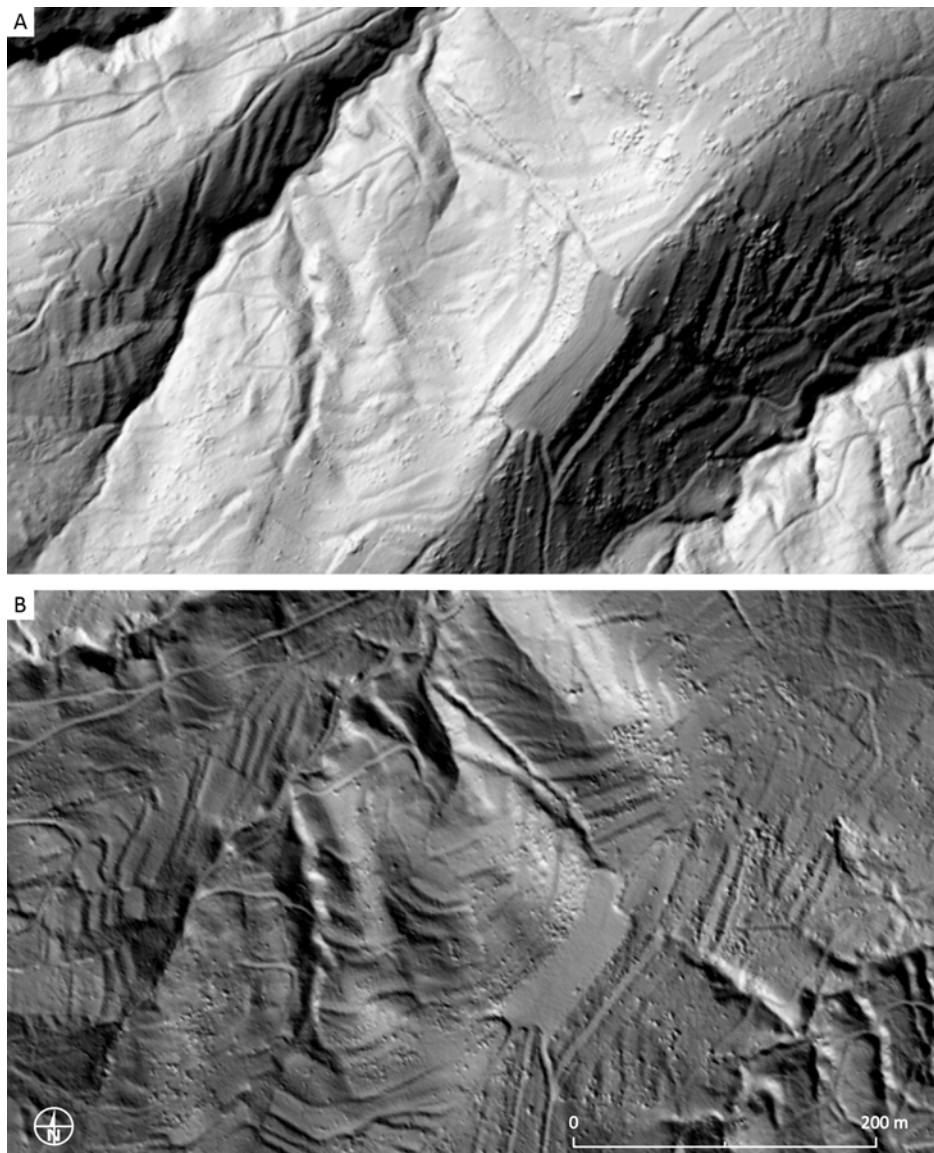
Tabela 2: Tipične postavke za sjenčenje reljefa.

parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
azimut Sunca [°]	315	315	315
ugao visine Sunca [°]	35	5	> 45
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, 2% rezanje	linearno rastezanje, 2% rezanje	linearno rastezanje, 2% rezanje

Tabela 3: Tipične postavke za analize osnovnih komponenti višestrukih snimaka sjenčenja reljefa iz više pravaca.

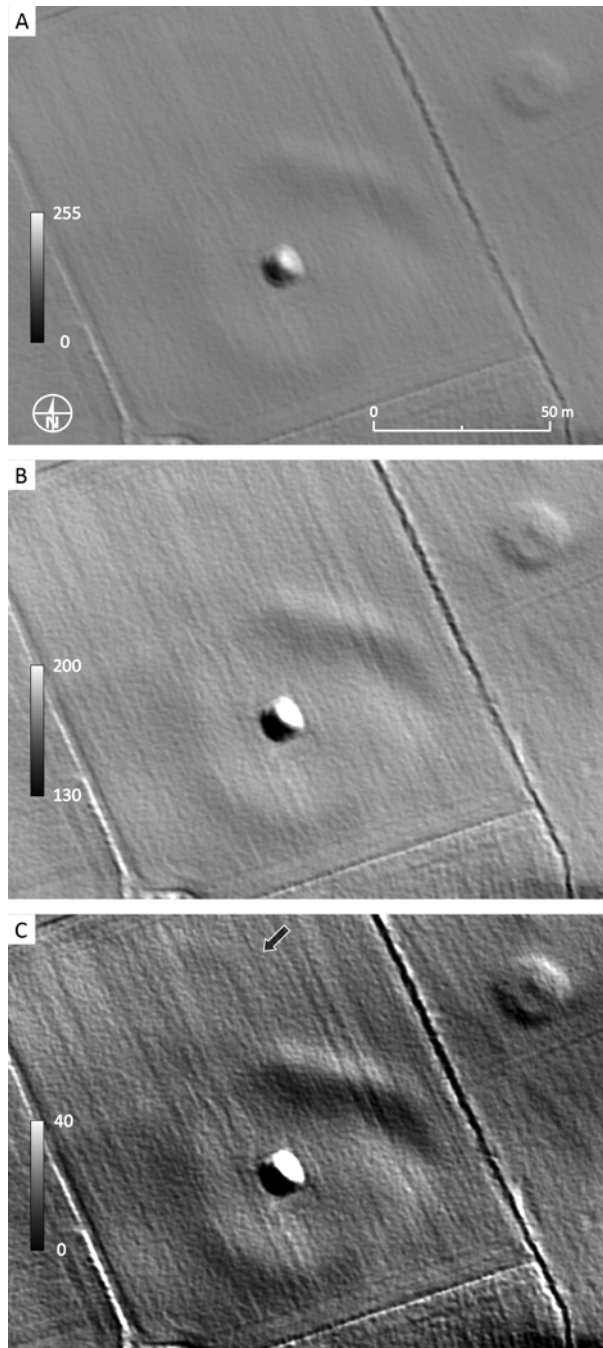
parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
ugao visine Sunca [°]	35	5	45
broj smjerova	16	16	16
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, 2% rezanje	linearno rastezanje, 2% rezanje	linearno rastezanje, 2% rezanje

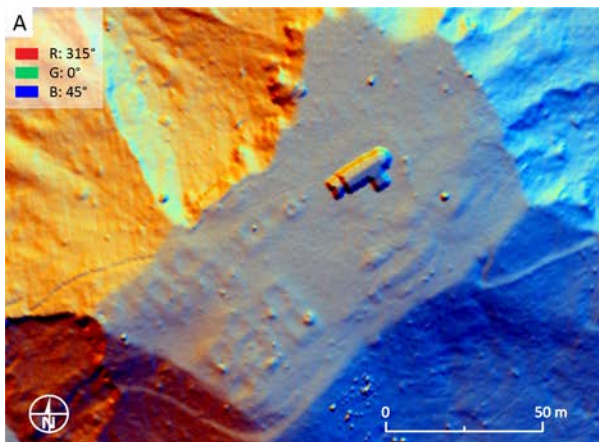




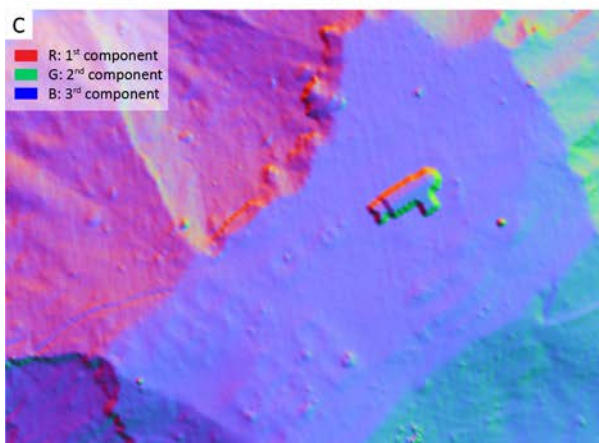
Slika 1: Uglovna ovisnost analitičkog sjenčenja reljefa: azimutno osvjetljenje 315° (A) i azimut 225° (B), oba sa visinom Sunca od 35°. Obratiti pažnju na razliku u percepciji reljefa i strukturama koje se mogu posmatrati. Obrasle terase za poljoprivredno uzgajanje u blizini Kobilija u Sloveniji, čemu svjedoči prostorna rezolucija modela terena od 1 m.

Slika 2: Veoma mali uglovi izvora svjetlosti prikazuju osobine ekstremno malih detalja: standardni ugao visine Sunca od  $45^\circ$  (A) i (B), a slabo osvjetljenje pri visini Sunca od  $5^\circ$  (C), sve uz azimut od  $45^\circ$ . Međutim, navedeno funkcioniše samo u područjima sa veoma blagom morfologijom reljefa, kao što je primjer područja A podzidane ograde(a) u Brú na Bóinne području svjetske kulturne baštine u Irskoj. Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 1 m korištena je uz dopuštenje Meath County Council-a i programa Discovery. Lokalno zasićenje histograma koristi se za predstavljanje (B) i (C). Prvi pokazuje razliku kada se uporedi sa normalno predstavljenim zasjenčenim reljefom (A), i drugi jer je slika inače pretamna za prikazivanje bilo kakvih detalja.





Slika 3: RGB snimak sjenčenja reljefa iz tri smjera (315°, 0° i 45° azimuta sa visinom Sunca od 35°) (A), kompozit dobiven od prve dvije komponente (B) i RGB kompozit prve tri komponente analize osnovnih komponenti analitičkog sjenčenja reljefa iz 16 smjerova sa 35° visinom Sunca (C). Kasni rimski logor u Sv. Jeleni, zapadno od Kobarida, Slovenija. Prostorna rezolucija lidarskih podataka je 0,5 m © Walks of Peace in the Soča river Foundation.



## 2|2 Nagib

Nagib (gradijent) je prvi izvod (prva derivacija) DEM-a i neovisan je o aspektu. Predstavlja maksimalnu stopu promjene između svake ćelije i njenih susjeda i može se izračunati kao procenat nagiba ili kao stepen nagiba.

Među metodama koje su analizirali, Challis i dr. (2011) pronašli su najbolju tehniku vizuelizacije nagiba za većinu okolnosti. Ako se prikazuje u obrnutom sivom tonu (strmi nagibi su tamniji), nagib zadržava veoma plastičan prikaz morfologije (tabela 4). Međutim, potrebne su dodatne informacije za razlikovanje između pozitivnih/konveksnih (npr. nasip) i negativnih/konkavnih (npr. jarak) osobina terena obzirom da su padovi istog gradijenta (bez obzira na rast ili pad) prikazani istom bojom (slika 4).

## 2|3 Diferencijacija visina

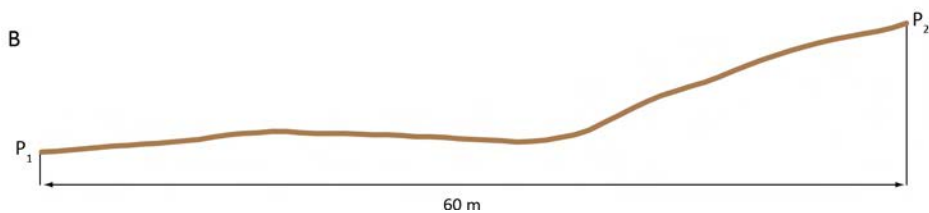
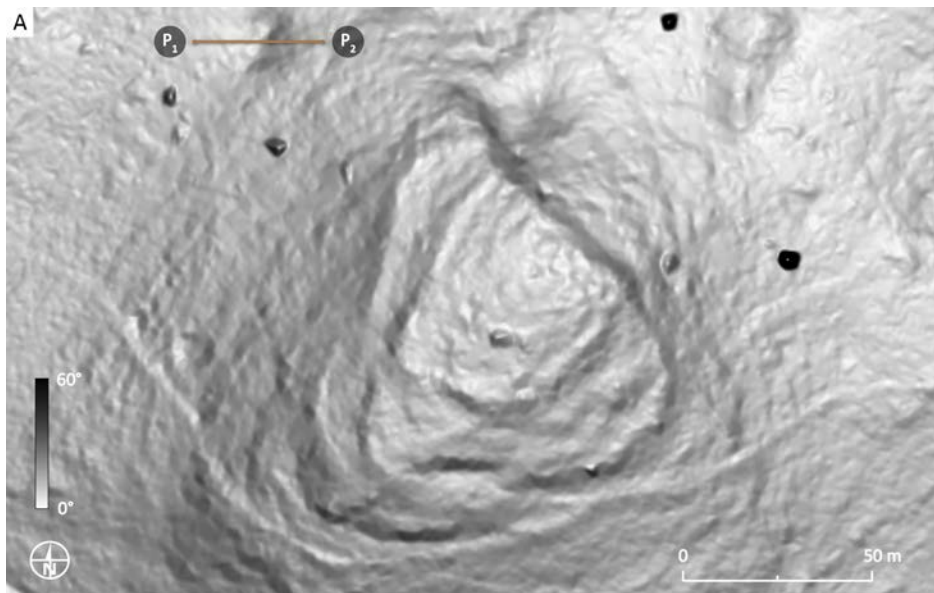
Razlika u visini, koja se naziva i kodiranje boja, bojenje ili postupak ograničenog raspona boja, kontrolira raspon vrijednosti koje su prikazane preko datog raspona sivih tonova ili boja. Primijenjena tehnika je rastezanje histograma, pri čemu se raspon vrijednosti visina proteže preko cijelog raspona sivih tonova (ili boja) vrijednosti dobivene slike (slika 6, tabela 5). To može snažno poboljšati kontrast između piksela ili područja različitih visina.

Postoje mnogobrojne verzije rastezanja histograma koje se mogu primijeniti za poboljšanje kontrasta i naglašavanje detalja. Osim jednostavnog linearnog rastezanja između nižih i gornjih graničnih vrijednosti, to uključuje nelinearna poboljšanja kao što su logaritamska rastezanja, poboljšanja kvadratnog korijena, eksponencijalno rastezanje i izravnaje histograma. Međutim, ako je očuvanje relativnih razlika između vrijednosti (visina) važno, poželjna je osnovna metoda poznata kao

Tabela 4: Tipične postavke vizuelizacije nagiba.

parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
preporučeno rastezanje histograma *	linearno rastezanje, 0-50°	linearno rastezanje, 0-15°	linearno rastezanje, 0-60°

\* Preokrenuti prikaz sivih tonova (bijelo u crno) najbolje funkcioniše.



Slika 4: Nagib (A). Visinski profil (B) odnosi se na P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub> liniju u (A). Treba imati na umu da struktura ukrštanja profila može biti veoma lako (i pogrešno) interpretirana kao konveksna umjesto konkavna. Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka utvrde na brdu Žerovinšček iz perioda željeznog doba u blizini Bločice, Slovenija.

linearno rastezanje sa zasićenjem – engl. *linear stretch with saturation* (rezanje ekstremnih vrijednosti u gornjim i donjim dijelovima histograma, također poznato i kao “histogram clipping”). Histogram je linearno rastegnut kako bi se ispunio čitav raspon vrijednosti između definisane minimalne i maksimalne vrijednosti. Za više informacija o korištenju rastezanja histograma za potrebe vizuelizacije pogledati poglavlje 3.1 Priprema snimaka za detekciju i interpretaciju.

Razlikovanje visina veoma je korisno za vizuelizaciju osobina od interesa u ravničarskim predjelima i veoma ih je lako tumačiti, posebno kada se koristi odgovarajuća paleta boja (slika 5). Također je predstavljena jedina tehnika vizuelizacije koja zadržava izvornu informaciju o reljefu. Stoga je lako procijeniti pokazatelje kao što su npr. dubina jame ili visina humke. Međutim, čak i uz neznatne varijacije u općoj morfologiji terena, tehnika postaje manje korisna, jer su arheološki radovi neprimjetni zahvaljujući promjenama u topografiji i zbog toga što je potrebno intenzivno manipulisanje histogramom. Iz istih razloga, tehnika je u potpunosti neefikasna na neravnom terenu.

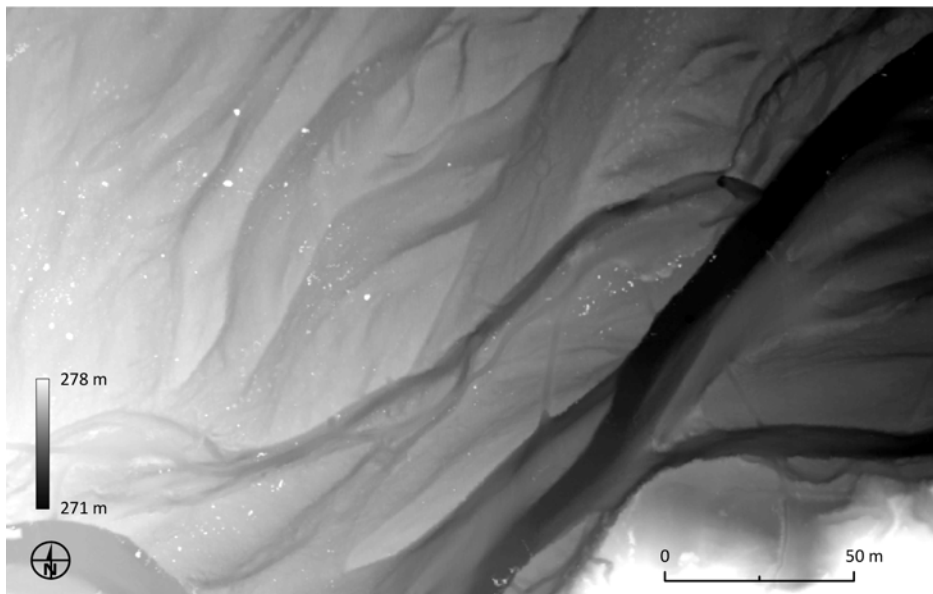
**Tabela 5: Tipične postavke za prikaz diferencijacije visina.**

parametar vizuelizacije	općenito
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje sa minimalnim i maksimalnim rezanjem

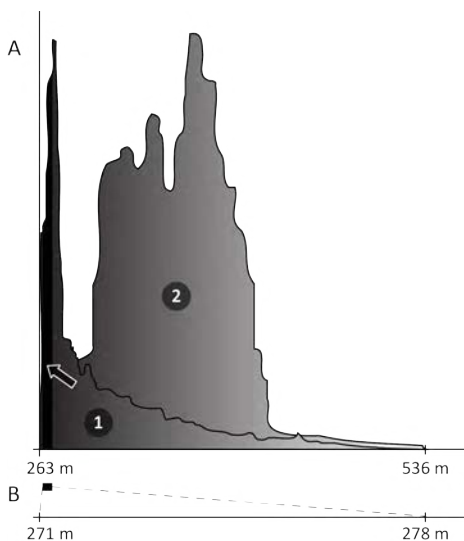
## 2|4 Uklanjanje trenda i lokalni model reljefa

Arheološka obilježja uglavnom su mnogo manja od terena na kojima se nalaze. Stoga je potrebno prilagoditi odgovarajuće tehnike vizuelizacije, na primjer određivanje malog radijusa pretraživanja za dio vidljivog neba (SVF) ili postavljanje prikladnog raspona za diferencijaciju visina, iako to nije moguće sa svim tehnikama. Postupak koji odvaja sitnorazmjerne lokalne osobine sa velikim pejzažnim oblicima naziva se uklanjanje trendova (engl. *trend removal*). Prilikom rada s DEM-om, trend (tj. veći pejzaži) je predstavljen izglađenom (generalisanom) verzijom DEM-a. Ovo zaglađivanje može se postići primjenom niskopropusnog konvolucionog filtera. Gaussov niskopropusni filter daje glatki prijelaz između osobina terena, ali je računarski zahtjevniji (Reitberger i dr., 2008; Wagner i dr., 2008). Uklanjanje trendova se zatim postiže oduzimanjem izglađenog DEM-a iz originalnog DEM-a. Dobivena karta razlika sadrži samo lokalna odstupanja od sveukupnog krajolika.

Obzirom da su karakteristike malih objekata izglađene, radije nego li eliminisane, niskopropusnim filterom, izvedena karta uklanjanja trenda odnosi se na manje objekte, tj. lokalni relativni reljef visina progresivno je podcjenjen kako se prostorni obuhvat objekata povećava. Hesse (2010) je stoga predložio poboljšanje procesa uvođenjem “pročišćenog DEM-a”. On se proizvodi kreiranjem nultih kontura na kartama



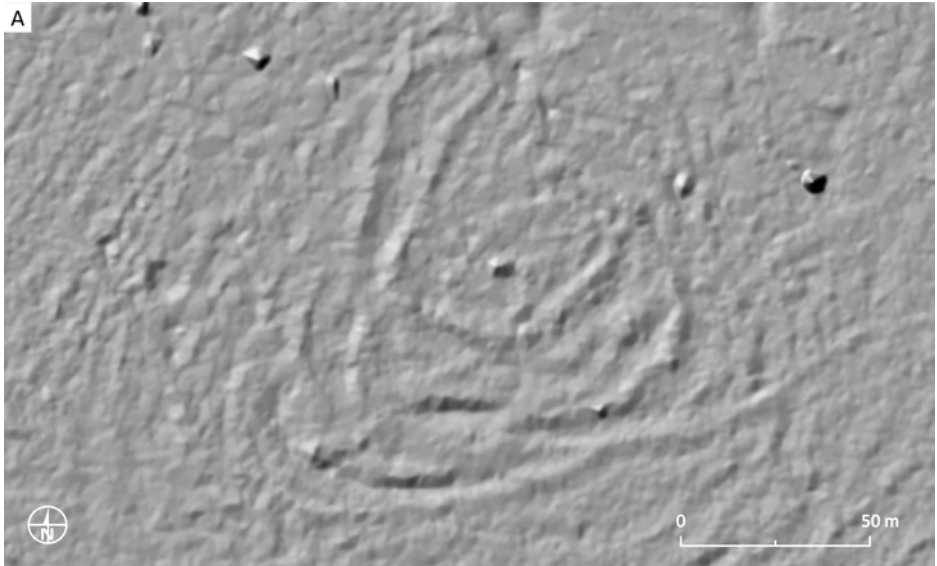
Slika 5: Histogram se proteže do uskog raspona vrijednosti. Riječna korita Nadiže. Prostorna rezolucija od 0,5 m lidarskih podataka, zapadno od Kobarida u sjeverozapadnoj Sloveniji.



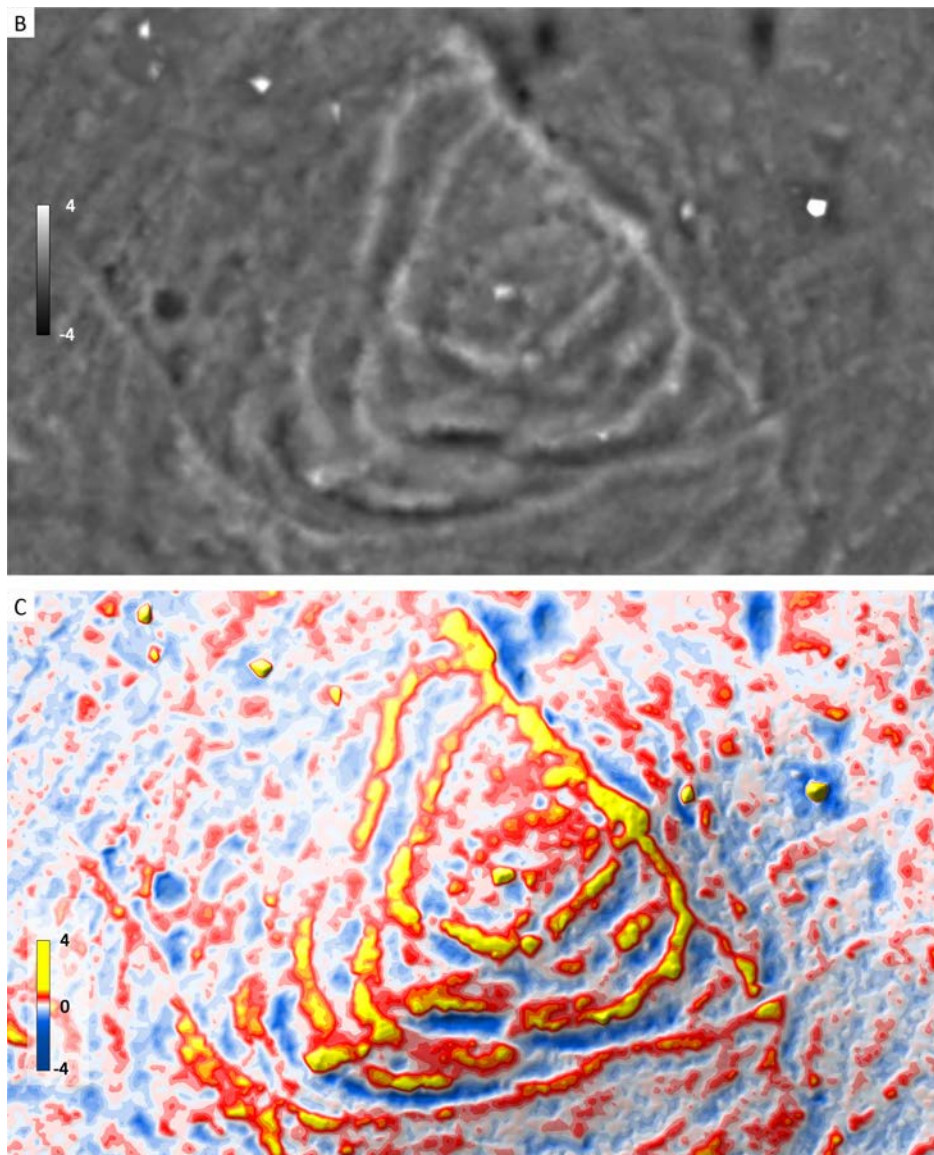
Slika 6: (A 1) Histogram kompletnog raspona podataka - visine su između 263 m i 536 m. Budući da smo zainteresovani samo za veoma uski raspon vrijednosti između 271 i 278 m - označeno tamnom strelicom na (A), ima smisla rastezati samo ovaj raspon na cijelu paletu "boja" (B). (A 2) Histogram rastegnutih vrijednosti područja prikazanog na slici 5. Umjesto da se sve koncentriše u "tamnom uglu" histograma, vrijednosti su mnogo ravnomjernije raspoređene i razlike u sjeni boje mogu se lakše razumjeti.

uklanjanja trenda (tj. pronalaženjem svih tačkaka za koje su vrijednosti izgladenog DEM-a i originalnog DEM-a jednake). DEM podaci visina se dodjeljuju svim tačkama duž ovih kontura (izohipsa). Nova aproksimacija generalizovanog DEM-a se zatim interpoliše iz tačkaka kako bi se kreirao pročišćeni DEM. Konačno, karta razlika između originalnog DEM-a i pročišćenog DEM-a je lokalni model reljefa (engl. *Local Relief Model* - LRM). LRM, koji je dobiven pomoću ovog pristupa, rezultira manje pristranom zastupljenošću topografskih osobina malih razmjera i istinitije prikazuje relativne visine i dubine ovih osobina s obzirom na okolni krajolik (slika 7).

Nivo izravnjanja definisan je veličinom niskopropusnog filtera, pri čemu manja matrica otkriva manje osobine i obrnuto. Precizna veličina matrice treba odražavati veličinu manjih karakteristika terena, dok je općenito sigurnije kada je veličina matrice oko 25 m. Metoda najbolje funkcioniše na terenu s postupnim nagibima, dok kreira artefakte poput umjetnih nasipa i jaraka gdje je reljef raznolik i/ili se naglo mijenja.







Slika 7: Snimak sjenčanja reljefa (A) i rastezanja histograma (B) lokalnog modela reljefa i LRM prikazan sa posebno dizajniranom paletom boja prekrivenom preko zasjenjenog snimka (Hesse 2010) (C). Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka utvrde na brdu Žerovinšček iz perioda željeznog doba u blizini Bločice, Slovenija, © ZRC SAZU.

## 2|5 Dio vidljivog neba i neizotropni dio vidljivog neba

Dio vidljivog neba (engl. *Sky-view factor* (SVF)) može se koristiti kao alternativna metoda kartiranja reljefa kako bi se prevladali problemi smjerova sjenčenja reljefa (Kokalj i dr., 2011; Zakšek i dr., 2011). SVF je geofizički parametar (ako se ne manipuliše podacima o visini sa vertikalnim preuveličavanjem), koji predstavlja dio neba vidljiv s određenog mjesta (obzirom na hemisferu usmjerenu iznad svakog piksela i ignorisanjem bilo kojeg smjera ispod matematičkog horizonta). Difuzni solarni rasteri izloženi Suncu mogu se koristiti i za vizuelizaciju arheoloških osobina (Challis i dr., 2011), ali zahtijevaju dodatna računanja, a rezultati su općenitiji (generalisani). Za razliku od tehnika zasjenjivanja zasnovanih na usmjerenom osvjetljenju, osobine vizuelisane sa SVF-om (ili sa otvorenošću) ne sadrže nikakve horizontalne pomake.

SVF ima raspon između 0 i 1. Vrijednosti koje su blizu 1 pokazuju da je gotovo kompletna hemisfera iznad piksela vidljiva, što je slučaj kod izloženih osobina (ravni, grebeni i vrhovi), dok su vrijednosti blizu 0 prisutne u dubokim ponorima i donjim dijelovima dubokih dolina gdje se gotovo i ne vidi nebo. Kao i snimci sa sjenčenjem reljefa, tako su i SVF snimci intuitivno čitljivi. Dok sjenčenje reljefa simulira usmjereni osvjetljenje površine (sunce), SVF simulira difuzno osvjetljenje (oblačno nebo).

Računanje SVF-a pod uticajem je radijusa pretraživanja horizonta - što je veći radijus pretraživanja, to je općenitiji rezultat. Nasuprot tome, mali radijus pretraživanja može se koristiti za vizuelizaciju i klasifikaciju lokalnih morfoloških oblika. Na primjer, pretraživanje radijusa od 10 km može se koristiti u meteorološkim studijama, dok je radijus za pretraživanje od 10 m pogodan za sposobnosti razlikovanja kod arheoloških nalazišta. Ravni tereni na lokalnom nivou, grebeni i zemljani radovi (npr. zidovi, brda za poljoprivredno kultivisanje, grobne humke) koje primaju više osvjetljenja su naglašene i pojavljuju se kao svjetline u bijelim bojama na SVF-u, dok su depresije/nizije (npr. rovovi, šanci, brazde nakon oranja, rudarske jame) tamne jer primaju manje osvjetljenja.

Različita softverska rješenja pružaju različite algoritme za računanje SVF-a. Razlika između rezultata, posebno za vizuelizaciju, može biti ogromna. Na primjer, kôd čiji je autor ZRC SAZU (2010) koji se provodi u LiVT (engl. *Lidar Visualization Toolbox*) i RVT (engl. *Relief Visualization Toolbox*) (pogledati Poglavlje 4: Alati) nema zasićenosti, dok primjene u SAGA GIS-u (Conrad i dr., 2015) obično daju veoma zasićena područja s niskim SVF-om. To znači da se u dolinama ne mogu vidjeti detalji.

Neizotropni (usmjereni) SVF uzima u obzir nejednako osvjetljenje neba. Osvjetljenje može ovisiti o azimutskoj i sunčevoj udaljenosti od zamišljenog izvora svjetlosti (Zakšek i dr., 2012). Time se vraća dio plastičnosti sjenčenja, što daje

bolje uočljive detalje kod veoma ravnih područja.

prekomjerne rezolucije.

SVF i neizotropni SVF su veoma dobre opšte tehnike vizuelizacije jer povećavaju vidljivost jednostavnih i složenih malih karakteristika, bez obzira na njihovu orijentaciju i oblik, na većini vrsta terena.

Odbacivanje najbližih susjednih piksela u SVF izračunu u velikoj mjeri poboljšava vidljivost arheoloških karakteristika u situacijama gdje su podaci pogrešni zbog neusklađenosti ili postavljanja

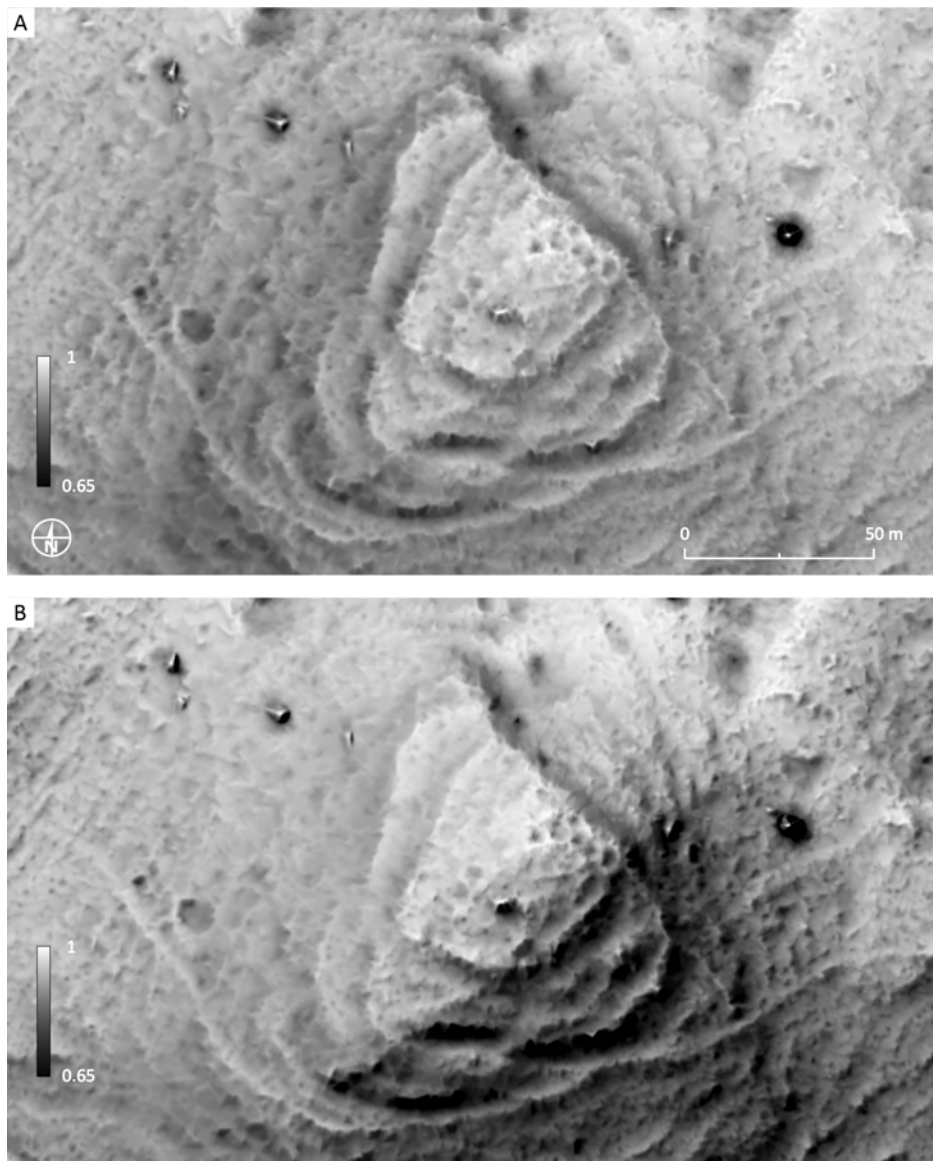
**Tabela 6: Tipične postavke za uklanjanje trenda i lokalno modeliranje reljefa.**

parametar vizuelizacije	općenito	veoma male karakteristike	velike karakteristike
poluprečnik filtera [m]	10	5	25
preporučeno rastezanje histograma *	linearno rastezanje, minimum -1 m, maksimum 1 m	linearno rastezanje, minimum -0.5 m, maksimum 0.5 m	linearno rastezanje, minimum -2 m, maksimum 2 m

\* Također ovisi o visini i dubini posmatranih osobina (karakteristika).

**Tabela 7: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju dijela vidljivog neba.**

parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
radijus [m]	10	10	10
broj smjerova	16	16	16
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, minimalno 0.65, maksimalno 1	linearno rastezanje, minimalno 0.9, maksimalno 1	linearno rastezanje, minimalno 0.55, maksimalno 1



Slika 8: Snimak dijela vidljivog neba (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova) (A) i neizotropni snimak dijela vidljivog neba (B) utvrde na brdu Žerovinšček iz perioda željeznog doba u blizini Bločice, Slovenija. Mnogi detalji mogu se vidjeti na ovom snimku, unatoč promjenljivoj morfologiji reljefa.



Slika 9: Snimak dijela vidljivog neba (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova) grebena i brazdi u blizini Neudingen-a, Njemačka (A). Izostavljanje najbližih piksela iz proračuna može smanjiti šum u podacima, tako da se osobine mogu bolje razumjeti (B). Prostorna rezolucija lidarskih podataka je 1 m © LGL u Baden-Württembergu.

## 2|6 Otvorenost

Otvorenost je još jedan naziv za difuzno osvjetljenje reljefa. Metoda se temelji na procjeni središnjeg nivoa horizonta u okviru određenog radijusa pretraživanja (Yokoyama i dr., 2002). Pozitivna otvorenost jednaka je srednjem uglu zenita svih utvrđenih horizontata, dok se negativna otvorenost temelji na uglovima nadira. Otvorenost ne ograničava procjenu svakog zenitnog ugla matematičkim horizontom (kao što to čini SVF). Drugim riječima rečeno, otvorenost podrazumijeva kompletnu sferu, a ne samo nebesku hemisferu. Kao rezultat toga, maksimalna vrijednost otvorenosti može biti veća od 90°. Osim toga, ravan (duga padina ili horizontalna ravan) bez prepreka uvijek će imati vrijednost otvorenosti od 90° bez obzira na nagib. Stoga je interpretacija rezultata otvorenosti ponekad teška, jer se nagib vizuelizira na isti način kao i horizontalna ravan. Međutim, budući

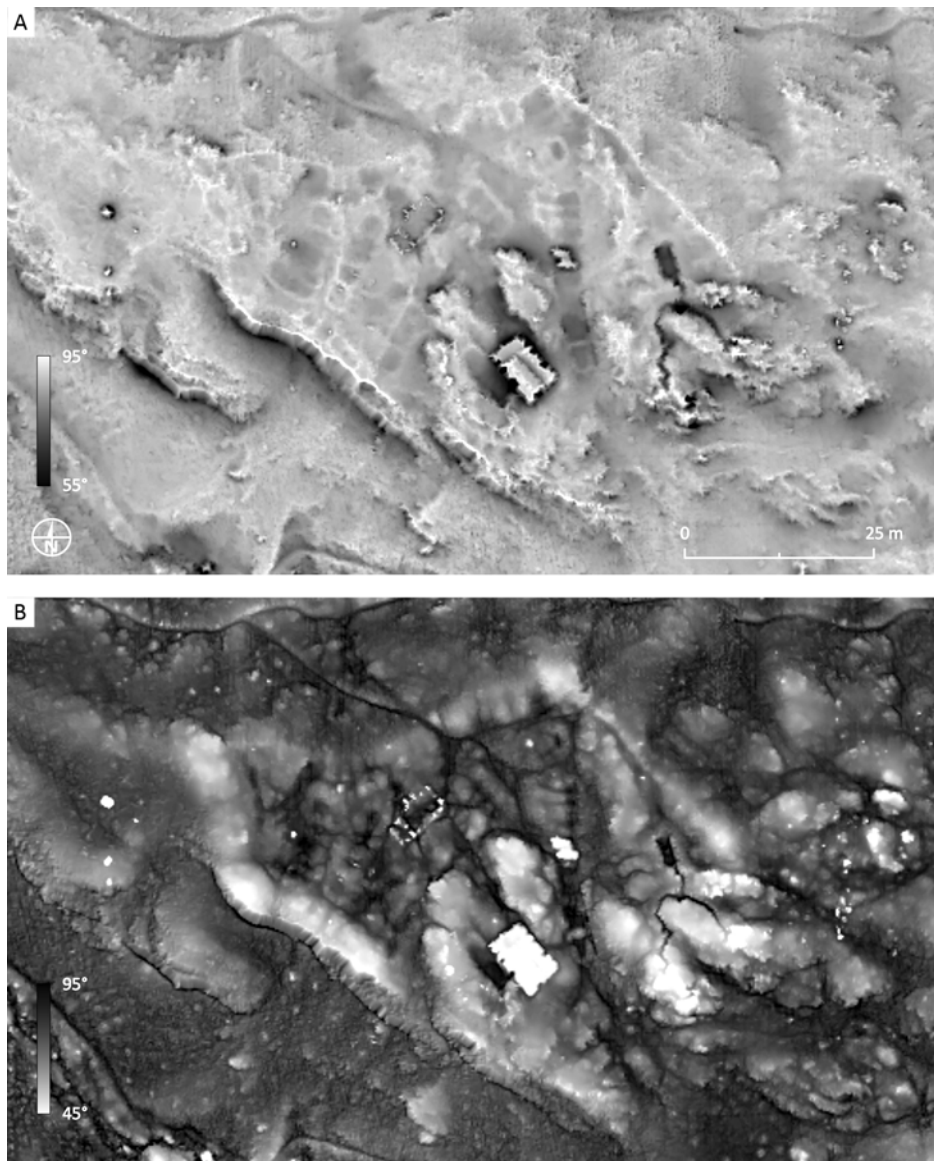
da otvorenost uzima u obzir kompletnu sferu za izračunavanje, rezultat je mnogo "ravniji" snimak, bez opšte topografije - vrsta snimka koji uklanja nagnutosti. Ima ista svojstva vrijednosti za vizuelizaciju kao SVF, uz izuzetak da je vizuelni dojam opšte topografije izgubljen. Tumačenje je stoga nešto složenije, ali otvorenost ima veliku prednost za automatsko otkrivanje osobina jer su "potpisi" osobina homogeniji i isti bez obzira na njihov položaj na ravni ili padini (Doneus 2013).

Negativna otvorenost nije inverzija pozitivne otvorenosti i pruža dodatne informacije. Dok pozitivna otvorenost ističe topografske konveksnosti, npr. grebene između šupljina i rubove kratera, negativna otvorenost naglašava najniže dijelove konkavnosti, npr. stvarne šupljine, najniže dijelove klanaca i donje rubove litica. Za dosljednu čitljivost preporuka je da se negativna otvorenost prikazuje sa obrnutim sivim tonovima (tj. tamnije je za veće vrijednosti). Time se konkavne osobine uvijek prikazuju kao tamni tonovi.

Tabela 8: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju pozitivne i negativne otvorenosti.

parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
radijus [m]	10	10	10
broj smjerova	16	16	16
preporučeno rastezanje histograma za pozitivnu otvorenost	linearno rastezanje, minimum 65°, maksimum 95°	linearno rastezanje, minimum 85°, maksimum 91°	linearno rastezanje, minimum 55°, maksimum 95°
preporučeno rastezanje histograma za negativnu otvorenost *	linearno rastezanje, minimum 60°, maksimum 95°	linearno rastezanje, minimum 75°, maksimum 95°	linearno rastezanje, minimum 45°, maksimum 95°

\* Preokrenuti prikaz sivih tonova (bijelo u crno) najbolje funkcioniraju.



Slika 10: Pozitivna (A) i negativna (B) otvorenost snimka (radijus pretraživanja od 10 metara u 16 smjerova) kasnoga antičkog naselja Tonovcov grad u Sloveniji. Veoma složen teren izgleda poravnato. Vrhovi istaknutih osobina jasno su uočljivi na snimku pozitivne otvorenosti, dok negativna otvorenost odražava dno šupljina i donje rubove litica.

## 2|7 Lokalna dominantnost

Za svaki piksel digitalnog modela visina, vizuelizacija lokalne dominantnosti digitalnog modela visina temelji se na računanju toga koliko će dominantan biti posmatrač koji stoji na tom mjestu u smislu lokalnog okruženja (Hesse 2016). Dominantnost je ovdje korištena kao prosječna strmina ugla sa kojeg posmatrač gleda dole prema okolnoj površini. Dominantnost je veća za tačke na lokalnim uzvisinama, kao i na padinama, a niža je za tačke u lokalnim depresijama.

Lokalna dominantnost izračunava se za piksele unutar određenog maksimalnog radijusa i za određenu visinu posmatrača iznad površine. Da bi se smanjila pojava šuma rezultujućih snimaka zbog male površinske hrapavosti, može se odrediti minimalni radijus. Svjetlina piksela proizilazi iz lokalnih vrijednosti dominantnosti primjenom odgovarajućeg istezanja histograma sivih tonova.

Vizuelizacija lokalne dominantnosti pogodna je za veoma suptilne pozitivne reljefne karakteristike poput nekadašnjih granica ili jako erodiranih grobnih humki, ali također pruža vrlo dobre rezultate za topografske depresije, poput dolina, tragova rudarenja ili šupljina.

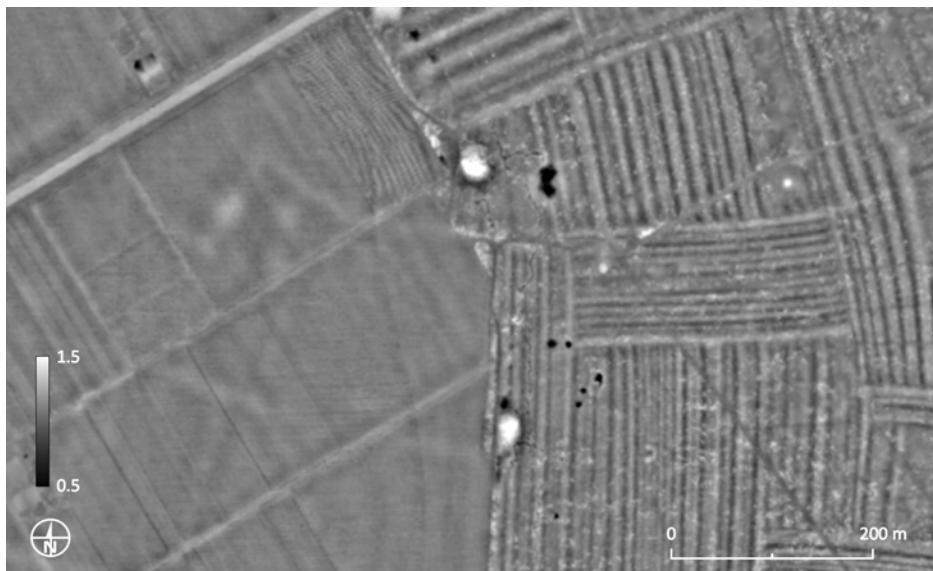
## 2|8 Kumulativna vidljivost

Vidljivost (engl. *viewshed*) je područje vidljivo sa povoljnog mjesta. Vidljiva površina ovisi o topografskom položaju povoljnog mjesta i okolnoj topografiji, ali i o visini posmatrača koji stoji na povoljnom mjestu, visinama objekata koji bi trebali biti vidljivi posmatraču i radijusu koji se razmatra.

S druge strane, kumulativna vidljivost određuje veličinu područja od kojeg je tačka u digitalnom modelu visina (ili objekat na toj tački) vidljiv posmatračima određene visine. Vizuelizacija digitalnog modela visina kumulativnom vidljivošću temelji se na računanju (za svaki piksel digitalnog modela visina) veličine područja unutar određenog radijusa od kojeg je objekat vidljiv (Hesse 2016). Budući da okolna topografija igra dominantnu ulogu za stanja međusobne vidljivosti, dobivena rasterska karta također može biti prikladna tehnika za vizuelizaciju topografije. Osim toga, takva se vizuelizacija može koristiti kao alat za analiziranja npr. lokacije arheoloških nalazišta.

Dobivena rasterska karta sadrži procentne vrijednosti (0 ... 100) veličine kumulativne vidljivosti površine u odnosu na cijelo područje unutar određenog radijusa.





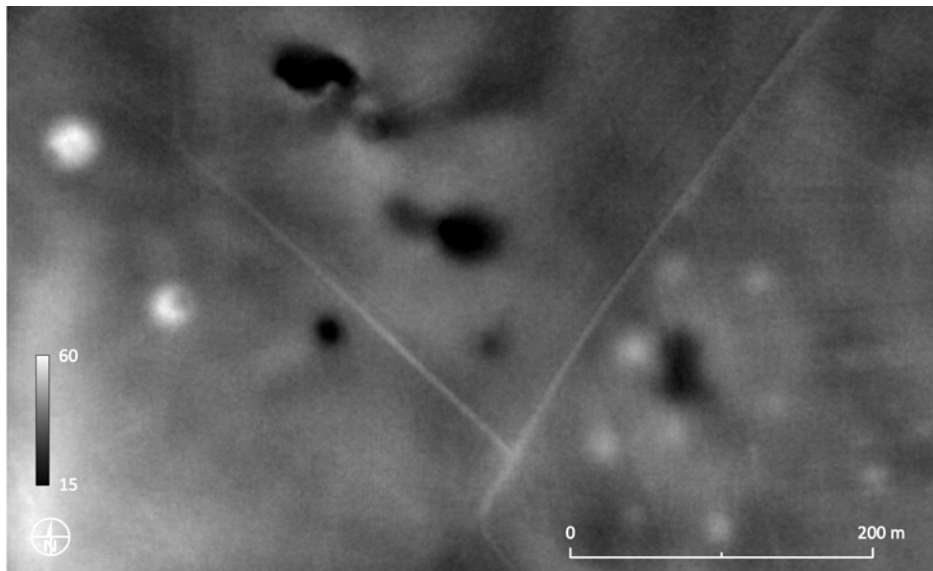
Slika 11: Snimak lokalne dominantnosti (radijus od 10 do 20 m) granica nekadašnjih polja, puteva, grebena i brazdi kod Hügelsheima, Njemačka. Grebeni i brazde očuvani su samo u područjima koja su danas prekrivena šumom. Neke druge osobine na slici uključuju kratere od bombi, zemljom prekrivene bunkere i rovove. Lidarski podaci od 1 m © LGL u Baden-Württembergu.

Tabela 9: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju lokalne dominantnosti.

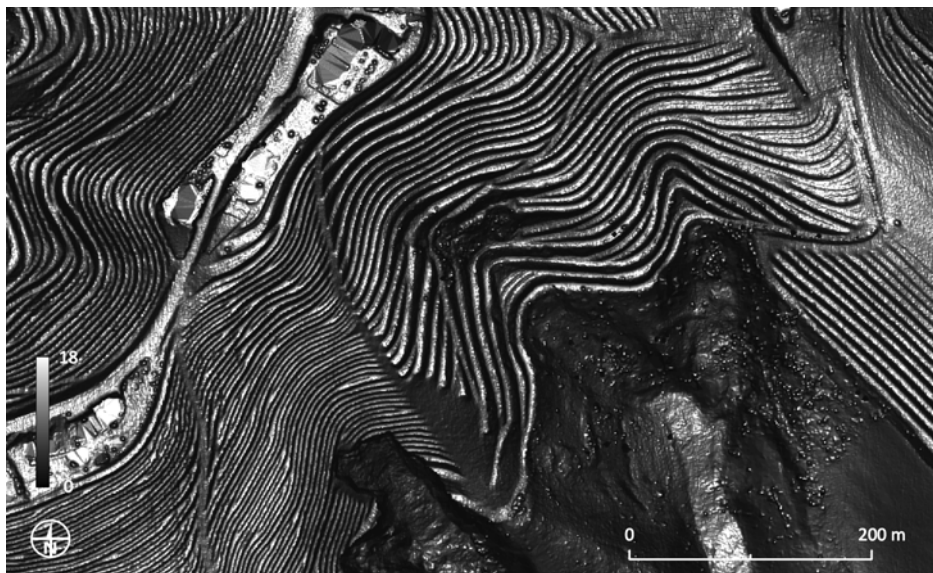
parametar vizuelizacije	općenito	strm ili složen (kompleksan) teren
radijus pretrage [m]	10-20	10-20
visina posmatrača [m]	1.7	1.7
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, minimum 0.5, maksimum 1.8	linearno rastezanje, minimum 0.5, maksimum 3

Tabela 10: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju kumulativne vidljivosti.

parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
radijus [m]	1-100	1-100	1-100
uglova rezolucija [°]	10	10	10
visina posmatrača [m]	1.7	1.7	1.7
visina mete [m]	0.0	0.0	0.0
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, minimum 15, maksimum 55	linearno rastezanje, minimum 0, maksimum 25	linearno rastezanje, minimum 10, maksimum 65



Slika 12: Snimak kumulativne vidljivosti grobnih humki (visoke vrijednosti) i dolina (niske vrijednosti) u Swabian Alb. Lidarski podaci od 1 m © LGL u Baden-Württembergu.



Slika 13: Snimak pristupačnosti (maksimalnog radijusa od 20 m) vrlo uskih poljoprivrednih terasa sa vinogradima u blizini Jeruzalema, Slovenija. Lidarski podaci od 0.5 m © ARSO.

## 2|9 Pristupačnost

Podaci digitalnih modela visina mogu se vizuelizirati računanjem dostupnosti površine. To znači da algoritam određuje (za svaki piksel digitalnog modela visina) maksimalni radijus kugle koja bi se mogla postaviti na površinu u ovom položaju, a da je ne ometaju visine piksela okoline (Miller 1994). Da bi se smanjilo vrijeme računanja, algoritam uzima u obzir samo okolne piksele unutar unaprijed definisanog radijusa. Vrijeme računanja može se dodatno smanjiti uzimajući u obzir samo okolne piksele duž malog broja radijalnih linija umjesto svih piksela.

Raspon vrijednosti u rezultujućoj rasterskoj karti odgovara rasponu radijusa kugle. Kartiranje u sivim tonovima ili kartiranje u bojama koristi se za prikazivanje rezultata kao snimka. Dostupnost se može koristiti za vizuelizaciju negativnih reljefnih osobina (npr. jame, utisnute staze) i osobina na padinama (npr. poljoprivredne terase). Suptilne osobine reljefa na više ili manje horizontalnim površinama vide se veoma slabo ili se uopšte i ne vide.

## 2|10 Više nivooska integralna invarijanta (MSII)

Više nivooska integralna invarijanta (engl. *Multi-Scale Integral Invariants – MSII*), u daljem tekstu MSII, je tehnika vizuelizacije koja je ranije primjenjivana kako bi se poboljšala čitljivost i pristup automatskom tumačenju tablet klinastog pisma (Mara i dr. 2010), ali je jednako vrijedna i za vizuelizaciju modelâ visina. Za izračun MSII,  $n$  sfera različitih promjera centrisane su na svakom pikselu u digitalnom modelu visina. Izračunat je procenat zapremine tih sfera iznad/ispod površine digitalnog modela visine. Rezultat je skup  $n$  vrijednosti (dijelovi zapremina iznad površine DEM-a) za svaki DEM piksel. Ovi skupovi  $n$  vrijednosti tumače se kao  $n$ -dimenzionalni vektori. Računanjem udaljenosti tih  $n$ -dimenzionalnih vektora od referentnog vektora, podaci se mogu redukovati na rastersku kartu koja sadrži jediničnu vrijednost za svaki piksel. Niske vrijednosti (niska vektorska udaljenost) ukazuju na veliku sličnost s referentnim vektorom i obrnuto. Korištenjem odgovarajućeg rastezanja histograma sivih tonova, ova rasterska karta može se prikazati kao snimak. Referentni vektor

Tabela 11: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju pristupačnosti.

parametar vizuelizacije	općenito
radijus [m]	10
broj smjerova	16
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, minimum 0, maksimum = radijus

može se, na primjer, odrediti izvlačenjem vektorskih vrijednosti za određenu osobinu reljefa ili tačku unutar znaka klinastog oblika ili jednostavno odabirom izvora  $n$ -dimenzionalnog koordinatnog sistema (tj. nula).

MSII je gotovo jednako prikladan za vrlo različite terene, od ravnica do planina. Budući da je to više nivooski pristup, on može vizuelizirati reljefne osobine u širokom rasponu veličina, tj. može jasno pokazati veoma male objekte dok istovremeno zadržava barem neki dojam o pejzažnim oblicima. Može biti prilično osjetljiv na šum podataka. To se može izbjeći postavljanjem većeg minimalnog radijusa. Međutim, ovo zauzvrat djelimično ugrožava prikaz malih detalja.

## 2|11 Laplacian-of-Gaussian (LoG)

Diskretni Laplasov filter izračunava drugi izvod visine, tj. promjenu nagiba. To je mjera konveksnosti i stoga može biti vrijedna za vizuelizaciju rubova. Laplasov filter često se primjenjuje na snimak koji je prvo bio izglađen nečim što aproksimira Gaussov filter za izgladivanje, kako bi se smanjila osjetljivost na šum, i ta kombinacija je poznata kao Laplacian-of-Gaussian (LoG).

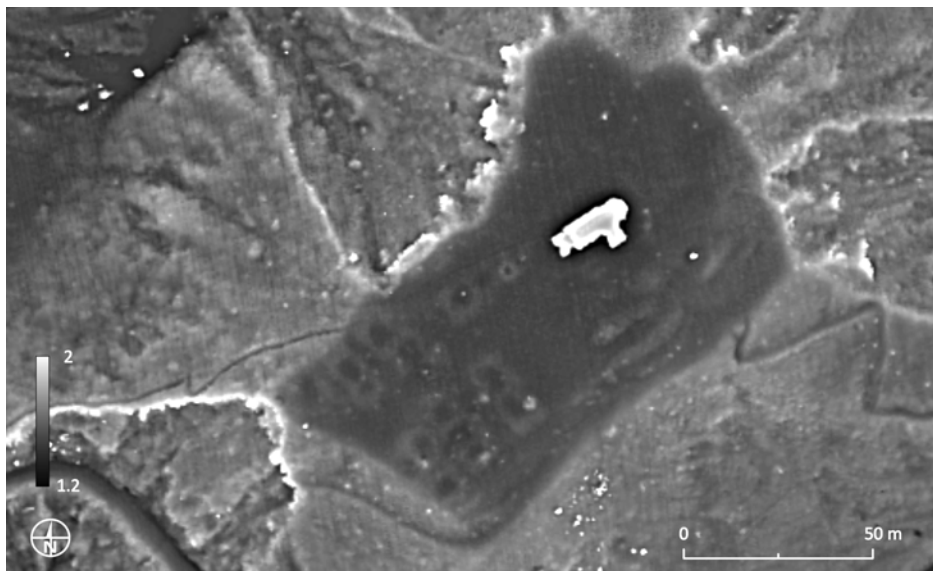
Tabela 12: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju MSII.

parametar vizuelizacije	općenito	veoma ravan teren	strm ili složen (kompleksan) teren
broj nivoa	8	8	8
minimalni radijus [m]	1	1	1
maksimalni radijus [m]	11	11	11
preporučeno rastezanje histograma	linearno rastezanje, minimum 1.2, maksimum 1.8	linearno rastezanje, minimum 1.3, maksimum 1.5	linearno rastezanje, minimum 1.2, maksimum 2.5

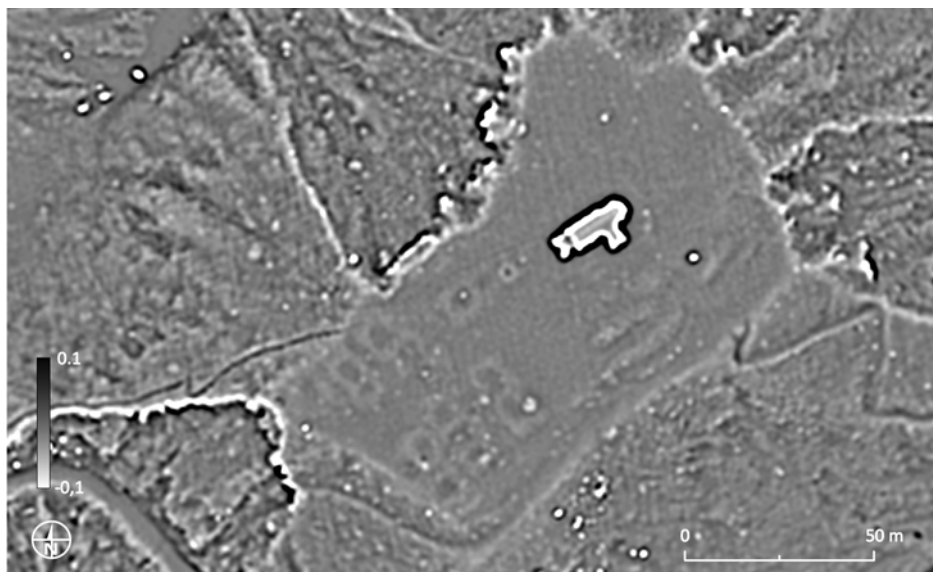
Tabela 13: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju Laplacian-of-Gaussiana.

parametar vizuelizacije	općenito
radijus Laplasovog filtera [px]	3
radijus niskopropusnog filtera [px]	25
preporučeno rastezanje histograma *	linearno rastezanje, minimum -0.05, maksimum 0.05

\* Preokrenuti prikaz sivih tonova (bijelo u crno) najbolje funkcioniše.



Slika 14: MSII snimak starog rimskog logora u Sv. Jeleni, zapadno od Kobarida, Slovenija. Lidarski podaci od 0.5 m © Walks of Peace in the Soča river Foundation.



Slika 15: Snimak starog rimskog logora u Sv. Jeleni, zapadno od Kobarida, Slovenija kao što je vidljivo na lidarskim podacima od 0.5 m prostorne rezolucije filtriranim sa Laplacian-of-Gaussian konvolucionim filterom radijusa 3 piksela (tj. 1.5 x 1.5 m).

## 2|12 Vizuelizacija nesigurnosti

Informacije o tome kako su sirovi podaci prikupljeni i obrađeni, te o metodama i postavkama za prezentaciju podataka imaju veliki uticaj na otkrivanje osobina i tumačenje procesa. Na primjer, ako interpretator zna originalnu gustoću skeniranja, metod filtriranja oblaka tačaka i metod kreiranja digitalnog modela visina, mogu se procijeniti i donositi odluke o različitim artefaktima koji se mogu pronaći u podacima.

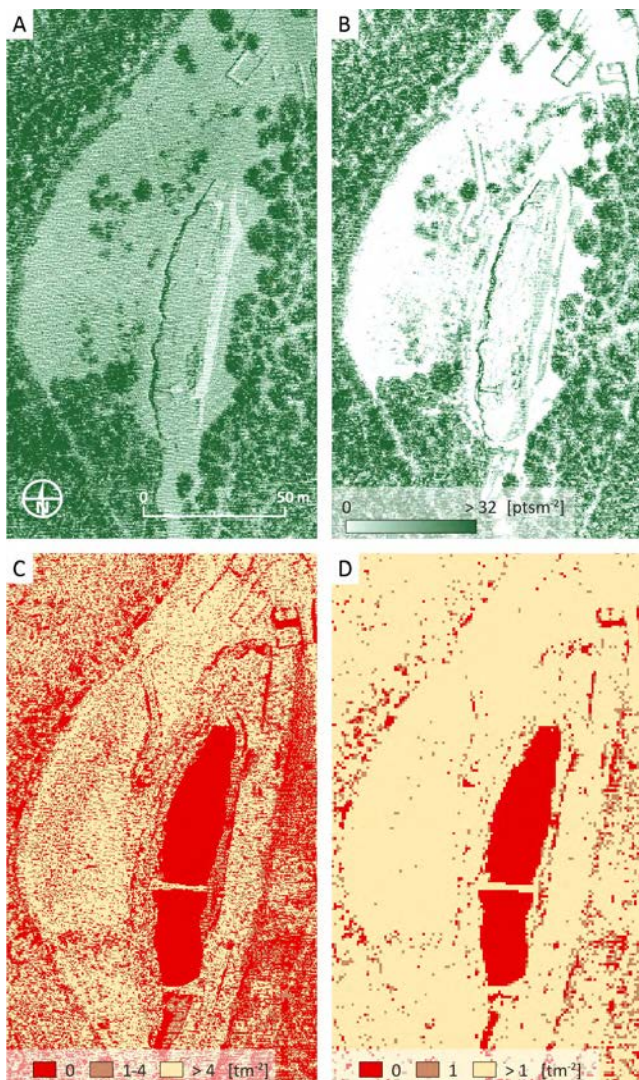
Pojava različitih artefakata ili neprirodno glatkog terena može se učinkovito predvidjeti kartiranjem gusto raspoređenih laserskih tačaka koje predstavljaju tlo i gusti vegetacioni pokrov iznad njih. Na slici 16C može se vidjeti da je, i pored visoke gustoće skeniranja od 0.5 m, gustoća tačaka na terenu na nekim mjestima nedovoljna (praznine u podacima su u crvenoj boji), kako bi se tačno kartiralo tlo pod šumom. U takvim slučajevima algoritam rasterizacije mora interpolirati (izvesti zaključak iz susjednih tačaka) prikaz zemlje. Pojava tih interpoliranih površina varira od algoritma do algoritma, no najvažniji je uticaj na opću glatkoću i očuvanje rubova (slika 17). Artefakti kreirani nekim interpolacionim algoritmima mogu se smatrati neatraktivnim i neprimjerenim za prikaz. Međutim, preporučljivo je koristiti takve algoritme posebno kada je cilj vizuelna interpretacija: artefakti su veoma prepoznatljivi i time pomažu izbjegavanje pogrešnog tumačenja "lijepih" površina koje se temelje na nedostatnim podacima.

Ako karte gustoće tačaka, maske nedostajućih podataka, ili stvarni podaci oblaka tačaka, nisu dostupni, šumske maske ili topografske karte mogu se koristiti kao grubi vodič. U nedostatku pomenutih, pojednostavljene karte gustine vegetacije mogu se aproksimirati s vegetacionim indeksima (npr. normalizovani diferencijalni vegetacioni indeks, tj. NDVI, engl. *Normalized Difference Vegetation Index*), koji su dobiveni iz slobodno dostupnih satelitskih podataka visoke rezolucije (Landsat-8 ili Sentinel-2, dostupni na [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) i [scihub.copernicus.eu](http://scihub.copernicus.eu)).

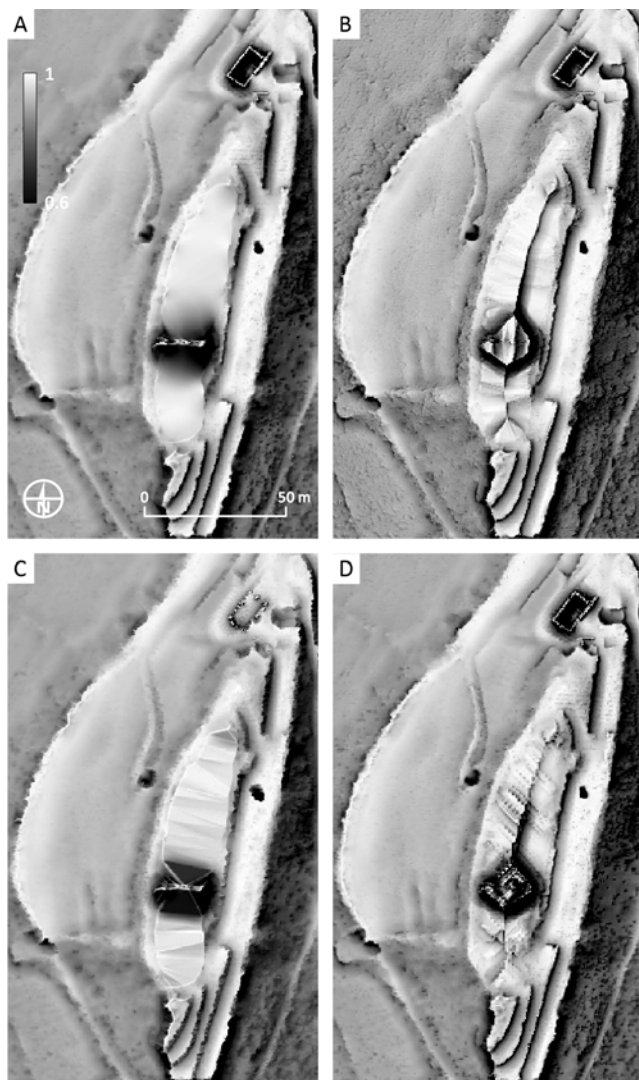
Postoji nekoliko vrsta artefakata koji se obično nalaze u digitalnim modelima visina dobivenim na temelju lidara. Korisno je znati da su "riblje ljuske", koje se ponekad nalaze u šumskim skupovima podataka (slika 18A), rezultat direktne rasterizacije oblaka tačaka (tj. bez pomoći triangulacione mreže nepravilnog oblika - TIN, engl. *Triangulated Irregular Network*), te da su osobine poput talasa (na prvi pogled, čvrsto razmaknuti grebeni i brazde) posljedica slabe registracije linija skeniranja (slika 19A). Crne zvijezde, koje se ponekad vide na snimku dijela vidljivog neba, mogu se povezati s posvećenom obradom, gdje je proces filtriranja oblaka tačaka optimiziran kako bi ostavio arheologiju što je moguće netaknutijom. Osam ili šesnaest šiljaka crne zvijezde mogu biti formirani oko veoma malih površinskih "izbočenja" koji su nefiltrirani ostaci četinarskih stabala (slika 18B) ili drugih uspravnih objekata (slika 42). To se događa kada su četinari previše gusti za laserski impuls koji bi trebao doći do tla, a filtriranje

je postavljeno tako da ne bi suviše zaglađivao izvedeni model visina. Zvijezde su dobivene zahvaljujući činjenici da je SVF obično izračunat u osam ili šesnaest smjerova. Dodatni artefakti prikazani su na slikama 18C, 19B i 19C.

Slika 16: Karte gustoće lidarskih podataka dvorca Montfaucon istočno od Besancona, Francuska. Gustoća svih tačaka (A), gustoća vegetacionih tačaka (B) i tačaka na terenu (C) izračunata za svaki piksel (0.5 m), ali ucrtana po  $m^2$ . Gustoća tačaka na terenu izračunata i iscrtana po  $m^2$  (D). Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 0.5 m  
 © Univerzitet Franche-Comte.







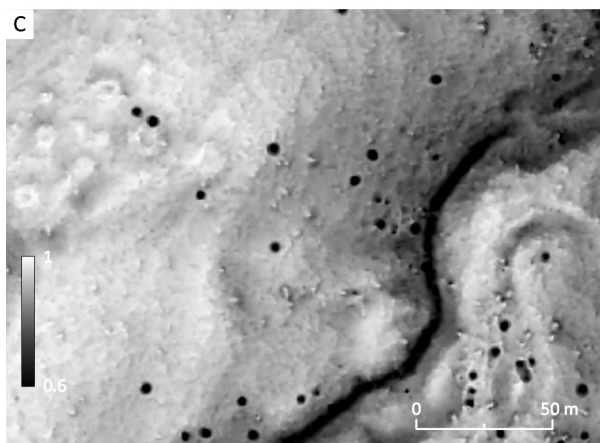
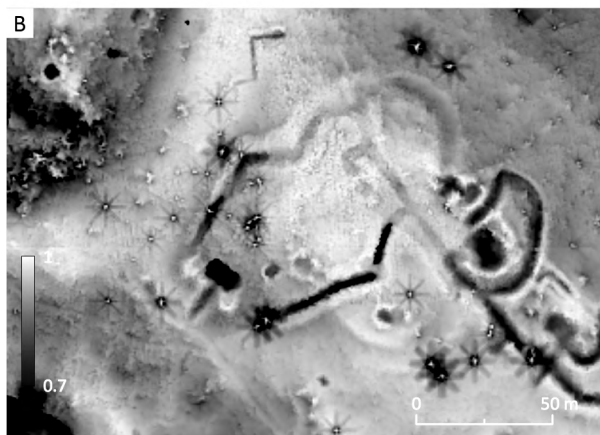
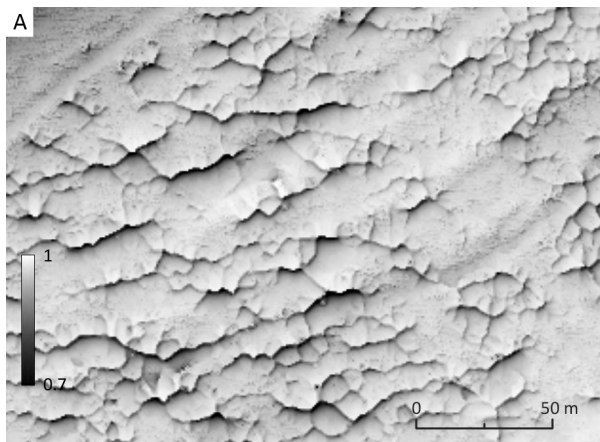
Slika 17: Neizotropni snimak dijela vidljivog neba modela visina dobiven različitim algoritmima rasterizacije (interpolacije). Treba imati na umu razliku u interpolaciji površine dvorca i jugoistočne padine koja vodi do njega. Prirodni susjedi (engl. *Natural Neighbours* - NN) (A) generišu vrlo glatki teren, težina inverzne udaljenosti (engl. *Inverse Distance Weighted* (IDW)) (B) uvodi korake, TIN s ponavljajućom interpolacijom (engl. *TIN with Repetitive Interpolation* - REIN) (C) uvodi trouglove i splajnovi (D) kreiraju niz artefakata.

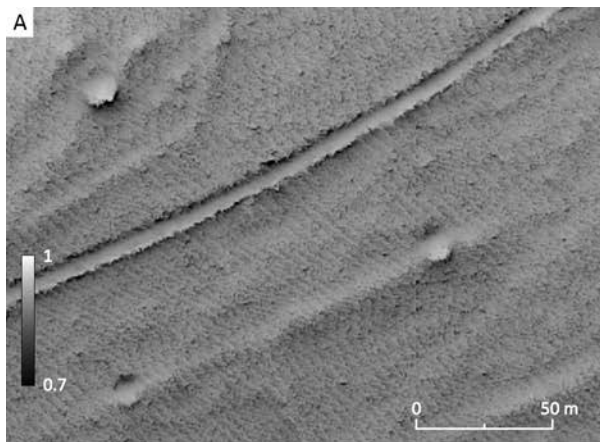
Slika 18: "Riblje ljuske" rezultat su direktne rasterizacije oblaka tačaka (A). Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka područja oko Besancona, Francuska, © Univerzitet Franche-Comte.

Crne zvijezde obično se oblikuju oko malih izbočenja na snimku dijela vidljivog neba prilikom izračuna s 8 ili 16 smjerova (B). Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka iz prvog svjetskog rata blizu Kobarida u Sloveniji. © Walks of Peace in the Soča river Foundation.

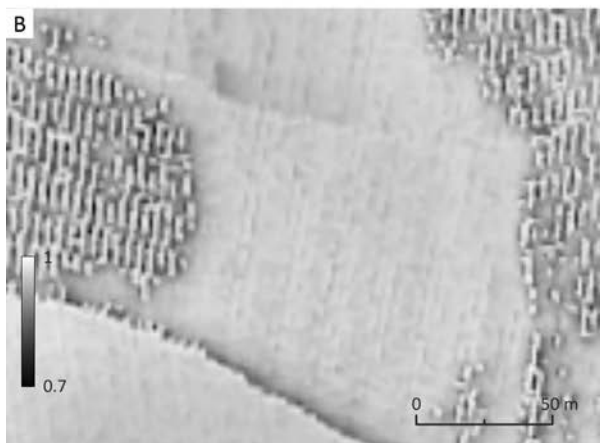
Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka puna lažnih udubljenja. Oni su rezultat slabe obrade podataka koji su klasificirali mnoge lidarske tačke ispod površine terena kao tačke terena (C). Grobna mjesta u Poštelima mogu se vidjeti u gornjem lijevom uglu (C). © ARSO, Slovenija.

Svi snimci prikazuju SVF-ove izračunate u 8 smjerova s radijusom pretrage od 10 m.

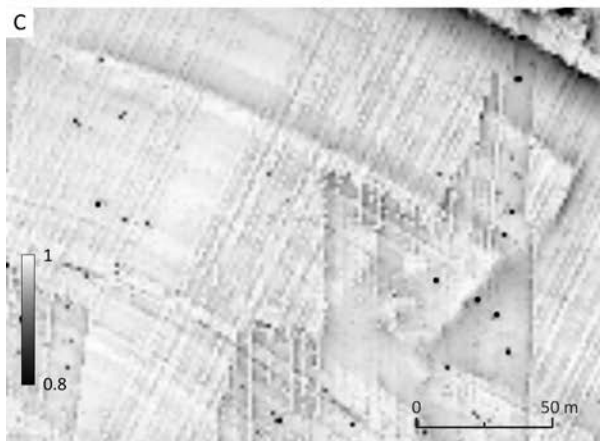




Slika 19: Karakteristike koje su slične talasima posljedica su loše registracije linija skeniranja (A). Mogu se vidjeti platforme za pravljenje uglja. Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka područja oko Besancona, Francuska, © Univerzitet Franche-Comte.



Ozbiljna neusklađenost linija snimanja i pretjerano ambiciozne postavke rezolucije rezultiraju artefaktima sličnim "ribanju" i fiktivnim koracima na terenu (B). Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka područja u blizini Tauberbischofsheima © LGL u Baden-Wurttembergu.

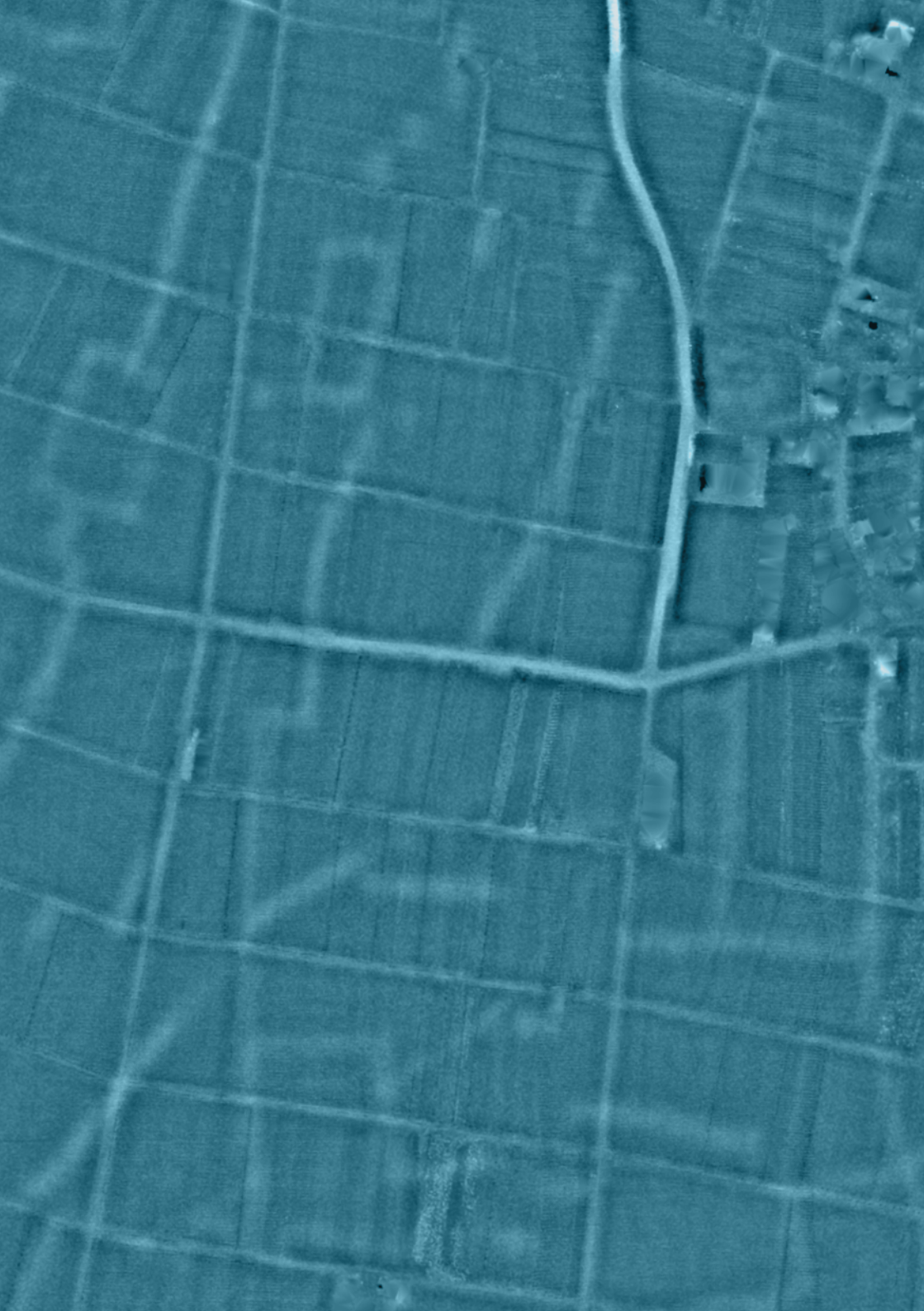


Slaba predobrada sirovih podataka rezultirala je čitavim nizom artefakata otisnutih na terenu sjeverozapadno od Volarja, Slovenija (C). Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka © ARSO, Slovenija.

Svi snimci prikazuju SVF-ove izračunate u 8 smjerova s radijusom pretrage od 10 m.

# 3

## Smjernice za izbor tehnika



# 3

**Kako složenost raste, tako se i potreba za vizuelizacijom prenosi ne samo na ono što postoji u jasnim bojama, već su važni i tačan oblik, veličina, relativna visina, stepen očuvanosti i kontekst neposrednog okruženja.**

Obično postoji nekoliko važnih vrsta pitanja na koja želite odgovore kada koristite lidarske podatke za arheološke potrebe. Postoji li nešto tamo? Postoji li nešto pored? Šta je to? Zašto je tamo? Šta je starije/mlađe? Složenost se povećava sa svakim od ovih pitanja, pa je potrebno znanje za odabir odgovarajuće vizuelizacije.

Dva su temeljna pitanja prilikom kreiranja vizuelizacije. Koliko je potrebno načina vizuelizacije kako bi se u potpunosti ostvario zadatak i koje metode vizuelizacije su najprikladnije za dobivanje brzih i preciznih odgovora? Prvenstveno, izbor vizuelizacije ovisi o osobinama traženih reljefnih karakteristika (npr. veličine, oblika i konveksnosti/konkavnosti) i ukupnih oblika krajolika (npr. glatki, valjani i hrapavi). Dalji činioci koji mogu uticati na izbor vizuelizacije mogu se kretati od vremena računanja do ličnih preferencija.

## 3 | 1 Priprema snimaka za detekciju i interpretaciju

Kao što je spomenuto u uvodu, digitalni modeli visina sadrže numeričke podatke o nadmorskoj visini i moraju se pretvoriti u čitljiv snimak za vizuelnu interpretaciju. Isto tako, većina tehnika vizuelizacije koje su opisane u prethodnim poglavljima proizvode rasterske karte koje sadrže numeričke vrijednosti. Za prikaz ovih rasterskih karata kao snimaka treba primijeniti, sive tonove ili boje, kao i rastezanje kontrasta. Takvi sivi tonovi se na primjer postižu pridruživanjem crne boje (vrijednost piksela nula) najnižoj i bijele (vrijednost piksela 255) najvećoj numeričkoj vrijednosti pronađenoj u izračunatom rasterskom fajlu. Međutim, u mnogim slučajevima pojavljuju se ekstremne vrijednosti (posebno uz rubove digitalnih modela visina), što može rezultirati veoma niskim stepenom kontrasta snimaka. Dakle, ekstremno

niske i visoke vrijednosti obično moraju biti odsječene/odrezane (tj. zasićene).

Iako je korištenje sivih tonova općenito najbolji izbor, paleta boja je poželjna u nekim slučajevima, a posebno kada je potrebno naglasiti jasnu razliku između pozitivnih i negativnih reljefnih obilježja. Za potrebe uklanjanja trenda i za lokalni model reljefa utvrđeno je da je veoma korisno korištenje plavih tonova za negativne vrijednosti i crveno/žutih tonova za pozitivne vrijednosti.

Sa ciljem jasnijeg prikaza osobina, tj. s većim kontrastom, obično je potrebno rastezanje histograma. Rastezanje histograma pretvara uski raspon ulaznih vrijednosti (npr. vrijednosti visina od 523.2 do 542.7 metara za hipotetičku diferencijaciju visine) na cijeli opseg izlaznih vrijednosti (npr. od 0 = crno do 255 = bijelo). Postoje mnoge vrste rastezanja histograma, pri čemu se najčešće koristi linearno minimalno-maksimalno rastezanje (sa ili bez rezanja vrijednosti ispod i/ili iznad određene vrijednosti ili određenog procenta), izjednačenje histograma, rastezanje standardnog odstupanja i prilagođeno rastezanje histograma zasnovano na korisnički definisanoj frekvencionoj krivoj. Samo linearna rastezanja zadržavaju relativnu raspodjelu vrijednosti između prikazanog minimuma i maksimuma, dok ostale metode to ne čine. Učinak nelinearnog rastezanja je u tome da ne možemo tačno uporediti različite osobine. Međutim, za vizuelno tumačenje može ipak biti korisno jer je u stanju "odvojiti" veoma slične vrijednosti i time omogućiti vizuelno razlikovanje.

Neki softveri dopuštaju korisniku da automatski podešava rastezanje histograma u stvarnom vremenu temeljeno samo na vrijednostima koje se trenutno prikazuju na ekranu. To znači da se prikazani raspon vrijednosti mijenja kada se krećemo krajolikom koji nije veoma koristan za uporedbu osobina, ali dobro funkcioniše ukoliko se radi o njihovom otkrivanju.

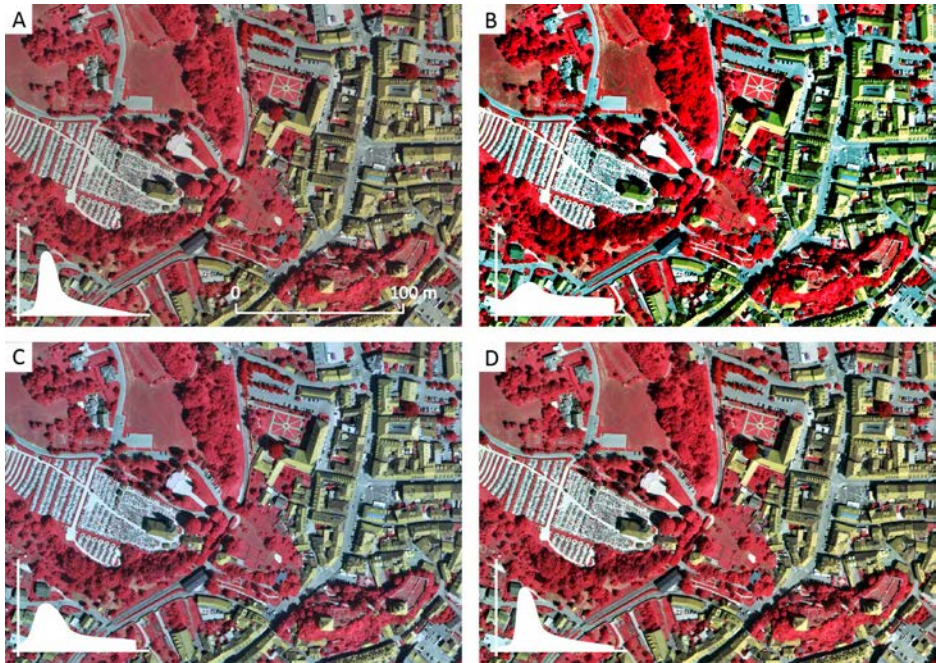
Rastezanje histograma sa zasićenjem minimuma za SVF ili pozitivnu otvorenost slikovnih rendera prikazuje uske doline, vrlo strme padine i blizine visokih objekata (kao što su zgrade) crnim, što može biti korisno pri određivanju konkavnih osobina na ravnom ili valovitom terenu. Ako je to nepoželjno jer npr. osobine kod takvih područja treba sakrivati, standardno odstupanje ili standardno minimalno-maksimalno rastezanje pruža vizuelizaciju bez ili uz minimalnu zasićenost, ali sa manje kontrasta.

Dvije ili više vizuelizacije mogu se kombinovati u jedan snimak. To može biti koristan pristup za poboljšanje vizuelnog prikaza krajolika ili osobina i/ili smanjenja broja snimaka koje treba analizirati. Takve se kombinacije obično primjenjuju na sive tonove ili snimke u boji, a ne na numeričke rezultate algoritama vizuelizacije. Računanje sivih tonova ili prosječne boje dva ili više snimaka rezultira prozirnim prekrivanjem jednog snimka preko drugog. Može se koristiti težinski prosjek za podešavanje prozirnosti. Alternativno, snimci se mogu međusobno multiplicirati (i raspon

vrijednosti se naknadno ponovno može urazmjeriti na raspon od 0 do 255]. Tri snimka u sivim tonovima mogu se kombinovati u RGB kompozitni snimak, gdje se različiti ulazni snimci prikazuju kao crvene, zelene i plave komponente rezultujućeg snimka u boji (slika 3A i C).

Kombinovanje rezultata različitih vizuelizacija na smislen i promišljen način oslanja se na njihove prednosti. Neki primjeri prikazani su u poglavljima Studije slučaja. Ne samo da je moguće eksperimentisati s različitim

rastezanjima histograma i paletama boja, već je to moguće raditi i sa stepenom transparentnosti i matematičkim operacijama kombinovanja slojeva. Proces kreiranja ekspresivne vizuelizacije istovremeno je posao i umjetnost.



Slika 20: Izvorni snimak na kome se primjenjuje samo minimalno-maksimalno rastezanje histograma - prikazuje se cijeli niz vrijednosti s relativnim razlikama između očuvanih vrijednosti (A). Snimci prikazani različitim tehnikama rastezanja histograma: izjednačenje histograma (B), standardno odstupanje  $2.5\sigma$  (C), zasićenosti minimuma i maksimuma 0.5% (D).



## 3|2 Analiziranje i predstavljanje snimaka

### 3|2|1 Odabir odgovarajućih vizuelizacija

Izbor tehnike vizuelizacije ovisi o brojnim činiocima. Najvažniji su topografija krajolika, morfologija i veličina traženih osobina. Ovo je zbog toga što različite tehnike mogu preferirano naglašavati male depresije ili visine, niske reljefne osobine terena na horizontalnim ili nagnutim ravnima ili strukture na padinama. Vrsta vizuelizacije često ovisi o zadatku i trenutnoj fazi u cjelokupnom toku rada (npr. opštem pregledu, kartiranju osobina, analizama detalja). U gotovo svim slučajevima, jedna tehnika vizuelizacije neće biti dovoljna za izdvajanje cjelokupne količine informacija

iz podataka. To podrazumijeva da za određeno područje treba primijeniti nekoliko tehnika. U nastavku slijedi pokušaj smanjenja složenosti višestrukih tehnika vizuelizacije i pružanja smjernica u vezi s njihovim odabirom.

Preporučuje se uvijek početi sa gledanjem zasjenjenih preglednih snimaka reljefa površine koja se istražuje, jer to pruža "najprirodniji" vizuelni izgled topografije i na taj način može pomoći u odlučivanju koje druge tehnike mogu dobro funkcionisati.

U područjima blage do umjereno strme topografije, osjenčeni reljef može se uspješno koristiti za istraživanja pojedinosti o reljefu. Međutim, potrebno je voditi brigu o primjeni nekoliko smjerova osvjetljenja i izbjegavanju nedostataka sjenčenja reljefa, kao lošem predstavljanju linearnih osobina

**Tabela 14: Prikladnost tehnika vizuelizacije za predstavljanje odabranih arheološko-topografskih osobina.**

	rudarske jame	nekadašnje granice	grobne humke	terase	izdubljeni putevi	grebeni i brazde
zasjenčeni reljef	-	-	+	0	0	-
nagib	-	0	0	+	+	++
analiza osnovnih komponenti	-	-	+	0	+	++
uklanjanje trenda i LRM	++	+	++	+	+	++
dio vidljivog neba	++	+	0	++	++	++
otvorenost	++	+	+	+	++	++
lokalna dominantnost	++	++	++	+	++	++
kumulativna vidljivost	-	-	+	0	+	0
pristupačnost	-	0	-	0	0	-
MSII	+	+	0	+	+	+
Laplacian-of-Gaussian	+	+	++	+	+	++

- nije prikladno; 0 nejasno; + prikladno; ++ veoma prikladno

paralelnih s azimutom osvjetljenja, niskom kontrastu u područjima okrenutim prema (homogeno sjajno) ili daleko od (homogeno tamno) izvora svjetlosti kao i optičkih iluzija (obrnuti reljef). Dok bi se veoma mali visinski uglovi osvjetljenja ( $< 10^\circ$ ) mogli i trebali koristiti za naglašavanje niskih reljefnih osobina u područjima sa niskim nagibima i ravnim terenima, to su veći visinski uglovi osvjetljenja ( $> 35^\circ$ ) karakteristični za strmiju topografiju. Da bi istražili osobine na terenima od prosječnih do strmih padina, potrebno je upotrijebiti osjenčeni reljef sa (skoro) vertikalnim osvjetljenjem kako bi se smanjilo zasićenje svijetlih/tamnih površina na nagibima okrenutim ka/od osvjetljenja. U ovim slučajevima, zasjenjeni reljefni snimci postaju slični nagnutim snimcima koji mogu biti korisna alternativa u slučajevima umjerene do strme topografije.

U područjima od umjerene do strme topografije, najbolje funkcioniraju SVF kako bi se istaknula površinska udubljenja i osobine na padinama. Ovisno o rasponu nagiba u određenom području koje se proučava, mogu biti potrebna različita rastezanja histograma kako bi se izbjegla svijetla zasićenja kod blage topografije i tamna zasićenja na strmim padinama. U područjima s ravnom ili veoma blagom topografijom, SVF je općenito ograničen na prikaz negativnih reljefnih osobina (jame, jarci, kamenolomi, erozione površine, doline, ...) i postaje veoma osjetljiv na šum DEM-a. Opšte pravilo podrazumijeva korištenje rastezanja histograma od 0.65 – 1 za različite oblike terena i 0.9 – 1 za veoma ravne terene.

U područjima s ravnom ili veoma blagom do umjerenom topografijom, lokalna dominantnost, uklanjanje trendova ili lokalni reljefni model veoma su korisni za isticanje izuzetno niskih reljefnih osobina poput nekadašnjih granica parcela ili izravnatih grobnih humki. Na veoma ravnim horizontalnim ravnima (obalne ravnice ili široke riječne doline), diferencijacija visine (sivi tonovi ili kodiranje boje DEM-a) može biti vrlo jednostavna i učinkovita alternativa. Međutim, to ne uspijeva ukoliko ukupna topografija odstupa od gotovo horizontalne. Uklanjanje trendova, lokalni model reljefa i lokalna dominantnost u određenoj mjeri su međusobno razmjenjivi. Prednost jednostavnog uklanjanja trendova u odnosu na lokalni model reljefa je da je to mnogo jednostavniji i brži algoritam. S druge strane, lokalni model reljefa stvara realnije relativne visinske vrijednosti reljefnih anomalija. Lokalna dominantnost zadržava (ograničeno) vizuelni dojam cjelokupnog krajolika jer proizvodi više vrijednosti na padinama nego na horizontalnim ravnima. To podrazumijeva da na strmim padinama lokalna dominantnost zahtijeva drugačije rastezanje histograma nego u područjima s blagom topografijom.

Laplacian-of-Gaussian je veoma korisna tehnika za naglašavanje rubova i može se koristiti za tu svrhu. Djeluje dobro kao "prekrivač" preko ostalih vizuelizacija kako bi se značajno poboljšali rubovi, a time i naglasile osobine reljefa. Kada se kombinuje u (težinskim) prosječnim sivim tonovima s lokalnom dominantnošću

ili SVF-om, pomaže u prevladavanju zasićenja na strmijim padinama koje nastaju kada se rastezanje histograma ili dio vidljivog neba prilagođava tako da bude prikladan za blagu ili umjerenu topografiju.

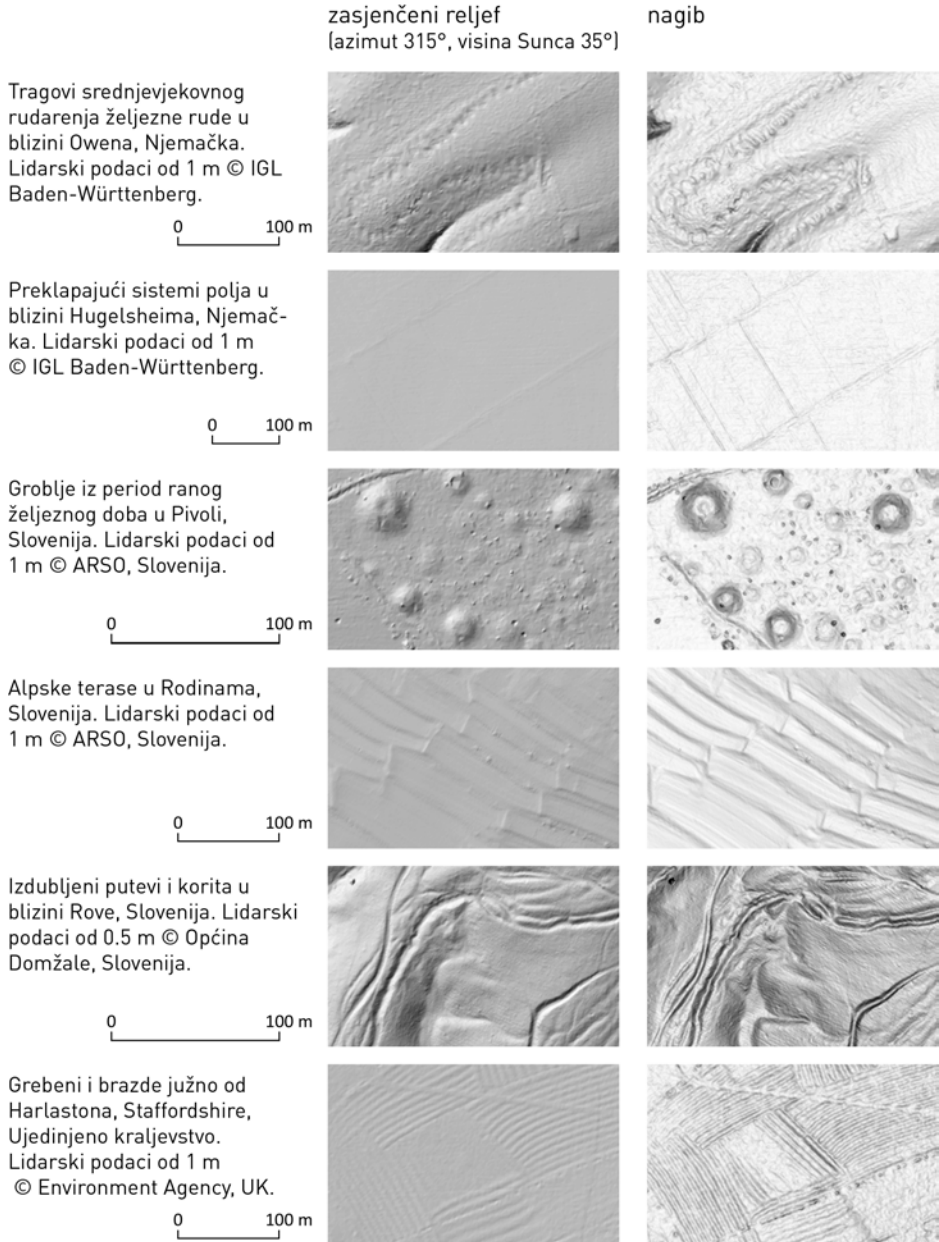
Pozitivna i negativna otvorenost veoma su korisni za isticanje pozitivnih i negativnih reljefnih osobina. Budući da otvorenost uklanja vizuelni dojam cjelokupnih oblika krajolika, na isti ne utiče zasićenost zbog blagih ili strmih padina i može se koristiti u raznolikoj topografiji. Zbog sposobnosti da se različito istaknu pozitivne i negativne reljefne osobine, posebno je pogodan za ciljano otkrivanje tih osobina.

Kao i otvorenost, MSII se može koristiti kod raznolike topografije jer na takvu relativno malo utiče zasićenost zbog sveukupne topografije. Budući da je riječ o pristupu sa više nivoa, to rezultuje dobrim prikazom osobina unutar raspona. Međutim, veoma širok raspon je računarski intenzivan i može rezultovati smanjenim kontrastom.

Različite tehnike vizuelizacije mogu se primijeniti od slučaja do slučaja. Međutim, većina ako ne i svi zadaci mogu biti izvedeni gore opisanim odabirom.

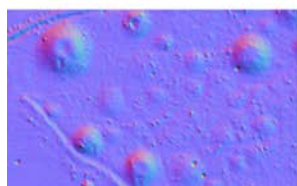
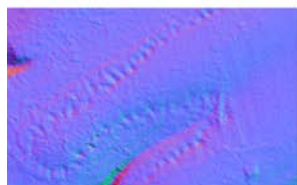
Tabela 15: Matrica za prikladnost tehnika vizuelizacije za odabrane arheološke reljefne strukture pri različitim topografskim postavkama.

<b>ravan teren</b>	zasjenčen reljef (visina Sunca < 10°)	uklanjanje trendova / LRM (filter radijusa ~ 20 m)	lokalna dominantnost (radijus 10-20 m)	otvorenost ili MSII (radijus 10 m)
<b>blage padine</b>	zasjenčen reljef (visina Sunca ~ 30°)	dio vidljivog neba (radijus ~ 10 m)	uklanjanje trendova / LRM (filter radijusa ~ 20 m)	lokalna dominantnost (radijus 10-20 m)
<b>umjerene padine</b>	zasjenčen reljef (visina Sunca ~ 45°)	SVF (& LoG) (radijus ~ 10 m)	uklanjanje trendova / LRM (filter radijusa ~ 20 m)	LD (& LoG) (radijus 10-20 m)
<b>kompleksna (stožena) topografija</b>	zasjenčen reljef (visina Sunca > 45°)	SVF (& LoG) (radijus ~ 10 m)	LD (& LoG) (radijus 10-20 m)	otvorenost ili MSII (radijus 10 m)



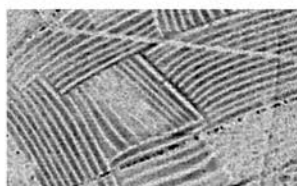
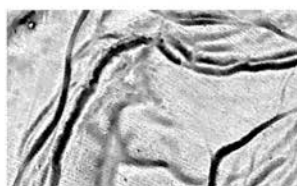
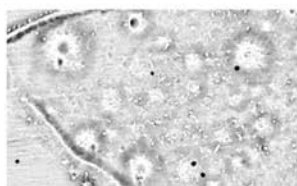
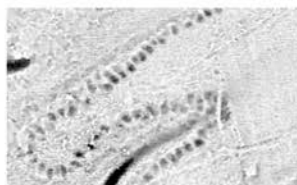
Slika 21: Tehnike vizuelizacije s različitim reljefnim osobinama.

PCA  
[visina Sunca 35°]



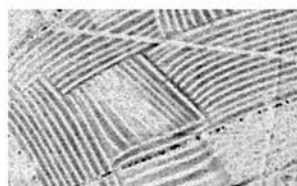
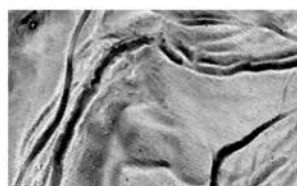
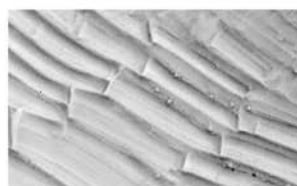
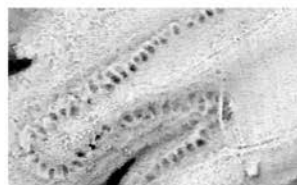
otvorenost

[10 m radijus pretrage u 16 smjerova]



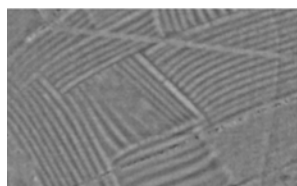
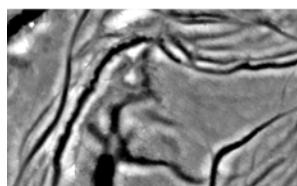
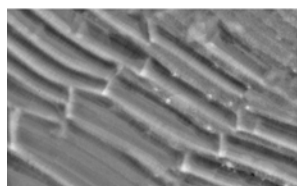
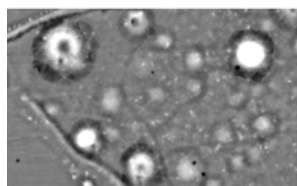
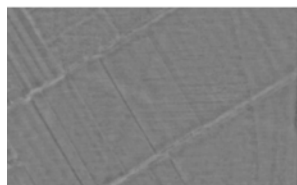
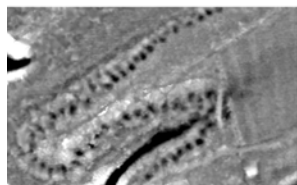
dio vidljivog neba

[10 m radijus pretrage u 16 smjerova]

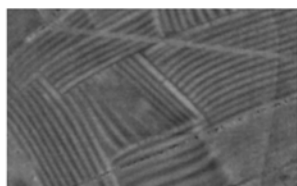
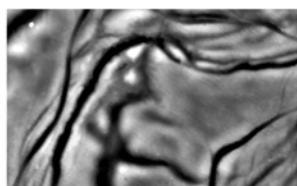
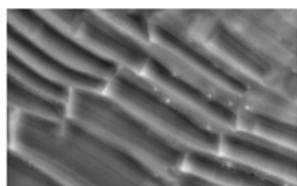
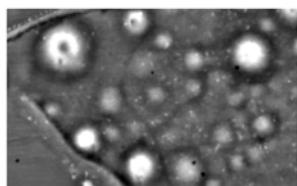
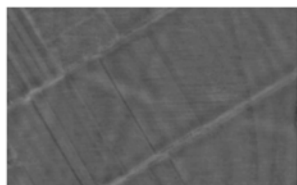
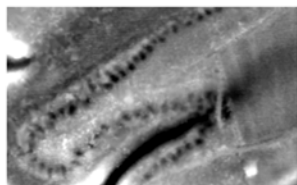


Nastavak slike 21.

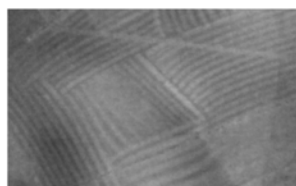
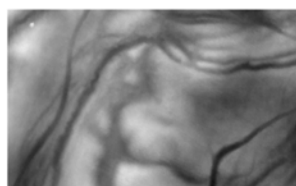
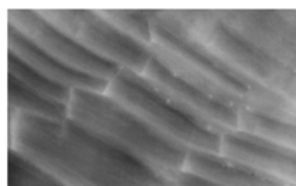
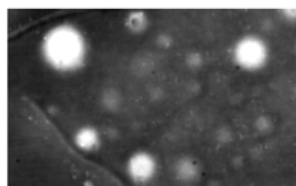
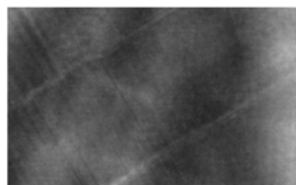
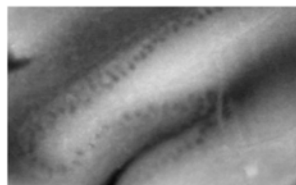
lokalni model reljefa  
(poluprečnik filtera 10 m)



lokalna dominantnost  
(poluprečnik 10-20 m)

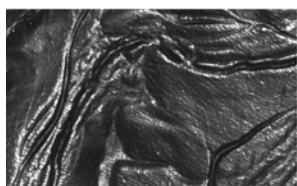
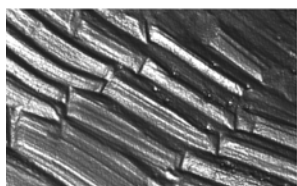
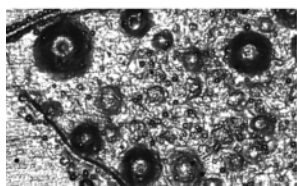
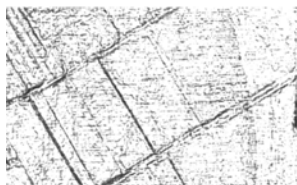
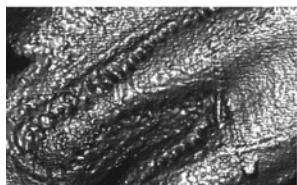


kumulativna vidljivost  
(poluprečnik 10-20 m)

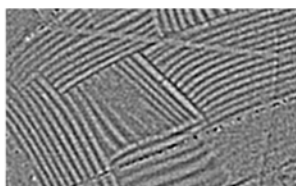
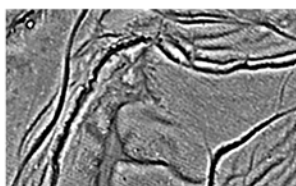
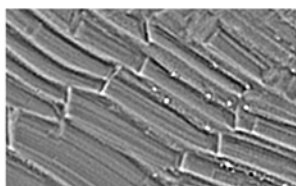
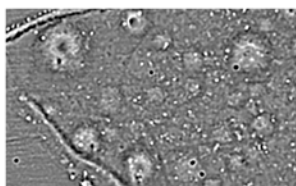
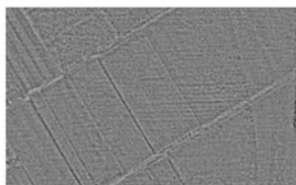
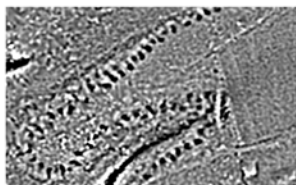


Nastavak slike 21.

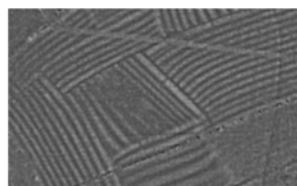
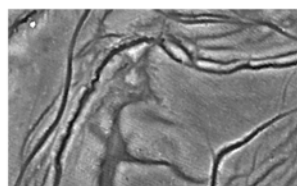
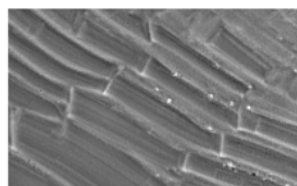
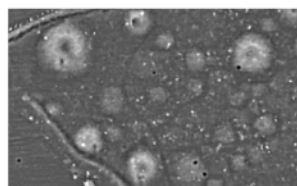
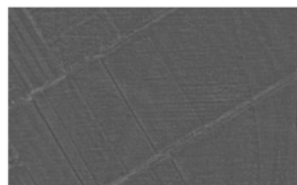
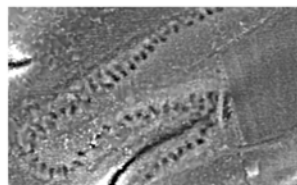
pristupačnost  
(poluprečnik 10-20 m)



MSII  
(veličina filtera 3 m)

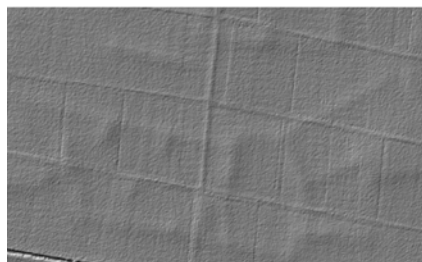


Laplacian-of-Gaussian  
(veličina filtera 3 m)



Nastavak slike 21.

ravan teren

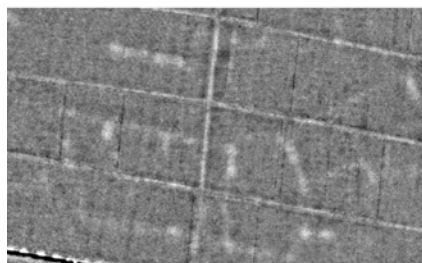
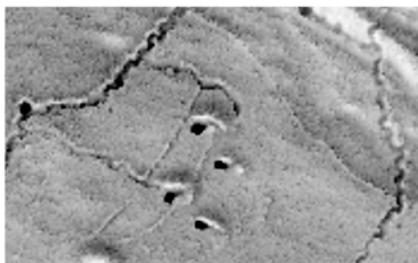
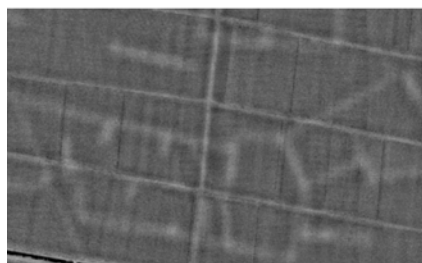
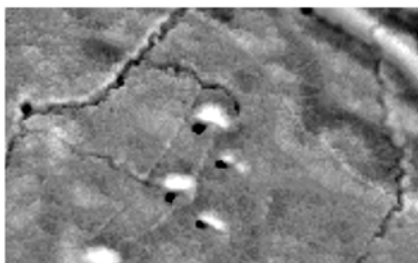
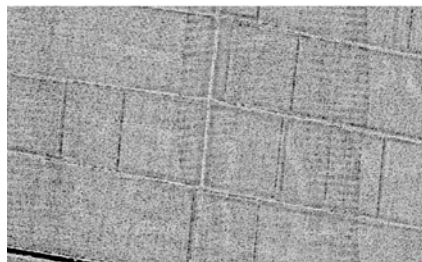
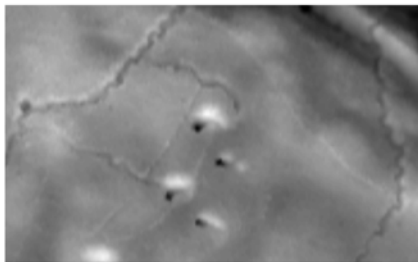
zasjenčen reljef  
(visina Sunca <math>< 10^\circ</math>)

0 300 m

blage padine

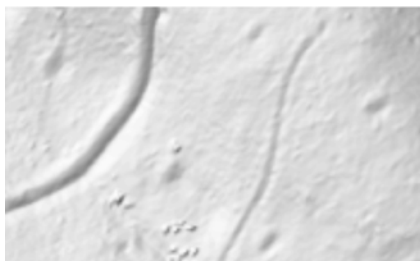
zasjenčen reljef  
(visina Sunca  $\sim 30^\circ$ )

0 50 m

uklanjanje trendova / LRM  
(filter radijus  $\sim 20$  m)dio vidljivog neba  
(radijus  $\sim 10$  m)lokalna dominantnost  
(radijus 10-20 m)uklanjanje trendova / LRM  
(filter radijus  $\sim 20$  m)otvorenost ili MSII  
(radijus 10 m)lokalna dominantnost  
(radijus 10-20 m)

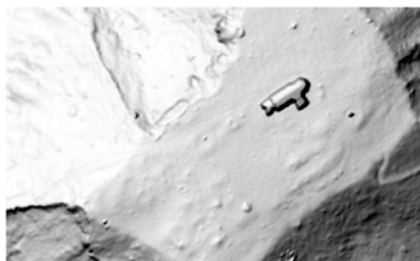


## umjerene padine

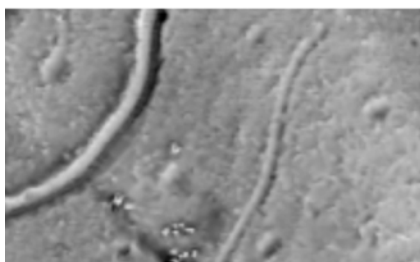
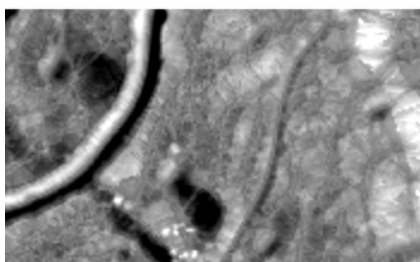
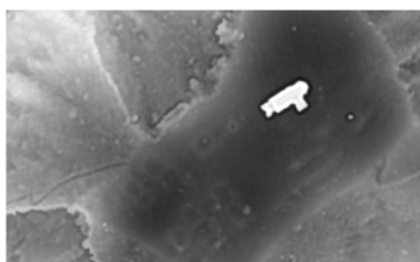
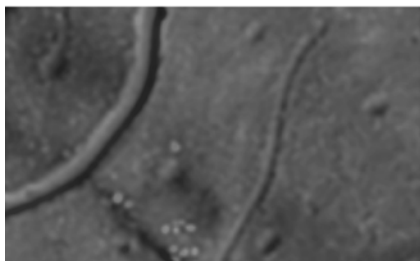
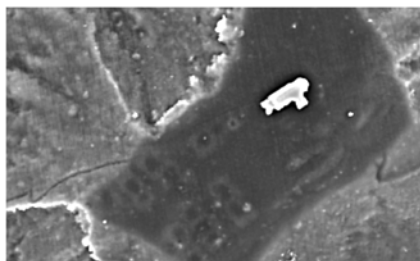
zasjenčen reljef  
(visina Sunca ~ 45°)

0 50 m

## kompleksna (složena) topografija

zasjenčen reljef  
(visina ~ Sunca > 45°)

0 50 m

dio vidljivog neba [& LoG]  
(radijus ~ 10 m)dio vidljivog neba [& LoG]  
(radijus ~ 10 m)uklanjanje trendova / LRM  
(filter radijus ~ 20 m)lokalna dominantnost [&LoG]  
(radijus 10-20 m)lokalna dominantnost [&LoG]  
(radijus 10-20 m)otvorenost ili MSII  
(radijus 10 m)

Slika 22 na prethodnim stranicama (62. i 63.): Tehnike vizuelizacije pri različitim topografskim postavkama. Oranice na ravnom terenu u blizini Endingen am Kaiserstuhl. Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka © LGL u Baden-Württembergu. Tri različite vrste rovova iz Prvog svjetskog rata s skloništima na blagim sjeveroistočnim padinama Črnog hriba, u blizini Renčea, Slovenija. Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka © ARSO, Slovenija. Plamteće platforme drvenog uglja u brdima Crne šume, prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka © LGL u Baden-Württembergu. Kasni rimski logor na stjenovitoj površini s crkvom sv. Jelene, zapadno od Kobarida, Slovenija. Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka © Walks of Peace in the Soča river Foundation.

## 3|2|2 Osobne sklonosti i međusobna uporedivost

Dok su topografija krajolika i osobine morfologije važni činioci koji ograničavaju prikladnost bilo koje tehnike vizuelizacije, korisničke postavke također igraju važnu ulogu u odabiru. Dok neki korisnici preferiraju vizuelizaciju koja zadržava što je više moguće "prirodni" izgled terena (npr. osjenčeni reljef ili dio vidljivog neba), drugi vole vizuelizacije koje pružaju viši nivo apstrakcije od terena do snimka (npr. tehnike koje smanjuju ili uklanjaju vizuelni dojam cjelokupne topografije krajolika, kao što su uklanjanje trendova ili otvorenost). Druge osobne sklonosti mogu se odnositi na prikaz sivih boja ili snimaka u boji, kombinacije nekoliko vizuelizacija (ili nekoliko varijanti jedne vizuelizacije s različitim postavkama parametara) kao RGB kompozit ili tip i snaga rastezanja histograma koje se primjenjuje. Kada se kreiraju snimci u boji, trebalo bi razmotriti relativno veliku rasprostranjenost različitih stepena nedostatka vidljivosti boja (npr. prijelazi iz zelene do smeđe ili iz plave do ljubičaste boje mogu biti nejasni mnogim ljudima). Prijelazi boja uvijek trebaju biti prijelazi u nijansama i svjetlini, a ne samo u nijansama.

U svim slučajevima, veoma je korisno osigurati dosljednost korištenjem iste tehnike vizuelizacije (npr. obrnuti sivi tonovi za negativnu otvorenost i za Laplacian-of-Gaussian, kako bi se zadržala zatamnjenost niskih/konkavnih i svjetlijih predstavljanja visokih/konveksnih reljefnih oblika). Postavke za određene tehnike vizuelizacije također ovise o zadatku. Dok su neke tehnike posebno pogodne za otkrivanje vizuelnih osobina (tj. pomažu vidjeti da nešto postoji), drugi su pogodniji za tumačenje tih osobina (npr. pomažu prepoznavanje i tumačenje o čemu se radi).

Obuka i iskustvo kao i nove metode mogu s vremenom promijeniti preferencije određenog korisnika. Dok se prilagodba i razvoj osobnih sklonosti općenito može očekivati za poboljšanje kvalitete i tumačenja kao i stope otkrivanja, također podrazumijevaju ograničenu međusobnu uporedivost rezultata kartiranja između različitih korisnika, pa čak i između područja kartiranih od strane istog korisnika u različito vrijeme razvoja njihovih vještina. Kako je međusobna uporedivost rezultata veoma važna u naučnom radu, potrebno je uložiti napore za poboljšanje iste ili je barem to potrebno kvantifikovati. U idealnom slučaju, ponavljano kartiranje od strane različitih

osoba, ili tzv. kartiranje u parovima, imalo bi veliki potencijal u značajnom smanjenju problema prilikom međusobne uporedivosti. Međutim, ove mogućnosti su obično neizvodive zbog opterećenja i nedostatka osoblja.

## 3|2|3 Percepcija

DEM vizuelizacija je dugačak proces. Započinje numeričkim podacima visina, transformisanjem istih po različitim algoritmima vizuelizacije u rasterske karte numeričkih vrijednosti, vizuelizacijom numeričkih podataka sivim tonovima/kolor kartiranjem i kontrastnim/ histogramskim rastezanjem i prikazivanjem ovih snimaka na ekranima računara, ili štampanjem tako da su vidljivi ljudskom oku. Sve to se mora dogoditi prije nego što snimak može očitati posmatrač. Razumijevanje cijelog procesa je nužno da bi se ispravno tumačili snimci i kako bi bilo moguće mijenjanje / podešavanje parametara obrade podataka. Kreiranje različitih vrsta vizuelizacije iz DEM-a je samo uvod u jednako važan proces čitanja i tumačenja snimaka. Budući da se to dešava u mozgu (gdje, suprotno softveru, koji je korišten do ovog koraka, nema mogućnosti kontrole nad algoritmima i parametrima), taj proces čitanja i interpretiranja obično se uzima zdravo za gotovo. Međutim, uprkos ograničene kontrole nad mozgom, važno je da se barem razvije svijest o tome kako se odvija proces vizuelizacije.

Vjerovatno brojno intuitivno, percepcija je aktivan prije nego li pasivan proces. Visoko rezolucijska mrežnica ljudskog oka pokriva samo veoma mali dio vidnog polja. Pokreti očiju zahtijevaju kompleksne povratne informacije između oka i mozga. Ti pokreti očiju predstavljaju staze za skeniranje po kojima je skenirane scena ili slika (Yarbus 1967). Nadalje, Yarbus (1967) napominje da staze skeniranja ovise o pitanju ili zadatku koji se odnosi na snimke. Budući da su staze skeniranja u interakciji između našeg sistema mozak-oko i kako su slike podsvjesne, one znače da je visoko rezolucijska pokrivenost datog snimka vjerovatno nepotpuna, osim ako posmatrač čini spoznajne napore gledanjem svih dijelova snimka. Taj napor može biti olakšan primjenom (vidljive ili imaginarne) mreže na snimku.

I pored svjesnog prisiljavanja gledanja svakog dijela snimka, obično se uočavaju samo one osobine koje se znaju ili prepoznaju, tj. osobine koje se traže. Adams (1982) je izvanredno opisao to kao tuđe polje problema (engl. *Somebody Else's Problem field* - SEP):

*„SEP [...] je nešto što ne možemo vidjeti, ili ne vidimo, ili nam naš mozak ne dopušta da vidimo, jer smatramo da je riječ o tuđem problemu [...]. Mozak ga jednostavno uklanja, to je kao mrtvog ugao. Ako na to gledate direktno nećete ga vidjeti osim ako tačno ne znate o čemu se radi. Vaša jedina nada je da ga uhvatite na prepad krajičkom oka [...]. Oslanja se na ljudsku prirodnu predispoziciju da ljudi ne vide ništa što ne žele vidjeti,*

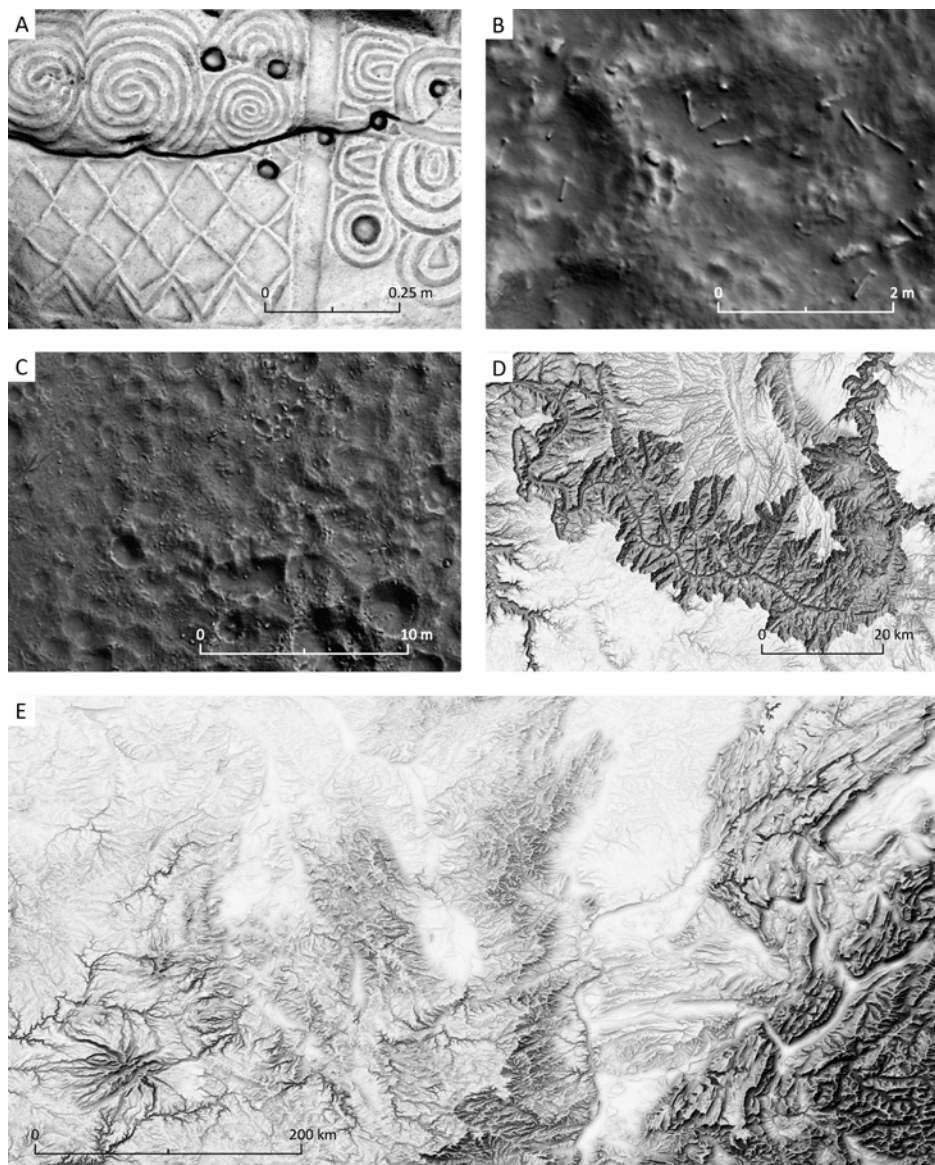
*što je neočekivano, ili se ne može objasniti" (Adams, 1982).*

Podsvjesno prethodno tumačenje onoga što je vidljivo (na primjer činjenice i sklonosti zatvaranja praznina ili grupa objekata na temelju sličnosti, ili blizini, kako bi se formirao oblik (njem. gestalt)) (Boeree 2009), može omogućiti prepoznavanje reljefnih osobina koje su samo djelimično sačuvane. Međutim, isti učinak može biti pogrešan i može dovesti do pogrešnog tumačenja. Ljudski sistem oko-mozak izuzetno je prilagodljiv i učinkovit sistem prepoznavanja uzorka, ali treba biti obučan za otkrivanje tih obrazaca. Njegova učinkovitost također može biti smetnja, jer bi se mogao vidjeti uzorak tamo gdje ga nema. Mogući pristup za protudjelovanje takvih ograničenja može, na primjer, biti kartiranje u paru – tj. dvije osobe moraju se složiti u vezi toga šta su vidjeli. Osim razumijevanja, opisani algoritmi vizuelizacije i svjesno ograničenje naše vizuelne percepcije, vježbanje i iskustvo u tumačenju DEM vizuelizacije ključni su za ispravnu i (u vrijeme ogromne količine podataka i veoma ograničene radne snage) brzu interpretaciju. Ipak, nakon ponovnog gledanja istog lidar snimka iznova i iznova, ponekad možete otkriti nešto novo "krajničkom oka".

## 3|3 Vizuelizacija skupova podataka koji nisu lidarski podaci

Opisane tehnike vizuelizacije i smjernice za njihov odabir su primjenjive na rasterske visinske podatke iz različitih izvora i rezolucija, i primjenjuju se na različitim razmjerama i za posmatranje niza entiteta (krajolika, objekata). Rasterski modeli visina mogu biti izvedeni iz zračnog laserskog skeniranja (engl. *Aerial Laser Scanning* - ALS) s prostornom rezolucijom od 10 cm u najboljem slučaju, ali češće u rasponu od 0.5 m do 1 m. ALS podaci najčešće se koriste za lokalne ili projekte regionalnih razmjera. Mnogo veća rezolucija DEM-ova može biti dobivena iz, na primjer, terestričkog laserskog skeniranja, Structure-from-Motion (SfM) modeliranja (također poznato i kao blizopredmetna fotogrametrija), ili strukturiranog svjetlosnog skeniranja. Rezolucije takvih DEM-ova variraju od nekoliko centimetara do ispod jednog milimetra, a oni su najbolji za posmatranja manjih područja ili pojedinih objekata.

Grublji DEM-ovi, na primjer tradicionalni nacionalni i svjetski skupovi podataka kreirani klasičnim geodetskim premjerom, fotogrametrijom i interferometrijom imaju prostornu rezoluciju u rasponu od 5 m do 30 m. Besplatni izvori svjetskih baza podataka su SRTM Global i ASTER Global DEM, oba s rezolucijom od otprilike 30 metara i dostupni su na [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov). Oni su prikladni za nacionalne, kontinentalne i globalne studija okoliša.



Slika 23: Različita mjerila posmatranja. Snimak dijela vidljivog neba bogato ukrašenih detalja pločnika u Newgrangeu, Irska, kreirano sa Structure-from-Motion ručno snimljenim fotografijama (A). Raspršene kosti (B) i tragovi pljačke (C) u pustinji Perua. Model visina izračunat je iz snimaka snimljenih s kamerom na držaču i prikazan je ovdje sa kombinacijom lokalne dominantnosti i sjenčenog reljefa. Grand Canyon (D) kao dokaz 30 m SRTM podataka prikazanih u kombinaciji SVF-a i sjenčenog reljefa. Središnji Massif, Jura i Alpe (E) prikazani kombinacijom neizotropnog SVF-a i sjenčenog reljefa.

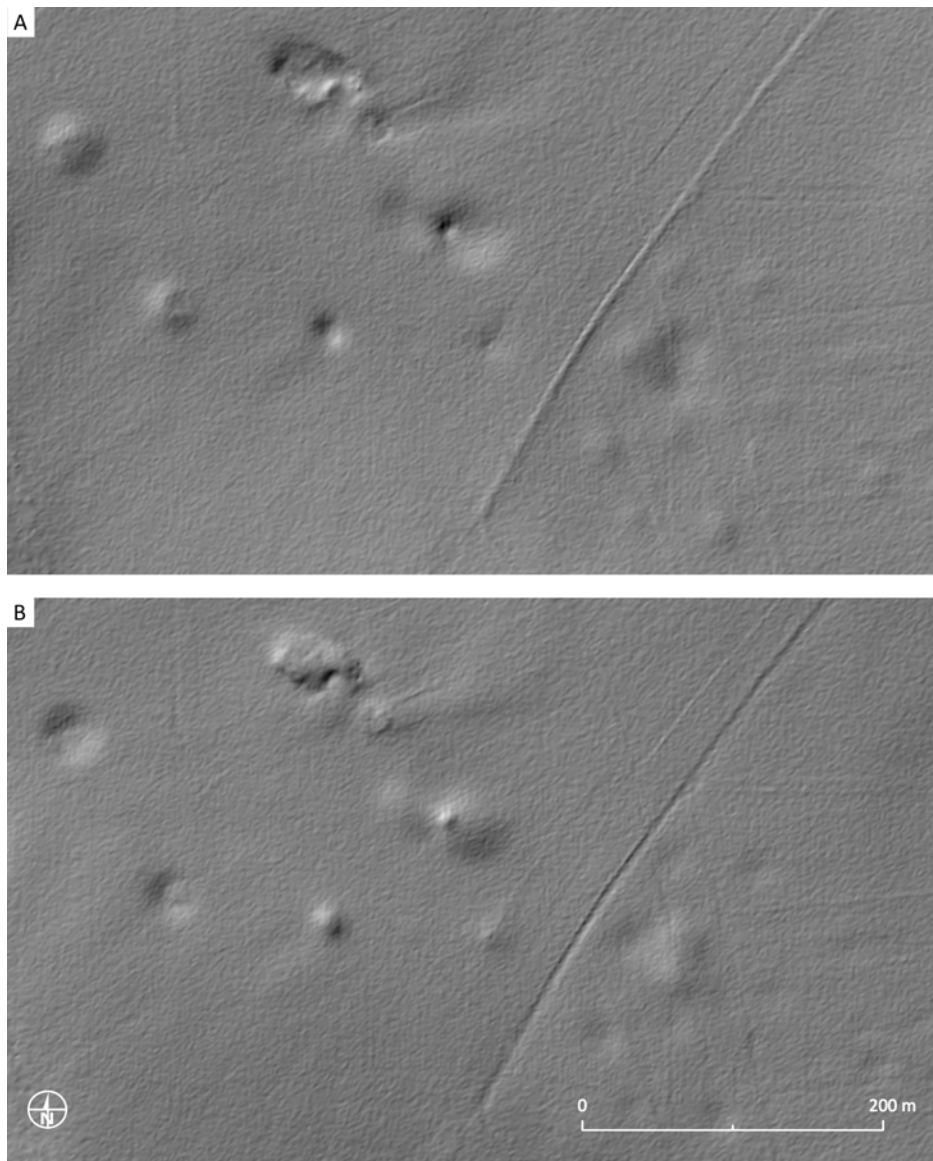
## 3|4 Šta je u imenu?

Informacije o tome kako su dobiveni i obrađeni sirovi lidarski podaci, te informacije o načinu i postavkama za predstavljanje istih, ima veliki uticaj na otkrivanje osobina i interpretaciju procesâ. Na primjer, ako interpretatori poznaju izvornu gustinu skeniranja, metodu filtriranja oblaka tačaka i metodu dobivanja digitalnog modela visine, oni mogu prosuđivati i donositi odluke o raznim artefaktima koji se mogu pronaći u podacima. Stoga, ovi metapodaci moraju slijediti lidarske skupove podataka za vizuelizaciju namijenjenu otkrivanju i tumačenju konačnog proizvoda - tematske karte. Lidar zasnovana specifikacija (Heidemann 2014) pruža specifikacije za nabavku lidarskih podataka, te je dobar izvor informacija o tome koje metapodatke treba sačuvati. Specifikacija navodi da isporuke metapodataka trebaju sadržavati sljedeće (Heidemann 2014: 13):

- izvještaj o prikupljanju pojedinosti o planiranju misije i zapisnicima leta,
- izvještaj o detaljima prikupljanja kontrolnih i veznih tačaka korištenih za kalibraciju i QA/QC, uključujući kontrolne i kalibracione tačke,
- izvještaj o detaljima vezanim uz kalibraciju, klasifikaciju i postupcima generisanja proizvoda,
- QA/QC izvještaj, s detaljnim postupcima analiza, procjene tačnosti i validacije podataka o tačkama, ogoljenim površinama i drugim opcionim proizvodima,
- georeferencirani, digitalni prostorni prikaz preciznog obuhvata svakog isporučenog skupa podataka,
- datoteke metapodataka proizvoda za cjelokupni projekat, svaku misiju skeniranja i svaku grupu proizvoda koja se može isporučiti.

On također daje opisni predložak i dovršen primjer u prilogu 3, primjer lidarskih metapodataka (engl. *Lidar Metadata Example*), i u prilogu 4 predložak lidarskih metapodataka (engl. *Lidar Metadata Template*). Međutim, specifikacije metapodataka obično pokrivaju samo hardver i softver koji se koristi za obradu ili stvaranje skupa podataka, uz dodatna objašnjenja koja se mogu pridružiti u odjeljcima o kvaliteti podataka (npr. uključivanje ili propuštanje osobina). Parametri obrade za filtriranje i vizuelizaciju rijetko se daju. Ako nije izričito naglašeno od strane finansijera, nekoliko tehničara i naučnika unosi sva potrebna i neobavezna polja u shemu metapodataka. Ipak, upisivanje sljedećih zapisa može pomoći procesu tumačenja u nekoliko faza:

- skeniranje podataka: tip lidarskog senzora i model, nominalna gustina skeniranja, nominalni pojas preklapanja, datum prikupljanja podataka;
- opis obrade nakon prikupljanja podataka: korištena metoda (metode), postavke parametara, opis ciljane obrade (npr. proizvodnja modela terena, uklanjanje samo vegetacije, kreiranje površinskog



Slika 24: Da li je grobna humka, rupa u tlu, ili kamenolom, ili brdo? Neko ko posmatra sliku treba znati smjer izvora svjetlosti, jer ima konačan uticaj na percepciju krajolika. Azimutno osvjetljenje  $315^\circ$  (A) i azimut  $135^\circ$  (B). Osobine terena izgledaju preokrenuto na (B).

modela), prostorna rezolucija modela visine;

- vizuelizacija: korištena metoda (metode), postavke parametara (za detalje pogledati u nastavku);
- proces tumačenja: ciljevi tumačenja (npr. prepoznavanje mjesta pojedinih grobnih humki i obilježavanje njihovog opsega), pouzdanost rezultata (kvalitativna ako kvantitativna procjena nije moguća, npr. niska do visoka, preporučuje se opis svake klase).

Minimalni zahtjevi za metapodatke za potrebe vizuelizacije su primijenjeni algoritam i postavke osnovnih parametara. Pružanje svih pojedinosti često ne može biti praktično prilikom pripreme snimaka za publikovanje. Tabela 16 navodi obavezne i pomoćne parametre. Nužnost pružanja pomoćnih parametara u velikoj mjeri ovisi o svrsi prikazivanja snimka: ako je cilj isključivo pružiti vizuelnu ilustraciju, mnogi parametri se mogu izostaviti. Međutim, ako je cilj kvantitativna analiza specifičnih osobina, za potrebe rasprave o pojedinačnim osobinama, ili uporedbe različitih vizuelizacija, potrebno je dati više parametara kako bi čitatelj razumio snimak i kako bi mogao reprodukovati proces stvaranja snimka. Nekad naizgled trivijalan parametar, kao što je azimut osvjetljenja sjenčenog reljefa, može imati ogroman uticaj na percepciju krajolika i mora biti poznat posmatraču (slika 24).

Veoma je jednostavno ponoviti izračunavanje vizuelizacije s različitim postavkama. Dobra je praksa pohraniti

primijenjenu tehniku vizuelizacije i postavke glavnih parametara u ime izlaznog fajla, kao i pohraniti sve postavke u zapisnik obrade. Iz imena fajla Novi\_Breg\_DTM\_1m\_LRM\_FSc\_Ilin\_FR10\_MR25.tif sasvim je očigledno da je lokalni model vizuelizacije reljefa primijenjen na digitalni model terena rezolucije 1 m (slika 25). Primijenjene postavke su sljedeće:

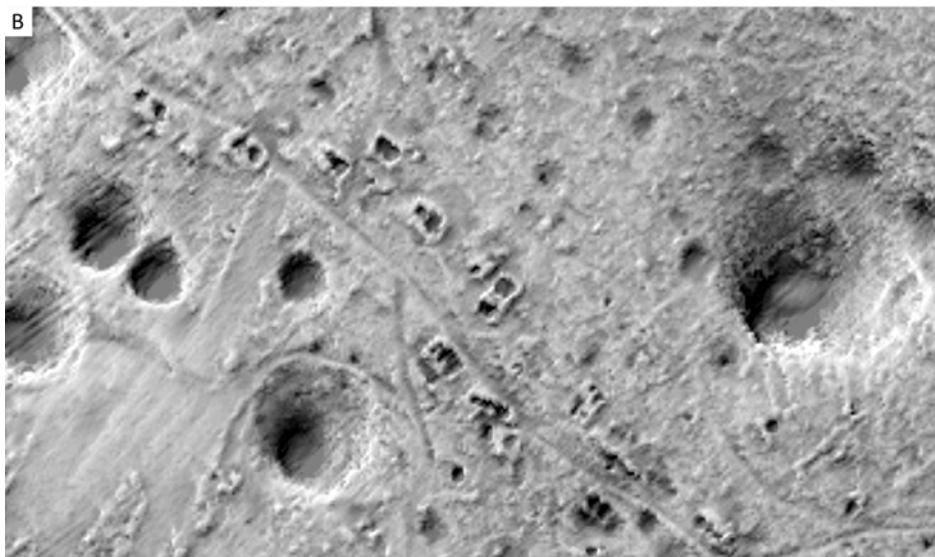
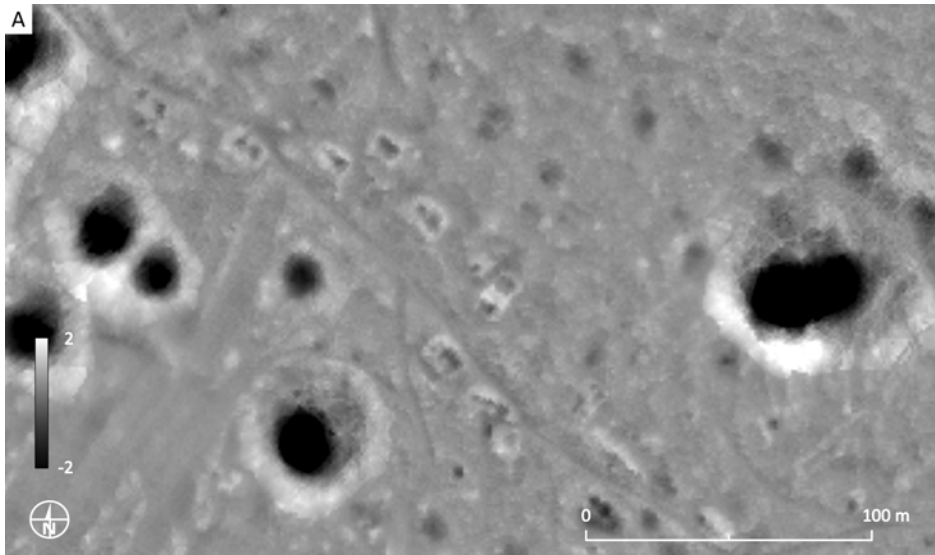
- FSc – oblik filtera: kružni
- Ilin – metoda interpolacije: linearna
- FR – radijus filtera [px]: 10
- MR – maksimalni raspon [px]: 25

Takvi nazivi datoteka mogu se činiti čudnim na početku, ali su najbolji zaštitni znak za pamćenje potreba pri proizvodnji snimaka za publikovanje ili pokušaja ponavljanja procesa s drugim podacima.

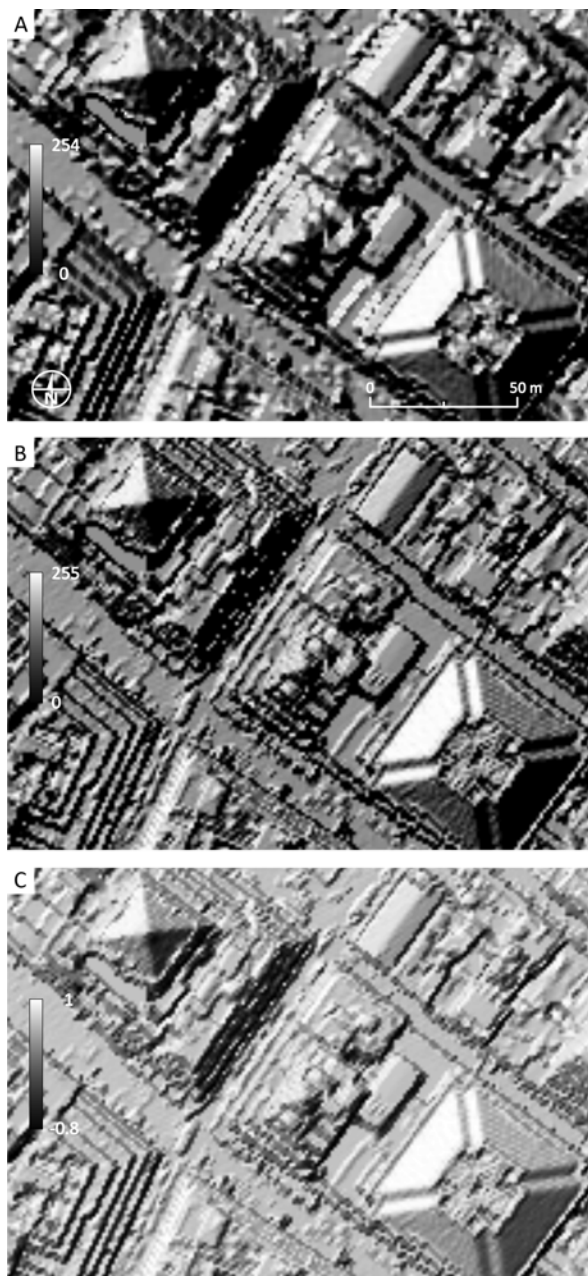


Tabela 16: Metapodaci koji su potrebni prilikom predstavljanja DEM vizuelizacija.

tehnika vizuelizacije	obavezni parametri	pomoćni parametri
zasjenčeni reljef	azimut osvjjetljenja	elevacija osvjjetljenja vertikalni faktor preuveličavanja rastezanje histograma
nagib	rastezanje histograma (minimalni/maksimalni nagib)	
uklanjanje trenda, lokalni model reljefa	niskopropusni radijus filtera	rastezanje histograma / kôd boje tip niskopropusnog filtera
otvorenost	pozitiv/negativ sivi tonovi / obrnuti sivi tonovi radijus pretrage	broj smjerova pretrage rastezanje histograma
SVF	radijus pretrage	broj smjerova pretrage rastezanje histograma
lokalna dominantnost	radijus pretrage	visina posmatrača rastezanje histograma
kumulativna vidljivost	radijus pretrage	visina posmatrača / mete uglovna rezolucija
pristupačnost		radijus pretrage broj smjerova pretrage
MSII	referentni vektor (ako nije nula)	nazivnik razmjere minimalni i maksimalni radijus rastezanje histograma
Laplacian-of-Gaussian	radijus filtera	sivi tonovi / obrnuti sivi tonovi rastezanje histograma

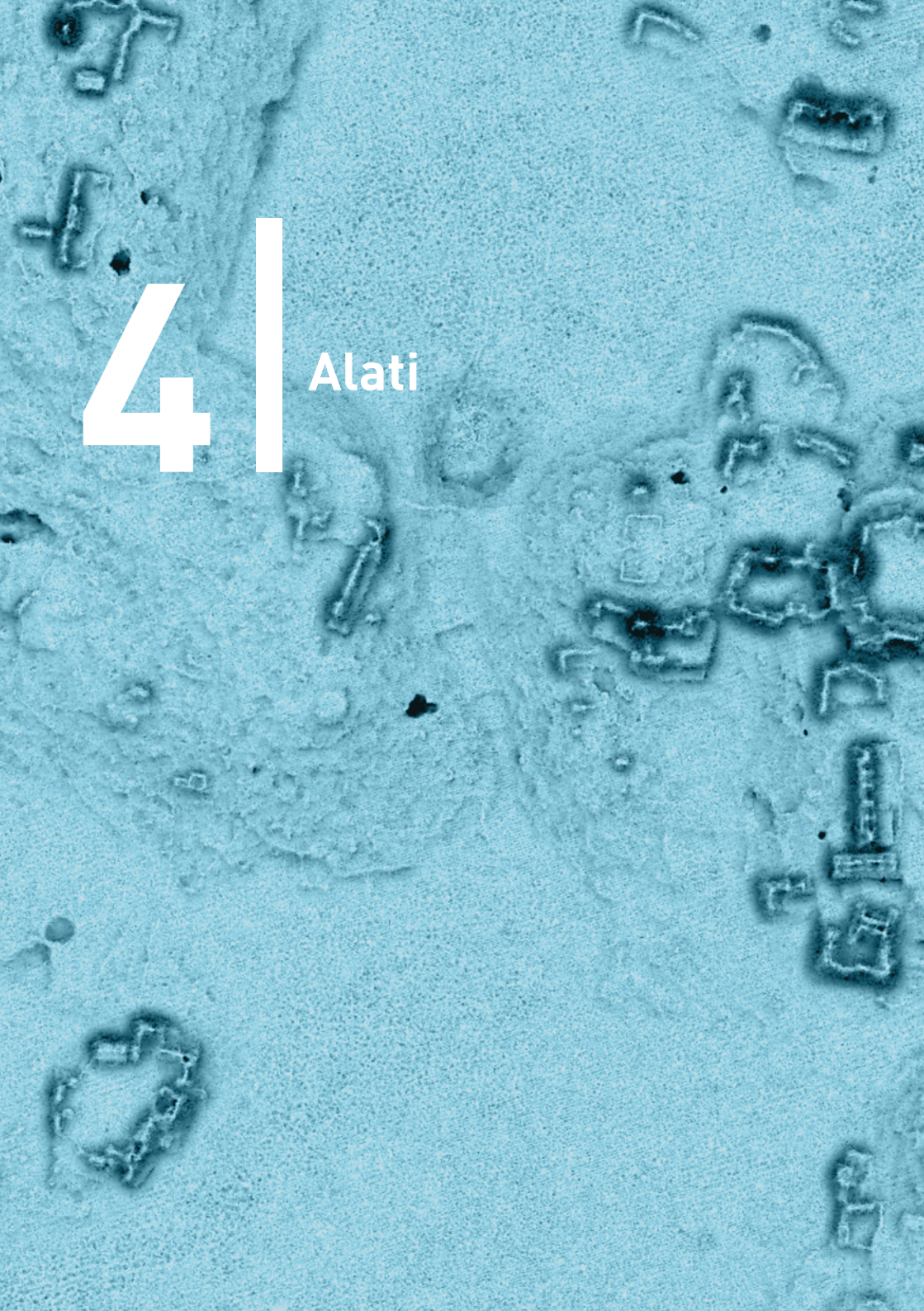


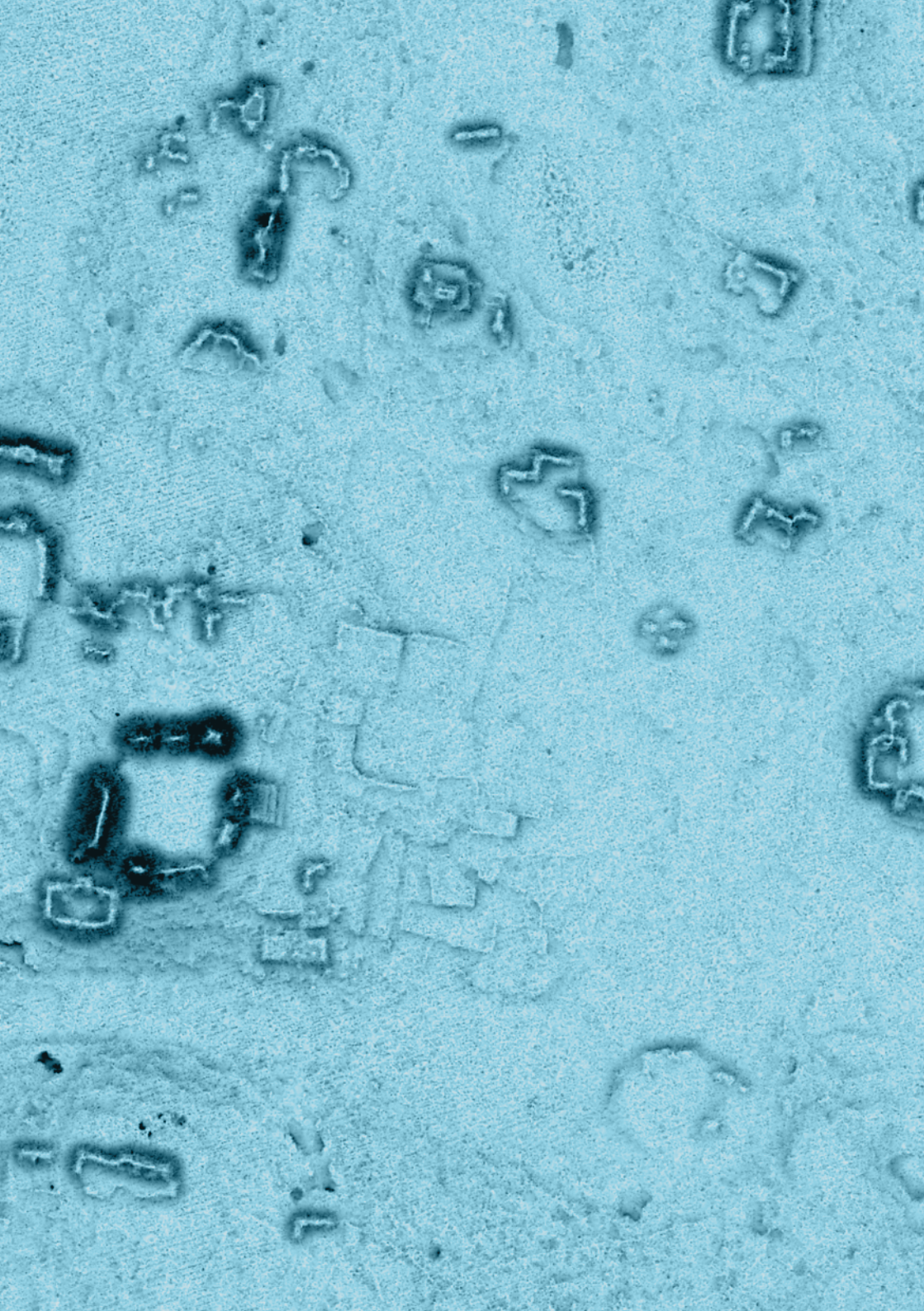
Slika 25: Obrasli ostaci napuštenog sela Novi Breg (Naubacher), Slovenija, predstavljeno tehnikom lokalnog modela reljefa s radijusom filtera od 25 m (A). Ostaci kuća mogu se vidjeti kao svijetli pravougaonici. Velike crne mrlje su ponikve. Jednostavno je replicirati takvu sliku s minimalnim datim podacima. Međutim, kada reprodukcija ili relativna uporedba među područjima nije potrebna, kombinacije vizuelizacije mogu dati slike koje je lakše analizirati, a detalji o vizuelizacijama mogu biti izostavljeni (B). Lidarski podaci od 1 m © ARSO, Slovenija.



Slika 26: Algoritmi sjenčenja reljefa u ArcMap-u (ArcMap 2012) i RVT koriste istu metodu (Yoëli 1965), no rezultati su posve drugačiji, kao što se vidi iz slike neboderâ u donjem Manhattanu. Izgleda da je slika sjenčenja reljefa izračunata pomoću ArcGIS-a (A) manje jasna (kao da se koristi DEM niže rezolucije) od one izračunate pomoću RVT-a (B). Treba imati na umu jasno vidljive korake uzdizanja na (B), naročito korake na pročelju donjeg desnog nebodera (B), jer u potpunosti nedostaju u (A). (A) i (B) zasićene su visokim i niskim vrijednostima (potpuno bijele i crne površine). Međutim, RVT izračunava sjenčenje reljefa s punim rasponom vrijednosti, pa se detalji u crnim područjima u velikoj mjeri otkrivaju na izvornom nezasićenom snimku (C). Sve brojke izračunate su s visinom Sunca od  $35^\circ$  i azimutom od  $315^\circ$  koristeći isti DEM. Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © USGS.

# 4 | Alati





## 4 |

**Dvije kutije s alatima s provedenim metodama koje daju naučne rezultate, a dokumentovane su i potkrijepljene istraživačkim radovima.**

Istraživači mogu tek odnedavno imati koristi od besplatnog softvera za izračun naprednih tehnika vizuelizacije. Dva takva primjera su Relief Visualization Toolbox (RVT) i Lidar Visualization Toolbox (LiVT). Obje aplikacije su besplatne i jednostavne, a služe za stvaranje vizuelizacije iz visoko rezolucijskih digitalnih podataka visina dobivenih pomoću zračnog laserskog skeniranja (lidar) ili drugih izvora, npr. structure-from-motion fotogrametrije. Drugi softver je namijenjen naprednijim korisnicima s određenim poznavanjem obrade podataka i geografskih informacionih sistema, a prvi je prilagođen početnicima kod interpretacije reljefa. Primijenjene metode daju naučno utemeljene rezultate i dokumentovane su i potkrijepljene naučnoistraživačkim radovima. Oba alata bi trebala raditi na svakom uobičajenom personalnom računaru. Sa velikim datotekama mogu postojati problemi s ograničenjima veličine RAM-a i TIFF-a. Ako se npr. trebaju obraditi veći fajlovi (npr. veći od

40 km<sup>2</sup> pri rezoluciji od 1 m), vjerovatno će se morati podijeliti u segmente.

Druga softverska rješenja za obradu rastera, kao što su QGIS, SAGA GIS, GRASS ili ArcGIS, također su počeli pružati pristup barem nekim opisanim tehnikama vizuelizacije, no ovdje se ne razmatraju jer nisu temeljito testirane implementirane metode. Testiranje je neophodno jer softverska rješenja mogu dati različite rezultate usprkos istoj korištenoj metodi i malim razlikama u implementaciji, što može imati izuzetno veliki uticaj na prikaz osobina (slika 26).

## 4 | 1 Relief Visualization Toolbox (RVT)

RVT (dostupan je na [iaps.zrc-sazu.si/en/rvt](http://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt)) je samostalan alat koji ne zahtjeva pokretanje vanjskog softvera. Pruža suženi raspon metoda, a njihove

su postavke ograničene na najvažnije. Odabrane tehnike dokazano su učinkovite za otkrivanje osobina malih razmjera i postavljene su zadane vrijednosti za obavljanje ovog zadatka. Neke tehnike (npr. sky-view faktor i otvorenost) pogodne su za velike skupove podataka.

RVT može obraditi sve GDAL (GDAL Development Team 2014) podržane rasterske formate (npr. GeoTIFF, generički binarni file, Erdas Imagine file, ENVI file, Arc/Info ASCII Grid, ASCII gridded XYZ, JPEG2000, ...). Može obraditi više fajlova iz različitih foldera i sve tehnike u jednom koraku. Moguće ga je pokrenuti bez otvaranja grafičkog korisničkog sučelja, sa popisa datoteka i sa predefinisanim postavkama.

Izlazni podaci vizuelizacije kreiraju par GeoTIFF-ova po svakoj odabranoj vizuelizaciji. Jedan daje tačno izračunati rezultat, a drugi pojednostavljeni rezultat ("sliku") optimiziran za gledanje u neGIS-ovskom softveru, npr. Windows Photo Vieweru ili pregledniku za Mac korisnike. Svi izlazni fajlovi su upisani u folder ulaznog fajla. Nazivi izlaznih fajlova za vizuelizaciju sastoje se od imena ulaznih fajlova i sufiksa koji opisuju odabranu metodu i parametre obrade. Svako izvršenje programa također generiše log fajl zapisnika obrade po ulaznom fajlu, čime se automatski sastavlja datoteka metapodataka.

Alatna traka podržava pretvorbu fajlova visinskih rasterskih podataka. Moguće je pretvoriti sve najčešće korištene jednokanalne rasterske formate u

GeoTIFF, ASCII grid XYZ, Erdas Imagine file i ENVI formate. RVT se stoga može koristiti za pretvaranje DEM fajlova iz preferiranog formata u formate koje podržava LiVT (npr. ENVI), te pretvoriti rezultate LiVT natrag u široko podržani format (npr. GeoTIFF).

RVT također može mozaikovati rasterske podatke i vizuelizacija s odabranim postavkama može se izvršiti na unaprijed definisanom popisu fajlova bez pokretanja grafičkog korisničkog sučelja (engl. *Graphical User Interface - GUI*).

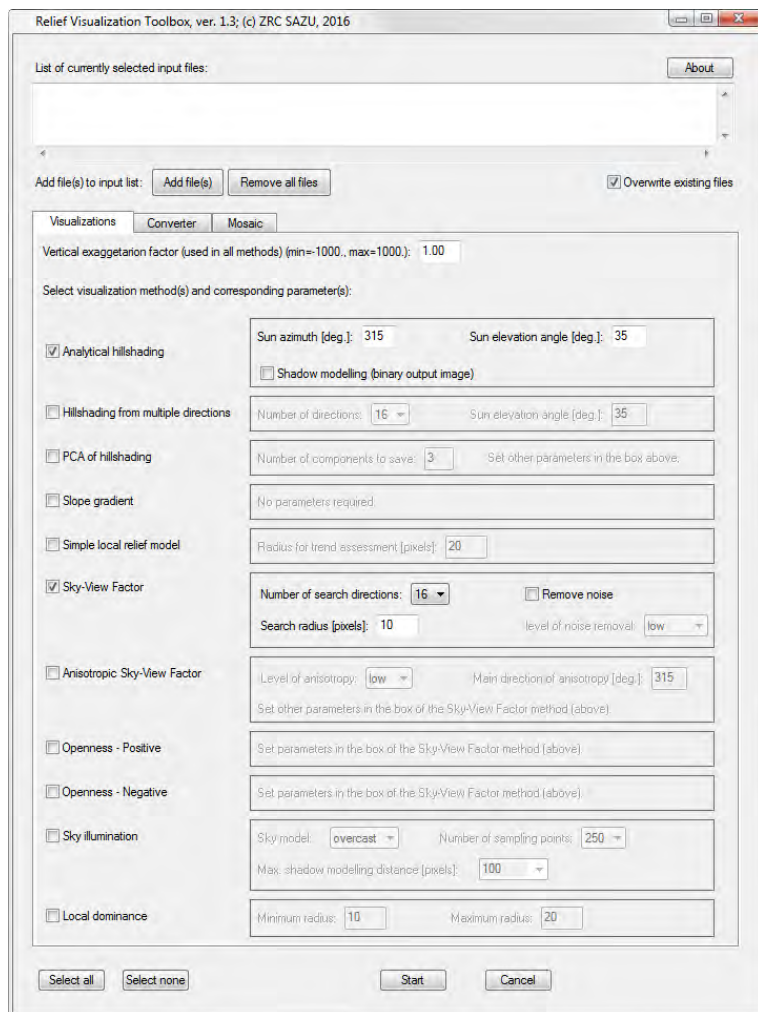
Dodatne informacije mogu se pronaći u RVT priručniku (Upute za korištenje), što je dostupno na RVT web stranici.

## 4 | 2 Lidar Visualisation Toolbox (LiVT)

LiVT (dostupan je na [sourceforge.net/projects/livt](https://sourceforge.net/projects/livt)) može izračunati sve tehnike opisane u poglavlju Opis tehnika i ima postavke za zamršenu manipulaciju parametara svakog algoritma. Na primjer, prilikom izračunavanja opcije lokalnog modela reljefa (engl. *Local Relief Model*) omogućava se postavljanje oblika filtera (kružnog ili kvadratnog), radijusa filtera, metode interpolacije (inverzna udaljenost, najbliži susjed, prosječna, linearna ili bilinearna) i maksimalni raspon. Ograničen je u pogledu vrste fajla koje podržava i trenutno može obraditi i generisati samo generic BIL (engl. *Band Interleaved by Line*) fajl i ENVI rasterske fajlove.

LiVT također uključuje alat za rasterisanje ASCII XYZ tačkastih oblaka tačaka (npr. podaci o posljednjem povratu lidarskog signala) s četiri različite metode interpolacije.

Pokreće se na operativnom sistemu Windows i zahtijeva Microsoft .NET Framework verziju 4. Ne uključuje preglednik, pa će stoga biti potreban dodatni softver (GIS) za prikazivanje rezultata obrade. Svi algoritmi kreiraju



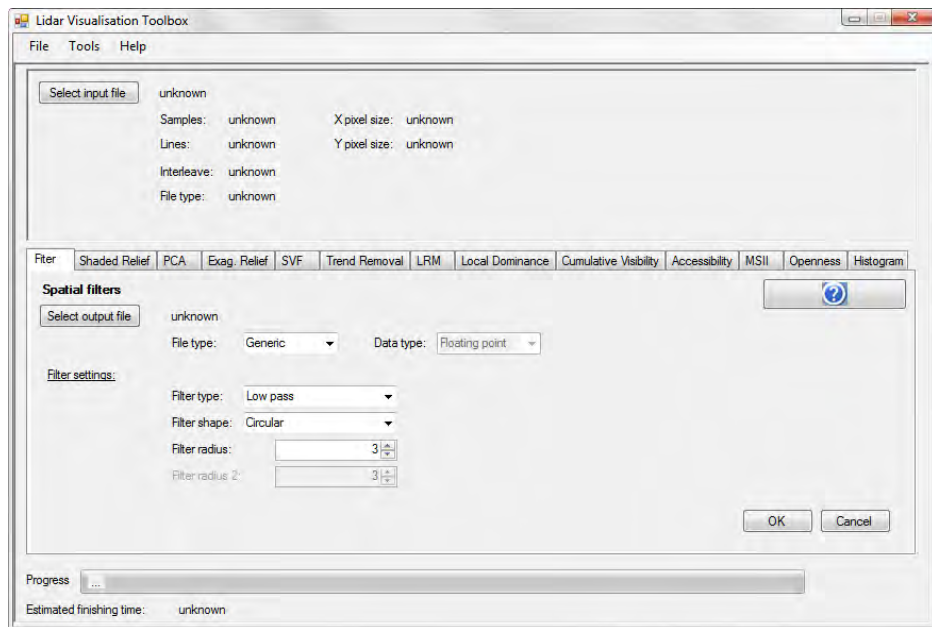
Slika 27: RVT nudi raspon najboljih tehnika s osnovnim opcijama. Izuzetno je jednostavan za korištenje i može obrađivati više fajlova i primijeniti sve tehnike u jednom koraku.



binarne rasterske karte u zapisu s pomičnim zarezom. Za njihovo pregledanje u GIS-u morat će biti primijenjeni sivi tonovi ili kodiranje boja. Osim toga, prikladno kontrast/rastezanje histograma može biti potrebno za postizanje optimalnih rezultata.

Veličine fajlova razlikuju se od algoritma do algoritma i kreću se od 30 do 144 miliona piksela po fajlu. Vrijeme računanja ovisi, pored odabranog algoritma, i o odabranim parametrima i naravno o snazi računara. LiVT koristi samo jedno jezgrene procesore, ali nekoliko LiVT-a može raditi na zasebnim jezgrama na računaru s više

procesora. Jednostavniji su algoritmi mnogo brži od složenijih. Tamo gdje se može odrediti radijus filtera ili radijus pretrage, udvostručenje radijusa će približno udvostručiti vrijeme računanja za isti ulazni fajl u radijalnom algoritmu (onaj koji uzima u obzir piksele uz ograničeni broj radijalnih linija), ali će učetverostručiti vrijeme računanja u algoritmu koji razmatra sve piksele unutar radijusa.

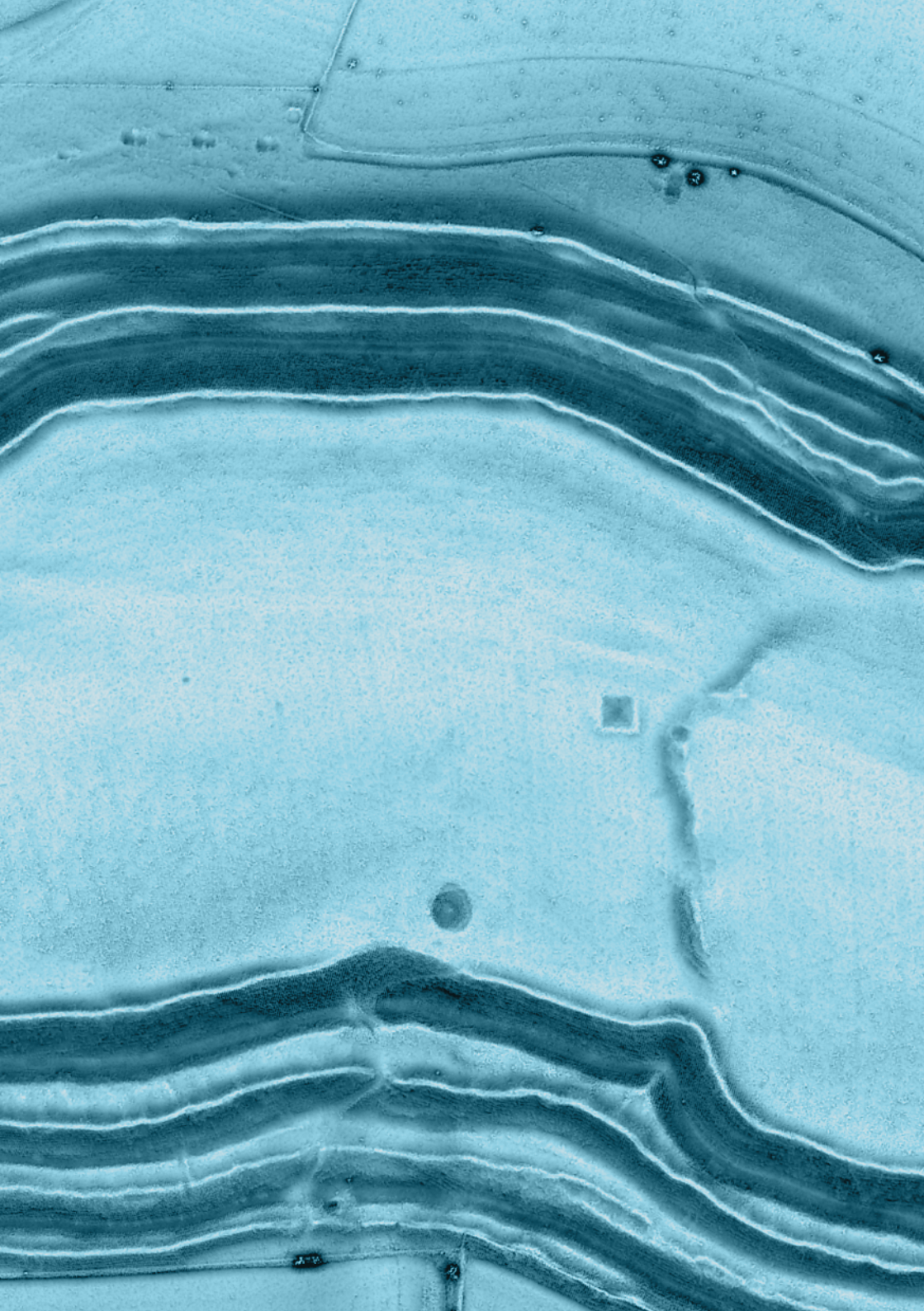


Slika 28: Lidar Visualization Toolbox (LiVT) podržava različite tehnika računanja sa složenim mogućnostima za manipulaciju postavkama.

A microscopic image of a biological specimen, likely a cross-section of a plant stem or a similar structure. The image shows a large, circular structure with concentric, wavy layers, possibly representing a vascular ring or a similar anatomical feature. The overall color is a light blue/teal. The text '5 | Studije slučajeva' is overlaid on the left side of the image.

5 |

Studije slučajeva



# 5 |

Sljedeća poglavlja usredotočuju se na neke tipične studije gdje je vizuelizacija lidarskih podataka pomogla arheolozima i geomorfolozima u boljem razumijevanju njihovih područja od interesa.

Arheolozi su u velikoj mjeri uključeni u tumačenje mikroreljefnih struktura iz podataka lidara, jer su precizni modeli reljefa omogućili detaljno kartiranje i mjerenja obraslih arheoloških struktura (brana, bedema, jaraka, jama, kamenoloma, ostataka kuća, itd.) (Kershaw 2003; Devereux i dr., 2005),

fosilnih polja i terasa za poljoprivredni uzgoj (Sittler 2004), ranijih podjela zemljišta (npr. Rimske centurije), napuštenih kamenoloma i rudarskih jama, grobalja i cesta iz ranijih perioda historije (npr. Rimske, srednjovjekovne) (Challis 2006, Challis i dr. 2008, Crutchley 2009a, Crutchley 2009b), čak i u ekstremnim



uslovima, kao što su kartiranja karakteristika pod gustim nadstrešnicama tropske šume (Fernandez-Diaz i dr., 2014).

Podaci o zračnom laserskom skeniranju također se koriste u geomorfologiji, bilo direktno u obliku visinskih podataka za otkrivanje površinskih diskontinuiteta (npr. lomnih linija, oblika) i formi (npr. protoka lave), ili indirektno klasifikacijom površinskih osobina relevantnih za geomorfološke procese. Modeli reljefa visoke rezolucije omogućavaju:

- Kartiranje geomorfoloških osobina (npr. mreže odvodnje i kanala (Passalacqua i dr. 2010), naslaga taloga, epiklastičnih sedimenata i tokova lave (Fornaciai i dr. 2010), obalnih dina (Woolard i Colby 2002), glacijalnih oblika (Smith i dr. 2006)),

- Modeliranje procesâ (npr. glacijalni, periglacialni (Smith i dr. 2006), fluvijalni (French 2003) i eolski procesi (Sankey i dr. 2010), erozija i taloženje tla (Chiverrell i dr. 2008)), itd.
- Procjenu rizika od prirodnih opasnosti (npr. odroni kamenja (Lan i dr. 2010), klizišta (Metternicht i dr., 2005), tokovi ledenih krhotina (Conway i dr., 2010)).

Naredna poglavlja usredotočuju se na neke tipične studije u kojima je vizuelizacija lidarskih podataka pomogla arheolozima i geomorfolozima da bolje razumiju područja od interesa.



Slika 29: Lepeza aluvijalnih nanosa u kanjonu Craig u Slanoj dolini, SAD. Fotografisao Brian Lockett Air-and-Space.com.

## 5 | 1 Aluvijalni depoziti iz kanjona Craig u Slanoj dolini, Kalifornija, SAD

Aluvijalni depoziti koji se protežu od kanjona Craig na rubu planina Inyo do Slane doline (engl. *Saline Valley*) u Kaliforniji, SAD, tipičan su depozitni oblik polaganja nekonsolidovanog materijala koji se prenosi vodom. Aluvijalni depoziti obično se formiraju u podnožjima gdje postoji označen prekid u nagibu. Vrh (uski dio) svakog depozita nalazi se tik do ruba kanjona koji služi kao ispust za planinski sistem odvodnje. Sediment od erozije unutar planina pomaknut je ovim sistemom odvodnje u susjedni bazen, formirajući široki trougao – lepezu depozita. Budući da rijeke koje pohranjuju aluvijalne depozite imaju tendenciju da su brze tekućice, prvi materijal koji je spušten obično je grub, s finim pijeskom i muljem prema rubovima.

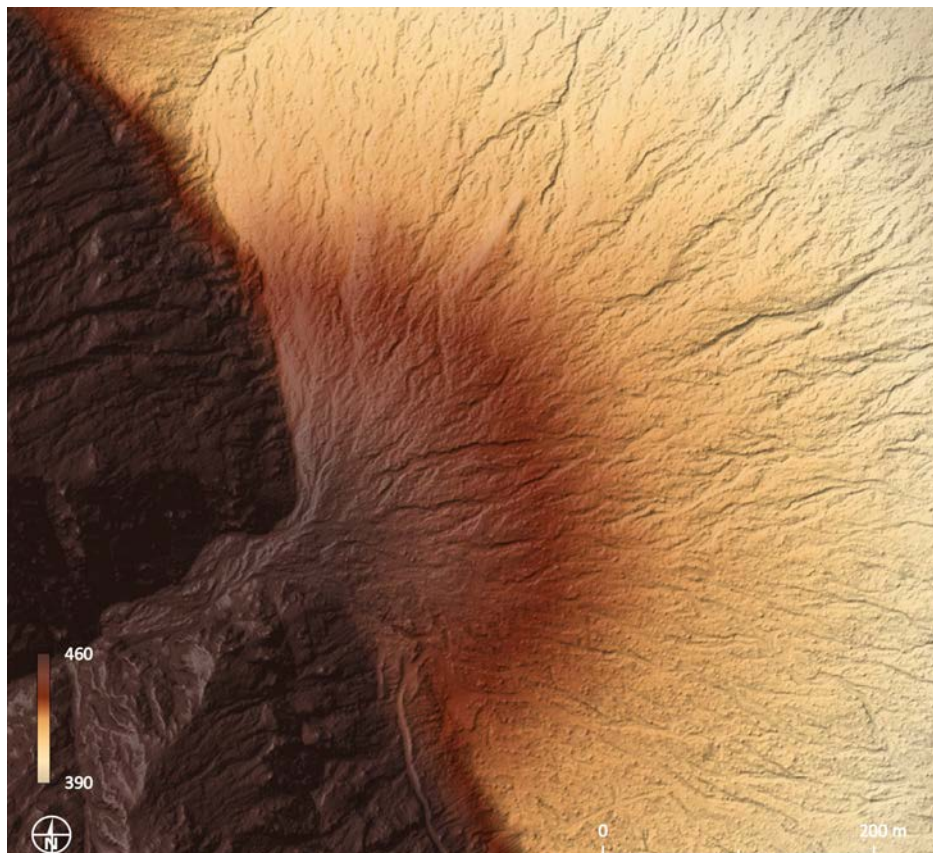
Aluvijalni nanosi imaju praktično i ekonomsko značenje za društvo, posebno u sušnim i polu-sušnim područjima gdje mogu biti glavni izvor vode za uzgoj i navodnjavanje, te održavanje života. Korištenje pustinjskih nanosa kao stalnih izvora vode je ograničeno, međutim, zbog povremene kiše ili topljenja snijega pružaju veoma sporu stopu ponovnog punjenja.

Stvaranje naselja na aluvijalnim nanosima može biti opasno, jer su isti skloni poplavama. Voda, blato i prljavština mogu ugroziti zajednice kilometrima daleko od vrha aluvijalnih nanosa. Lidarski podaci otkrivaju detalje zamršenog sistema odvodnje, što se često koristi za hidrološke studije izvora voda i modeliranje poplava.

**Tabela 17: Parametri lidarskog skeniranja aluvijalnih depozita u Craig kanjonu (Kalifornija, SAD)<sup>1</sup>.**

	vrijednost parametra
tip skenera	Optech GEMINI
platforma	avion
datum	između 18.04. i 24.04.2008. godine, tačan datum je nepoznat
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	3.6
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5

<sup>1</sup> Lidarski podaci dobiveni su od Plate Boundary Observatory by NCALM, SAD . PBO-em upravlja UNAVCO for EarthScope i podržan je od strane National Science Foundation (Broj EAR-0350028 i EAR-0732947).



Slika 30: Aluvijalni nanosi iz kanjona Craig (Kalifornija, SAD) što je očigledno na lidarskim podacima od 0.5 m prostorne rezolucije. Kolor rastegnute visine preko SVF-a i sjenčenog reljefa. © Plate Boundary Observatory by NCALM, SAD.

## 5 | 2 Utisnute staze u Volčjem Potoku u Sloveniji

Historijske utisnute staze su putevi koji su erodirali do temelja zbog korištenja ljudi, životinja i kola, tako da su uvučene ispod nivoa okolnog krajolika. One se formiraju u mekom kamenu, a ne na tvrdoj stijeni. Redovno gaženje ljudi ili stoke potiskuje rast vegetacije na stazama i smanjuje stopu infiltracije vode. To rezultira povećanim površinskim oticanjem duž staza, posebno na strmim padinama. Tokom sušne sezone, gazište zamjenjuje površinsko tlo, pružajući izvor sedimenata tokom kišne sezone. Staze postaju kanali za površinsko oticanje i izvor sedimenta, što rezultuje povećanim stepenom erozije (George i dr., 2004). Kako su se ceste produbile, postale su prirodni plovni putevi. Kiša ih je isušivala i izdubljivala, oluje su ih pretvorile u privremene rijeke, uklanjajući labav kameni otpad i urezujući ceste još dalje ispod livada i polja.

Erozija vode ubrzala je proces izlivanja i napravila je neke staze blatnim i neprohodnim. Kada se to dogodilo, ljudi su putovali alternativnim stazama, što je na nekim mjestima vodilo formiranju isprepletenih kanala u obliku rijeka, grananja i konvergiranja (Edgeworth 2011: 109):

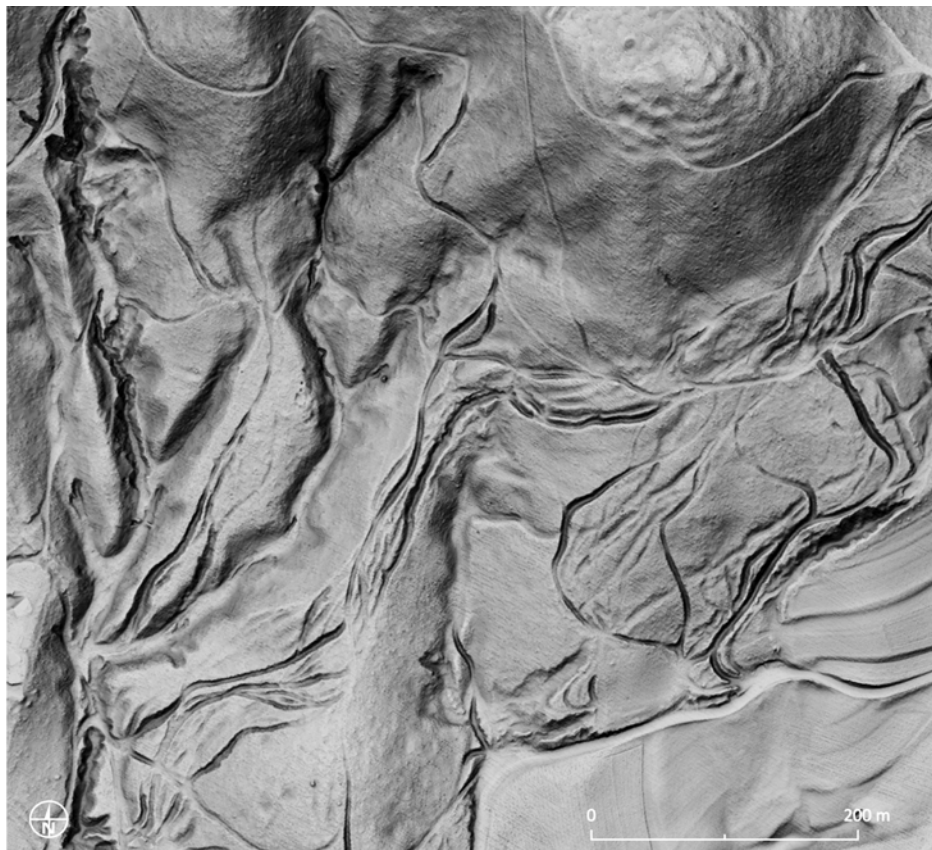
*“Umjesto fragmenata transportnih mreža koji povezuju fiksne tačke u krajoliku, utisnute staze su prilično “neuredni” krajolici kretanja, ispreplitanе gomile različitih ogrebotina i tragova kretanja, gotovo bioloških oblika, “organskih” pletenih linija koje proizilaze iz rasta i diferencijacije kroz ritam ljudskog i životinjskog kretanja, promjene godišnjih doba, dinamike vode ... Nisu se približili negdje, od tačke A do tačke B, nego su u krajoliku, živeći svakodnevnim životom. Ljudi nastanjuju krajolik duž tih staza. To su linije po kojima su od stvari i obilježja duž puta, na neuređan način, kreirani nekadašnji krajolici.” (Mlekuz 2013: 41).*

Većina ih je kroz vrijeme postala neprohodna, obrasla koprivom i dračom. Istima se nemoguće kretati i desetljećima su ostali neistraženi. Njihova promjena smjera i položaja na padinama čini ih teškim za vizuelizaciju na lidarskim podacima. Neophodna je kombinacija nekoliko tehnika kako bi se to ispravno učinilo (slika 32).





Slika 31: Paralelne urisnute staze v sumi sjevaro-zapadno od Voščinjog Potoka, Slovenija. Fotografirane Žiga Kokalj.



Slika 32: Utisnute staze i glavni tokovi ispod gradine na Žiškom vrhu, sjeverna Slovenija, kao što je vidljivo iz kombinacije dijela vidljivog neba (0.65-1, neprozirnost 25%, množenje), pozitivne otvorenosti (70-93, neprozirnost 50%, preklapanje), nagiba (0-45°, neprozirnost 50%, osvjetljenost) i sjenčenja reljefa. Lidarski podaci od 0.5 m © ARSO, Slovenija.



Slika 33: Utisnute staze na uskom prolazu duž rijeke. Volčji Potok, sjeverna Slovenija. Lidarski podaci prostorne rezolucije od 0.5 m © ARSO, Slovenija.

Tabela 18: Parametri lidarskog skeniranja Žiškog vrha i Volčijeg Potoka (Slovenija).

	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter
datum	juli 2014 do marta 2015
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	3.0
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5

## 5 | 3 Predhistorijsko naselje iznad Knežaka, Slovenija

Gradišče nad Knežakom, gradina iz ranog i kasnog željeznog doba, bila je nekadašnje središnje mjesto na području Pivke, Slovenija. Nalazi se na vrhu grebena i danas je potpuno prekrivena neprohodnom šumom. Oblik gradine je ovalno-trouglast, obilježen dobro očuvanim bedemima na zapadnoj, jugoistočnoj i istočnoj strani, te strmim padinama na sjevernom rubu. Na sjeverozapadnoj granici naselje je utvrđeno tornjem. Plato se visinski polako spušta prema niskim terasama na južnoj strani. Mala udubljenja najvjerojatnije su tragovi djelimično zakopanih struktura (objekata) (Laharnar 2012: 66-67).

Odsutnost rimskih vojnih nalazišta i tragova vojnog angažmana iz razdoblja prije Augustiniana i stalna okupacija starih naselja ukazuju na lojalnost tih zajednica rimskoj državi (Laharnar 2012: 243-244).

Zemlje, države i regije u sve većem broju nude svoje lidarske podatke za slobodnu i otvorenu upotrebu. Stoga je sve veća prilika za razvoj proizvoda i usluga zasnovanih na visoko rezolucijskim visinskim modelima. Međutim, korisnici podataka i dalje trebaju barem osnovna znanja o tome kako su ti podaci dobiveni, obrađeni i kako se mogu dobiti ili poboljšati u skladu sa njihovim zahtjevima. Slovenski nacionalni skup lidarskih podataka općenito je visokokvalitetan, ali velik dio podataka oblaka tačaka sadrži dvostruke unose i negativne tačke sa grubim greškama koje su klasifikovane kao tlo (pogrešne tačke ispod pravog terena). Podaci su također obrađeni s posebnim zahtjevom za klasifikaciju zgrada. Stručnjaci koji su zainteresovani za pravo predstavljanje osobina tla i sitno razmjernih osobina mogu znatno profitirati čak i ponovnom obradom podataka sa različitim softverom (pogledati slike 35 i 36).

Tabela 19: Parametri lidarskog skeniranja naselja iznad Knežaka (Slovenija).

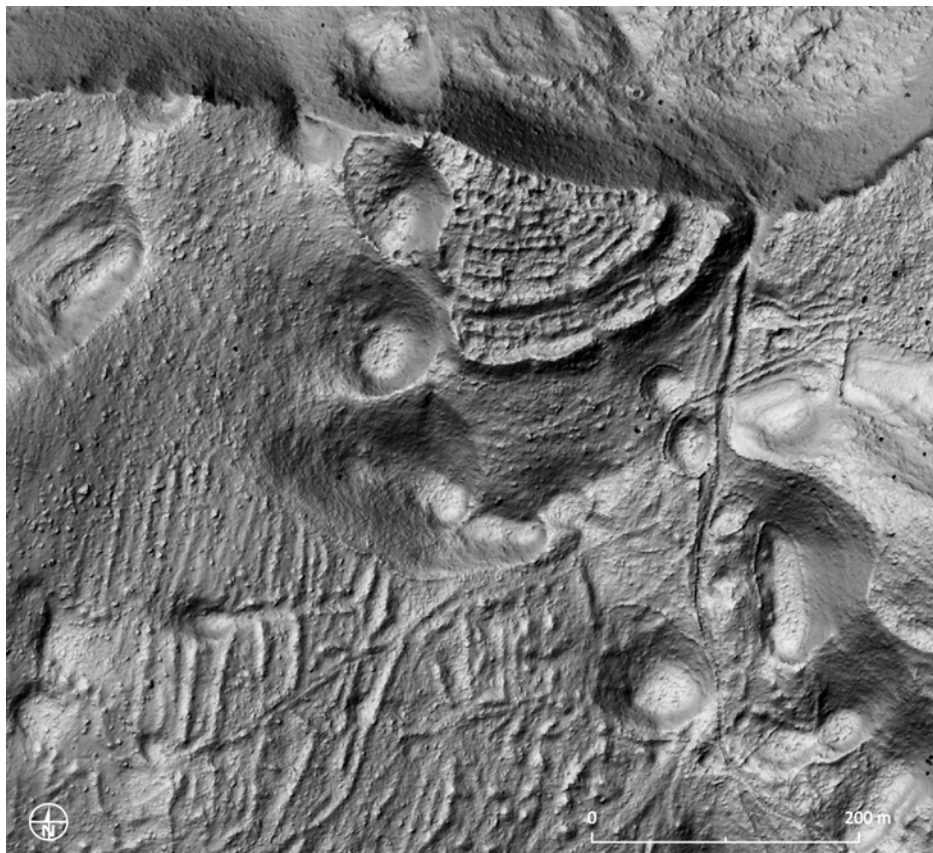
	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter
datum	između 11.02. i 21.11.2014. godine, tačan datum je nepoznat
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	4.2
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5



Slika 34: Gradišće nad Knežakom gradina u središtu slike danas je potpuno prekrivena neprohodnom šumom. Fotografisao Boštjan Laharnar.



Slika 35: Naselje iz željeznog doba iznad Knežaka i okoline, kao što se vidi na klasifikovanim slovenskim nacionalnim lidarskim podacima (GKOT, © ARSO, Slovenija) koji su obrađeni gLidar softverom, rasterizirani na mrežu od 0.5 m. Vidljiva su mnoga mala udubljenja i nepostojeće rupe (pogledati također i sliku 18C). Snimak je kombinacija dijela vidljivog neba (0.7-1, 70% neprozirnost, množenje), nagiba (0-55°, 100% neprozirnost, preklapanje) i sjenčenja reljefa.



Slika 36: Ista površina kao na slici 35, ali je obrada obavljena drugim softverom (LASTools). Čak i uz minimalan napor (zadane postavke), rezultujući snimak daje jasniju sliku arheološke i prirodne topografije, unatoč gubljenju dijela "oštrine". Na donjem dijelu snimka vidljive su nestrukturirane skupine kamenja na polju i granice polja. Lidarski podaci prostorne rezolucije od 0.5 m © ARSO, Slovenija.

## 5|4 Groblje Humka u Pivoli, Slovenija

Groblje na Pivoli, na Dravskoj ravnici u podnožju planine Pohorje u Sloveniji, sadrži desetine grobnih humki. Riječ je o velikom području gdje su stanovnici utvrđene gradine Poštela ukopani u ranom željeznom dobu (8.-6. vijek prije Hrista). Kao posljedica ideoloških i vjerskih promjena, ukop u humkama postao je nova praksa na početku ranog željeznog doba, u kojem ratnici postaju najistaknutiji članovi društvenog sloja (Gulič i Črešnar 2012). U njihovim istraživanjima, temeljem lidarskih podataka, Mlekuž i Črešnar (2014) istražili su važnost i namjeru pozicioniranja različitih grupa grobnih humki oko gradine Poštela u okviru krajolika.

*“Pivola se nalazi u kompaktnom vizuelnom okviru doline, u plitkoj depresiji koja je ograničena prirodnim niskim grebenima na sjeveru i jugu. Humke su pozicionirane na način da bi*

*promijenile vizuelnu strukturu krajolika. Postavljene su tako da dominiraju pogledom u prvom planu ili kratkim vizuelnim razmakom, da budu neposredne, bliske i zanimljive svim čulima. Kada se nalazi unutar ove skupine gledaoc je u dobro ograničenom vizuelnom okviru i humke dominiraju neposrednom prisutnošću (slika 39). One su manje upečatljive na srednjoj udaljenosti, ali još uvijek predstavljaju važan sastavni element krajolika” (Mlekuž and Črešnar 2014: 205).*

Na temelju ove studije otkrili su da je krajolik oko Poštele imao kritičnu ulogu kao medij, jer je postao kulturološki krajolik, poligon za izražavanje ideja i poruka. Uvažavanje, povezivanje ili mijenjanje postojećeg prostornog poretka bila je snažna poruka koja je reprodukovala ili mijenjala postojeće društvene identitete i odnose moći (Mlekuž i Črešnar 2014: 209).

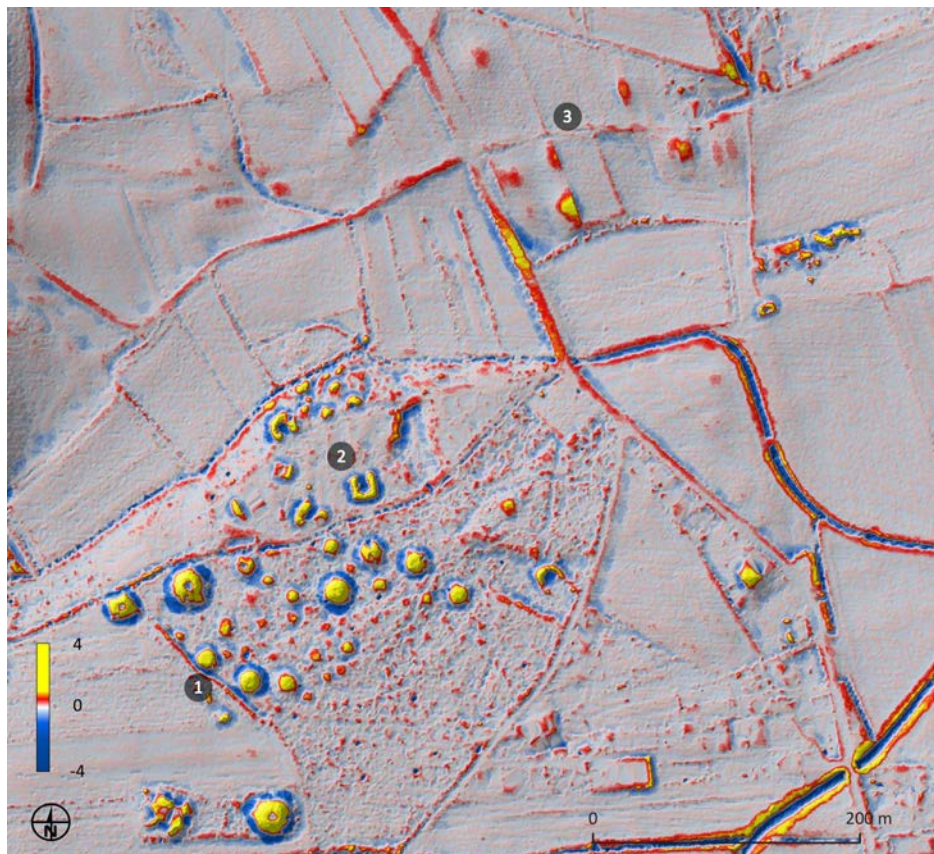
Tabela 20: Parametri lidarskog skeniranja grobnih humki u Pivoli (Slovenija).

	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter
datum	između 12.03. i 20.10.2014. godine, tačan datum je nepoznat
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	4.7
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5





Slika 37: Jedna od grobnih humki v Rivoji. Desni stolom kasne zrnje, levo na jareško kretati se zbog guste urate. Fotografirano Zluz Kokalj.



Slika 38: Grobne humke u Pivoli kao što je prikazano lokalnim modelom reljefa transparentno su prekrivene preko snimka dijela vidljivog neba i sjenčenog reljefa. Stanje očuvanosti humki znatno se razlikuje. One u šumi dobro su sačuvane (1), humke u Botaničkom vrtu oštećene su kada su služile kao vojna baza (2), a humke na poljima gotovo da su poravnate sa tlom (3). Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © ARSO, Slovenija.



Slika 39: Vizuelna struktura krajolika predstavljena Higuchievim matematičkim modelom bliske razdaljine totalne vidljivosti oko grupe humki u Pivoli. Lidarski podatci prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija. Prikazano uz dopuštenje D. Mlekuža.

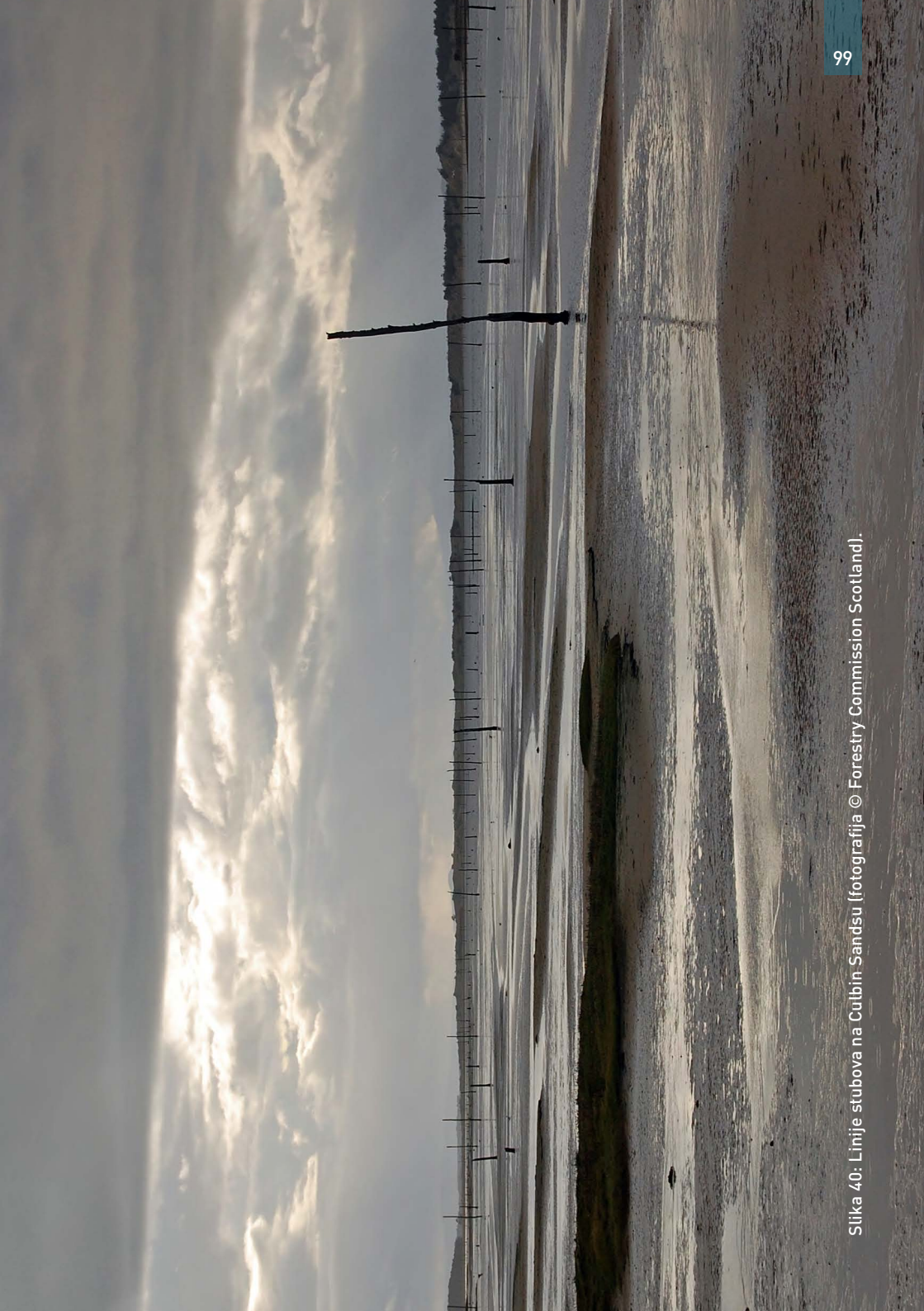
## 5 | 5 Odbrana od jedrilica tokom Drugog svjetskog rata u Culbinu u Škotskoj

*Peter Crow i Matt Ritchie; Forest Research and Forestry Commission Scotland*

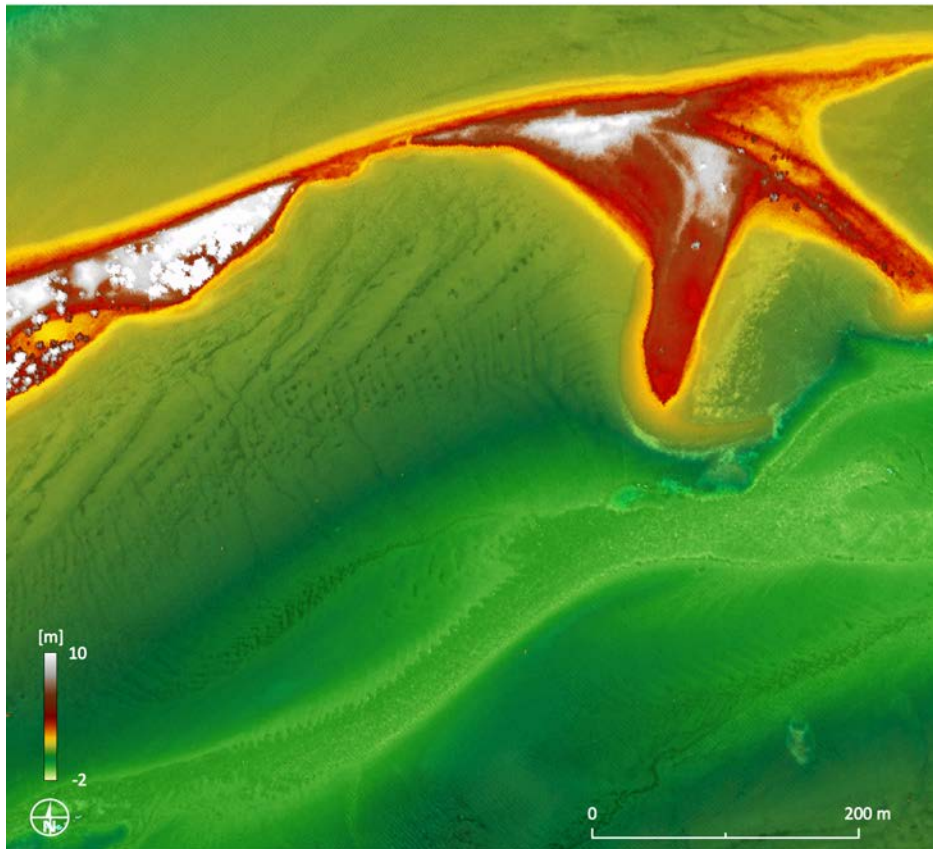
Plimna laguna u Culbinu, na obali Moray Firtha u Škotskoj (NH 969 625), obiluje pravilnim linijama stubova koji su izgrađeni 1940. godine kako bi se spriječile neprijateljske jedrilice da slijeću. Stubovi su podignuti kopanjem rupa, umetanjem starih bačvi za haringe, ispuštanjem u stub i pričvršćivanjem korištenjem kamena i pijeska. Stotine stubova i dalje stoje unutar plimne lagune, zaštićene pješćanim dinama i šumom. Međutim, mnogi su veličinom smanjeni na visinu panjeva. U pokušaju snimanja preostalih stubova, prije nego što budu u potpunosti izgubljeni, Šumarski odbor Škotske naručio je istraživanje obalnog područja koje je provedeno lidarom, s mjernim parametrima posebno kreiranim kako bi se osiguralo da se svaki uspravni stub zabilježi.

Opšti trenutni izgled protivjedrilične odbrane sa ove vremenske udaljenosti se treba izuzetno poštovati - posebno rangirane linije namijenjene odvratanju jedrilica od slijetanja uz plažu. Tačke na kojima se prikazuje položaj stubova nisu provjerene na tlu - one predstavljaju osobine koje je detektovao lidar koji se nalazio 0.2 m ili više u ravnom plimnom

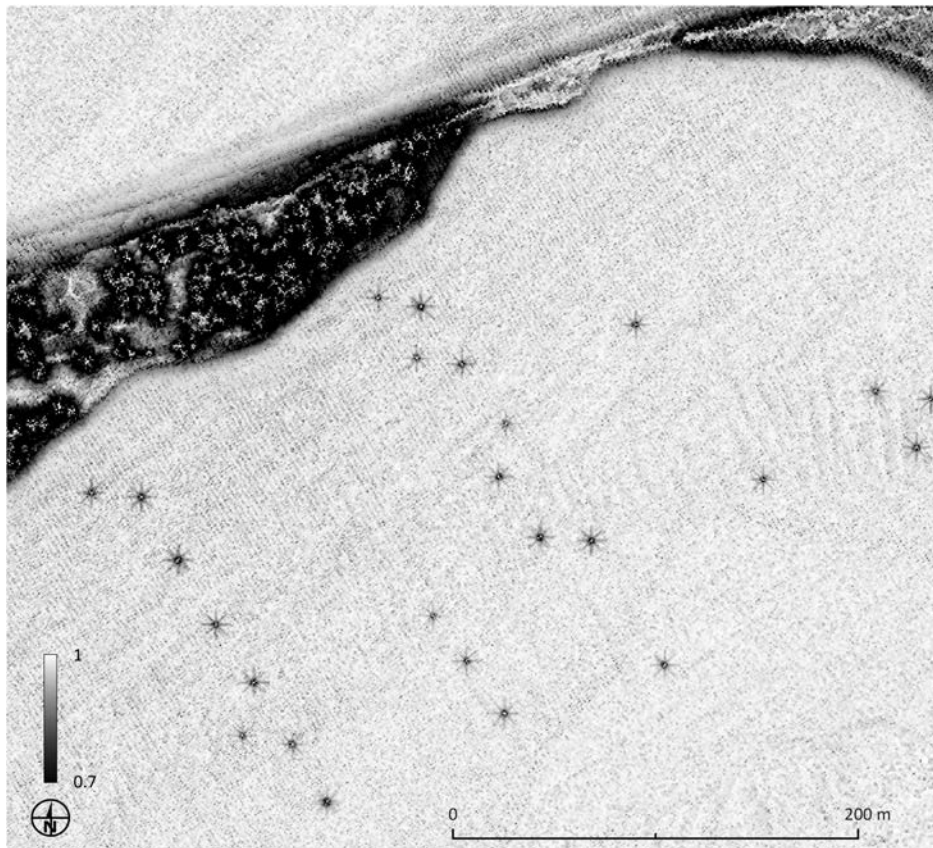
okruženju. Podaci su manipulirani rezanjem modela lidara kako bi se uklonila okolna šuma prije oduzimanja digitalnog modela terena (DTM) iz digitalnog modela površine (DSM) sa ciljem stvaranja novog modela visinske razlike između dva normalizovana digitalna površinska modela (nDSM, engl. *Normalised digital surface model*). Izabrane su karakteristike s visinskim rasponom od 0.2 m do 4 m, ručnim odabirom onih osobina koje najvjerojatnije predstavljaju stubove (tj. razlikovanjem diskretnih tačaka od očigledne vegetacije). Stubovi niži od 0.2 m nisu opisani, jer ih je bilo teško razlikovati od bilo koje prisutne vegetacije (Forestry Commission Scotland 2012: 34-36). SVF je posebno koristan za vizuelizaciju stubova i drugih "šiljastih" objekata jer se isti pojavljuju kao zasebne crne zvijezde na snimku.



Slika 40: Linije stubova na Culbin Sandsu (fotografija © Forestry Commission Scotland).



Slika 41: Promjene u visini s dodatnim informacijama o intenzitetu, Culbin Sands. Intenzitet lidara obično se bilježi u vrijeme skeniranja i može pružiti dodatne razlikovne informacije o krajoliku. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Forestry Commission Scotland.



Slika 42: Pogled izbliza na Culbin Sands kao što se vidi na snimku dijela vidljivog neba, izračunatog u 8 smjerova. Stubovi se lako mogu prepoznati kao crne zvijezde. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Forestry Commission Scotland.

Tabela 21: Parametri lidarskog skeniranja Culbin Sandsa (Škotska).

	vrjednost parametra
tip skenera	Optec ALTM 3033
platforma	avion
datum	07.10.2009. godine, niska plima
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	4 sa 0.9 m otiskom (engl. <i>footprint</i> )
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5

## 5|6 Geološke karakteristike Julijskih Alpa u Sloveniji

Julijske Alpe su najveći i najviši alpski planinski lanac u Sloveniji, koji se diže do 2864 m na Triglavu. Oni su uglavnom nastali od 200 miliona godina starih slojeva vapnenca i dolomita koji se protežu u dubinu do 2 km. Krajolik se odlikuje izvanrednom raznolikošću geomorfologije, pogotovo ledničkim, riječnim i kraškim oblicima izuzetne ljepote, koji čuvaju kulturnu zaostavštinu. Endemske, rijetke i ugrožene biljne i životinjske vrste zaštićene su u Nacionalnom parku Triglav koji pokriva većinu područja.

Lidar je postao nezamjenjiv alat u geomorfološkim i geološkim studijama koje se tradicionalno oslanjaju na vizuelnu interpretaciju krajolika. Jedan od primjera geomorfološke ljepote je područje Velikih vrata (slika 44), visokog planinskog prolaza između doline Trenta i doline jezerâ Triglava. Područje je posebno važno zbog brojnih oblika glacijalnih erozija u različitim razvojnim

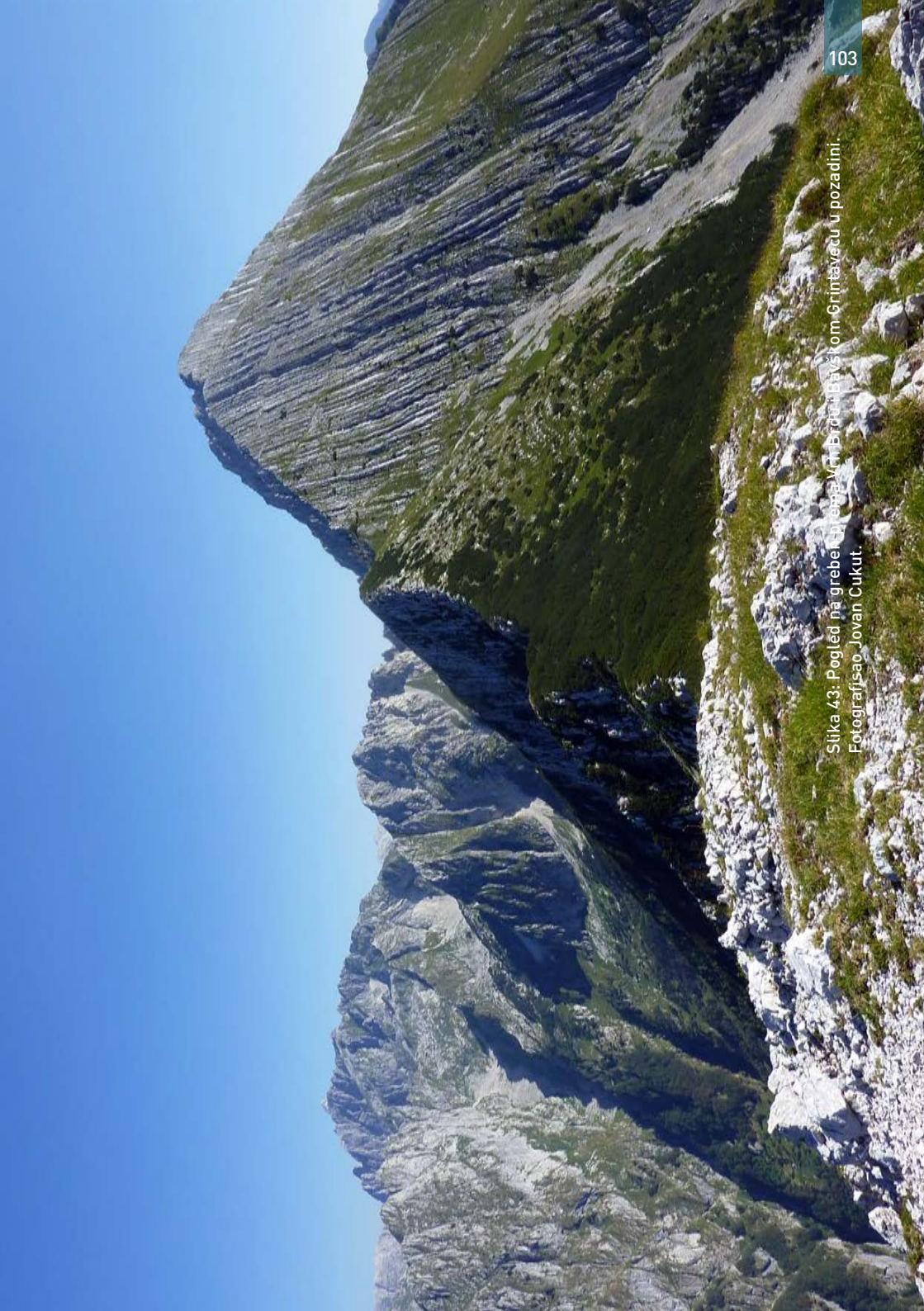
fazama. Vapnenačke ploče visokih planina (slo. *podí*) su naborana područja, glacijalno transformisanih kraških platoa sa stjenovitom površinom, obično iznad drveća. Oni su puni drugih složenih površinskih struktura, kao što su pukotine u vapnenačkim stijenama, vertikalne pukotine i manji oblici krša (engl. *karren tables*), ali i podzemnih osobina kao što su vertikalne pećine. Vertikalne pukotine i manji oblici krša ističu se među kraškim oblicima na Velikim vratima, jer je područje njihov "locus typicus" u Sloveniji.

Greben između planina Planja (1964 m) i Bavški Grintavec (2333 m) svjedoči o snažnim tektonskim procesima u Kenozoiku koji su pomjerili vapnenačke slojeve gotovo vertikalno. Sada se nalaze gotovo 2 km iznad doline, a ispod njih još uvijek nije vidljiva stijena (Planina 1954: 192). Mjesto između Vrh Brda i Vrh Ruta poznato je i kao Ribežni (engl. *slicers*) (slika 43), a zbog izloženih slojeva lijepo je prikazano na prikladnoj lidarskoj vizuelizaciji (slika 45).

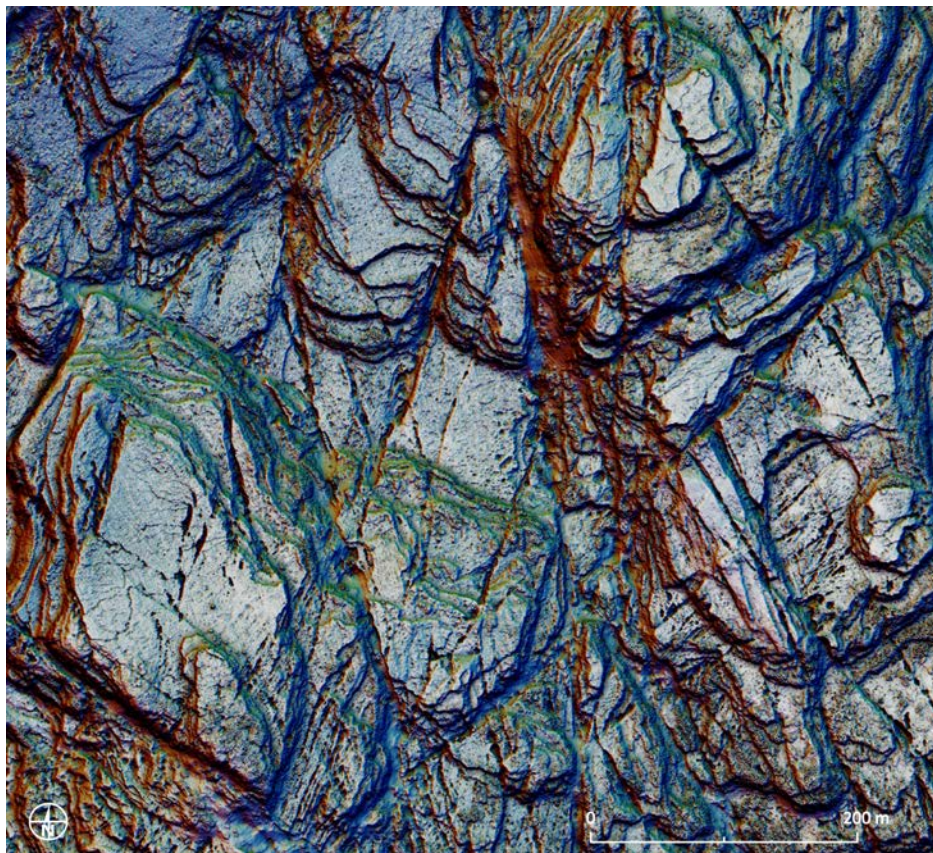
Tabela 22: Parametri lidarskog skeniranja Velikih vrata i Vrh Brda (Slovenija).

	Velika vrata	Vrh Brdo
tip skenera	Riegl LMS-Q780	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter	helikopter
datum	juli 2014. do januara 2015	juli 2014. do januara 2015
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	4.7	5.0
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5	1

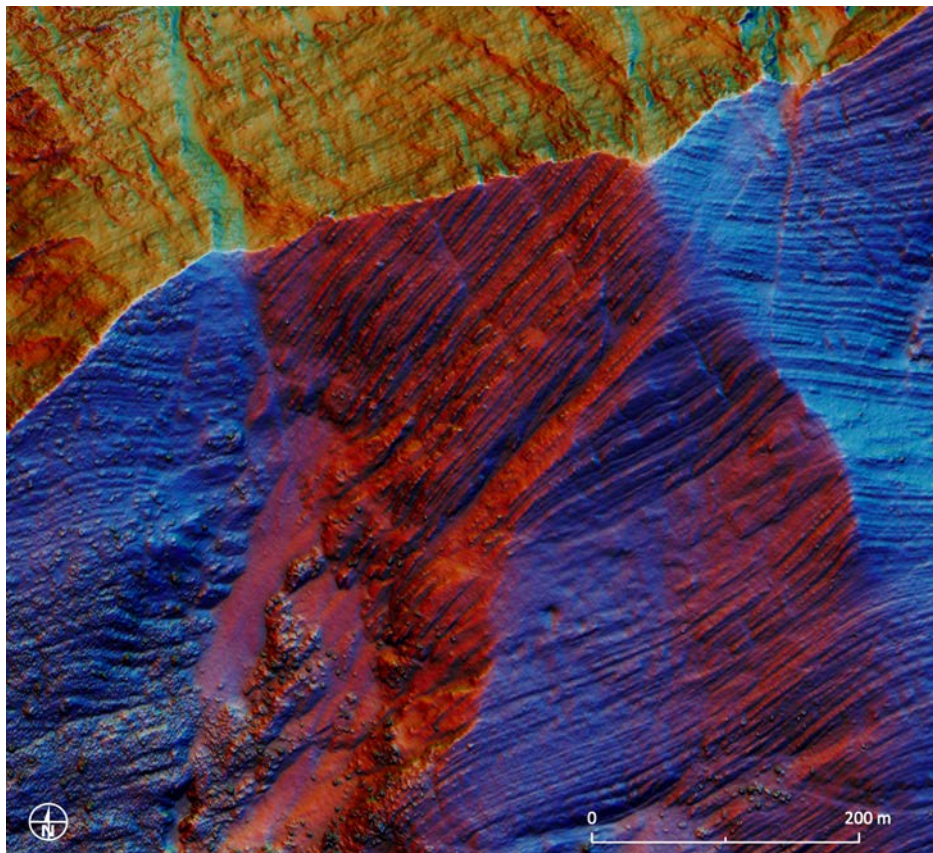




Slika 43: Pogled na grebene iznad Vrh Brač i Bavištom Grintavacu u pozadini.  
Fotografisao Jovan Cukut.



Slika 44: Glacijalno transformisana kraška visoravan na Velikim vratima, Slovenija. Ravne površine pukotina u vapnenačkim stijenama prikazane su u svijetlim bojama, dok su vertikalne pukotine, otvorene pukotine i strmine mračne. Snimak je kombinacija dijela vidljivog neba (0.5-1, neprozirnost 70% , množenje), nagiba (0-65°, neprozirnost 80% , preklapanje) i RGB snimka sjenčenja brda iz tri smjera (R: 315°, G: 15°, B: 75°), svih izračunatih na digitalnom površinskom modelu. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © ARSO, Slovenija.



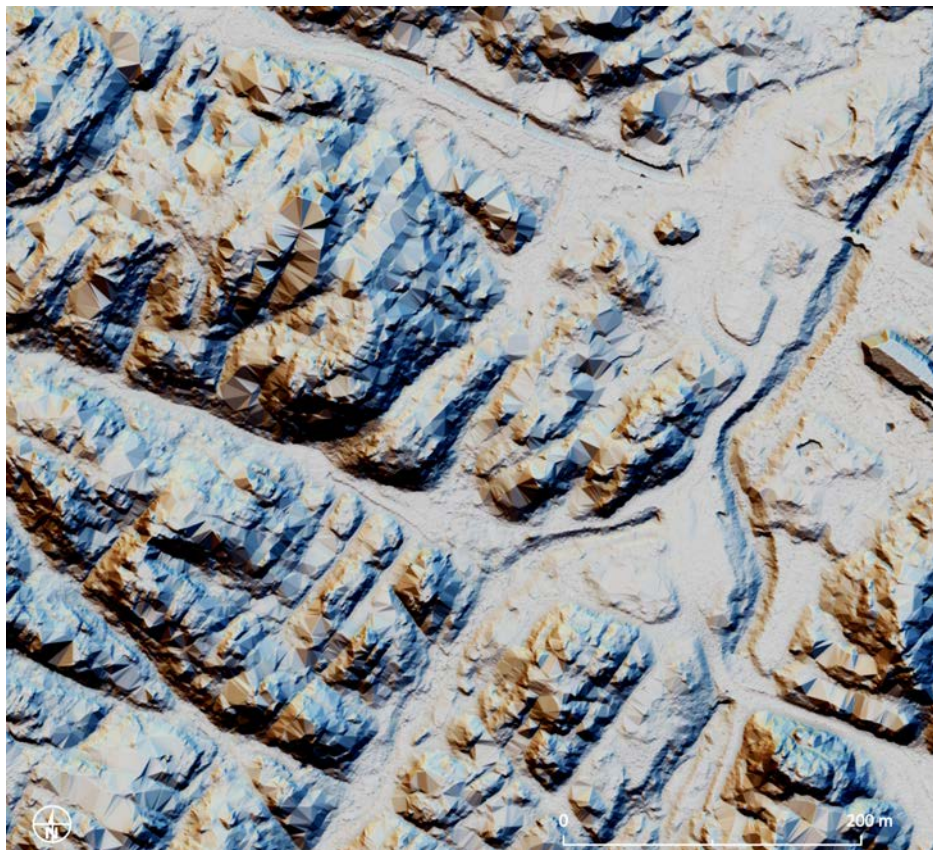
Slika 45: Dachsteinovi vapnenački slojevi i polja izložena na Vrh Brdu (1952 m). Vrh grebena istaknut je bijelom bojom, a boje predstavljaju različite orijentacije padine. Vizuelizacija je kombinacija dijela vidljivog neba (0.55-1, neprozirnost 30% , množenje), pozitivne otvorenosti (65-95°, neprozirnost 50%, preklapanje), nagiba (0-65°, neprozirnost 80%, osvjtljenost) i RGB snimka sjenčenja brda iz tri smjera (R: 315°, G: 15°, B: 75°). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija.

## 5 | 7 Granitne doline (Granite Dells), SAD

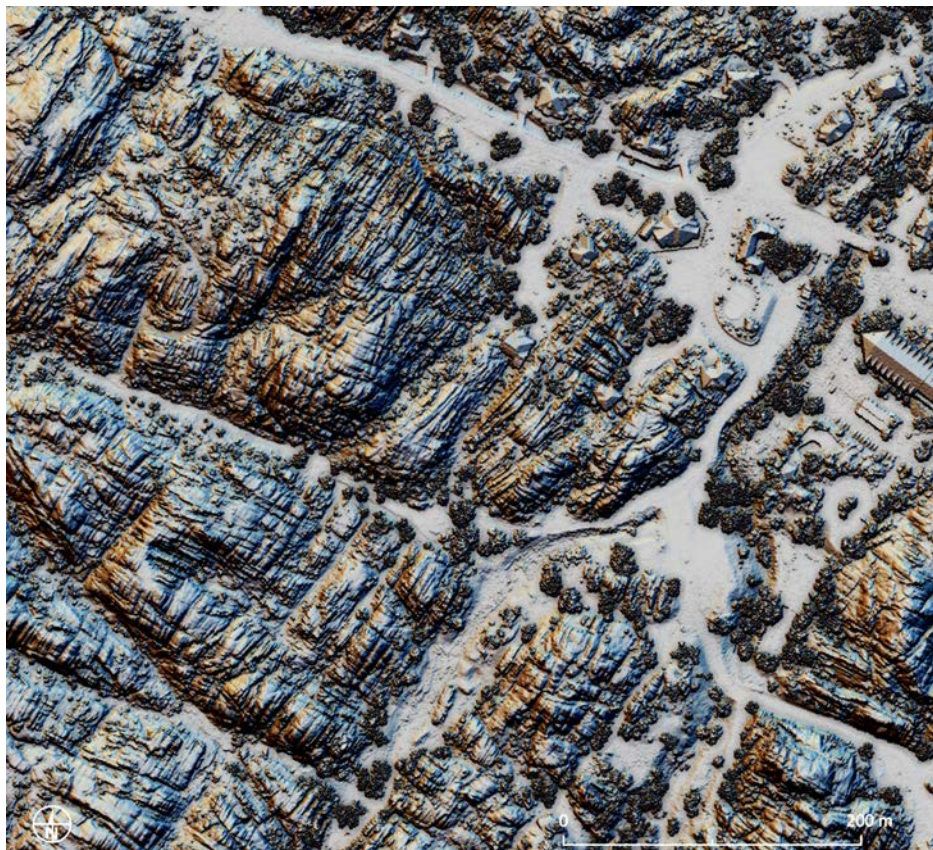
Granit Dells su geološke osobine sjeverno od Prescottta, Arizona, SAD. Sastoje se od izloženog stijanja i velikih granitnih stijena koje su se pretvorile u zaobljene, neravne i neobične oblike, što je stijenama dalo talasasti izgled (slika 46). Granitne šumovite doline nastale su prije 1.4 milijarde godina na dubini od 2-3 km, a od tada su bile podložne eroziji. Atmosferska dejstva između spojeva stijena proizvela su okrugle oblike i druge neobične stijene koje karakterišu Granitne šumovite doline. Proces je poznat kao sferoidno atmosfersko dejstvo na stijenje i uobičajeno je na granitnim terenima. Karakteristično za područje su i nesigurno uravnotežene stijene (engl. *precariously balanced rocks* - PBR) koje su prisutne u kompletnom rasponu veličina, masa, geometrijskih konfiguracija i nesigurnosti. Haddad i Arrowsmith (2011: 145) utvrdili su da na pojave nesigurno uravnoteženih stijena utiču promjene stope nastanka tla i transporta. Visoka stopa pomjeranja tla ubrzava geomorfološki životni ciklus nesigurno uravnoteženih stijena, dok visoka stopa nastanka tla potpuno razgrađuje stijene ispod površine. To je povezano s gustoćom spojeva. Visoke gustoće spojeva stvaraju male gromade koje se potpuno raspadaju prije izlaganja, dok niske gustoće spojeva stvaraju relativno velike i stabilne gromade.

Dok je tipična korist od lidara "digitalno šumarstvo", tj. kreiranje modela terena bez šumskog pokrova, ponekad se moraju posmatrati krajolici i objekti na digitalnom modelu površine (engl. *Digital Surface Model* - DSM). Model terena je, bez obzira na izuzetnu preciznost i prostornu rezoluciju, često preopćenit za specijalizovane studije jer uklanjanje građevina i sličnih objekata zahtijeva relativno "agresivne" postavke algoritama za filtriranje. Osobine mikoreljeva (njihovi rubovi) se stoga mogu izravnati (generalisati) izvan prepoznavanja ili čak potpunog uklanjanja iz modela visina. S druge strane, površinski model, koji također pokazuje sve prirodne i antropogene objekte na terenu, ne dopušta posmatranje obilježja pod vegetacijom. Veoma je pogodan za određivanje visina objekata (kao što su stabla i zgrade), te kod specifičnih otvorenih krajolika (npr. livade, obalne ravnice, stjenovite formacije) daje mnogo jasniji pogled na male objekte, jer su detalji bolje očuvani (slike 47 i 48).





Slika 47: Digitalni model terena (DTM) - Granite Dells, Arizona, SAD. Veliki dio detalja krajolika je izgubljen uprkos detaljnom procesiranju. Kombinacija neizotropnog dijela vidljivog neba (0.2-1, neprozirnost 40% , množenje), nagib (0-80°, neprozirnost 60% , preklapanje) i RGB snimak sjenčenja brda iz tri smjera (R: 337,5°, G: 0°, B: 22,5°). Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © NCALM.



Slika 48: Digitalni model površine (DSM) istog područja kao na slici 47. Vidljiva su stabla, kuće i automobili, ali još važnije je da su vidljivi spojevi u granitu što je i karakteristično. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © NCALM.

Tabela 23: Parametri lidarskog skeniranja Granitne šumovite doline (Arizona, SAD)<sup>2</sup>.

	vrijednost parametra
tip skenera	Optech Gemini
platforma	avion
datum	09.11.2009
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	6.7
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5

<sup>2</sup> Lidarski podaci NCALM-a na Univerzitetu u Houstonu i Kalifornijskom univerzitetu u Berkeleyju, u ime David E. Haddada (Državni univerzitet u Arizoni) za rad Geološka i geomorfološka karakterizacija precizno uravnoteženih stijena. NCALM je financiran od strane Nacionalne fondacije za nauku - Odjela za nauku o Zemlji, instrumente i upravljanje objektima.

## 5 | 8 Konusi od pepela i tekuća lava na Mauna Loi, SAD

Kod najvećeg vulkana na svijetu, Mauna Loe na Havajskom Velikom ostrvu, došlo je do epitomizacije vulkana. Njegova zapremina je u rasponu od 65 000 do 80 000 km<sup>3</sup> tekuće lave, otvora za odzračivanje i nanosa koji se dižu iz okeana do 4169 m visokog vrha (Sherrod i dr. 2007). Erupcije lave iz Mauna Loe su silicij osiromašene i izuzetno tečne. Erupcije obično nisu eksplozivne i vulkan ima relativno blage padine. Posljednja erupcija bila je 1984. godine.

Cashman i dr. (2013) izvještavaju da podaci lidara revolucionizuju i vizuelnu i kvantitativnu analizu tokova lave. Vizuelizacije omogućavaju precizno kartiranje granica protoka, posebno u vegetacionim područjima i područjima koja su teško dostupna zbog temperature (aktivni tokovi lave) ili grubih i nazubljenih

površina (stariji tokovi lave). Detaljni reljefni modeli dopuštaju kartiranje i morfometrijsku analizu komponenti protoka, kao što su kanali, površinski nabori, pukotine, blokovi i površinska hrapavost, kao i varijacije uzdužnih struja u vrsti protoka. Razlikovanje pred-eruptivnih i post-eruptivnih digitalnih modela visina omogućava analizu varijacija debljine protoka, što može biti povezano s dinamikom utvrđivanja položaja lave. Dietterich i dr. (2015) proučavali su lidarske podatke Havaja i ustanovili su da prostorne i zapreminske raspodjele lave odražavaju brzinu izljevanja i interakcije s topografijom. Glavni kanal služi za transport, a ne za pohranu, a lava i postojeća topografija djeluju kao primarna kontrola (3D) prostorne raspodjele pojedinačnih tokova lave.

Tabela 24: Parametri lidarskog skeniranja Mauna Loe (Havaji, SAD)<sup>3</sup>.

	vrijednost parametra
tip skenera	Optech Gemini
platforma	avion
datum	21.06. – 27.06.2009
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	6.0
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5

<sup>3</sup> Prikupljanje i obrada lidarskih podataka obavljena je od strane National Center for Airborne Laser Mapping (NCALM). Finansiranje NCALM-a osigurava NSF's Division of Earth Sciences, Instrumentation and Facilities Program (EAR-1043051). Grant NSF EAR-0739153 i NASA podugovor sa Propulsion Laboratory (Award #1290138) također podržava ovo prikupljanje podataka.

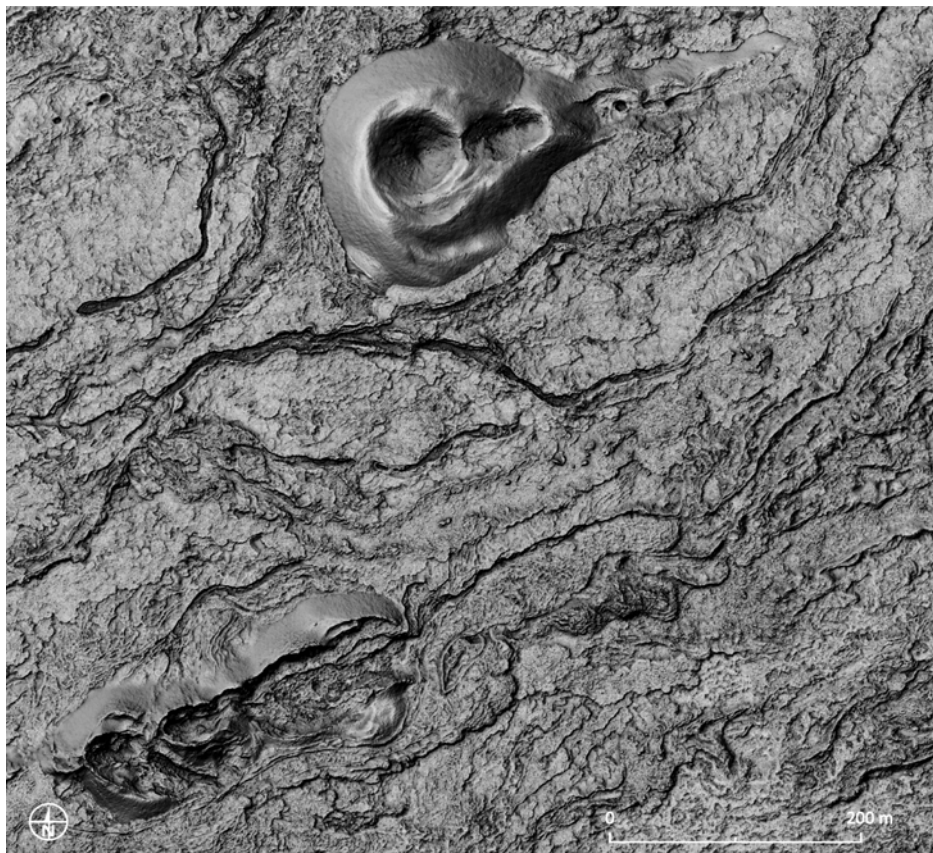




Slika 49: Pogled na Maunajalon iz Naupia. Kea s konusima od pepela u prvom planu.  
Fotografisao Lawrence Godolman.



Slika 50: Lavu koja teče na vulkanu Mauna Loa teško je posmatrati na terenu jer je tlo vruće, ima grubu i šiljastu površinu ili je prekriveno vegetacijom. Mnogi otvori i konusi od pepela vidljivi su na ovom zasjenčenom snimku lidarskih podataka (prostorna rezolucija od 1 m)  
© NCALM.



Slika 51: Ova vizuelizacija pruža veoma realan prikaz površine i otkriva zamršeni sistem konusa od pepela, otvora, pukotina, nabora i kanala polja lave na sjeveroistočnoj padini Maune Loe. Vizuelizacija je kombinacija pozitivne otvorenosti (65-95, neprozirnost 50%, zatamnjena), dijela vidljivog neba (0.65-1, neprozirnost 50%, množenje), nagiba (0-50°, neprozirnost 100%, preklapanje) i sjenčenja reljefa. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © NCALM.

## 5 | 9 Slijepa dolina Odolina u Sloveniji

Odolina u podnožju brežuljaka Brkini je najslikovitija slijepa dolina u Sloveniji. To je posebna dolina s proširenim ispranim dnom, tipičnim kraškim morfološkim oblikom koji oblikuje površinska rijeka kada dosegne krš. Ponornica Brsnica isušuje vodeni bazen površine 4.3 km<sup>2</sup> i tvori normalan fluvijalni krajolik na sedimentnom depozitu Brkini brda (slika 53). Kada dođe do vapnenca na Matarskom podolju razvija Odolinu, dolinu dugu oko kilometar i do 300 m široku, s oštrim obrisima, visokim i stjenovitim padinama, završavajući u amfiteatru. Ime je dobila po malom zaseoku s dvorcem smještenim na njegovom sjevernom dijelu. Blizu kontakta sedimentnog depozita i vapnenca dolina je duboka 150 m, a na južnom kraju je urezana oko 60 m u krašku ravnicu. Dno doline pokriveno je sedimentima, šljunkom i pijeskom, sa urezanim mladim aluvijalnim ponorima i vrtačama do dubine od 25 m i koritom potoka. Tokom normalnog

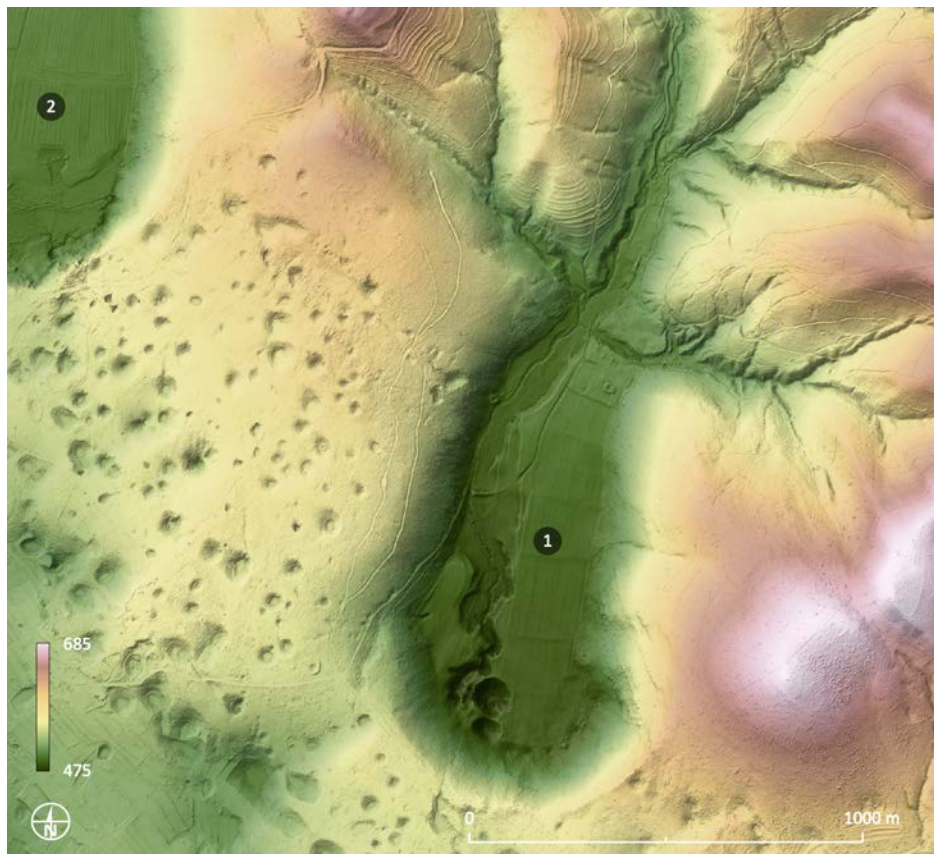
nivoa vode potok ponire odmah nakon dostizanja vapnenca, a tokom višeg nivoa voda teče jedan kilometar dalje u 117 m duboku ponorsku špilju koja se sastoji od rupa i kratkih kanala (slika 54) (Mihevc 1994: 102–103).

Tabela 25: Parametri lidarskog skeniranja slijepe doline Odolina (Slovenija).

	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter
datum	februar 2014. godine, tačan datum je nepoznat
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	9.8
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	1



Slika 52: Slijepe dolina Brezovica. Pogled prema sjeveru. U prvom planu fotografije vidi se potok Ločica koji je formirao dolinu i koji ponire ispod zemlje. Fotografisao Žiga Kokalj.



Slika 53: Slijepe doline Odolina (1) i Brezovica (2). Kontaktna granična linija između sedimentnog depozita i vapnenca prolazi od sjevero-zapada do jugo-istoka i jasno je prepoznatljiva. Potoci formiraju normalan fluvijalni reljef na sedimentnim depozitima i oblikuju isprane proširene doline na vapncu prije poniranja. Jednostavno je prepoznati i doline, vrtače i druge tipične kraške osobine. Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija.



Slika 54: Pogled izbliza na kraj slijepe doline Odoline. Na takvom mjestu i bez prethodnog poznavanja područja vjerovatno bi se očekivao izvor potoka. Ambis gdje Brsnica nestaje pod zemljom pri visokom vodostaju, noseći tone sedimenata i drva, označen je strelicom. Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija.

## 5|10 Visoke zgrade u New Yorku, SAD

New York City se sastoji od pet četvrti koje se nalaze na mjestu gdje se rijeka Hudson sastaje s Atlantskim okeanom: Bronx, Brooklyn, Manhattan, Queens i Staten Island. Kada ljudi misle o New Yorku, ostrvo Manhattan često je prvo mjesto koje sebi predstavljaju. To je gusto naseljena četvrt koja je među najvećim svjetskim trgovačkim, finansijskim i kulturnim centrima. Manhattan je dom velikim atrakcijama, muzejima svjetskog nivoa, restoranima i koncertnim dvoranama. Njegove znamenitosti su mnogobrojni neboderi, kao što su Empire State Building, zgrada Chryslera, zgrada Woolworth, Rockefeller centar i One World Trade Center.

Urbanistički planeri koriste podatke lidara za upit o resursima i okolišu i za integraciju nove gradnje na slobodnom zemljištu s postojećim stanovništvom, strukturom i infrastrukturom. Veličanstvene visine zgrada obično se

gube u 2D prikazima i na kartama, jer je iste teško reprodukovati analitičkim sjenčenjem reljefa i bojama (slika 56). Kao alternativa koristi se umjetnički pristup prenošenja dubine s bačenom sjenom (slika 57). Model osvijetljenog neba lijepo prikazuje linije zgrada i pruža prekrasnu pozadinsku sliku. Što je manji lokalno ometeni dio prizora (tj. što manje obližnjih objekata baca sjenu), svjetliji je prikaz. Dodana sjena iz smjera jugoistoka simulira sjene koje je bacilo jutarnje Sunce na sjevernoj hemisferi. Visinski ugao imaginarnog Sunca mora biti usklađen s visinom i gustoćom struktura, kao i sa prevladavajućom topografijom. Model osvijetljenja neba s bačenom sjenom može se kombinovati sa sjenčenjem reljefa ili nekom drugom tehnikom vizuelizacije za potrebe dodavanja detalja, a model visina za dodavanje boje.

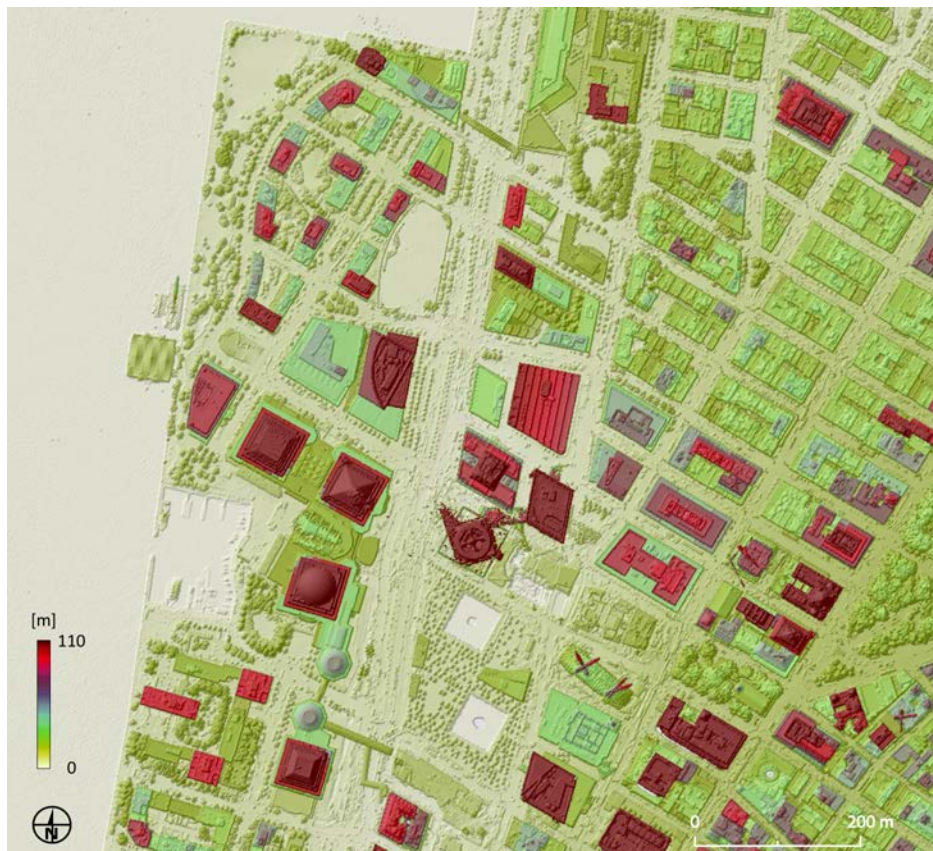
Tabela 26: Parametri lidarskog skeniranja Manhattana (New York, SAD).

	vrijednost parametra
tip skenera	Leica ALS70
platforma	avion
datum	05.08. – 15.08.2013
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	6.6
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	1





Slika 55: Brooklynski most preko Istočne rijeke (engl. *East River*) s neboderima na Donjem Manhattanu u pozadini. Fotografisao Žiga Kokalj.



Slika 56: Kombinacija kolor kodiranih visina i nezasićenog sjenčenog reljefa. Ovo je tipičan dvodimenzionalni prikaz gradskog prizora. Dok se visine zgrada mogu odrediti u određenoj mjeri, sve vrijednosti veće od 110 m bile su odrezane kako bi se postigla bolja raspodjela boja. Iako slika prikazuje Lower Manhattan s mnogim zgradama čije visine prelaze 50 m, veličanstvenost visina zgrada nije očigledna. Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © USGS.



Slika 57: Ova je slika manje raznobojna od slike 56, no sjene daju raskošniji osjećaj visokih zgrada. Kombinacija modela osvjetljenog neba (engl. *Sky Illumination Model*) (udaljenost modela sjena od 100 m) i bačene sjene (visina Sunca od 35° i azimut od 135 °). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © USGS.

## 5|11 Margum/Morava i Kulič, Srbija

*Vujadin Ivanišević i Ivan Bugarski;  
Arheološki institut, Beograd, Srbija*

Na mjestu latenskog naselja u zoni ušća Velike Morave, na strateškom položaju naspram uske zone suhe zemlje na močvarnoj lijevoj obali Dunava, od 1. vijeka nove ere razvijao se rimski grad Margum. Prema historijskim izvorima, grad Margum najpoznatiji je bio kao meta osvajača u doba kasne antike. Na prostoru antičkog grada razvila se srednjevjekovna naseobina, episkopsko središte Morava. Najpoznatiji fortifikacioni objekat u širem području današnjeg sela Dubravice je tvrđava Kulič sa kraja 15. vijeka.

Zbog svog položaja, grad je trpio ogromnu štetu od pomjeranja korita dviju velikih rijeka i vegetacije koja je izrasla na vlažnom tlu, pa je nalazište i danas gotovo potpuno neuočljivo. Arheološka istraživanja, koja su se izvodila u nekoliko navrata između 1909. i 2011. godine, nisu omogućila dobivanje precizne topografske i stratigrafske slike, pa se uz posljednja iskopavanja u širokom iskopu (Bikić i

dr. 2012) pristupilo i geomagnetskoj prospekciji (Rummel i dr. 2012) i zračnom laserskom skeniranju šire zone lokaliteta, što je bila i prva primjena ove tehnologije u srbijanskoj arheologiji (Ivanišević i Bugarski 2012). Površina snimanja iznosila je 12 km<sup>2</sup>. Precizno je ubiciran očuvani areal nalazišta, koji se prostire na 7 do 8 ha, pri čemu se dobro očuvani ostaci nalaze na apsolutnim visinama iznad 72 m. Ustanovljen je istočni bedem rimske utvrde, na osnovu čega je utvrđeno da veliki kanal koji presjeca nalazište predstavlja rov srednjevjekovnog naselja. Preciznija slika o antičkim zdanjima, koja leže pod dubokim srednjevjekovnim slojevima, sagledana je putem geomagnetske prospekcije i iskopavanja.

Kulič, utvrđenje poligonalnog oblika dužine 60-70 m sa isturenim kulama na uglovima i bedemima debljine 2.5-3 m, bilo je sagrađeno radi zaštite samog ušća Morave u Dunav na prethodno nasutom terenu, koji se u digitalnom modelu terena (DTM) vidi kao ostrvo nad poplavljenom okolinom. Tako se prvi puta uočavaju ostaci naselja južno od utvrde, opasanog manjim rovom, kojeg pominju historijski izvori ali ne i prethodni istraživači ovog kraja.

**Tabela 27: Parametri lidarskog skeniranja Marguma/Morave i Kuliča (Srbija).**

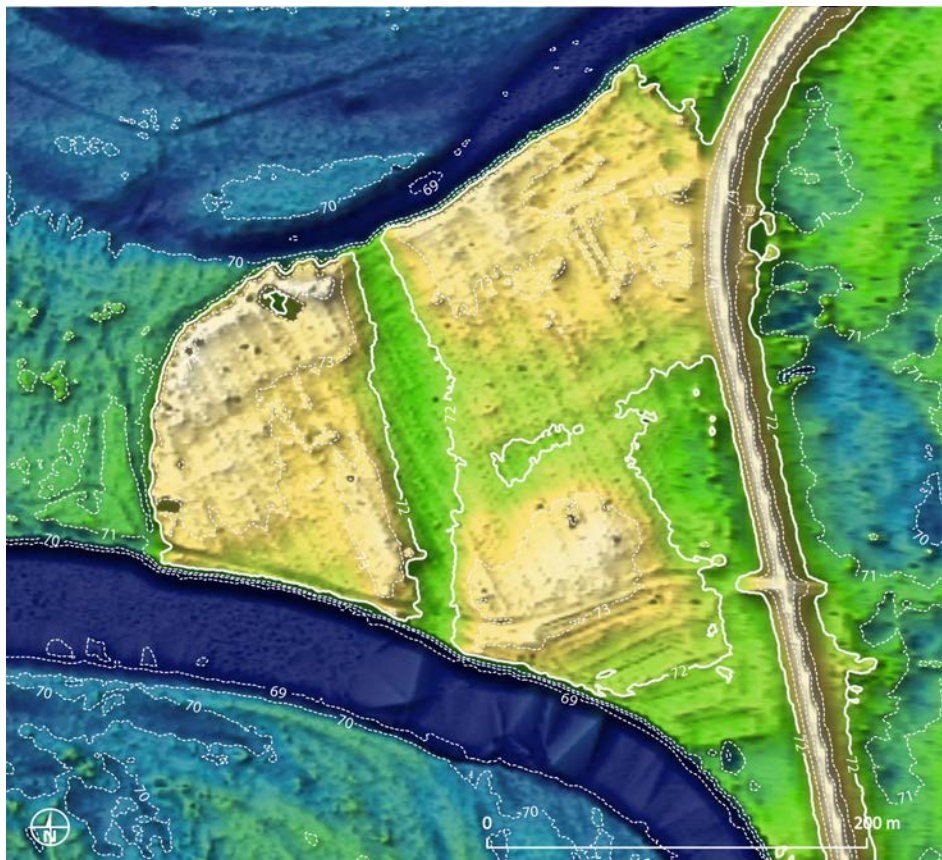
	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q560
platforma	helikopter
datum	29.11.2011
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	20.4
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	1



Slika 58: Tvrđava Kulić uglavnom je opkoljena vodom i prešice je dostupna jedino pri niskom vodostaju. Fotografisao Darko Veselinović.



Slika 59: Ušće Velike Morave u Dunav i njeni nekadašnji rukavci (plave boje). Na najvišim lokalnim dijelovima kopna sačuvani su ostaci tvrđave i naselja Kulič (1), te antičkoga grada Marguma i srednjevjekovne naseobine Morava (2). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © Arheološki institut, Beograd, Srbija.



Slika 60: Područje antičkoga grada Marguma i srednjevjekovne naseobine Morava najbolje je očuvano iznad apsolutne visine od 72 m (puna bijela linija). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © Arheološki institut, Beograd, Srbija.

## 5|12 Rimaska centurijacija na području Vrsara, Hrvatska

*Robert Matijašić i Katarina Gerometta, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli*

Lidarskim i aerofotogrametrijskim premjerom šireg područja Općine Vrsar, na zapadnoj obali Istre, otkriveno je postojanje brojnih arheoloških struktura koje prethodno nisu bile vidljive zbog guste sredozemne vegetacije. Jedna takva značajka otkrivena je u istočnom dijelu općine, te predstavlja ranije nepoznate tragove rimske centurijacijske mreže. Centurijacija ili limitacija je antička tehnika katastarskog premjera poljoprivrednog zemljišta na pravilne pravougaone ili kvadratne parcele, radi podjele zemlje kolonistima pri osnivanju novih naseobina (kolonija). Postojanje rimske podjele zemljišta odavno je bilo poznato u Istri, ali je njeno prepoznavanje i rekonstrukcija na području općine Vrsar, pomoću terenskog pregleda, kartografije i ortofotografije bilo ograničenog dometa zbog gustog šumskog pokrova i makije.

Analizom podataka dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka mogu se prepoznati pravilne ortogonalne linije koje se tačno poklapaju sa smjerom centurijacije porečkog agera (otklon osnovne linije sjever-jug, *cardo*, 18° od sjevera prema istoku), oblikovane dugačkim kamenim nasipima. One su najvidljivije u istočnom dijelu Općine Vrsar, na području sela Marasi, gdje linije centurijacije prelaze preko brojnih kraških vrtača. Ovdje se jasno razaznaju pravilni kvadrati sa stranicama od približno 706 m, što predstavlja modularnu veličinu jedne centurije. Unutar njih vidljive su brojne kamene gomile približnog prečnika 10 m, najčešće raspoređene u pravilnim razmacima u nizovima paralelnim s linijama centurijacije, iako neke od njih nisu u takvom pravilnom rasteru. Razdaljina od središta jedne kamene gomile do središta druge iznosi približno 35 m, što predstavlja dužinu od 120 rimskih stopa, (jedan *actus*). Zajedno s linearnim kamenim nasipima, humke (kamene gomile) koje najvjerojatnije također pripadaju rimskom razdoblju, rezultat su čišćenja obradive površine od kamenja kojim istarski kraški krajolik obiluje.

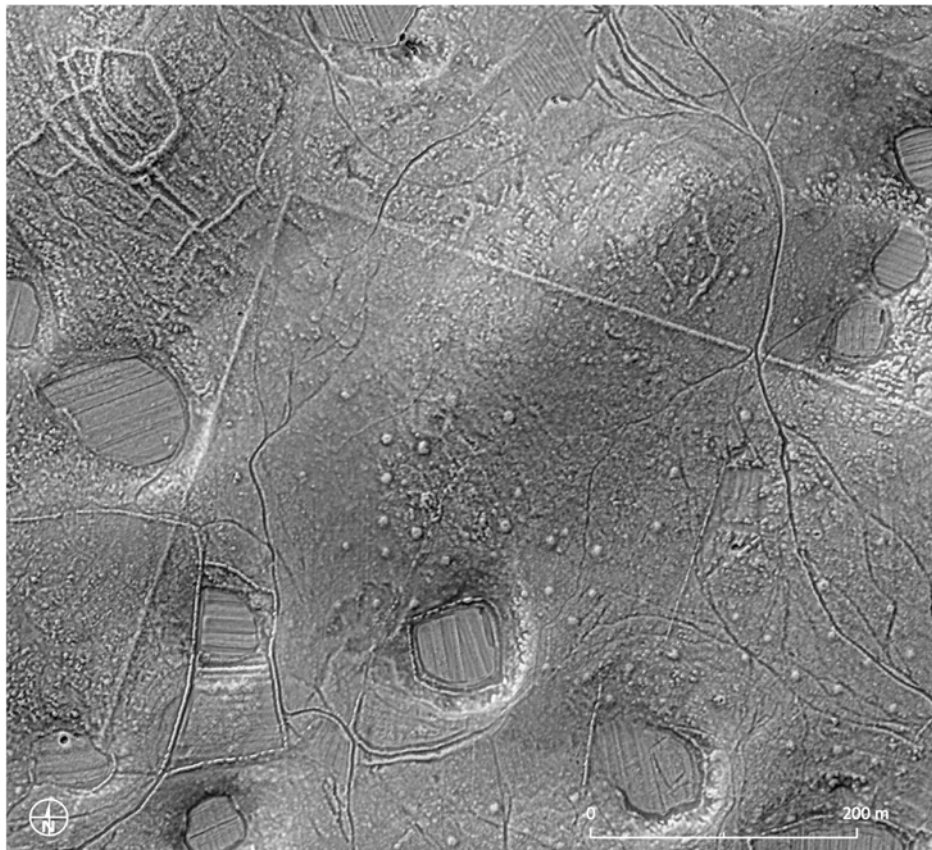
**Tabela 28: Parametri lidarskog skeniranja Općine Vrsar (Hrvatska).**

	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter
datum	20.2.2017
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	24.0
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5

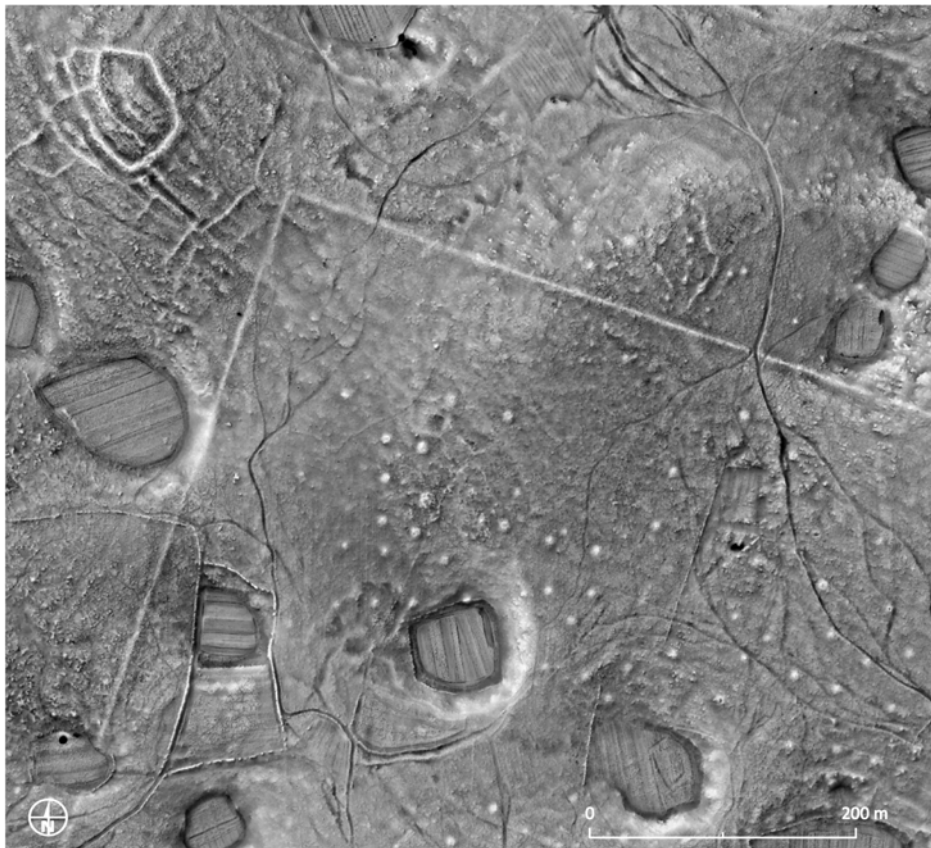




Slika 61 - Linije kamenih nasipa rimske centurijacije na terenu su teško uočljive.  
Fotografisala Katarina Gerometka.



Slika 62: Linije kamenih nasipa rimske centurijacije (bijeke široke ortogonalne linije), kamene gomile (bijeli krugovi), kasniji kameni zidovi (bijeke bolje definisane linije), staze (crne linije) i nepotvrđeno gradinsko naselje (bijeke linije u sjeverozapadnom uglu slike) vidljivi su na ovoj kombinaciji filtriranja Laplacian-of-Gaussian (-0.01-0.01, neprozirnost 50%) i sjenčenja reljefa (tri puta vertikalno uvećanje). Zbog naglašavanja rubova (bijeliji dijelovi slike) neki dijelovi staza izgledaju kao da imaju nasipe.



Slika 63: Isto područje kao i na slici 62, ali prikazano kombinacijom lokalne dominantnosti (0.5–1.8, neprozirnost 20%, preklapanje), lokalne dominantnosti (ponovno), (0.5–1.8, neprozirnost 60%, osvjetljenost) i neizotropnog dijela vidljivog neba (0.8–1) na kojoj se bolje vidi šta je udubljeno a šta strši iz ravni. Različitim “mekoćom” linija može se zaključivati o njihovoj različitoj izloženosti i posredno starosti. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m  
 © Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Hrvatska.

## 5|13 Monte Castellier, Hrvatska

*Damir Matošević, Muzej grada Rovinja; Gašper Rutar, Center za preventivnu arheologiju u Ljubljani; Matija Črešnar, Sveučilište u Ljubljani; Maja Čuka, Arheološki muzej Istre*

Na području Rovinjštine nalazi se izuzetno veliki broj arheoloških lokaliteta, koji potvrđuju čovjekovu prisutnost u ovom kraju još od predhistorijskih vremena. Lidarskim snimanjem dijela Rovinjštine oko gradine Monkodonja i nekropole pod tumulima na Mušegu dobivena je kvalitetnija i preciznija slika konfiguracije navedenog područja, iako je većim dijelom prekriven neprohodnom makijom. Ubicirano je mnoštvo novih potencijalnih nalazišta, a za već poznata gradinska naselja stvorena je potpunija slika o njihovoj veličini, organizaciji i konturama suhozidnih struktura. Navedeno snimanje je obuhvatilo i područje brežuljka Monte Castelliera. Predhistorijsko gradinsko naselje nalazi se oko 6 km istočno od Rovinja. Gradina je dobro sačuvana te je okružuju dva prstenasta bedema. Bedem koji okružuje naseobinski plato na najvišoj

terasi je u dobrom stanju, dok se onaj vanjski na terenu vidi samo u naznakama. Na jugoistočnoj strani naselja nalazi se dobro očuvan ulaz i predulaz. Neposredno ispod bedema na sjeverozapadnoj strani nalazi se nekoliko velikih ortostata čija je funkcija još uvijek nepoznata. Na navedenom gradinskom naselju do sada nisu obavljena arheološka istraživanja. Iako je lokalitet u više navrata posjećen i dokumentiran bilo ga je teško sagledati u cjelini, jer je gotovo u potpunosti pokriven gustom makijom. Zahvaljujući lidar dobivena je cjelovitija slika i organizacija strukture samog gradinskog naselja. Druga linija bedema, koja se zbog guste vegetacije vidjela samo djelomično, sada je u potpunosti vidljiva cijelom svojom dužinom. Na sjevernoj strani naselja, između prvog i drugog bedema, uočena je još jedna linija bedema koja se proteže od gradinskog ulaza na istoku do zapadne strane, a za koju ranije nisu postojali podaci. Analizom lidarskih podataka uočena je polukružna izbočina na drugoj liniji bedema na zapadnoj padini brda. Sve ove nove spoznaje o gradini dale su, i bez arheoloških istraživanja, potpuniju sliku o gradini, a umnogome su olakšale pripremu i odabir lokacije za buduća istraživanja koja će tek uslijediti.

**Tabela 29: Parametri lidarskog skeniranja Monte Castelliera (Hrvatska).**

	vrijednost parametra
tip skenera	Riegl LMS-Q780
platforma	helikopter
datum	5.2.2016
prosječni broj posljednjih i pojedinačnih tačaka po m <sup>2</sup> na kombinovanom skupu podataka	35.3
prostorna rezolucija konačnog modela visina [m]	0.5



Slika 64: Područje između Rovinja i Bata velikim je dijelom prekriveno gromotikom makijom, koja se sastoji od gusto obraslog zimzelenog grmlja. Prikladni parametri skeniranja za arheološku i terpretaciju u ovim uslovima testirani su u susjednom Slovenskom krašu. Fotografisao Damir Matošević.



Slika 65: Okolina gradinskog naselja Monte Castelliera prekrivena je gustom, niskom vegetacijom. Kombinacija modela visina objekata (grmlje i drveće u zelenim bojama, kuće u crvenoj boji, neprozirnost 50%) i sjenčenja modela površine. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Arheološki muzej Istre, Hrvatska.



Slika 66: Niske zidine gradinskog naselja Monte Castelliera dobro su vidljive u kombinaciji lokalnog modela reljefa (-0.5-0.5, neprozirnost 70%, preklapanje), nagiba (0-30°, neprozirnost 35%, množenje) i sjenčenja reljefa. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Arheološki muzej Istre, Hrvatska.

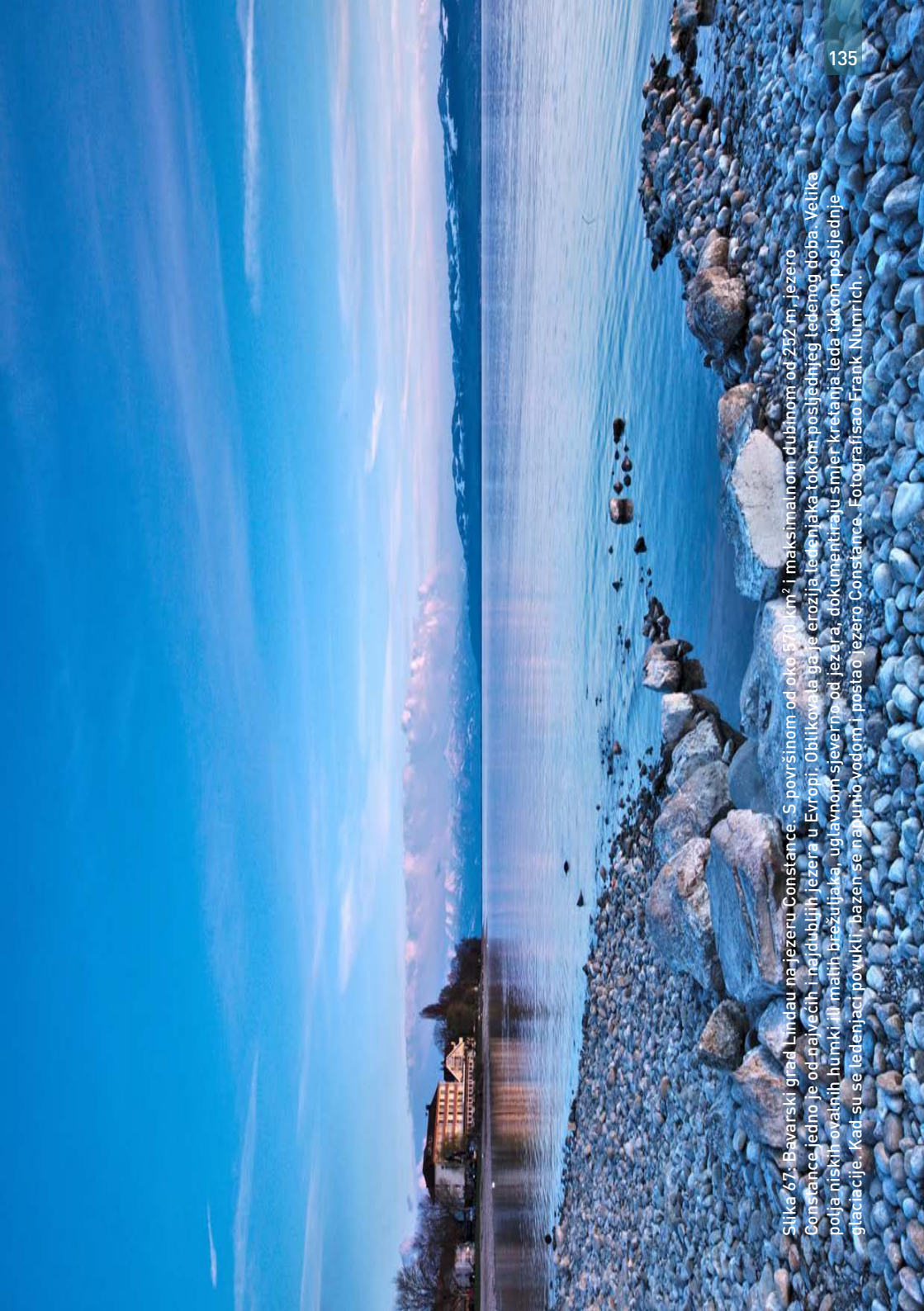
## 5|14 Morfologija dna jezera Constance, Njemačka, Švicarska, i Austrija

Zbog sve većih uticaja erozije i brige u vezi sa očuvanjem okoline, veliki broj naselja na obali jezera, koja datiraju od razdoblja neolitika do bronzanog doba, predmet su arheoloških istraživanja. Mnoga od tih naselja na jezeru Constance upisana su u multinacionalnu UNESCO-vu svjetsku kulturnu baštinu pod nazivom "prehistorijska naselja oko Alpa".

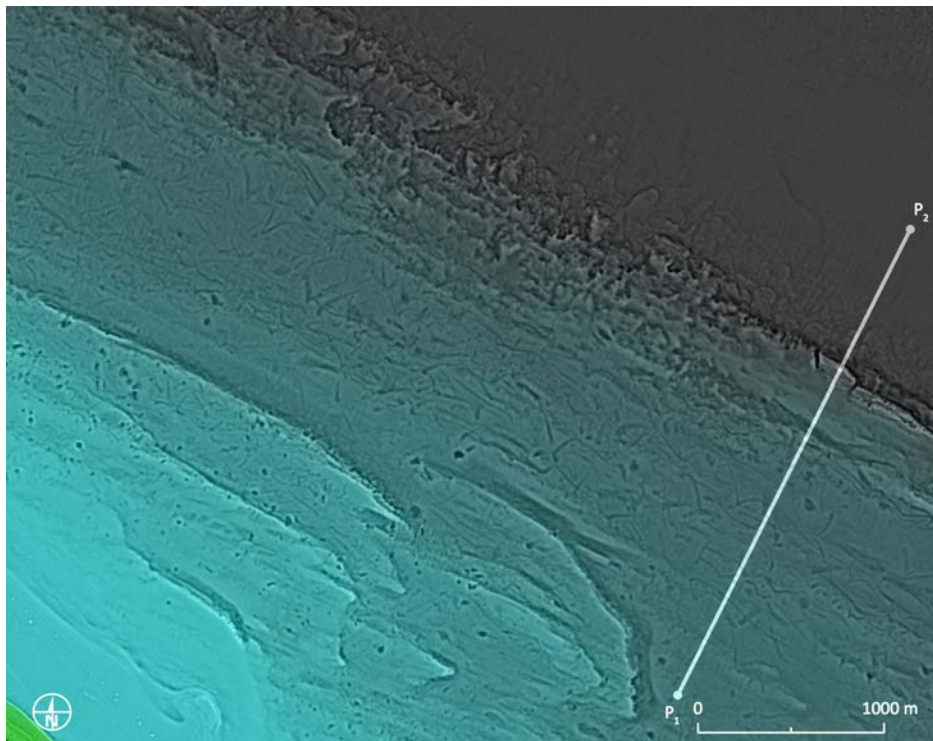
U godinama 2013. i 2014. topografija dna jezera izmjerena je korištenjem batimetrijskog lidara za plitke bliske dijelove obale i sonarima postraničnog skeniranja (engl. *side-scan sonar*) za dublje dijelove jezera. Rezultujući digitalni model s rezolucijom od 3 m slobodno je dostupan pod Creative Commons Attribution 3.0 Unported license (IGKB - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee 2015) i dokumentuje morfologiju dna jezera sa izuzetnom detaljnošću. Dok se batimetrijski modeli obično predstavljaju kao dubinske izohipse i/ili kodiranjem boja, trenutno dostupni podaci visoke rezolucije omogućavaju primjenu naprednih tehnika vizuelizacije. To otvara nove perspektive za analize podvodne geomorfologije u pogledu npr. erozije pospješene valovima ili masovnim pokretima.

Neočekivani detalji koji sada postaju vidljivi su brojne parnice ledenjaka na dnu (Sacchetti i dr. 2012) koje su najistaknutije na 1.5 km širokom, gotovo horizontalnom (oko 1° nagiba) dnu na južnoj polovini jezera. Isto je na dubini od 110 do 130 m ispod današnje površine jezera. Zbog geoloških ograničenja na oticanju jezera, nivo jezerske vode tokom kasnog ledenog doba mogao je biti nešto viši. To podrazumijeva da su se veliki ledenjaci debljine veće od 110 m odvojili od Rajnskog glečera koji se povlačio i dok je još uvijek zauzimao istočni dio današnjeg korita jezera.

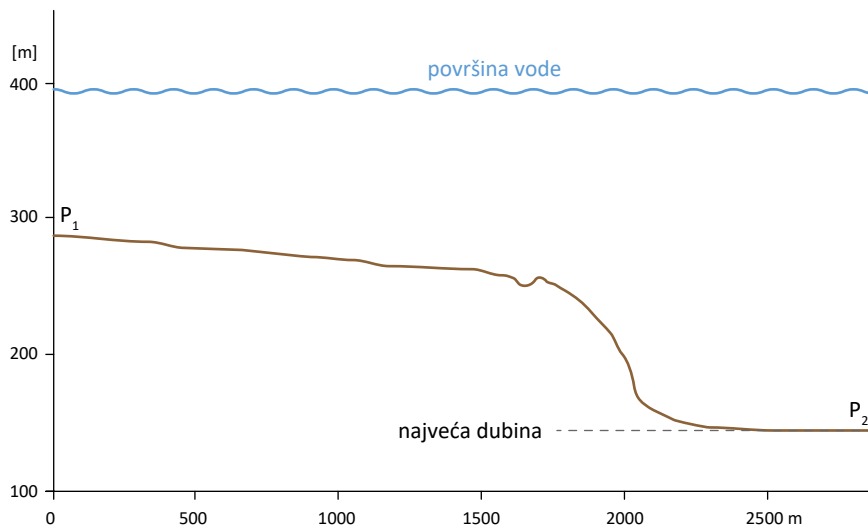




Slika 67: Bavarski grad Lindau na jezeru Constance. S površinom od oko 570 km<sup>2</sup> i maksimalnom dubinom od 282 m, jezero Constance jedno je od najvećih i najdubljih jezera u Evropi. Oblikovala ga je erozija ledenjaka tokom posljednjeg ledenog doba. Velika polja niskih ovalnih humki ili malih brčuzijaka, uglavnom sjeverno od jezera, dokumentiraju smjer kretanja leda tokom posljednje glaciacije. Kad su se ledenjaci povukli, bazen se nalunio vodom i postao jezero. Constance. Fotografisao Frank Numrich.



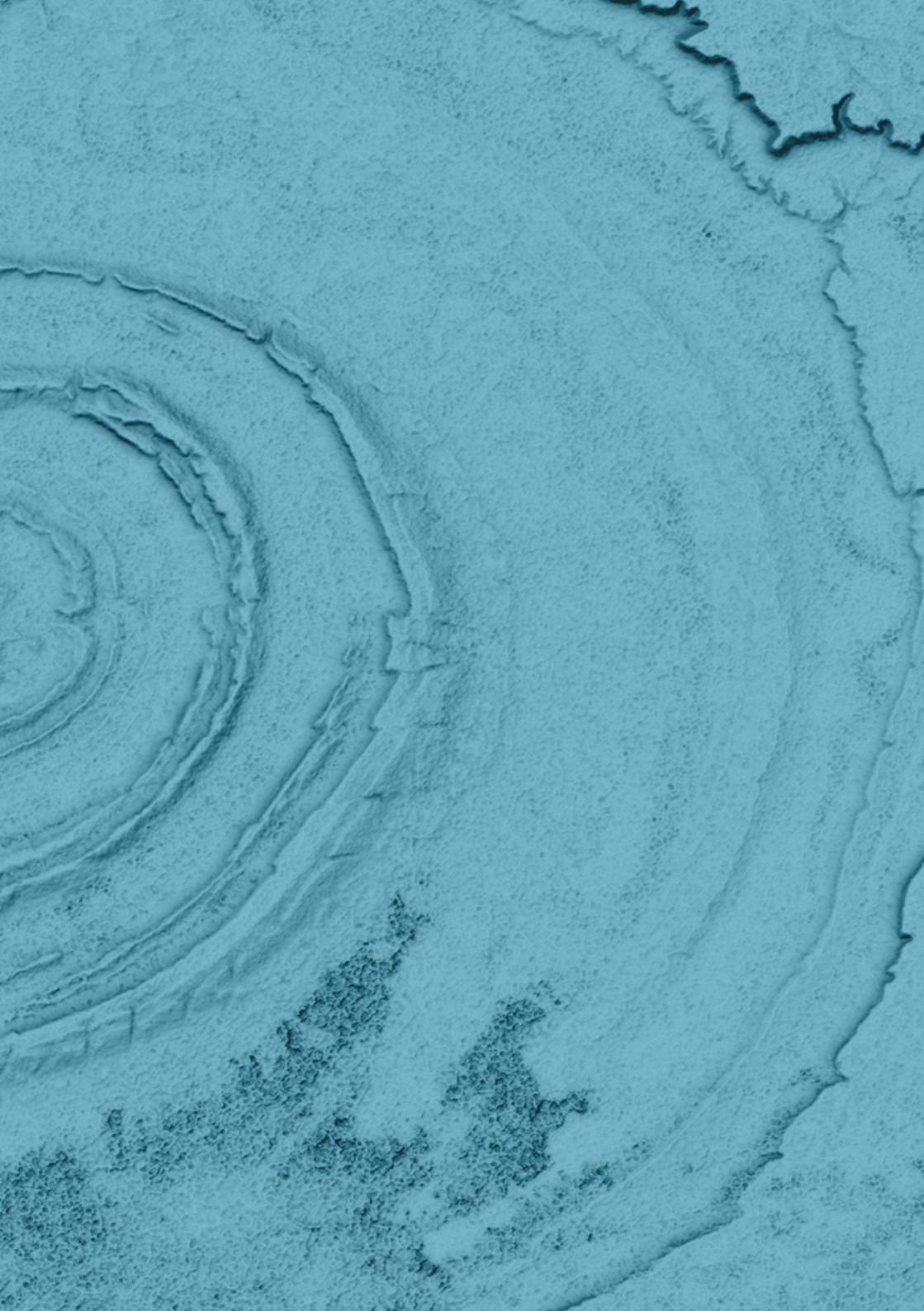
Slika 68: Parnice ledenjaka na dnu (krivulje) i depoziti masovnog kretanja (latičaste karakteristike u podnožju strmih padina) na jezeru Constance. Vizuelizacija: Laplacian-of-Gaussian preklapljen sa kolor kodiranom batimetrijom. Prostorna rezolucija batimetrijskog modela od 2 m © IGKB [2015].



Slika 69: Batimetrijski profil (P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>) iz podataka prikazanih na slici 68 otkriva ravnu podvodnu površinu na kojoj se pojavljuje većina oznaka kretanja ledenjaka. Prostorna rezolucija batimetrijskog modela od 2 m © IGKB (2015).



Rječnik



- ALS** Lasersko skeniranje iz zraka je tehnika mjerenja koja koristi lidarski skener na platformi u zraku, npr. helikopteru, letjelici sa fiksnim krilima, ili bespilotnom zračnom sistemu.
- azimut** Azimut je uglovna mjera u sfernom koordinatnom sistemu. Vektor od posmatrača (izvora) do tačke od interesa projicira se okomito na referentnu ravan. Ugao između projiciranog vektora i referentnog vektora na referentnoj ravni je azimut. Referentna ravan za azimut obično je pravi sjever (engl. *true north*), izmjeren kao azimut  $0^\circ$ . Kretanjem u smjeru kazaljke na satu za  $360$  stepeni kruga, istočno imamo azimut  $90^\circ$ , južno  $180^\circ$  i zapadno  $270^\circ$ .
- DEM** Digitalni model visina je podskup digitalnog modela terena i njegova najosnovnija komponenta. Obično se odnosi na podatke o visini koji su organizovani u obliku matrice. Obično predstavlja visinu "ogoljene zemlje".
- DSM** Digitalni model površine sadrži visine prirodnih osobina terena, uključujući objekte na njemu, tj. vegetaciju i druga obilježja kao što su zgrade, mostovi i strujni vodovi.
- DTM** Digitalni model terena je poredani skup uzoraka podataka tačaka koji predstavljaju prostornu raspodjelu raznih vrsta informacija o terenu (topografskih i netopografskih), npr. visina, nagiba, vrsta nagiba, rijeka, linija grebena, lomnih linija, itd. Obično predstavlja visinu "ogoljene zemlje", tj. oblik terena bez ikakvih objekata na njemu.
- fovea** Malo, središnje udubljenje u mrežnici oka odgovorno za oštar vid, što je potrebno ljudima za aktivnosti u kojima su vizuelni detalji od primarne važnosti.
- GIS** Geografski informacioni sistem je sistem namijenjen za preuzimanje, pohranu, manipulaciju, analizu, upravljanje i prikazivanje prostornih ili geografskih podataka.
- histogram** Histogram je grafički prikaz raspodjele numeričkih podataka. Stoga predstavlja učestalost visina vertikalnim pravougaonicima, sa širinama jednakim intervalu klase (npr. jedan metar) i visinama jednakim učestalostima visina u tom intervalu.

<b>LiVT</b>	Lidar Visualisation Toolbox je softver za računanje vizuelizacija iz rasterskih visinskih modela.
<b>LoG</b>	Laplacian-of-Gaussian je filtrirani pristup koji kombinuje Gaussov filter za izravnavanje s Laplasovim rubnim poboljšavajućim filterom.
<b>LRM</b>	Local Relief Model rezultat je postupka koji odvaja lokalne sitno razmjerne osobine od krupno razmjernih pejzažnih oblika.
<b>nDSM</b>	Normalizovani digitalni model površine predstavlja visine objekata (osobina) u odnosu na tlo.
<b>PCA</b>	Principal Component Analysis je matematički postupak koji pretvara skup opažanja moguće koreliranih varijabli u skup vrijednosti linearno nekoreliranih varijabli.
<b>px</b>	Piksel ili slikovni element fizikalna je tačka u rasterskom snimku. Pikseli su obično raspoređeni u pravilnoj dvodimenzionalnoj mreži, a obično su, ali ne nužno, kvadrati. Svaki je piksel uzorak izvornog snimka. Više uzoraka obično daje tačnije prikaze originala - snimak ima veću rezoluciju. U geografskom prostoru piksel nosi prostorne informacije. On definiše prostornu rezoluciju snimka.
<b>rastezanje histograma</b>	Rastezanje histograma je metoda pri obradi snimka kod koje se obavlja prilagodba kontrasta korištenjem histograma snimka.
<b>RGB</b>	Aditivni crveni, zeleni i plavi model boja, gdje se crveno, zeleno i plavo svjetlo dodaju zajedno na različite načine kako bi se reprodukovao široki spektar boja.
<b>RVT</b>	Relief Visualization Toolbox je softver za računanje vizuelizacije iz rasterskih modela visina.
<b>SAR</b>	Synthetic Aperture Radar je mikrotalasna radarska tehnologija daljinskih istraživanja koja omogućava kreiranje DSM-ova.
<b>SfM</b>	Structure-from-Motion. Višeslikovni digitalni fotogrametrijski pristup za stvaranje trodimenzionalnih modela.

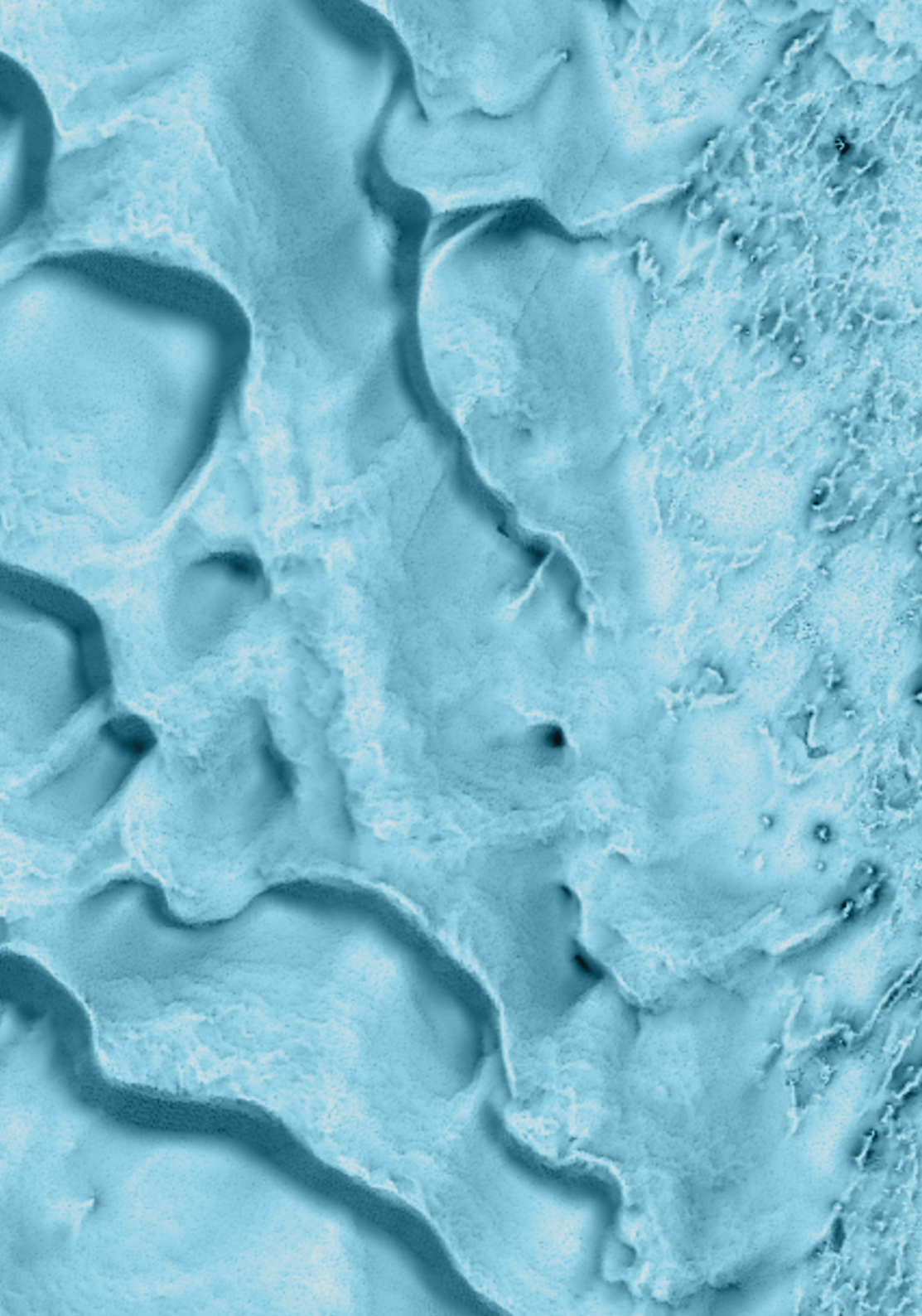
<b>SVF</b>	Sky-View Factor je geofizikalni parametar koji predstavlja dio neba vidljiv iz određene tačke.
<b>šum</b>	Šum kod digitalnog modela visine poništava interpretabilnost podataka. Do šuma može doći zbog grešaka mjerenja ili grešaka u obradi, a obično se objašnjava kao nepravilnost u podacima.
<b>tablete klinastog pisma</b>	Glinene ploče s klinastim oznakama koje predstavljaju jedan od najranijih sistema pisanja, a koji su izmislili Sumeri.
<b>TIN</b>	Triangulaciona nepravilna mreža (engl. <i>Triangulated Irregular Network</i> ) je digitalna struktura podataka koja se koristi u geografskom informacionom sistemu (GIS) za prikaz površine. TIN model predstavlja površinu kao skup neprekidnih, nepreklapajućih trouglova. Unutar svakog trougla površina je predstavljena sa ravni. Trouglovi su kreirani od skupa tačaka nazvanih masovne tačke.
<b>vidljivost (engl. <i>viewshed</i>)</b>	Geografsko područje koje se vidi s lokacije. Uključuje sve okolne tačke koje su u vidnom polju s tom lokacijom i isključuje tačke koje su izvan horizonta ili ometene terenom i drugim osobinama (npr. zgrade, stabla).
<b>visinski ugao</b>	Ugao izvora svjetlosti iznad horizonta. Visinski ugao (također visina) izražava se u pozitivnim stepenima, s 0° na horizontu i 90° ravno iznad glave.
<b>zasićenost histograma</b>	Metoda pri obradi snimka. Njome se rade podešavanja kontrasta korištenjem histograma snimka gdje su niske i/ili visoke vrijednosti odrezane (uklonjene). Detalji ispod donje rezane vrijednosti i iznad više vrijednosti rezanja ne mogu se vidjeti, međutim ostatak vrijednosti dobiva veći kontrast.







**Bibliografija i popisi  
slika i tabela**



- Adams, D. 1982. *Life, the Universe and Everything*. London: Pan Books.
- ArcMap. 2012 (version 10.1). Redlands (CA): Esri Inc.
- Batson, R. M., E. Edwards i E. M. Eliason. 1975. Computer Generated Shaded Relief Images. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 3 (4): 401–408.
- Bikić, V., P. Špehar, I. Bugarski i T. Branković. 2012. Arheološka istraživanja Marguma/ Morave u 2011. godini. U *Arheologija u Srbiji: Projekti Arheološkog instituta u 2011. godini*, uredili V. Bikić, S. Golubović i D. Antonović, 100–103. Beograd: Arheološki institut.
- Blinn, J. F. 1977. Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures. *SIGGRAPH Computer Graphics* 11 (2): 192–198.
- Boeree, G. 2009. General Psychology: Perception and Interaction. <http://webpace.ship.edu/cgboer/genpsyperception.html>.
- Cashman, K. V., S. A. Soule, B. H. Mackey, N. I. Deligne, N. D. Deardorff i H. R. Dietterich. 2013. How Lava Flows: New Insights from Applications of Lidar Technologies to Lava Flow Studies. *Geosphere* 9 (6): 1664–1680.
- Challis, K. 2006. Airborne Laser Altimetry in Alluviated Landscapes. *Archaeological Prospection* 13 (2): 103–127.
- Challis, K., P. Forlin i M. Kincey. 2011. A Generic Toolkit for the Visualization of Archaeological Features on Airborne Lidar Elevation Data. *Archaeological Prospection* 18 (4): 279–289.
- Challis, K., Ž. Kokalj, M. Kincey, D. Moscrop i A. J. Howard. 2008. Airborne Lidar and Historic Environment Records. *Antiquity* 82 (318): 1055–1064.
- Chiverrell, R. C., G. S. P. Thomas i G. C. Foster. 2008. Sediment–landform Assemblages and Digital Elevation Data: Testing an Improved Methodology for the Assessment of Sand and Gravel Aggregate Resources in North-Western Britain. *Engineering Geology* 99 (1–2): 40–50.
- Conrad, O., B. Bechtel, M. Bock, H. Dietrich, E. Fischer, L. Gerlitz, J. Wehberg, V. Wichmann i J. Böhner. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development* 8 (7): 1991–2007.
- Conway, S. J., A. Decaulne, M. R. Balme, J. B. Murray i M. C. Towner. 2010. A New Approach to Estimating Hazard Posed by Debris Flows in the Westfjords of Iceland. *Geomorphology* 114 (4): 556–572.

- Crutchley, S. 2009a. Using LiDAR in Archaeological Contexts: The English Heritage Experience and Lessons Learned. U *Laser Scanning for the Environmental Sciences*, uredili G. Heritage and A. Large, 180–200. Chichester: Wiley-Blackwell.
- . 2009b. Ancient and Modern: Combining Different Remote Sensing Techniques to Interpret Historic Landscapes. *ICT and Remote Sensing for Cultural Resource Management and Documentation* 10, Supplement 1: e65–e71.
- Devereux, B. J., G. S. Amable i P. Crow. 2008. Visualisation of LiDAR Terrain Models for Archaeological Feature Detection. *Antiquity* 82 (316): 470–479.
- Devereux, B. J., G. S. Amable, P. Crow i A. D. Cliff. 2005. The Potential of Airborne Lidar for Detection of Archaeological Features under Woodland Canopies. *Antiquity* 79 (305): 648–660.
- Dietterich, H. R., S. A. Soule, K. V. Cashman i B. H. Mackey. 2015. Lava Flows in 3D. U *Hawaiian Volcanoes: From Source to Surface*, uredili E. Carey, V. Cayol, M. Poland i D. Weis, 483–505. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Doneus, M. 2013. Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne LiDAR Derived Digital Terrain Models. *Remote Sensing* 5: 6427–6442.
- Edgeworth, M. 2011. *Fluid Pasts: Archaeology of Flow*. London: Bristol Classical Press.
- Fernandez-Diaz, J. C., W. E. Carter, R. L. Shrestha i C. L. Glennie. 2014. Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica. *Remote Sensing* 6 (10): 9951–10001.
- Forestry Commission Scotland. 2012. Archaeological Measured Survey on Scotland's National Forest Estate. Inverness: Forestry Commission Scotland. <http://scotland.forestry.gov.uk/supporting/strategy-policy-guidance/historic-environment>.
- Fornaciai, A., M. Bisson, P. Landi, F. Mazzarini i M. T. Pareschi. 2010. A LiDAR Survey of Stromboli Volcano (Italy): Digital Elevation Model-Based Geomorphology and Intensity Analysis. *International Journal of Remote Sensing* 31 (12): 3177–3194.
- French, J. R. 2003. Airborne LiDAR in Support of Geomorphological and Hydraulic Modelling. *Earth Surface Processes and Landforms* 28 (3): 321–335.
- GDAL Development Team. 2014. *GDAL - Geospatial Data Abstraction Library*. Windows (version 1.11.0). Open Source Geospatial Foundation.

- George, M. R., R. E. Larsen, N. K. McDougald, K. W. Tate, J. Gerlach John D. i K. O. Fulgham. 2004. Cattle Grazing Has Varying Impacts on Stream-Channel Erosion in Oak Woodlands. *California Agriculture* 58 (3). <http://www.escholarship.org/uc/item/72s9c4v2>.
- Gulič, A. i M. Črešnar, ed. 2012. *Arheološka pot po Mariboru z okolico. Odsek I: Zgornje Radvanje – Spodnje Hoče. Vodnik po najdiščih / Archaeological Trail of Maribor and its Surroundings. Section I: Zgornje Radvanje – Spodnje Hoče. Guide to Sites*. Ljubljana, Maribor: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije; Društvo mladih raziskovalcev MRM Maribor.
- Haddad, D. E. i J. R. Arrowsmith. 2011. Geologic and Geomorphic Characterization of Precariously Balanced Rocks. Contributet report CR-11-B. Tucson: Arizona Geological Survey.
- Heidemann, H. K. 2014. Lidar Base Specification. U *Book 11, Collection and Delineation of Spatial Data, Chap. B4*, ver. 1.2, 67. U.S. Geological Survey Techniques and Methods. <http://dx.doi.org/10.3133/tm11B4>.
- Hesse, R. 2010. LiDAR-Derived Local Relief Models - a New Tool for Archaeological Prospection. *Archaeological Prospection* 17 (2): 67–72.
- . 2016. Visualisierung Hochauflösender Digitaler Geländemodelle Mit LiVT. U *Computeranwendungen Und Quantitative Methoden in Der Archäologie*. 4. Workshop Der AG CAA 2013, uredili U. Lieberwirth i I. Herzog, Edition Topoi, 109–128. Berlin Studies of the Ancient World. Berlin: Topoi.
- Hobbs, K. F. 1995. The Rendering of Relief Images from Digital Contour Data. *The Cartographic Journal* 32 (2): 111–116.
- . 1999. An Investigation of RGB Multi-Band Shading for Relief Visualisation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 1 (3–4): 181–186.
- Horn, B. K. P. 1981. Hill Shading and the Reflectance Map. *Proceedings of the IEEE* 69 (1): 14–47.
- IGKB - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. 2015. IGKB-Tiefenschärfe-Bodensee Digitale Geländemodelle Mit 10 m Und 3 m Auflösung. doi: 10.1594/PANGAEA.855987 <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.855987>.
- Imhof, E. 1982. *Cartographic Relief Presentation*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

- Ivanišević, V. i I. Bugarški. 2012. Primena LiDAR tehnologije u analizi topografije Marguma/Morave i Kuliča. *Starinar* (62): 239–255.
- Kershaw, A. 2003. Hadrian's Wall National Mapping Programme - a World Heritage Site from the Air. *Archaeological Prospection* 10 (2): 159–161.
- Kokalj, Ž., K. Zakšek i K. Oštir. 2011. Application of Sky-View Factor for the Visualization of Historic Landscape Features in Lidar-Derived Relief Models. *Antiquity* 85 (327): 263–273.
- Laharnar, B. 2012. Notranjska med prazgodovino in antiko. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta.
- Lan, H., C. D. Martin, C. Zhou i C. H. Lim. 2010. Rockfall Hazard Analysis Using LiDAR and Spatial Modeling. *Geomorphology* 118 (1–2): 213–223.
- Mara, H., S. Krömker, S. Jakob i B. Breuckmann. 2010. GigaMesh and Gilgamesh: 3D Multiscale Integral Invariant Cuneiform Character Extraction. U *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, 131–138. Paris, France: Eurographics Association.
- Metternicht, G., L. Hurni i R. Gogu. 2005. Remote Sensing of Landslides: An Analysis of the Potential Contribution to Geo-Spatial Systems for Hazard Assessment in Mountainous Environments. *Remote Sensing of Environment* 98 (2–3): 284–303.
- Mihc, A. 1994. Contact Karst of Brkini Hills. *Acta Carsologica* 23: 99–109.
- Miller, G. 1994. Efficient Algorithms for Local and Global Accessibility Shading. U *Proceedings of the 21<sup>st</sup> Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 319–326. ACM.
- Minnaert, M. 1961. Photometry of the Moon. U *Planets and Satellites*, uredili G. P. Kuiper i B. M. Middlehurst, 213–248. Chicago: The University of Chicago Press.
- Mlekuž, D. 2013. Roads to Nowhere? Disentangling Meshworks of Holloways. U *Aerial Archaeology and Remote Sensing from the Baltic to the Adriatic*, uredili Z. Czajlik i A. Bódocs, 37–41. Budapest: Eötvös Loránd University.
- Mlekuž, D. i M. Črešnar. 2014. Landscape and Identity Politics of the Pošteta Hillfort. U *Studia Praehistorica in Honorem Janez Dular*, uredili S. Tecco Hvala, 197–211. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 30. Založba ZRC.

- Passalacqua, P., P. Tarolli i E. Fofoula-Georgiou. 2010. Testing Space-Scale Methodologies for Automatic Geomorphic Feature Extraction from LiDAR in a Complex Mountainous Landscape. *Water Resources Research* 46 (11): W11535.
- Planina, J. 1954. Soča (Slovenia). A Monograph of a Village and Its Surroundings (in Slovenian). *Acta Geographica* 2: 187–250.
- Reitberger, J., P. Krzystek i U. Stilla. 2008. Analysis of Full Waveform LIDAR Data for the Classification of Deciduous and Coniferous Trees. *International Journal of Remote Sensing* 29 (5): 1407–1431.
- Rummel, C., D. Peters i G. Schafferer. 2012. Report on the geomagnetic survey at margum in October 2011. *Starinar* (62): 229–238.
- Sacchetti, F., S. Benetti, C. Ó Cofaigh i A. Georgiopoulou. 2012. Geophysical Evidence of Deep-Keeled Icebergs on the Rockall Bank, Northeast Atlantic Ocean. *Geomorphology* 159–160: 63–72.
- Sankey, J. B., N. F. Glenn, M. J. Germino, A. I. N. Gironella i G. D. Thackray. 2010. Relationships of Aeolian Erosion and Deposition with LiDAR-Derived Landscape Surface Roughness Following Wildfire. *Geomorphology* 119 (1–2): 135–145.
- Sherrod, D. R., J. M. Sinton, S. E. Watkins i K. M. Brunt. 2007. Geologic Map of the State of Hawai'i. Open-File Report 2007–1089. Reston: U.S. Geological Survey. <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1089/>.
- Sittler, B. 2004. Revealing Historical Landscapes by Using Airborne Laser-Scanning - A 3D-Modell of Ridge and Furrow in Forests near Rastatt (Germany). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (8/W2): 258–261.
- Smith, M. J., J. Rose i S. Booth. 2006. Geomorphological Mapping of Glacial Landforms from Remotely Sensed Data: An Evaluation of the Principal Data Sources and an Assessment of Their Quality. *Geomorphology* 76 (1–2): 148–165.
- Wagner, W., M. Hollaus, C. Briese i V. Ducic. 2008. 3D Vegetation Mapping Using Small-footprint Full-waveform Airborne Laser Scanners. *International Journal of Remote Sensing* 29 (5): 1433–1452.



- Woolard, J. W. i J. D. Colby. 2002. Spatial Characterization, Resolution, and Volumetric Change of Coastal Dunes Using Airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *29<sup>th</sup> Binghamton Geomorphology Symposium: Coastal Geomorphology* 48 (1–3): 269–287.
- Yarbus, A. L. 1967. *Eye Movements and Vision*. Translated from the Russian edition (Moscow, 1965) by Basil Haigh. New York: Plenum Press.
- Yoëli, P. 1965. Analytische Schattierung. Ein Kartographischer Entwurf. *Kartographische Nachrichten* 15 (5): 141–148.
- Yokoyama, R., M. Shlrasawa i R. J. Pike. 2002. Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68: 251–266.
- Zakšek, K., K. Oštir i Ž. Kokalj. 2011. Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sensing* 3: 398–415.
- Zakšek, K., K. Oštir, P. Pehani, Ž. Kokalj i E. Polert. 2012. Hill Shading Based on Anisotropic Diffuse Illumination. U *Symposium GIS Ostrava 2012*, 1–10. Ostrava: Technical University of Ostrava.
- ZRC SAZU. 2010. IAPS ZRC SAZU | Institute of Anthropological and Spatial Studies ZRC SAZU. <http://iaps.zrc-sazu.si/en/svf> 2010.



## Popis slika

- Slika 1: Uglovna ovisnost analitičkog sjenčenja reljefa: azimutno osvjetljenje  $315^\circ$  (A) i azimut  $225^\circ$  (B), oba sa visinom Sunca od  $35^\circ$ . Obratiti pažnju na razliku u percepciji reljefa i strukturama koje se mogu posmatrati. Obrasle terase za poljoprivredno uzgajanje u blizini Kobolija u Sloveniji, čemu svjedoči prostorna rezolucija modela terena od 1 m. 23
- Slika 2: Veoma mali uglovi izvora svjetlosti prikazuju osobine ekstremno malih detalja: standardni ugao visine Sunca od  $45^\circ$  (A) i (B), a slabo osvjetljenje pri visini Sunca od  $5^\circ$  (C), sve uz azimut od  $45^\circ$ . Međutim, navedeno funkcioniše samo u područjima sa veoma blagom morfologijom reljefa, kao što je primjer područja A podzidane ograde(a) u Brú na Bóinne području svjetske kulturne baštine u Irskoj. Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 1 m korištena je uz dopuštenje Meath County Council-a i programa Discovery. Lokalno zasićenje histograma koristi se za predstavljanje (B) i (C). Prvi pokazuje razliku kada se uporedi sa normalno predstavljenim zasjenčenim reljefom (A), i drugi jer je slika inače pretamna za prikazivanje bilo kakvih detalja. 24
- Slika 3: RGB snimak sjenčenja reljefa iz tri smjera ( $315^\circ$ ,  $0^\circ$  i  $45^\circ$  azimuta sa visinom Sunca od  $35^\circ$ ) (A), kompozit dobiven od prve dvije komponente (B) i RGB kompozit prve tri komponente analize osnovnih komponenti analitičkog sjenčenja reljefa iz 16 smjerova sa  $35^\circ$  visinom Sunca (C). Kasni rimski logor u Sv. Jeleni, zapadno od Kobarida, Slovenija.

- Prostorna rezolucija lidarskih podataka je 0,5 m © Walks of Peace in the Soča river Foundation. 25
- Slika 4: Nagib (A). Visinski profil (B) odnosi se na  $P_1$ - $P_2$  liniju u (A). Treba imati na umu da struktura ukrštanja profila može biti veoma lako (i pogrešno) interpretirana kao konveksna umjesto konkavna. Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka utvrde na brdu Žerovinšček iz perioda željeznog doba u blizini Bločice, Slovenija. 27
- Slika 5: Histogram se proteže do uskog raspona vrijednosti. Riječna korita Nadiže. Prostorna rezolucija od 0,5 m lidarskih podataka, zapadno od Kobarida u sjeverozapadnoj Sloveniji. 29
- Slika 6: (A 1) Histogram kompletnog raspona podataka - visine su između 263 m i 536 m. Budući da smo zainteresovani samo za veoma uski raspon vrijednosti između 271 i 278 m – označeno tamnom strelicom na (A), ima smisla rastezati samo ovaj raspon na cijelu paletu "boja" (B). (A 2) Histogram rastegnutih vrijednosti područja prikazanog na slici 5. Umjesto da se sve koncentriše u "tamnom uglu" histograma, vrijednosti su mnogo ravnomjernije raspoređene i razlike u sjeni boje mogu se lakše razumjeti. 29
- Slika 7: Snimak sjenčanja reljefa (A) i rastezanja histograma (B) lokalnog modela reljefa i LRM prikazan sa posebno dizajniranom paletom boja prekrivenom preko zasjenjenog snimka (Hesse 2010) (C). Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka utvrde na brdu Žerovinšček iz perioda željeznog doba u blizini Bločice, Slovenija, © ZRC SAZU. 31
- Slika 8: Snimak dijela vidljivog neba (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova) (A) i neizotropni snimak dijela vidljivog neba (B) utvrde na brdu Žerovinšček iz perioda željeznog doba u blizini Bločice, Slovenija. Mnogi detalji mogu se vidjeti na ovom snimku, unatoč promjenljivoj morfologiji reljefa. 34
- Slika 9: Snimak dijela vidljivog neba (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova) grebena i brazdi u blizini Neudingen-a, Njemačka (A). Izostavljanje najbližih piksela iz proračuna može smanjiti šum u podacima, tako da se osobine mogu bolje razumjeti (B). Prostorna rezolucija lidarskih podataka je 1 m © LGL u Baden-Württembergu. 35

- Slika 10: Pozitivna (A) i negativna (B) otvorenost snimka (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova) kasnoga antičkog naselja Tonovcov grad u Sloveniji. Veoma složen teren izgleda poravnato. Vrhovi istaknutih osobina jasno su uočljivi na snimku pozitivne otvorenosti, dok negativna otvorenost odražava dno šupljina i donje rubove litica. 37
- Slika 11: Snimak lokalne dominantnosti (radijus od 10 do 20 m) granica nekadašnjih polja, puteva, grebena i brazdi kod Hügelsheima, Njemačka. Grebeni i brazde očuvani su samo u područjima koja su danas prekrivena šumom. Neke druge osobine na slici uključuju kratere od bombi, zemljom prekrivene bunkere i rovove. Lidarski podaci od 1 m © LGL u Baden-Württembergu. 39
- Slika 12: Snimak kumulativne vidljivosti grobnih humki (visoke vrijednosti) i dolina (niske vrijednosti) u Swabian Alb. Lidarski podaci od 1 m © LGL u Baden-Württembergu. 40
- Slika 13: Snimak pristupačnosti (maksimalnog radijusa od 20 m) vrlo uskih poljoprivrednih terasa sa vinogradima u blizini Jeruzalema, Slovenija. Lidarski podaci od 0.5 m © ARSO, Slovenia. 40
- Slika 14: MSII snimak starog rimskog logora u Sv. Jeleni, zapadno od Kobarida, Slovenija. Lidarski podaci od 0.5 m © Walks of Peace in the Soča river Foundation. 43
- Slika 15: Snimak starog rimskog logora u Sv. Jeleni, zapadno od Kobarida, Slovenija kao što je vidljivo na lidarskim podacima od 0.5 m prostorne rezolucije filtriranim sa Laplacian-of-Gaussian konvolucionim filterom radijusa 3 piksela (tj. 1.5 x 1.5 m). 43
- Slika 16: Karte gustoće lidarskih podataka dvorca Montfaucon istočno od Besancona, Francuska. Gustoća svih tačaka (A), gustoća vegetacionih tačaka (B) i tačaka na terenu (C) izračunata za svaki piksel (0.5 m), ali ucrtana po m<sup>2</sup>. Gustoća tačaka na terenu izračunata i iscrtana po m<sup>2</sup> (D). Prostorna rezolucija lidarskih podataka 0.5 m © Univerzitet Franche-Comte. 46
- Slika 17: Neizotropni snimak dijela vidljivog neba modela visina dobiven različitim algoritmima rasterizacije (interpolacije). Treba imati na umu razliku u interpolaciji površine dvorca i jugoistočne padine koja vodi do

njega. Prirodni susjedi (engl. *Natural Neighbours* - NN) (A) generišu vrlo glatki teren, težina inverzne udaljenosti (engl. *Inverse Distance Weighted* (IDW)) (B) uvodi korake, TIN s ponavljajućom interpolacijom (engl. *TIN with Repetitive Interpolation* - REIN) (C) uvodi trouglove i splajnovi (D) kreiraju niz artefakata.

47

Slika 18: "Riblje ljuske" rezultat su direktne rasterizacije oblaka tačaka (A). Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka područja oko Besancona, Francuska, © Univerzitet Franche-Comte. Crne zvijezde obično se oblikuju oko malih izbočenja na snimku dijela vidljivog neba prilikom izračuna s 8 ili 16 smjerova (B). Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 0.5 m iz prvog svjetskog rata blizu Kobarida u Sloveniji. © Walks of Peace in the Soča river Foundation. Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka puna lažnih udubljenja. Oni su rezultat slabe obrade podataka koji su klasificirali mnoge lidarske tačke ispod površine terena kao tačke terena (C). Grobna mjesta u Poštelima mogu se vidjeti u gornjem lijevom uglu (C). © ARSO, Slovenija. Svi snimci prikazuju SVF-ove izračunate u 8 smjerova s radijusom pretrage od 10 m.

48

Slika 19: Karakteristike koje su slične talasima posljedica su loše registracije linija skeniranja (A). Mogu se vidjeti platforme za pravljenje uglja. Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka područja oko Besancona, Francuska, © Univerzitet Franche-Comte. Ozbiljna neusklađenost linija snimanja i pretjerano ambiciozne postavke rezolucije rezultiraju artefaktima sličnim "ribanju" i fiktivnim koracima na terenu (B). Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka područja u blizini Tauberbischofsheima © LGL u Baden-Wurttembergu. Slaba predobrada sirovih podataka rezultirala je čitavim nizom artefakata otisnutih na terenu sjeverozapadno od Volarja, Slovenija (C). Prostorna rezolucija lidarskih podataka 1 m © ARSO, Slovenija. Svi snimci prikazuju SVF-ove izračunate u 8 smjerova s radijusom pretrage od 10 m.

49

Slika 20: Izvorni snimak na kome se primjenjuje samo minimalno-maksimalno rastezanje histograma - prikazuje se cijeli niz vrijednosti s relativnim razlikama između očuvanih vrijednosti (A). Snimci prikazani različitim tehnikama rastezanja histograma: izjednačenje histograma (B), standardno odstupanje  $2.5\sigma$  (C), zasićenosti minimuma i maksimuma 0.5% (D).

54

- Slika 21: Tehnike vizuelizacije s različitim reljefnim osobinama. 58
- Slika 22 na prethodnim stranicama (62. i 63.): Tehnike vizuelizacije pri različitim topografskim postavkama. Oranice na ravnom terenu u blizini Endingen am Kaiserstuhl. Prostorna rezolucija lidarskih podataka 1 m © LGL u Baden-Württembergu. Tri različite vrste rovova iz Prvog svjetskog rata s skloništima na blagim sjeveroistočnim padinama Črnog hriba, u blizini Renčea, Slovenija. Prostorna rezolucija od 1 m lidarskih podataka © ARSO, Slovenia. Plamteće platforme drvenog uglja u brdima Crne šume, prostorna rezolucija lidarskih podataka 1 m © LGL u Baden-Württembergu. Kasni rimski logor na stjenovitoj površini s crkvom sv. Jelene, zapadno od Kobarida, Slovenija. Prostorna rezolucija od 0.5 m lidarskih podataka © Walks of Peace in the Soča river Foundation. 62
- Slika 23: Različita mjerila posmatranja. Snimak dijela vidljivog neba bogato ukrašenih detalja pločnika u Newgrangeu, Irska, kreirano sa Structure-from-Motion ručno snimljenim fotografijama (A). Raspršene kosti (B) i tragovi pljačke (C) u pustinji Perua. Model visina izračunat je iz snimaka snimljenih s kamerom na držaču i prikazan je ovdje sa kombinacijom lokalne dominantnosti i sjenčenog reljefa. Grand Canyon (D) kao dokaz 30 m SRTM podataka prikazanih u kombinaciji SVF-a i sjenčenog reljefa. Središnji Massif, Jura i Alpe (E) prikazani kombinacijom neizotrop-nog SVF-a i sjenčenog reljefa. 67
- Slika 24: Da li je grobna humka, rupa u tlu, ili kamenolom, ili brdo? Neko ko posmatra sliku treba znati smjer izvora svjetlosti, jer ima konačan uticaj na percepciju krajolika. Azimutno osvjetljenje 315° (A) i azimut 135° (B). Osobine terena izgledaju preokrenuto na (B). 69
- Slika 25: Obrasli ostaci napuštenog sela Novi Breg (Naubacher), Slovenija, predstavljeno tehnikom lokalnog modela reljefa s radijusom filtera od 25 m (A). Ostaci kuća mogu se vidjeti kao svijetli pravougaonici. Velike crne mrlje su ponikve. Jednostavno je replicirati takvu sliku s minimalnim datim podacima. Međutim, kada reprodukcija ili relativna uporedba među područjima nije potrebna, kombinacije vizuelizacije mogu dati slike koje je lakše analizirati, a detalji o vizuelizacijama mogu biti izostavljeni (B). Lidarski podaci od 1 m © ARSO, Slovenija. 72

- Slika 26: Algoritmi sjenčenja reljefa u ArcMap-u (ArcMap 2012) i RVT koriste istu metodu (Yoëli 1965), no rezultati su posve drugačiji, kao što se vidi iz slike neboderâ u donjem Manhattanu. Izgleda da je slika sjenčenja reljefa izračunata pomoću ArcGIS-a (A) manje jasna (kao da se koristi DEM niže rezolucije) od one izračunate pomoću RVT-a (B). Treba imati na umu jasno vidljive korake uzdizanja na (B), naročito korake na pročelju donjeg desnog nebodera (B), jer u potpunosti nedostaju u (A). (A) i (B) zasićene su visokim i niskim vrijednostima (potpuno bijele i crne površine). Međutim, RVT izračunava sjenčenje reljefa s punim rasponom vrijednosti, pa se detalji u crnim područjima u velikoj mjeri otkrivaju na izvornom nezasićenom snimku (C). Sve brojke izračunate su s visinom Sunca od 35° i azimutom od 315° koristeći isti DEM. Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © USGS. 73
- Slika 27: RVT nudi raspon najboljih tehnika s osnovnim opcijama. Izuzetno je jednostavan za korištenje i može obrađivati više fajlova i primijeniti sve tehnike u jednom koraku. 78
- Slika 28: Lidar Visualization Toolbox (LiVT) podržava različite tehnika računanja sa zamršenim mogućnostima za manipulaciju postavkama. 79
- Slika 29: Lepeza aluvijalnih nanosa u kanjonu Craig u Slanoj dolini, SAD. Fotografisao Brian Lockett Air-and-Space.com. 83
- Slika 30: Aluvijalni nanosi iz kanjona Craig (Kalifornija, SAD) što je očigledno na lidarskim podacima od 0.5 m prostorne rezolucije. Kolor rastegnute visine preko SVF-a i sjenčenog reljefa. © Plate Boundary Observatory by NCALM, SAD. 85
- Slika 31: Paralelne utisnute staze u šumi sjevero-zapadno od Volčijeg Potoka, Slovenija. Fotografisao Žiga Kokalj. 87
- Slika 32: Utisnute staze i glavni tokovi ispod gradine na Žiškom vrhu, sjeverna Slovenija, kao što je vidljivo iz kombinacije dijela vidljivog neba (0.65-1, neprozirnost 25%, množenje), pozitivne otvorenosti (70-93, neprozirnost 50%, preklapanje), nagiba (0-45°, neprozirnost 50%, osvjetljenost) i sjenčenja reljefa. Lidarski podaci od 0.5 m © ARSO, Slovenija. 88

- Slika 33: Utisnute staze na uskom prolazu duž rijeke. Volčji Potok, sjeverna Slovenija. Lidarski podaci prostorne rezolucije od 0.5 m © ARSO, Slovenija. 89
- Slika 34: Gradišće nad Knežakom gradina u središtu slike danas je potpuno prekrivena neproho-dnom šumom. Fotografisao Boštjan Laharnar. 91
- Slika 35: Naselje iz željeznog doba iznad Knežaka i okoline, kao što se vidi na klasifikovanim slovenskim nacionalnim lidarskim podacima (GKOT, © ARSO, Slovenija) koju obrađeni gLidar softverom, rasterizirani na mrežu od 0.5 m. Vidljiva su mnoga mala udubljenja i nepostojeće rupe (pogledati također i sliku 18C). Snimak je kombinacija dijela vidljivog neba (0.7-1, neprozirnost 70%, množenje), nagiba (0-55°, neprozirnost 100%, preklapanje) i sjenčenja reljefa. 92
- Slika 36: Ista površina kao na slici 35, ali je obrada obavljena drugim softverom (LASTools). Čak i uz minimalan napor (zadane postavke), rezultujući snimak daje jasniju sliku arheološke i prirodne topografije, unatoč gubljenju dijela "oštrine". Na donjem dijelu snimka vidljive su nestrukturirane skupine kamenja na polju i granice polja. Lidarski podaci prostorne rezolucije od 0.5 m © ARSO, Slovenija. 93
- Slika 37: Jedna od grobnih humki u Pivoli. Osim tokom kasne zime, veoma je teško kretati se zbog guste drače. Fotografisao Žiga Kokalj. 95
- Slika 38: Grobne humke u Pivoli kao što je prikazano lokalnim modelom reljefa transparentno su prekrivene preko snimka dijela vidljivog neba i sjenčenog reljefa. Stanje očuvanosti humki znatno se razlikuje. One u šumi dobro su sačuvane (1), humke u Botaničkom vrtu oštećene su kada su služile kao vojna baza (2), a humke na poljima gotovo da su poravnate sa tlom (3). Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © ARSO, Slovenija. 96
- Slika 39: Vizuelna struktura krajolika predstavljena Higuchievim matematičkim modelom bliske razdaljine totalne vidljivosti oko grupe humki u Pivoli. Lidarski podaci od 1 m prostorne rezolucije © ARSO, Slovenija. Prikazano uz dopuštenje D. Mlekuža. 97



- Slika 40: Linije stubova na Culbin Sandsu (fotografija © Forestry Commission Scotland). 99
- Slika 41: Promjene u visini s dodatnim informacijama o intenzitetu, Culbin Sands. Intenzitet lidara obično se bilježi u vrijeme skeniranja i može pružiti dodatne razlikovne informacije o krajoliku. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Forestry Commission Scotland. 100
- Slika 42: Pogled izbliza na Culbin Sands kao što se vidi na snimku dijela vidljivog neba, izračunatog u 8 smjerova. Stubovi se lako mogu prepoznati kao crne zvijezde. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Forestry Commission Scotland. 101
- Slika 43: Pogled na greben prema Vrh Brdu i Bavškom Grintavecu u pozadini. Fotografisao Jovan Cukut. 103
- Slika 44: Glacijalno transformisana kraška visoravan na Velikim vratima, Slovenija. Ravne površine pukotina u vapnenačkim stijenama prikazane su u svijetlim bojama, dok su vertikalne pukotine, otvorene pukotine i strmine mračne. Snimak je kombinacija dijela vidljivog neba (0.5-1, neprozirnost 70%, množenje), nagiba (0-65°, neprozirnost 80%, preklapanje) i RGB snimka sjenčenja brda iz tri smjera (R: 315°, G: 15°, B: 75°), svih izračunatih na digitalnom površinskom modelu. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © ARSO, Slovenija. 104
- Slika 45: Dachsteinovi vapnenački slojevi i polja izložena na Vrh Brdu (1952 m). Vrh grebena istaknut je bijelom bojom, a boje predstavljaju različite orijentacije padine. Vizuelizacija je kombinacija dijela vidljivog neba (0.55-1, neprozirnost 30%, množenje), pozitivne otvorenosti (65-95°, neprozirnost 50%, preklapanje), nagiba (0-65°, neprozirnost 80%, osvjetljenost) i RGB snimka sjenčenja brda iz tri smjera (R: 315°, G: 15°, B: 75°). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija. 105
- Slika 46: Granite Dells - Watson Lake. Fotografisao Michael Wilson. 107

- Slika 47: Digitalni model terena (DTM) - Granite Dells, Arizona, SAD. Veliki dio detalja krajolika je izgubljen uprkos detaljnom procesiranju. Kombinacija neizotropnog dijela vidljivog neba (0.2-1, neprozirnost 40%, množenje), nagib (0-80°, neprozirnost 60%, preklapanje) i RGB snimak sjen-čenja brda iz tri smjera (R: 337,5°, G: 0°, B: 22,5°). Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © NCALM. 108
- Slika 48: Digitalni model površine (DSM) istog područja kao na slici 47. Vidljiva su stabla, kuće i automobili, ali još važnije je da su vidljivi spojevi u granitu što je i karakteristično. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © NCALM. 109
- Slika 49: Pogled na Mauna Loa iz Maune Kee s konusima od pepela u prvom planu. Fotografisao Lawrence Goldman. 111
- Slika 50: Lavu koja teče na vulkanu Mauna Loa teško je posmatrati na terenu jer je tlo vruće, ima grubu i šiljastu površinu ili je prekriveno vegetacijom. Mnogi otvori i konusi od pepela vidljivi su na ovom zasjenčenom snimku lidarskih podataka (prostorna rezolucija od 1 m) © NCALM. 112
- Slika 51: Ova vizuelizacija pruža veoma realan prikaz površine i otkriva zamršeni sistem konusa od pepela, otvora, pukotina, nabora i kanala polja lave na sjeveroistočnoj padini Maune Loe. Vizuelizacija je kombinacija pozitivne otvorenosti (65-95, neprozirnost 50%, zatamnjena), dijela vidljivog neba (0.65-1, neprozirnost 50%, množenje), nagiba (0-50°, neprozirnost 100%, preklapanje) i sjenčenja reljefa. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © NCALM. 113
- Slika 52: Slijepa dolina Brezovica. Pogled prema sjeveru. U prvom planu fotografije vidi se potok Ločica koji je formirao dolinu i koji ponire ispod zemlje. Fotografisao Žiga Kokalj. 115
- Slika 53: Slijepa doline Odolina (1) i Brezovica (2). Kontaktna granična linija između sedimentnog depozita i vapnenca prolazi od sjevero-zapada do jugo-istoka i jasno je prepoznatljiva. Potoci formiraju normalan fluvijalni reljef na sedimentnim depozitima i oblikuju isprane proširene doline na vapnencu prije poniranja. Jednostavno je prepoznati i

- doline, vrtače i druge tipične kraške osobine. Lidarski podaci  
 prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija. 116
- Slika 54: Pogled izbliza na kraj slijepe doline Odoline. Na takvom mjestu  
 i bez prethodnog poznavanja područja vjerovatno bi se očekivao  
 izvor potoka. Ambis gdje Brsnica nestaje pod zemljom pri visokom  
 vodostaju, noseći tone sedimenata i drva, označen je strelicom.  
 Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © ARSO, Slovenija. 117
- Slika 55: Brooklynski most preko Istočne rijeke (engl. East River) s neboderima  
 na Donjem Manhattanu u pozadini. Fotografisao Žiga Kokalj. 119
- Slika 56: Kombinacija kolor kodiranih visina i nezasićenog sjenčenog reljefa.  
 Ovo je tipičan dvo-dimenzionalni prikaz gradskog prizora. Dok se  
 visine zgrada mogu odrediti u određenoj mjeri, sve vrijednosti veće  
 od 110 m bile su odrezane kako bi se postigla bolja raspodjela boja.  
 Iako slika prikazuje Lower Manhattan s mnogim zgradama čije visine  
 prelaze 50 m, veličanstvenost visina zgrada nije očigledna. Lidarski  
 podaci prostorne rezolucije 1 m © USGS. 120
- Slika 57: Ova je slika manje raznobojna od slike 56, no sjene daju raskošniji  
 osjećaj visokih zgrada. Kombinacija modela osvjetljenog neba  
 (engl. *Sky Illumination Model*) (udaljenost modela sjena od 100 m) i  
 bačene sjene (visina Sunca od 35° i azimut od 135 °). Lidarski podaci  
 prostorne rezolucije 1 m © USGS. 121
- Slika 58: Tvrdava Kulič uglavnom je opkoljena vodom i pješice je dostupna  
 jedino pri niskom vodostaju. Fotografisao Darko Veselinović. 123
- Slika 59: Ušće Velike Morave u Dunav i njeni nekadašnji rukavci (plave boje).  
 Na najvišim lokalnim dijelovima kopna sačuvani su ostaci tvrđave  
 i naselja Kulič (1), te antičkoga grada Marguma i srednjevjekovne  
 naseobine Morava (2). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m  
 © Arheološki institut, Beograd, Srbija. 124

- Slika 60: Područje antičkoga grada Marguma i srednjevjekovne naseobine Morava najbolje je očuvano iznad apsolutne visine od 72 m (puna bijela linija). Lidarski podaci prostorne rezolucije 1 m © Arheološki institut, Beograd, Srbija. 125
- Slika 61: Linije kamenih nasipa rimske centuriacije na terenu su teško uočljive. Fotografisala Katarina Gerometta. 127
- Slika 62: Linije kamenih nasipa rimske centurijacije (bijele široke ortogonalne linije), kamene gomile (bijeli krugovi), kasniji kameni zidovi (bijele bolje definisane linije), staze (crne linije) i nepotvrđeno gradinsko naselje (bijele linije u sjeverozapadnom uglu slike) vidljivi su na ovoj kombinaciji filtriranja Laplacian-of-Gaussian (-0.01-0.01, neprozirnost 50%) i sjenčenja reljefa (tri puta vertikalno uvećanje). Zbog naglašavanja rubova (bijeliji dijelovi slike) neki dijelovi staza iz-gledaju kao da imaju nasipe. 128
- Slika 63: Isto područje kao i na slici 62, ali prikazano kombinacijom lokalne dominantnosti (0.5-1.8, neprozirnost 20%, preklapanje), lokalne dominantnosti (ponovno), (0.5-1.8, neprozirnost 60%, osvjetljenost) i neizotropnog dijela vidljivog neba (0.8-1) na kojoj se bolje vidi šta je udubljeno a šta strši iz ravni. Različitim "mekoćom" linija može se zaključivati o njihovoj različitoj izloženosti i posredno starosti. Lidarski podaci prostorne rezolucije od 0.5 m © Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Hrvatska. 129
- Slika 64: Područje između Rovinja i Bala velikim je dijelom prekriveno grmolikom makijom, koja se sastoji od gusto obraslog zimzelenog grmlja. Prikladni parametri skeniranja za arheološku interpretaciju u ovim uslovima testirani su u susjednom Slovenskom kršu. Fotografisao Damir Matošević. 131
- Slika 65: Okolina gradinskog naselja Monte Castelliera prekrivena je gustom, niskom vegetacijom. Kombinacija modela visina objekata (grmlje i drveće u zelenim bojama, kuće u crvenoj boji, neprozirnost 50%) i sjenčenja modela površine. Lidarski podaci prostorne rezolucije od 0.5 m © Arheološki muzej Istre, Hrvatska. 132

- Slika 66: Niske zidine gradinskog naselja Monte Castelliera dobro su vidljive u kombinaciji lokalnog modela reljefa (-0.5-0.5, neprozirnost 70%, preklapanje), nagiba (0-30°, neprozirnost 35%, množenje) i sjenčenja reljefa. Lidarski podaci prostorne rezolucije 0.5 m © Arheološki muzej Istre, Hrvatska. 133
- Slika 67: Bavarski grad Lindau na jezeru Constance. S površinom od oko 570 km<sup>2</sup> i maksimalnom dubinom od 252 m, jezero Constance jedno je od najvećih i najdubljih jezera u Evropi. Oblikovala ga je erozija ledenjaka tokom posljednjeg ledenog doba. Velika polja niskih ovalnih humki ili malih brežuljaka, uglavnom sjeverno od jezera, dokumentiraju smjer kretanja leda tokom posljednje glaciacije. Kad su se ledenjaci povukli, bazen se napunio vodom i postao jezero Constance. Fotografisao Frank Numrich. 135
- Slika 68: Parnice ledenjaka na dnu (krivulje) i depoziti masovnog kretanja (laticaste osobenosti u podnožju strmih padina) na jezeru Constance. Vizuelizacija: Laplacian-of-Gaussian preklapljen sa kolor kodiranom batimetrijom. Prostorna rezolucija batimetrijskog modela od 2 m © IGKB (2015). 136
- Slika 69: Batimetrijski profil ( $P_1$ - $P_2$ ) iz podataka prikazanih na slici 68 otkriva ravnu podvodnu površinu na kojoj se pojavljuje većina oznaka kretanja ledenjaka. Prostorna rezolucija batimetrijskog modela od 2 m © IGKB (2015). 136
- Poglavlje 1. Platforme za pravljenje uglja u Crnoj šumi (Njemačka), kao što se vidi na snimku dijela vidljivog neba (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova). Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 1 m © LGL u Baden-Württembergu. 12
- Poglavlje 2. Neizotropni snimak dijela vidljivog neba (5 m radijus pretrage u 16 smjerova) utvrde Rodik na brdu iznad Ajdovščine (Slovenija). Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 0.5 m © ARSO, Slovenija. 18

- Poglavlje 3. Snimak lokalne dominantnosti (10-20 m radijus pretraživanja) oranica u Eendingen am Kaiserstuhlu (Njemačka). Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 1 m © LGL u Baden-Württembergu. 50
- Poglavlje 4. Humke, palače, platforme, zidovi, kamenolomi, mogući rezervoari za vodu i zemljišni sistem nepoznatog naselja Maja u rezervatu biosfere Calakmul (Campeche, Meksiko). Kombinacija vizuelizacija (faktor vidljivog dijela neba, otvorenost, nagnutost, sjenčenje reljefa). Prostorna rezolucija lidarskih podataka od 0.5 m © ZRC SAZU, Slovenija. 74
- Poglavlje 5. Dio utvrde Maiden Castle iz perioda željeznog doba (Ujedinjeno kraljevstvo), kao što se vidi na snimku dijela vidljivog neba (5 m radijus pretrage u 16 smjerova). Prostorna rezolucija od 0.5 m modela površine dobivenog iz lidarskih podataka © Environment Agency, Ujedinjeno kraljevstvo. 80
- Rječnik. Oko Sahare (Richat Struktura ili Guelb er Richat) je duboko erodirana geološka kupola u Mauritaniji. Kombinacija vizuelizacija (faktor vidljivog dijela neba, nagnutost, sjenčenje reljefa). Podaci SRTM od 30 m © USGS. 138
- Bibliografija i popisi. Pješčane dine u Guaiubai, Santa Catarina (Brazil), kao što se vidi na snimku dijela vidljivog neba (radijus pretrage od 10 m u 16 smjerova). Prostorna rezolucija modela površine 1 m dobivenog iz lidarskih podataka © FAPESP grant 2009/17675-5. Grohmann, C.H. i A.O. Sawakuchi. 2013. Influence of cell size on volume calculation using digital terrain models: a case of coastal dune fields. *Geomorphology* 180-181: 130-136. 144



## Popis tabela

Tabela 1: Neki korisni izvori za pretraživanje besplatnih lidarskih skupova podataka. Web stranice će se neizbježno promijeniti i novi skupovi podataka postaju redovno dostupni, pa se mogu koristiti omiljeni pretraživači.	17
Tabela 2: Tipične postavke za sjenčenje reljefa.	22
Tabela 3: Tipične postavke za analize osnovnih komponenti višestrukih snimaka sjenčenja reljefa iz više pravaca.	22
Tabela 4: Tipične postavke vizuelizacije nagiba.	26
Tabela 5: Tipične postavke za prikaz diferencijacije visina.	28
Tabela 6: Tipične postavke za uklanjanje trenda i lokalno modeliranje reljefa.	33
Tabela 7: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju dijela vidljivog neba.	33
Tabela 8: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju pozitivne i negativne otvorenosti.	36
Tabela 9: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju lokalne dominantnosti.	39
Tabela 10: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju kumulativne vidljivosti.	39

Tabela 11: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju pristupačnosti.	41
Tabela 12: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju MSII.	42
Tabela 13: Tipične postavke za računanje i vizuelizaciju Laplacian-of-Gaussiana.	42
Tabela 14: Prikladnost tehnika vizuelizacije za predstavljanje odabranih arheološko-topografskih osobina.	55
Tabela 15: Matrica za prikladnost tehnika vizuelizacije za odabrane arheološke reljefne strukture pri različitim topografskim postavkama.	57
Tabela 16: Metapodaci koji su potrebni prilikom predstavljanja DEM vizuelizacija.	71
Tabela 17: Parametri lidarskog skeniranja aluvijalnih depozita u Craig kanjonu (Kalifornija, SAD).	84
Tabela 18: Parametri lidarskog skeniranja Žiškog vrha i Volčijeg Potoka (Slovenija).	89
Tabela 19: Parametri lidarskog skeniranja naselja iznad Knežaka (Slovenija).	90
Tabela 20: Parametri lidarskog skeniranja grobnih humki u Pivoli (Slovenija).	94
Tabela 21: Parametri lidarskog skeniranja Culbin Sandsa (Škotska).	101
Tabela 22: Parametri lidarskog skeniranja Velikih vrata i Vrh Brda (Slovenija).	102
Tabela 23: Parametri lidarskog skeniranja Granitne šumovite doline (Arizona, SAD).	109
Tabela 24: Parametri lidarskog skeniranja Mauna Loe (Havaji, SAD).	110
Tabela 25: Parametri lidarskog skeniranja slijepe doline Odolina (Slovenija).	114
Tabela 26: Parametri lidarskog skeniranja Manhattana (New York, SAD).	118



Tabela 27: Parametri lidarskog skeniranja Marguma/Morave i Kuliča (Srbija).	122
Tabela 28: Parametri lidarskog skeniranja Općine Vrsar (Hrvatska).	126
Tabela 29: Parametri lidarskog skeniranja Monte Castelliera (Hrvatska).	130





Zbirka *Prostor, kraj, čas* objavljuje kraće, tematski zaokružene studije sa različitih aspekata istraživanja prostora i vremena, koje se temelje na geografskim informacionim sistemima i daljinskim istraživanjima, kao i njihovim društvenim i kulturnim uticajima: način na koji ljudi iz različitih vremenskih perioda i mjesta prebivališta razmišljaju, žive, osjećaju, koriste i mijenjaju prostor i vrijeme.

Urednici serije: Nataša Gregorič Bon i Žiga Kokalj, ZRC SAZU.

**Žiga Kokalj** je rukovodilac Odjela za daljinska istraživanja (naučni saradnik) pri Naučno-istraživačkom centru slovenske Akademije nauka i umjetnosti i Centru izvrsnosti za svemirske nauke i tehnologije. Njegova naučna polja od interesa su primjena snimaka i laserskog skeniranja iz zraka, prostorne analize i modeliranja prirodnih procesa.

**Ralf Hesse** radi u Državnom uredu za kulturno historijsko nasljeđe Baden-Württemberga, gdje koristi lidarske podatke za arheološka istraživanja velikih područja. Njegova se istraživanja usredotočuju na vizuelizaciji i analizama digitalnih modela visina na području arheologije i fizičke geografije.

**Admir Mulahusić** je univerzitetski nastavnik pri Građevinskom fakultetu (Odsjek za geodeziju i geoinformatiku) Univerziteta u Sarajevu. Predavač je više predmeta dodiplomskog, diplomskog i doktorskog studija pri Građevinskom fakultetu u Sarajevu (naučna oblast "Geodezija i geoinformatika"). Autor je i koautor jednog univerzitetskog udžbenika, jednog fakultetskog udžbenika, dvije monografije, prijevoda univerzitetskog udžbenika, kao i više naučnih i stručnih radova. Član je više domaćih i međunarodnih naučnih i strukovnih organizacija.

Knjiga je besplatno dostupna u pdf-u:  
<http://zalozba.zrc-sazu.si/p/P16>



ZALOŽBA  
Z R C

<http://zalozba.zrc-sazu.si>  
Založba ZRC

ISBN 978-961-05-0099-5



9 789610 500995

17 €