



KVANTITATIVNI MODEL VREDNOTENJA GEODIVERZITETE NA PODLAGI RAZNOLIKOSTI IN GOSTOTE ELEMENTOV GEODIVERZITETE NA PRIMERU KONTAKTNEGA KRASA MED KOČEVSKO REKO TER KOSTELOM

*Izvirni znanstveni članek
COBISS 1.01
DOI: 10.4321/dela.54.75-103*

Izvleček

Članek prikazuje nov objektivni sistematičen pristop vrednotenja geodiverzitete na primeru območja med Kočevsko Reko in Kostelom. Metoda temelji na prostorski raznolikosti in gostoti elementov geodiverzitete ter obenem upošteva razgibanost površja. Metodo smo aplicirali na območju kontaktnega krasa, kjer smo evidentirali vroče točke geodiverzitete. Metodo smo na podlagi evalvacije ocenili kot primerno za vrednotenje geodiverzitete.

Ključne besede: geomorfologija, GIS, digitalni model višin, varstvo narave, Dinarski kras, kras

: * Ulica Metoda Mikuža 16, 1000 Ljubljana

: ** Nova pot 4, 6240 Kozina

: *** Streliška ulica 24, 1330 Kočevje

: e-pošta: sasostefanovski34@gmail.com, jakagrak@gmail.com, galhocevar7@gmail.com

QUANTITATIVE MODEL FOR GEODIVERSITY EVALUATION BASED ON ELEMENT DIVERSITY AND DENSITY IN THE STUDY AREA OF CONTACT KARST BETWEEN KOČEVSKA REKA AND KOSTEL

Abstract

The article presents a new objective systematic approach for geodiversity evaluation in the study area between Kočevska Reka and Kostel. The method is based on spatial diversity and density of geodiversity elements while terrain ruggedness is also taken into account. It was used on a contact karst area, where geodiversity hotspots were identified. The method was evaluated as appropriate for geodiversity evaluation.

Keywords: geomorphology, GIS, digital elevation model, nature conservation, Dinaric karst, karst

.....

1 UVOD

Človeško zavedanje o naravni pestrosti in njenem pomenu za družbo ima dolgo zgodovino. Ko se je človek začel zavedati pomanjkanja naravnih virov, so se pojavile prve težnje po zavarovanju naravno pestrih območij. Večina prvih zavarovanih območij na svetu je temeljila na varovanju nežive narave. Primer tega sta vzpostavitev prvega geološkega rezervata na svetu Siebengebirge leta 1838 in prvega narodnega parka Yellowstone leta 1872 (Gray, 2013). Kasneje se je pozornost obrnila na živo naravo in njeno proučevanje je doseglo velik obseg. Biodiverziteta, kar pomeni pestrost naravnih virov, je postala glavna skrb varovanja. Šele v zadnjem času se pojavljajo težnje za varovanje nežive narave in s tem proučevanje njene pestrosti. Zanj se uporablja izraz geodiverziteta. Beseda geodiverziteta je skovanka, ki je nastala v odgovor na biodiverziteti konec 20. stoletja med avstralskimi geomorfologi (Gray, 2004). Poročilo *Australian Heritage Commission* iz leta 2002 jo definira kot »naravni razpon geoloških, geomorfoloških in pedoloških značilnosti«. Njeno proučevanje se je začelo v Avstraliji, eden prvih, ki je obširno pisal o njej, pa je bil Gray. V svoji prvi knjigi o geodiverziteti jo definira kot pestrost nežive narave v povezavi z ljudmi, pokrajino in kulturo, vpelje element človeka. Njegova definicija je torej bolj splošno geografska kot geološka. V svoji drugi knjigi (2013) pa o njej že govori kot o pestrosti nežive narave in protiteži biodiverzitete. Podobno je na začetku širok pomen geodiverzitete zagovarjal Stanley (2002), ki celo biodiverziteti šteje kot del geodiverzitete. Ta princip se ni uveljavil in tako danes geodiverziteti opredeljujemo kot pestrost nežive narave na določenem območju, pri čemer so definicije še vedno neenotne.

V Sloveniji ima vrednotenje nežive narave dolgo tradicijo, vendar je do pred nekaj leti šlo le za inventarizacijo in kvalitativno, subjektivno pogojeno vrednotenje. Prvi

primeri vrednotenja so se pojavili leta 1958 v okviru zakona o naravnih spomenikih. Ta je obravnaval vse elemente enako ne glede na njihovo pomembnost (Stepišnik, Repe, 2015). Kasneje se je podobno inventariziralo za potrebe popisa naravne dediščine (Peterlin in sod., 1976). Inventar so dopolnjevali še leta 1988 (Skoberne, Peterlin, 1988a; Skoberne, Peterlin, 1988b) in 1991 (Skoberne, Peterlin, 1991). Baza inventarja neživih elementov naravne dediščine obstaja v sklopu Zakona o ohranjanju narave (2004). Ti popisi so kljub svoji vrednosti z vidika dokumentiranja vrednotili le kvalitativno ter subjektivno. Z geodiverzitetjo kot definiranim pojmom se je prvi v Sloveniji obširneje ukvarjal Erhartič (2007), ki je pisal o definiranju geodiverzitete in njenem kvalitativnem vrednotenju. Kvalitativno vrednotenje je prenesel v prakso na primeru vrednotenja slapov (Erhartič, 2010). Premik h kvantitativnemu vrednotenju sta med prvimi naredila Stepišnik in Repe (2015) na primeru Rakovega Škocjana. Bila sta tudi prva, ki sta uporabila izraz elementi geodiverzitete v slovenski literaturi. Stepišnik in Trenchovska (2016) sta razvila kvantificirano metodo vrednotenja in jo uporabila na primeru Zgornje Pivke. Kot elemente geodiverzitete sta štela le geomorfološke in hidrološke. Stojilković (2019) je na primeru Logarske doline dodal še elemente litologije in primerjal rezultate z rezultati v primeru njihove neuporabe. Ugotovil je, da je uporaba litologije pri vrednotenju smiselna le v primeru, da se na območju pojavlja veliko različnih kamnin in to vpliva na pojav drugih elementov geodiverzitete.

Medtem ko so metode za proučevanje biodiverzitete zelo dobro razvite, so le te za geodiverzitetjo še v fazi razvijanja. Pri proučevanju geodiverzitete gre za to, da na določenem območju ugotovimo področja z večjo naravno pestrostjo in tista z manjšo. Pri ugotavljanju geodiverzitete se teži k čim bolj objektivnim, kvantificiranim, avtomatiziranim metodam, ki so primerljive in aplikativne na različnih območjih. Eden največjih izzivov je razviti metodo, ki bo čim manj subjektivna in s tem primerljiva na več območjih. Panizza (2003) je med prvimi pisal o inventarizaciji relevantnih elementov geodiverzitete, ki se jim pripiše kvalitativne ter kvantitativne vrednosti glede na težo ki jo imajo za pestrost območja.

Velik vpliv na kvantitativne metode, uporabljene v slovenski literaturi in tudi širše, ima delo Serrana ter Ruiz Flaña (2007), ki sta razvila metodo vrednotenja geodiverzitete z uporabo indeksa. Predstavila sta enačbo ki predstavlja temelj številnim kasnejšim metodam tako v slovenski kot tudi v svetovni literaturi. Enačba se glasi:

$$Gd = \frac{Eg \times R}{LnS}$$

V enačbi Gd pomeni indeks geodiverzitete, Eg število identificiranih elementov geodiverzitete, R je indeks hrapavosti in LnS naravni logaritem površine enote. Tako na vsako enoto površine dobimo vrednost indeksa, ki nam pove, kolikšna je tam pestrost nežive narave. Iz te enačbe izhajajo številne kasnejše metode, ki so nastale in še nastajajo z nadgradnjo in prilagoditvami. Pomembna je zaradi vpeljave indeksa

hrapavosti površja, ki nam pove, koliko je teren razgiban. Čeprav se v novejših metodah ta velikokrat zamenja z drugimi indeksi, je pomenil prvi korak k upoštevanju pomena razgibanosti terena za geodiverzitetu v nasprotju z zgolj subjektivnim štetjem elementov. Problem tega indeksa v osnovni obliki je ta, da vključuje samo raznolikost elementov geodiverzitet, ne zajema pa števila vseh elementov, torej gostote elementov na enoto območja. Avtorji v preteklosti gostote večinoma niso upoštevali (npr. Serrano, Ruiz Flaño, 2007; Stepišnik, Trenchovska, 2016). Redke raziskave upoštevajo tudi samo gostoto (Forte in sod., 2018); literature, ki bi upoštevala oboje, nismo zasledili. Pri vrednotenju geodiverzitet nekega območja je pomembno tudi, kako pogosto se pojavljajo posamezni elementi geodiverzitet na nekem območju in ne samo, koliko različnih elementov tam najdemo. Razlog vidimo v tem, da nam raznolikost ne da dovolj jasne slike o pestrosti nežive narave na nekem območju. Prihaja do situacij, v katerih imamo na dveh območjih enako število različnih elementov, posledično enak indeks geodiverzitet (ob predpostavki enake hrapavosti površja), vendar ima lahko eno območje veliko več primerkov teh elementov. Se pravi, če ponazorimo na primeru: prvo območje ima dve vrtači in eno slepo dolino, drugo pa šest vrtač in tri slepe doline, indeks geodiverzitet pa je brez upoštevanja gostote enak. Po našem mnenju bi to moralo pomeniti večjo geodiverzitetu, zato potrebujemo novo kvantitativno metodo, ki bo z vključevanjem gostote elementov poudarila razlike med območji sorodne raznolikosti. Menimo, da je število različnih elementov, torej raznolikost, še vedno pomembnejša, zato jo je treba ustrezno obtežiti. Poudarjanje gostote lahko poveča indeks na območjih, kjer je raznolikost majhna, se pa določen element pojavlja zelo pogosto, na primer na kraških ravninah, ki so na gosto posejani z vrtačami, ostali elementi geodiverzitet pa so bolj redki. Tega si ne želimo, zato vpeljujemo obtežitve, primerljivost dejavnikov pa dosežemo s standardizacijo merskih lestvic.

Namen tega članka je razvoj nove kvantitativne objektivne metode vrednotenja nežive narave na območju kontaktnega krasa med Kočevsko Reko in Kostelom, ki v okvir geodiverzitet ne vključuje zgolj raznolikosti elementov geodiverzitet, temveč tudi njihovo prostorsko zgoščenost. Namen smo dosegli s pomočjo zastavljenih ciljev:

1. Pregled obstoječe literature o proučevanem območju, geodiverziteti in metodah njenega vrednotenja.
2. Izdelava podrobne morfografske karte proučevanega območja s pomočjo terenskega dela, pregleda literature ter kartografskega gradiva in GIS tehnik na območju med Kočevsko Reko in Kostelom.
3. Razvoj in aplikacija inovativne objektivne delno avtomatizirane metode vrednotenja geodiverzitet na izbranem območju.
4. Evalvacija metode in dobljenih rezultatov.

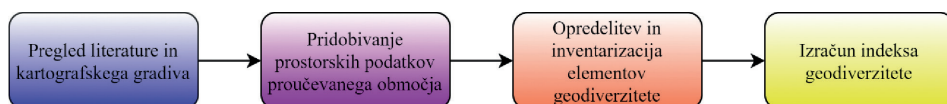
Članek je razdeljen na štiri sklope. Prvega predstavlja metodološki sklop raziskave, kjer so predstavljeni koraki inventarizacije in vrednotenja geodiverzitet. V drugem delu članka najdemo analizo naravnogeografskih značilnosti proučevanega območja

s kartami elementov geodiverzitete, ki so bili evidentirani. Opis rezultatov vrednotenja geodiverzitete sledi v tretjem delu, zadnjega pa sestavlja razprava z evalvacijo in zaključki.

2 METODE IN MATERIALI

Prvi korak je predstavljal pregled literature in kartografskega gradiva območja. Kot zadnji je z geomorfološkega vidika območje proučeval Hočevar (2018). Osredotočil se je predvsem na kontaktnokraške pojave, ki so značilni za območje. Izdelal je tudi morfografske karte slepih in zatrepnih dolin na območju, kar je bilo naše izhodišče za inventarizacijo elementov geodiverzitete. V prvi fazi smo prav tako proučili obstoječe kartografsko gradivo, ki se pojavlja v obliki osnovnih geoloških kart in kartografskega gradiva različnih meril (1 : 5.000 in 1 : 25.000).

Slika 1: Metodološki sklopi raziskave.



Drug metodološki sklop predstavljata pridobivanje prostorskih podatkov proučevanega območja ter njihova matematična obdelava, ki je pripomogla k celovitejši in natančnejši inventarizaciji elementov. Pri GIS analizah smo uporabili programski orodji Saga GIS 2.3.2 in ArcGIS Pro 2.5.

Preglednica 1: Uporabljeni podatkovni sloji.

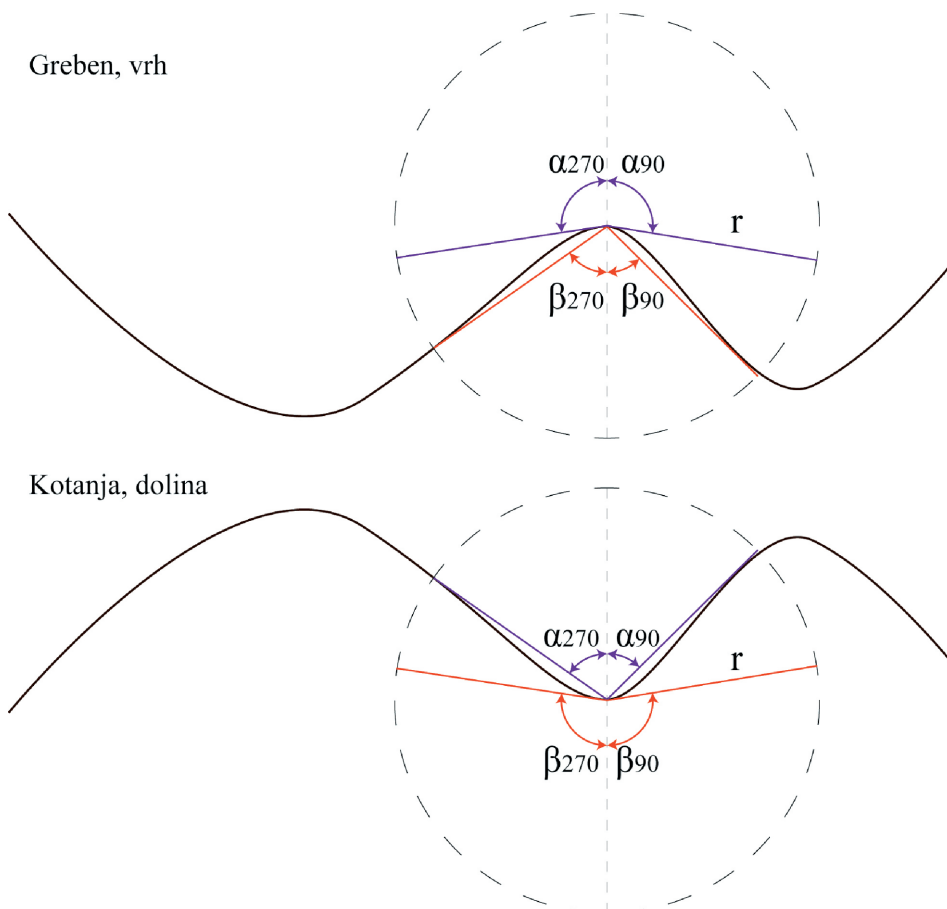
Podatkovni sloj	Vir	Leto
Digitalni model višin (DMV)	Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO)	2015
Sloj vodotokov	ARSO	2005
Digitalni ortofoto (DOF)	Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS)	2018
Kataster jam	Jamarska zveza Slovenije (JZS)	2019

Model inventarizacije in vrednotenja geodiverzitete v večinski meri temelji na digitalnem modelu višin (DMV) s prvotno prostorsko ločljivostjo 1 x 1 m (ARSO, 2015). Ločljivost DMV-ja smo prilagodili velikosti proučevanega območja. Pretvorili smo jo s pomočjo orodja *Resample* (ArcGIS Pro), kjer smo ločljivost zmanjšali s pomočjo metode kubične konvolucije. Sprememba ločljivosti je pripomogla k zmanjšanju spominske in procesorske ter posledično časovne potratnosti postopkov preračunavanja DMV-ja, obenem pa smo ohranili ločljivost, ki je omogočala nemoteno proučevanje

oblikovanosti površja. Na podlagi prevzorčenega DMV-ja smo izdelali kontinuirane vizualne prikaze, ki so služili kot pomoč pri inventarizaciji elementov geodiverzitete. Poleg karte naklonov, deleža vidnega neba, analitičnega senčenega površja in večsmerne analitičnega senčenega površja (vsi izdelani v ArcGIS Pro), smo s pomočjo programskega orodja Saga GIS izračunali indeks topografske odprtosti površja (ang. *Topographic openness index*). Indeks topografske odprtosti (ITO) služi kot vizualizacijska tehnika (Yokohama in sod., 2002). V zadnjih letih je bila prepoznana tudi njegova uporabnost pri avtomatiziranih postopkih prepoznavanja reliefnih maksimumov in minimumov (Meng in sod., 2018) in kot podlaga za geomorfološko kartiranje (Chiba in sod., 2008). Prekrivanje variacije topografske odprtosti črno bele barvne lestvice in kontinuiranega prikaza naklonov z rdečo barvno lestvico imenujemo rdečerelefní slikovni zemljevid (ang. *red relief image map*) (Chiba in sod., 2008).

Indeks topografske odprtosti temelji na razliki zenitalnega in nadirnega kota za vsako celico pri poljubnem sosedstvu. V primeru pozitivne topografske odprtosti je zenitalni kot večji od nadirnega, kar pomeni, da se celica nahaja na vzpetini. Za negativno odprtost velja ravno nasprotno, torej predpostavljamo lego v kotanji ali dolini. S pomočjo ITO lahko izvedemo avtomatiziran postopek prepoznavanja reliefnih oblik (Meng in sod., 2018). V našem primeru smo ITO uporabili za prepoznavanje reliefnih maksimumov in minimumov, ki smo jih kasneje delili na kraške in fluvialne. Pri izračunu za 8 smeri neba smo uporabili krožno sosedstvo z radijem 300 metrov. Kot reliefni minimum in maksimum smo definirali vsa območja, kjer je eden izmed kotov večji od drugega za vsaj 2° in obenem vzpetina dosega višino 10 metrov ali v primeru kotanj globino 3 metre. Dobljene rezultate smo kasneje tudi ročno uredili s pomočjo vizualizacijskih tehnik in terenskega ogleda dela prepoznanih oblik.

Slika 2: Koncept izračuna topografske odprtosti za sosedstvo r . Ko je zenitalni kot večji od nadirnega, se celica locira na lokalnem reliefnem maksimumu, v primeru prevlade nadirnega kota celica leži v lokalni reliefni depresiji



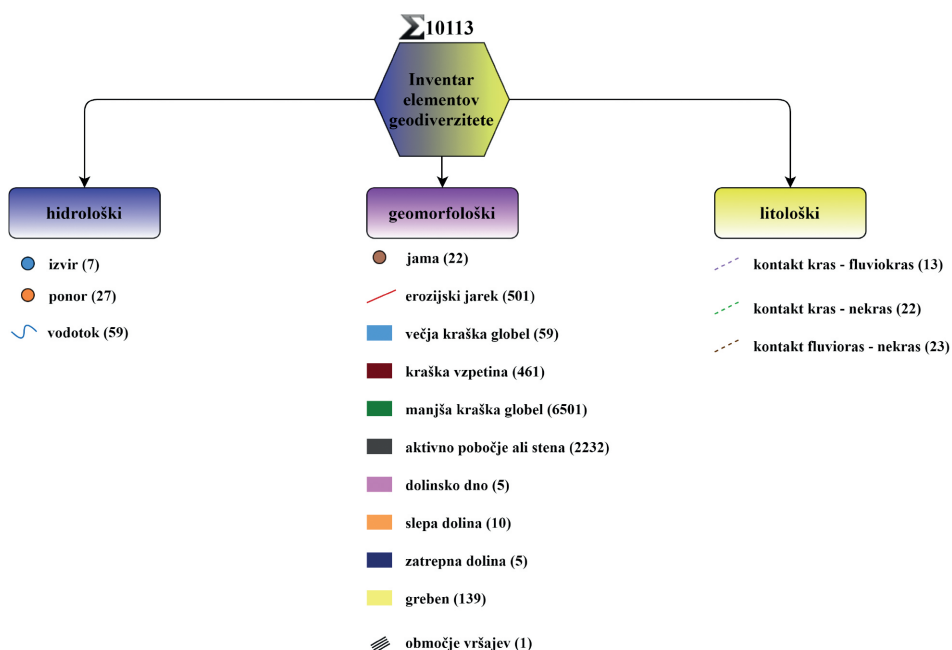
Tretji metodološki korak je bil vezan na opredelitev elementov geodiverzitete na območju ter njihovo inventarizacijo. Inventarizacija ni potekala zgolj s terenskim delom, temveč tudi z uporabo kvantitativnih algoritmov in drugih GIS tehnik. S pomočjo terenskega dela in GIS vizualizacij ter analiz smo opredelili 18 različnih elementov geodiverzitete, ki se razlikujejo po vektorskem zapisu in tipizaciji elementov. Kot elemente geodiverzitete smo šteli hidrološke, litološke in geomorfološke pojave na območju.

Sprva smo inventarizirali elemente, ki jih je s pomočjo terenskega dela na območju opredelil Hočevar (2018). Šlo je za hidrološke in geomorfološke elemente kontaktnega krasa. Sledila je inventarizacija reliefnih minimumov in maksimumov, pridobljenih z

ITO. Prepoznane elemente smo razdelili na fluvialne in kraške s pomočjo osnovne geološke karte, list Delnice (1984). Po litološki členitvi smo kraške minimume razdelili glede na globino 40 metrov. Oblike, ki so globlje od 40 metrov, smo poimenovali večje kraške kotanje. Te sestavljajo večinoma uvale ter nekatere globlje kotanje, ki bi jih lahko opredelili kot večje vrtače. Kotanje, ki ne dosega globine 40 metrov, smo smatrali za vrtače in manjše uvale – manjše kraške kotanje. Kraške reliefne maksimume sestavljajo kopasti vrhovi (Stefanovski, Repe, 2019), vendar smo s pomočjo ITO prepoznali tudi dvige površja, ki jih ne moremo opredeliti kot kopastokraške. Na kraških ravninah smo tako prepoznali tudi dvignjeno površje med vrtačami, ki tvorijo poligonalne mreže, ponekod pa so izrazito vezani na lokalno geološko strukturo in bi jih lahko opredelili kot rebra. Med kraške vzpetine smo šteli tudi vrhove, ki so na stiku geomorfnih sistemov. Različnih tipov kraških vzpetin nismo razlikovali. Reliefne maksimume fluvialnega površja smo opredelili kot grebene, medtem ko smo kot minimume definirali dolinska dna. Dolinsko dno Reke nam je prepoznalo kot dva ločena mnogokotnika, saj se vmes dolina razširi in je uravnano, česar model ni smatral za reliefni minimum. Oba mnogokotnika smo združili ročno. Problem bi v prihodnje najverjetneje rešili s povečanjem lokalnega okna analize. Postopek se prav tako ni izkazal pri prepoznavanju erozijskih jarkov. Te smo, v želji po večji natančnosti, zarisali s pomočjo vizualizacijskih tehnik ter del rezultatov daljinskega kartiranja tudi preverili na terenu.

Kot posebno območje smo evidentirali območje vršajev. Zaradi litološkega kontakta se je oblikovala strukturna stopnja, kjer se občasno ob padavinah pojavlja tudi površinska voda. Manjši občasni vodotoki, ki so oblikovali erozijske jarke, so premestili material na nižje ležečo uravnano. Meje vršajev so zabrisane, zato smo jih smatrali kot območje vršajev. Kot element geodiverzitete smo opredelili tudi aktivna pobočja in stene. To so pobočja, ki dosega naklone, strmejšje od 30° (Stepišnik, 2010). Za ta območja je značilna večja dinamika pobočnih procesov in njihovega preoblikovanja. Kot mejni kriterij smo določili, da mora aktivno pobočje imeti reliefno energijo vsaj 10 metrov.

Slika 3: Inventar elementov geodiverzitete proučevanega območja.



Območje je znano po pojavih kontaktnega krasa, zato smo se odločili upoštevati tudi litološke stike. Litologijo na območju smo klasificirali v tri razrede: kraška, fluviokraška in nekraška (fluvialna). Posledično smo dobili tudi tri različne linijske elemente glede na to, kateri litološki podlagi se stikata. Te je bilo smiselno obravnavati ločeno, saj se na površju stik apnenca in dolomita odraža drugače kot recimo stik med apnencem in nekraško kamnino (Gostinčar, 2016). Meje smo prvotno zarisali s pomočjo OGK, list Delnice (1984) ter jih nato na nekaterih lokacijah prilagodili s pomočjo vizualizacijskih podatkovnih slojev, saj je bila nenatančnost geološke karte precej očitna.

Zadnji metodološki sklop sestavlja izračun indeksa geodiverzitete proučevanega območja. Slovensko kvantitativno proučevanje geodiverzite je v večinski meri sledilo metodi, ki sta jo razvila Serrano in Ruiz-Flaño (2007). Stepišnik in Trenchovska (2016) sta v kontekstu objektivnosti metodo nadgradila in analizo izvedla na enakomernih prostorskih enotah v obliki gridne mreže celic. Indeks geodiverzitete dobimo z enačbo:

$$Gd = Eg \times R$$

kjer je Gd indeks geodiverzitete, Eg število različnih elementov geodiverzitete in R koeficient hrapavosti. Metoda je bila uporabljena na številnih območjih (Stepišnik,

Trenchovska, 2016; Stepišnik, Trenchovska, 2017; Trenchovska, Stojilković, 2019; Stojilković, 2019).

Pri uporabljeni metodi smo evidentirali možnosti nadgradnje. Kot prva se javlja neuporaba gostote elementov pri vrednotenju geodiverzitete. Geodiverzitete ne razumemo zgolj kot raznovrstnost elementov na nekem območju, ampak vključuje tudi gostoto elementov. V primeru uporabljene metode Stepišnika in Trenchovske (2016) to pomeni, da sta si območji z enako raznolikostjo in hrapavostjo površja v smislu geodiverzitete enakovredni, čeprav je lahko na nekem območju elementov geodiverzitete veliko več. Uporaba mreže štirikotnikov pri prostorskih analizah ima tudi svojo slabost, ki na prvi pogled ni očitna. Z vidika proučevanja prostorskih enot so šesterokotne celice precej natančnejša možnost kot mreža štirikotnikov, saj natančneje opredeljujejo sosedstvo, saj so v primeru včrtanih krožnic oglišča šestkotnika krožnici bližje kot v primeru kvadratov. Od likov, s katerimi lahko teseliramo površje, so šestkotniki po obliki najbližje krogom, njihov efekt roba pa je najmanjši (Mlekuž Vrhovnik, 2020). Prav tako nismo uporabili indeksa hrapavosti površja, saj ta favorizira strma pobočja in stene, ki smo jih opredelili kot element geodiverzitete. Problematično je tudi pomanjkanje standardizacije, kar je deloma izpostavil tudi Stojilković (2019), ko je primerjal dva pristopa. Problem je rešil z normalizacijo rezultata, v našem primeru pa je bilo treba standardizacijo izvesti pred končnim izračunom indeksa, saj morajo biti vsi elementi formule na enaki skali.

Prvi korak analize je postavitev šestkotniške mreže. Mrežo so sestavljali šestkotniki s površino $0,17 \text{ km}^2$. Skupno se je na območju razprostiralo 649 šestkotnikov. Vsakemu šestkotniku smo določili število vseh elementov znotraj njegovih meja (gostota) in število različnih elementov (raznolikost), ki se pojavijo na prostorsko enoto. Kot pokazatelj razgibanosti površja smo uporabili reliefno energijo, ki prikazuje razliko med najvišjo in najnižjo nadmorsko višino znotraj vsake šestkotne celice.

Sledila je linearna standardizacija dejavnikov. S tem dobijo vsi dejavniki ter končni rezultat enotno mersko lestvico (od 0 do 1). Končen korak pred izračunom je bila obtežitev dejavnikov. Te smo obtežili s pomočjo Saatyjeve tehnike obteževanja – analitično hierarhičnega procesa (AHP) (Saaty, 1994).

Obtežitev vseh treh dejavnikov je bila potrebna, saj si ti niso enakovredni. Ključno je bilo, da raznolikost definiramo kot najpomembnejši dejavnik indeksa geodiverzitete. V primeru enačenja z gostoto bi kot vroče točke geodiverzitete potencialno evidentirali območja z visoko gostoto in relativno nizko ali zmerno raznolikostjo, kar je z vidika proučevanja geodiverzitete zgrešen pristop. To bi se izkazalo za problematično predvsem na območju kraškega ravnika, kjer je gostota elementov največja. Obenem reliefna energija ne sme biti poglavitni dejavnik določanja vročih točk geodiverzitete, saj te niso odvisne od razgibanosti površja (npr. kraška polja). Uteži dobimo s pomočjo matrike primerjave kriterijev, kjer kriteriju določimo pomembnost napram drugim kriterijem. Indeks usklajenosti je znašal 0,3 %, kar nakazuje uspešno usklajenost obtežitve kriterijev (Saaty, 1994).

Preglednica 2: Matrika primerjav kriterijev.

	Raznolikost	Gostota	Reliefna energija
Raznolikost	1	2	7
Gostota	0,5	1	3
Reliefna energija	0,14	0,33	1

Izračun indeksa geodiverzitete smo izvedli s pomočjo enačbe obtežene linearne kombinacije, ki omogoča obdelavo dejavnikov, ki imajo več kot le dve vrednosti. Te dejavnike po standardizaciji na enotno mersko lestvico obtežimo ter seštejemo. V našem primeru smo operirali zgolj z dejavniki in brez omejitev:

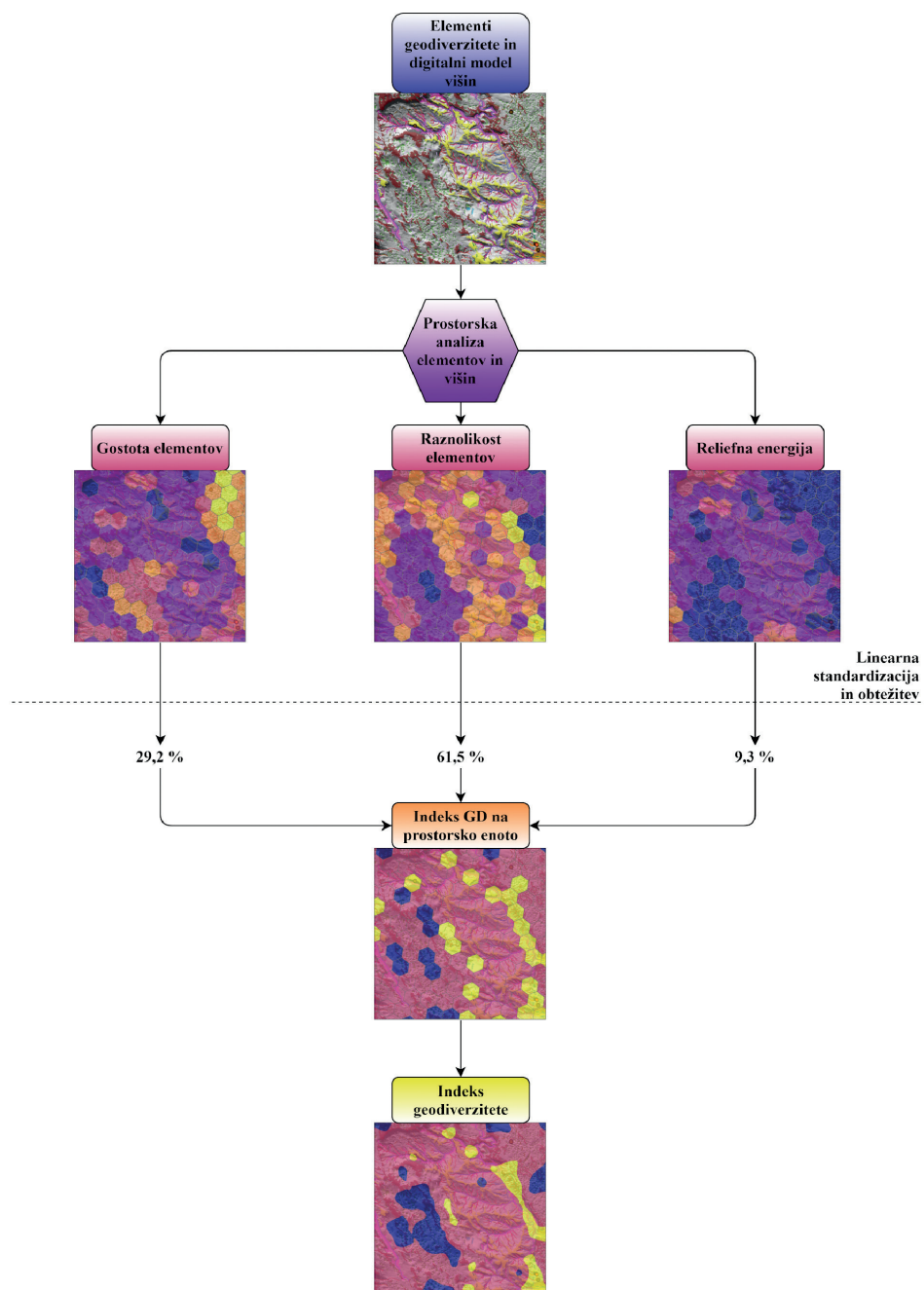
$$Gd = \sum w_i x_i$$

Gd predstavlja indeks geodiverzitete, w_i utež dejavnika in x_i vrednost dejavnika. Enačbo z vključitvijo dejavnikov in uteži zapišemo:

$$Gd = (Eg \times 0,615) + (E\rho \times 0,292) + (R \times 0,093)$$

pri čemer Eg predstavlja število različnih elementov, $E\rho$ prostorsko zgoščenost elementov in R reliefno energijo znotraj celice. Rezultat je sprva prikazan v obliki šestkotnikov. Za lažjo interpretacijo in uporabnost rezultate pretvorimo v homogene zaokrožene enote s povprečenjem v radiju 200 metrov. Rezultate smo razdelili v tri razrede s pomočjo enakomernih intervalov. Vrednosti indeksa v našem primeru so bile med 0,06 in 0,83. Interval zamejevanja razredov je znašal 0,225. Dobljene rezultate smo nato ovrednotili s pomočjo naravovarstvenega atlasa.

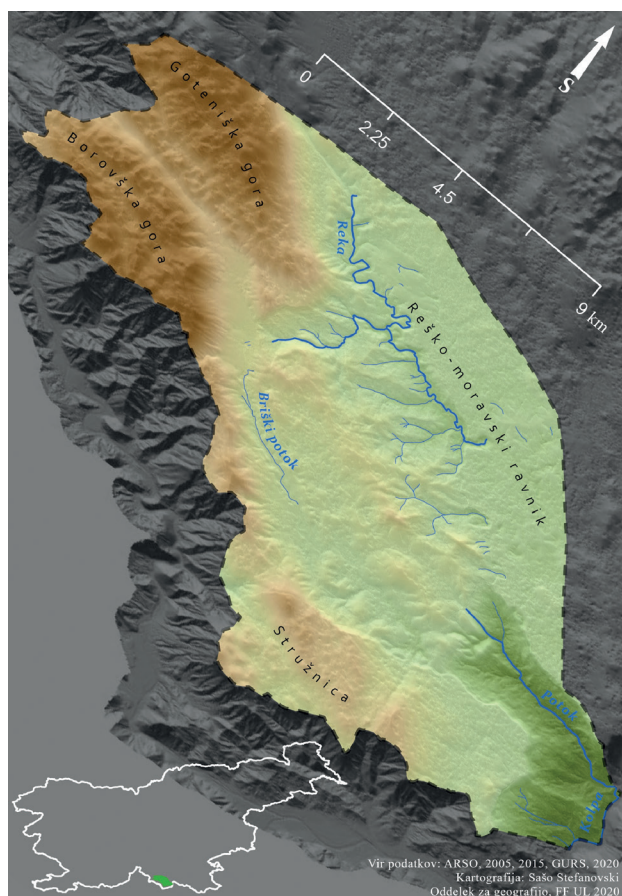
Slika 4: Diagram poteka izračuna indeksa geodiverzitete.



3 RELIEFNE ZNAČILNOSTI OBMOČJA MED KOČEVSKO REKO IN KOSTELOM

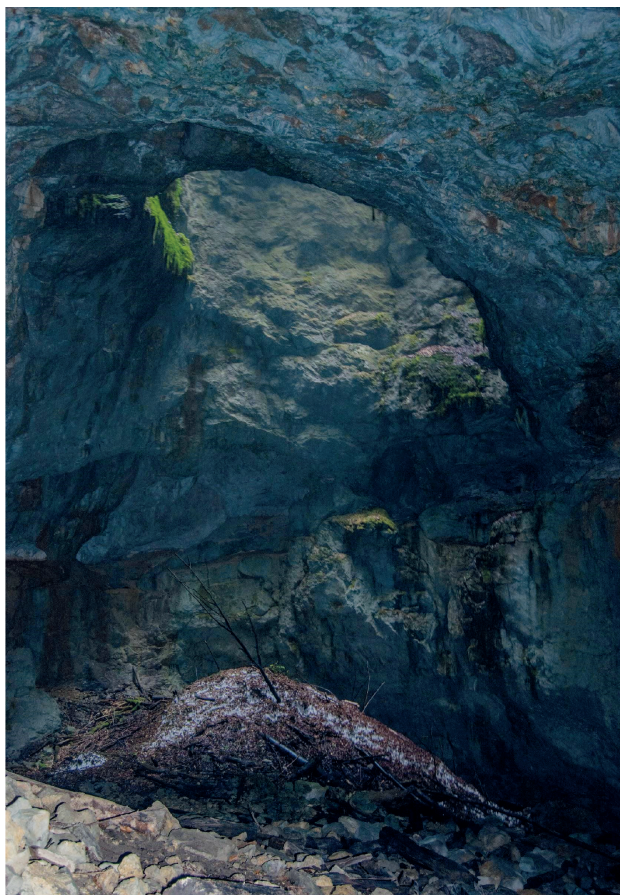
Pestrost ter koncentriranost reliefnih oblik je poglavitna značilnost proučevanega območja med Kočevsko Reko in Kostelom. Gre za 100 km² veliko območje z najvišjo točko 1273 metrov ter najnižjo 200 metrov nadmorske višine. Nahaja se v jugovzhodni Sloveniji, natančneje znotraj občin Kočevje, Kostel ter Osilnica, pri čemer večinski površinski del odpade na občino Kočevje. Na skrajnem zahodnem delu zajame obronke južnega dela Goteniške ter Borovške gore ter se v jugovzhodni smeri približno 23 kilometrov nadaljuje preko naselij Kočevska Reka, Dolnja Briga in Žaga, kjer ga zameji reka Kolpa. Severni del območja pokriva z vrtačami prepreden Reško-Moravski ravniki, na jugu pa območje zamejijo prepadne stene kanjona reke Kolpe.

Slika 5: Lokacijska karta proučevanega območja.



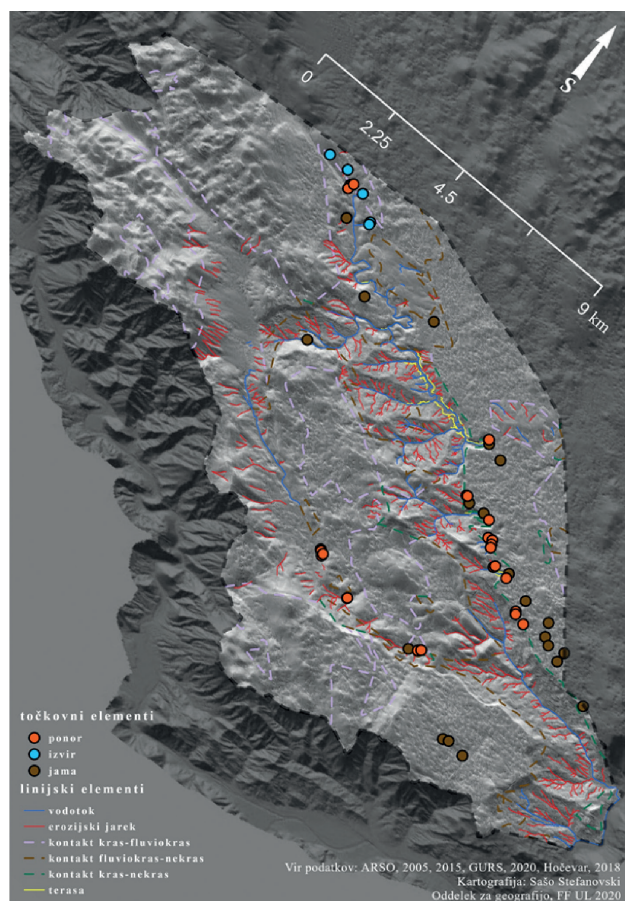
V središču območja je kontaktni kras, ki sta ga podrobneje proučevala Mihevc (1991) v magistrski nalogi ter Hočevar (2018) v zaključni seminarski nalogi. Gre za 16 km² veliko površje med naselji Kočevska Reka in Borovec ter Morava in Dolnja Briga v obliki tako imenovane podkve kontaktnega krasa, ki je pretežno iz nekarbonatnih permskih kamnin, po katerem tečejo potoki, ki pritekajo iz jurskih oziroma triasnih apnencev in dolomitov ter ponikajo vanje in tako ustvarjajo značilne oblike ponornega kontaktnega krasa (Mihevc, 1991). Glavni vodotok na območju kontakta je Reški potok, ki izvira v zatrepni dolini Reškega potoka ter se kasneje preimenuje v Mokri potok. Slednji je izoblikoval slepo dolino Milžuk, prvo v nizu slepih dolin v smeri proti jugovzhodu, ki je nastala na stiku med neprepustnimi, glinenimi kamninami permske starosti ter prepustnimi apnenci s pasovi dolomita jurske starosti. Pred vstopom Mokrega potoka v slepo dolino se na obeh straneh struge pojavljajo tudi rečne terase (Hočevar, 2018). Identičen kontakt z geološkega vidika se nadaljuje pri naslednjih štirih slepih dolinah, zaključí pa se s fosilno slepo dolino nad naseljem Suhor. Posebnost le-te je v tem, da je bil povirni, fluvialni del slepe doline erodiran, ponorni del na karbonatnih kamninah pa se je ohranil (Hočevar, 2018). Na območju se pojavlja tudi nekoliko drugačna vrsta kontaktnega krasa, pri kateri gre za kontakt kraškega in fluviokraškega geomorfnege sistema. Nahaja se južno od naselja Kočevska Reka, in sicer med naseljema Borovec in Jesenov vrt, kjer se stikata triasni dolomit in apnenec jurske starosti. Nastala slepa dolina ni tako razpoznavna, razlog pa je v manjši korozivni moči alogenih vodnih tokov z območja dolomita (Savič, Dozet, 1985).

Slika 6: Udor jamskega stropa v jami na območju Reško-Moravskega ravnika (foto: L. Hočevnar).



Zahodni del območja zajemata skrajna južna dela dinarsko kraških planot Goteniške gore, katere najvišji vrh, Goteniški Snežnik, meri 1290 metrov nadmorske višine, ter Borovške gore kot njenega podaljška. Zgrajeni sta pretežno iz karbonatnih kamnin spodnje kredne ter jurske starosti. Debelina kamnine v tem območju lahko doseže tudi do 360 m (Savić, Dozet, 1985). Ker gre povečini za karbonatno matično podlago, stalnih vodotokov ni, padavinska voda pronica skozi podlago. Gre pravzaprav za območje globokega krasa, kjer se prepletajo večje kraške globeli ter kraške vzpetine, ki tvorijo kopasti kras (Stefanovski, Repe, 2019). Oblika vrhov je precej raznolika, kar pripisujemo predvsem globini vadozne cone ter sami lokalni geološki strukturi matične podlage. Ob njihovem vznožju smo prepoznali območja vršajev.

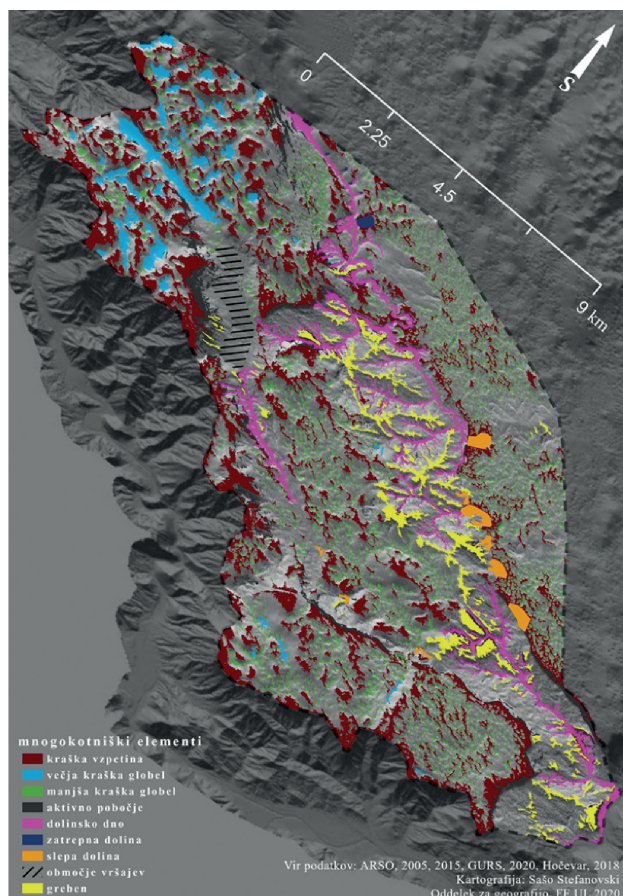
Slika 7: Točkovni in linijski elementi geodiverzitete proučevanega območja.



V severnem delu proučevanega območja se razteza Reško-Moravski ravnik. V večjem delu kraškega ravnika prevladujejo gornjejurski apnenci, posledično je ravnik prepleten z vrtačami, prav tako ni vodotokov, saj vsa padavinska voda pronica skozi apnenčasto matično podlago. Do spremembe v geološki strukturi na ravniku pride zgolj v okolici naselja Kočevska Reka ter med naseljema Novi Lazi in Štalcerji, kjer prevladujejo gornjetriasni dolomiti. Kraški ravnik pa opazimo tudi na južni strani območja, okoli Stružnice, kjer prevladujejo jurski apnenci ter dolomiti z lečami apnenca (Savić, Dozet, 1985). Poleg vrtač na kraškem ravniku lahko opazimo večjo koncentracijo jam in brezen, predvsem v vzhodnem delu Reško-Moravskega ravnika. Poleg jam v zaledju pa so prisotne tudi ponorne jame v samih slepih dolinah ter izviri v zatrepnih dolinah. Slednji se nahajajo v povirnem območju Reškega potoka (Hočevar, 2018), manjših izvirov pa nismo prepoznali kot element, saj je njihova lokacija v

sušnejših obdobjih težko določljiva ter so aktivni zgolj ob visokih vodah. Proučevano območje je posejano z erozijskimi jarki in dolki, izstopajo zgolj zakraseli kraški ravniki, kjer le-teh ni. Pri prepoznavanju teh elementov geodiverzitete nismo razlikovali med fluvialnimi erozijskimi jarki ter dolci, ki so značilni za fluviokras.

Slika 8: Mnogokotniški elementi geodiverzitete proučevanega območja.

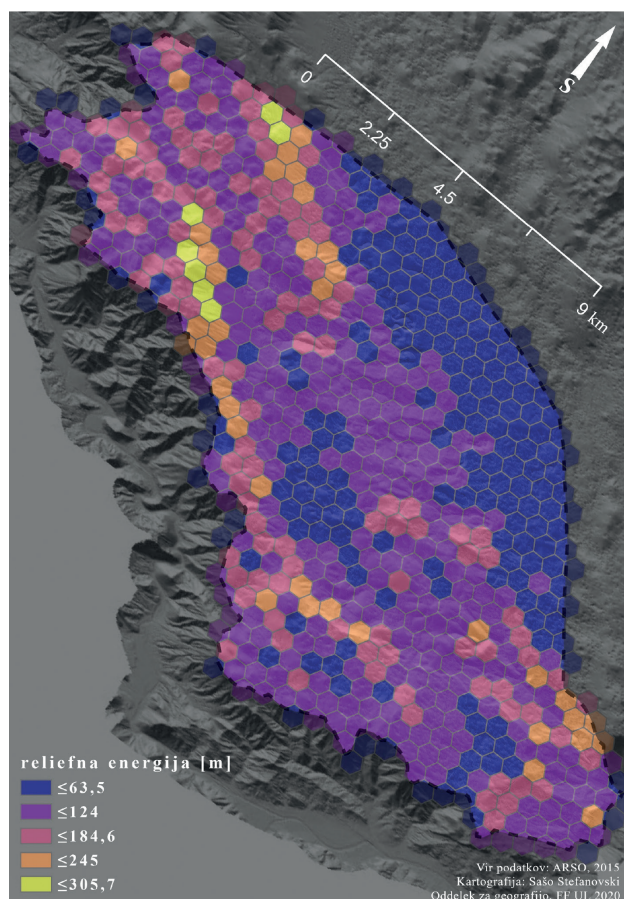


4 GEODIVERZITETA OBMOČJA MED KOČEVSKO REKO IN KOSTELOM

Po inventarizaciji vseh elementov geodiverzitete smo izračunali indeks geodiverzitete na izbranem območju. Kot prvi dejavnik je predstavljena reliefna energija. Po šestkotniški razdelitvi območja lahko opazimo dokaj neenakomerno razporeditev.

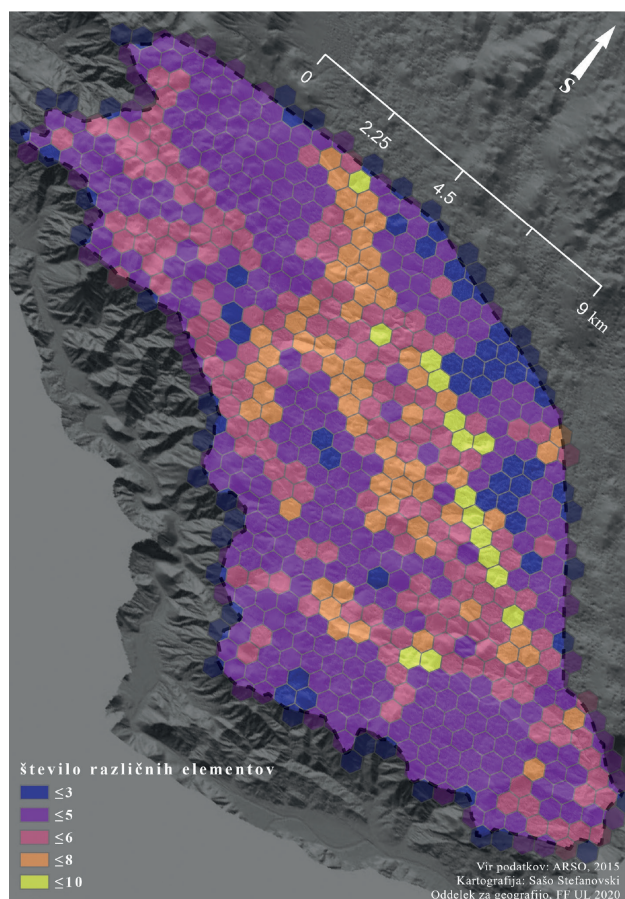
Najnižje vrednosti lahko opazimo predvsem na dveh večjih sklenjenih območjih. To sta dolina Briškega potoka in Reško-Moravski ravniki, pri čemer je slednji večji, vrednosti pa v povprečju najnižje. Tu gre za uravnana območja z nizkimi nakloni in redkimi vzpetinami, kar posledično pomeni majhen energijski potencial. Srednje vrednosti prevladujejo v osrednjem delu in na jugovzhodu, kjer se pojavljajo območja fluvialnega reliefa, kjer se menjavajo doline in vmesni grebeni. Največjo reliefno energijo pa smo izračunali na delih območij Goteniške in Borovške gore na severozahodu. To je območje najvišjih kopastih vrhov, globokih kraških depresij, sten, aktivnih pobočij in vršajev. Vse to so elementi območij z visoko reliefno energijo. Območja z visoko reliefno energijo so bila definirana kot bolj pestra od tistih z nižjo in so kot taka odigrala vlogo pri vrednotenju geodiverzitete. Višja kot je reliefna energija, bolj pestro je območje.

Slika 9: Reliefna energija, prikazana po šestkotniških celicah.



Naslednja karta (slika 10) je nastala z avtomatiziranim štetjem števila različnih elementov geodiverzitete po določenih šestkotnih delih, na katere smo razdelili območje. Vrednosti pomenijo število različnih elementov, ki se pojavljajo na območju šestkotnika. Najvišje vrednosti takoj opazimo v približni liniji vzdolž vzhodnega roba območja. To je kontakt med fluvialnim in kraškim površjem, ki ima za posledico visoko koncentracijo številnih posebnih reliefnih oblik, kot so slepe doline in ponori. Tu je visoka koncentracija različnih točkovnih in linijskih vektorskih elementov, kot so ponori, jame, vodotoki, erozijski jarki, aktivna pobočja in terase, od mnogokotniških elementov pa slepe doline, dolinska dna ter tako kraške kot nekraške vzpetine. Vse to je posledica kontakta kraškega in nekraškega geomorfnege sistema. Visoke vrednosti se pojavljajo tudi v povirnem delu Reke na severu, kjer so na majhnem prostoru številni različni elementi, kot so izviri, jame, zatrepne doline, vodotoki in dolinska dna. Razlog za visoke vrednosti v osrednjem fluvialnem delu je gosta mreža grebenov in erozijskih jarkov ter pestra geološka zgradba s številnimi kontakti med krasom in fluviokrasom ter fluviokrasom in nekrasom. Najmanjša raznolikost elementov je bila ugotovljena na območjih Reško-Moravskega ravnika, Goteniške gore in Stružnice, za katera je značilna velika gostota primerkov nekaterih elementov, sama raznolikost elementov pa je manjša, pojavljajo se večinoma kraške kotanje in vzpetine.

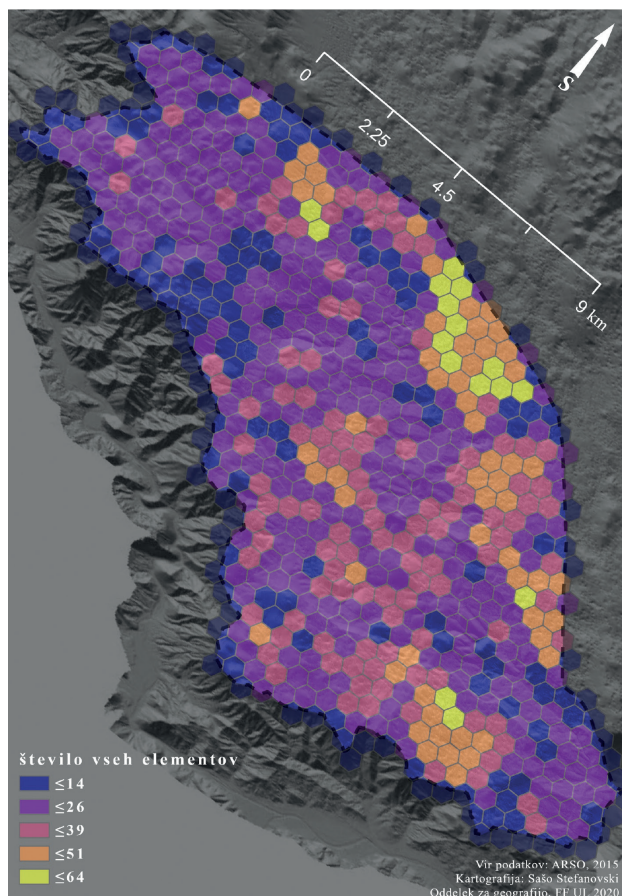
Slika 10: Število različnih elementov geodiverzitete glede na šesterokotno mrežo.



Pri računanju gostote elementov na posamezni šestkotnik je slika nekoliko drugačna. Največje vrednosti opazimo na vzhodu na območju Reško-Moravskega ravnika, zelo visoke so tudi na jugu v okolici Stružnice in na ravniku pod njo. Razlog za to so velike koncentracije mnogokotniških elementov, ki so bili večinoma pridobljeni s pomočjo daljinskega zaznavanja. Na ta način smo zaznali ogromno kraških kotanj, za kraške vzpetine pa je algoritem prepoznal veliko število mnogokotnikov na majhnem območju. Tako je največja gostota elementov na območju, kjer je veliko vrtač, kraških kotanj in kopastih vrhov, saj se ti elementi praviloma pojavljajo na gosto eden ob drugem, medtem ko je raznolikost elementov tukaj praviloma manjša. To je bilo identificirano kot problem uporabe gostote pri računanju indeksa geodiverzitete, vendar smo to rešili s tem, da smo gostoto ustrezno obtežili. Manjše vrednosti se nahajajo predvsem tam, kjer so veliki mnogokotniki, ki zavzamejo veliko prostora in tako ne

dovoljujejo velike gostote elementov. Takšni primeri so dolinska dna in daljši hrbti kopastih vrhov ter večji grebeni. Še vedno pa je opazna dokaj velika gostota na območju kontakta med krasom in nekrasom, saj takšno območje pomeni ne samo raznolike elemente, temveč tudi njihovo gostoto.

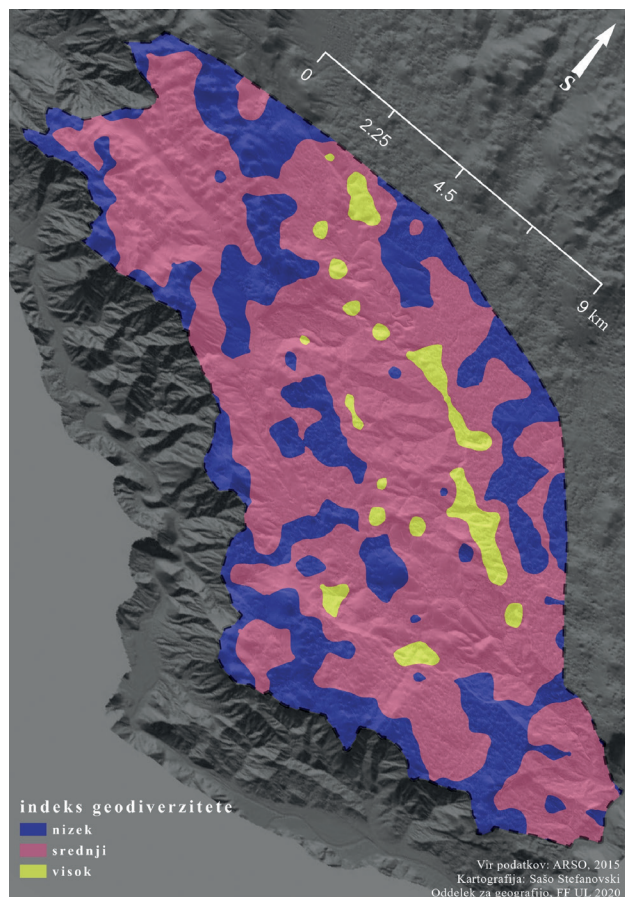
Slika 11: Število elementov geodiverzitete glede na šesterokotno mrežo.



S kombinacijo vseh dejavnikov enačbe smo dobili indeks geodiverzitete območja, izračunan po šestkotnikih in zglajen v bolj naravno obliko. Po izračunu 31,4 % našega območja pade v kategorijo nizkega indeksa geodiverzitete. Ta razred prevladuje na območjih, ki imajo majhno raznolikost elementov, majhno gostoto elementov in nizko reliefno energijo. To so predvsem večja ravninska območja z majhnimi nakloni, na katerih smo identificirali manj elementov. Večinoma gre za kraške ravničke, kot so

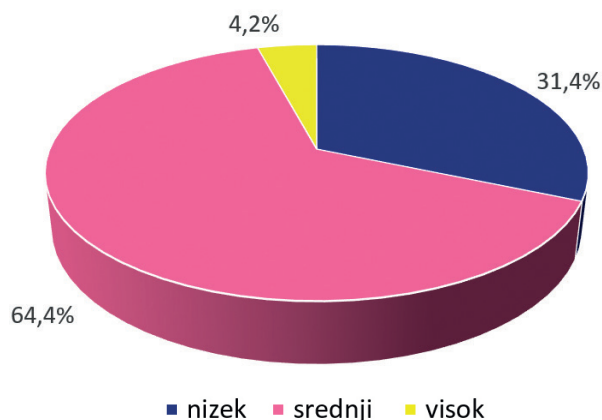
Reško-Moravski in nekateri manjši, ter manjša območja kopastih vrhov, kjer je raznolikost elementov zelo majhna.

Slika 12: Indeks geodiverzitete med Kočevsko Reko in Kostelom.



V srednji razred sodi 64,6 % območja. Prevladuje tam, kjer je velika reliefna energija in srednja raznolikost ter gostota elementov, na območjih, kjer je reliefna energija majhna, je pa prisotnih veliko elementov, predvsem zaradi pestre litologije, in na območjih, kjer nič od proučevanega ne izstopa. To so deli kraških ravnikov, dna nekaterih dolin, območje vršajev in obsežna kopasta območja Goteniške in Borovške gore.

Slika 13: Tortni grafikon indeksa geodiverzitete.



Samo 4,2 % območja se uvršča v razred visoke geodiverzitete. To so tako imenovane vroče točke (Ruban, 2010). Gre za najbolj pestra območja z visoko reliefno energijo, veliko raznolikostjo in gostoto elementov. Skoraj vsa se pojavljajo na območju glavnega kontakta med krasom in nekrasom. Največje leži na območju slepih dolin med Slepo dolino pri Preži in Slepo dolino Malega Mošenika, drugo največje pa na širšem območju slepe doline Milžuk, gorvodno od ponora. To je območje kontaktnega krasa s številnimi različnimi, gosto posejanimi reliefnimi oblikami, reliefna energija pa je tudi relativno visoka. Ostale vroče točke so še območje zatrepnih dolin in izvirov Reke, deli dolinskega dna Reke, kjer je relief v okolici pestrejši, litološko raznoliko območje pod Stružnico s številnimi kontakti, erozijskimi jarkimi in kopastimi vrhovi ter posamezne točke z veliko elementi na litoloških kontaktih.

Slika 14: Slepa dolina Mižuk – vroča točka geodiverzitete (foto: L. Hočevar).



5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

S povečevanjem vloge geokonzervatorstva pridobivata proučevanje geodiverzitete in njeno vrednotenje vse večji pomen. Poleg naravovarstvenega je vrednotenje pomembno tudi s pedagoškega in geoturističnega vidika. Koncept je bil uveden v zadnjih dveh desetletjih (Gray, 2013), zato uveljavljene metode vrednotenja še ni. Vrednotenje poteka s pomočjo kvantitativnih in kvalitativnih kazalcev. Problem slednjih je subjektivnost ocenjevalca, saj prihaja do uveljavljanja osebnih pogledov na neživo naravo. Kvalitativne metode posledično ne omogočajo primerjav med območji. V ospredju pri geodiverzitetnem proučevanju morajo biti kvantitativne metode, ki omogočajo večjo mero objektivnosti, obenem pa ob avtomatizaciji postopka skrajšajo čas analize, saj omogočajo relativno hitro obdelavo velike količine podatkov. Metode so tako še posebej priročne, ko proučujemo obsežna območja.

Pri kvantitativnem pristopu proučevanja se je najbolj uveljavila metoda Serrana in Ruiz-Flaña (2007), ki temelji na zmnožku raznolikosti elementov geodiverzitete in hrapavosti površja prostorske enote. Metoda je bila deležna manjših popravkov (Stepišnik, Repe, 2015; Stepišnik, Trenchovska, 2016; Trenchovska, Stojilković, 2019; Stojilković, 2019), vendar se v osnovi v tem času ni spremenila. Poleg upoštevanja raznolikosti elementov so se pojavila tudi dela, ki geodiverzitetno razumejo kot gostoto

elementov na območju (Forte in sod., 2018), vendar metode, ki bi upoštevala tako raznolikost kot gostoto elementov geodiverzitete, ni. Namen naše raziskave je bil razvoj kvantitativne metode, ki bi pri vrednotenju geodiverzitete upoštevala tako raznolikost elementov kot tudi njihovo gostoto, ter to metodo aplicirati na območju kontaktnega krasa med Kočevsko Reko in Kostelom.

Prvi korak vrednotenja geodiverzitete območja je bila inventarizacija elementov geodiverzitete. Te smo evidentirali s pomočjo terenskega dela, GIS prostorskih analiz ter vizualizacij in pregleda literature ter obstoječega kartografskega gradiva. Skupno smo evidentirali 18 različnih geomorfoloških, hidroloških in litoloških elementov. Seštevek elementov je znašal 10.113. Na podlagi inventarja smo s pomočjo šestkotniške mreže vsakemu šestkotniku določili število različnih elementov, vsoto vseh elementov in reliefno energijo znotraj celice. Teseliranje površja s šestkotniki je v kontekstu sosedstva najbolj optimalno, saj je efekt roba najmanjši. S tem smo dobili tri dejavnike geodiverzitete, ki smo jih obtežili s pomočjo AHP ter poračunali z uporabo linearne obtežene kombinacije. Rezultat je indeks geodiverzitete v obliki mreže šestkotnikov. Končni indeks geodiverzitete dobimo s pomočjo povprečenja v radiju 200 metrov. Vrednosti smo razdelili v tri razrede s pomočjo enakomernih intervalov.

4,2 % površine območja smo prepoznali kot vroče točke geodiverzitete. Gre predvsem za območja kontaktnega krasa, kjer se stikajo vsi trije tipi elementov geodiverzitete. Prav tako prihaja do stika dveh geomorfnihih sistemov, zato je raznolikost tam največja. Zaradi razlike v mehanski odpornosti kamnin so se oblikovale stopnje v reliefu, zato je tudi reliefna energija teh območij nadpovprečna. Metodo smo ovrednotili s pomočjo Naravovarstvenega atlasa (2013). Ugotovljeno je bilo, da sta dve območji, prepoznani z uporabljenno metodo, evidentirani kot naravni vrednoti. Gre za slepi dolini Mižuk in Mošenik, ki sta največji slepi dolini na območju. S pomočjo metode smo prepoznali tudi druga pestra območja kontaktnega krasa, vendar ta najverjetneje niso evidentirana kot naravne vrednote zaradi njihovega manjšega obsega. Postopek bi bilo v prihodnje smiselno preizkusiti tudi na območjih, ki se od zdajšnjega razlikujejo po morfografskih značilnostih.

Viri in literatura

- ARSO [= Agencija Republike Slovenije za okolje], 2015. Podatki LIDARskega snemanja.
- Chiba, T., Kaneta, S., Suzuki, Y., 2008. Red relief image map: new visualization method for three dimensional data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, str. 1071–1076.
- Erhartič, B., 2007. Reliefne oblike kot geodiverziteti (geomorfološka naravna dediščina). *Dela*, 28, str. 59–74. DOI: 10.4312/dela.28.59-74.
- Erhartič, B., 2010. Geomorphosite assessment. *Acta geographica Slovenica*, 50, 2, str. 295–319. DOI: 10.3986/AGS50206.

- Forte, J., Pereira, D., Nolasco, M., Brilha, J., 2018. Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. *Geoheritage*, 10, str. 205–217. DOI: 10.1007/s12371-018-0282-3.
- Gostinčar, P., 2016. Geomorphological characteristics of karst on contact between limestone and dolomite in Slovenia. Doktorska disertacija. Nova Gorica: Fakulteta za podiplomski študij.
- Gray, M., 2004. *Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature*. London: John Wiley & Sons, Ltd.
- Gray, M., 2013. *Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature*, 2nd edition. Chichester: Wiley Blackwell.
- Hočevar, G., 2018. Kontaktni kras med Kočevsko Reko in Kostelom. Zaključna seminarska naloga. Ljubljana: Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
- Meng, X., Xiong, L., Yang, X., Yang, B., Tang, G., 2018. A terrain openness index for the extraction of karst Fenglin and Fengcong landform units from DEMs. *Journal of Mountain Science*, 15, str. 752–764. DOI: 10.1007/s11629-017-4742-z.
- Mihevc, A., 1991. Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa: izbrani primeri slovenskega krasa. Magistrsko delo. Ljubljana: Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
- Mlekuč Vrhovnik, D., 2020. Geostatistično modeliranje neolitske poselitve v Panonski nižini. V: Ciglič, R., Geršič, M., Perko, D., Zorn, M. (ur.). *Modeliranje pokrajine*. Ljubljana: Založba ZRC, str. 123–131.
- Naravovarstveni atlas. 2013. URL: <https://www.naravovarstveni-atlas.si/web/> (citirano 30. 11. 2020).
- Osnovna geološka karta SFRJ. List Delnice. 1984. 1 : 100.000. Beograd: Zvezni geološki zavod.
- Panizza, M., 2003. Karst landforms as geomorphosites. *Dela*, 20, str. 19–26.
- Peterlin, S., Ravbar, M., Smerdu, R., Vardjan, F., 1976. Inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije: stanje leta 1975. Ljubljana: Zavod SRS za spomeniško varstvo.
- Ruban, D. A., 2010. Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association*, 121, 3, str. 326–333. DOI: 10.1016/j.pgeola.2010.07.002.
- Saaty, T. L., 1994. *Fundamentals of decision making and priority theory: with the analytic hierarchy process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Savič, D., Dozet, S., 1985. Tumač Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000. List Delnice. Beograd: Zvezni geološki zavod.
- Serrano, E., Ruiz Flaño, P., 2007. Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 62, str. 140–147. DOI: 10.5194/gh-62-140-2007.
- Skoberne, P., Peterlin, S., 1988a. Inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije. 1. del: Vzhodna Slovenija. Ljubljana: Zavod SR Slovenije za varstvo naravne in kulturne dediščine.
- Skoberne, P., Peterlin, S., 1988b. Inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije. 2. del: Osrednja Slovenija. Ljubljana: Zavod SR Slovenije za varstvo naravne in kulturne dediščine.

- Skoberne, P., Peterlin, S., 1991. Inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije. Ljubljana: Zavod SR Slovenije za varstvo naravne in kulturne dediščine.
- Stanley, M., 2002. Geodiversity, linking people, landscapes and their culture. Dublin.
- Stefanovski, S., Repe, B., 2019. Proučevanje vzpetin kopastega krasa s pomočjo digitalnega modela višin. *Dela*, 52, str. 141–160. DOI: 10.4312/dela.52.141-160.
- Stepišnik, U., 2010. Udornice v Sloveniji. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete.
- Stepišnik, U., Repe, B., 2015. Identifikacija vročih točk geodiverzitete na primeru krajskega parka Rakov Škocjan. *Dela*, 44, str. 45–62. DOI: 10.4312/dela.44.45-62.
- Stepišnik, U., Trenchovska, A., 2016. Predlog kvantitativnega modela vrednotenja geodiverzitete na primeru krasa Zgornje Pivke, Slovenija. *Dela*, 46, str. 41–65. DOI: 10.4312/dela.46.41-65.
- Stepišnik, U., Trenchovska, A., 2017. A new quantitative model for comprehensive geodiversity evaluation: the Škocjan Caves Regional Park, Slovenia. *Geoheritage*, 10, 1, str. 39–48. DOI: 10.1007/s12371-017-0216-5.
- Stojilković, B., 2019. Metodološki problemi vrednotenja geodiverzitete: primer krajskega parka Logarska dolina. *Dela*, 51, str. 51–71. DOI: 10.4312/dela.51.51-72.
- Trenchovska, A., 2016. Inventarizacija in vrednotenje geodiverzitete na območju Kratova, Makedonija. Magistrsko delo. Ljubljana: Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
- Trenchovska, A., Stojilković, B., 2019. Geodiverziteta Narodnega parka Severni Velebit. V: Stepišnik, U. (ur.). *Dinarski kras: Severni Velebit*. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, str. 108–124. DOI: 10.4312/9789610601470.
- Yokohama, R., Shirasawa, M., Pike, R. J., 2002. Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68, 3, str. 257–265.
- Zakon o ohranjanju narave. 2004. Uradni list Republike Slovenije, 96/04.

QUANTITATIVE MODEL FOR GEODIVERSITY EVALUATION BASED ON ELEMENT DIVERSITY AND DENSITY IN THE STUDY AREA OF CONTACT KARST BETWEEN KOČEVSKA REKA AND KOSTEL

Summary

The increasing importance of geoconservatism in recent decades gave a tremendous push to the search for new methods for evaluating geodiversity. In addition to conservation, geodiversity is also important from other points of view, such as geotourism and education. The first protected areas in the world, such as Siebengebirge Nature Park, founded in 1838 and Yellowstone National Park, founded in 1872, were based on the protection of inanimate nature. Later, all conservation efforts turned to animate nature and biodiversity became the main conservation concern. As mentioned above, efforts to protect inanimate nature have only been on the rise in the last two decades, but methods for geodiversity evaluation are still in the process of being developed. The study of geodiversity should be based primarily on quantitative methods that allow us to apply objective, automatic procedures. Using these methods shortens the analysis time and gives us the possibility to process larger amounts of data when researching large areas.

The most established quantitative method is Serrano and Ruiz-Flaño method (2007), which is based on the product of diverse geodiversity elements and the terrain ruggedness index of the studied area. This method was partially modified (Stepišnik, Repe, 2015; Stepišnik, Trenchovska, 2016; Trenchovska, Stojilković, 2019; Stojilković, 2019). Some methods were based exclusively on studying geodiversity by calculating density of geodiversity elements in the studied area (Forte et al., 2018), but none of these studies implied both density and diversity of biodiversity elements. The purpose of our research was to develop a quantitative method by combining diversity and density of geodiversity elements to evaluate geodiversity, and then to apply this new method to the area of contact karst in southeastern Slovenia.

The first step of the geodiversity evaluation was to compile an inventory of geodiversity elements. These were recorded partly in the field, partly using GIS spatial analysis and visualization techniques, and partly by reviewing literature and existing cartographic material. We recorded 18 different geomorphological, hydrological and lithological elements. In total, there were 10113 geodiversity elements in the study area. Using a hexagonal grid, we determined the number of different elements in each hexagon, the sum of all elements, and the terrain energy within each cell. We then weighted these factors using the AHP Priority Calculator and calculated the geodiversity index using Weighted Linear Combination. As a result, we obtained an index

of geodiversity in the form of a hexagonal grid. The final index of geodiversity was created by using focal statistics (mean) at a radius of 200 meters and dividing the values into three classes by using equal intervals.

4.2% of the study area was identified as geodiversity hotspots. These are mainly areas of contact karst, where all three factors of geodiversity come together in high values. In addition, contact between two geomorphic systems also occurs there and therefore diversity is highest there. Because of the different mechanical resistance of rocks, the steep terrain was formed, which makes the relief energy in these areas higher than average. We conclude that this new method is suitable for the study of geodiversity. We suggest that this method should be applied to other areas in the future, which are different from our study area in morphographic characteristics.

(Translated by the authors)