

Borut Stojilković



# METODOLOŠKI PROBLEMI VREDNOTENJA GEODIVERZITETE: PRIMER KRAJINSKEGA PARKA LOGARSKA DOLINA

*Izvirni znanstveni članek  
COBISS 1.01  
DOI: 10.4321/dela.51.51-72*

## Izvleček

Članek obravnava metodološke probleme vrednotenja geodiverzitete na primeru Krajinskega parka Logarska dolina. V njem sta predstavljeni in primerjani dve delno avtomatizirani metodi vrednotenja: prva združuje prostorsko odvisnost števila geomorfoloških in hidroloških elementov geodiverzitete s podatki o hrapavosti površja, druga pa upošteva tudi litološko sestavo. Indeksi geodiverzitete so bili izračunani z velikostjo rastrskih kvadratov  $50 \times 50$  m z namenom primerjav in ugotavljanja posplošitev na preučevanem območju. Ugotovljeno je bilo, da vključitev litoloških elementov ni smiselna, če je litologija v vrednotenju že vključena preko geomorfoloških elementov, če z množenjem le poveča vrednost območij z visokim indeksom hrapavosti ali če so si tipi litoloških enot glede na značilnosti podobni.

**Ključne besede:** geodiverziteta, geomorfologija, kartiranje diverzitete, geomorfološko kartiranje, metodologija, Logarska dolina, Kamniško-Savinjske Alpe, Slovenija

∴ Zavod republike Slovenije za šolstvo, Dunajska 104, SI-1000 Ljubljana  
∴ e-pošta: borut.stojilkovic@zrss.si

## METHODOLOGICAL PROBLEMS OF EVALUATING GEODIVERSITY: THE CASE STUDY OF THE LOGAR VALLEY LANDSCAPE PARK

### Abstract

The article discusses the methodological perspectives of geodiversity evaluation with the case study of the Logar Valley Landscape Park. We present and compare two partially automatized evaluation methods: the first merges spatial relation of the number of the geomorphological and the hidrological geodiversity elements with terrain ruggedness data, whereas the second includes the lithological elements as well. The indices were calculated for  $50 \times 50$  m raster blocks for the purposes of comparing and determining generalisations in the studied area. It was concluded that it is not sensible to include the lithology into the evaluations if the lithology is already included into the evaluation with the geomorphological elements, if it only increases the value of the areas with high ruggedness index, or if the types of the lithologic units are similar to each other according to their characteristics.

**Key words:** geodiversity, geomorphology, diversity mapping, geomorphological mapping, methodology, the Logar Valley, the Kamnik-Savinja Alps, Slovenia

---

### 1 UVOD

Človek se je svojega vpliva na okolje začel zavedati, ko je v njem pričelo primanjkovati naravnih virov ali pa so ti postali omejeni. S svojim delovanjem je vplival na podobo in pestrost okolja, v katerem biva. Ko je bila ta podoba dovolj spremenjena in ko je bil manko določene dobrine okrnjen do meje izginotja, se je izoblikovala ideja o varovanju okolja. Sprva je to veljalo za živo naravo oziroma biotski del okolja (Gray, 2004), kasneje pa se je skrb o varovanju povečala tudi za neživi oziroma abiotski del (Stepišnik, 2017). Za samo varovanje bodisi biotskega bodisi abiotskega dela okolja je bilo potrebno ugotavljati njuna stanja ter razviti metodologije vrednotenja in varovanja. Študije raznovrstnosti in raznolikosti narave iz leta v leto pridobivajo na pomenu. Raznovrstnost narave se v grobem deli na dve veji: biodiverzitetu in geodiverzitetu (Hjort, Luoto, 2010). Obe veji imata svoje značilnosti in ločen pristop preučevanja, sta pa medsebojno tesno povezani (Jačková, Romportl, 2008; Brazier in sod., 2012). Kljub temu pa pri vrednotenju biodiverzitet različni avtorji (npr. McCann, 2007; Maclaurin, Sterelny, 2008) poudarjajo, da se biodiverzitetna območja ne more meriti le s preštevanjem različnih vrst, kar teoretično velja tudi za geodiverzitetu, metodološka praksa pa tega še ne upošteva.

Podobno kot za študije biodiverzitete Sarkar (2002) piše, da so prilagojene svojemu namenu in da biodiverzitetu lahko pripisujemo čemerkoli, kar se zdi pomembno v biološkem sistemu, se problem nepoenotnega načina preučevanja pojavlja tudi pri študijah geodiverzitete. Podobno kot obstaja pluralizem pri biodiverziteti, ki se nanaša na dejstvo, da je lahko isti sistem obravnavan na različne načine, ki so odvisni od namenov raziskav in njenih predpostavk, ter da morajo biti različni sistemi vrednoteni na različne načine (Maclaurin, Sterelny, 2008), tudi za geodiverzitetu velja pluralizem v raziskavah. Če so študije geodiverzitete opravljene denimo v geokonzervacijske namene ali za namene urejanja okolja (na primer Gray, Gordon, Brown, 2013; Wang, Tian, Wang, 2015), bodo obsegale drugačno metodologijo in interpretacijo, kot če bodo namenjene izobraževanju (na primer Stepišnik, Ilc Klun, Repe, 2015). Analogno pluralizmu v biodiverziteti je tudi to, da se uporabljajo različni načini vrednotenja nežive narave v različnih okoljih. Na primer: določene študije vključujejo le izbrane elemente geodiverzitete (na primer geomorfološke in hidrološke v študiji Stepišnika in Trenchovske, 2017), druge pa jih vključujejo več (na primer Melelli, 2014).

Rezultati vrednotenja geodiverzitete se delijo glede na vrednost indeksa geodiverzitete; območja z visokim indeksom so območja, kjer je pestrost različnih elementov najvišja. Ta območja nekateri raziskovalci imenujejo vroče točke geodiverzitete (na primer Stepišnik, Repe, 2015) in imajo več potencialov. Prvi potencial se nanaša na varstvo okolja: območja z višjim indeksom so pestrejša in bi posledično lahko bila v pomoč pri določanju lokacij, ki bi se lahko dodatno zakonsko zaščitile (Bradbury, 2014). Drugi potencial je pedagoški: območja z višjim indeksom so lahko bolj smiselna za pedagoške ekskurzije in terensko delo, če so dostopna (Stepišnik, Ilc Klun, Repe, 2015). Tretji potencial je turistični: območja z višjim indeksom so lahko privlačnejša za turiste, če je ob njih ustrezna turistična infrastruktura. V teh primerih govorimo o geoturizmu, osnova katerega je specifična geodiverziteteta (Wang, Tian, Wang, 2015).

Iz tega sledi, da je za popoln pregled nad tem, kaj geodiverziteteta je, potrebno razviti metodologijo, ki ne bo le seštevala različnih elementov in določala indeksov glede na velikost vsote, ampak bo sledila sodobni metodologiji vrednotenja biodiverzitete, upoštevala bo relevantne elemente abiotske narave, ne bo prilagojena namenu vrednotenja, njeni rezultati bodo primerljivi in aplikativni ter bo skladna z merilom preučevanega območja. Trenutni prispevek se osredotoča na analizo dveh obstoječih metod ter ugotavlja razlike med njima in rezultati, ki jih prinašata; glavna razlika med njima pa je upoštevanje litoloških elementov geodiverzitete.

## 2 METODE RAZISKAVE

Osnova kartiranja geomorfoloških oblik in morfografske analize ter inventarizacije elementov geodiverzitete in njenega vrednotenja sta bila temeljni topografski načrt v merilu 1:10.000 in lidarski model nadmorskih višin, ki je imel prostorsko

ločljivost  $1 \times 1$  m (ARSO, 2015). Podrobno inventarizacijo geomorfoloških in hidroloških oblik smo izvedli, da bi lahko izdelali čim natančnejšo morfografsko karto. Slednja je služila kot osnova za nadaljnje prostorske analize, ki smo jih izvedli v Esrijevem programu *ArcMap*, v različici 10.5.1. LIDAR posnetki pa so služili za natančnejšo analizo in lokalizacijo elementov geodiverzitete ter za izračun hrapavosti površja. Opravljene analize in pridobljeni indeksi so bili narejeni za prostorsko enoto  $50 \times 50$  m rastrskih kvadratov. Velikost smo določili z namenom ugotavljanja primernosti velikosti prostorskih enot z območji, ki so podobnih velikosti, kot je trenutno preučevano območje. Glavne metodološke smernice vrednotenja geodiverzitete sledijo najpogosteje rabljenim metodologijam, ki so jih do sedaj uporabljali slovenski raziskovalci (Stepišnik, Trenchovska, 2016, 2017; Stepišnik, Ilc Klun, Repe, 2017; Trenchovska, Stojilković, 2019).

## 2.1 Izbor elementov geodiverzitete

Prvi del raziskave je obsegal pregled temeljne literature o geodiverziteti in njenem vrednotenju (Gray, 2004; Serrano, Ruiz-Flaño, 2007) ter o preučevanem območju (Lucerna, 1906; Meze, 1966; Stojilković, Stepišnik, Žebre, 2013). Elementi geodiverzitete so bili identificirani in kartirani s pomočjo TTN v merilu  $1 : 10.000$  in LIDAR posnetkov (ARSO, 2018), slednji pa so bili uporabljeni tudi za nadaljnje računalniške analize.

Preglednica 1: Vektorji posameznih elementov geodiverzitete.

	Točka	Črta	Poligon
<b>Hidrološki elementi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• izvir;</li> <li>• ponor;</li> <li>• slap;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stalen vodotok;</li> <li>• občasen vodotok;</li> </ul>	/
<b>Geomorfološki elementi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vhod v jamo;</li> <li>• vrh;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• krnica;</li> <li>• sedlo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dolinsko dno;</li> <li>• melišče;</li> <li>• morenski material;</li> <li>• območje podornih blokov;</li> <li>• vršaj;</li> </ul>
<b>Litološki elementi</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• lapor, peščeni skrilavec, skrilavi lapor, ploščati apnenec (skitij);</li> <li>• svetlo sivi apnenec (anizij);</li> <li>• aluvij;</li> <li>• masivni in debeloskladoviti apnenec;</li> <li>• masivni kristalasti dolomit (anizij);</li> <li>• morena;</li> <li>• ploščasti apnenec (ladinij);</li> <li>• pobočni grušč.</li> </ul>

Ker članek primerja različne metodologije vrednotenja geodiverzitete, sta bili za njeno ugotavljanje izbrani dve metodi. Obe vključujeta po dva sloja: vektorskega (elementov geodiverzitete) in rastrskega (indeksa reliefne razgibanosti). Prva upošteva geomorfološke in hidrološke elemente geodiverzitete, druga pa poleg njih še geološko podlago. Pri terenskem delu smo na TTN skartirali pet različnih vrst hidroloških oblik (izvire, ponore, slapove, stalne in občasne vodotoke), devet različnih vrst geomorfoloških oblik (vhode v jame, vrhove, krnice, sedlo, dolinsko dno, melišča, morenski material, območja podornih blokov in vršaje). S pomočjo geološke karte (Mioč in sod., 1983) smo določili tudi osem različnih vrst geoloških elementov (lapor, peščeni skrilavec, skrilavi lapor, ploščati apnenec (skitij); svetlo sivi apnenec (anizij); aluvij; masivni in debeloskladoviti apnenec; masivni kristalasti dolomit (anizij); morena, ploščasti apnenec (ladinij) in pobočni grušč). Posamezne oblike so bile nato digitalizirane bodisi v obliki vektorskih točk (izviri, ponori, slapovi, vhodi v jame in vrhovi) bodisi linij (sedlo, stalni in občasni vodotoki, krnice) ali pa poligonov (ostale geomorfološke in hidrološke oblike ter območja s posameznimi tipi kamnin).

## 2.2 Indeks hrapavosti površja

Drugi korak je bila pridobitev sloja indeksa reliefne razgibanosti oziroma hrapavosti površja, ki smo ga izračunali s pomočjo lidarskega modela nadmorskih višin, z metodo, ki so jo razvili Riley, DeGloria in Elliot (1999). Indeks hrapavosti je pomemben, ker vključuje naklone v različne smeri neba, pobočja in posledično tudi sevanje, kar vpliva na hidrološke in geomorfološke procese ter procese v prsteh (Serrano, Ruiz-Flaño, 2007).

Razgibanost površja je topografski element geodiverzitete, ponazoriti pa jo je možno z indeksom hrapavosti površja (ang. *Terrain Ruggedness Index*). Indeks predstavlja razliko med vrednostjo celice in povprečjem osmih sosednjih celic (Cooley, 2016). Izračun indeksa je bil izveden z orodjem *Focal Statistics (Spatial Analyst Tools > Neighbourhood > Focal Statistics)*, kjer sta bili izvedeni dve analizi, ki sta se razlikovali v tipu statistike; slednji je bil enkrat minimalen, drugič maksimalen (*Statistics Type: Minimum, Maksimum*). Obe rastrski plasti sta bili uporabljeni za pridobitev rastra hrapavosti površja. Za izračun je bil uporabljen rastrski kalkulator (*Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator*) in formula:

$$R = \sqrt{|(50 \times 50 \max)^2 - (50 \times 50 \min)^2|}$$

kjer je bil za izračun uporabljen koren absolutne vrednosti razlike kvadratov rastrskih vrednosti maksimalne in minimalne plasti. Programski izraz se je glasil:

$$\text{SquareRoot}(|((\text{Square}('50x50max')) - \text{Square}('50x50min')))|)$$

Posamezni razredi, v katere se običajno klasificira vrednosti indeksa hrapavosti površja po posameznih vrednostih, so: uravnano (0–80 m), skoraj uravnano (81–116 m), malo hrapavo (117–161 m), srednje hrapavo (162–239 m), precej hrapavo (240–497 m), zelo hrapavo (498–958 m) in izjemno hrapavo (959–4367 m) (ang. *level, nearly level, slightly rugged, intermediately rugged, moderately rugged, highly rugged in extremely rugged*) (Riley, DeGloria, Elliot, 1999; Cooley, 2016). Za potrebe vrednotenja geodiverzitete delitev v te razrede ni potrebna, saj je za izračun indeksa geodiverzitete pomembna vsaka posamična vrednost indeksa hrapavosti površja in ne razredi, v katerih se te vrednosti nahajajo.

### 2.3 Rasterizacija in statistična analiza rastrskih slojev

Po izrisu vektorske morfološke karte in po izračunu indeksa reliefne razgibanosti smo geomorfološke in hidrološke vektorske sloje pretvorili v rastrske (*Conversion Tools > To Raster > Point/Polygon/Polyline to Raster*). Rastrski sloji so namreč potrebni za nadaljnje analize. Posamezen rastrski kvadrat je bil velikosti  $1 \times 1$  m.

Orodje *Block statistics* je bilo uporabljeno za inventarizacijo na podlagi analize maksimuma. S tem orodjem smo ugotovili, ali so posamezni elementi znotraj celic ali ne. Orodje je bilo uporabljeno za geomorfološke in hidrološke sloje, ki so bili potem reklasificirani tako, da je bila vrednost 1 dodeljena celicam, kjer se elementi geodiverzitete pojavljajo, in vrednost 0 praznim celicam.

Rastrski sloji so bili nato seštet z uporabo rastrskega računalja (*Raster calculator*). Seštevki v posameznih celicah so tako predstavljali skupna števila različnih elementov na prostorsko enoto.

### 2.4 Izračun indeksa geodiverzitete

V četrti fazi so bile z namenom primerjave različnih metod uporabljene različne enačbe za izračun indeksa geodiverzitete. Osnovno enačbo izračuna indeksa geodiverzitete sta predlagala Serrano in Ruiz-Flaño (2007):

$$Gd = \frac{EgR}{LnS}$$

kjer je  $Gd$  indeks geodiverzitete,  $Eg$  število različnih fizičnih elementov na enoto,  $R$  koeficient hrapavosti enote,  $S$  površina enote ( $\text{km}^2$ ) in  $Ln$  Napierjev (naravni) logaritem (Serrano, Ruiz-Flaño, 2007). Enačba je za potrebe te raziskave modificirana, saj naravni logaritem ni bil uporabljen:

$$Gd = EgR$$

Pri prvi enačbi so za preračun indeksa geodiverzitete uporabljeni le geomorfološki in hidrološki elementi ter hrapavost površja brez prsti, litologije. Praktično sta jo na primeru Regijskega parka Škocjanske jame uporabila Stepišnik in Trenchovska (2017). Druga enačba za razliko od prve upošteva litološke elemente geodiverzitete, ki sta jih na primer pri preučevanju geodiverzitete Krajinskega parka Rakov Škocjan upoštevala Stepišnik in Repe (2015).

## 2.5 Klasifikacija indeksa geodiverzitete

Rezultat vrednotenja, ki smo ga pridobili, omogoča razdelitev pridobljenih vrednosti indeksa geodiverzitete v razrede, ki naraščajo od zelo nizkega do zelo visokega za vsako homogeno enoto. V obstoječi literaturi (na primer Serrano, Ruiz-Flaño, 2007) so vrednosti običajno razvrščene v pet razredov po Jenksovi klasifikaciji (Jenks, 1967), kjer prvi razred ustreza območjem z zelo nizkim indeksom geodiverzitete, drugi območjem z nizkim, tretji območjem s srednjim, četrti območjem z visokim in peti območjem z zelo visokim indeksom geodiverzitete (Serrano, Ruiz-Flaño, 2007). Ker pri takšni klasifikaciji vrednosti razredov različnih vrednotenj niso enake, Jenksova klasifikacija (1967) tokrat ni primerna, saj primerjava pridobljenih rezultatov ne bi bila možna.

Da bi bili rezultati obeh vrednotenj primerljivi, smo vrednosti normalizirali (*Rescale by function*) na intervalu od 1 do 100.

## 2.6 Primerjava rezultatov

Po pridobitvi zemljevidov indeksov geodiverzitete je bila potrebna njihova analiza in interpretacija razlik. S tem je bilo možno odgovoriti na vprašanja, če različne metode pripeljejo tudi do različnih rezultatov, in s tem, kako ter v kolikšni meri izpust določenega tipa elementov vpliva na vrednotenje.

V ta namen smo prekrili sloje in z ugotavljanjem deleža sprememb ugotavljali razlike. Delež sprememb smo izračunali z rastrskim kalkulatorjem, kjer smo uporabili enačbo:

$$\frac{Gd \text{ brez lit.} - Gd \text{ z lit.}}{Gd \text{ z lit.}}$$

v kateri je *Gd brez lit.* predstavljal sloj indeksa geodiverzitete brez litoloških elementov, *Gd z lit.* sloj z njimi, *K* pa količnik oziroma sloj razlik. Pridobljen sloj smo nato interpretirali.

### 3 KRAJINSKI PARK LOGARSKA DOLINA

Logarska dolina se nahaja na severovzhodnem delu Kamniško-Savinjskih Alp in meji na dolini Matkov kot na severu in Robanov kot na jugu. Od obeh dolin jo ločita vzporedna grebena. Dno doline poteka od vznožja krniškega dela doline na JZ, kjer z vrhovoma Kamniško-Savinjskih Alp Koroško (2433 m) in Štajersko Rinko (2374 m) dosega svoje najvišje nadmorske višine (Hrvatina, 2010), do svojega konca ob Klemenčjih stenah. Od sosednjih visokogorskih dolin jo ločita gorska grebena, katerih nadmorska višina se od JZ postopoma znižuje do izteka dolin. Od Matkovega kota na skrajnem JZ jo ločuje nižji greben, ki se prične s Tursko goro (2251 m), od Kamniške Bistrice Brana (2252 m), Kamniško sedlo (1864 m) in Planjava (2394 m) ter od Robanovega kota Ojstrica (2350 m) in Krofička (2083 m) (Stojilković, 2013).

Površje Krajinskega parka Logarska dolina gradijo apnenci in dolomiti triasne starosti, po dolini pa v smeri SV–JZ poteka zmični prelom. Prelom se v južnem delu doline razcepi na dva dela, ki omejujeta Kamniško sedlo. Pobočja skrajnih JZ krnic gradijo zgornjetriasni skladoviti dachsteinski apnenci, preostala pobočja krnice Okrešelj pa večinoma masivni dolomiti cordevolske formacije, ki so iste starosti. Na območju med Okrešljem in Klemenčo jamo so najpogostejši srednetriasni ladinijski plastoviti in masivni apnenci, severneje do konca doline pa najdemo srednetriasne anizijske masivne apnenice in spodnetriasne laporovce, plastovite in lapornate apnenice ter peščenjake skitske formacije. Zahodna pobočja doline gradijo masivni dolomiti srednetriasne starosti, ki se menjajo s spodnetriasnimi kamninami skitske formacije. Dno doline v zgornjem delu zapolnjuje pleistocenski morenski material, ki je tudi na uravnanem delu obviselo doline Klemenče jame, srednji in spodnji del pa kvartarni rečni nanosi (Celarc, 2004; Stojilković, Stepišnik, Žebre, 2013).

Na razvoj površja Logarske doline je poglavitno vplivala tektonika, saj po dnu doline poteka zmični prelom (Mioč in sod., 1983). Površje je bilo v obdobju pleistocena večkrat poledenelo, dolinski ledeniki posameznih poledenitvenih sunkov pa so dosegali različne dolžine (Lucerna, 1906; Meze, 1966). Ob višku zadnjega poledenitvenega sunka sta bila na območju doline dva ledenika: večji, dolinski, je z dolžino 4,8 km tekkel od krnice Okrešelj po dnu doline v smeri severovzhod; manjši, krniški, pa je imel dolžino 1,5 km in se je nahajal na območju Klemenče jame. Njuna skupna površina je bila približno 4,4 km<sup>2</sup> (Stojilković, Stepišnik, Žebre, 2013). Zaradi tega lahko na območjih, ki sta jih prekrivala akumulacijska dela ledenikov, najdemo čelne in bočne morene umikalnih stadijev, če še niso bile erodirane. Zaradi kraških kamnin na območju stalnih vodotokov ni; suhe struge postanejo vodnate ob večjem in dolgotrajnejšem deževju. Ostale večje geomorfološke oblike so slapovi in slapišča, izviri in ponori reke Savinje ter jamski vhodi.

Območje je od leta 1987 zavarovano kot krajinski park z namenom trajne ohranitve in posebnega varovanja te naravne znamenitosti (Odlok o razglasitvi ..., 1987). Njegova površina je 2475 ha (Hrvatina, 2010). Istega leta so bili na območju Logarske



Slika 1: Krajinski park Logarska dolina (foto: B. Stojilković, 2018).



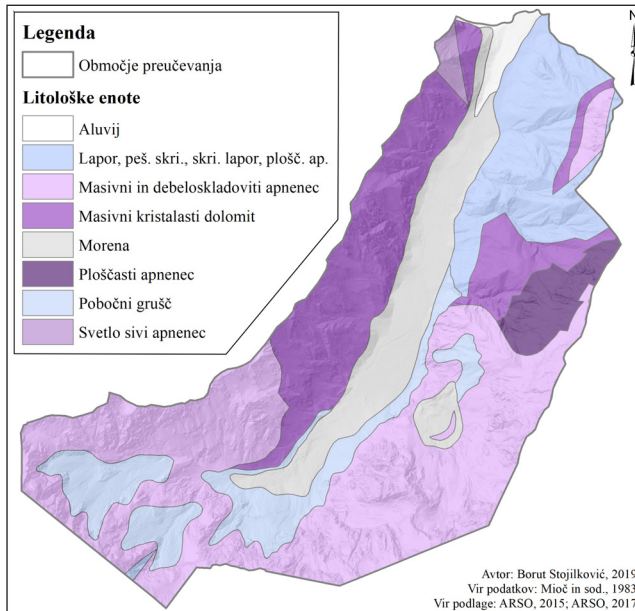
doline zavarovani tudi številni naravni spomeniki: Matkovo okno kot površinski geomorfološki naravni spomenik, Golarjev pekel in Klemenškov pekel kot podzemeljska geomorfološka naravna spomenika, slapišče Palenk, izvir Črne (Savinja) in Savinja od izvira do Ljubnega kot hidrološki naravni spomeniki (Odlok o razglasitvi ..., 1987). Danes je na območju zavarovanih 43 naravnih vrednot, park pa v celoti sodi pod območje Nature 2000 (Krajinski park Logarska dolina, 2017).

## 4 VREDNOTENJE GEODIVERZITETE KRAJINSKEGA PARKA LOGARSKA DOLINA

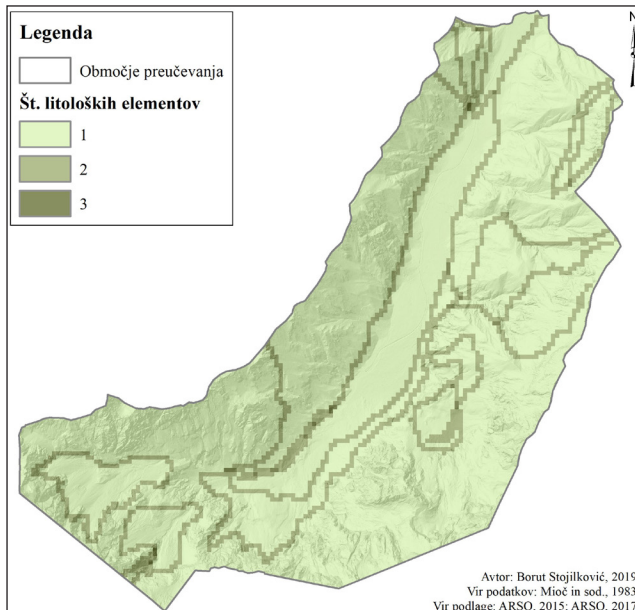
Obe metodi izračuna indeksa geodiverzitete izhajata iz osnovne enačbe, ki sta jo razvila Serrano in Ruiz-Flaño (2007). Pri vsaki od metod pa se razlikuje tip elementov geodiverzitete, ki so vključeni v izračun indeksa. Pri obeh metodah so pri izračunu uporabljeni geomorfološki in hidrološki elementi ter indeks hrapavosti površja, le pri drugi pa so uporabljeni tudi litološki elementi.

Litološke enote kot elementi geodiverzitete so bile pridobljene z Osnovne geološke karte (Mioč in sod., 1983). Sprva so bile litološke enote v programu ArcMap digitalizirane kot poligoni. Slednji so bili nato pretvorjeni v rastrsko kvadratno obliko

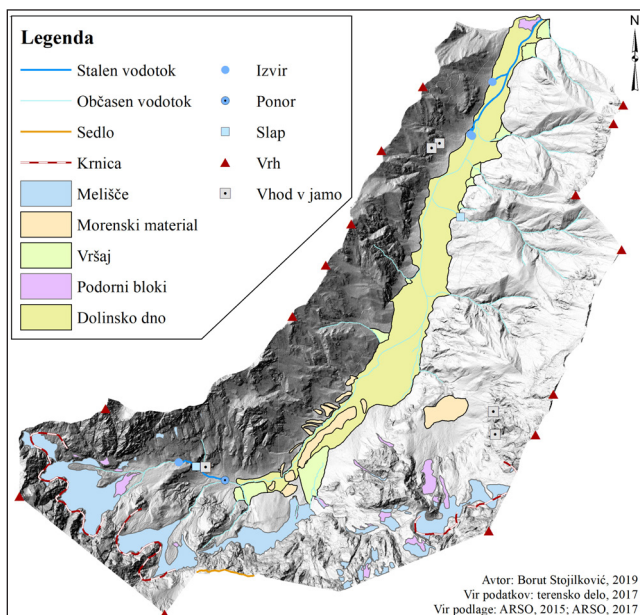
Slika 2: Litološke enote v krajinskem parku.



Slika 3: Število litoloških elementov na prostorsko enoto.



Slika 4: Glavne morfolofske in hidrološke enote v krajinskem parku.



(*Conversion Tools > To Raster > Polygon to Raster*) s stranico dolžine 1 m. Dolžina je skladna z dolžino stranice rastrov geomorfoloških in hidroloških enot.

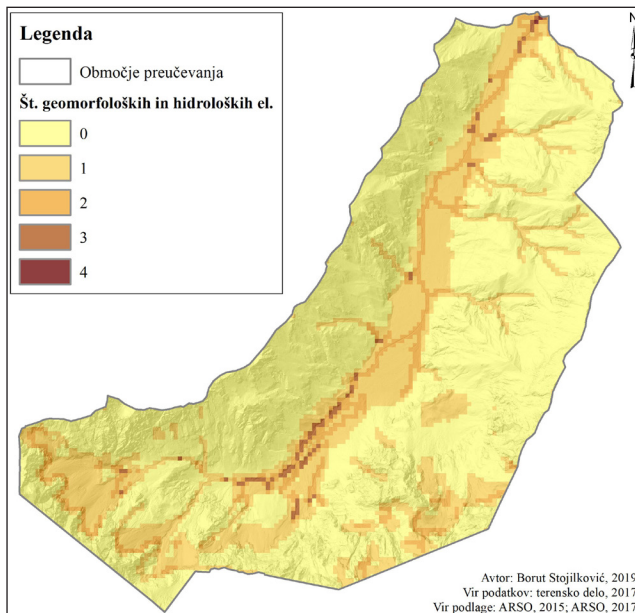
Rastrski sloj litoloških enot je bil nato uporabljen za ugotavljanje statistike pojavnosti litoloških enot znotraj kvadratov s stranico 50 m (*Spatial Analyst Tools > Neighborhood > Block Statistics*). Statistični tip, rabljen v analizi, je raznolikost (*Variety*), ki preračuna število edinstvenih vrednosti (ang. *unique values*) okoliških celic (kvadratov).

Litološke enote so bile glede na število posameznih enot v  $50 \times 50$  m blokih razporejene v tri razrede. Največje število kvadratov (86,1 %) ima vrednost 1, kar pomeni, da se v njih pojavlja le po ena litološka enota. Kvadratov z vrednostjo 2 je 13,6 %, ležijo pa na mejah dveh litoloških enot. Najmanj je kvadratov z vrednostjo 3 (0,3 %), kjer se stikajo tri litološke enote. Kvadratov brez vrednosti (*NoData*) na tej plasti ni, ker je celotno območje prekrito z litološkimi enotami.

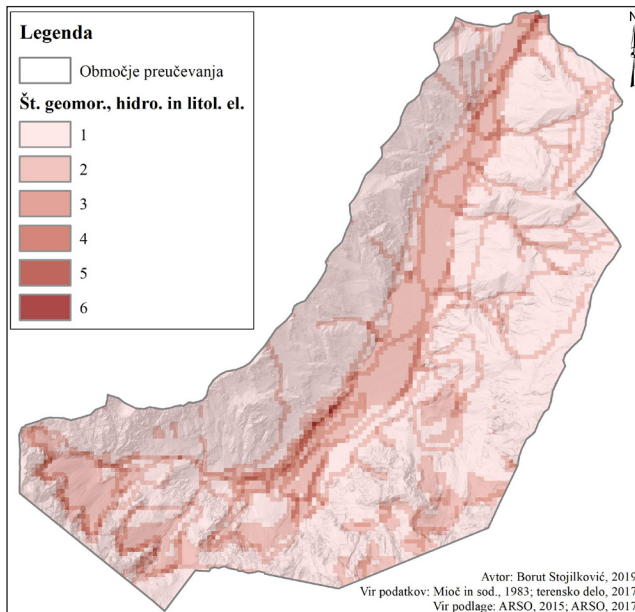
Vsi vektorski sloji geomorfoloških in hidroloških elementov geodiverzitet so bili pretvorjeni v rastrske sloje in s funkcijo *Block Statistics* analizirani. S tem smo ugotovili pojavljanje posameznega elementa znotraj kvadratov velikosti  $50 \times 50$  m. Po reklasifikaciji smo vse sloje sešteli.

Seštevanje reklasificiranih slojev je pokazalo, da na večjem delu preučevanega območja (70,4 %) geomorfoloških ali hidroloških elementov ni. Sledijo kvadrati s po enim tovrstnim elementom; teh je 22,7 %. V 5,9 % kvadratov sta elementa dva, v 0,9 % pa so trije. V dveh kvadratih, ki predstavljata zgolj 0,02 % območja, pa so štirje elementi

Slika 5: Število geomorfoloških in hidroloških elementov na prostorsko enoto.



Slika 6: Seštevek geomorfoloških, hidroloških in litoloških elementov na prostorsko enoto.

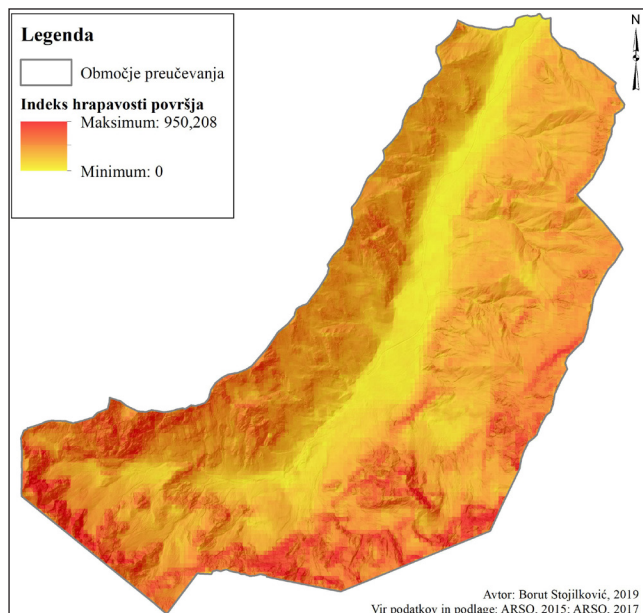


geodiverzitete. Območja z višjimi vrednostmi se nahajajo predvsem v skrajnem spodnjem delu doline na SZ, kjer se stikajo stalni in občasni vodotoki ter območje podornih blokov. Ostala večja območja pestrosti pa so na območju krnice Okrešelj na JZ doline, na osrednjem južnem delu doline, kjer je ledenik akumuliral morenski material, ter v manjšem obsegu v osrednjem delu doline, kjer se stikajo vršaji, dolinsko dno in erozijski jarki. Naslednji metodološki korak je bilo prištevanje litoloških elementov.

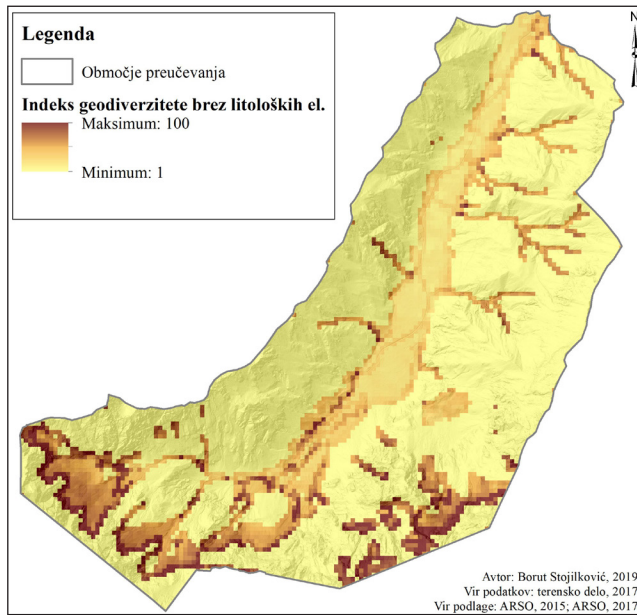
Seštevek litoloških in geomorfoloških ter hidroloških elementov po posameznih kvadratih je pokazal, da je največje število posameznih elementov v bloku z vrednostjo 6, najmanj pa 1. V največjem številu kvadratov je en element geodiverzitete, kar predstavlja 61,36 %; tam se nahajajo le litološki elementi. Najvišjo vrednost (6) pa ima 0,05 % kvadratov. Območji se nahajata na skrajnem SZ doline, kjer se podorni bloki stikajo z vršaji in vodotoki, ter v osrednjem delu južne polovice doline, kjer se prav tako z vodotoki in vršaji stika morenski material. Preostale vrednosti so: 2–28,46 %, 3–7,89 %, 4–1,93 % in 5–0,31 %.

Vrednosti indeksa hrapavosti površja se gibljejo med 0 in 950,208. Najnižje vrednosti indeksa na prostorsko enoto so na dolinskem dnu v severni polovici doline, indeks pa nekoliko narašča po dolinskem dnu od osrednjega dela doline v smeri JZ. Nekoliko višji indeks je na vzhodnem in zahodnem pobočju doline, kjer je naklon večji. Najvišje vrednosti indeksa so tam, kjer je tudi naklon najvišji: na najvišjih nadmorskih višinah doline oziroma nad melišči in v okolici krnic.

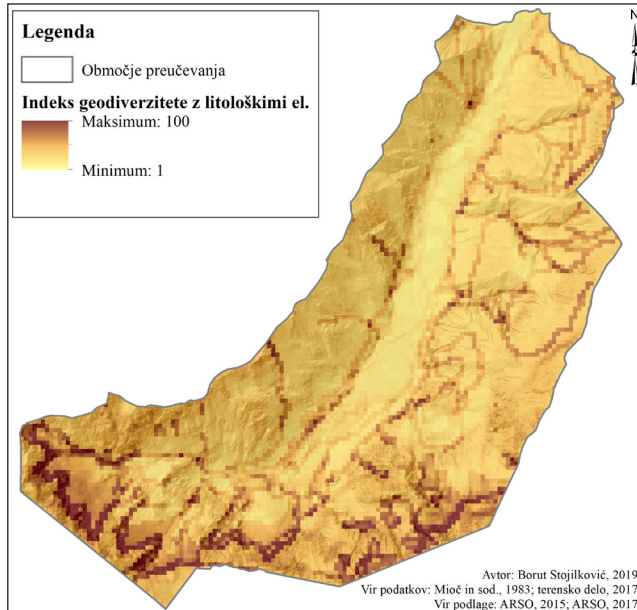
Slika 7: Indeks hrapavosti površja na prostorsko enoto.



Slika 8: Indeks geodiverzitate brez litoloških elementov.



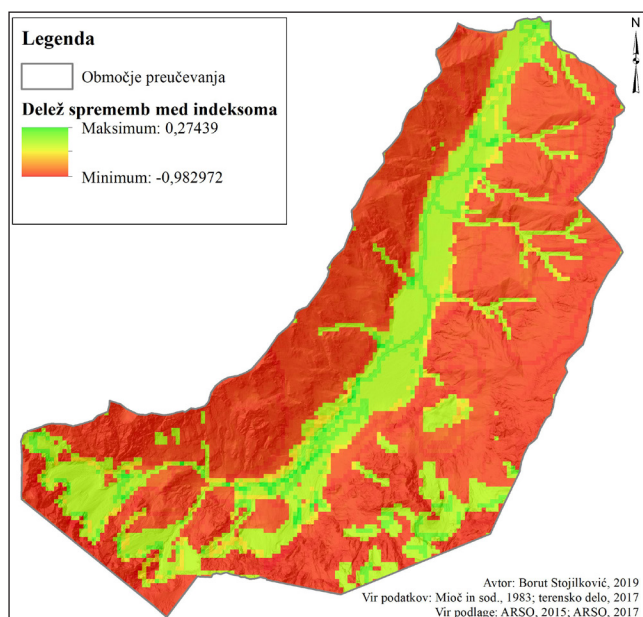
Slika 9: Indeks geodiverzitate z litološkimi elementi.



Po izračunu indeksa hrapavosti in seštevanju elementov geodiverzitete na posamezno enoto smo uporabili predstavljeni enačbi. S tem smo pridobili indeks geodiverzitete na preučevanem območju. Da bi ju lahko primerjali, smo vrednosti pridobljenih vrednotenj standardizirali tako, da smo jih razvrstili na intervala od 0 do 100.

Nato smo karti prekrili in delež spremembe med njima ugotavljali z enačbo  $\frac{a-b}{b}$ , kjer je spremenljivko  $a$  predstavljal sloj brez upoštevanih litoloških elementov, spremenljivko  $b$  pa sloj z njimi. Tako smo prikazali, za kolikšen delež ( $K$ ) (od vrednosti 1) se spremeni koeficient geodiverzitete od sloja brez upoštevanih litoloških elementov do sloja z njimi.

Slika 10: Delež sprememb med indeksom brez in indeksom z litološkimi elementi.



Rezultati primerjanih metod se razlikujejo: najbolj skladni so na območjih, kjer je visoko število elementov na obeh kartah, ali pa kjer se elementi stikajo in kjer je tudi indeks hrapavosti površja visok. To so območja dolinskega dna, kjer se pojavljajo stalni ali občasni vodotoki, morenski material in vršaji. Prav tako so podobnosti na območjih krnic in podornih blokov. Odstopanja s pozitivno spremembo so na območjih, kjer so občasni ali stalni vodotoki, kar je posledica množenja števila elementov z indeksom hrapavosti v osnovni enačbi. Na preostalih območjih pa so odstopanja z negativno spremembo, kar je posledica tega, da je karta z litološkimi elementi popolnoma prekrita in da tako vedno vsaj en element vpliva na izračun indeksa geodiverzitete, kar za karto brez litoloških elementov ne velja. Največja negativna odstopanja so

na območjih, kjer se stikajo posamezne litološke enote; tam je delež drugačen tudi za 98,3 %, kar je na izbranem območju najvišja (oz. najnižja) vrednost.

Če vrednosti klasificiramo po Jenksovi klasifikaciji, ki je najpogosteje rabljena klasifikacija pri vrednotenju geodiverzitete, ugotovimo, da v obeh primerih razredi z najvišjim indeksom sovpadajo na območjih krnic in melišč. Indeks je prav tako visok na tistih območjih, kjer se stikajo litološke enote, ki sovpadajo z geomorfološkimi ali hidrološkimi elementi. Srednji razred se pojavlja predvsem v tistih prostorskih enotah, kjer se stikajo različni elementi geodiverzitete, ampak v manjšem številu. To je predvsem na pobočjih doline. Srednji razred je na karti, kjer so vključeni litološki elementi, bistveno večji kot na karti, kjer ti elementi niso vključeni, kar je posledica množenja litoloških elementov z indeksom hrapavosti, ki je na pobočjih z višjim naklonom večji. Do razlik prihaja predvsem na območjih, kjer je indeks hrapavosti nizek in je elementov malo (eden ali dva).

Zelo nizek razred pa se med kartama precej razlikuje: na karti brez litoloških enot je z indeksom prekritih veliko prostorskih enot, ki so predvsem na pobočjih, kjer ni izstopajočih elementov. Nasprotno se na karti, kjer so vključeni tudi litološki elementi, nizek indeks pojavlja predvsem na dolinskem dnu ali pa na pobočjih, kjer je izstopajočih elementov malo. Nizek indeks geodiverzitete na dolinskem dnu in ob njem v primeru upoštevanja litologije, kljub številnim geomorfološkim in hidrološkim oblikam, je posledica večje uteži indeksa hrapavosti na pobočjih, kar pa se ne sklada z recentnimi interpretacijami geodiverzitete (na primer Melelli in sod., 2017; Stepišnik, Ilc Klun, Repe, 2017), kjer so za praktično rabo ugotovitev vrednotenja pomembni predvsem geomorfološki elementi.

Te ugotovitve kažejo, da so za vrednotenje geodiverzitete bistvenega pomena geomorfološki in hidrološki elementi, litološki elementi pa le okrepijo vrednost indeksa oziroma ga le delno spremenijo. Da bi litološki elementi pomembno in pravilno vplivali na vrednotenje geodiverzitete, bi morala biti njihova vrednost ovrednotena na smiselno velikih blokih, da bi se pokazale dejanske razlike v pestrosti, hkrati pa litološke enote ne bi smele biti enake, kot so geomorfološki elementi. Slednje ne drži za slovenske geološke karte (na primer Mioč in sod., 1983), ki kot litološke enote upoštevajo denimo morene in pobočni grušč, kar pa se že vključuje pri samih geomorfoloških elementih.

## 5 SKLEP

Glavni cilj članka je bil predstaviti in primerjati dve delno avtomatizirani metodi vrednotenja geodiverzitete, pri čemer obe upoštevata geomorfološke in hidrološke elemente ter hrapavost površja, razlikujeta pa se po tem, da ena upošteva tudi litološke elemente, druga pa ne. S tem smo želeli ugotoviti, v kolikšni meri in na kakšen način litološke enote oziroma litologija vplivajo na vrednost indeksa geodiverzitete. Tekom raziskave so se izoblikovala različna stališča do obstoječih metod za vrednotenje



geodiverzitete, saj smo pri pregledu dosedanje literature ugotovili, da so bile slednje pogosto prilagojene namenu vrednotenja ali pa razpoložljivosti podatkov.

V raziskavi smo primerjali dve različici metode, ki sta jo razvila Serrano in Ruiz-Flaño (2007), v prvotni obliki pa sta jo zastavila kot zmnožek števila različnih fizičnih elementov s koeficientom hrapavosti, ki je deljen z naravnim logaritmom površine območja. Upoštevajoč različne elemente ali v modificiranih oblikah je bila ta metoda uporabljena že pri številnih vrednotenjih (npr. Jačková, Romportl, 2008; Hjort, Luoto, 2010; Melelli, 2014). V naši raziskavi prva metoda združuje geomorfološke in hidrološke elemente s hrapavostjo površja, druga pa geomorfološke, hidrološke in litološke elemente s hrapavostjo površja na preučevanem območju. Ugotovili smo, da se glede na razrede končnega indeksa geodiverzitete rezultati med metodama razlikujejo.

Ugotovili smo, da vključenost (ali izključenost) litoloških elementov v vrednotenje pomembno vpliva na indeks geodiverzitete, kar se je zaradi različnih mnenj glede vključenosti ali izključenosti litoloških elementov odražalo tudi v dosednji literaturi (npr. Najwer in sod., 2016; Trenchovska, Stojilković, 2019). Z vključenostjo litoloških elementov se vrednost indeksa poveča predvsem na območjih, ki ležijo na stikih posameznih elementov, še bolj pa, če se ta območja skladajo z območji z visokim indeksom hrapavosti površja, ki že tudi sam delno upošteva reliefno energijo in pregibe v površju (Riley, DeGloria, Elliot, 1999). Zato je vključenost litoloških elementov smiselna pri vrednotenju geodiverzitete na območjih, kjer se pojavljajo različni tipi kamnin, in če to pomembno vpliva na druge elemente; če pa se pojavlja le en tip kamnin (denimo apnenec v določenih kraških pokrajinah), se ta element geodiverzitete pri vrednotenju lahko zanemari (kot npr. v Stepišnik, Repe, 2015; Trenchovska, Stojilković, 2019 idr.). Če so kamnine podobne in se ne razlikujejo bistveno niti v mehanskih niti v kemičnih značilnostih, njihova vključitev v vrednotenje ni smiselna, saj bo pretirano število geoloških elementov, ki so si podobni, imelo prevelik vpliv na končen indeks, ki v takšnem primeru ne bi bil realen, saj bi bil poudarek na določenem tipu elementov prevelik. Prav tako se litološka podlaga lahko zanemari, če ob množenju z indeksom hrapavosti le obteži vrednost indeksa geodiverzitete, praktične razlike za uporabo rezultatov vrednotenja ali v drugih elementih pa ne predstavlja, kar se je izkazalo v našem primeru, kjer so bili izrazito poudarjeni visokogorski predeli z velikim naklonom. Zadnji razlog, zakaj litološke podlage na takšen način ni smiselno upoštevati, pa je, da so z njo nekateri elementi geodiverzitete (na primer pobočni grušč, melišče in območja podornih blokov) vrednoteni dvakratno, saj so vključeni in kot litološki in kot geomorfološki elementi.

Indeks hrapavosti površja se na preučevanem območju relativno sklada z nakloni, zato bi bilo v nadaljnjih raziskavah smiselno ugotoviti, ali je za vrednotenje geodiverzitete namesto indeksa hrapavosti mogoče uporabljati vrednosti naklonov na prostorsko enoto. Prav tako se je za problematično pri interpretaciji rezultatov izkazala lastnost metode, da se indeks hrapavosti množi z ostalimi elementi. Tako območja z večjim indeksom hrapavosti, četudi je na njih zgolj en element, dobijo veliko večjo vrednost kot območja z nizkim indeksom hrapavosti.

Elemente geodiverzitetne smo določili s pomočjo obstoječe literature, terenskim delom in daljinskim zaznavanjem. Podatki so bili nato obdelani v geografskih informacijskih sistemih. Menimo, da bi bilo za namen primerjav med posameznimi območji v prihodnjih raziskavah za podobno velika testna območja treba določiti, kateri elementi so na tistih tipih površja primerljivi z elementi, ki smo jih vključili v vrednotenje pri tej raziskavi. Le na takšen način bi elemente na različnih območjih poenotili in tako zagotovili primerljivost rezultatov.

Sklenemo lahko, da so bili cilji in namen raziskave doseženi. Ugotovljeno je bilo, da litološke enote vplivajo na indeks geodiverzitetne, vendar vključitev teh elementov ni smiselna, če je njihov vpliv vključen že preko drugih elementov ali pa če preveč obteži druge vrednosti pri vrednotenju. Prav tako smo ugotovili, da se morajo naslednji koraki razvoja vrednotenja geodiverzitetne nanašati na definicijo ključnih poenotnih elementov vrednotenja, da bodo rezultati med raziskavami primerljivi. Tako prva predstavljena metoda praviloma predstavlja priporočeno osnovo za bodoč razvoj metodologije vrednotenja geodiverzitetne in za aplikacijo na različna območja.

## Literatura in viri

- ARSO [=Agencija Republike Slovenije za okolje]. 2015. Podatki LIDARskega snemanja. URL: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso) (citirano 10. 6. 2017).
- ARSO [=Agencija Republike Slovenije za okolje]. 2017. Spletna objektna storitev (WFS) za izdajanje okoljskih prostorskih podatkov. URL: [http://gis.arso.gov.si/wfs\\_web/faces/WFSLayersList.jsp#](http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jsp#) (citirano 19. 4. 2017).
- Bradbury, J., 2014. A keyed classification of natural geodiversity for land management and nature conservation purposes. *Proceedings of the Geologists' Association*, 125, str. 329–349. DOI: 10.1016/j.pgeola.2014.03.006.
- Brazier, V., Bruneau, P. M. C., Gordon, J. E., Rennie, A. F., 2012. Making space for nature in a changing climate: the role of geodiversity in biodiversity conservation. *Scottish Geographical Journal*, 128, 3–4, str. 211–233. DOI: 10.1080/14702541.2012.737015.
- Celarc, B., 2004. Geološka zgradba severovzhodnega dela Kamniško-Savinjskih Alp. Doktorsko delo. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 137 str.
- Cooley, S., 2016. Terrain roughness. GIS 4 Geomorphology. URL: <http://gis4geomorphology.com/roughness-topographic-position/> (citirano 15. 8. 2017).
- Gray, M., 2004. Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature. London, John Wiley & Sons, Ltd, 434 str.
- Gray, M., Gordon, J. E., Brown, E. J., 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124, str. 659–673.

- Hjort, J., Luoto, M., 2010. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology*, 115, str. 109–116.
- Hrvatini, M., 2010. Logarska dolina. DEDI – digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem. URL: <http://www.dedi.si/dediscina/431-logarska-dolina> (citirano 19. 5. 2017).
- Jačková, K., Romportl, D., 2008. The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Křivoklátsko PLA (Czech Republic): A quantitative analysis approach. *Journal of Landscape Ecology*, 1, 1, str. 23–38. DOI: 10.2478/v10285-012-0003-6.
- Jenks, G. F., 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, str. 186–190.
- Krajinski park Logarska dolina. Naravni parki Slovenije. 2017. URL: <https://www.naravniparkislovenije.si/slo/naravni-parki/krajinski-park-logarska-dolina> (citirano 19. 5. 2017).
- Lucerna, R., 1906. Gletscherspuren in den Steiner Alpen. *Geographischer Jahresbericht aus Österreich. Forschungsberichte aus dem Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien*, 4, str. 9–74.
- Maclaurin, J., Sterelny, K., 2008. What is biodiversity? Chicago, The University of Chicago Press, 217 str.
- McCann, K., 2007. Protecting biostructure. *Nature*, 446, 7131, 1 str.
- Melelli, L., 2014. Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 13, 1, str. 27–37. URL: [http://gtg.webhost.uoradea.ro/PDF/GTG-1-2014/3\\_142\\_MELLELI\\_LAURA.pdf](http://gtg.webhost.uoradea.ro/PDF/GTG-1-2014/3_142_MELLELI_LAURA.pdf) (citirano 30. 4. 2019).
- Melelli, L., Vergari, F., Liucci, L., Del Monte, M., 2017. Geomorphodiversity index: Quantifying the diversity of landforms and physical landscape. *Science of the Total Environment*, str. 701–714. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.101.
- Meze, D., 1966. Gornja Savinjska dolina – Nova dognanja o geomorfološkem razvoju pokrajine. Ljubljana, Slovenian Academy of Sciences and Arts, 195 str.
- Mioč, P., Žnidarčič, M., Jerše, Z., 1983. Osnovna geološka karta SFRJ, lista Ravne na Koroškem, 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Najwer, A., Borysiak, J., Gudowicz, J., Mazurek, M., Zwoliński, Z., 2016. Geodiversity and biodiversity of the postglacial landscape (Dębnica River catchment, Poland). *Quaestiones Geographicae*, 35, 1, str. 5–28. DOI: 10.1515/quageo-2016-0001.
- Odlok o razglasitvi naravnih znamenitosti ter kulturnih in zgodovinskih spomenikov na območju Občine Mozirje. 1987. Uradni list SRS, 27, str. 1936–1940. URL: [http://www.eheritage.si/MK\\_Dokumenti/p0475\\_1.pdf](http://www.eheritage.si/MK_Dokumenti/p0475_1.pdf) (citirano 19. 5. 2017).
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., Elliot, R., 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5, 1–4, str. 23–27.
- Sarkar, S., 2002. Defining biodiversity; assessing biodiversity. URL: <http://philsci-archive.pitt.edu/269/1/Biodiversity.pdf> (citirano 16. 8. 2017).

- 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.
- Stepišnik, U., 2017. Vrednotenje geodiverzitete in trajnostni razvoj. V: Lampič, B., Zupančič, J. (ur.). *Raziskovalno-razvojne prakse in vrzeli trajnostnega razvoja Slovenije*. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, str. 115–126. URL: [http://geo.ff.uni-lj.si/publikacije/geograff\\_e\\_geograff/e\\_geograff](http://geo.ff.uni-lj.si/publikacije/geograff_e_geograff/e_geograff) (citirano 30. 4. 2019).
- Stepišnik, U., Ilc Klun, M., Repe, B., 2015. Izobraževalni potencial vrednotenja geodiverzitete. V: Resnik Planinc, T., Ilc Klun, M. (ur.). *Novosti geografske stroke in izobraževanje oseb s posebnimi potrebami : program in izvlečki*. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 28. URL: <http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-S6X54XGQ/9b5a91c5-4571-4b62-957b-08652219e714/PDF> (citirano 30. 4. 2019).
- Stepišnik, U., Ilc Klun, M., Repe, B., 2017. Vrednotenje izobraževalnega potenciala geodiverzitete na primeru Cerkniškega polja. *Dela*, 47, str. 5–21. DOI: 10.4312/dela.47.1.5-39.
- Stepišnik, U., Repe, B., 2015. Identifikacija vročih točk geodiverzitete na primeru krajinskega 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. 41–52. 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., 2013. Poledenitev Logarske doline. Zaključna seminarska naloga. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 48 str.
- Stojilković, B., Stepišnik, U., Žebre, M., 2013. Pleistocenska poledenitev v Logarski dolini. *Dela*, 40, str. 25–38. DOI: 10.4312/dela.40.25-38.
- 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. URL: [https://e-knjige.ff.uni-lj.si/znanstvena-zalozba/catalog/view/132/230/3578-1?fbclid=IwAR2If7hpLihkYVs60xQZjhHe2lqbtSRA\\_bhO4aSEMjH7K1QzFfMzsr\\_ckKQ](https://e-knjige.ff.uni-lj.si/znanstvena-zalozba/catalog/view/132/230/3578-1?fbclid=IwAR2If7hpLihkYVs60xQZjhHe2lqbtSRA_bhO4aSEMjH7K1QzFfMzsr_ckKQ) (citirano 30. 4. 2019).
- Wang, L., Tian, M., Wang, L., 2015. Geodiversity, geoconservation and geotourism in Hong Kong Global Geopark of China. *Proceedings of the Geologists' Association*, 2015, 126, str. 426–437. DOI: 10.1016/j.pgeola.2015.02.006.

## METHODOLOGICAL PROBLEMS OF EVALUATING GEODIVERSITY: THE CASE STUDY OF THE LOGAR VALLEY LANDSCAPE PARK

### Summary

Geodiversity started to develop as a response to predominantly biocentric approach to environmental protection. For its evaluation, many qualitative and quantitative methods have been developed in the past twenty years. The primary difference is that with qualitative methods the evaluator attributes a certain numeric value to an element according to his/her judgement, whereas with the quantitative ones only objective measures apply. Hence, the quantitative ones mainly include terrain ruggedness and different elements of the abiotic environment (geomorphologic and/or soil, hydrologic and lithologic elements). Some of them are also partially automatized in the geographic information systems.

The so far methods were mainly adapted either to the goal of the geodiversity evaluation or to available data. In this article, we compared two qualitative methods that have already been used at evaluations. The first one merges the geomorphologic and the hydrologic elements with terrain ruggedness, whereas the second one includes also the lithologic elements in the study area. The study area was The Logar Valley Landscape Park, which is situated in the Kamnik-Savinja Alps in the north of Slovenia. Firstly, we mapped the geodiversity elements using the so-far literature, fieldwork, remote sensing and LIDAR data. Next, those elements were analysed in the *ESRI ArcMap* GIS programme. While calculating the geodiversity index, we omitted the natural logarithm, which is sometimes used for geodiversity evaluation, because we did not compare two different areas.

The results of the geodiversity evaluation among the two methods differed. The geodiversity index changes significantly if the lithologic elements are excluded from the evaluation. If those elements are included, the index gets a much higher value in the areas where it overlaps with high terrain ruggedness index. The reason for this is that the present equation multiplies the ruggedness index with other elements. Because of that it is sensible to include the lithologic elements only if different rock types occur and only if those occurrences affect other elements. Whereas if there is predominantly only one lithologic element in the study area, it can be omitted from the evaluation. Secondly, the lithologic elements can also be excluded if they only contribute to higher geodiversity index in the areas where there is also high terrain ruggedness index – namely, the two are multiplied in most of the studies – whereas there is no practical use or difference for the usage of the evaluation results. If the rock types do not have any crucial physical or chemical difference among them, their inclusion in the evaluation is not sensible. A too big number of the similar geological elements would cause a too big impact on the final evaluation result. The last reason why the lithologic elements do not need to be

included in the evaluation is that some of them – such as scree slopes or gravel, which are geomorphological elements – are already included as other element types and they should not be included more than once.

In the study area, the terrain ruggedness index mainly overlaps with slope – where there is high terrain ruggedness index, the slope is also very steep. That is why further studies could investigate whether it would be possible to include the slope and inclination data instead of the ruggedness index in a block for the geodiversity index. Another issue that arose during our study is that the value of the ruggedness index is multiplied with other elements: in that way the elements with high ruggedness index, even if there is only one other element in the same block, are attributed a much higher value than the areas with low ruggedness index.

To sum up, the results of our comparative research have shown that it is necessary to re-think the elements that are included in the geodiversity analyses. The present methods do not distinguish sufficiently between different elements, nor do they bring results that could be generally used for different purposes. Since the definition of geodiversity developed based on biodiversity, also the evaluation methodology should be tailored to the biodiversity evaluation model. Only if all these conclusions are taken into consideration, it will be possible to make comparisons between different study areas or to make further – joint – studies of environmental diversity.

*(Translated by the author)*