

Denis Radoš, PhD in Technical Sciences

Denis Radoš was born on 12 September 1987 in Livno. He attended elementary and secondary school in Tomislavgrad. In 2006 he enrolled in undergraduate studies in Geography at the Department of Geography of the University of Zadar, where he graduated in 2009, acquiring the degree of Bachelor of Science (BSc) in Geography. In the same year he enrolled in graduate studies in Applied Geography and gained his MSc in Geography on 14 June 2011, with the thesis topic Physical-Geographic Features of Duvno Field (Duvanjsko polje). He was among the best students in his year. He received a scholarship from the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia for the entire duration of his studies. In 2008, he won the Federik Grosogono award from the Croatian Geographic Society – Zadar for outstanding achievements. He also received two Rector's awards from the University of Zadar in the academic years 2008/09 and 2009/10. During his studies, he participated in a number of international workshops and programmes and spent four weeks at the University of Maribor, and two weeks at the University of Primorska in Koper. In 2011, he enrolled in interdisciplinary postgraduate doctoral studies The Adriatic – A Link Between Continents organized by the Department of History and the Department of Geography of the University of Zadar, where he successfully defended his doctoral thesis under the mentorship of Prof. D. Magaš.

From July 2011, he worked as a junior researcher in the scientific project Geographic Basis of Development of the Littoral Regions of Croatia led by Prof. D. Magaš, and as an assistant at the Department of Geography of the University of Zadar. Independently, or as a co-author, he has published around 20 scientific and professional papers. His particular scientific interests are physical geography, especially geomorphology, wind power estimation, and the application of new technologies such as GIS in geography.

He speaks fluent English, and also uses German and Slovenian. He is a member of the Croatian Geographic Society – Zadar and secretary of the Naša Baština (Our Heritage) association in Zagreb. He is married and lives in Zadar.

The thesis entitled Topography Analysis in the Wind Estimation Process is 132 A4 pages long and includes 76 figures, of which most are thematic maps and cartograms. There are 29 tables, seven notes, 168 bibliographic units, two appendices, an abstract with key words in Croatian and English, and the author's biography. The thesis is the result of a young scientist's interest in researching the complex issue of the role of topography in the process of estimating wind potential, which determines the

Denis Radoš, MSc in Geography, and assistant and junior researcher at the Chair for Cartography and Geographic Information Systems (GIS) at the Department of Geography of the University of Zadar, has successfully defended his PhD thesis entitled Topography Analysis in the Wind Estimation Process within the doctoral studies in The Adriatic – A Link Between Continents organized by the Department of History and the Department of Geography of the University of Zadar. The thesis was defended in the Rectorate of the University of Zadar before a commission comprising Assoc. Prof. Dr. Sanja Lozić, chairperson, Full Professor with tenure Dr. Damir Magaš, mentor, and Assist. Prof. Dr. Mladen Pahernik.

Topography Analysis in the Wind Estimation Process

The thesis is divided into the following chapters:

- 1 Introduction
- 2 Wind Power
- 3 Process of Wind Potential Estimation
- 4 Observed Area
- 5 Analysis of Topographic Parameters
- 6 Data Preparation and Processing
- 7 Results
- 8 Conclusion



Denis Radoš, doktor tehničkih znanosti

Denis Radoš rođen je 12. rujna 1987. u Livnu. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Tomislavgradu. Godine 2006. upisao se na preddiplomski studij geografije na Odjelu za geografiju Sveučilišta u Zadru, koji je završio 2009. godine i stekao naslov prvostupnika geografije. Iste godine upisao se na diplomski studij primijenjene geografije, na kojem je diplomirao 14. lipnja 2011. s temom Fizičko-geografske značajke Duvanjskog polja i stekao naslov magistra geografije. Tijekom studija bio je jedan od najboljih studenata. Tijekom cijelog studija bio je stipendist Ministarstva znanosti obrazovanja i sporta Republike Hrvatske. Za izvanredan uspjeh tijekom studiranja 2008. godine dobio je nagradu Federik Grisogono Hrvatskoga geografskog društva – Zadar. Dobitnik je i dviju Rektorovih nagrada Sveučilišta u Zadru, za ak. god. 2008/09 i 2009/10. Tijekom studija sudjelovao je na više međunarodnih radionica i škola te je proveo četiri tjedna na Sveučilištu u Mariboru i dva tjedna na Sveučilištu Primorska u Kopru. Godine 2011. upisao je interdisciplinarni poslijediplomski doktorski studij Jadran – poveznica među kontinentima koji izvode Odjel za povijest i Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru, na kojemu je pod mentorstvom prof. dr. sc. D. Magaša pripremio i obranio doktorsku disertaciju.

Od srpnja 2011. radio je kao znanstveni novak na znanstvenom projektu Geografske osnove razvoja litoralnih regija Hrvatske, voditelja prof. dr. sc. D. Magaša, u suradničkom zvanju asistenta na Odjelu za geografiju Sveučilišta u Zadru. Samostalno ili u koautorstvu objavio je 20-ak znanstvenih i stručnih radova. Uži znanstveni interesi su mu fizička geografija, osobito geomorfologija, procjena vjetropotencijala, i primjena novih tehnologija, posebice GIS-a u geografiji.

Tečno govori engleski jezik, a služi se njemačkim i slovenskim. Član je Hrvatskoga geografskog društva – Zadar i tajnik udruge Naša baština, Zagreb. Oženjen je i živi u Zadru.

Disertacija Analiza topografske površine u procesu procjene vjetropotencijala sadrži 132 stranice A4 formata, 76 slika, od kojih znatan dio čine tematske karte i kartogrami, 29 tablica, 7 bilježaka, 168 bibliografskih jedinica i izvora, dva priloga, sažetak i ključne riječi na hrvatskom i engleskom jeziku te životopis autora. Rad je rezultat zanimanja mladog znanstvenika za istraživanjem složenoga pitanja uloge topografske površine u procesu procjene vjetropotencijala na temelju kojeg se utvrđuje isplativost izgradnje vjetroelektrane u nekom geografskom prostoru. Taj interes svakako je povezan s usmjerenošću autora prema fizičkogeografskim istraživanjima u funkciji stvaranja

Denis Radoš, mag. geogr., asistent i znanstveni novak na Katedri za kartografiju i geografski informacijski sustav (GIS) Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru, na doktorskom studiju Jadran – poveznica među kontinentima, koji izvode Odjel za povijest i Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru, obranio je 12. srpnja 2017. doktorsku disertaciju pod naslovom Analiza topografske površine u procesu procjene vjetropotencijala. Doktorat je na Rektoratu Sveučilišta u Zadru obranjen pred povjerenstvom koje su činili, izv. prof. dr. sc. Sanja Lozić, predsjednica, red. prof. u trajnom zvanju dr. sc. Damir Magaš, mentor i doc. dr. sc. Mladen Pahernik.

Analiza topografske površine u procesu procjene vjetropotencijala

Doktorski rad podijeljen je na sljedeća poglavlja:

1. Uvod
2. Energija vjetra
3. Proces procjene vjetropotencijala
4. Promatrano područje
5. Analiza topografskih parametara
6. Priprema i obrada podataka
7. Rezultati i rasprava
8. Zaključak

profitability of constructing wind power plants. This interest is undoubtedly related to the author's focus on physical-geographic research to discover opportunities of valorizing the natural basis for the development of society. In his thesis, Radoš discusses the example of modern wind power plants in the area of Danilo, near Šibenik. The thesis consists of eight chapters: Introduction, Wind Power, Process of Wind Potential Estimation, Observed Area, Analysis of Topographic Parameters, Data Preparation and Processing, Results and Conclusion. These chapters are divided into sections.

In the thesis, special attention is given to the features of topographic parameters that include altitude data, ruggedness and obstacles. Through the application of the appropriate methodology, zones of the spatial extent of wind power plants and climatologic features of the area are analyzed. Most of the research focuses on altitude data which approximate the actual relief around the wind power plant. WAsP software was used to perform analysis and simulation based on topographic and climatologic parameters, to determine the extent to which topographic parameters influence wind potential estimation.

In the introduction, Radoš explains the importance of approximating wind potential in wind power plant construction and emphasizes the importance of analysing the extent and precision of the parameters of the topographic surface. The need is emphasized to determine the optimal model for the highest estimate of net production, as well as the influence of the spatial extent of the topographic data and the equidistance of contour lines and densities of altitude data. In this respect, it is extremely important to determine the difference between the estimate and actual production.

In the second chapter, there is a short review of wind power throughout the world, and in Croatia in particular. The physical prerequisites of air mass movements and the effect of pressure gradient, Coriolis and friction forces are also discussed. The influence of the topographic surface on the planetary border layer, or the surface layer of atmosphere and the conditions of the air flow in it (laminar and turbulent) are then elaborated.

The third chapter discusses the methodology of wind potential estimation, which is very important in terms of financial outlay and economic sustainability when planning wind power plant construction. In the fourth chapter, the observed area of the Danilo wind power plant near Šibenik and its relief and climatologic features are discussed. The positioning of measuring poles in the observed location is shown and the dynamics of acquiring data on wind speed and direction described. The position of the Danilo wind power plant is discussed within the framework of the conditionally homogenous regionalization of the Republic of Croatia, so the morphological and morphographical features of the broad area are given. A section on climatology analyses mean annual temperatures, precipitation and wind characteristics in a 30-year period from 1981 to 2010.

The fifth chapter elaborates the topographic parameters with the emphasis on altitude data, ruggedness and obstacles. In the longer section on altitude data, a comprehensive review of terminological and conceptual issues regarding digital models of altitudes is given. The chapter explains global DEMs as sources of topographic altitude data. The next part explains in detail all the DEMs used in the research. The section on altitude data samples available in the Republic of Croatia mentions the Digital Altitude Model, the Croatian Basic Map in the scale 1:5000 (HOK) and the Topographic Map in the scale 1:25 000. The section on ruggedness discusses terminology, with a special emphasis on aerodynamic ruggedness, which is expressed as a parameter of surface ruggedness. In quantifying the degree of orographic complexity of the terrain and determining the areas in which the flow separates, the RIX (Ruggedness Index) is applied, with a figure of critical values in the researched area. The section on obstacles discusses the factors affecting the definition of an object as an obstacle for wind power plants.

Topography Analysis in the Wind Estimation Process

The sixth chapter discusses determining zones of spatial extent, with a special focus on previous studies in these issues. It also describes processes of collecting meteorological and altitude data, and preparing ruggedness maps and other data. Based on the experience of previous studies and insight into the terrain, four spatial extents of research are selected for the Danilo wind power plant, from a minimum of 5 km to a maximum of 20 km.

In the seventh chapter, Radoš presents the results of his research and a discussion. In terms of extracting contours with four equidistances in four observed areas with radii of 5, 10, 15 and 20 kilometres around each wind pole for each of the 6 DEMs, the results show 16 different layers of contours, a total of 96, representing the combination of contours of equidistance and area. In terms of altitude data samples, the DMV and contours digitalized from the 1:25 000 scale Topographic Map in are tested. Two aggregates of data are extracted from the topographic map: all contours (E=10 m plus auxiliary) and contours with 20-metre equidistance. Both data aggregates are combined with four zones, which give approximately eight combinations of altitude data. By using DMV points, two different raster models are constructed, from which the contours are

moгуćnosti vrednovanja prirodne osnove u razvoju društva. U svom radu Radoš je raspravio odabranu tematiku na primjeru suvremenih vjetroelektrana na prostoru Danila nedaleko od Šibenika. Građa je strukturirana u 8 osnovnih poglavlja, i to: Uvod, Energija vjetra, Proces procjene vjetro-potencijala, Promatrano područje, Analiza topografskih parametara, Priprema i obrada podataka, Rezultati i rasprava te Zaključak. Te glavne cjeline podijeljene su na potpoglavlja.

Posebna pozornost u disertaciji posvećena je značajka-ma topografskih parametara koji obuhvaćaju visinske podatke, hrapavost i prepreke. Uz primjenu odgovarajuće metodologije analizirane su zone prostornog obuhvata vjetroelektrane te reljefne i klimatološke značajke područja. Najveći dio istraživanja odnosi se na visinske podatke koji aproksimiraju stvarni reljef oko vjetroelektrane. Za analizu i simulacije koje su provedene na temelju topografskih i klimatoloških parametara korišten je program WAsP da bi se utvrdilo u kolikoj mjeri topografski parametri utječu na procjenu vjetro-potencijala.

U uvodnom dijelu Radoš je obrazložio važnost aproksimacije vjetro-potencijala na području izgradnje vjetroelektrane i istaknuo značenje analize obuhvata i detaljnosti parametara topografske površine. Naglašena je potreba za utvrđivanjem optimalnog modela za najveću procjenu neto proizvodnje, kao i utjecaj prostornog obuhvata topografskih podataka, ekvidistance izohipsi i gustoće visinskih podataka na proizvodnju. Pri tome je od velike važnosti koliko procijenjena proizvodnja odstupa od stvarne.

U drugom poglavlju dan je kratki pregled korištenja energije vjetra i razmotreno je, s toga motrišta, stanje u Hrvatskoj i u svijetu. Također, razmatraju se fizikalne pretpostavke gibanja zračnih masa, odnosno djelovanje sile gradijenta tlaka, Coriolisove sile i sile trenja. Nadalje, objašnjava se utjecaj topografske površine na planetarni granični sloj, tj. prizemni sloj atmosfere te svojstva kretanja zraka u njemu (laminarno i turbulentno).

U trećem poglavlju raspravljena je metodologija procesa procjene vjetro-potencijala, odnosno energetskog potencijala vjetra iznad nekog područja koje je od iznimnog značaja s obzirom na financijski aspekt i ekonomsku održivost gradnje vjetroelektrana. U četvrtom poglavlju analizirano je promatrano područje vjetroelektrane Danilo kod Šibenika i razmotrene su njegove reljefne i klimatološke značajke. Prikazan je smještaj mjernih stupova na promatranoj lokaciji i opisana dinamika prikupljanja podataka o brzinama i smjeru vjetra. Razmotren je položaj VE Danilo u okviru uvjetno-homogene regionalizacije RH te opisane morfološke i morfografske značajke šireg područja. U potpoglavlju o klimatološkim prilikama analizirane su prosječne godišnje temperature, oborine i značajke vjetra u 30-godišnjem razdoblju od 1981. do 2010.

U petom poglavlju razrađeni su topografski parametri s naglaskom na visinske podatke, hrapavost i prepreke. U nešto opširnijem potpoglavlju o visinskim podacima dan je iscrpan osvrt na terminološku i konceptualnu problematiku digitalnih modela visina. Nadalje, objašnjen je pojam globalnih DEM-ova kao izvora topografskih visinskih

podataka. U nastavku su detaljno objašnjeni svi DEM-ovi korišteni u istraživanju. U okviru potpoglavlja o uzorcima visinskih podataka dostupnim u RH navode se Digitalni model visina, Hrvatska osnovna karta u mjerilu 1:5000 (HOK) i Topografska karta u mjerilu 1:25 000. U potpoglavlju o hrapavosti razmatra se terminologija pojma, s posebnim osvrtom na pojam aerodinamičke hrapavosti koji se izražava kao parametar hrapavosti podloge. Za kvantifikaciju stupnja orografske kompleksnosti terena i određivanja

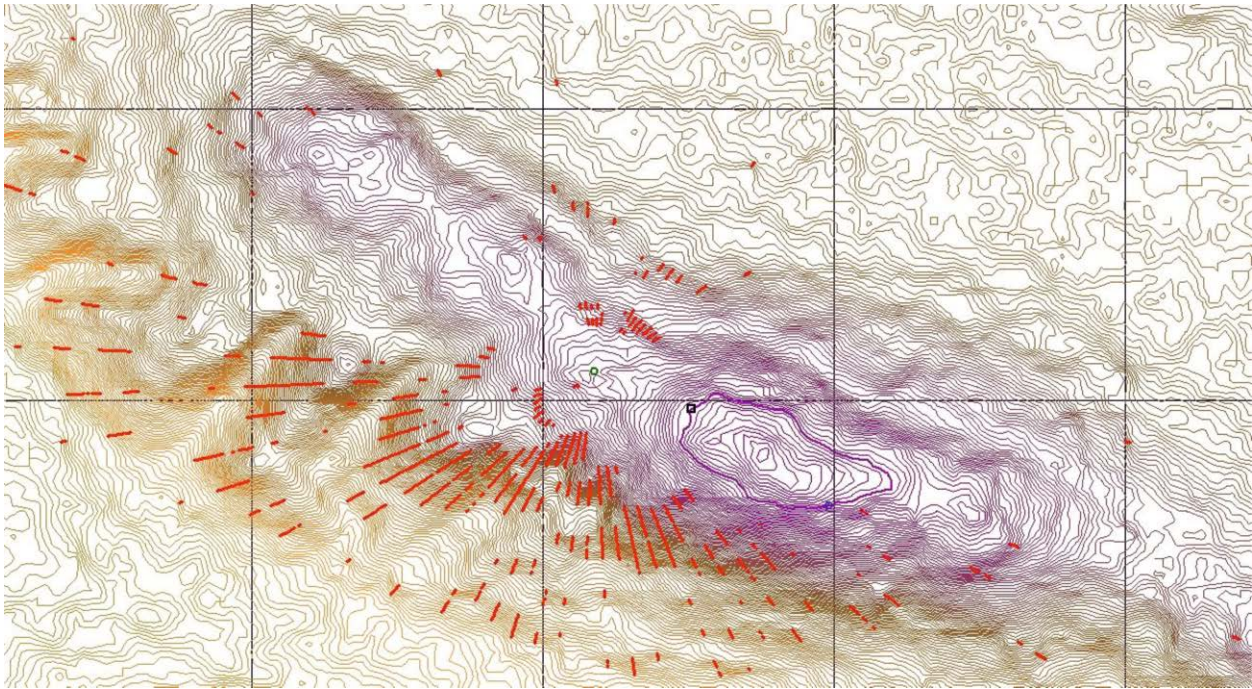
Analiza topografske površine u procesu procjene vjetro-potencijala

područja na kojima dolazi do odvajanja toka primijenjen je RIX (Ruggedness Index) uz prikaz kritičnih vrijednosti na istraživanom području. U potpoglavlju o preprekama razmotreni su čimbenici o kojima ovisi definiranje nekog objekta kao prepreke za vjetroelektranu.

U šestom poglavlju razmotreno je određivanje zona prostornog obuhvata, s posebnim osvrtom na dosadašnja istraživanja ove problematike. Također su opisani procesi prikupljanja meteoroloških, visinskih podataka, priprema karte hrapavosti i priprema ostalih podataka. Na temelju iskustava iz dosadašnjih istraživanja i uvidom u teren, odabrana su 4 prostorna obuhvata istraživanja za vjetroelektranu Danilo od min. 5 km do max. 20 km.

U sedmom poglavlju Radoš je predočio rezultate istraživanja i raspravu. Prema konceptu izdvajanja izohipsi s 4 ekvidistance na 4 promatrana područja od 5, 10, 15 i 20 km radijusa oko svakog vjetrostupa za svaki od 6 DEM-ova, u radu je dobiveno 16 različitih slojeva izohipsi, odnosno ukupno 96, koje reprezentiraju kombinaciju izohipsa određene ekvidistance i određenog područja. Od uzoraka visinskih podataka testirani su DMV i izohipse digitalizirane s Topografske karte 1:25 000. S topografske karte izdvojena su 2 skupa podataka: sve izohipse ($E = 10 \text{ m} + \text{pomoćne}$) i izohipse s ekvidistancom 20 m. Oba skupa podataka kombinirana su s četirima zonama, što daje ukupno 8 kombinacija visinskih podataka. Pomoću točaka DMV-a napravljena su dva različita rasterska modela iz kojih su izdvojene izohipse (4 zone i 4 ekvidistance), što je rezultiralo s 32 kombinacije visinskih podataka iz DMV-a, a s topografskom kartom ukupno je testirano 40 kombinacija visinskih podataka.

Rezultati simulacija za DEM-ove znatno odstupaju od stvarne proizvodnje, u najboljem slučaju 11,9 % (EUDEM), a u najlošijem 13,0 % (EarthENV). Radoš je obrazložio da su odstupanja vjerojatno povezana s reljefnim obilježjima



extracted (four zones and four equidistances), resulting in 32 combinations of altitude data from the DMV and, with the topographic map, a total of 40 combinations of altitude data which were tested.

The results of simulations for the DMVs deviate significantly from actual production; in the best case, 11.9 % (EUDem) and in the worst case, 13.0 % (EarthENV). Radoš explains that these deviations are probably related to the relief characteristics of the terrain (complex terrain). RIX values around the measuring poles reach values that average from 2.4 to 4.5 %, and in some cases over 10 %.

The results of simulations for altitude data samples show a deviation of estimated production from the values of actual production ranging from 13.10 % to 15.06 %, which is worse than all the tested DEMs. The highest estimate was acquired from the combination DMV 12.5 m x 12.5 m, from contours with an equidistance of 5 m within the 10-metre zone from the wind power plant. The lowest estimate was acquired from the filtered contours from the 1:25 000 Topographic Map. The RIX indicator shows similar values to the DEMs, varying from 3.7% to 4.3%.

Regarding the selection of the optimal zone in which it is necessary to model the terrain, the result is the same for models with all the tested equidistances. The research area with a 10-metre radius around each pole gives the highest estimate results; the lowest estimate is related to the zone 20 kilometres around the wind power plant. Within the correlation of the number of altitude points and the estimation of production, it cannot be said that the estimate increases or decreases with the rise of points. The correlation is very small and the trends are different, thus it can be affirmed that the number of altitude points which represent

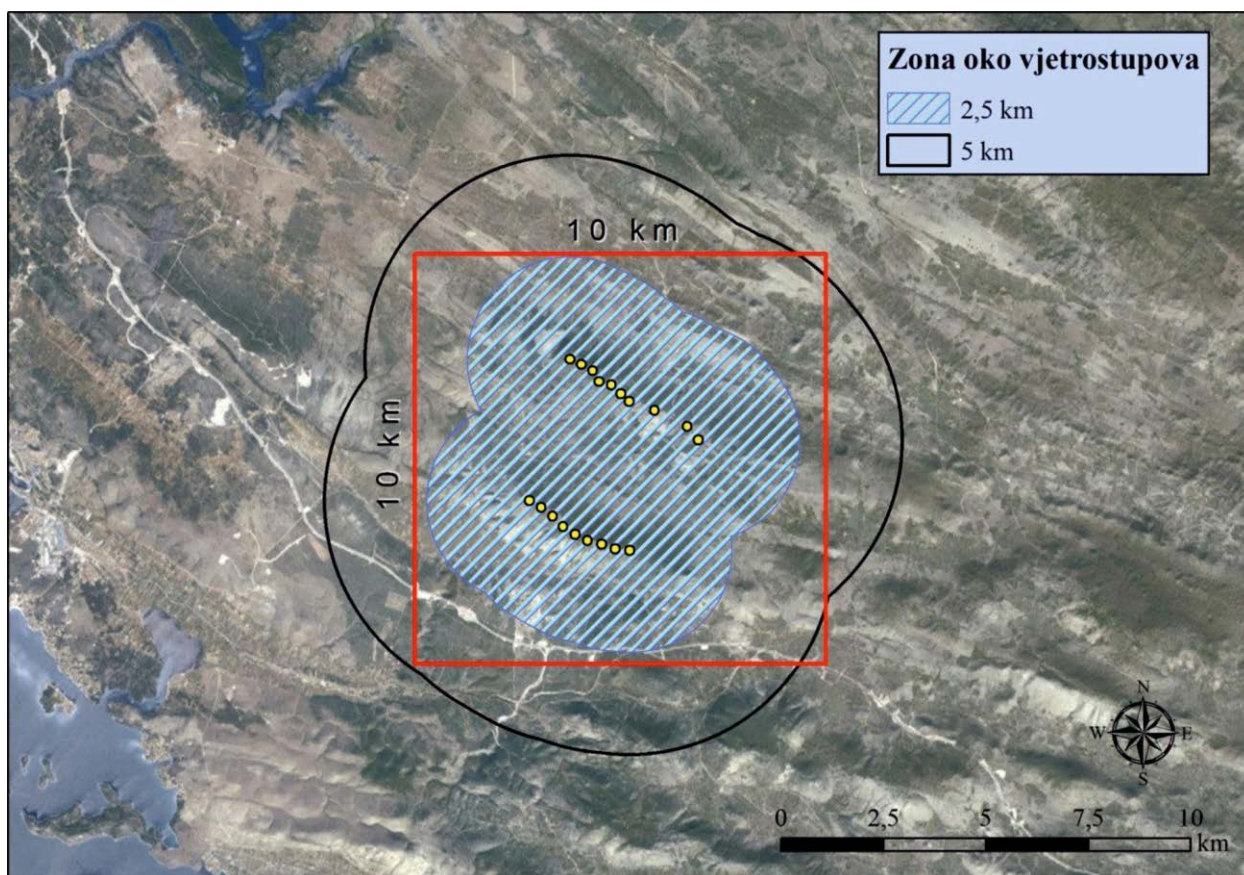
the terrain and the net estimation of production are not mutually related.

In the eighth and final chapter, the author summarizes and compares all the results, presents a review of the hypotheses and suggests recommendations for future studies. He concludes that the hypothesis according to which a larger spatial extent results in a higher estimate of energy is not proven. The hypothesis that the higher resolution terrain models result in higher production estimate is proven. Finally, the hypothesis that a higher number of altitude points results in a higher estimate of production is also not proven.

The thesis includes a recommendation for future studies in this and similar terrains with higher RIX values, which would mean using a CFD model to give better estimates in complex terrains in comparison to linear models such as WASP. The author also recommends using models which use meteorological data from more measuring poles as input data. He suggests considering several locations with similar topography to compare errors in net production estimates.

In conclusion, the thesis Topography analysis in the wind estimation process is successfully conceived, theoretically and methodologically grounded, and thematically realized in accordance with the principles of scientific research in geography and interdisciplinary research in studying and discussing the contents. Through a clearly designed analytical process, Radoš has reached quality conclusions and synthetic results and has given relevant answers to the set thesis and research aims, using appropriate scientific research methodology, and making a new scientific contribution to the development of geography.

Damir Magaš ■



terena (tzv. kompleksni teren). RIX vrijednosti oko mjernog stupa dosežu vrijednosti u prosjeku od 2,4 do 4,5 %, a u pojedinim sektorima i više od 10 %.

U radu su rezultati simulacija za uzorke visinskih podataka pokazali odstupanje procijenjene od stvarne proizvodnje u rasponu od 13,10 % do 15,06 %, što je lošije od svih testiranih DEM-ova. Najveću procjenu dala je kombinacija DMV 12,5 m x 12,5 m koju čine izohipse ekvidistance 5 m, u zoni od 10 km od vjetroelektrane. Najmanju procjenu daju filtrirane izohipse s TK 1:25 000. RIX pokazatelj slične je vrijednosti kao i kod DEM-ova, a njegove vrijednosti variraju od 3,7 % do 4,3 %.

Glede odabira optimalne zone u kojoj je potrebno modelirati teren, na modelima sa svim testiranim ekvidistancama rezultat je isti. Prostor istraživanja radijusa 10 km oko svakog stupa daje najveće rezultate procjene; najmanja procjena vezana je za zonu od 20 km oko vjetroelektrane. U korelaciji broja visinskih točaka i procjene proizvodnje ne može se reći da s porastom broja točaka procjena raste, ali ni da pada. Korelacija je vrlo mala, a trendovi različiti pa se može utvrditi da broj visinskih točaka kojima je predstavljen teren i neto procjena proizvodnje nisu međusobno povezani.

U osmom, zaključnom poglavlju autor je sumarno prikazao i usporedio sve rezultate, dao osvrt na hipoteze, kao i preporuke za buduća istraživanja. S obzirom na postavljene hipoteze iznio je zaključak da hipoteza prema kojoj će

veći prostorni obuhvat rezultirati većom procjenom energije nije dokazana, ali je dokazana hipoteza prema kojoj modeli terena veće rezolucije rezultiraju većom procjenom proizvodnje. I na kraju, nije dokazana hipoteza prema kojoj veći broj visinskih točaka rezultira većom procjenom proizvodnje.

Rad sadrži i preporuku za buduća istraživanja na ovom i sličnim terenima s većim vrijednostima RIX-a, a ta je da se razmotri korištenje CFD modela koji, prema dosadašnjim istraživanjima, u kompleksnim terenima daju bolje procjene od linearnih modela kojima pripada WASP. Također, preporučljivo je koristiti modele koji kao ulazni podatak koriste meteorološke podatke s više mjernih stupova. Predlaže razmatranje više lokacija slične topografije radi usporedbe grešaka procjene neto proizvodnje.

Zaključno se može ustvrditi da je disertacija Analiza topografske površine u procesu procjene vjetropotencijala uspješno koncipirana, teorijski i metodološki kvalitetno utemeljena, a tematski ostvarena u skladu s načelima znanstvenoistraživačkog geografskog i interdisciplinarnog pristupa u proučavanju i raspravljanju razmotrene građe. Jasno osmišljenim analitičkim procesom Radoš je došao do kvalitetnih zaključaka i sintetskih rezultata te u cijelosti dao relevantne odgovore na postavljene teze i ciljeve predmeta istraživanja, a uz upotrebu odgovarajuće znanstvenoistraživačke metodologije dao je odgovarajući novi znanstveni doprinos razvoju geografije.

Damir Magaš ■