

Ante Šiljeg PhD in Interdisciplinary Sciences

Ante Šiljeg was born in Metković on December 10, 1982. He completed his primary and secondary education in Metković. In academic year 2001/2002 he enrolled in studies of History and Geography at the Faculty of Philosophy in Zadar, University of Split, which he completed in 2007. That same year he enrolled in postgraduate studies *Geographical basis of spatial planning* at the Department of Geography, Faculty of Science, University of Zagreb.

In June, 2007 he joined Department of Geography at University of Zadar as a research assistant. He is actively participating in the organisation, teaching, seminars and exercises in courses *Digital Cartography*, *GIScience – the Science of Geospatial Information*, *Application of GIS in Spatial Planning*, *Geospects of Regionalisation and Spatial Planning*, *Remote Sensing* and *Political Geography*.

As associate, in academic year 2008/2009 he joined the project *Construction of System of Sustainable Development Indicators for Selected Coastal Cities Zadar and Pula* under leadership of Branko Cavrić, PhD. In 2009 (from July to November) he was on a study visit to the Department of Urban Planning and Architecture at the University of Botswana Gaborone, where he participated in professional training, performing classes and exercises and in the preparation of spatial development plan for the village Mmanoko. Since 2010, he is associate on scientific project *Population Movements and Settlements in the Dalmatian Hinterland (Southern Croatia)* under the leadership of associate professor Martin Glamuzina. In 2012 he joined the project *Croatian Coastal Karst Area – Geomorphological and Ecological Characteristics* under the leadership of associate professor Dražen Perica.

At Faculty of Teaching in Čakovec he has been giving lectures on a course *General Geography* from 2010 to 2012.

He completed several GIS courses and is using advanced GIS technology. By the 2013 he published a total of 15 scientific papers and participated actively in the work of several international and national scientific workshops, seminars and conferences. He speaks, reads and writes English. He is a member of the Croatian Geographical Society and the Institute of GIS. He was awarded *Frederik Grisogono* prize for the best student at the Department of Geography for the academic year 2004/2005. He is married and a father of one child.

Doctoral thesis manuscript has a total of 187 pages, 103 drawings and 39 tables. Total of 288 bibliographic references are cited.

Ante Šiljeg defended his doctoral thesis *The Digital Relief Model in Analysis of Geomorphometric Parameters – Example of Nature Park Vrana Lake* at Faculty of Science, University of Zagreb on June 20, 2013 (supervisor Sanja Lozić, PhD, assistant professor) and received a PhD degree in the interdisciplinary sciences, field of geography, branch of applied geography. Doctoral thesis was defended in front of committee composed of Mladen Pahernik, PhD, assistant professor, Danijel Orešić, PhD, associate professor and Aleksandar Toskić, PhD, associate professor. Committee for thesis review was in the same composition.

The Digital Relief Model in Analysis of Geomorphometric Parameters – Example of Nature Park Vrana Lake

The dissertation consists of eight chapters:

- 1 Introduction
- 2 Theoretical Background
- 3 Research Methods
- 4 Bathymetric Survey
- 5 Creating DTM from Vectorised Contour Lines
- 6 Creating DTM from Data Collected by Photogrammetry
- 7 Digital Relief Analysis
- 8 Discussion and Conclusion



Ante Šiljeg rođen je u Metkoviću 10. prosinca 1982. Osnovno i gimnazijsko obrazovanje stekao je u Metkoviću. Na Filozofskom fakultetu u Zadru Sveučilišta u Splitu akademске godine 2001/2002. upisao je studij povijesti i geografije, kojeg je završio 2007. Iste godine upisao je poslijediplomski studij *Geografske osnove prostornog planiranja i uređenja* na Geografskom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu.

Zaposlio se u lipnju 2007. na Odjelu za geografiju Sveučilišta u Zadru kao asistent. Aktivno sudjeluje u organizaciji i izvođenju nastave, vježbi i seminara iz kolegija *Digitalna kartografija*, *GIScience – znanost o geoprostornim informacijama*, *Primjena GIS-a u prostornom planiranju*, *Geoaspekti regionalizacije i prostornog planiranja*, *Daljinska istraživanja* i *Politička geografija*.

Kao suradnik od ak. god. 2008/2009. uključen je na projekt *Izgradnja sustava indikatora održivog urbanog razvoja za odabrane primorske gradove Zadar i Pulu*, voditelja prof. dr. sc. Branka Cavrića. U razdoblju od srpnja do studenog 2009. bio je na studijskom boravku na Odjelu za prostorno planiranje i arhitekturu Sveučilišta Botswana u Gaboroneu, gdje se stručno usavršavao, izvodio nastavu (vježbe) i sudjelovao u izradi razvojnog prostornog plana za selo Mmanoko. Od 2010. suradnik je na znanstvenom projektu *Kretanje stanovništva, naseljenosti i naselja u Dalmatinskoj zagori (Južna Hrvatska)* voditelja prof. dr. sc. Martina Glamuzine. Od 2012. suradnik je na projektu *Hrvatski priobalni krški prostor – geomorfološke i ekološke značajke*, voditelja prof. dr. sc. Dražena Perice.

Na Učiteljskom fakultetu u Čakovcu od 2010. do 2012. godine predavao je kolegij *Opća geografija*.

Završio je više tečajeva GIS-a i napredno koristi tehnologiju GIS-a. Do 2013. godine objavio je ukupno 15 znanstvenih radova i aktivno sudjelovao u radu više međunarodnih i domaćih znanstvenih radionica, seminara i skupova. Govori, čita i piše engleski jezik. Član je Hrvatskoga geografskog društva i Instituta za GIS. Dobitnik je nagrade *Frederik Grisogono* za najboljeg studenta na Odjelu za geografiju u ak. god. 2004/2005. Oženjen je i otac jednog djeteta.

Rukopis doktorske disertacije ima ukupno 187 stranica, 103 grafička priloga i 39 tablica. Citirano je ukupno 288 bibliografskih referenci.

U uvodnom dijelu disertacije, autor detaljno definira objekt i prostorni obuhvat istraživanja, ciljeve i metodologiju istraživanja, te postavlja polazne hipoteze. Ciljevi rada su sljedeći: ispitati visinske pogreške DMR-a; izraditi i usporediti digitalne modele reljefa; odrediti najprikladnije metode interpolacije za izradu rasterskih modela; odrediti najprikladnije prostorne

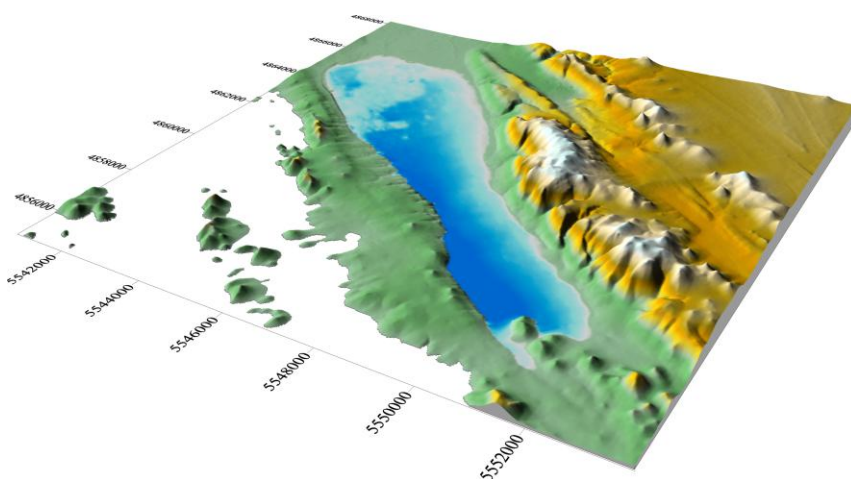
Ante Šiljeg doktor interdisciplinarnih znanosti

Ante Šiljeg obranio je 20. lipnja 2013. na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF) Sveučilišta u Zagrebu doktorsku disertaciju *Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero* (mentorica doc. dr. sc. Sanja Lozić) i time stekao akademski stupanj doktora znanosti, u području interdisciplinarnih znanosti, polje geografija, grana primijenjena geografija. Doktorska disertacija obranjena je pred povjerenstvom u sastavu dr. sc. Mladen Pahernik, naslovni docent, dr. sc. Danijel Orešić, izv. prof. i dr. sc. Aleksandar Tosić, izv. prof. Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije bilo je u istom sastavu..

Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero

Disertacija se sastoji od 8 poglavlja:

1. Uvod
2. Teorijska osnova
3. Metode istraživanja
4. Batimetrijsko istraživanje
5. Izrada DMR iz podataka dobivenih vektorizacijom izohipsi
6. Izrada DMR iz podataka prikupljenih fotogrametrijom
7. Digitalne analize reljefa
8. Rasprava i zaključak



In the introductory part of the thesis, the author details the object and spatial coverage of research, its objectives and methodology, and formulates the initial hypotheses. The aims of this research are as follows: to test the elevation-related errors in DTM (digital terrain model); to create and compare digital terrain models; to determine the most appropriate methods of interpolation for the created models; to determine the most appropriate spatial resolution for the created models; to determine bathymetric features, surface area and the volume of Lake Vrana; to test the quality of DTM in geomorphological research by means of analysis of specific geomorphometric parameters. The main hypotheses of dissertation are these: by using a low frequency sonar it is possible to determine the thickness and the volume of sediments; for the purpose of creating DTM, geostatistical methods are more appropriate for interpolation than deterministic ones; the accuracy of stochastic methods depends on the chosen criteria during the creation of semivariograms; decreasing the deviation (nugget) negatively affects the approximation and estimation in those areas in which measurements were not employed; higher terrain vertical change negatively affects the accuracy of interpolation algorithms; the visual analysis of graphic representations (both two-dimensional and three-dimensional) affects the selection of a specific interpolation method; by using the method of landscape analysis it is possible to compare methods of interpolation.

In the chapter on theoretical basis, the paper presents a detailed overview of the current terminology concerning the terrain display, with special attention given to the fact that one needs to be very careful when using specific terms, since they depend on methods of obtaining the elevation data and the way it is used when creating the digital terrain model. This paper also uses the term digital terrain model to refer to the entire area of the nature park Vrana Lake, a model that was created by interpolating elevation data gathered by bathymetry and aerophotogrammetry. A digital terrain model is defined as a simplified representation of terrain in a rasterised manner, which has a specific resolution, and which was created by a chosen scientific method of interpolation of

elevation data, gathered by bathymetry and aerophotogrammetry. In addition to those, the paper also focuses on a detailed overview of various methods used to gather data necessary for the development of DTM, as well as some basic structural organizations of elevation data.

The chapter on research methods also deals in detail with various methods, techniques and procedures, which were necessarily integrated to obtain a quality output set of data. Methods used in the research are de-

terministic and geostatic interpolations, methods of comparison of methods of interpolation, methods of selection of spatial resolution, methods of bathymetry, methods of vectorisation, methods of digital analysis of terrain and methods of landscape structure analysis. Each of these methods was explained in detail, with special attention given to the comparison and evaluation of quality of interpolation methods, which is one of the main aims of this research. The main problem and challenge was the process of generating the most precise terrain surface based on the available samples, as well as determining the features of errors and variability of the

The Digital Relief Model in Analysis of Geomorphometric Parameters – Example of Nature Park Vrana Lake

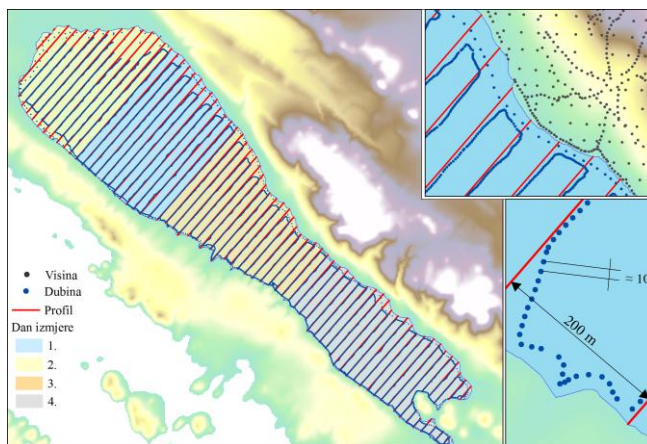
estimated values by means of testing and comparing various interpolation methods. In total, 17 methods of interpolation were compared: 9 deterministic and 8 geostatistical. The most suitable method of interpolation was chosen on the basis of parameters: minimum value, maximum value, range, sum of values, mean value, variance and standard deviation. With these parameters in mind, the success of each interpolation methods was evaluated.

The chapter on bathymetry features descriptions of methods and techniques of bathymetric measuring, principles of sonar as well as the plan and purpose of bathymetric measurement. In addition, a description of secondary data was given, which were necessary for an optimal bathymetric measurement, as well as descriptions of the analysis and interpretation of such data. Attention was given to the importance of

rezolucije za izrađene modele; odrediti batimetrijske značajke, površinu i volumen Vranskog jezera; analizom odabranih geomorfometrijskih parametara ispitati kvalitetu DMR-a za potrebe geomorfoloških istraživanja. Temeljne hipoteze disertacije su sljedeće: niskom frekvencijom dubinomjera utvrdit će se debljina i zapremina sedimenata; geostatističke metode prikladnije su za interpolaciju u svrhu izrade DMR-a od determinističkih metoda; točnost stohastičkih metoda ovisi o odabiru kriterija prilikom izrade semivariograma; smanjenje odstupanja (nugget) negativno utječe na aproksimaciju i procjenu u područjima u kojima nisu vršena mjerenja; veća vertikalna raščlanjenost reljefa negativno utječe na točnost rezultata dobivenih interpolacijskim algoritimima; vizualna analiza grafičkih prikaza (dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih) utječe na odabir metode interpolacije; primjenom metoda (mjera) krajobrazne analize moguće je usporediti metode interpolacije.

U poglavlju o teorijskoj osnovi, prezentiran je detaljni pregled dosadašnje terminologije vezane uz prikaz površine reljefa, uz naglasak da kod korištenja termina treba biti iznimno oprezan jer odabrani termin ovisi prije svega o metodama prikupljanja visinskih podataka i odabiru istih kod kreiranja digitalnog modela reljefa. U radu se za cijelo područje PP Vransko jezero preferira naziv digitalni model reljefa, koji je nastao interpolacijom visinskih podataka prikupljenih

batimetrijske izmjere, metode vektorizacije, metode digitalne analize reljefa i metode analize krajobrazne strukture. Svaka od navedenih metoda detaljno je objašnjena, a posebna pažnja posvećena je usporedbi i procjeni kvalitete interpolacijskih metoda, što je i jedan od glavnih ciljeva rada. Glavni problem i izazov bilo je generiranje najtočnije moguće površine na osnovi uzoraka, te utvrđivanje karaktera pogrešaka i varijabilnosti procijenjenih vrijednosti testiranjem i usporedbom različitih metoda interpolacije. Uspoređeno je 17 metoda interpolacije: 9 determinističkih i 8 geostatističkih. Najprikladnija metoda interpolacije odabrana je na temelju parametara: minimalna vrijednost, maksimalna vrijednost, doseg, zbroj vrijednosti, srednja vrijednost, varijanca i standardna devijacija. U poglavlju o batimetrijskom istraživanju, opisane su primijenjene metode i tehnike batimetrijske izmjere, principi rada dubinomjera, plan i svrha batimetrijske izmjere. Također, dan je opis sekundarnih podataka neophodnih za optimalno planiranje batimetrijske izmjere kao i opis njihove obrade i interpretacije. Naglašena je važnost procjene vrijednosti na neuzorkovanim područjima korištenjem različitih interpolacijskih metoda. Uspoređena je učinkovitost 16 metoda interpolacije, određeni su najprikladniji interpolatori za izradu rasterskog modela jezera te izračun površine i volumena jezera, što predstavlja novi i originalni doprinos ovog rada.

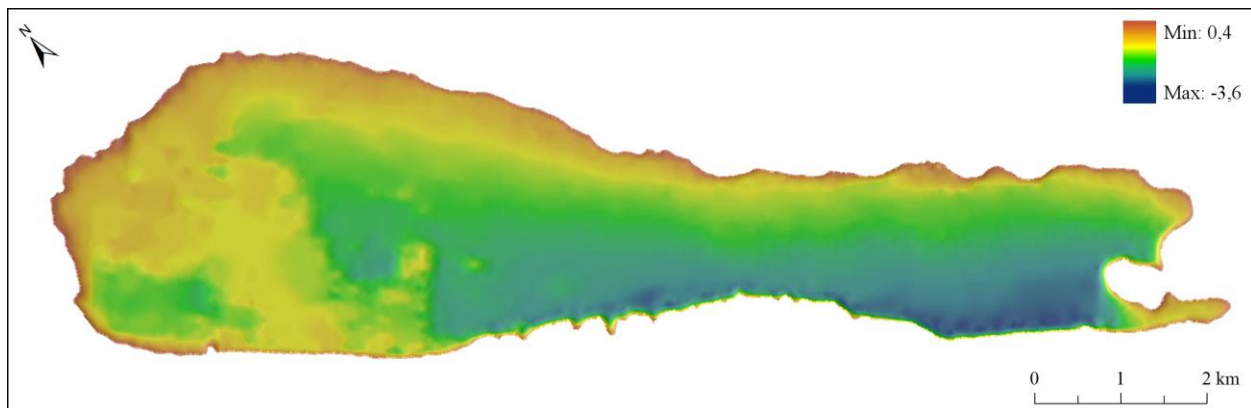


Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero

batimetrijskom i aerofotogrametrijskom izmjerom. Digitalni model reljefa definiran je kao pojednostavljeni prikaz dijela reljefa u rasterskom obliku, specifične rezolucije, dobiven odabranom i znanstveno utemeljenom metodom interpolacije podataka o visinama (dubinama) prikupljenih specifičnom batimetrijskom i fotogrametrijskom izmjerom i obradom. Osim navedenog, dan je i detaljan prikaz metoda i tehnika prikupljanja podataka potrebnih za izradu DMR-a te osnovnih struktura organizacije visinskih podataka.

U poglavlju o metodama istraživanja, detaljno su prikazane različite metode, tehnike i procedure čija integracija je bila potrebna za dobivanje kvalitetnih izlaznih rezultata. Metode primijenjene u istraživanju su determinističke i geostatističke metode interpolacije, metode usporedbe metoda interpolacije, metode odabira prostorne rezolucije, metode

U poglavlju o izradi DMR-a iz podataka dobivenih vektorizacijom izohipsi, razmotrena je točnost HOK-a (Hrvatska osnovna karta, mjerilo 1:5000) te je opisan postupak izrade DMR-a PP Vransko jezero vektorizacijom izohipsi s HOK-a. Kako bi se okvirno utvrdile razlike između modela izrađenih iz visinskih podataka prikupljenih aerofotogrametrijom i vektorizacijom izohipsi s HOK-a, uspoređene su 2 metode interpolacije, *Topo-to-Raster* i *obični kokriging*. Analiziran je geomorfometrijski parametar nagib na području jaruga Mernjača i Mednjača. Utvrđeno je da su i jedan i drugi model prikladni za geomorfološke analize, međutim, ukoliko se rade specifične analize npr. strmaca ili mikrodenuudacijskih oblika, bolje rezultate pokazuju podaci interpolirani metodom *obični kokriging*. Istaknuta je važnost ovog postupka za opće analize u geomorfologiji.



estimation of values via interpolation in those areas which were not sampled. This section also features the comparison of 16 methods of interpolation. Several most appropriate interpolators were chosen: for the creation of raster model of the lake, and for the calculation of the surface area and volume of the lake, which stands as a new and original contribution of this research.

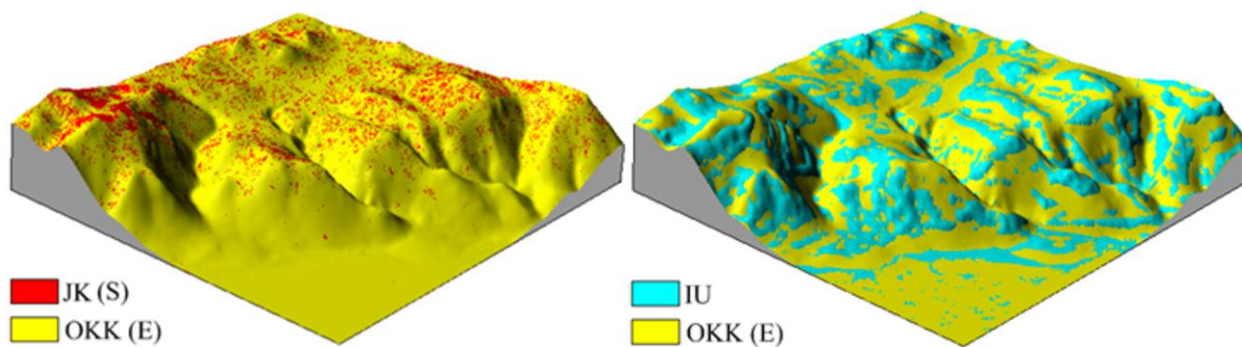
In the chapter on the development of DTM via vectorisation of contour lines, attention was given to the precision of HOK (Basic Croatian Map, scale 1:5000) and to the process of creation of DTM of the natural park Vrana Lake via vectorisation of contour lines from HOK. In order to conclude the differences between aerophotogrammetry based DTM and HOK based DTM, two methods of interpolation were compared, *Topo-to-Raster* and *ordinary cokriging*. The analysis also included the geomorphometric parameter of slope in the area of Meranjača and Mednjača ravines. Both models were concluded to be appropriate for geomorphologic analyses, however, in case of specific analyses such as cliffs or micro-denudational shapes, the *ordinary cokriging* method yields better results. Attention was given to the importance of this procedure in geomorphological analyses.

The chapter on the creation of DTM from the data gathered by photogrammetry also introduces phases necessary for the development of DTM, which are: converting data from one format to another, converting lines or break lines into individual points, topological correction of data, testing of interpolation methods and the selection of spatial resolution. This chapter also deals with the problem of interpolation of data gathered via aero photogrammetry. It also determines the level of stability and precision of the used interpolation methods, and it features a comparison of methods of interpolation through two-dimensional and three-dimensional spatial models. In addition, this chapter emphasizes the need to consider specific characteristics of the terrain used for analysis, which calls for an additional level of adaptation in terms of differential usage of specific methods.

The chapter on digital terrain analysis features the definition of the term and the goals of digital analysis, as well as emphasizing various factors which play a significant effect on the output data. Theoretical bases were applied to geomorphological or morphometric parameters (terrain elevation change, slope, exposition and slope curvature). By comparatively analyzing multiple models of spatial resolution, a conclusion was reached, in which is stated that the spatial resolution significantly affects the output results of the analysis of morphometric parameters. In addition, by applying landscape metrics on the example of morphometric parameter of slope, five most appropriate methods of interpolation were compared. Structural measures refer to the specific configuration of elements of the chosen morphometric parameter, which describes the size and the shape of the elements, their spatial distribution and their relation. Multiple examples demonstrated that those measures can be used for exact determination of differences between various methods of evaluation of morphometric parameters, which is of prime importance for applied geomorphologic researches.

In the Discussion and Conclusion chapter, the paper emphasizes on the fact that the output results of digital modelling and terrain analysis largely depend on the methods of data gathering, density of samples, methods of interpolation, features of the terrain, size of pixels and applied algorithms. By means of comparison of 17 methods of interpolation (9 deterministic and 8 geostatistical), the research concluded that there is no universal method of interpolation that would show the best output result in any sort of data sets, because the output results depend on the data gathering methods. In addition, it is emphasized that there is no universal best method of interpolation since all methods are conditioned by spatial and temporal component.

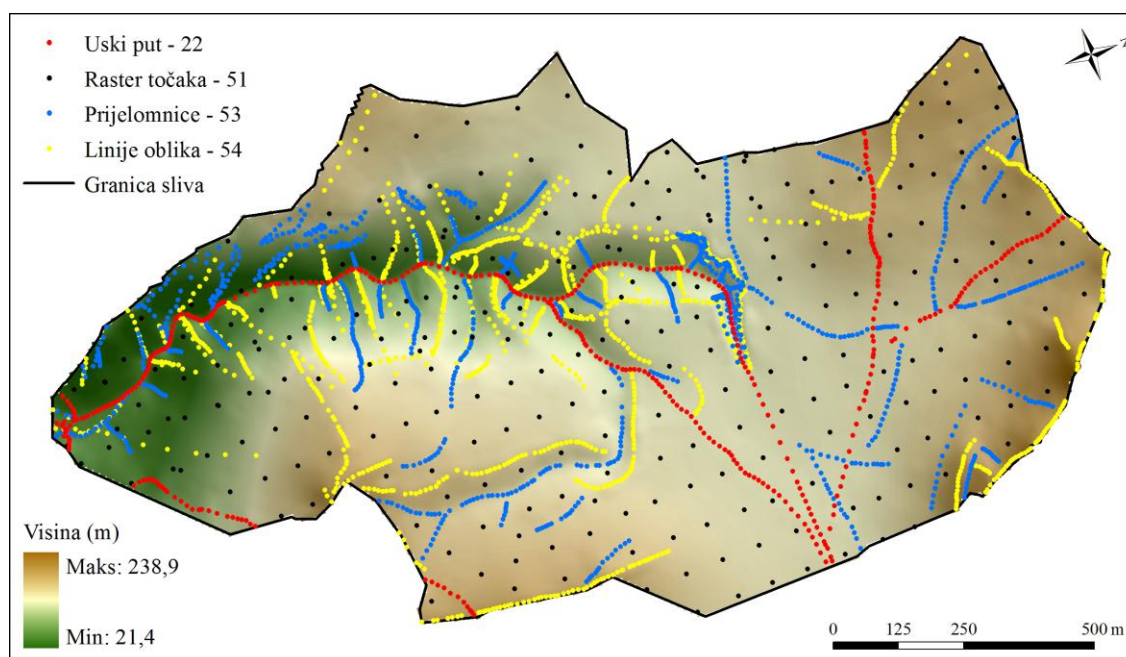
Sanja Lozić ■



U poglavlju o izradi DMR-a iz podataka prikupljenih fotografijom predstavljene su faze neophodne za izradu DMR-a, a to su: konvertiranje podataka iz jednog formata u drugi, konvertiranje linija, točnije lomnih točaka, u pojedinačne točke, topološka korekcija podataka, testiranje metoda interpolacije i odabir prostorne rezolucije. U okviru ovog poglavlja razrađen je problem interpolacije aerofotogrametrijski prikupljenih podataka, dokazana je mjera stabilnosti i točnosti primijenjenih interpolacijskih algoritama i provedena je usporedba metoda interpolacije kroz dvodimenzionalne i trodimenzionalne prostorne prikaze. Uz to, istaknuta je potreba uzimanja u obzir specifičnih karakteristika reljefa za koji se rade analize, zbog čega se javlja potreba prilagodbe u smislu diferencijalne primjene određenih metoda.

mjera krajobrazne strukture, na primjeru morfometrijskog parametra nagiba, uspoređeno je pet najboljih metoda interpolacije. Mjere strukture se odnose na specifičnu konfiguraciju elemenata odabranog morfometrijskog parametra, koja prikazuje veličinu i oblik elemenata, njihovu prostornu raspodjelu i međusobni odnos. Na primjerima je dokazano da se mjere strukture mogu koristiti za egzaktno utvrđivanje razlika između metoda izračuna vrijednosti morfometrijskih pokazatelja, što je od bitnog značaja za primijenjena geomorfološka istraživanja.

U raspravi i zaključku, istaknuto je da je istraživanje pokazalo da izlazni rezultati digitalnog modeliranja i analize reljefa ovise o metodama prikupljanja podataka, gustoći uzoraka, metodama interpolacije, osobinama reljefa, veličini piksela i



U poglavlju o digitalnim analizama reljefa, definiran je pojam i svrha digitalne analize reljefa i istaknuti su faktori koji imaju važan utjecaj na izlazne rezultate analize. Teorijske pretpostavke primjenjene su na geomorfološke, odnosno morfometrijske parametre (vertikalna raščlanjenost, nagib, ekspozicija i zakrivljenost padina). Komparativnom analizom više modela različitih prostornih rezolucija došlo se do zaključka da prostorna rezolucija znatno utječe na izlazne rezultate analize morfometrijskih parametara. Uz to, primjenom

primijenjenim algoritmima. Usporedbom 17 metoda interpolacije (9 determinističkih i 8 geostatističkih) zaključeno je da nema univerzalne metode interpolacije koja pokazuje najbolje rezultate za različite vrste podataka, jer izlazni rezultati ovise o metodama prikupljanja podataka. Također, istaknuto je da ne postoji najbolja metoda interpolacije jer su sve metode uvjetovane prostorno-vremenskom komponentom.

Sanja Lozić ■