

GIS V SLOVENIJI MODELIRANJE POKRAJINE

ROK CIGLIČ
MATJAŽ GERŠIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



15



GIS V SLOVENIJI 15
MODELIRANJE POKRAJINE



GIS V SLOVENIJI 15

MODELIRANJE POKRAJINE

Uredili:

Rok Ciglič
Matjaž Geršič
Drago Perko
Matija Zorn

LJUBLJANA 2020

GIS V SLOVENIJI 15

MODELIRANJE POKRAJINE

Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn

© 2020, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniki: Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn

Uredniški odbor: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Matjaž Geršič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Krištof Oštir, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn

Recenzenti: David Bole, Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, David Hladnik, Mauro Hrvatin, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Krištof Oštir, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Jernej Tiran, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn

Izdajatelj: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Za izdajatelja: Matija Zorn

Založnik: Založba ZRC

Za založnika: Oto Luthar

Glavni urednik založbe: Aleš Pogačnik

Prelom: SYNCOMP d. o. o., Ljubljana

Tisk: Birografika Bori

Naklada: 300 izvodov

Prva izdaja, prvi natis. Prva e-izdaja.

Naslovnica:

Fotografija, ki jo je posnel brezpilotni letalnik 20. 7. 2019, prikazuje del mokrišča Jovsi, naravne vrednote, ki je od leta 1995 zavarovana kot spomenik narave zaradi ohranjene kulturne pokrajine močvirnih in vlažnih travnikov z veliko biotsko pestrostjo. Avtor fotografije: Jure Tičar.

Prva e-izdaja je pod pogoji licence Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 prosto dostopna:

<https://doi.org/10.3986/9789610504696>

Knjižna zbirka GIS v Sloveniji nastaja v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

CIP – Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

910.1(082)

528(082)

659.2:004:91(082)

MODELIRANJE pokrajine / uredili Rok Ciglič ... [et al.]. – 1. izd., 1. natis. – Ljubljana : Založba ZRC, 2020. – (GIS v Sloveniji, ISSN 1855-4954 ; 15)

ISBN 978-961-05-0468-9

1. Ciglič, Rok

COBISS.SI-ID 25535235

COBISS.SI-ID= 25145091

ISBN 978-961-05-0469-6 (pdf)

VSEBINA

<i>Timotej Verbovšek</i> Prostorska statistika globin vrtač na Matarskem podolju z metodo Getis-Ord	9
<i>Janez Bergant, Peter Kastelic, Irena Bertoncelj</i> Uporaba reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi posnetkov laserskega skeniranja površja (LiDAR)	19
<i>Drago Perko, Jure Tičar</i> Geomorfološke vrednote ter reliefni in pokrajinski tipi Slovenije	33
<i>Mauro Hrvatin, Manca Volk Bahun, Dénes Lóczy</i> Tipi hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije glede na značilnosti reliefa in prsti	53
<i>Liza Stančič, Krištof Oštir, Žiga Kokalj</i> Analiza vsebnosti spektralnega signala na posnetkih Sentinel-2 za kartiranje rek in obrečnega prostora	73
<i>Ana Smerdu, Urša Kanjir, Žiga Kokalj</i> Zaznavanje in kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst s satelitskimi posnetki Sentinel-2	87
<i>Alen Mangafić, Tomaž Žagar</i> Izdelava visokoločljivega sintetičnega ortofota na osnovi posnetkov Sentinel-2 z uporabo super-ločljivostnih generativnih nasprotniških mrež	97
<i>Rok Ciglič, Mateja Ferk, Gábor Nagy</i> Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah	107
<i>Dimitrij Mlekuž Vrhovnik</i> Geostatistično modeliranje neolitske poselitve v Panonski nižini	123
<i>Marko Krevs, Aleš Veršič, Boštjan Rogelj</i> Geoinformacijska podpora preoblikovanju območij volilnih enot in volilnih okrajev	133
<i>Samo Drobne</i> Povezanost med razširjenostjo okužbe s koronavirusom in delovno mobilnostjo med občinami v Sloveniji	149
<i>Simon Koblar, Valentina Pajk Koblar</i> Analiza prometne dostopnosti s podatki OpenStreetMapa	165
<i>Tomaž Šturm, Marko Simončič, Gregor Baliž, Primož Uršič, Nika Mesner</i> Digitalna družba Slovenije – pregled internetnega dostopa	175

<i>Mateja Breg Valjavec, Matija Klanjšček, Rok Ciglič</i> SmarTKarst.eu – spletna navigacijska platforma za razvoj trajnostnega turizma v čezmejni kraški pokrajini	189
<i>Andrej Stritar</i> Planinski geografski informacijski sistem – PlanGIS	201
<i>Blaž Barborič</i> Spletne platforme za spremljanje privlačnosti prostora na primeru Podonavja	211
<i>Eva Harmel, Sabina Cepuš, Matevž Premelč, Sašo Weldt, Aleksandra Krajnc, Klemen Strmšnik, Matjaž Harmel</i> Estetska vrednost in doživljanje Velike planine	223
<i>Ksenija Kovačec Naglič, Grega Žorž</i> Prostorski podatki varstva kulturne dediščine	233
<i>Alenka Jelen, David Bojc</i> Grajenje slovenske GIS terminologije z lokalizacijo izdelkov ArcGIS	241

PROSTORSKA STATISTIKA GLOBIN VRTAČ NA MATARSKEM PODOLJU Z METODO GETIS-ORD

dr. Timotej Verbovšek

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo
timotej.verbovsek@geo.ntf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1908-5759>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_01

UDK: 551.435.82:004.4'23(497.4Matarsko podolje)

IZVLEČEK

Prostorska statistika globin vrtač na Matarskem podolju z metodo Getis-Ord

V prispevku je predstavljena geostatistična metoda Getis-Ord, ki išče t.i. vroče in mrzle točke; prostorske enote s podobnimi izstopajočimi statistično značilnimi vrednostmi (vroče točke predstavljajo skupine najvišjih, mrzle točke pa najnižjih vrednosti). Metoda je bila uporabljena za analizo globin vrtač na zakraselem območju Matarskega podolja, ki ga sestavljajo predvsem kredni apnenci. Sam zemljevid globin vrtač ne omogoča razpoznavanja skupin globljih vrtač, medtem ko z metodo Getis-Ord jasno prepoznamo območja, kjer so globine večje in se združujejo v prostorske skupine. Ena od teh območij, ki ga je zaznala metoda in ni vezano na smer raztezanja geoloških plasti in tektonskih struktur, temveč poteka skoraj prečno na njih, je na območju, kjer se nahaja večje število jam. Metoda se je izkazala za uporabno pri razumevanju in analizi kraških pojavov.

KLJUČNE BESEDE

kras, vrtače, jame, Getis-Ord, Matarsko podolje

ABSTRACT

Spatial statistics of doline depths in Matarsko podolje (SW Slovenia) with Getis-Ord method

The paper presents the Getis-Ord geostatistical method, which maps the hot and cold spots; these are spatial clusters of features with significantly high values (hot spots) or low values (cold spots). The method was used for the analysis of doline depths in the karstified area of Matarsko Podolje (SW Slovenia), composed mainly of Cretaceous limestones. The doline depth map itself does not provide the recognition of deeper doline groups, while the Getis-Ord method clearly identifies areas where depths are greater and these dolines form spatial clusters. One of these hot spot areas, detected by the method and not related to the direction of extension of the geological layers and tectonic structures, but being almost perpendicular to them, lies in the same area where many caves are located. The method is therefore useful in understanding and analysing karst phenomena.

KEY WORDS

karst, dolines, caves, Getis-Ord, Matarsko podolje

1 Uvod

Vrtače so ene najznačilnejših kraških oblik in so že dolgo predmet preučevanja (Ford in Williams 2007). Številni raziskovalci so se že pred več kot 40 leti (Williams 1972; Jennings 1975; White in White 1979) ukvarjali z kvantitativnim preučevanjem njihovih morfoloških lastnosti ali modeliranjem njihovih oblik in geneze (Čar 2001; 2018; Šušteršič 2006a), med katere sodijo osnovne geometrijske lastnosti (Basso s sodelavci 2013; Kobal s sodelavci 2014; Bauer 2015; Enyedi s sodelavci 2018; Šegina s sodelavci 2018), na primer njihov premer, globina, površina, prostornina, pa tudi izpeljani parametri, kot so indeks krožnosti in podobno. V prispevku je predstavljeno nadaljevanje raziskav vrtač na Matarskem podolju, ki sta jih izvedla Verbovšek in Gabor (2019), s poudarkom na uporabi metode *Getis-Ord*, ki je manj znana geostatistična analiza in se je izkazala za uporabno pri določevanju lokacij jam na omejenem območju. Analizo vročih in mrzlih točk v Sloveniji so izvedli Hrvatini in Perko (2016) ter Perko, Hrvatini in Ciglič (2017), toda za drugačen primer, za analizo pokrajin. Z uporabo metode *Getis-Ord* so Lipar, Kostanjšek in Žura (2010) ugotavljali prostorske statistike za določevanje zgostitev prometnih nesreč. Še najbolj podobna študija je bila opravljena za ugotavljanje prostorske porazdelitve jam v apnencih v Zahodni Virginiji v ZDA (Stocks in Shears 2015), za analizo vrtač na kraškem območju pa metoda še ni bila uporabljena.

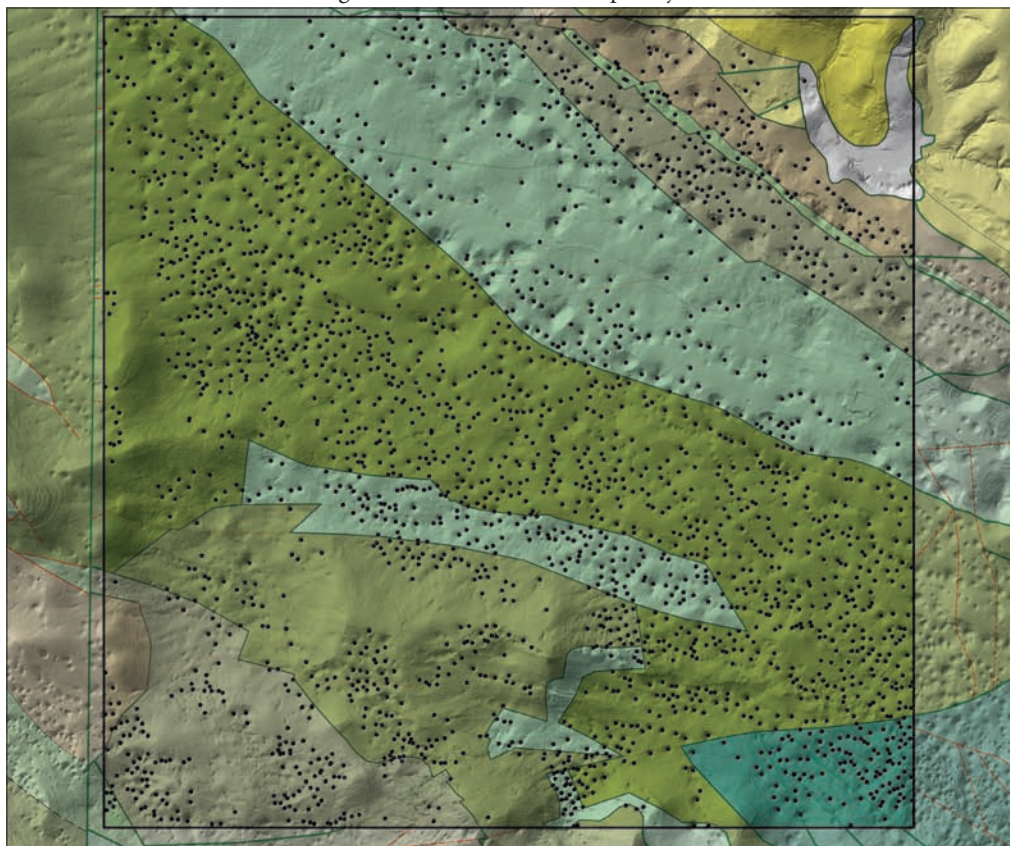
Matarsko podolje je kraški ravnik, ki se razprostira v smeri severozahod–jugovzhod med Brkini na severovzhodu in Slavnikom na jugozahodu. Proti jugovzhodu se dviguje od nadmorske višine približno 500 m do 680 m, dolgo je okoli 20 km in široko med 2 in 5 km (Mihevc 1994). Gre za območje kontaktnega krasa, ker se površinske vode iz Brkinov, ki jih sestavlja eocenski, slabo prepusten fliš, ste-kajo proti jugozahodu in ponikajo na stiku z apnenci Matarskega podolja, ki jih predstavljajo različne kamnine kredne starosti, predvsem apnenci, podrejeno tudi dolomiti in kredne breče (Šikić, Pleničar in Šparica 1967; Jež s sodelavci 2011; slika 1). Vode nato podzemno tečejo proti izviru Rižane in v Kvarnerski zaliv. Tektonsko pripada ozemlje Zunanjim Dinaridom (Placer 2008). Pojavlja se večje število prelomov dinarske smeri (severozahod–jugovzhod), nekateri prelomi pa imajo vlogo tako imenovanih zapornih prelomov, ki kanalizirajo podzemne vode (Šušteršič 2006b). Potokov, ki ponikajo iz Brkinov, je sedemnajst ter na stiku fliša in apnenca tvorijo slepe doline (Mihevc 1994; Stepišnik s sodelavci 2007). Nadaljevanje podzemnega toka je vezano na številne jame, ki so danes suhe. Območje je zelo zakraselo, pojavlja se veliko število vrtač. Človeškega vpliva na površje skorajda ni, razen nekaj vasi vzdolž ceste Kozina–Starod, ki poteka ob vznožju Brkinov. Poleg nekaj lokalnih poti v pokrajini ni večjih antropogenih posegov, zato je območje zelo primerno za analize površja. Na obravnavanem območju je 165 jam, njihova gostota pa je zelo velika (okoli 3–5 jam/km²) in je nad slovenskim povprečjem (0–1 jam/km²; Tičar, Perko in Volk Bahun 2018). Prevladujejo nekaj deset metrov globoka brezna, ki so povezana v horizontalne jamske sisteme. Med (jamarjem) bolj znanimi je jama Medvedjak, geneza jame Pečina v Zjatih pa je opisana v prispevku Verbovska (2003). Preučevano območje je veliko 25 km² (5 × 5 km). Analiza površja je bila opravljena na rastrskem digitalnem modelu površja DMR1, ki je bil izdelan na podlagi lidarskega snemanja Slovenije (Triglav Čekada in Bric 2015; Medmrežje 1). Uporabnost tega natančnega rastrskega sloja za jamarstvo sta prepoznala Čekada in Gostinčarjeva (2016), ki sta predstavila tako uporabnost rastrskih podatkov kot tudi oblakov točk za jamarske raziskave.

2 Metode dela

Lokacije vrtač (slika 1) so bile določene na podlagi metode najvišje sklenjene izohipse (metoda *OCC*; *Outermost Closed Contour*; Bauer 2015). Risanje obodov je bilo narejeno ročno, da smo se izognili

Slika 1: Geološka zgradba obravnavanega območja in lokacije vrtač; manjša slika prikazuje lego območja. ►

Prostorska statistika globlin vrtač na Matarskem podolju z metodo Getis-Ord



Legenda

- lokacija vrtače
- obravnavano območje

Geološka karta

- kvartarni nanosi (aluvij)
- eocenski fliš
- [Pg_apn] turonijski in senonijski apnenci s foraminiferami
- [Koz] zgornjekredni kozinski apnenci
- [Apn_pla] turonijski plastoviti apnenci
- [Dol_apn] cenomanijski in turonijski apnenci in dolomiti
- [Breča] albijski in cenomanijski dolomiti ter apnenčaste breče
- [Apn_rud] cenomanijski in turonijski apnenci, podrejeno dolomiti
- [Apn_dol] cenomanijski in turonijski apnenci in dolomiti
- [Apn_bre] debeložrnati in brečasti apnenci, apnenčaste breče
- [Apn_ker] apnenci s fosili keramosferina



Avtor vsebine in zemljevida: Timotej Verbošek
 Vir: Javne informacije Slovenije,
 Geodetska uprava Republike
 Slovenije 2014 in 2020.
 © 2020, Univerza v Ljubljani,
 Naravoslovnotehniška fakulteta



napakam, ki jih naredijo metode avtomatičnega zaznavanja vrtač, ki temeljijo na zapolnjevanju površja z metodo prelivanja vode in iskanja višine zaključenih kotanj (Breg Valjavec 2010; Doctor in Young 2013; De Carvalho Júnior s sodelavci 2014; Bauer 2015). Te metode lahko podajo tudi večje vrednosti površin kot ročno določanje (Telbisz, Dragušica in Nagy 2009). Naredili smo tudi točkovni sloj najnižje točke v vrtači; tej smo pripisali nadmorsko višino z ukazom *Extract Values to Point*, s pomočjo programskega orodja *ArcMap*. Ročni izris izohipse je bil opravljen na izohipsah z višinskim intervalom 1 m, ki je bil izdelan iz rastrskega sloja nadmorskih višin. Ker so izohipse, izdelane iz rastrskega sloja, precej nepravilne oziroma nazobčane, smo jih zgladili z orodjem *Smooth Polygons* in toleranco 15 m. Nato smo preverili topologijo z uporabo dveh topoloških pravil – vsak poligon vrtače je moral vsebovati natanko eno točko z najnižjo nadmorsko višino ter poligoni vrtač se ne smejo prekrivati. Poligone vrtač smo pretvorili v linijske objekte in te spremenili v 3R objekte z orodjem *Interpolate Shape*. Te smo nato spremenili nazaj v 3R poligone in izračunali povprečno vrednost nadmorske višine oboda vrtač (orodje *Calculate Geometry*). Od teh povprečnih vrednosti nadmorskih višin poligonov smo odšteli globine najnižjih točk in tako izračunali globine vrtač, ki smo jih obravnavali z metodo *Getis-Ord*. Ostalih kvantitativnih parametrov (površina, prostornina, indeks krožnosti in podobno) v tem prispevku ne obravnavamo, ker je bila ta tematika že predstavljena v članku Verbovska in Gaborjeve (2019).

Metoda *Getis-Ord* (Getis in Ord 1992; Ord in Getis 1995) je prostorska statistična metoda, namenjena identifikaciji skupin, katerih vrednosti se grupirajo. Ničelna hipoteza je, da ni prostorskega grupiranja (*clustering*) vrednosti (na primer globin vrtač). V prispevku so bile testirane tri stopnje zaupanja (α), 10 %, 5 % in 1 %. Rezultat metode so območja vročih točk, ki predstavljajo skupine s podobnimi visokimi vrednostmi (globin vrtač), kar je razvidno iz visokih vrednosti indeksa G_i^* . Analogno so tako imenovane mrzle točke tiste skupine, ki imajo podobno nizke vrednosti globin vrtač oziroma nizke vrednosti G_i^* . Metoda z imenom *Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*)* je na voljo v programskem orodju *ArcGIS*, v naboru orodij prostorske statistike (*Spatial Statistics*). To metodo smo uporabili, ker omogoča izračune iz že obstoječih slojev ter rezultate poda kot zemljevid vročih in mrzlih točk. Indeks G_i^* je določen z enačbo 1 (Mitchell 2009):

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_i w_{ij}(d)x_j}{\sum_i x_j} \quad (1)$$

kjer so vrednosti:

$G_i^*(d)$ = vrednost indeksa G^* za i -to vrtačo v odvisnosti od razdalje (d);

d = razdalja med dvema izračunanima vrtačama;

w_{ij} = utež glede na razdaljo med vrtačama;

x_j = vsota vrednosti (globin).

Statistično testiranje G_i^* poteka s standardno Z-vrednostjo (enačba 2):

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{Var(G_i^*)}} \quad (2)$$

kjer so vrednosti:

$E(G_i^*)$ = pričakovana vrednost indeksa G^* ;

$Var(G_i^*)$ = varianca indeksa G^* .

Pričakovano vrednost $E(G_i^*)$ pa določimo iz enačbe 3:

$$E(G_i^*) = \frac{\sum_i w_{ij}(d)}{n-1} \quad (3)$$

kjer je n = število analiziranih vrtač.

Visoke pozitivne vrednosti Z kažejo vroče točke, nizke vrednosti mrzle točke in vrednosti Z okoli ničle neznačilne točke brez posebnosti oziroma prostorskih povezav. Z -vrednosti prikažemo tudi kot rezultat na zemljevidu, saj lahko preko njih testiramo statistično značilnost (na primer na stopnji zaupanja 95 % je Z manjši od $-1,96$ ali večji od $+1,96$), pri čemer uporabimo privzeto rdeče barve za vroče točke in modre barve za mrzle točke.

3 Rezultati in diskusija

Na območju se nahaja 2357 vrtač, torej 94 vrtač/km², kar območje uvršča v razred zelo visoke gostote vrtač (Faivre in Pahernik 2007). Lokacije vrtač z globlinami so prikazane na sliki 2. Povprečna vrednost globlin je 2,98 m, globline pa se gibljejo med 0,03 m in 35 m. Na sliki iz porazdelitve globlin na prvi pogled ni razvidno, da bi bila med vrtačami glede na ta parameter kakšna povezava. Večje vrtače so pričakovano globlje, vmes je nekaj brezen, ki so relativno globoka glede na površino njihove kotanje/obseg.

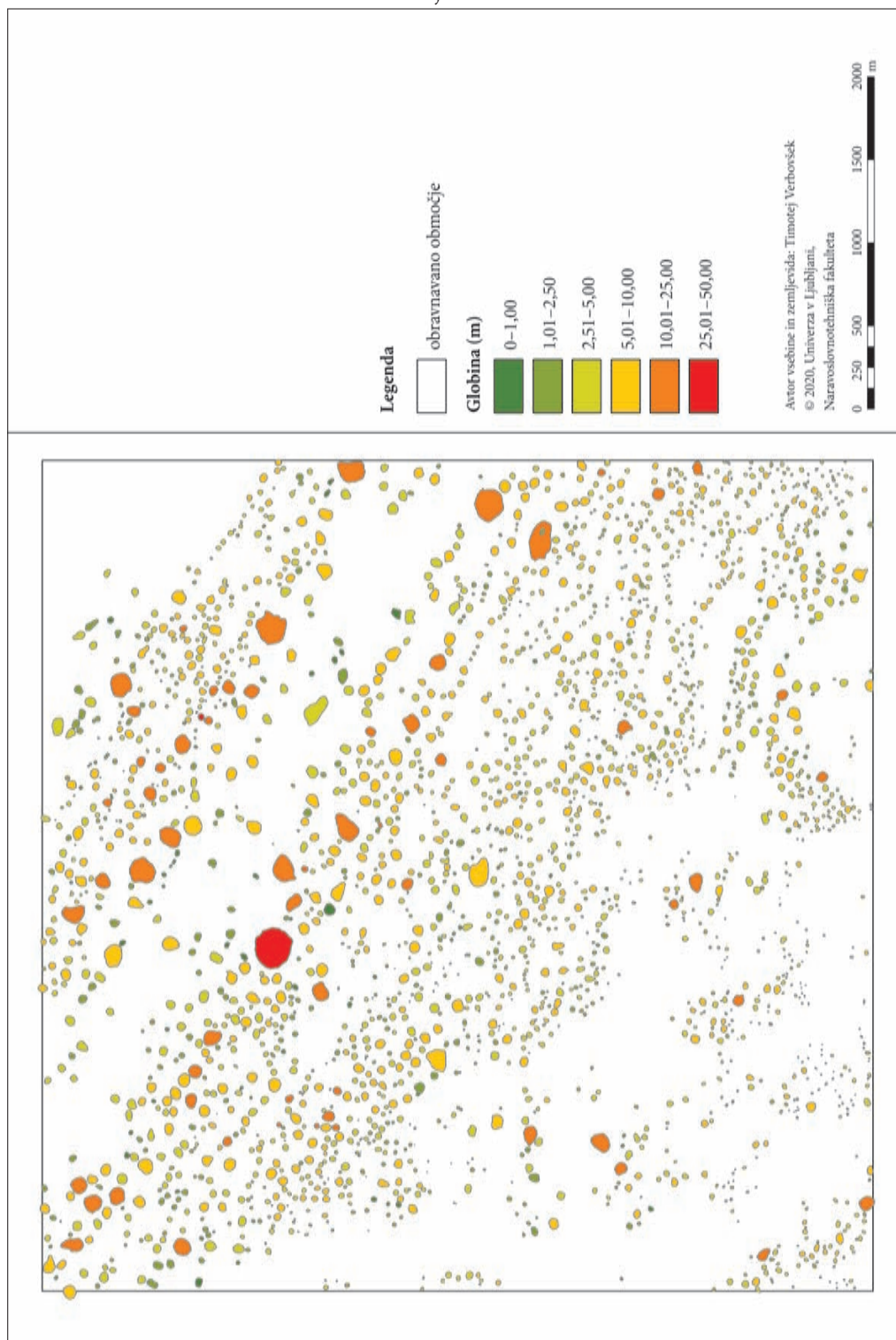
Večje in tudi globlje vrtače se pojavljajo v dveh pasovih na severovzhodnem delu območja, v smeri severozahod–jugovzhod. Gre za območje cenomanijsko-turonijskih apnencev z rudisti in menjavanje apnencev in dolomitov (slika 1), ki manj zakrasevajo kot okoliški karbonati, kar je opazno na sliki kot pas z manjšim številom vrtač na severovzhodnem delu zemljevida. Vrtače se prav tako ne pojavljajo na Brkinih, v skrajnem severovzhodnem flišnem robu ozemlja ter na jugozahodnem delu (na karbonatnih pobočjih Slavnika), saj so nakloni površja preveliki. Razlogov, zakaj so omenjeni karbonati podvrženi zakrasevanju, je lahko več in presegajo zastavljen cilj v tem prispevku, najverjetneje pa je treba razlago iskati v mikrofaciesu ter podrobni geokemični sestavi kamnine in morebitnih primesi, saj hidrogeološke lastnosti ter kemične nepravilnosti bistveno vplivajo na nastanek por in kraških kanalov. Ključno vlogo ima tudi dolomitizacija, ki tudi v najmanjši stopnji spremeni topnost kamnin ter bistveno vpliva na prepustnost in večinoma slabše zakrasevanje (Purser, Brown in Aissaoui 1994). Drug pomemben dejavnik pa je struktura oziroma tektonska poškodovanost kamnin, tako mikrorazpoke, kot tudi prelomne cone, ki imajo ključen vpliv ne le na lokacije pojavljanja vrtač, temveč tudi na njihovo obliko (Čar 2001; 2018).

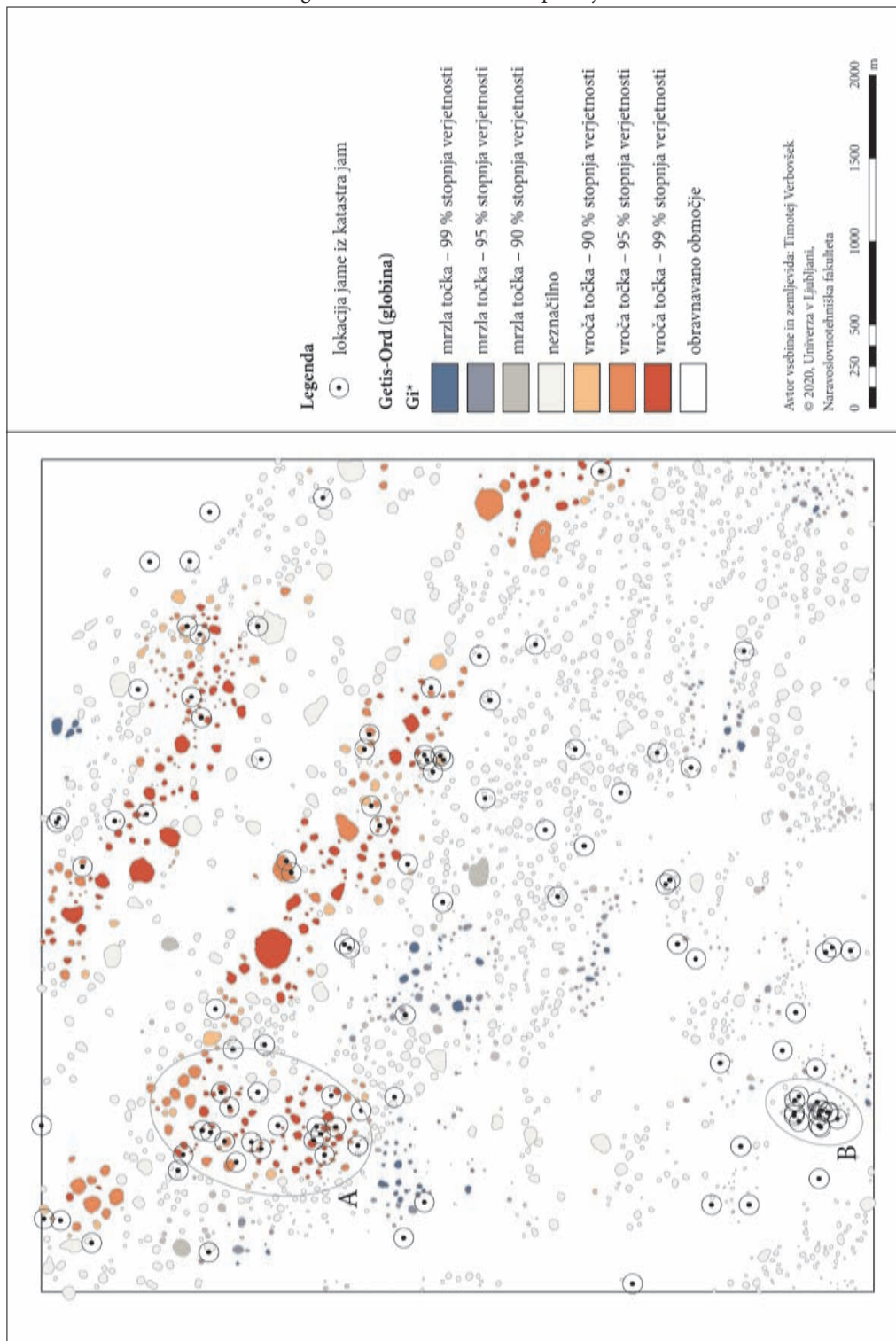
Rezultati metode *Getis-Ord* (slika 3) nasprotno od zemljevida globlin (slika 2) kažejo precej bolj zanimive rezultate. Na sliki 3 so razvidna območja vročih točk (rdeča barva) in mrzlih točk (modra barva). Dve očitni razvojni vroči točki v smeri raztezanja geoloških plasti (severozahod–jugovzhod), sta na sliki še bolj razvidni. Poleg tega sta vidni tudi dve dodatni območji, ki ju na prejšnji sliki ni bilo mogoče zaznati. Gre za območji, označeni s črkama A in B (slika 3).

Na izstopajočem območju vročih točk A je 20 jam s povprečno globino 33,5 m (povprečje je narejeno na 19 jamah, ker ena nima podatka o globini). Skupina lokacij jam je usmerjena skoraj pravokotno na smer raztezanja geoloških plasti in tako predstavlja anomalijo. Domneva, ki bi jo bilo treba preveriti na terenu, je, da gre za jamski sistem, kjer je voda tekla v smeri proti morju (torej proti jugozahodu). Danes tok podzemne vode sicer v splošnem poteka v tej smeri, vprašanje pa je, ali je bilo tako tudi v geološki zgodovini, saj je količina vod (pretok) potokov iz Brkinov danes precej manjša, kot je razvidno iz velikosti jam in ocenjenega pretoka v jamah na tem območju (Verbovšek 2003). Hidrološke razmere so zato lahko bile precej drugačne in zgolj predpostavljamo, da je bila prečna smer jamskega sistema proti jugozahodu na območju A (slika 3) enaka današnji. Razlago za vprašanje, zakaj je območje jam in vročih točk globlin vrtač skoncentrirano na manjše območje, lahko iščemo v teoriji zapornih prelomov (Šušteršič 2006b), saj ti prelomi le na določenih mestih prepustijo tok skozi sicer bolj ali manj neprepustno »zaporno« cono, nastalo zaradi tektonske spremembe hidrogeoloških lastnosti kamnin. Vrtač v območju A je 140, njihova povprečna globina je 4,80 ($Z \geq 2,58$, »najbolj vroče točke«). Območji

Slika 2: Globline vrtač. ► (str. 14)

Slika 3: Rezultati metode *Getis-Ord* – vroče in mrzle točke. ► (str. 15)





teh vrtač in jam zelo dobro sovpadata, torej metoda *Getis-Ord* zelo dobro predvidi vroče točke na območju pojavljanja jam. Genetsko so vrtače in jame povezane. Na širšem območju je bilo to opisano v prispevku Žvab Rožičeve, Čara in Rožiča (2015) ter tudi na ožjem območju jame Pečina v Zjatih (Verbovšek 2003).

Območje B je glede razlage bolj težavno, saj gre za dokaj neizrazito »mrzlo« območje, kjer se pojavlja le nekaj jam. Območje je bistveno manjše od območja A, predvsem pa je v nasprotju od tega območja tukaj mrzla točka; pričakujemo torej manj globoke vrtače, kar je v nasprotju z dejstvom, da se na majhnem območju pojavlja večje število jam. Tudi to območje bi bilo treba preveriti na terenu, predvsem tudi s strukturnim kartiranjem, kot je to za ožje območje jame Medvedjak naredil Vrvišar (2016).

4 Sklep

Na obravnavanem območju se je metoda *Getis-Ord* z izračunom indeksa G_i^* pokazala kot dokaj uporabna za določevanje lokacij jam, saj se območja njenih vročih točk, kjer smo kot kvantitativni parameter uporabili globine vrtač, prostorsko zelo dobro ujemajo z lokacijami jam iz katastra. Metoda je prepoznala območja, ki na prvi pogled niso razvidna iz samih globin vrtač. Genetsko lahko razlago iščemo v povezanem jamskem sistemu in morebitnem zapornem prelomu, ki na določenem mestu kanalizira podzemno vodo v generalni smeri toka. Nadaljnje delo bo usmerjeno v preučevanje povezave globin vrtač z geometrijo jam oziroma njihovimi tlorisi, saj podajo več informacij kot zgolj lokacije jam. Poleg tega je potrebno tudi dodatno terensko delo, za preverbo, kako so vrtače povezane z jamskimi sistemi na tem območju.

5 Viri in literatura

- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., Pepe, M. 2013: Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Science* 70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2297-z>
- Bauer, C. 2015: Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data. *Geomorphology* 250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.015>
- Breg Valjavec, M. 2010: Digitalni model višin nekdanje pokrajine – primer Logaško polje (leto 1972). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010, GIS v Sloveniji 10*. Ljubljana.
- Čar, J. 2001: Structural bases for shaping of dolines. *Acta Carsologica* 30-2.
- Čar, J. 2018: Geostructural mapping of karstified limestones. *Geologija* 61-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2018.010>
- Čekada, M., Gostinčar, P. 2016: Uporaba lidarja v jamarstvu. *Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13*. Ljubljana.
- De Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Montgomery, D. R., Gillespie, A. R., Gomes, R. A. T., De Souza Martins, É., Silva, N. C. 2014: Karst depression detection using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-derived digital elevation models in the Bambuí Group, Brazil. *Remote Sensing* 6-1. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6010330>
- Doctor, D. H., Young, J. A. 2013: An evaluation of automated GIS tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter lidar-derived digital elevation data. *Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst: Proceedings of the Thirteenth Multidisciplinary Conference*. Carlsbad. DOI: <https://doi.org/10.5038/9780979542275.1156>
- Enyedi, P., Pap, M., Kovács, Z., Takács-Szilágyi, L., Szabó, S. 2018: Efficiency of local minima and GLM techniques in sinkhole extraction from a LiDAR-based terrain model. *International Journal of Digital Earth* 12-9. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1501107>
- Faivre, S., Pahernik, M. 2007: Structural influences on the spatial distribution of dolines, Island of Brač, Croatia. *Zeitschrift für Geomorphologie* 51-4. DOI: <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2007/0051-0487>

- Ford, D., Williams, P. W. 2007: Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chichester.
- Getis, A., Ord, J. K. 1992: The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24-2. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Hrvatini, M., Perko, D. 2016: Morfometrične razlike med pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612549305>
- Javne informacije Slovenije: Lidar DMR1. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2014
- Javne informacije Slovenije: P750. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2020.
- Jennings, J. N. 1975: Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. *New Zealand Geographer* 31-1. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-7939.1975.tb00793.x>
- Jež, J., Otoničar, B., Fuček, L., Ogorelec, B. 2011: Late Cretaceous sedimentary evolution of a northern sector of the Adriatic Carbonate Platform (Matarsko Podolje, SW Slovenia). *Facies* 57. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10347-010-0249-6>
- Kobal, M., Bertonec, I., Pirotti, F., Kutnar, L. 2014: Lidar processing for defining sinkhole characteristics under dense forest cover: A case study in the Dinaric mountains. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40-7. DOI: <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-113-2014>
- Lipar, P., Kostanjšek, J., Žura, M. 2010: Uporaba prostorske statistike za določevanje zgostitev prometnih nesreč. *Geodetski vestnik* 54-1. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2010.01.061-069
- Medmrežje 1: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (18. 11. 2019).
- Mihevč, A. 1994: Contact karst of Brkini hills. *Acta Carsologica* 23.
- Mitchell, A. 2009: The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 2: Spatial Measurements and Statistics. Redlands.
- Ord, J. K., Getis, A. 1995: Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application. *Geographical Analysis* 27-4. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- Perko, D., Hrvatini, M., Ciglič, R. 2017: Determination of landscape hotspots of Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 57-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.4618>
- Placer, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija* 51-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2008.021>
- Purser, B. H., Brown, A., Aissaoui, D. M. 1994: Nature, origins and evolution of porosity in dolomites. *Dolomites: A Volume in Honour of Dolomieu*. Gent. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444304077.ch16>
- Stepišnik, U., Ferik, M., Gostinčar, P., Černuta, P., Peternelj, K., Štembergar, T., Ilič, U. 2007: Alluvial fans on contact karst: An example from Matarsko podolje, Slovenia. *Acta Carsologica* 36-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v36i2.189>
- Stocks, L., Shears, A. 2015: Cave density of the Greenbrier Limestone Group, West Virginia. *Papers in Applied Geography* 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1080/23754931.2015.1014269>
- Šegina, E., Benac, Č., Rubinič, J., Knez, M. 2018: Morphometric analyses of dolines – the problem of delineation and calculation of basic parameters. *Acta Carsologica* 47-1. DOI: <http://doi.org/10.3986/ac.v47i1.4941>
- Šikić, D., Pleničar, M., Šparica, M. 1967: Osnova geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Ilirska Bistrica. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Šušteršič, F. 2006a: A power function model for the basic geometry of solution dolines: considerations from the classical karst of south-central Slovenia. *Earth Surface Processes and Landforms* 31-3. DOI: <http://doi.org/10.1002/esp.1244>
- Šušteršič, F. 2006b: Relationships between deflector faults, collapse dolines and collector channel formation: some examples from Slovenia. *International Journal Speleology* 35-1. DOI: <http://doi.org/10.5038/1827-806X.35.1.1>
- Telbisz, T., Dragušica, H., Nagy, B. 2009: Doline morphometric analysis and karst morphology of Biokovo Mt (Croatia) based on field observations and digital terrain analysis. *Hrvatski geografski glasnik* 71-2. DOI: <https://doi.org/10.21861/hgg.2009.71.02.01>

- Tičar, J., Perko, D., Volk Bahun, M. 2018: Geodediščina in pokrajinska raznolikost Slovenije. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- Verbovšek, T. 2003: Cave forms and origin of the cave Pečina v Zjatih (Matarsko podolje, Slovenia). Acta Carsologica 32-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v32i1.369>
- Verbovšek, T., Gabor, L. 2019: Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. Environmental Earth Sciences 78-396. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8398-6>
- Vrviščar, B. 2016: Geološka karta kraškega ozemlja nad jamo Medvedjak na Matarskem podolju. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta. Ljubljana.
- White, E. L., White, W. B. 1979: Quantitative morphology of landforms in carbonate rock basins in the Appalachian Highlands. Geological Society of America Bulletin 90-4. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1979\)90%3C385:QMOLIC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1979)90%3C385:QMOLIC%3E2.0.CO;2)
- Williams, P. W. 1972: Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. Geological Society of America Bulletin 83-3. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[761:MAOPKI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[761:MAOPKI]2.0.CO;2)
- Žvab Rožič, P., Čar, J., Rožič, B. 2015: Geological structure of the Divača area and its influence on the speleogenesis and hydrogeology of Kačna jama. Acta Carsologica 44-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v44i2.1958>

UPORABA RELIEFNEGA KOEFICIENTA ZA ZAZNAVANJE POTENCIALNIH OBMOČIJ GRBINASTIH TRAVNIKOV NA OSNOVI POSNETKOV LASERSKEGA SKENIRANJA POVRŠJA (LIDAR)

Janez Bergant, Peter Kastelic, dr. Irena Bertoncelj

Kmetijski inštitut Slovenije

jani.bergant@kis.si

peter.kastelic@kis.si

irena.bertoncelj@kis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_02

UDK: 911.2:551.4:528.8.044.6

IZVLEČEK

Uporaba reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi posnetkov laserskega skeniranja površja (LiDAR)

V prispevku smo preizkusili metodo za identifikacijo območij grbinastih travnikov z uporabo posnetkov laserskega skeniranja in podatkov rabe tal. Metoda temelji na izračunu reliefnega koeficienta, ki smo ga ponovili s procesnimi okni 3×3 , 5×5 in 9×9 celic. Za klasifikacijo grbinastih in ravnih travnikov smo uporabili metodo največje verjetnosti, končno opredelitev grbinastih travnikov pa z metodo glajenja na procesnih oknih 5×5 , 10×10 in 15×15 celic. Skupno 9 metodoloških postopkov smo pilotno preizkusili na območju Zgornje Radovne in doline Krme, kjer smo grbinaste travnike kartirali in jih razdelili v učne in validacijske poligone. Med devetimi postopki zaznavanja grbinastih travnikov smo pri štirih ugotovili zanesljivost med 80 in 91 %.

KLJUČNE BESEDE

grbinasti travniki, geomorfologija, reliefni koeficient, LiDAR, daljinsko zaznavanje, geomorfometrija, nadzorovana klasifikacija

ABSTRACT

Use of relief coefficient for identification of potential areas of hummocky meadows based on LiDAR images

We examined the use of relief coefficient calculated using LiDAR imagery and land use data as a method for the identification of hummocky meadows. Relief coefficient calculation was repeated with a process windows of 3×3 , 5×5 , and 9×9 cells. The maximum likelihood method was used for classification and smoothing method on the process windows of 5×5 , 10×10 , and 15×15 cells for the final detection of hummocky meadows. The method was tested in the area of Zgornja Radovna and the Krma Valley, where hummocky meadows were identified and separated into learning and validation data sets. Four out of nine procedures reached satisfactory reliability of the detection of hummocky meadows with accuracy between 80 and 91%.

KEY WORDS

hummocky meadows, geomorphology, relief coefficient, LiDAR, remote sensing, geomorphometry, supervised classification

1 Uvod

Grbinasti travniki so geomorfološka posebnost z značilnim mikroreliefom izmenjevanja izboklin in vdolbin različnih oblik in velikosti, ki se pojavljajo v alpskem in predalpskem svetu (Cvetek 1971; Embleton-Hamann 2004). Okoljski dejavniki, ki določajo rastne pogoje za vegetacijo, so na grbinastih travnikih zaradi razgibanosti površja precej raznoliki, kar omogoča visoko botanično pestrost teh travnikov (Gutser in Kuhn 1998; Prezelj 2012) ter posledično tudi visoko pestrost nekaterih živalskih skupin kot so metulji (Krämer, Poniatowski in Fartmann 2012) in kobilice (Löffler in Fartmann 2017). Po drugi strani pa je zaradi razgibanosti terena kmetijska obdelava grbinastih travnikov zelo težka, saj onemogoča strojno in zahteva ročno košnjo. Grbinasti travniki so del naravne in kulturne dediščine in so se ohranili zaradi dolgoletne ročne košnje (Ambrožič 2006). Dejstvo je, da je veliko grbinastih travnikov v preteklosti izginilo, saj so jih kmetje izravnali ali pa prenehali kositi in so se posledično zarasli z gozdom, kar se dogaja še danes. V predgorju Alp na Bavarskem je od dvajsetih let preteklega stoletja do danes izginilo več kot 95 % grbinastih travnikov (Krämer, Poniatowski in Fartmann 2012). Kartiranje 1939,8 ha velikega območja v Bohinju v zgodnjih devetdesetih letih je pokazalo, da grbinasti travniki obsegajo le 19 % območja. Od ostalih površin je bilo 39 % površin izravnanih, 30 % grbinastih travnikov je bilo zaraščenih in 12 % so predstavljale druge ne-grbinaste površine (rečne struge, ceste, stavbna zemljišča) (Odar 1993).

Da bi preprečili izginjanje grbinastih travnikov, je bil v okviru Programa razvoja podeželja (PRP) leta 2004 prvič razpisan ukrep »košnja grbinastih travnikov«, ki naj bi pripomogel k iskanju kompromisa med ohranjanjem grbinastih travnikov in kmetijsko rabo na teh območjih. Kljub finančni podpori je zanimanje kmetov za vključevanje v omenjeni ukrep zelo nizko in je v zadnjem obdobju PRP (2014–2020) doseglo samo 9 % površin, ki so bile predvidene kot cilj PRP (Bergant s sodelavci 2019). Za namen priprave predloga posodobljenega ukrepa »košnja grbinastih travnikov« v PRP za obdobje 2021–2027, se kažejo potrebe po posodobitvi prostorske evidence prisotnosti grbinastih travnikov v naravi.

Opredelitev grbinastih travnikov ni enoznačna. Od slovenskih raziskovalcev so se z morfometrijo grbin ukvarjali Cvetek (1971), Ambrožič (2006) in Koblar (2013). Različni avtorji navajajo višine grbin med 30 in 150 cm, premer grbin pa med 80 in celo 700 cm (preglednica 1; Hamann 1985; Embleton-Hamann 2004; Ambrožič 2006; Koblar 2013).

*Preglednica 1: Morfometrične značilnosti grbin povzete po tujih in slovenskih avtorjih (n. p. pomeni ni podatka). Viri, ki so označeni z *, so posredno povzeti po Hamannu (1985).*

Vir:	prevladujoča višina (skrajne vrednosti) [cm]	prevladujoč premer grbin (skrajne vrednosti) [cm]	prevladujoča gostota grbin (skrajne vrednosti) [število grbin na ha]
Engelschalk (1971)*	40–50 (25/150)	200–400 (100/700)	570 (170/900)
Gracanin (1970)*	50–100 (n. p./150)	80–300	n. p.
Wölfel (1975)*	(100/n. p.)	100–300	500
Müller (1959)*	30–150	n. p.	n. p.
Penck (1940/41)*	30–50	200–300	n. p.
Knauer (1943)*	(n. p./150)	200–300	n. p.
Lutz (1947)*	50 (n. p./100)	300–400 (200/500)	n. p.
Embleton-Hamann (2004)	52	250–510	400
Cvetek (1971) – Slo	(n. p./150)	200–300	2000
Ambrožič (2006) – Slo	32	n. p.	n. p.
Koblar (2013) – Slo	30–150	100–500	(1750/1775)

V tej nalogi predstavljamo preizkus metode zaznavanja potencialnih območij grbinastih travnikov z uporabo posnetkov laserskega skeniranja površja (angleško *light detection and ranging*, LiDAR). Namen metode je na cenejši in hitrejši način nakazati potencialna območja pojava grbinastih travnikov v Sloveniji. V prispevku so podani rezultati validacije omenjene metode na testnem območju Triglavskega narodnega parka (TNP).

2 Metode dela

Za testno območje, na katerem smo izdelovali in preverjali metode dela, smo izbrali dolino Zgornje Radovne in dolino Krme, kjer so bili grbinasti travniki v preteklosti že preučevani (Ambrožič 2006; Prezelj 2012; Koblar 2013). Identifikacijo grbinastih travnikov na izbranem testnem območju smo izvedli na terenu 5. 9. 2019 in 21. 11. 2019. Skupno smo kartirali 80,9 ha površin in območja travnikov razdelili na učna in validacijska območja. Učna območja so obsegala 16 poligonov v skupni površini 11,3 ha med katerimi so 4 grbinasti (5,8 ha) in 12 ravnih travnikov (5,4 ha). Validacijska območja so obsegala 39 poligonov s površino 69,6 ha, od katerih je 16 poligonov v površini 11,0 ha opredeljenih kot grbinasti travniki, 23 poligonov v površini 58,6 ha pa kot ravni travniki.

Kot vhodni podatek smo uporabili oblak točk reliefa (OTR), ki smo ga za naše testno območje pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). V prvem koraku smo pridobljene podatke pretvorili iz formata laz v format las. Za pretvorbo smo uporabljali odprtokodni programski paket LAsTools. Z uporabo orodij, ki so na voljo v programskem paketu WhiteboxTools, smo z metodo triangulacijske interpolacije (TIN) iz podatkov OTR v formatu las izdelali lasten digitalni model višin (DMV) testnega območja z ločljivostjo 0,5 m (slika 1).

Razčlenjenost površja smo kvantitativno ocenili z uporabo reliefnega koeficienta in kot vhodni podatek uporabili omenjeni DMV. Pri tem smo uporabljali programsko opremo ArcGIS Desktop (ArcInfo 10.0). Reliefni koeficient je uporabil že Perko (2001) za določanje morfoloških enot Slovenije z uporabo DMV z ločljivostjo 100 m. Reliefni koeficient združuje tako višinsko kot tudi naklonsko razčlenjenost prostora. V geoinformacijskem smislu reliefni koeficient sodi v analizo konteksta, saj upošteva vrednosti okolice (procesno okno), rezultat pa zapisuje v središčno celico. Koeficient metodološko temelji na izračunu koeficienta variacije, ki je s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom in povprečjem (Perko 2001). Višinski in naklonski koeficient se izračunata po formulah:

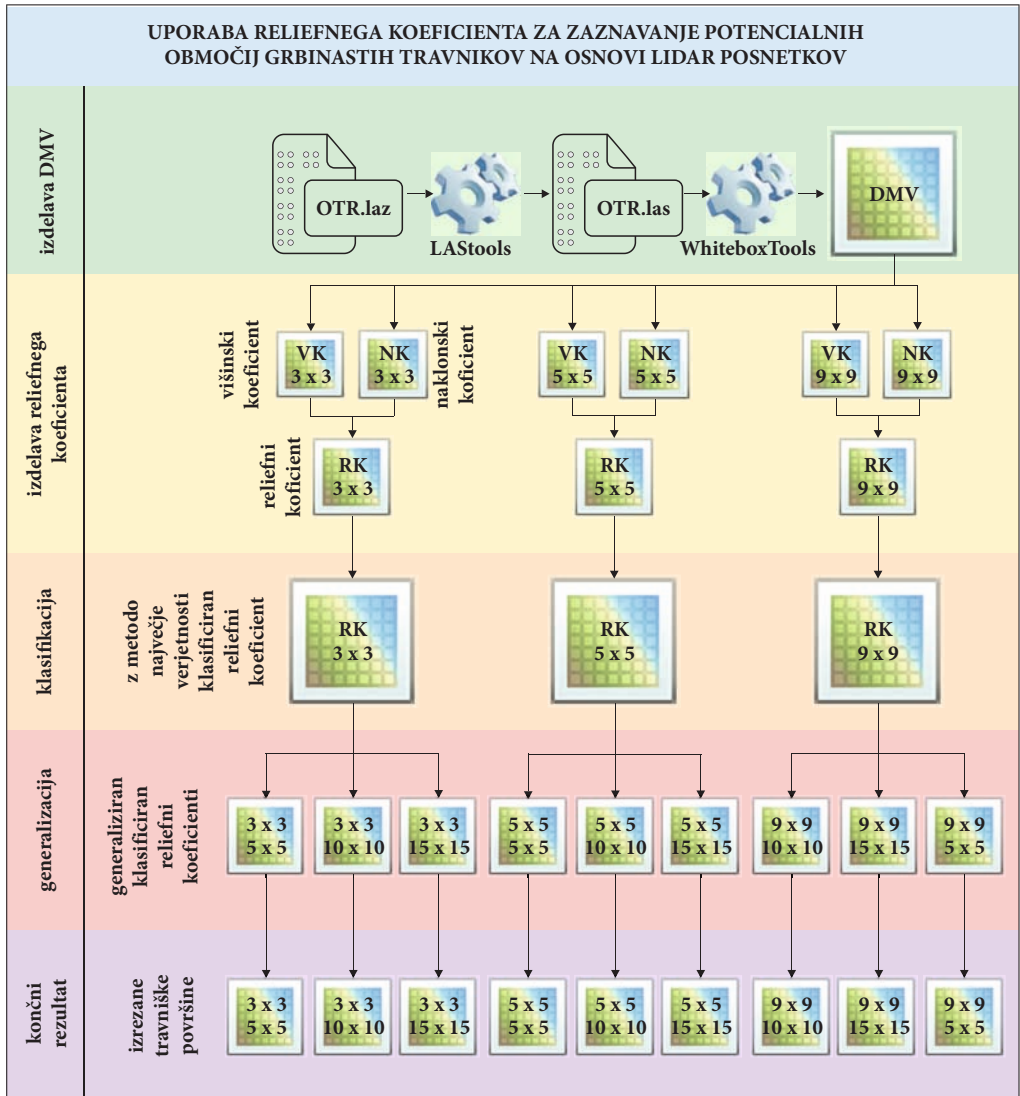
$$Vk = \frac{(\sigma_V \cdot 100)}{AS_V}$$

in

$$Nk = \frac{(\sigma_N \cdot 100)}{AS_N},$$

kjer Vk predstavlja višinski, Nk pa naklonski koeficient znotraj procesnega okna. V obeh formulah σ pomeni standardni odklon nadmorske višine (V) oziroma naklona (N) znotraj procesnega okna, AS pa aritmetično sredino nadmorskih višin (V) oziroma naklonov (N) znotraj procesnega okna. Procesno okno se nato pomika po celotnem rastrskem sloju in ponavlja postopek izračuna. Po kriterijih za opredeljevanje grbinastih travnikov navedenih v literaturi smo pri naši prostorski analizi za procesno okno izbrali obliko kvadrata z velikostjo 3×3 celice (soseščina 8 celic oziroma območje $1,5 \times 1,5$ m). Nato smo postopek ponovili še na dveh ravneh: s procesnim oknom 5×5 celic (soseščina 24 celic oziroma območje $2,5 \times 2,5$ m) in 9×9 celic (soseščina 80 celic oziroma območje $4,5 \times 4,5$ m). Iz višinskega in naklonskega koeficienta smo izračunali geometrično sredino in tako izdelali sloj reliefnega koeficienta za vse tri velikosti procesnega okna (vse resolucije 0,5 m; oznake relkoef33, relkoef55, relkoef99; slika 1).

Da bi lahko opredelili morfološki enoti »grbinast travnik« in »raven travnik«, smo zvezne vrednosti, ki so končni rezultat zgoraj opisanega koeficienta, klasificirali v dva morfološka razreda (ravno površje, grbinasto površje). Za to smo uporabili postopek nadzorovane klasifikacije in metodo največje verjetnosti (angleško *maximum likelihood classification*; *MAXLIKE*), pri čemer smo skušali vsako celico na podlagi vrednosti uvrstiti v enega izmed znanih razredov, ki smo jih s spektralnimi podpisi določili na učnih območjih. V postopku smo določili, da ima vsaka rastrska celica enake možnosti uvrščanja v katerikoli razred. Vsaka celica rastrskega sloja je bila na koncu uvrščena v razred, za katerega je imela največjo verjetnost članstva (slika 1).



Slika 1: Shematski pregled uporabe reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi posnetkov laserskega skeniranja.

Vsakega od treh klasificiranih reliefnih koeficientov smo s postopkom glajenja oziroma generalizacije opredelili kot morfološko enoto (ravno; grbinasto). Središčna celica je prejela vrednost najpogostejše vrednosti celic okoliškega okna. Glajenje smo opravili na okoliškem oknu 5×5 celic ($2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$) ter postopek ponovili še na okolici 10×10 celic ($5 \times 5 \text{ m}$) in 15×15 celic ($7,5 \times 7,5 \text{ m}$). Tako smo za vsakega od treh reliefnih koeficientov izdelali 3 končne rastrske sloje – skupaj 9 rastrskih slojev (slika 1) in s tem preizkusili skupno 9 metodoloških postopkov.

Iz devetih rastrskih slojev smo na koncu izrezali le območja travniških in podobnih zemljišč. Sem smo uvrstili naslednje vrste rabe iz sloja rabe tal, ki ga hrani Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (stanje 31. 8. 2018): trajni travnik (identifikacijska številka 1300), barjanski travnik (1321), kmetijsko zemljišče z gozdnim drevjem (1800), kmetijsko zemljišče v zaraščanju (1410), drevesa in grmičevje (1500) ter neobdelana kmetijska zemljišča (1600). Omenjene kategorije smo pretvorili v rastrski format resolucije 1 m, saj procesorske zmogljivosti niso dovoljevale resolucije 0,5 m. Tako smo opredelili končne morfološke enote na travnikih, ki smo jih prikazali v resoluciji $1 \times 1 \text{ m}$ z vrednostmi: 1 – raven travnik, 2 – grbinast travnik (slika 1).

Za statistični preizkus razlik vrednosti reliefnega koeficienta med kategorijama grbinasti travniki in ravni travniki smo na območju učnih in validacijskih poligonov izbrali v vzorec 355.095 celic oziroma 11 % vseh celic. Za zmanjšanje količine vhodnih podatkov za statistične analize smo se odločili, ker je bila količina vseh podatkov prevelika za zmogljivost uporabljene strojne in programske opreme. Na vzorcu smo identificirali vrednosti treh reliefnih koeficientov: reliefni koeficient na območju 3×3 celice (relkoef33), reliefni koeficient na območju 5×5 celic (relkoef55), reliefni koeficient na območju 9×9 celic (relkoef99). S pomočjo Kruskal-Wallisovega neparimetričnega testa, izvedenega v R Studio (v. 1.0.153), smo primerjali vrednosti celic reliefnega koeficienta (ki smo ga izračunali pred izvedbo postopka klasifikacije) med grbinastimi in ravnimi travniki na učnih in validacijskih območjih.

Zanesljivost metodoloških postopkov smo opredelili na območju validacijskih poligonov. Za poligone smo izračunali delež grbinastih in ravnih celic, kot jih je opredelil metodološki postopek. Višji kot je delež pravilno opredeljenih morfoloških enot, večja je zanesljivost metodološkega postopka. Kot najboljše smo izbrali tiste, ki imajo pri validaciji več kot 80 % pravilnost opredelitve površin vseh grbinastih in ravnih na terenu identificiranih travnikov in hkrati seštevek odstotkov obeh kategorij višji od 170.

3 Rezultati

Skladno s pričakovanji imajo v povprečju grbinasti travniki višji reliefni koeficient in višjo variabilnost kot ravna območja, kar velja tako na učnih kot tudi na validacijskih travniških območjih testnega območja. Naši rezultati kažejo tudi, da večje procesno okno računanja reliefnega koeficienta pomeni višjo povprečno vrednost reliefnega koeficienta. Hkrati pa se standardni odkloni ob primerjanju istih kategorij ne spremenijo bistveno (preglednica 2, slika 2). Razlike med vrednostmi reliefnih koeficientov med grbinastimi in ravnimi travniki na učnih območjih so v povprečju višje kot razlike med vrednostmi na validacijskih območjih (preglednica 2, slika 2), kar je posledica izbora najbolj tipičnih grbinastih in ravnih travnikov v sloj učnih poligonov.

Slika 2: Ponazoritev nekaterih opisnih statistik reliefnega koeficienta izračunanega iz procesnih oken 3×3 celice (relkoef33), 5×5 celic (relkoef55) in 9×9 celic (relkoef99) glede na območje (validacijsko; učno) in tip travnika (raven; grbinast). ► (str. 25)

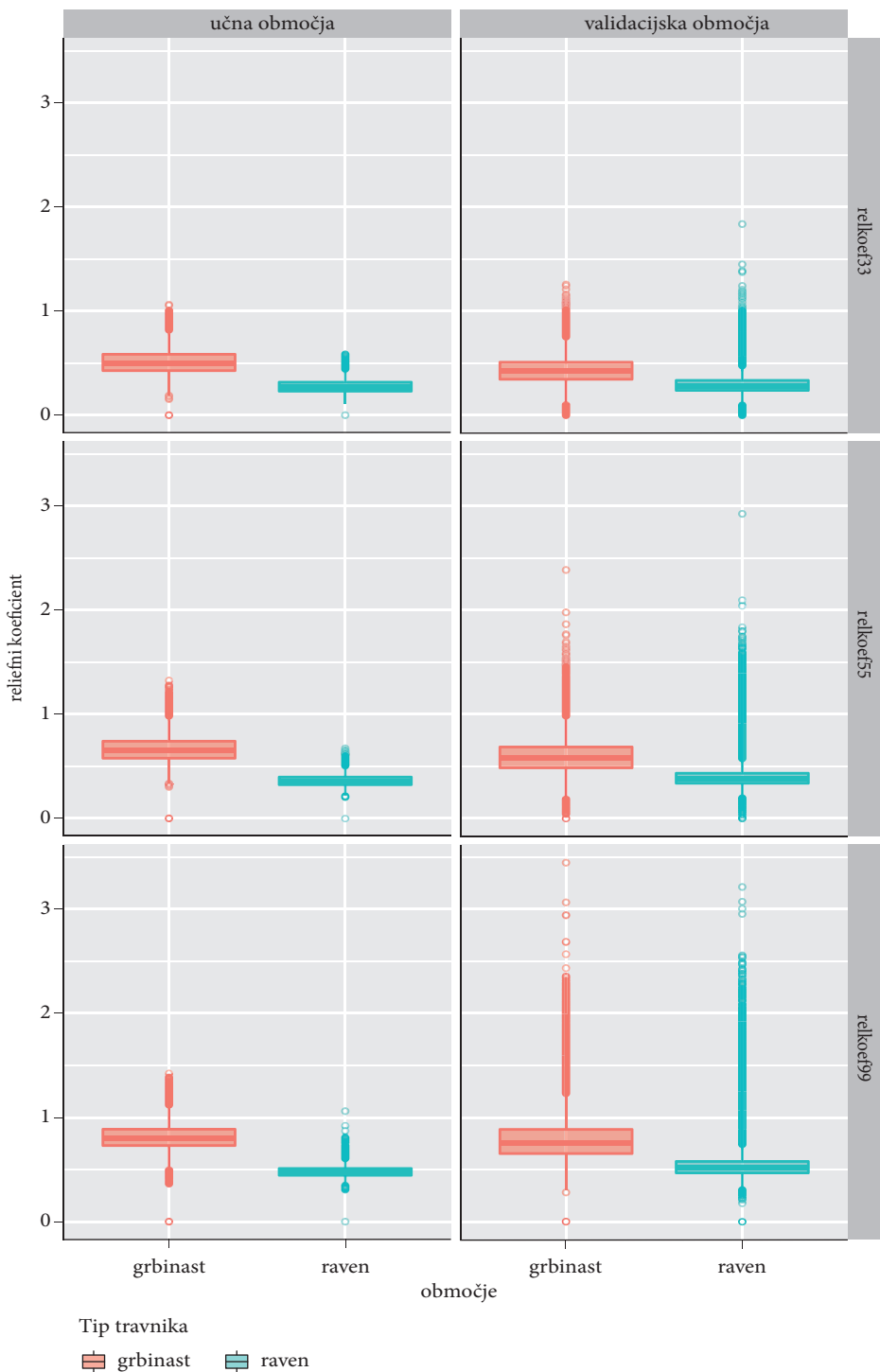
Slika 3: Reliefni koeficient izračunan iz procesnega okna 3×3 celice (a), generalizirani klasificirani reliefni koeficienti na procesnih oknih 5×5 celic (b1), 10×10 celic (b2), 15×15 celic (b3) ter končni rezultat opredelitve grbinastih in ravnih površin, prikazan na območjih travnikov (c1, c2, c3). ► (str. 26–27)

Slika 4: Prikaz opredelitve grbinastih in ravnih travnikov po štirih metodoloških postopkih, ki so dali najboljše rezultate na primeru izseka območja številka 30. ► (str. 28–29)

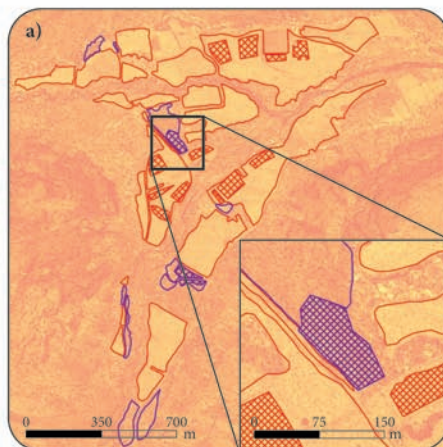
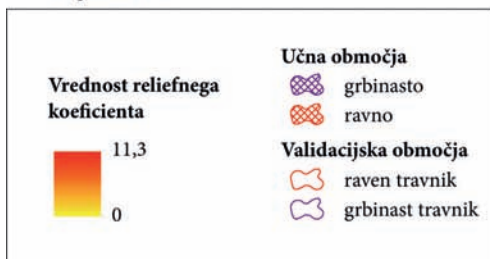
Preglednica 2: Opisna statistika ter število izbranih celic (n) treh reliefnih koeficientov izračunanih iz procesnega okna 3×3 celice (relkoeff33), 5×5 celic (relkoeff55) in 9×9 celic (relkoeff99) za učna in validacijska območja grbinastih travnikov in ravnih travnikov.

koeficient	tip travnika	učna/validacijska območja	število celic (n)	najnižja vrednost	najvišja vrednost	mediana	povprečje	standardni odklon
relkoeff33	grbinast	učna območja	25.834	0,15	1,06	0,50	0,51	0,12
relkoeff33	grbinast	validacijska območja	48.449	0,00	1,25	0,42	0,43	0,13
relkoeff33	raven	učna območja	23.812	0,10	0,58	0,27	0,28	0,06
relkoeff33	raven	validacijska območja	257.004	0,00	1,84	0,28	0,29	0,08
relkoeff55	grbinast	učna območja	25.834	0,30	1,32	0,65	0,67	0,13
relkoeff55	grbinast	validacijska območja	48.449	0,04	2,39	0,58	0,60	0,16
relkoeff55	raven	učna območja	23.812	0,20	0,67	0,36	0,36	0,06
relkoeff55	raven	validacijska območja	257.004	0,01	2,93	0,38	0,40	0,09
relkoeff99	grbinast	učna območja	25.834	0,36	1,42	0,80	0,81	0,12
relkoeff99	grbinast	validacijska območja	48.449	0,28	3,45	0,76	0,79	0,21
relkoeff99	raven	učna območja	23.812	0,31	1,06	0,48	0,48	0,05
relkoeff99	raven	validacijska območja	257.004	0,18	3,21	0,52	0,54	0,12

Uporaba reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi ...



Legenda za a:

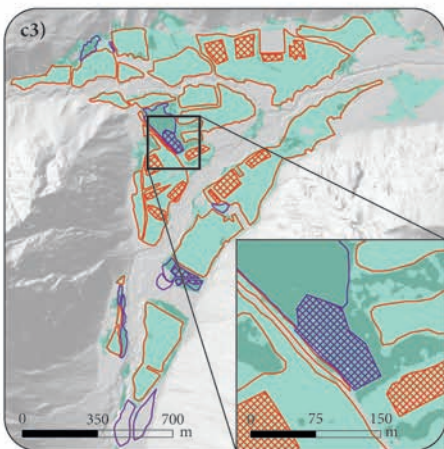
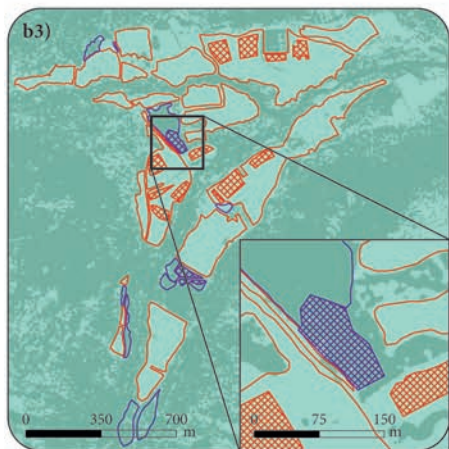
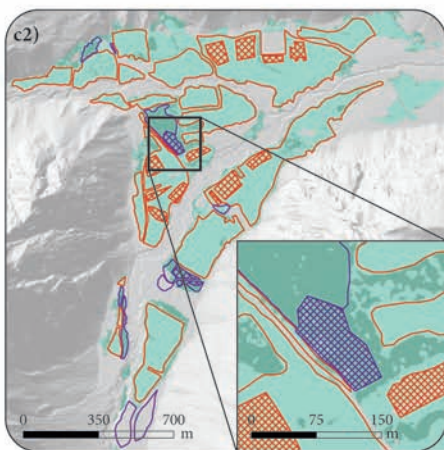
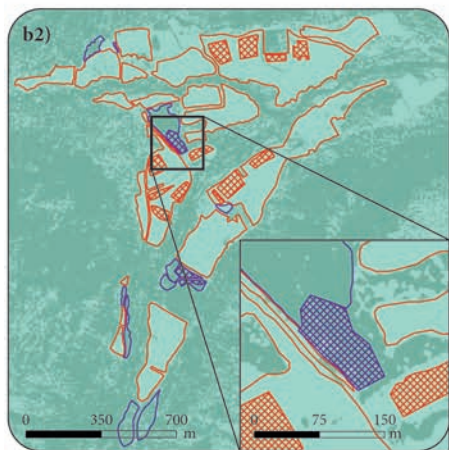
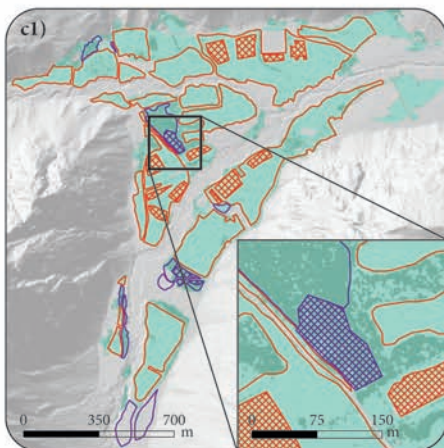
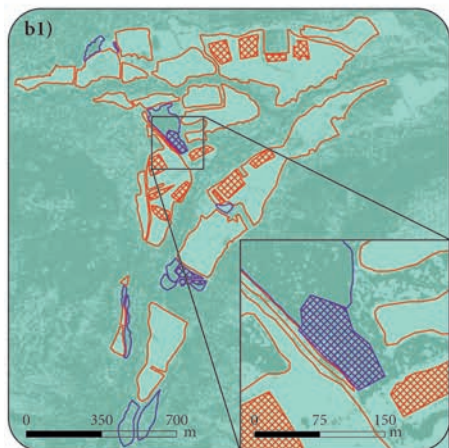


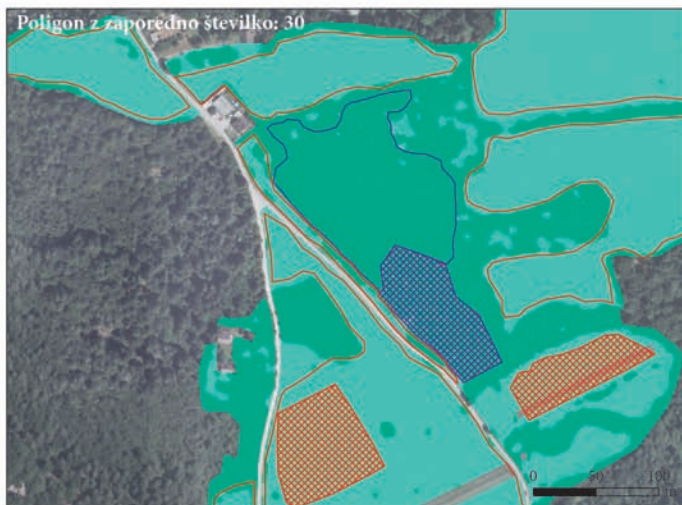
Legenda za b:



Legenda za c:













Reliefni koeficient 5 x 5, generalizacija 15 x 15 celic







Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- | | |
|--|--|
|  grbinast, učna območja |  raven travnik |
|  grbinast, validacijska območja |  grbinast travnik |
|  raven, učna območja | |
|  raven, validacijska območja | |



Reliefni koeficient 5 x 5, generalizacija 10 x 10 celic







Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- | | |
|--|--|
|  grbinast, učna območja |  raven travnik |
|  grbinast, validacijska območja |  grbinast travnik |
|  raven, učna območja | |
|  raven, validacijska območja | |



Reliefni koeficient 9 x 9, generalizacija 15 x 15 celic







Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- | | |
|--|--|
|  grbinast, učna območja |  raven travnik |
|  grbinast, validacijska območja |  grbinast travnik |
|  raven, učna območja | |
|  raven, validacijska območja | |



Reliefni koeficient 9 x 9, generalizacija 10 x 10 celic

Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- | | |
|--|--|
|  grbinast, učna območja |  raven travnik |
|  grbinast, validacijska območja |  grbinast travnik |
|  raven, učna območja | |
|  raven, validacijska območja | |

Kruskal-Wallisov test kaže, da se vrednosti reliefnega koeficienta statistično pomembno razlikujejo med ravnimi in grbinastimi travniki na učnem območju pri oknu računanja 3×3 celice (relkoeff33; $\chi^2 = 32931$; $df = 1$; $p < 0.001$), pri oknu računanja 5×5 celic (relkoeff55; $\chi^2 = 36172$; $df = 1$; $p < 0.001$) ter pri oknu računanja 9×9 celic (relkoeff99; $\chi^2 = 36737$; $df = 1$; $p < 0.001$). Podobno je Kruskal-Wallisov test pokazal, da se vrednosti reliefnega koeficienta statistično pomembno razlikujejo med ravnimi in grbinastimi travniki na validacijskem območju pri oknu računanja 3×3 celice (relkoeff33; $\chi^2 = 57388$; $df = 1$; $p < 0.001$), pri oknu računanja 5×5 celic (relkoeff55; $\chi^2 = 75280$; $df = 1$; $p < 0.001$) ter pri oknu računanja 9×9 celic (relkoeff99; $\chi^2 = 79230$; $df = 1$; $p < 0.001$).

Območje Zgornje Radovne z vmesnimi (slika 3, stolpec b) in končnimi rezultati (slika 3, stolpec c) opredeljevanja potencialnih območij grbinastih travnikov z uporabo reliefnega koeficienta izračunana iz procesnega okna 3×3 celic prikazuje slika 3.

Med 9 metodološkimi postopki smo glede na zasnovan pravilnik izbrali štiri postopke, ki dajejo najboljše rezultate na našem testnem območju (preglednica 3). Hkrati imajo omenjeni štirje postopki tudi najmanjšo napako napovedi, ki se giblje med 23 in 28 % (preglednica 3). Najvišje število pravilno uvrščenih morfoloških enot s skupnim odstotkom 177 dosega postopek, kjer je reliefni koeficient izračunan iz procesnega okna 5×5 celic ($2,5 \times 2,5$ m), za klasifikacijo je uporabljena metoda največje verjetnosti, za opredelitev morfoloških enot (generalizacijo) pa procesno okno velikosti 15×15 celic ($7,5 \times 7,5$ m). Rezultat metodološkega postopka je izračunan za 66,4 ha površin od skupno 69,6 ha kolikor meri površina kartiranih validacijskih območij. Nekateri deli kartiranih validacijskih poligonov namreč obsegajo tudi netravniške rabe tal in so bili posledično izključeni iz obdelave. Postopek torej pravilno opredeli 7 ha oziroma 84 % od skupno 8,4 ha grbinastih travnikov in 54,1 ha oziroma 93 % od skupno 58 ha ravnih travnikov iz validacijskega sloja. Postopek ne glede na kategorijo v povprečju pravilno opredeli 88,4 % površin. Vsota odstotkov napačno opredeljenih je 23 % (seštejemo neposredno 16 % in 7 %; preglednica 3). Uspešnost klasifikacije metodoloških postopkov smo na vseh identificiranih grbinastih travnikih preverili tudi na terenu in s pomočjo izdelanih fotografij (slika 4 in slika 5).



Slika 5: Primer grbinastega travnika (v ospredju) in ravnega travnika (v ozadju).

Preglednica 3: Ocene uspešnosti 9 metodoloških postopkov za opredeljevanje potencialnih grbinastih travnikov z reliefnim koeficientom in klasifikacijsko metodo največje verjetnosti na validacijskih območjih. Z zeleno so označena polja, kjer metodološki postopek pravilno opredeli več kot 80 % površin iz kategorije. Z rdečo so označena polja, kjer metodološki postopek pravilno opredeli več kot 80 % površin tako grbinastih kot tudi ravnih travnikov, in je hkrati vsota deležev višja od 170 %.

velikost procesnega okna za izračun reliefnega koeficienta (število celic)	velikost procesnega okna pri postopku generalizacije (število celic)	delež pravilno določenih celic grbinastih travnikov (%)	delež pravilno določenih celic ravnih travnikov (%)	vsota deležev pravilno opredeljenih enot (%)	vsota deležev napačno opredeljenih enot (%)
3 × 3	5 × 5	71	94	165	35
3 × 3	10 × 10	73	96	170	30
3 × 3	15 × 15	74	97	171	29
5 × 5	5 × 5	80	89	169	31
5 × 5	10 × 10	82	92	175	25
5 × 5	15 × 15	84	93	177	23
9 × 9	5 × 5	87	81	167	33
9 × 9	10 × 10	89	83	172	28
9 × 9	15 × 15	91	84	175	25

4 Sklep

V okviru raziskave smo za opredelitev območij grbinastih travnikov na testnem območju Zgornje Radovne preizkusili uporabnost reliefnega koeficienta na treh ravneh izračuna – z uporabo procesnih oken 3 × 3, 5 × 5 in 9 × 9 celic. V nadaljevanju smo reliefni koeficient klasificirali in generalizirali na 3 različne načine in tako skupno preizkusili 9 različnih metodoloških postopkov za opredelitev potencialnih območij grbinastih travnikov.

Na podlagi rezultatov validacije ocenjujemo, da vsaj štirje izbrani metodološki postopki, zadostno opredeljujejo območja grbinastih travnikov na testnem območju. Zanesljivost zaznavanja grbinastih travnikov je pri izbranih postopkih višja od 80 %. Pri tem velja opozoriti na pravilno interpretacijo rezultatov. Nobeden od rezultatov ni končna prostorska določitev območij grbinastih travnikov, pač pa njegovi rezultati kažejo na potencialna območja grbinastih travnikov in lahko služijo kot podpora odločanju za učinkovitejši način posodobitve obstoječe prostorske evidence grbinastih travnikov za obdobje PRP 2021–2027.

5 Viri in literatura

- Ambrožič, T. 2006: Grbinasti travniki v Zgornji Radovni. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Bergant, J., Kastelic, P., Bertoncelj, I., Travnikar, T., Bedrač, M., Vrščaj, B. 2019: Analiza in priprava strokovnih izhodišč s predlogi varstvenih ukrepov za ohranjanje grbinastih travnikov v Triglavskem narodnem parku. Končno poročilo, Javni zavod Triglavski narodni park. Bled.
- Cvetek, J. 1971: Grbinasti travniki s posebnim ozirom na Bohinj. Geografski vestnik 42.
- Embleton-Hamann, C. 2004: Processes responsible for the development of a pit and mound microrelief. *Catena* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.10.017>
- Gutser, D., Kuhn, J. 1998: Die Buckelwiesen bei Mittenwald: Geschichte, Zustand, Erhaltung. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 63.
- Hamann, C. 1985: Buckelwiesen und Konvergenzformen am Südrand des Tennengebirges und in anderen Arealen der Nördlichen Kalkalpen. Salzburg.
- Koblar, S. 2013: Morfogeneza grbinastih travnikov. Zaključna seminarska naloga, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Krämer, B., Poniatowski, D., Fartmann, T. 2012: Effects of landscape and habitat quality on butterfly communities in pre-alpine calcareous grasslands. *Biological Conservation* 152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.038>
- Löffler, F., Fartmann, T. 2017: Effects of landscape and habitat quality on Orthoptera assemblages of pre-alpine calcareous grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.029>
- Odar, Š. 1993: Okoljevarstvena problematika izravnavanja grbinastih travnikov v Bohinju. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja s stometriskim digitalnim modelom reliefa. *Geografija Slovenije* 3. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612544973>
- Prezelj, K. 2012: Vegetacija in vlažnostne razmere na grbinastih travnikih v Zgornji Radovni in Krmi. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

GEOMORFOLOŠKE VREDNOTE TER RELIEFNI IN POKRAJINSKI TIPI SLOVENIJE

dr. Drago Perko, Jure Tičar

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

drago.perko@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2568-9268>

jure.ticar@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3567-8084>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_03

UDK: 911.2:551.4(497.4)

659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Geomorfološke vrednote ter reliefni in pokrajinski tipi Slovenije

Bogata naravna in kulturna dediščina Slovenije je močno povezana z njeno veliko reliefno in pokrajinsko raznolikostjo, kar potrjuje obsežen Register naravnih vrednot Slovenije s skoraj 20.000 enotami, ki so zavarovane kot naravna dediščina državnega ali lokalnega pomena. Zanimale so nas predvsem značilnosti prostorske razporejenosti geomorfoloških vrednot po reliefnih in pokrajinskih tipih v Sloveniji ter razlike med njimi. Leta 2019 je bilo v Sloveniji 14.250 geomorfoloških vrednot ter 1546 geoloških in hidroloških vrednot, ki sestavljajo geodediščino. Skupaj je 15.796 vrednot geodediščine predstavljalo 85,2% vseh vrednot naravne dediščine.

Geomorfološko dediščino je sestavljalo 13.150 podzemnih in 1100 površinskih geomorfoloških vrednot, ki so predstavljale več kot tri četrtine vseh vrednot naravne dediščine. Glede na reliefne tipe je največja gostota podzemnih geomorfoloških vrednot na nizkih planotah in površinskih geomorfoloških vrednot v gorovjih. Glede na pokrajinske tipe pa je največja gostota podzemnih geomorfoloških vrednot na sredozemskih planotah in površinskih geomorfoloških vrednot v alpskih gorovjih.

KLJUČNE BESEDE

geodediščina, naravna vrednota, geomorfološka vrednota, reliefni tip, pokrajinski tip, GIS, Slovenija

ABSTRACT

Geomorphosites and landform and landscape types of Slovenia

Slovenia's rich natural and cultural heritage is closely related to its great landform and landscape diversity, as evidenced by the extensive The Natural Heritage Register of Slovenia with almost 20,000 sites, which are protected as a natural heritage of national or local importance. We were particularly interested in the characteristics of the spatial distribution of the geomorphosites by landform and landscape types in Slovenia and the differences between them. In 2019, there were 14.250 geomorphological values or geomorphosites, as well as 1546 geological and hydrological values, which together make up the geoheritage. Altogether 15.796 geoheritage sites represented 85,2 % of all natural heritage sites.

Geomorphological heritage consisted of 13.150 subsurface geomorphosites and 1100 surface geomorphosites, which represented more than three-quarters of all natural heritage values. According to landform types, the highest density of subsurface geomorphosites is in the low plateaus, whereas the highest density of surface geomorphosites is in the mountains. According to landscape types, the highest density of subsurface geomorphosites is in the Mediterranean plateaus and of surface geomorphosites in the Alpine mountains.

KEY WORDS

geoheritage, natural value, geomorphosite, landform type, landscape type, GIS, Slovenia

1 Geomorfološke vrednote

V prispevku se ukvarjamo z značilnostmi prostorske razporeditve geomorfoloških vrednot glede na reliefne in pokrajinske tipe v Sloveniji ter razlikami med njimi. So nadpovprečno pomembne, saj predstavljajo več kot tri četrtine vseh vrednot naravne dediščine Slovenije in so med najbolj obiskanimi turističnimi točkami.

Geomorfološke vrednote so reliefne oblike z znanstveno, estetsko, kulturno, gospodarsko, ekološko, izobraževalno in/ali rekreacijsko vrednostjo (Panizza in Piacente 1993; Quaranta 1993; Carton s sodelavci 1994; Hooke 1994; Rivas s sodelavci 1997; Grandgirard 1999; Panizza 2001; IUCN 2018). So del geomorfološke dediščine, ki skupaj z geološko in hidrološko dediščino sestavlja geodediščino. Njeni raznolikosti pravimo geodiverziteta (Gray 2013). Izjemna geodiverziteta Slovenije temelji predvsem na veliki reliefni in pokrajinski raznolikosti naše države (Perko 1998; Perko in Urbanc 2004; Ciglič in Perko 2013a, 2013b; Perko in Ciglič 2015; Perko s sodelavci 2015; Perko in Ciglič 2016; Perko s sodelavci 2017; Perko, Ciglič in Zorn 2020).

Za geomorfološko vrednoto se v angleškem jeziku uporablja več sorodnih izrazov:

- *geomorphological asset* 'geomorfološka privlačnost, vrednost, dobrina, bogastvo, vir' (Panizza in Piacente 1993; Quaranta 1993),
- *geomorphological good* 'geomorfološko dobro, dobrina' (Carton s sodelavci 1994),
- *geomorphological site* 'geomorfološko mesto, območje, točka, najdišče, prostor, prizorišče' (Hooke 1994),
- *geomorphological geotopes* 'geomorfološki geotop' (Grandgirard 1995, 1999),
- *site of geomorphological interest* 'mesto, območje, točka, najdišče, prostor, prizorišče geomorfološkega pomena, važnosti, zanimanja, prida, koristi' (Rivas s sodelavci 1997),
- *geomorphosite* (Panizza 2001).

Izraz *geomorphosite* je prvi predlagal geograf in geolog Mario Panizza leta 2001 (Reynard 2009) in ga opredelil kot reliefno obliko, ki ji je moč pripisati določeno vrednost (Panizza 2001). Geomorfologi s tem izrazom najpogosteje opredeljujejo reliefne oblike, ki so del geomorfološke dediščine. Drugi našteji izrazi s konca 20. stoletja so več ali manj sopomenke. Na nemškem govornem območju prevladuje izraz *geotope*, na angleškem pa *geomorphosite*. Ta novotvorjenka pa je vse pogostejša tudi v drugih jezikih, na primer *geomorphosite* v francoščini ali *geomorfosito* v italijanščini (Reynard 2009).

Za izraz *geomorphosite* ni dobre slovenske ustreznice. Izraz je zloženka iz grških besed *gē* 'zemlja' in *morphé* 'oblika' ter angleške besede *site* 'mesto, kraj, predel, območje, lokacija, umestitev, točka, lega, položaj'. Torej gre za prostorsko umestitev zemeljske oziroma reliefne oblike. Skoraj edina možna enobesedna slovenska ustreznica bi bila *geomorfotočka*. Ostale slovenske prevode za angleški izraz *site* je težko povezati z zloženko *geomorfo*.

Druga možnost za slovensko ustreznico je oblikovanje sposojenke. To je prevzeta občnoimenska beseda, prilagojena slovenski izgovorjavi, pisavi, pregibanju, skladnji in besedotvorju. V preteklosti so v slovenščini prevladovali nemške sposojenke, zdaj pa angleške. Bolj znane sposojenke so recimo *štala*, *regrat*, *pica*, *džins* ali *garaža*. Slovenska ustreznica angleškega izraza *geomorphosite* bi lahko bila *geomorfosajt*, ki tudi povprečnemu govorcu slovenskega jezika ne bi delala večjih preglavic pri pregibanju, skladnji ali besedotvorju.

Ker izraza *geomorfotočka* in *geomorfosajt* nista brezhibna in še posebej zaradi izrazja v slovenski zakonodaji na področju naravne dediščine (Zakon o ohranjanju narave 1999; Uredba o zvrsteh naravnih vrednot 2002; Zakon o varstvu podzemnih jam 2004), smo se odločili, da bomo kot sinonim za angleški izraz *geomorphosite* uporabljali izraz *geomorfološka vrednota*.

2 Naravne vrednote v Sloveniji

V Sloveniji naravno dediščino sestavljajo naravne vrednote (angleško *natural values*), ki so navedene v Registru naravnih vrednot, za katerega skrbi Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije.

Zakon o ohranjanju narave iz leta 1999 opredeljuje naravne vrednote kot redek, dragocen, znamenit ali kako drugače pomemben naravni pojav. To so lahko geološki pojavi, minerali in fosili ter njihova nahajališča, površinski in podzemni kraški pojavi, podzemne jame, soteske in tesni ter drugi geomorfološki pojavi, ledeniki in oblike ledeniškega delovanja, izviri, slapovi, brzice, jezera, barja, potoki in reke z obrežji, morska obala, rastlinske in živalske vrste, njihovi izjemni osebki ter njihovi življenjski prostori, ekosistemi, krajina in oblikovana narava. Naravne vrednote so glede na pomembnost razdeljene na naravne vrednote državnega ali lokalnega pomena, glede na značilnosti naravnih pojavov pa na deset tipov (geomorfološke, podzemne, geološke, hidrološke, botanične, zoološke, ekosistemske, drevesne, oblikovane in krajinske). Večina naravnih vrednot je uvrščena v več tipov hkrati.

Na naravno vrednoto zakon dovoljuje poseg le, če ni drugih prostorskih ali tehničnih možnosti, pa tudi takrat se je ne sme uničiti in spremeniti tistih njenih lastnosti, zaradi katerih je bila spoznana za naravno vrednoto. Na njej se praviloma ohranja obstoječa raba, možna pa je tudi takšna sonaravna raba, ki ne ogroža njenega obstoja in varstva. Naravno vrednoto in njeno okolico se po predpisanem postopku lahko uredi za obisk s potmi, razgledišči, počivališči, ograjami, informacijskimi tablami, opozorili in podobnim.

Vse podzemne jame so po Zakonu o varstvu podzemnih jam iz leta 2004 opredeljene kot naravne vrednote državnega pomena in so v lasti države. Zakon obenem opredeljuje aktivnosti, povezane z uporabo podzemnih jam, ter določa varstvene režime, s katerimi prepoveduje škodljive vplive na jamsko okolje. Podzemne jame razvršča med zaprte jame, odprte jame s prostim vstopom in odprte jame z nadzorovanim vstopom. Za turistične jame določa dodatne ukrepe varstva. Poseben status imajo Škocjanske jame, ki so bile zaradi izjemne geomorfološke, hidrološke in biotske raznovrstnosti leta 1986 vpisane na seznam svetovne naravne dediščine UNESCO, leta 1999 pa še na mednarodni Ramsarski seznam mokrišč.

Zadnja različica Registra naravnih vrednot iz leta 2016 vsebuje 16.115 enot, kar je 79 vrednot na 100 km² ali 1,3 km² ozemlja na vrednoto. Od tega je 2735 točkovnih nadzemnih objektov, 2655 ploskovnih nadzemnih objektov in 10.725 podzemnih objektov oziroma podzemnih jam.

Objekti se v register občasno dodajajo na podlagi Pravilnika o določitvi in varstvu naravnih vrednot in njegovih spremembah in dopolnitvah. Podzemni objekti oziroma podzemne jame se v register dodajajo skupaj z ostalimi enotami, vendar njihovo število lahko sprotno spremljamo tudi na podlagi Katastra jam, ki ga vodita Jamarska zveza Slovenije in Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU. V Katastru jam je tako do leta 2019 število podzemnih objektov naraslo že na 13.150.

Skupaj je bilo leta 2019 torej 18.540 naravnih vrednot, kar je 91 vrednot na 100 km² ali 1,1 km² na vrednoto. Status vrednote državnega pomena ima 13.150 podzemnih in 1996 nadzemnih objektov, kar je skupaj 81,7 % vseh vrednot, status lokalnega pomena pa 3394 ali 18,3 % objektov. Če upoštevamo samo nadzemne objekte, jih ima status državnega pomena 37,0 %, status lokalnega pomena pa 63,0 %. Podzemnih objektov je 70,9 % in nadzemnih 29,1 %. Točkovnih objektov je 15.885 ali 85,7 % in ploskovnih 2655 ali 14,3 %. Med 5390 nadzemnimi objekti je 50,7 % točkovnih in 49,3 % ploskovnih. Vsi podzemni objekti so opredeljeni kot točkovni objekti.

3 Način dela

Geografski informacijski sistem (Esrijev ArcGIS) smo uporabili predvsem za obdelavo, analizo in sintezo podatkov ter za kartografski prikaz rezultatov. Za računanje različnih kazalnikov, na primer gostote geomorfoloških vrednot, smo uporabili različno velika premična okna v obliki kroga. Najboljše rezultate je dal premer 10 km (Tičar, Perko in Bahun 2018).

Povezali smo štiri baze podatkov:

- reliefne tipe Slovenije (Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU),
- pokrajinske tipe Slovenije (Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU),
- Register naravnih vrednot (Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije) in
- Kataster jam (Jamarska zveza Slovenije).

Reliefne tipe smo pripravili na podlagi reliefnih enot in oblik, pripravljenih za Geografski atlas Slovenije (Gabrovec in Hrvatin 1998; 2001; in 2004; Zorn s sodelavci 2020). Delitev na tipe temelji na višinah in naklonih površja ter prevladujočih majhnih in srednjevelikih reliefnih oblikah. Popravili smo meje med tipi, upoštevali novo, arbitražno mejo Slovenije in število tipov povečali s 6 na 7 (Perko, Ciglič in Hrvatin 2021). To so:

- ravnine,
- gričevja,
- hribovja,
- gorovja,
- korozijski ravniki,
- nizke planote in
- visoke planote.

Pokrajinske tipe smo v celoti povzeli po pokrajinski tipizaciji, pripravljeni leta 1996 (Kladnik 1996), ki temelji na višinah in naklonih površja ter kamninah in rastlinstvu (Perko 1998; 2001; 2007; Perko, Hrvatin in Ciglič 2015). Zaradi izboljšanih kartografskih podlag oziroma pomožnih slojev, predvsem digitalnega modela višin in vodne mreže, smo ponekod popravili meje med tipi (Perko in Ciglič 2020) in upoštevali arbitražno mejo Slovenije (Perko, Ciglič in Hrvatin 2021). Pokrajinski tipi so:

- alpska gorovja,
- alpska hribovja,
- alpske ravnine,
- panonska gričevja,
- panonske ravnine,
- dinarske planote,
- dinarska podolja,
- sredozemska gričevja in
- sredozemske planote.

Največ pozornosti smo namenili preverjanju in opredelitvi vrst naravnih vrednot iz Registra naravnih vrednot.

V prvem koraku smo izločili vse vrste vrednot, ki jih register ne opredeljuje z geomorfološkim, hidrološkim ali geološkim vsebinskim vrstilcem. Od skupaj 5390 nadzemnih vrednot smo s tem izločili 1968 točkovnih in 776 ploskovnih naravnih vrednot, kar je skupaj 2744 ali 50,9 % (skoraj točno polovica) vseh nadzemnih naravnih vrednot. Ker podzemne vrednote spadajo med geomorfološko dediščino, smo ohranili vseh 13.150 vrednot. Tako je na koncu ostalo 15.796 vrednot, kar je 85,2 % vseh naravnih vrednot.

V drugem koraku smo pregledali opise vseh vrednot ter s pomočjo Atlasa okolja in lidarske podlage ugotovili obseg njihovega zavarovanega območja in kaj je dejansko zavarovano (ali je na primer zavarovana le struga ali celotna dolina, ali je zavarovana le ena vrednota ali pa več vrednot skupaj, na primer fosili in dolina).

V tretjem koraku smo vsem vrednotam določili osnovno ali primarno vrsto naravne dediščine, tako da je vsaka vrednota opredeljena le z enim glavnim vsebinskim vrstilcem, medtem ko imajo vrednote v Registru naravnih vrednot lahko več vsebinskih vrstilcev, ki so v našem primeru postali vsebinski podvrstilci. Na primer, neka dolina ima v Registru naravnih vrednot geološki, hidrološki in geomorfološki vsebinski vrstilec, ker pa je iz opisa vrednote jasno razvidno, da je zavarovana predvsem reliefna oblika, smo tej vrednoti pripisali geomorfološki vrstilec, medtem ko sta geološki in hidrološki vrstilec postala podvrstilca. V nekaj primerih smo morali vrstilec iz Registra tudi spremeniti.

Še dva konkretna primera:

- vrednota »Savrca« (številka 8554) je opisana kot »dolina desnega pritoka Mirne, vzhodno od Mokronoga« in ima hidrološki in ekosistemski vsebinski vrstilec, ker pa je zavarovana dolina, torej geomorfološka oblika, smo vrednoti pripisali geomorfološki vrstilec;

- vrednota »Gračniški slap« (številka 5598) je opisana kot »Slap na Gračnici, levem pritoku Savinje pri Mrzlem Polju« in ima geomorfološki in hidrološki vsebinski vrstilec, ker pa je zavarovan slap, smo vrednoti pripisali hidrološki vrstilec.

4 Geomorfološke vrednote v Sloveniji

Geomorfoloških vrednot je 14.250 ali 76,9 % vseh naravnih vrednot, še dodatno pa je 1546 ali 8,3 % geoloških in hidroloških naravnih vrednot, tako da je kar 85,2 % naravnih vrednot s področja geodediščine.

Število in delež geomorfoloških vrednot pa sta dejansko še večja, saj je dodatnih 443 ali 2,2 % naravnih vrednot opredeljenih z geomorfološkim vsebinskim podvrstilcem, čeprav glede na glavni vsebinski vrstilec spadajo k eni od ostalih devetih vrst naravnih vrednot.

Ploskovni nadzemni objekti pokrivajo 267.436,66 ha, od tega geomorfološki 164.097,63 ha ali 61,4 %, geološki in hidrološki pa 60.725,88 ha ali 22,6 %, kar je skupaj 84,0 %. Ker se ploskve nekaterih objektov prekrivajo, dejansko nadzemni objekti naravnih vrednot pokrivajo 246.700,33 ha ali 12,2 % ozemlja Slovenije, geomorfološki 156.778,34 ha ali 7,7 % ozemlja, geološki in hidrološki pa 53.801,66 ha ali 2,7 % ozemlja, kar je skupaj 10,4 % ozemlja Slovenije.

Gostota vseh naravnih vrednot leta 2019 v Sloveniji je bila 91,5 objekta na 100 km², geomorfoloških, geoloških in hidroloških vrednot, ki sestavljajo geodediščino, skupaj 77,9 objekta na 100 km², samo geomorfoloških vrednot pa 70,3 objekta na 100 km². Gostota točkovnih nadzemnih geomorfoloških vrednot je bila 1,0 objekta na 100 km², ploskovnih nadzemnih geomorfoloških vrednot 4,4 objekta na 100 km² in podzemnih geomorfoloških enot 64,9 objekta na 100 km².

Ploskovne geomorfološke vrednote torej pokrivajo 1641 km² ali 8,1 % Slovenije, dodatno pa na vsakih 1,5 km² ozemlja Slovenije registrirana 1 podzemna točkovna geomorfološka vrednota in na vsake 103,4 km² 1 nadzemna točkovna geomorfološka vrednota.

Geomorfološke vrednote so med vsemi točkovnimi naravnimi vrednotami najbolj raznolike, saj jih sestavlja kar 28 različnih kategorij. Daleč največ je podzemnih jam (13.150 objektov), nato pa sledijo skalni osamelci (46), naravna okna (22), naravni mostovi (19), balvani (17) in spodmoli (15). Najbolj so zgoščene v alpskih pokrajinah, v panonskih pokrajinah pa jih skoraj ni. Naravne vrednote geološke geodediščine (156 objektov) sestavljajo 4 kategorije. Najpogostejša so nahajališča mineralov (81) in fosilov (71), sledijo pa geološke gube (3) in fumarole (1). Tudi geološke naravne vrednote so najbolj zgoščene v alpskih pokrajinah. Med naravnimi vrednotami hidrološke geodediščine (415 objektov) je največ slapov (157), kraških izvirov (118) in ostalih izvirov (63).

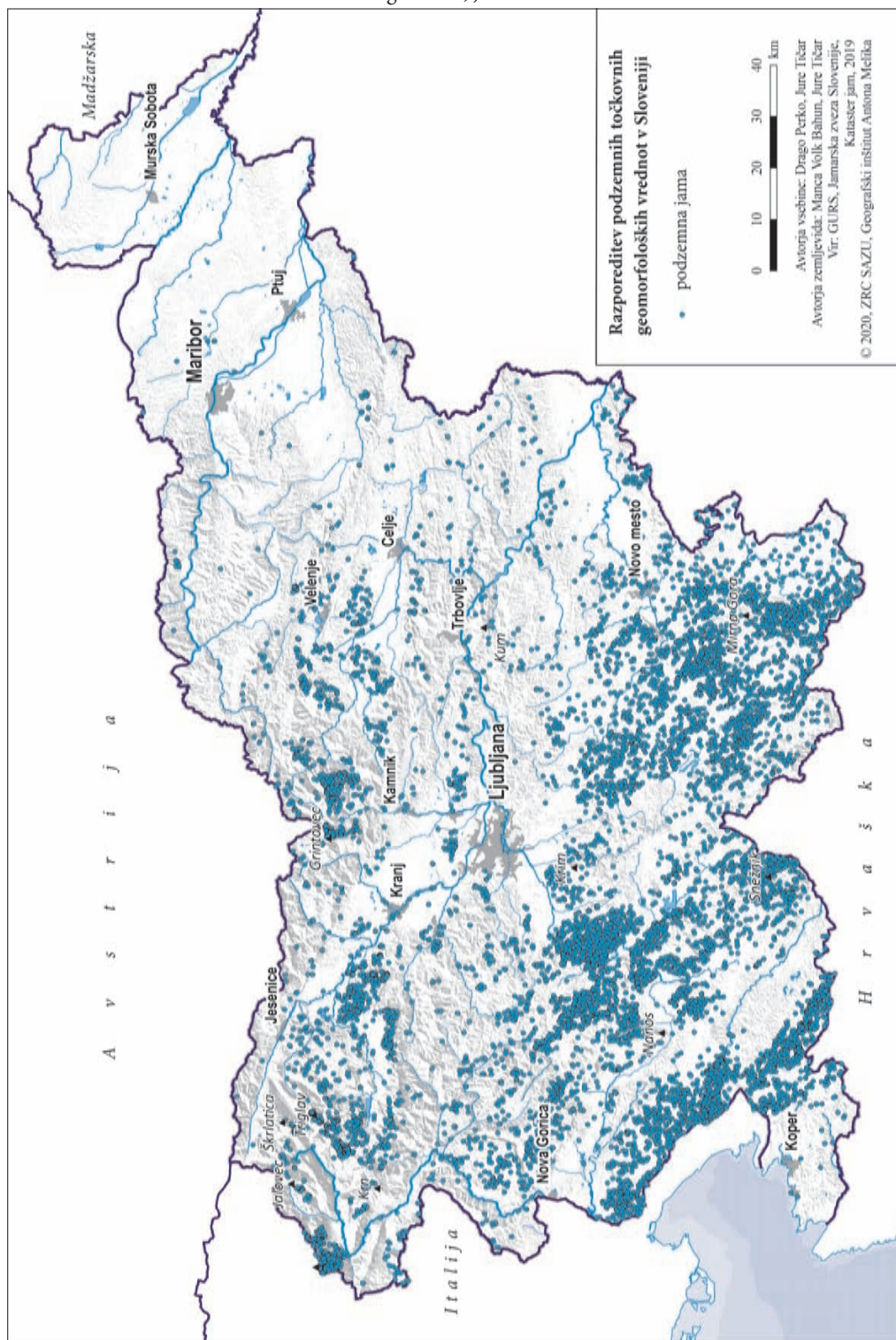
Med 10 najbolj pogostih naravnih vrednot geodediščine je 5 kategorij hidrološke geodediščine, 3 kategorije geomorfološke geodediščine in 2 kategoriji geološke geodediščine (Tičar s sodelavci 2018a).

Največja gostota najbolj pogoste kategorije geomorfoloških vrednot, to je podzemnih jam, je na območju visokogorskega krasa Julijskih Alp okoli Kanina in Rombona, kjer so raziskali tudi sedem od osmih podzemnih jam v Sloveniji, globljih od 1000 m. Podzemne jame so pogoste tudi na območju visokogorskega krasa Kamniško-Savinjskih Alp, predvsem na Dleskovski planoti, kjer so raziskali eno izmed podzemnih jam, globljih od 1000 m. Velika gostota podzemnih jam je tudi na območjih Notranjske, še posebej med Pivško kotlino, Cerkniskim poljem, Planinskim poljem in izviri Ljubljani. Podobno je tudi na Krasu, še posebej v okolici Sežane, kjer so jamarji iskali tok podzemne reke Reke, ter v Matarskem podolju, kjer so potoki iz Brkinov izoblikovali številne slepe doline. Velika gostota podzemnih jam je še med Komno in Triglavom, v okolici Snežnika, na Poljanski gori ter v Kočevskem rogu (Tičar s sodelavci 2018a).

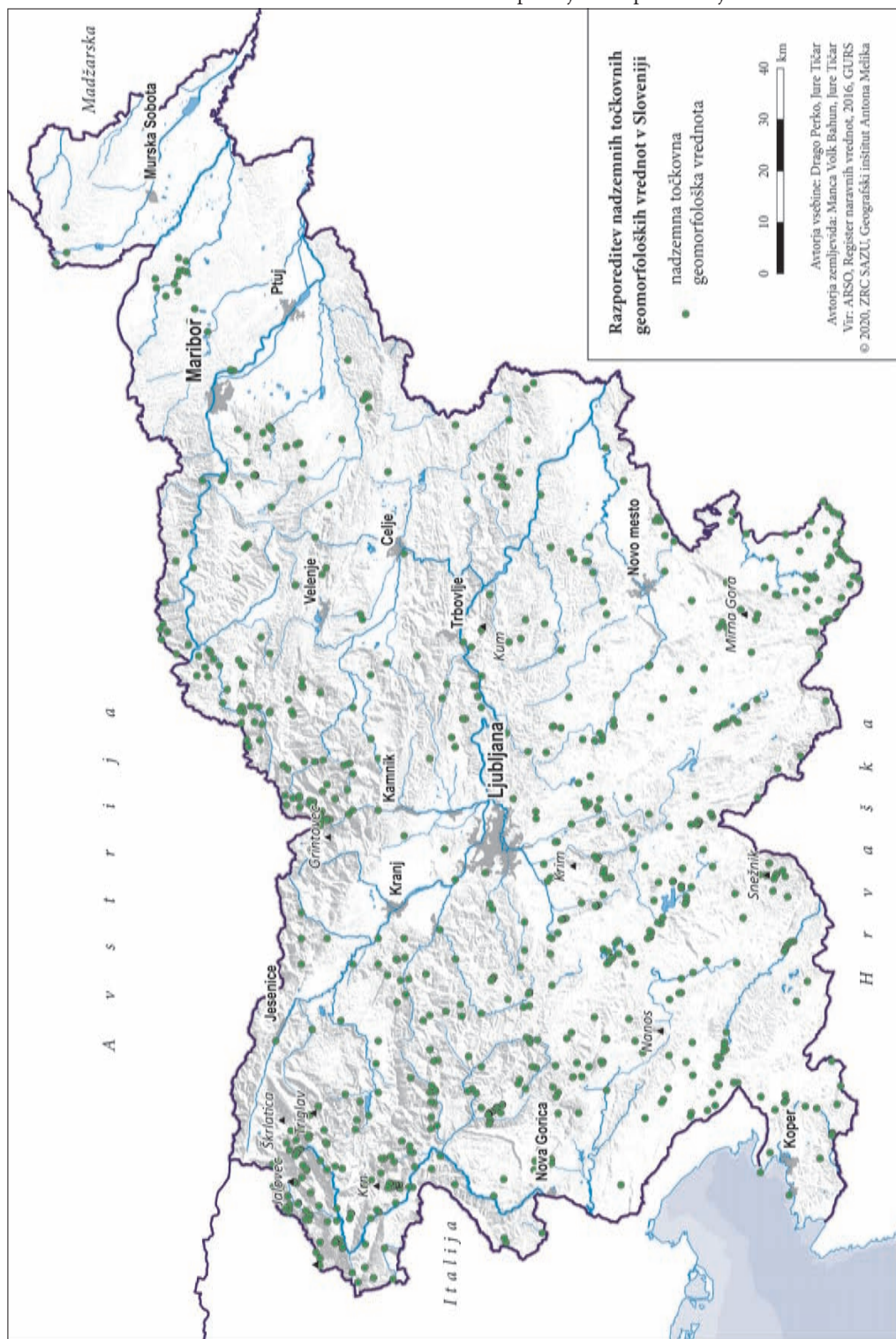
Slika 1: Razporeditev podzemnih točkovnih geomorfoloških vrednot v Sloveniji. ► (str. 38)

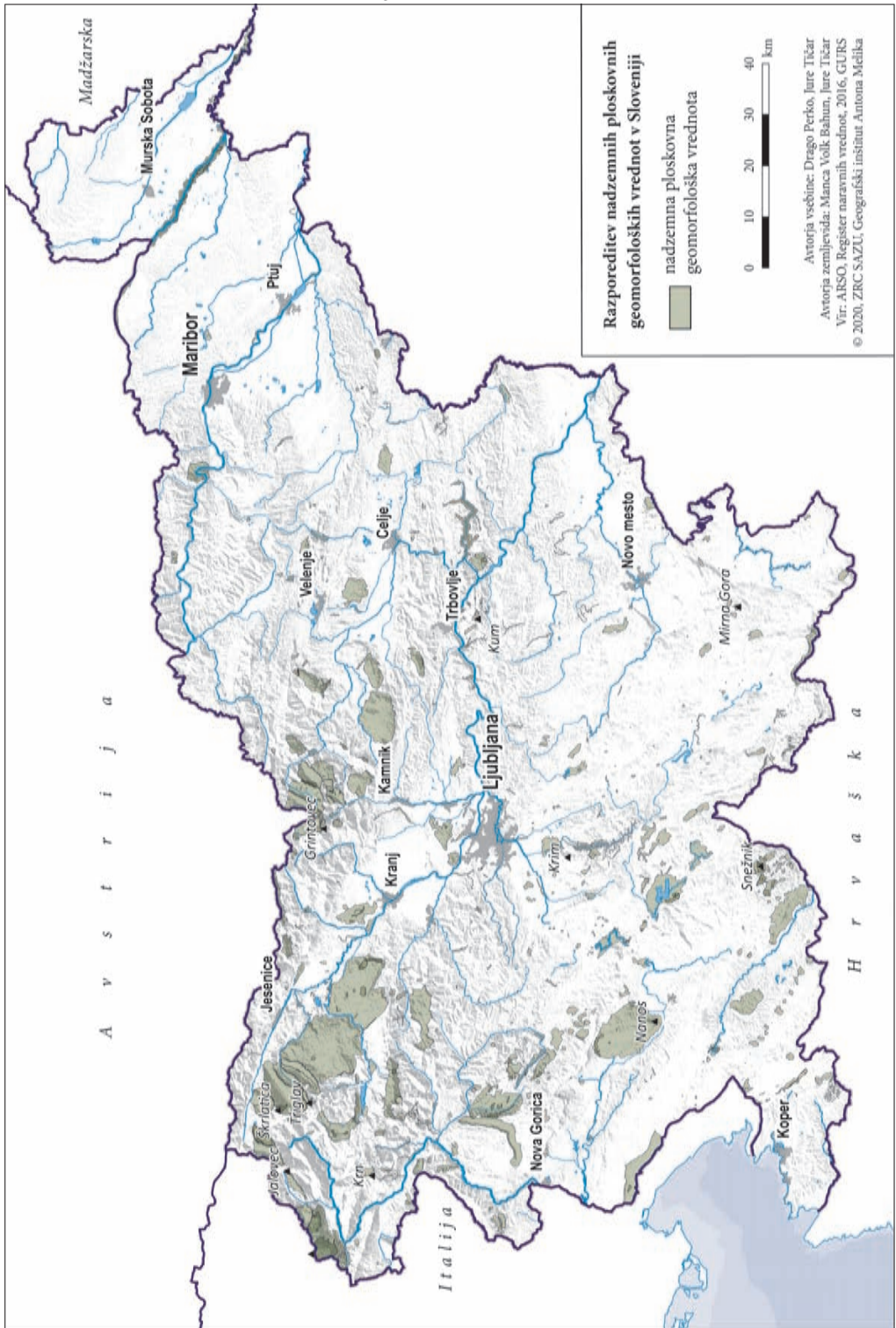
Slika 2: Razporeditev nadzemnih točkovnih geomorfoloških vrednot v Sloveniji. ► (str. 39)

Slika 3: Razporeditev nadzemnih ploskovnih geomorfoloških vrednot v Sloveniji. ► (str. 40)



Geomorfološke vrednote ter reliefni in pokrajinski tipi Slovenije





Leta 2019 je bila povprečna gostota podzemnih jam v Sloveniji 64,9 jame na 100 km², poleg alpskih gorovij pa so imele nadpovprečno gostoto še sredozemske planote, dinarske planote in dinarska podolja, medtem ko panonske ravnine in panonska gričevja z majhnim deležem karbonatnih kamnin podzemnih jam skoraj nimajo.

5 Geomorfološke vrednote in geotourizem

Turistična in druga vrednotenja geodediščine po svetu so se razmahnila šele ob koncu 20. stoletja. Slovenski raziskovalci so se na to področje vključili že razmeroma zgodaj. Najprej so uveljavljali preproste numerične metode za določanje pokrajinske privlačnosti (Orožen Adamič 1970), bolj sistematična vrednotenja geodiverzitete pa so najprej izvedli v alpski Sloveniji (Erhartič 2010a; 2010b; 2012; Tičar s sodelavci 2018), kasneje pa v dinarski Sloveniji (Stepišnik in Repe 2015; Trenčovska in Stepišnik 2017; Stepišnik in Trenčovska 2018) in Ljubljani (Tičar s sodelavci 2017).

Nekatere raziskave se osredotočajo tudi na analizo pokrajinske raznolikosti znotraj širših sklenjenih območij. Ena med njimi je pokrajinsko raznolikost Slovenije izračunala z geografskim informacijskim sistemom na temelju digitalnih podatkov o reliefu, kamninah in rastlinstvu. Območja z visoko pokrajinsko raznolikostjo je opredelila kot pokrajinske vroče točke, območja z nizko pokrajinsko raznolikostjo pa kot pokrajinske mrzle točke (Hrvat in Perko 2016; Perko in Ciglič 2016; Perko, Ciglič in Hrvat 2017).

Rezultati tovrstnih analiz se pogosto uporabljajo pri nadaljnji analizi geoturističnega ali izobraževalnega potenciala obravnavanih območij (Ciglič in Perko 2013b; Stepišnik in Repe 2015; Stepišnik, Ilc Klun in Repe 2017).

Register naravnih vrednot Slovenije je podlaga za zavarovanje in turistično rabo glede na državni ali lokalni pomen in glede na značilnosti naravnih pojavov. Glede na obsežnost zavarovanih območij pa v Sloveniji ločimo:

- širša zavarovana območja (narodni park, regijski park in krajinski park) ter
- ožja zavarovana območja (naravni spomenik, strogi naravni rezervat in naravni rezervat).

Kot posebna varstvena območja so zaradi habitatov in habitatnih tipov opredeljena še območja Nature 2000 (Berginc, Kremesec Jevšenak in Vidic 2007). V Sloveniji smo ustanovili naslednja zavarovana območja: 1 narodni park, 3 regijske parke, 45 krajinskih parkov, 1 strogi naravni rezervat, 55 naravnih rezervatov in 1164 naravnih spomenikov. Po letu 2010 sta bila ustanovljena še dva geoparka kot posebni zaščiteni območji izjemne geodiverzitete: Geopark Karawanken – Karavanke, ki meri 1067 km², in Geopark Idrija z 294 km² (Fajmut Štrucl, Gorjup Kavčič in Režun 2015).

Med najbolj obiskanimi turističnimi točkami v Sloveniji (glede na plačano vstopnino) je v zadnjih letih kar 7 geomorfoloških vrednot. Na prvem mestu je Postojnska jama (slika 4), ki jo je leta 2018 obiskalo več kot 800.000 obiskovalcev (Postojnska jama 2019), sledijo pa Blejski grad nad prepadno steno (slika 5) z več kot 600.000, Ljubljanski grad na hribu sredi mesta z več kot 500.000, soteska Vintgar in Predjamski grad v vhodu v podzemno jamo z več kot 300.000 (Postojnska jama 2019), Škocjanske jame z več kot 200.000, več kot 100.000 obiskovalcev pa si je ogledalo še slap Savico (podatki o obisku so povzeti po poslovnih in letnih poročilih pristojnih podjetij ter spletnem portalu MMC RTV Slovenija).

6 Geomorfološke vrednote in reliefni tipi v Sloveniji

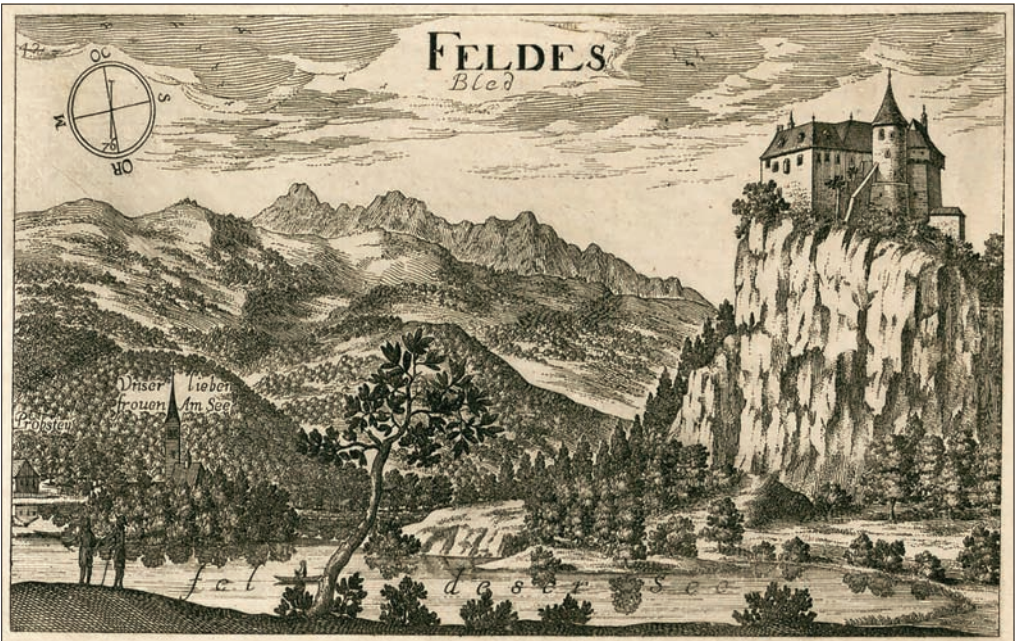
Razporeditev in gostota geomorfoloških vrednot se med posameznimi reliefnimi tipi zelo razlikujeta (preglednice 1, 3, 5, 7, 9, 11).

Gostota točkovnih podzemnih geomorfoloških vrednot oziroma podzemnih jam je največja na nizkih planotah, 172,1 objekta na 100 km² (slika 6), visokih planotah, 145,5, in v gorovjih, 108,5, najmanjša pa je v gričevjih, komaj 7,5 objekta na 100 km², kar je 23-krat manj kot na nizkih planotah.



JURE TIČAR

Slika 4: Postojnska jama je najbolj obiskana geomorfološka vrednota v Sloveniji s skoraj milijon obiskovalci letno.



ARHIV GIAM ZRC SAZU

Slika 5: Blejski grad na prepadni steni nad jezerom je druga najbolj obiskana geomorfološka vrednota v Sloveniji (Valvasor 1689).

Gostota točkovnih nadzemnih geomorfoloških vrednot je največja v gorovjih, 4,6 objekta na 100 km² (slika 7), na nizkih planotah, 1,4, in visokih planotah, 1,1, najmanjša pa na ravninah, 0,1, in v gričevjih, 0,3 objekta na 100 km².

Tudi gostota ploskovnih nadzemnih geomorfoloških vrednot je največja v gorovjih, 23,5 ha na km², nato pa na visokih planotah, 16,1, in ravninah, 6,2, najmanjša pa na korozijskih ravninah, 1,6, in v gričevjih, 2,1 ha na km².

Zelo podobno je z vrednotami geodediščine, torej geomorfološkimi, hidrološkimi in geološkimi vrednotami skupaj. Gostota točkovnih nadzemnih vrednot geodediščine je največja v gorovjih, 10,7 objekta na 100 km², in najmanjše v gričevjih, 1,8 objekta na 100 km², gostota ploskovnih nadzemnih vrednot geodediščine pa je največja v gorovjih, 27,3 ha na km², in najmanjša v gričevjih, 4,1 ha na km².

7 Geomorfološke vrednote in pokrajinski tipi v Sloveniji

Razporeditev in gostota geomorfoloških vrednot se med posameznimi pokrajinskimi tipi razlikujeta podobno kot med reliefnimi tipi (preglednice 2, 4, 6, 8, 10, 12).

Točkovne podzemne geomorfološke vrednote oziroma podzemne jame so najbolj na gosto posejane v pokrajinskih tipih z največjim deležem karbonatnih kamnin. Njihova gostota je na sredozemskih planotah kar 297,0 objekta na 100 km² (slika 6), dinarskih planotah 130,4, v dinarskih podoljih 109,9 in alpskih gorovjih 96,2 objekta na 100 km², najmanjša pa na panonskih ravninah, komaj 0,15 objekta na 100 km², kar je 2000-krat manj kot na sredozemskih planotah.

Tudi točkovne nadzemne geomorfološke vrednote so razporejene neenakomerno, vendar ne tako izrazito kot podzemne. Največja gostota, 3,1 objekta na 100 km², je v alpskih gorovjih (slika 7), nato pa na sredozemskih planotah, 1,9, in v sredozemskih gričevjih, 1,7 objekta na 100 km². Na alpskih ravninah ni niti enega takšnega objekta.

Pri ploskovnih nadzemnih geomorfoloških vrednotah je gostota največja v alpskih gorovjih, 25,8 ha na km², nato na dinarskih planotah, 9,5, in sredozemskih planotah, 6,9, najmanjša pa v panonskih gričevjih, 0,8 ha na km².

Podobno je tudi z vrednotami geodediščine. Največja gostota točkovnih nadzemnih vrednot geodediščine je v alpskih gorovjih, 7,6 objekta na 100 km², na panonskih ravninah pa ni nobenega objekta. Največja gostota ploskovnih nadzemnih vrednot geodediščine je prav tako v alpskih gorovjih, 29,7 ha na km² in najmanjša v panonskih gričevjih, 2,4 ha na km².

8 Sklep

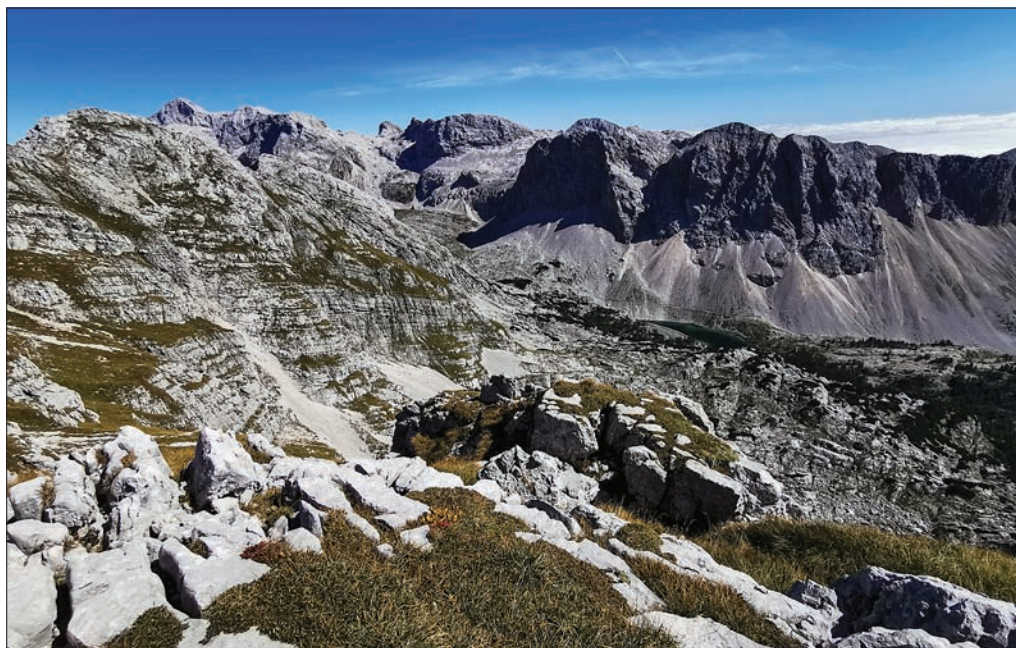
Čeprav so podatki o geomorfoloških vrednotah in vseh drugih vrstah naravnih vrednot še vedno pomanjkljivi, pa s pomočjo geografskih informacijskih sistemov lahko izračunamo različne kazalnike in ugotovimo temeljne značilnosti, celo zakonitosti prostorske razporeditve naravnih vrednot v Sloveniji. V našem primeru torej geomorfoloških vrednot glede na reliefne in pokrajinske tipe, ki so v reliefno in pokrajinsko raznoliki Sloveniji izjemno pomembni razlikovalni dejavnik. Posamezne vrste geomorfoloških vrednot so za nekatere reliefne in pokrajinske tipe tako značilne, da bi jih lahko celo opredelili, poimenovali po geomorfoloških vrednotah. Tako so, na primer, gorovja reliefni tip nadzemnih točkovnih geomorfoloških vrednot, saj imajo več kot trikrat tolikšno gostoto kot naslednji reliefni tip, sredozemske planote pa pokrajinski tip podzemnih točkovnih geomorfoloških vrednot ali preprosteje pokrajina podzemnih jam, saj imajo skoraj trikrat tolikšno gostoto kot naslednji pokrajinski tip.

V prihodnosti bomo uporabo geografskih sistemov pri raziskovanju geomorfoloških in drugih naravnih vrednot še poglobili. Želimo namreč preučiti razporeditev geomorfoloških vrednot tudi na podlagi drugih značilnih naravnih sestavin in prvin pokrajine, kot so na primer kamnine, ter družbenih



JURE TIČAR

Slika 6: Za reliefni tip nizke planote in pokrajinski tip sredozemske planote, v katera spada tudi Kras, je značilna izjemna gostota podzemnih točkovnih geomorfoloških vrednot oziroma podzemnih jam.



JURE TIČAR

Slika 7: Za reliefni tip gorovja in pokrajinski tip alpska gorovja, v katera spadajo tudi Julijske Alpe, je značilna visoka gostota nadzemnih točkovnih in nadzemnih ploskovnih geomorfoloških vrednot.

Preglednica 1: Razporeditev in gostota podzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke dediščine po reliefnih tipih Slovenije (Kataster jam 2019).

reliefni tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
ravnine	3160,31	735	5,59	23,26
gričevja	3913,20	292	2,22	7,46
hribovja	5077,37	842	6,40	16,58
gorovja	1673,13	1816	13,81	108,54
korozijski ravniki	332,30	147	1,12	44,24
nizke planote	1585,44	2729	20,75	172,13
visoke planote	4528,88	6589	50,11	145,49
Slovenija	20270,62	13150	100,00	64,87

Preglednica 2: Razporeditev in gostota podzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke dediščine po pokrajinskih tipih Slovenije (Kataster jam 2019).

pokrajinski tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
alpska gorovja	3061,55	2944	22,39	96,16
alpska hribovja	4659,81	752	5,72	16,14
alpske ravnine	819,20	115	0,87	14,04
panonska gričevja	2994,14	98	0,75	3,27
panonske ravnine	1296,23	2	0,02	0,15
dinarske planote	3809,08	4965	37,76	130,35
dinarska podolja	1896,76	2084	15,85	109,87
sredozemska gričevja	1060,69	191	1,45	18,01
sredozemske planote	673,16	1999	15,20	296,96
Slovenija	20270,62	13150	100,00	64,87

Preglednica 3: Razporeditev in gostota nadzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke dediščine po reliefnih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

reliefni tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
ravnine	3160,31	2	1,02	0,06
gričevja	3913,20	12	6,12	0,31
hribovja	5077,37	30	15,31	0,59
gorovja	1673,13	77	39,29	4,60
korozijski ravniki	332,30	2	1,02	0,60
nizke planote	1585,44	22	11,22	1,39
visoke planote	4528,88	51	26,02	1,13
Slovenija	20270,62	196	100,00	0,97

Preglednica 4: Razporeditev in gostota nadzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke dediščine po pokrajinskih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

pokrajinski tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
alpska gorovja	3061,55	95	48,47	3,10
alpska hribovja	4659,81	21	10,71	0,45
alpske ravnine	819,20	0	0,00	0,00
panonska gričevja	2994,14	3	1,53	0,10
panonske ravnine	1296,23	0	0,00	0,00
dinarske planote	3809,08	37	18,88	0,97
dinarska podolja	1896,76	9	4,59	0,47
sredozemska gričevja	1060,69	18	9,18	1,70
sredozemske planote	673,16	13	6,63	1,93
Slovenija	20270,62	196	100,00	0,97

Preglednica 5: Razporeditev in gostota nadzemnih ploskovnih naravnih vrednot geomorfološke dediščine po reliefnih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

pokrajinski tip	površina v km ²	površina vrednot v ha	delež površine vrednot v %	površina vrednot v ha na km ²
ravnine	3160,31	19728,78	12,02	6,24
gričevja	3913,20	8074,06	4,92	2,06
hribovja	5077,37	17483,44	10,65	3,44
gorovja	1673,13	39300,11	23,95	23,49
korozijski ravniki	332,30	546,06	0,33	1,64
nizke planote	1585,44	6123,00	3,73	3,86
visoke planote	4528,88	72842,19	44,39	16,08
Slovenija	20270,62	164097,63	100,00	8,10

Preglednica 6: Razporeditev in gostota nadzemnih ploskovnih naravnih vrednot geomorfološke dediščine po pokrajinskih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

pokrajinski tip	površina v km ²	površina vrednot v ha	delež površine vrednot v %	površina vrednot v ha na km ²
alpska gorovja	3061,55	78904,50	48,08	25,77
alpska hribovja	4659,81	15100,38	9,20	3,24
alpske ravnine	819,20	4595,18	2,80	5,61
panonska gričevja	2994,14	2391,81	1,46	0,80
panonske ravnine	1296,23	6820,22	4,16	5,26
dinarske planote	3809,08	36190,80	22,05	9,50
dinarska podolja	1896,76	9771,72	5,95	5,15
sredozemska gričevja	1060,69	5709,71	3,48	5,38
sredozemske planote	673,16	4613,33	2,81	6,85
Slovenija	20270,62	164097,63	100,00	8,10

Preglednica 7: Razporeditev in gostota podzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke, geološke in hidrološke dediščine po reliefnih tipih Slovenije (Kataster jam 2019).

reliefni tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
ravnine	3160,31	735	5,59	23,26
gričevja	3913,20	292	2,22	7,46
hribovja	5077,37	842	6,40	16,58
gorovja	1673,13	1816	13,81	108,54
korozijski ravniki	332,30	147	1,12	44,24
nizke planote	1585,44	2729	20,75	172,13
visoke planote	4528,88	6589	50,11	145,49
Slovenija	20270,62	13150	100,00	64,87

Preglednica 8: Razporeditev in gostota podzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke, geološke in hidrološke dediščine po pokrajinskih tipih Slovenije (Kataster jam 2019).

pokrajinski tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
alpska gorovja	3061,55	2944	22,39	96,16
alpska hribovja	4659,81	752	5,72	16,14
alpske ravnine	819,20	115	0,87	14,04
panonska gričevja	2994,14	98	0,75	3,27
panonske ravnine	1296,23	2	0,02	0,15
dinarske planote	3809,08	4965	37,76	130,35
dinarska podolja	1896,76	2084	15,85	109,87
sredozemska gričevja	1060,69	191	1,45	18,01
sredozemske planote	673,16	1999	15,20	296,96
Slovenija	20270,62	13150	100,00	64,87

Preglednica 9: Razporeditev in gostota nadzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke, geološke in hidrološke dediščine po reliefnih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

reliefni tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
ravnine	3160,31	67	8,74	2,12
gričevja	3913,20	69	9,00	1,76
hribovja	5077,37	161	20,99	3,17
gorovja	1673,13	179	23,34	10,70
korozijski ravniki	332,30	31	4,04	9,33
nizke planote	1585,44	61	7,95	3,85
visoke planote	4528,88	199	25,95	4,39
Slovenija	20270,62	767	100,00	3,78

Preglednica 10: Razporeditev in gostota nadzemnih točkovnih naravnih vrednot geomorfološke, geološke in hidrološke dediščine po pokrajinskih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

pokrajinski tip	površina v km ²	število vrednot	delež vrednot v %	število vrednot na 100 km ²
alpska gorovja	3061,55	231	30,12	7,55
alpska hribovja	4659,81	138	17,99	2,96
alpske ravnine	819,20	8	1,04	0,98
panonska gričevja	2994,14	41	5,35	1,37
panonske ravnine	1296,23	0	0,00	0,00
dinarske planote	3809,08	189	24,64	4,96
dinarska podolja	1896,76	100	13,04	5,27
sredozemska gričevja	1060,69	36	4,69	3,39
sredozemske planote	673,16	24	3,13	3,57
Slovenija	20270,62	767	100,00	3,78

Preglednica 11: Razporeditev in gostota nadzemnih ploskovnih naravnih vrednot geomorfološke, geološke in hidrološke dediščine po reliefnih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

pokrajinski tip	površina v km ²	površina vrednot v ha	delež površine vrednot v %	površina vrednot v ha na km ²
ravnine	3160,31	35957,51	15,99	11,38
gričevja	3913,20	16114,54	7,17	4,12
hribovja	5077,37	25641,86	11,41	5,05
gorovja	1673,13	45744,54	20,35	27,34
korozijski ravniki	332,30	1578,81	0,70	4,75
nizke planote	1585,44	14209,67	6,32	8,96
visoke planote	4528,88	85576,58	38,06	18,90
Slovenija	20270,62	224823,51	100,00	11,09

Preglednica 12: Razporeditev in gostota nadzemnih ploskovnih naravnih vrednot geomorfološke, geološke in hidrološke dediščine po pokrajinskih tipih Slovenije (Register naravnih vrednot 2016).

pokrajinski tip	površina v km ²	površina vrednot v ha	delež površine vrednot v %	površina vrednot v ha na km ²
alpska gorovja	3061,55	91103,56	40,52	29,76
alpska hribovja	4659,81	20701,18	9,21	4,44
alpske ravnine	819,20	8202,59	3,65	10,01
panonska gričevja	2994,14	7319,43	3,26	2,44
panonske ravnine	1296,23	12234,45	5,44	9,44
dinarske planote	3809,08	47012,67	20,91	12,34
dinarska podolja	1896,76	17504,96	7,79	9,23
sredozemska gričevja	1060,69	12897,88	5,74	12,16
sredozemske planote	673,16	7846,78	3,49	11,66
Slovenija	20270,62	224823,51	100,00	11,09

sestavin in prvin, kot je na primer administrativna razdelitev Slovenije, na podlagi katere se izvaja upravljanje z naravnimi vrednotami. Poleg tega se ob razvoju turizma pojavlja tudi vprašanje obremenitve posameznih naravnih vrednot, ki jo nakazujejo novejših virih podatkov. Nenazadnje je treba sodobne raziskovalne metode primerno vključiti tudi pri nadaljevanju raziskav o vsebinskem vrednotenju posameznih pomembnejših enot geomorfoloških in drugih naravnih vrednot.

ZAHVALA: Prispevek temelji na raziskovalnem programu Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

9 Viri in literatura

- Berginc, M., Kremesec Jevšenak, J., Vidic, J. 2007: Sistem varstva narave v Sloveniji. Ljubljana.
- Carton, A., Cavallin, A., Francavilla, F., Mantovani, F., Panizza, M., Pellegrini, G. G., Tellini, C. 1994: Ricerche ambientali per l'individuazione e la valutazione dei beni geomorfologici – metodi ed esempi. Il Quaternario 7-1.
- Ciglič, R., Perko, D. 2013a: Europe's landscape hotspots. Acta geographica Slovenica 53-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS53106>
- Ciglič, R., Perko, D. 2013b: Pokrajinska raznolikost Slovenije kot razvojna priložnost za turizem. Nove razvojne perspektive, Regionalni razvoj 4. Ljubljana.
- Erhartič, B. 2010a: Conserving geoheritage in Slovenia through geomorphosite mapping. Mapping Geoheritage. Lausanne.
- Erhartič, B. 2010b: Geomorphosite assessment. Acta geographica Slovenica 50-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS50206>
- Erhartič, B. 2012: Geomorfološka dediščina v Dolini Triglavskih jezer. Geografija Slovenije 23. Ljubljana.
- Fajmut Štruel, S., Gorjup Kavčič, M., Režun, B. 2015: Naravne vrednote in geoparki. UNESCO forum. Koper.
- Gabrovec, M., Hrvatin, M. 1998: Površje. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Hrvatin, M. 2001: Reliefne enote in oblike. Nacionalni atlas Slovenije. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Hrvatin, M. 2004: Relief. Slovenia: A Geographical Overview. Ljubljana.
- Grandgirard, V. 1995: Méthode pour la réalisation d'un inventaire de géotopes géomorphologiques. Cahiers de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg 10.
- Grandgirard, V. 1999: L'évaluation des géotopes. Geologia Insubrica 4-1.
- Gray, M. 2013: Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature. Chichester.
- Hooke, J. M. 1994: Strategies for conserving and sustaining dynamic geomorphological sites. Geological and Landscape Conservation. London.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2016: Morfometrične razlike med pokrajinskimi vročimi in mrzlimi točkami. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- IUCN, 2018: Geoheritage. Medmrežje: <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/wcpa/what-we-do/geoheritage> (26. 2. 2020)
- Kladnik, D. 1996: Naravnogeografske členitve Slovenije. Geografski vestnik 68.
- Orožen Adamič, M. 1970: Kako naj vrednotimo pokrajino? Proteus 33-4.
- Panizza, M. 2001: Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey. Chinese Science Bulletin 46.
- Panizza, M., Piacente, S. 1993: Geomorphological assets evaluation. Zeitschrift für Geomorphologie 87.
- Perko, D. 1998: Regionalizacija Slovenije. Geografski zbornik 38.
- Perko, D. 2001: Pokrajine. Nacionalni atlas Slovenije. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: Landscapes. Slovenia in Focus. Ljubljana.
- Perko, D., Ciglič, R. 2015: Slovenia as a European landscape hotspot. Acta Geobalcantica 1-2. DOI: <https://doi.org/10.18509/AGB.2015.05>

- Perko, D., Ciglič, R. 2016: Določanje pokrajinskih vročih in mrzlih točk iz pokrajinskih tipizacij Slovenije. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Perko, D., Ciglič, R. 2020: Slovenia's landscapes. The Geography of Slovenia: Small But Diverse. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14066-3_14
- Perko, D., Ciglič, R., Hrvatin, M. 2017: Determination of landscape hotspots of Slovenia. Acta geographica Slovenica 57-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.4618>
- Perko, D., Ciglič, R., Hrvatin, M. 2021: Slovenia's landscape and landform diversity. Landscapes and Landforms of Slovenia. Cham.
- Perko, D., Ciglič, R., Zorn, M. 2020: Slovenia: A European landscape hotspot. The Geography of Slovenia: Small But Diverse. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14066-3_1
- Perko, D., Hrvatin M., Ciglič, R. 2015: A methodology for natural landscape typification of Slovenia. Acta geographica Slovenica 55-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.1938>
- Perko, D., Urbanc, M. 2004: Landscape research in Slovenia. Belgeo 2-3. DOI: <https://doi.org/10.4000/belgeo.13618>
- Postojnska jama 2019. Letno poročilo. Postojna, 2019.
- Quaranta, G. 1993: Geomorphological assets: conceptual aspect and application in the area of Croda da Lago (Cortina d'Ampezzo, Dolomites). European Intensive Course on Applied Geomorphology. Modena.
- Reynard, E. 2009: Geomorphosites: definitions and characteristics. Geomorphosites. München.
- Rivas, V., Rix, K., Frances, E., Cendrero, A., Brunnsden, D. 1997: Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. Geomorphology 18. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(96\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(96)00024-4)
- Stepišnik, U., Ilc Klun, M., Repe, B. 2017: Vrednotenje izobraževalnega potenciala geodiverzitete na primeru Cerkniškega polja. Dela 47. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.47.1.5-39>
- Stepišnik, U., Repe, B. 2015: Identification of geodiversity hotspots on example of the Rakov Škocjan Landscape Park. Dela 44. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.44.1.45-62>
- Stepišnik, U., Trenchovska, A. 2018: A new quantitative model for comprehensive geodiversity evaluation: the Škocjan Caves Regional Park, Slovenia. Geoheritage 9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0216-5>
- Tičar, J., Komac, B., Zorn, M., Ferk, M., Hrvatin, M., Ciglič, R. 2017: From urban geodiversity to geoheritage: the case of Ljubljana (Slovenia). Quaestiones Geographicae 36-3. DOI: <https://doi.org/10.1515/quageo-2017-0023>
- Tičar, J., Perko, D., Volk Bahun, M. 2018: Geodediščina in pokrajinska raznolikost. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14. Ljubljana.
- Tičar, J., Tomić, N., Breg Vajavec, M., Zorn, M., Marković S. B., Gavrilov, M. B. 2018: Speleotourism in Slovenia: balancing between mass tourism and geoheritage protection. Open Geosciences 10. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0027>
- Trenchovska, A., Stepišnik, U. 2017: The quantitative geodiversity model applied on upper Pivka karst, Slovenia. Mednarodna konferenca »Geodiversity, Geoheritage and Geotourism in Karst Areas«. Zagreb.
- Uredba o zvrsteh naravnih vrednot. Uradni list Republike Slovenije 52/2002. Ljubljana.
- Valvasor, J. W. 1689: Die Ehre des herzogthums Crain. Nürnberg.
- Zakon o ohranjanju narave. Uradni list Republike Slovenije 56/1999. Ljubljana.
- Zakon o varstvu podzemnih jam. Uradni list Republike Slovenije 2/2004. Ljubljana.
- Zorn, M., Ferk, M., Lipar, M., Komac, B., Tičar, J., Hrvatin, M. 2020: Landforms of Slovenia. The Geography of Slovenia: Small But Diverse. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14066-3_3

TIPI HIDROGRAFSKIH OBMOČIJ V GRIČEVJIH SEVEROVZHODNE SLOVENIJE GLEDE NA ZNAČILNOSTI RELIEFA IN PRSTI

dr. Mauro Hrvatin, dr. Manca Volk Bahun

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

mauro.hrvatin@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6021-8736>

manca.volk@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-9541>

dr. Dénes Lóczy

University of Pécs, Faculty of Sciences, Institute of Geography and Earth Sciences

loczyd@gamma.ttk.pte.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2542-6775>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_04

UDK: 911.2:556.166(497.41)

551.4:556.166(497.41)

IZVLEČEK

Tipi hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije glede na značilnosti reliefa in prsti
Nadzor nad poplavami je učinkovitejši, če vodo zadržujemo že v povirjih, s čimer preprečimo prehitro in neobvladljivo stekanje vode v nižje dele porečja. Sodobno integrirano in trajnostno upravljanje s porečji zahteva ponovno ovrednotenje obstoječih ukrepov za zmanjševanje prehitrega odtoka vode in preprečevanje poplav. Ti obsegajo tradicionalne in sodobne pristope. V prispevku smo glede na reliefne in pedološke razmere z razvrščanjem v skupine določili sedem tipov hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije. Za vsako skupino hidrografskih območij so značilne svojevrstne odtočne razmere, ki pomembno vplivajo na pogostost in obseg poplav.

KLJUČNE BESEDE

relief, prst, poplava, geografski informacijski sistem, razvrščanje v skupine, gričevje, Slovenija

ABSTRACT

Types of hydrographic areas in the low hills of northeastern Slovenia according to the landscape and soil characteristics

Flood control can be more efficient if it retains runoff in the higher sections of watersheds before concentration of runoff increases to an extent where inundations cannot be prevented. The requirements of modern integrated and sustainable watershed management call for the re-evaluation of existing approaches to reduce runoff and flood hazard, incorporating some traditional techniques as well as novel technologies. In this paper, we determined seven types of hydrographic areas in the low hills of northeastern Slovenia according to the landscape and pedological conditions by cluster analysis. Each group of hydrographic areas is characterized by unique runoff conditions that significantly affect the frequency and extent of floods.

KEY WORDS

landscape, soil, flood, geographical information system, cluster analysis, low hills, Slovenia

1 Uvod

Poplave spadajo med tiste naravne nesreče, ki vsako leto ogrožajo različna območja Slovenije. Poglavitni vzroki za to so pogoste obilne padavine, velik obseg gorskega in hribovitega sveta ter ozka dna dolin, v katerih so ogrožena številna naselja. V obdobju od 1991 do 2008 so v državi poplave v povprečju povzročile dobrih 15 % vse škode zaradi naravnih nesreč in so po višini škode zaostale samo za sušo in točo. V posameznih letih je bil delež poplav pri skupni škodi še veliko višji: leta 1991 na primer 38 %, leta 1998 51,9 % in leta 2007 kar 64,8 % (Zorn in Hrvatin 2014).

V Sloveniji ločimo hudourniške, nižinske, kraške, morske in mestne poplave (Natek 2005). Zaradi spleta hidrogeografskih dejavnikov odtoka, kot so pokrovnost, prst, kamninska podlaga in relief, se posamezni tipi poplav praviloma pojavljajo le na določenih območjih. Gričevja severovzhodne Slovenije, ki jih obravnavamo v tem prispevku, na primer najbolj ogrožajo poletne in jesenske hudourniške poplave (Trobec 2016).

Nižinske poplave ogrožajo približno 70.000 hektarjev zemljišč, hudourniške pa skoraj 300.000 hektarjev. Zaradi velike ogroženosti imamo v Sloveniji že več kot stoletne izkušnje preprečevanja poplav. Šele v zadnjem času je tudi na pobudo Evropske unije dozorelo spoznanje, da je preventiva dolgoročno cenejša od odpravljanja posledic (Komac, Natek in Zorn 2008).

Nadzor nad poplavami je učinkovitejši, če vodo zadržujemo že v povirjih, s čimer preprečimo hitro in neobvladljivo stekanje vode v nižje dele porečja. Sodobno integrirano in trajnostno upravljanje s porečji zahteva ponovno ovrednotenje obstoječih ukrepov za zmanjševanje prehitrega odtoka vode in preprečevanje poplav v reliefno razgibanih območjih. Ti obsegajo tradicionalne pristope, na primer gradnjo odvodnih kanalov in zadrževalnikov vode, in sodobne pristope, kot so bioinfiltracija in ozelenjena razlivna polja.

V okviru projekta »Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije« smo doslej že preučili nekatere ukrepe za ekološki nadzor poplav. Ferkova in sodelavci (2020) so raziskali upravljanje majhnih ribnikov v Slovenskih goricah in njihov vpliv na preprečevanje poplav v izbranih porečjih. V pilotni študiji so izvedli inventarizacijo in razvrščanje zadrževalnih ribnikov ter ugotovili, da so bili v glavnem zgrajeni za namensko uporabo, na primer ribolov, namakanje in napajanje živine, danes pa so namenjeni predvsem prstočasnim aktivnostim, estetiki in turizmu. Zaradi večje spremenljivosti padavin postajajo ribniki na krajevni ravni tudi pomemben ukrep za omejevanje posledic suše. Do podobnih spoznanj so prišli tudi madžarski sodelavci pri projektu, ki so preučevali razmere v Južnem Prekdonavju (Lóczy s sodelavci 2019; Nagy s sodelavci 2020).

Ciglič in Nagy (2019) sta analizirala hidrografska območja gričevij severovzhodne Slovenije, Goričkega, Haloz in Slovenskih goric, glede na indeks urbanosti. Ugotovila sta, da so najmanj naravna hidrografska območja v Slovenskih goricah, najbolj naravna pa v Halozah. Indeks urbanosti se je med letoma 2002 in 2018 skoraj povsod zmanjšal. Vzrok za povečanje stopnje naravnosti je predvsem posledica zaraščanja oziroma spreminjanja nekdanjih kmetijskih zemljišč v zemljišča v zaraščanju. Raziskava je pokazala, da lahko z ustrezno rabo tal omilimo nekatere naravne nesreče, na primer pojav poplav in povečane erozije.

Deriaz in sodelavci (2019) ter Ciglič in sodelavci (2019) so ugotavljali spremembe v rabi tal od franciscejskega katastra do današnjih dni. Raziskava je bila izvedena z računanjem strukture rabe tal in pokrajinskih metrik za del panonskih gričevij v Sloveniji. Ugotovili so, da je izračun strukture tipov rabe tal podoben, ne glede na raven natančnosti podatka. Analiza na ravni parcel je pokazala, da se je površina gozdom povečala, površina njiv in vinogradov pa zmanjšala. Današnja pokrajina ima v splošnem manj zaplat, a so večje in bolj nepravilnih oblik.

V tem prispevku smo glede na reliefne in pedološke razmere, z razvrščanjem v skupine, določili sedem tipov hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije. Za vsako skupino hidrografskih območij so značilne svojevrstne odtočne razmere, ki lahko pomembno vplivajo na pogostost in obseg poplav.

2 Naravne razmere v gričevjih severovzhodne Slovenije

Za panonski svet Slovenije je značilna izrazita pokrajinska dvojnost. Na eni strani so ravnine, ki so jih v ledenih dobah s prodrom in peskom nasule večje reke Mura, Drava, Sava in Krka, na drugi strani pa se med njimi vzpenjajo razgibana lapornata, peščena in ilovnata gričevja, ki so jih reke in potoki razčlenili v razpotegnjena slemena z bolj ali manj širokimi vmesnimi zamočvirjenimi dolinami. Kjer je na voljo več ravnega površja, so ga s hidromelioracijami marsikje osušili, struge rek in potokov pa regulirali (Kert 1974; Belec 1998).

Podnebje je celinsko s hladnimi zimami in toplimi poletji. Količina padavin se zmanjšuje od jugozahoda proti severovzhodu. V obdobju od 1981 do 2010 so na primer Haloze letno prejele od 1000 do 1200 mm padavin, medtem ko jih je Goričko prejelo manj kot 900 mm (Bertalančič 2018). Razporeditev padavin med letom kaže na celinski padavinski režim s poletnim viškom. Toplotni obrat v dolinah in na ravninah je manj opazen, pač pa je v gričevju zastopan izrazit toplotni pas z ugodnimi razmerami za rast vinske trte. Osojna pobočja gričev so po večini gozdnata, v gozdovih pa prevladujejo listavci (Žiberna 1992; Belec 1998).

Panonski svet je najbolj rodovitna kmetijska pokrajina Slovenije. Na ravninah sta v ospredju poljedelstvo in živinoreja, v gričevju pa živinoreja, vinogradništvo in sadjarstvo (Belec 1998). V okvirih raziskave smo obravnavali tri gričevnate pokrajine severovzhodne Slovenije: Goričko, Haloze in Slovenske gorice.

Goričko je 492 km² veliko gričevje na skrajnem severovzhodnem delu države ob meji z Avstrijo in Madžarsko. Slovenski del Goričkega ni zaključena naravnogeografska enota, saj se proti zahodu podoben svet nadaljuje na avstrijskem Gradiščanskem, proti severu in vzhodu pa na Madžarskem, kjer se razteza do Rabe ter v Stražno ozemlje (Őrség) in Göcsej. Gričevje je skoraj v celoti zgrajeno iz pliocenskih in miocenskih usedlin nekdanjega Panonskega morja. Kamnine so slabo sprijete in so skupaj s prstmi podvržene močni denudaciji in eroziji. Sedem desetin ozemlja leži pod 300 m, najvišji vrh, Sotinski breg, pa je visok 418 m. Polovica površja ima naklone pod 6°, prek 90 % pod 12°. Povprečni naklon je s 5,7° najmanjši med vsemi slovenskimi gričevji. Površje odmakata Ledava in Krka s pritoki. Dolina Ledave leži nekoliko nižje kot dolina Krke, zato imajo potoki, ki se izlivajo v Ledavo, večjo erozijsko moč in so globlje vrezani v podlago. Doline ob potokih so večinoma ozke in vlažne, na oglejenih prsteh pa prevladujejo travniki. Njivska zemljišča in naselja se večinoma držijo pobočij in slemen, kjer se izmenjujeta evtrična in distrična rjava prst. Občasno se ob močnih poletnih nalivih korita vodotokov napolnijo in voda prestopi bregove. Da bi ublažili visoke vode, so zajezili reko Ledavo (Ledavsko jezero) ter regulirali in zajezili več potokov (Olas in Orožen Adamič 1998).

Z 241 km² površine so Haloze najmanjše med obravnavanimi gričevji. Razprostirajo se od Jelovškega potoka pri Makolah na zahodu do Zavrča ob meji s Hrvaško na vzhodu. Delijo se na vzhodne ali vinorodne Haloze, kjer vinogradi pokrivajo skoraj desetino zemljišč, in na zahodne ali gozdne Haloze, kjer vinogradi pokrivajo le dober odstotek zemljišč, gozdovi pa več kot polovico. Meja med obema deloma poteka po dolini potoka Peklača. Območje je bilo od srednjega oligocena do pliocena skoraj v celoti preplavljeno s plitvim morjem, v katerem so se odlagale usedline. V vzhodnem delu prevladujejo peščeni laporji, proti zahodu pa se ob laporju pojavljajo še kremenovi peščenjaki. Površje je razčlenjeno s številnimi ozkimi dolinami. Značilna so zelo razgibana in kratka slemena, ki potekajo v raznih smereh. Prevladujejo nadmorske višine med 200 in 400 m, ki proti zahodu naraščajo. Najvišje se vzpne z vrhom Jelovice, ki meri 623 m. Le dobra desetina površja ima naklone pod 6° in slaba četrtnina med 6 in 12°. Zaradi velikih strmin je pogosto površinsko spiranje gradiva ter pojavljanje usadov in zemeljskih plazov (Korošec 2012). Kjer so ugodne možnosti za vinogradništvo, so s terasiranjem pobočij uredili večja strnjena zemljišča vinogradov. Na lapornati podlagi prevladujejo plitve rendzine, na peščenjakih in konglomeratih pa so se razvili rankerji, ki so precej kisli in zato porasli z gozdom. Obrečne prsti so zaradi občasnih poplav in stekanja pobočne vode precej vlažne in neugodne za njive. Padavinska voda večinoma odteka površinsko, a so vodotoki razmeroma kratki, dolgi le okoli 7 km (Vovk 1998).

Slovenske gorice so s površino 1034 km² največje gričevje v Sloveniji. Razprostirajo se med ravninama ob Dravi in Muri, na severozahodu segajo prek meje v Avstrijo, na jugovzhodu pa se na Hrvaškem nadaljujejo v nizke Medmurske gorice. Zgrajene so iz miocenskih in pliocenskih usedlin, ki so slabo sprijete in erozijsko manj odporne. Prevladujejo peski, gline in laporji, manj je peščenjakov in apnencev. Nizka slemena in griči z višinami od 200 do 400 m se le na skrajnem severozahodu povzpnejo prek 500 m (Svečinski vrh ali Kamenik, 517 m). Povprečni naklon je 7,1° in le na petini zemljišč nakloni presegajo 12°. Prsti so raznolike, saj so nastale pod vplivom številnih naravnih dejavnikov in človeka. Na laporjih, ki hitro preperevajo, so se razvile evtrične rjave prsti, na peščenih, ilovnatih in glinastih kamninah pa je nastala distrična rjava prst, ki vsebuje več silikatnih primesi. Dolinske ravnice so prekrivali psevdogleji in oglejene prsti, porasli s kisloljubno travo. Po hidromelioracijah, globokem oranju in apnjenju so se iz njih razvile rodovitne hidromeliorirane prsti. Štiri petine površja odmakata Pesnica in Ščavnica, preostali del pa Drava in Mura. Pesnica in Ščavnica imata že v zgornjem toku mokrotno plosko dno in majhen strmec ter sta nekdanj pogosto poplavljali. Po obsežnih hidromelioracijah sedaj tečeta po premočrtnih prekopih, ki sta obdana z zaščitnimi nasipi. Visoke vode začasno zadržujejo v umetnih zaježitvenih jezerih. Takih jezer je v dolini Pesnice pet: Pernica, Pristava, Komarnik, Radehova in Gradiško jezero, v dolini Ščavnice pa tri: Negovsko, Blaguško in Gajševsko jezero. Nekatera med njimi so bila nekdanj ribniki, ki pa so jih preuredili in vključili v sistem obrambe pred poplavlami (Kert 1998).

3 Metode dela

Obravnavana gričevja severovzhodne Slovenije, Goričko, Haloze in Slovenske gorice, smo najprej razdelili na 42 hidrografske območij (slika 1), ki skupno obsegajo 1686,62 km² oziroma 8,32 % države. Posamezna hidrografska območja so porečja manjših vodotokov ali pa homogeni deli porečij večjih vodotokov, v našem primeru Pesnice in Ščavnice.

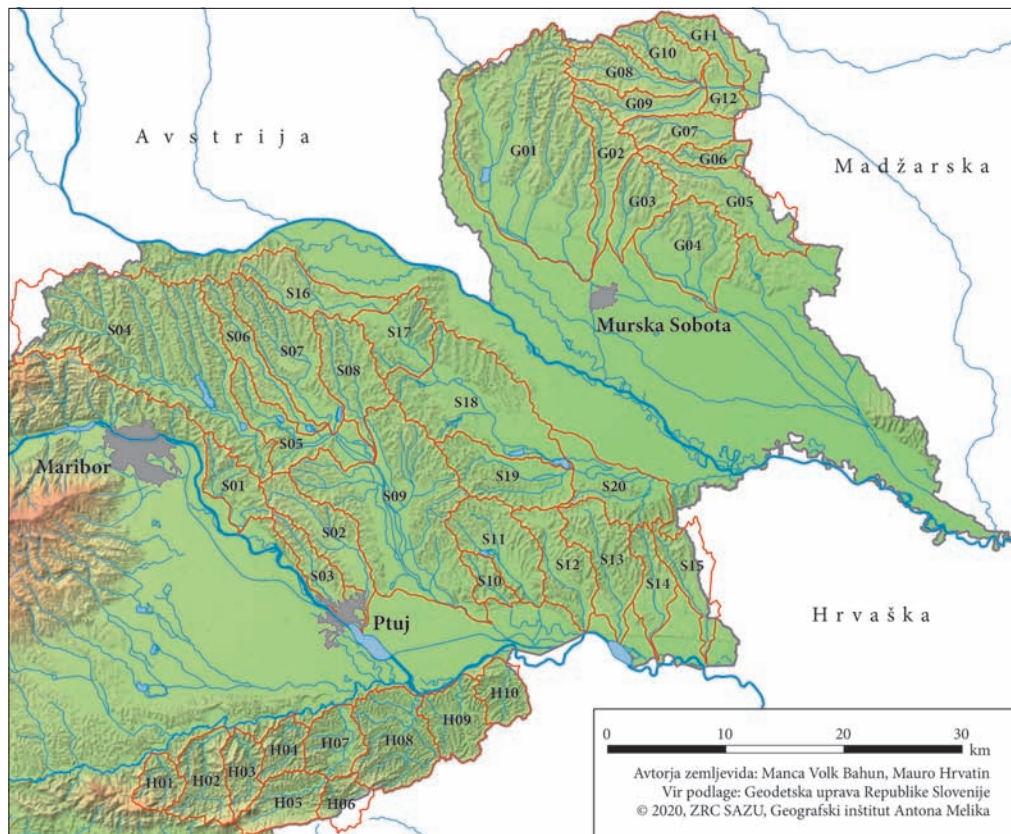
Sledila je priprava reliefnih in pedoloških kazalnikov. Dva kazalnika predstavljata nadmorske višine površja, dva kazalnika naklone površja in štirje kazalniki pedološke razmere. Podatki o višinah in naklonih temeljijo na digitalnem modelu višin z ločljivostjo 25 m Geodetske uprave Republike Slovenije. Podatkovna sloja smo pripravili tako, da smo višine in naklone razdelili na štiri velikostno enake razrede oziroma kvartile. S prekrivanjem sloja hidrografske območij ter podatkovnih slojev z razredi višin (slika 2) in razredi naklonov (slika 3) smo ugotovili, kolikšen delež posameznih razredov višin in naklonov sestavlja posamezno hidrografska območje. Kot reliefne kazalnike smo upoštevali:

- deleže nadmorskih višin površja do 1. kvartila,
- deleže nadmorskih višin površja nad 3. kvartilom,
- deleže naklonov površja do 1. kvartila,
- deleže naklonov površja nad 3. kvartilom.

Podatke o prsteh smo povzeli po digitalni Pedološki karti Slovenije (1999). Na obravnavanem območju se pojavlja 32 različnih tipov prsti, ki smo jih smiselno združili v štiri skupine (slika 4):

- humusno akumulativne prsti,
- evtrične rjave prsti,
- distrične rjave prsti in
- hidromorfne prsti.

Humusno akumulativne prsti so mlade in plitve. Najpogostejši predstavnik teh prsti v panonskih gričevjih so rendzine, ki so debele od 10 do 20 cm. V njih je precej preperelih kosov kamnine. So rodovitne, vendar slabo zadržujejo vodo, zato je rastje pogosto izpostavljeno suši. Praviloma imajo nevtralno ali rahlo bazično reakcijo. Rendzinam so po strukturi zelo podobni rankerji, ki imajo zaradi nekarbonatne kamninske podlage kislo reakcijo in so manj rodovitni (Urbančič s sodelavci 2005; Repe 2010).



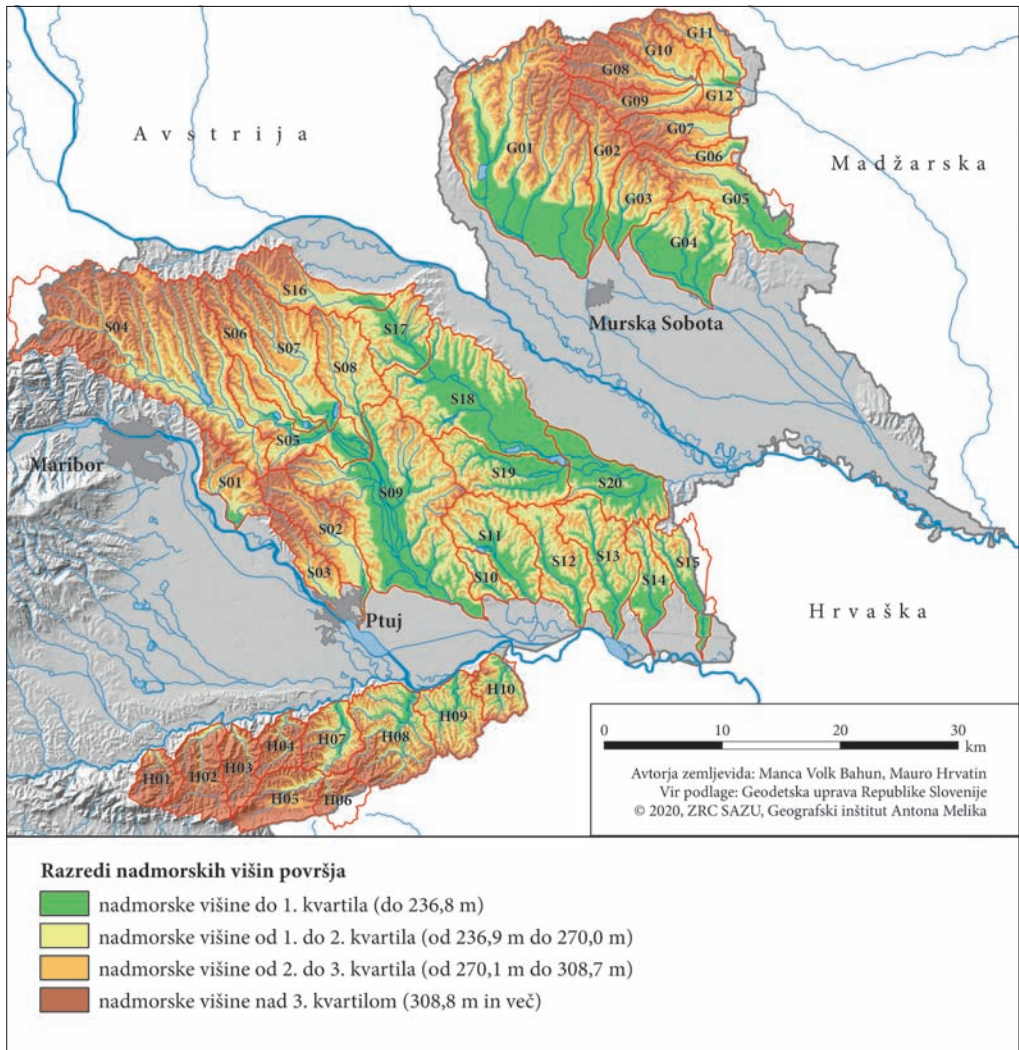
Hidrografska območja

G01 Ledava	H05 Rogatnica 1	S11 Sejanski potok
G02 Mačkovski potok	H06 Tisovec	S12 Lešnica
G03 Martjanski potok	H07 Rogatnica 2	S13 Pušenski potok
G04 Lipnica	H08 Psičina	S14 Libanja
G05 Kobiljski potok	H09 Bela	S15 Trnava
G06 Ivanjševski potok	H10 Kojuhovski potok	S16 Ščavnica 1
G07 Mala Krka		S17 Ščavnica 2
G08 Velika Krka 1	S01 Mlinški potok	S18 Ščavnica 3
G09 Peskovski potok	S02 Rogoznica	S19 Turja
G10 Merek	S03 Grajena	S20 Ščavnica 4
G11 Dolenski potok	S04 Pesnica 1	
G12 Velika Krka 2	S05 Pesnica 2	
	S06 Globovnica	
H01 Jelovski potok	S07 Velka	
H02 Skrelska	S08 Drvanja	
H03 Jesenica	S09 Pesnica 3	
H04 Peklača	S10 Cvetkovski potok	

Slika 1: Obravnavana hidrografska območja v gričevjih severovzhodne Slovenije.

Evtrične rjave prsti so pogoste na slabo odpornih ali nesprijetih karbonatnih kamninah. Temeljna značilnost je visoka zasičenost z bazami, zunanji odraz pa je rahlo bazična do nevtralna reakcija in visoka primernost za kmetijstvo. Stik s kamninsko podlago je enakomeren, globina prsti pa je spremenljiva in koleba med 35 in 100 cm. Na večjo sposobnost prsti za zadrževanje vode vpliva prisotnost drobnejših, meljastih in glinastih delcev. Nekdaj so jih poraščali listnati gozdovi, danes je večina zemljišč namenjenih kmetijstvu (Urbančič s sodelavci 2005; Repe 2010).

Distrične rjave prsti prevladujejo v vzpetem in razgibanem, a ne preveč strmem svetu na različnih nekarbonatnih kamninah in sedimentih. Temeljna značilnost je nizka zasičenost z bazami, zunanji odraz pa je kislja do zelo kislja reakcija. Stik z matično podlago je enakomeren, globina prsti pa je spremenljiva in koleba med 35 in 70 cm. Naravno rastlinstvo je kisloljubno in nezahtevno. Najpogostejši so bukovi



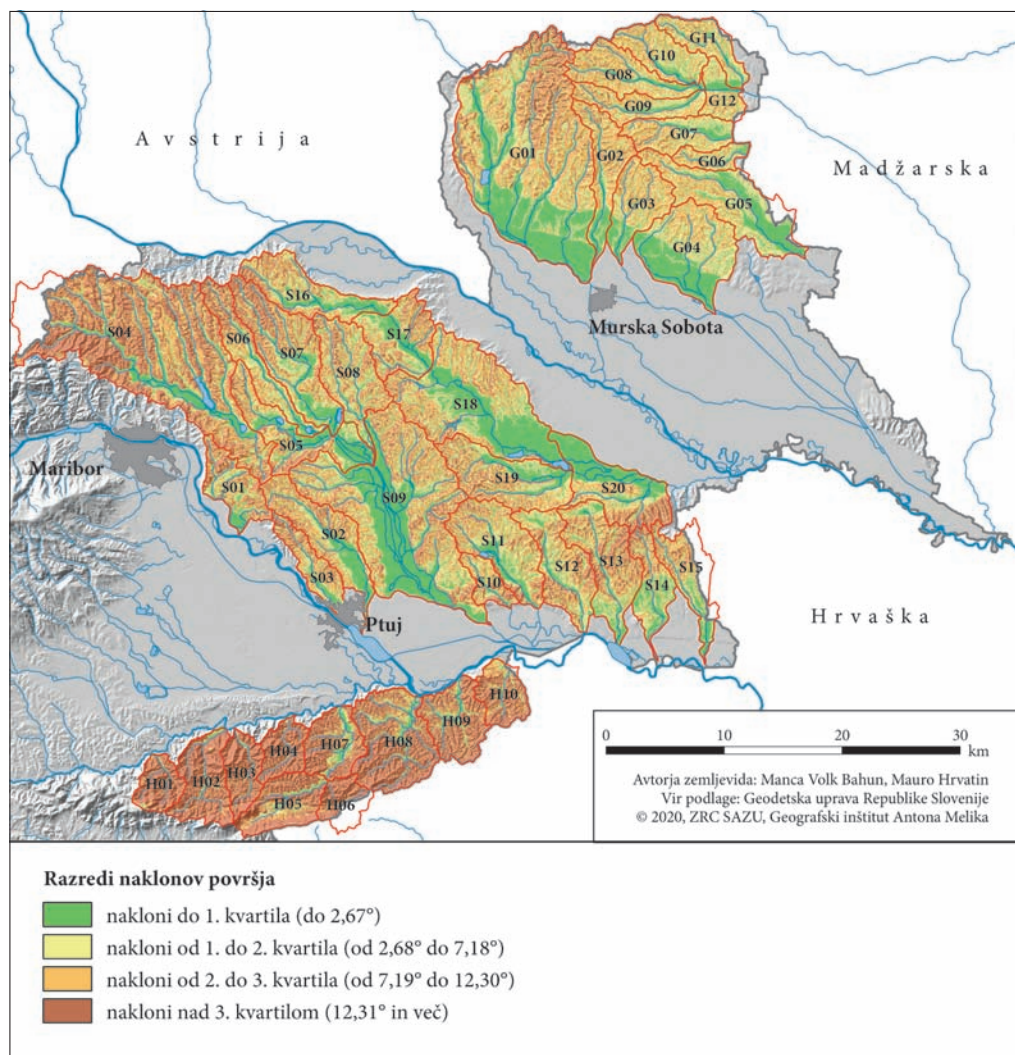
Slika 2: Razredi nadmorskih višin površja v gričevjih severovzhodne Slovenije. Deleže prvega in četrtega razreda v posameznem hidrografskem območju smo uporabili kot reliefna kazalnika.

gozdovi s pravim kostanjem. Kljub slabšim kemičnim lastnostim so na njih zaradi blagega reliefa in agrotehničnih ukrepov kmetijska zemljišča (Urbančič s sodelavci 2005; Repe 2010).

Med hidromorfne spadajo tiste prsti, v katerih se dalj časa zadržuje padavinska ali talna voda. Pronicanje skozi prst je zelo skromno, med kemičnimi procesi pa prevladuje redukcija. V panonskih gričevjih so tovrstne prsti na poplavnih ravninah v dnu rečnih dolin in na pobočjih z vododržno ilovnato podlago. Njihova globina običajno presega 70 cm. Najpogostejši tipi hidromorfni prsti v panonskih gričevjih so psevdoglej, hipoglej in oglejena obrečna prst (Urbančič s sodelavci 2005; Repe 2010).

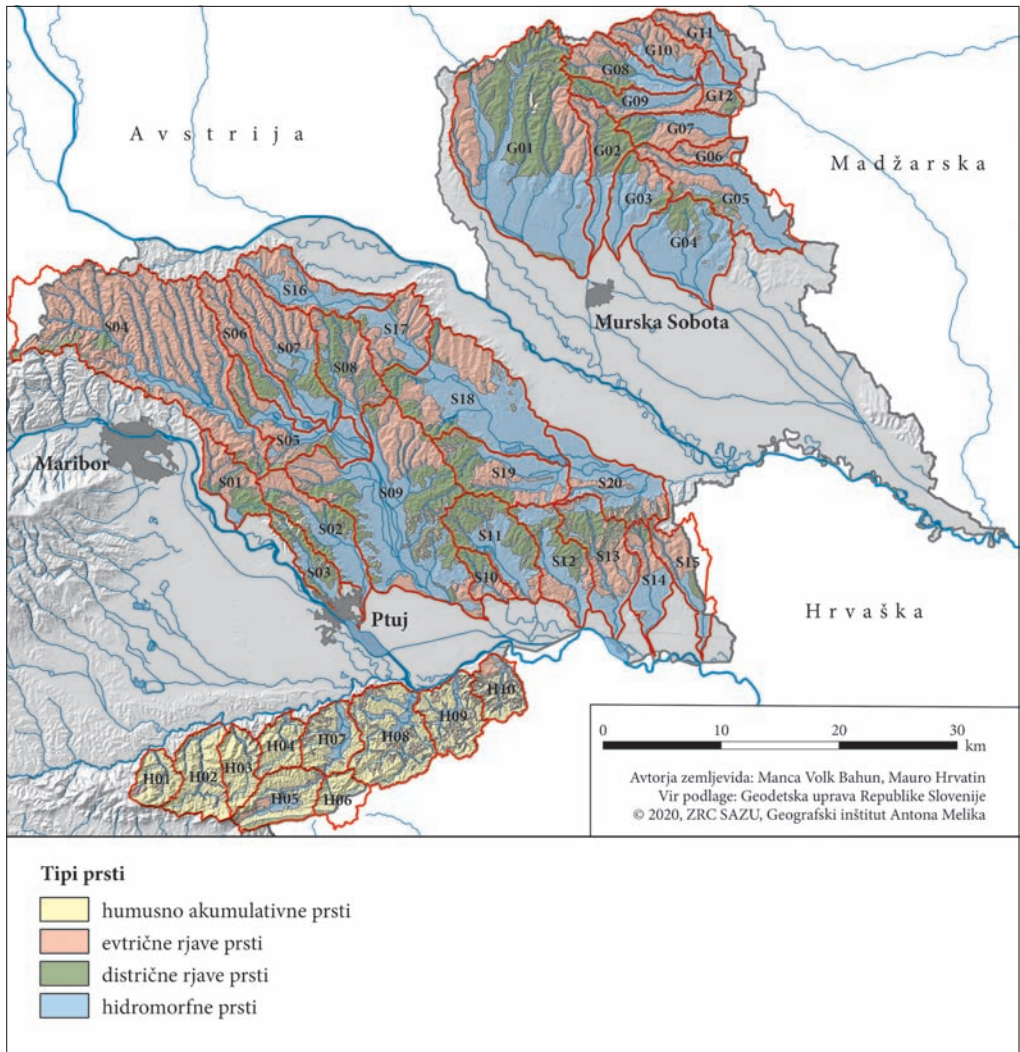
Kot pedološke kazalnike smo uporabili deleže posameznih tipov prsti.

Podobnost med hidrografskimi območji smo računali na temelju evklidskih razdalj, pri razvrščanju v skupine pa smo dosegli najboljši rezultat ob uporabi Wardove metode (Ward 1963). Ta je zelo priljubljena

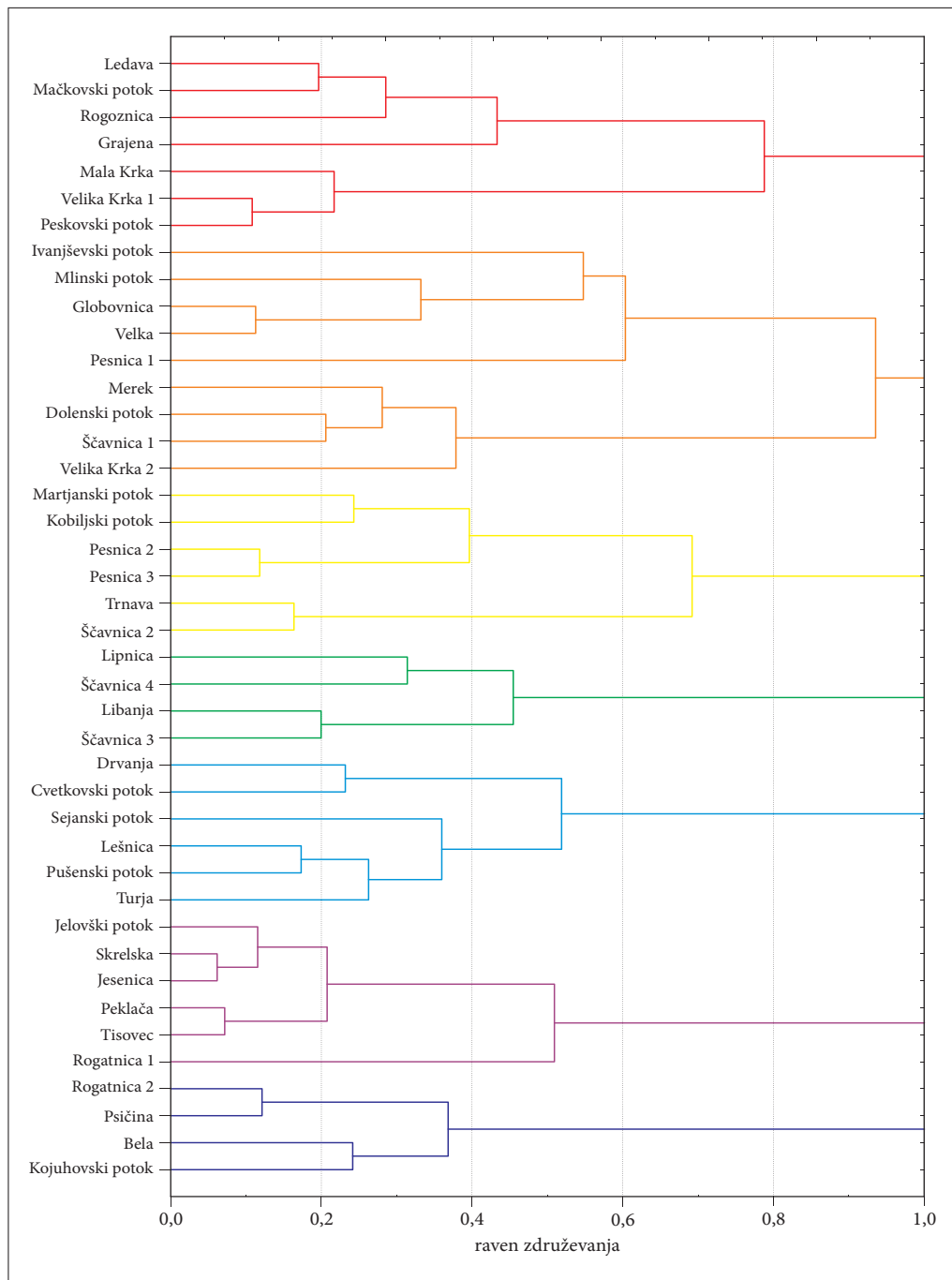


Slika 3: Razredi naklonov površja v gričevjih severovzhodne Slovenije. Deleže prvega in četrtega razreda v posameznem hidrografskem območju smo uporabili kot reliefna kazalnika.

in pogosto uporabljena med slovenskimi geografi (Hrvatin 1998; Perko 1998; Frantar in Hrvatin 2005; Petek 2005; Komac 2006; Bole 2008; Perko 2009; Hrvatin in Perko 2018; Volk Bahun 2020). Spada med hierarhične metode, ki ne zahtevajo vnaprej opredeljenega končnega števila skupin. Postopno združevanje v skupine se lahko nazorno prikaže z drevesom združevanja ali dendrogramom (Ferligoj 1989), kjer drevesni listi predstavljajo statistične enote, drevesne veje statistične skupine, točke, kjer se veje razcepijo oziroma združijo, pa raven združevanja skupin. Za mero homogenosti uporablja vsoto kvadratov razlik med enotami v skupini in njihovo aritmetično sredino (Jesenko in Jesenko 2007). Na splošno velja Wardova metoda za zelo učinkovito, med slabostmi pa ji največkrat očitajo oblikovanje (pre)majhnih skupin (StatSoft 2013).



Slika 4: Tipi prsti v gričevjih severovzhodne Slovenije. Delež tipov prsti v posameznem hidrografskem območju smo uporabili kot pedološke kazalnike.



Slika 5: Drevesni diagram združevanja hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije glede na značilnosti reliefa in prsti.

Statistično razvrščanje v skupine vključuje naslednje korake (Ferligoj 1989):

- izbiranje enot,
- izbiranje spremenljivk,
- računanje podobnosti med enotami,



Slika 6: Tipi hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije.

- izbiranje ustrezne metode razvrščanja enot v skupine,
- ocenjevanje dobljenih skupin.

V našem primeru so bile enote razvrščanja hidrografska območja, spremenljivke pa izbrani relief in pedološki kazalniki. Ker so bile spremenljivke istovrstne (deleži višinskih in naklonskih razredov ter deleži tipov prsti), jih ni bilo treba standardizirati. Podobnost med hidrografskimi območji smo računali na temelju evklidskih razdalj, ki so geometrične razdalje v večrazsežnostnem prostoru. Med dvema hidrografskima območjema izračunamo evklidsko razdaljo tako, da seštejemo vse kvadrirane razlike med istovrstnimi kazalniki obeh območij, dobljeno vsoto pa korenimo. Med metodami razvrščanja v skupine smo izbrali Wardovo, postopno združevanje hidrografskih območij v skupine pa smo grafično prikazali z drevesnim diagramom (slika 5). Višina točke, ki jo imenujemo raven združevanja, je sorazmerna meri različnosti med skupinama (Ferligo 1989).

4 Tipi hidrografskih območij glede na značilnosti reliefa in prsti

S hierarhično klasifikacijo smo določili sedem skupin hidrografskih območij (slika 6). V štirih skupinah so skupaj hidrografska območja Goričkega in Slovenskih goric, eno skupino sestavljajo samo hidrografska območja Slovenskih goric, dve skupini pa sta sestavljeni samo s hidrografskimi območji iz Haloz.

Imena skupin smo določili glede na prevladujoče vrednosti višinskih, naklonskih in pedoloških kazalnikov. Če na primer delež višin do 1. kvartila prevladuje nad deležem višin nad 3. kvartilom, smo skupino opredelili kot nizko, če pa delež naklonov do 1. kvartila zaostaja za deležem naklonov nad 3. kvartilom, smo skupino opredelili kot strmo. V kolikor je delež naklonov nad 3. kvartilom večji od deleža naklonov do 1. kvartila, a nižji od 50 %, smo hidrografsko območje opredelili kot zmerno strmo. Če je delež med 50 in 75 %, smo hidrografsko območje opredelili kot pretežno strmo, v kolikor pa je delež presegal 75 %, smo hidrografsko območje opredelili samo kot strmo.

Največ hidrografskih območij je zbranih v skupini zmerno visokih in zmerno položnih hidrografskih območij z večjim deležem evtričnih rjavih in hidromorfni prsti (devet), najmanj hidrografskih območij pa je zbranih v skupini pretežno nizkih in zmerno položnih hidrografskih območij s pretežno hidromorfnimi prstmi ter v skupini zmerno visokih in pretežno strmih hidrografskih območij s pretežno humusno akumulativnimi prstmi (po štiri).

S pomočjo digitalne Opozorilne karte poplav (2018) smo pregledali, katere skupine hidrografskih območij so izpostavljene poplavam in v kolikšni meri. Uporabljeni zemljevid oziroma podatkovni sloj prikazuje obseg območij poplavljanja glede na pogostost pojava (pogoste, redke in zelo redke poplave) z namenom opozarjanja na poplavno nevarnost. Največjo poplavno ogroženost smo ugotovili pri skupini zmerno nizkih in zmerno položnih hidrografskih območij z večjim deležem hidromorfni in evtričnih rjavih prsti, kjer poplave ogrožajo več kot desetino zemljišč. Več kot 5 % zemljišč je poplavno ogroženih tudi pri skupini zmerno visokih in zmerno položnih hidrografskih območij z večjim deležem evtričnih rjavih in hidromorfni prsti (7,3 %) in pri skupini pretežno nizkih in zmerno položnih hidrografskih območij s pretežno hidromorfnimi prstmi (6,9 %).

Pri analizi poplavne ogroženosti gričevij severovzhodne Slovenije se je pokazalo, da predstavlja glavno težavo kombinacija razmeroma strmih pobočij in položnih dolin. Ob poletnih in jesenskih neurjih padavinske vode razmeroma hitro odteka z bolj ali manj strmih pobočij in se kopičijo v dolinah s skromnimi strmci, kjer povzročajo hudourniške poplave. Tipi prsti in njihove sposobnosti zadrževanja vode so ob tem manj pomembni, saj ob silovitih nalivih velike količine padavinske vode ne utegnejo pronicati v tla, ampak površinsko odteka v doline. Ob tem niso ogrožene samo doline v gričevjih, ampak tudi v neposrednem sosedstvu. Vodotoki, ki odteka iz Haloz, pomembno prispevajo tudi k poplavam Dravinje.

Na temelju indeksa urbanosti (Ciglič in Nagy 2019) smo skupinam hidrografskih območij določili še stopnjo naravnosti. Višje vrednosti indeksa kažejo na višjo stopnjo urbanosti, nižje, negativne vrednosti pa na visoko stopnjo naravnosti obravnavane pokrajine.

4.1 Zmerno visoka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem hidromorfni in distričnih rvajih prsti

Prvo skupino sestavljajo hidrografska območja Ledave, Mačkovskega potoka, Male Krke, Velike Krke 1 in Peskovskega potoka na Goričkem ter hidrografska območja Rogoznice in Grajene v Slovenskih goricah. Za skupino so značilni zelo nizki deleži višin do 1. kvartila (v povprečju 4,7 %) in kar visoki deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 43,2 %). Večji delež višin nad 3. kvartilom ima le šesta skupina. Nakloni do 1. kvartila so podpovprečni (v povprečju 17,9 %), vendar je delež naklonov nad 3. kvartilom še precej manjši (v povprečju 9,4 %). Med tipi prsti so najbolj razširjene hidromorfne prsti (v povprečju 42,1 %), precej pa je tudi distričnih rvajih prsti (v povprečju 31,8 %) in evtričnih rvajih prsti (v povprečju 23,0 %) (slika 7).

Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 2,9 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,0 % (Grajena in Rogoznica) do 5,9 % (Peskovski potok). Skromen je tudi indeks urbanosti, ki je v povprečju 0,07 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od -0,08 (Peskovski potok) do 0,22 (Rogoznica).

4.2 Zmerno visoka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem evtričnih rvajih in hidromorfni prsti

Drugo, največjo in najbolj heterogeno skupino sestavljajo hidrografska območja Ivanjševskega potoka, Merka, Dolenskega potoka in Velike Krke 2 na Goričkem ter hidrografska območja Mlinskega potoka, Pesnice 1, Globovnice, Velke in Ščavnice 1 v Slovenskih goricah. Za skupino so značilni zelo nizki deleži višin do 1. kvartila (v povprečju 5,9 %) in nadpovprečni deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 31,3 %). Nakloni do 1. kvartila so podpovprečni (v povprečju 17,7 %), vendar je delež naklonov nad 3. kvartilom še nekoliko manjši (v povprečju 15,8 %). Med tipi prsti so najbolj razširjene evtrične rvaje prsti (v povprečju 54,7 %), ki jim sledijo hidromorfne prsti (v povprečju 32,4 %) (slika 8).

Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 7,3 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,0 % (Ivanjševski potok) do 13,5 % (Velika Krka 2). Več kot 10 % poplavnih zemljišč je v hidrografskih območjih Velike Krke 2 (13,5 %), Velke (13,3 %), Globovnice (10,4 %) in Pesnice 1 (10,3 %). Indeks urbanosti je v povprečju 0,13 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od -0,14 (Ivanjševski potok) do 0,37 (Globovnica).

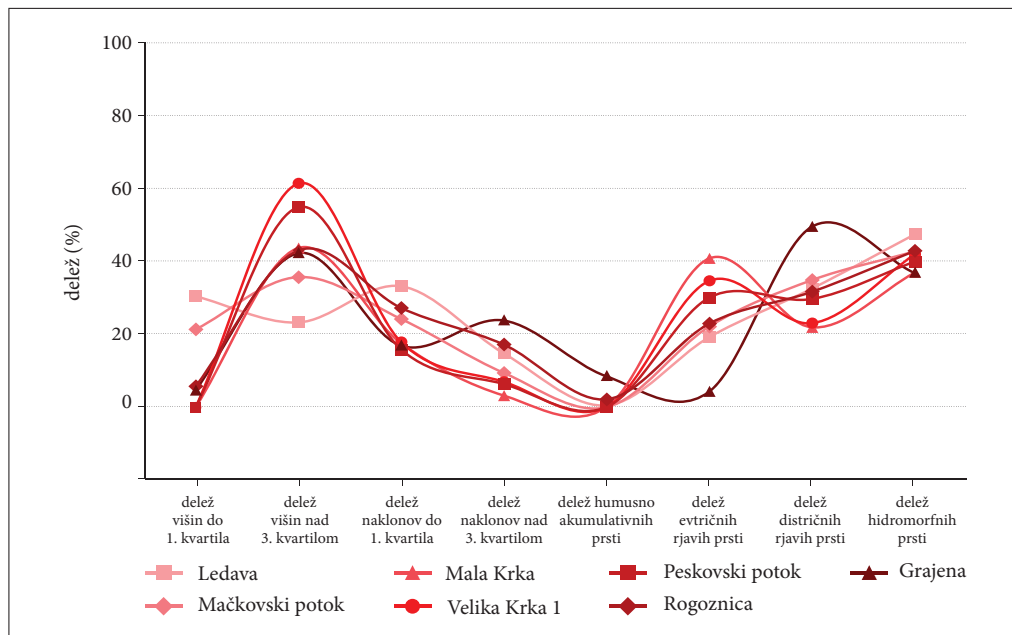
4.3 Zmerno nizka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem hidromorfni in evtričnih rvajih prsti

Tretjo skupino sestavljajo hidrografska območja Martjanskega potoka in Kobiljskega potoka na Goričkem ter hidrografska območja Pesnice 2, Pesnice 3, Trnave in Ščavnice 2 v Slovenskih goricah. Za skupino so značilni nadpovprečni deleži višin do 1. kvartila (v povprečju 35,8 %) in zelo skromni deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 7,2 %). Tudi nakloni do 1. kvartila so nadpovprečni (v povprečju 32,5 %), medtem ko je delež naklonov nad 3. kvartilom precej manjši (v povprečju 13,3 %). Skoraj polovico zemljišč prekrivajo hidromorfne prsti (v povprečju 48,2 %), ki jim sledijo evtrične rvaje prsti (v povprečju 31,2 %) (slika 9).

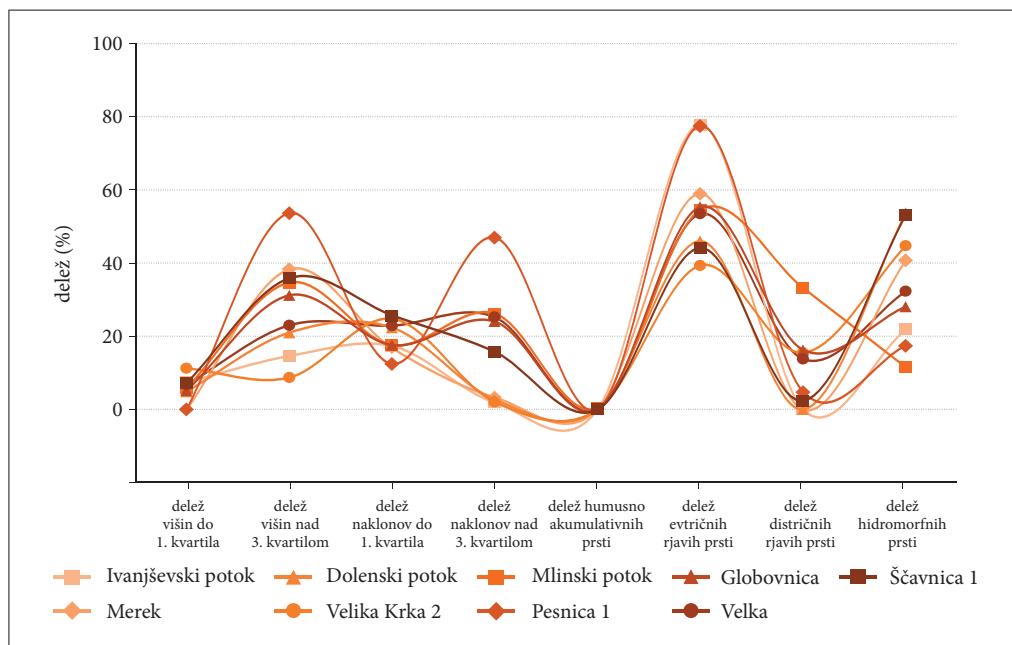
Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 10,9 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,8 % (Kobiljski potok) do 27,7 % (Pesnica 2). Več kot 10 % poplavnih zemljišč je v hidrografskih območjih Pesnice 2 (27,7 %) in Pesnice 3 (20,3 %). Indeks urbanosti je v povprečju 0,29 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,04 (Kobiljski potok) do 0,52 (Trnava).

4.4 Pretežno nizka in zmerno položna hidrografska območja s pretežno hidromorfni prsti

Četrto skupino sestavljajo hidrografsko območje Lipnice na Goričkem ter hidrografska območja Libanje, Ščavnice 3 in Ščavnice 4 v Slovenskih goricah. Za skupino so značilni zelo visoki deleži višin



Slika 7: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za zmerno visoka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem hidromorfnih in distričnih rjavih prsti.



Slika 8: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za zmerno visoka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem evtričnih rjavih in hidromorfnih prsti.

do 1. kvartila (v povprečju 62,5 %) in neznatni deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 0,7 %). Tudi nakloni do 1. kvartila (v povprečju 43,1 %) močno presegajo delež naklonov nad 3. kvartilom (v povprečju 11,7 %). Med tipi prsti prevladujejo hidromorfne prsti (v povprečju 67,7 %), precej manj je evtričnih rjavih prsti (v povprečju 24,0 %) (slika 10).

Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 6,9 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,0 % (Ščavnica 4) do 12,9 % (Lipnica). Več kot 10 % poplavnih zemljišč je samo v hidrografskem območju Lipnice (12,9 %). Indeks urbanosti je v povprečju 0,27 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,20 (Lipnica) do 0,33 (Ščavnica 4).

4.5 Zmerno nizka in zmerno strma hidrografska območja z enakomernim deležem evtričnih rjavih, distričnih rjavih in hidromorfni prsti

Peto skupino sestavljajo hidrografska območja Drvanje, Cvetkovskega potoka, Sejanskega potoka, Lešnice, Pušenskega potoka in Turje v Slovenskih goricah. Za skupino so značilni rahlo nadpovprečni deleži višin do 1. kvartila (v povprečju 28,9 %) in zelo skromni deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 1,5 %). Nakloni do 1. kvartila so podpovprečni (v povprečju 17,9 %), kar velja tudi za delež naklonov nad 3. kvartilom (v povprečju 18,9 %). Trije tipi prsti so skoraj izenačeni: hidromorfni prsti je v povprečju 38,1 %, distričnih rjavih prsti v povprečju 34,9 % in evtričnih rjavih prsti v povprečju 30,9 % (slika 11).

Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 4,1 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,0 % (Turja) do 6,0 % (Sejanski potok). Indeks urbanosti je v povprečju 0,22 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,03 (Cvetkovski potok) do 0,31 (Drvanja).

4.6 Visoka in strma hidrografska območja s prevlado humusno akumulativnih prsti

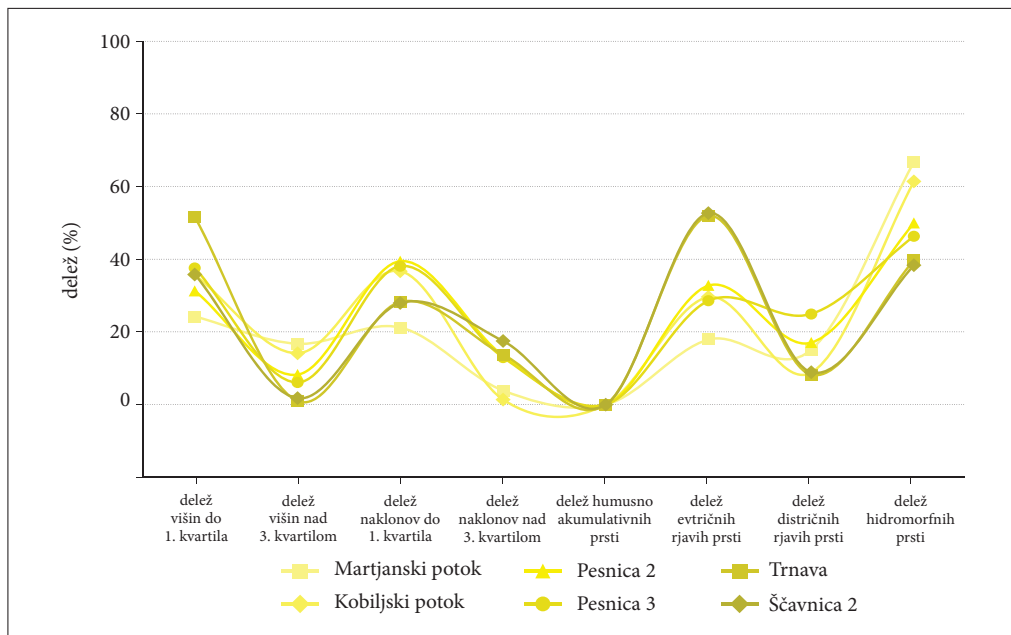
Šesto skupino sestavljajo hidrografska območja Jelovškega potoka, Skrelske, Jesenice, Peklače, Rogatnice 1 in Tisovca v Halozah. Za skupino so značilni neznatni deleži višin do 1. kvartila (v povprečju 0,1 %) in izredno visoki deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 79,6 %), ki daleč presegajo vse preostale skupine. Tudi nakloni do 1. kvartila so izredno skromni (v povprečju 2,3 %), medtem ko je delež naklonov nad 3. kvartilom izjemen (v povprečju 83,1 %) in prav tako presega vse preostale skupine. Med tipi prsti prevladujejo humusno akumulativne prsti (v povprečju 91,4 %) (slika 12).

Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 2,4 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,9 % (Skrelska) do 3,7 % (Rogatnica 1). Indeks urbanosti je v povprečju -0,37 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od -0,59 (Tisovec) do -0,19 (Rogatnica 1).

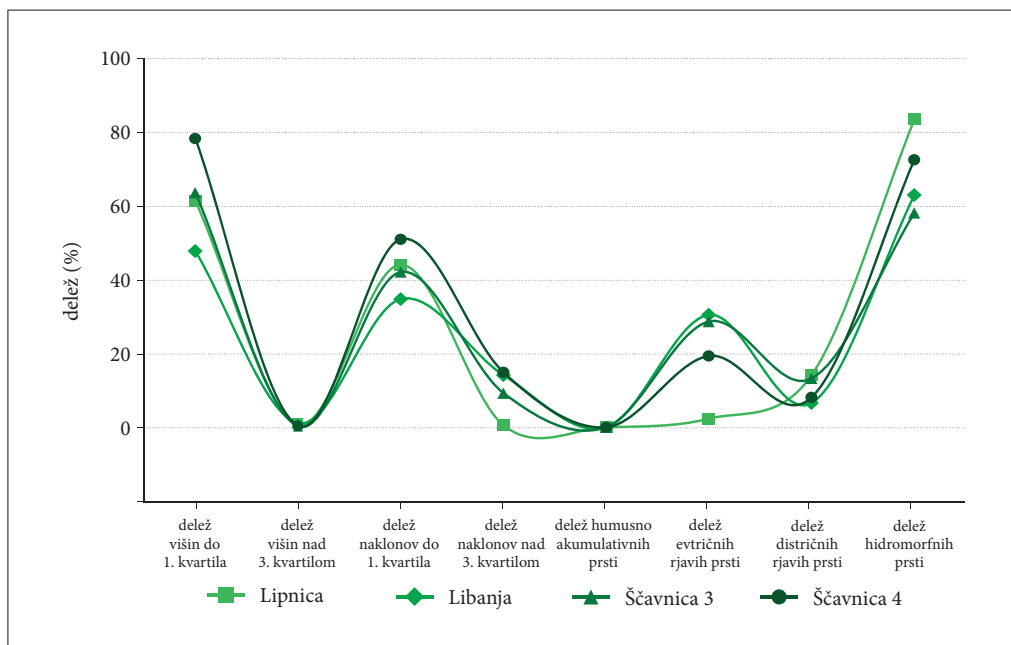
4.7 Zmerno visoka in pretežno strma hidrografska območja s pretežno humusno akumulativnimi prstmi

Sedmo, najbolj homogeno skupino sestavljajo hidrografska območja Rogatnice 2, Psičine, Bele in Kojuhovskega potoka v Halozah. Za skupino so značilni precej podpovprečni deleži višin do 1. kvartila (v povprečju 15,1 %) in rahlo podpovprečni deleži višin nad 3. kvartilom (v povprečju 22,5 %). Nakloni do 1. kvartila so zelo skromni (v povprečju 7,7 %), zelo visok pa je delež naklonov nad 3. kvartilom (v povprečju 62,1 %). Med tipi prsti prevladujejo humusno akumulativne prsti (v povprečju 70,5 %), medtem ko je hidromorfni prsti (v povprečju 14,3 %) in evtričnih rjavih prsti (v povprečju 12,5 %) precej manj (slika 13).

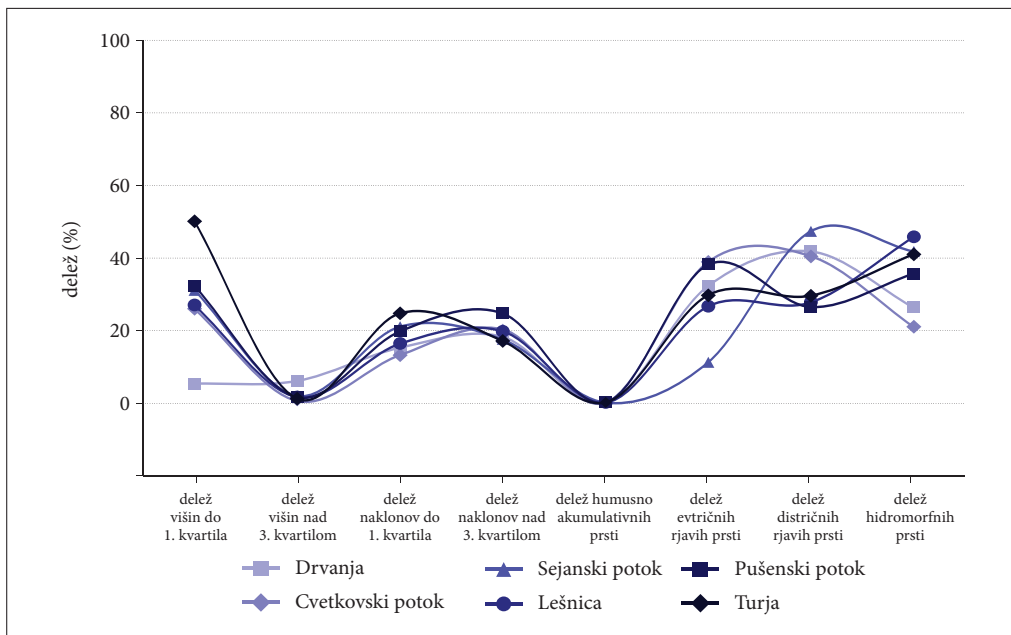
Delež poplavnih zemljišč je v povprečju 3,1 % in po posameznih hidrografskih območjih koleba od 0,0 % (Bela in Kojuhovski potok) do 10,3 % (Rogatnica 2). Več kot 10 % poplavnih zemljišč je samo v hidrografskem območju Rogatnice 2 (10,3 %). Indeks urbanosti je v povprečju -0,01 in po posameznih hidrografskih območjih koleba od -0,10 (Psičina) do 0,08 (Bela).



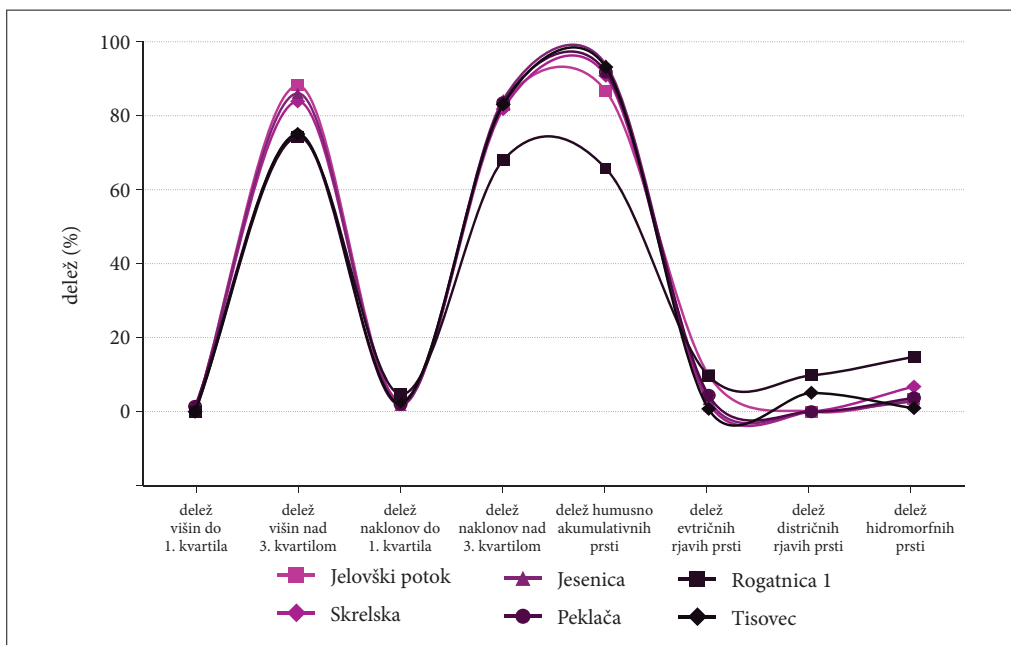
Slika 9: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za zmerno nizka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem hidromorfnihi in evtričnih rjavih prsti.



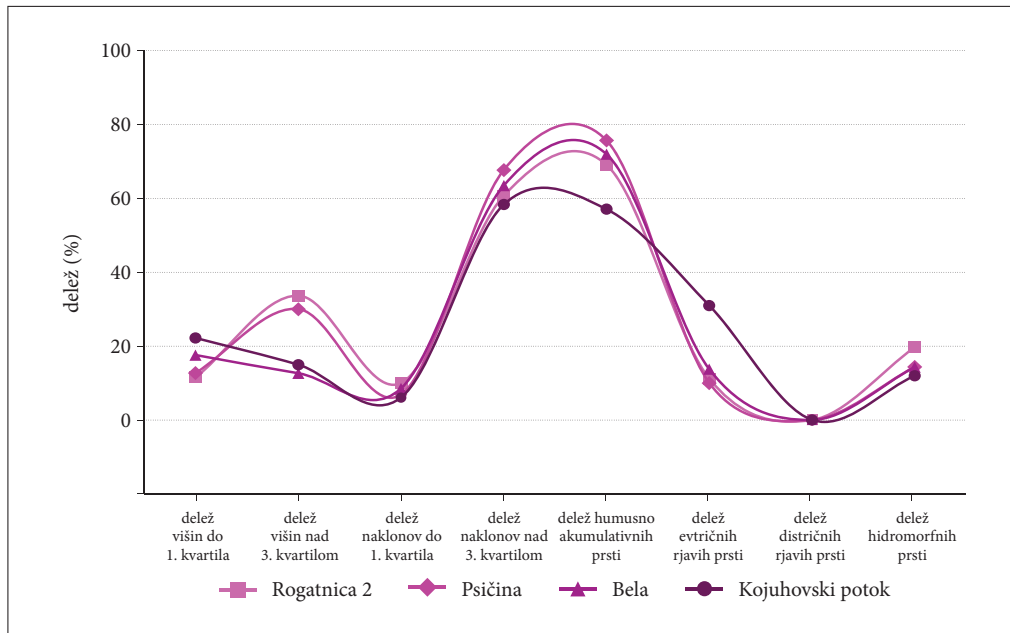
Slika 10: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za pretežno nizka in zmerno položna hidrografska območja s pretežno hidromorfnihi prsti.



Slika 11: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za zmerno nizka in zmerno strma hidrografska območja z enakomernim deležem evtričnih rjavih, distričnih rjavih in hidromorfnih prsti.



Slika 12: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za visoka in strma hidrografska območja s prevlado humusno akumulativnih prsti.



Slika 13: Deleži posameznih reliefnih in pedoloških kazalnikov za zmerno visoka in pretežno strma hidrografska območja s pretežno humusno akumulativnimi prsti.

5 Sklep

V prispevku je predstavljena tipizacija hidrografskih območij v gričevjih severovzhodne Slovenije glede na značilnosti reliefa in prsti, ki smo jo opravili na temelju štirih reliefnih (morfometričnih) in štirih pedoloških kazalnikov. Ob upoštevanju osmih kazalnikov smo na osnovi evklidskih razdalj in Wardove hierarhične metode razvrščanja v skupine razvrstili 42 hidrografskih območij Goričkega, Haloz in Slovenskih goric. Ker so bili vsi upoštevani kazalniki istovrstni (deleži morfometričnih razredov in deleži tipov prsti), jih ni bilo treba standardizirati.

Rezultat statističnega razvrščanja v skupine je sedem tipov hidrografskih območij:

- zmerno visoka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem hidromorfnihi in distričnih rjavih prsti,
- zmerno visoka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem evtričnih rjavih in hidromorfnihi prsti,
- zmerno nizka in zmerno položna hidrografska območja z večjim deležem hidromorfnihi in evtričnih rjavih prsti,
- pretežno nizka in zmerno položna hidrografska območja s pretežno hidromorfnihi prsti,
- zmerno nizka in zmerno strma hidrografska območja z enakomernim deležem evtričnih rjavih, distričnih rjavih in hidromorfnihi prsti,
- visoka in strma hidrografska območja s prevlado humusno akumulativnih prsti in
- zmerno visoka in pretežno strma hidrografska območja s pretežno humusno akumulativnimi prsti.

V štirih skupinah so skupaj hidrografska območja Goričkega in Slovenskih goric, eno skupino sestavljajo samo hidrografska območja Slovenskih goric, dve skupini pa sta sestavljeni samo s hidrografskimi območji iz Haloz.

Največjo poplavno ogroženost smo ugotovili pri skupini zmerno nizkih in zmerno položnih hidrografskih območij z večjim deležem hidromorfni in evtričnih rjavih prsti, kjer poplave ogrožajo več kot desetino zemljišč. Več kot 5 % zemljišč je poplavno ogroženih tudi pri skupini zmerno visokih in zmerno položnih hidrografskih območij z večjim deležem evtričnih rjavih in hidromorfni prsti (7,3 %) ter pri skupini pretežno nizkih in zmerno položnih hidrografskih območij s pretežno hidromorfni prsti (6,9 %).

Pri analizi poplavne ogroženosti gričevij severovzhodne Slovenije se je pokazalo, da predstavlja glavno težavo kombinacija razmeroma strmih pobočij in položnih dolin. Ob poletnih in jesenskih neurjih padavinske vode razmeroma hitro odteka z bolj ali manj strmih pobočij in se kopičijo v dolinah s skromnimi strmci, kjer povzročajo hudourniške poplave. Tipi prsti in njihove sposobnosti zadrževanja vode so ob tem manj pomembni, saj ob silovitih nalivih velike količine padavinske vode ne utegnejo pronicati v tla, ampak površinsko odteka v doline. Ob tem niso ogrožene samo doline v gričevjih, ampak tudi v neposrednem sosedstvu.

ZAHVALA: Prispevek je nastal v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije (N6-0070; SNN 125727), ki sta ga sofinancirali Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in madžarska Nacionalna agencija za raziskave, razvoj in inovacije, ter v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

6 Viri in literatura

- Belec, B. 1998: Panonski svet. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Bertalančič, R. 2018: Padavine v 21. stoletju. Predstavitev rezultatov projekta Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Medmrežje: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/CPVO/>
- Usposabljanje/54011f5b56/12nov18_padavine.pdf (16. 4. 2020).
- Bole, D. 2008: Ekonomska preobrazba slovenskih mest. Geografija Slovenije 19. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545444>
- Ciglič, R., Deriaz, J., Zorn, M., Ferk, M., Lóczy, D. 2019: Analiza promjene uporabe zemljišta na primjeru panonskih brda u Sloveniji. Ekonomska i ekohistorija 15.
- Ciglič, R., Nagy, G. 2019: Naturalness level of land use in a hilly region in north-eastern Slovenia. Geografski vestnik 91-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV911101>
- Deriaz, J., Ciglič, R., Ferk, M., Lóczy, D. 2019: The influence of different levels of data detail on land use change analyses: a case study of Franciscan Cadastre for a part of the Pannonian Hills, Slovenia. European Countryside 11-3. DOI: <https://doi.org/10.2478/euco-2019-0019>
- Ferk, M., Ciglič, R., Komac, B., Lóczy, D. 2020: Management of small retention ponds and their impact on flood hazard prevention in the Slovenske Gorice Hills. Acta geographica Slovenica 60-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.7675>
- Ferligoj, A. 1989: Razvrščanje v skupine: teorija in uporaba v družboslovju. Ljubljana.
- Frantar, P., Hrvatin, M. 2005: Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. Geografski vestnik 77-2.
- Hrvatin, M. 1998: Discharge regimes in Slovenia. Geografski zbornik 38.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2018: Morfometrični tipi pokrajinskih vročih in mrzlih točk v Sloveniji. Geografski vestnik 90-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV90202>
- Jesenko, J., Jesenko, M. 2007: Multivariatne statistične metode. Kranj.
- Kert, B. 1974: Prikaz nekaterih družbeno pogojenih učinkov pokrajinske transformacije Pesniške doline. Socialnogeografski aspekti socialnega razlikovanja med slovenskimi pokrajinami. Ljubljana.

- Kert, B. 1998: Slovenske gorice. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Komac, B. 2006: Dolec kot značilna reliefna oblika dolomitnega površja. Geografija Slovenije 13. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545208>
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008: Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Geografija Slovenije 20. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545451>
- Korošec, V. 2012: Haloško kmetijstvo med preteklostjo in prihodnostjo. Geografski obzornik 59, 1-2.
- Lóczy, D., Nagy, G., Czigány, Sz., Gyenizse, P., Pirkhoffer, E., Zorn, M., Ciglič, R., Fábíán, Sz. Á., Varga, G., Markovics, B. 2019: Landscape pattern and runoff in agricultural hilly regions: mapping and monitoring. Book of Abstracts: State of Geomorphological Research in 2019. Český Ráj.
- Nagy, G., Lóczy, D., Czigány, Sz., Pirkhoffer, E., Fábíán, Sz. Á., Ciglič, R., Ferik, M. 2020: Soil moisture retention on slopes under different agricultural land uses in hilly regions of Southern Transdanubia. Hungarian Geographical Bulletin 68-2 (v tisku).
- Natek, K. 2005: Poplavna območja v Sloveniji. Geografski obzornik 52-1.
- Olas, L., Orožen Adamič, M. 1998: Goričko. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Opozorilna karta poplav. Inštitut za vode. Ljubljana, 2018.
- Pedološka karta Slovenije 1 : 250.000. Center za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana, 1999.
- Perko, D. 1998: Regionalization of Slovenia. Geografski zbornik 38.
- Perko, D. 2009: Tipi naravne pokrajine kot dejavnik regionalnega razvoja in regionalnih razlik v Sloveniji. Razvojni izzivi Slovenije, Regionalni razvoj 2. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545581>
- Petek, F. 2005: Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu. Geografija Slovenije 11. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545123>
- Repe, B. 2010: Prepoznavanje osnovnih prsti slovenske klasifikacije. Dela 34. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.34.143-166>
- StatSoft 2013: StatSoft Inc. Electronic Statistics Textbook. Cluster Analysis. Medmrežje: <http://www.statsoft.com/Textbook/Cluster-Analysis> (18. 9. 2019).
- Trobec, T. 2016: Prostorsko-časovna razporeditev hudourniških poplav v Sloveniji. Dela 46. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.46.5-39>
- Urbančič, M., Simončič, P., Prus, T., Kutnar, L. 2005: Atlas gozdnih tal Slovenije. Ljubljana.
- Volk Bahun, M. 2020: Mehanizmi pojavljanja snežnih plazov v slovenskih Alpah. Doktorska disertacija, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Vovk, A. 1998: Haloze. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Ward, J. H. 1963: Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58-301. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Zorn, M., Hrvatin, M. 2014: Škoda zaradi naravnih nesreč v Sloveniji. (Ne)prilagojeni, Naravne nesreče 3. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612546762>
- Žiberna, I. 1992: Vpliv klime na lego in razširjenost vinogradov na primeru Srednjih Slovenskih gor. Geografski zbornik 32.

ANALIZA VSEBNOSTI SPEKTRALNEGA SIGNALA NA POSNETKIH SENTINEL-2 ZA KARTIRANJE REK IN OBREČNEGA PROSTORA

mag. Liza Stančič

ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
liza.stancic@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7253-1180>

dr. Krištof Oštir

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
kristof.ostir@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4887-7798>

dr. Žiga Kokalj

ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije
Center odličnosti VESOLJE-SI
ziga.kokalj@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-0351>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_05

UDK: 528.8:528.9(282)

IZVLEČEK

Analiza vsebnosti spektralnega signala na posnetkih Sentinel-2 za kartiranje rek in obrečnega prostora
Prispevek prikazuje metodo za kartiranje pokrovnosti rečnega in obrečnega prostora na posnetkih Sentinel-2. Metoda temelji na analizi vsebnosti spektralnega signala (AVSS), ki daje podpikselske tematske informacije. Na podlagi AVSS smo izdelali karte z deleži pokrovnosti za razrede prod, vegetacija in površinska voda. Ključni podatek za AVSS je odbojnost čistih ali končnih slikovnih elementov, ki vsebujejo le en razred pokrovnosti. Primerjali smo rezultate ročnega in samodejnega izbora končnih slikovnih elementov. Rezultate smo ovrednotili z digitalnimi letalskimi ortofoto posnetki. Povprečna absolutna napaka izračuna deležev pokrovnosti je 0,11 pri ročnem in 0,17 pri samodejnem izboru končnih slikovnih elementov.

KLJUČNE BESEDE

daljinsko zaznavanje, optični satelitski posnetki, Sentinel-2, reke, prodišča, analiza vsebnosti spektralnega signala

ABSTRACT

Spectral signal mixture analysis of Sentinel-2 imagery for mapping rivers and riparian areas

The paper presents a method for mapping land cover classes in river and riparian areas on Sentinel-2 imagery. The method is based on spectral signal mixture analysis (SSMA), which gives sub-pixel thematic information. We produced maps of land cover classes fractions for gravel, vegetation and surface water. The key information for SSMA is the reflectance of pure pixels or endmembers containing only one land cover class. We compared the results of manual and automatic endmember extraction. The results were validated with digital aerial orthophotographs. The mean absolute error of the land cover fractions calculation was 0,11 for manual and 0,17 for automatic endmember extraction.

KEY WORDS

remote sensing, optical satellite imagery, Sentinel-2, rivers, gravel bars, spectral signal mixture analysis

1 Uvod

Glavni namen pri kartiranju rečnega in obrečnega prostora v prispevku je pridobivanje informacij o rečnih prodiščih. Prodišča so pomemben habitat za različne vrste ptic (Denac in Božič 2012; Zeng s sodelavci 2015), nevretenčarjev (Langhans in Tockner 2014) in rastlinskih vrst (Geršič 2010). Poleg pomena za biotsko raznovrstnost imajo prodišča pomembno vlogo pri filtraciji vode, infiltraciji površinske vode v podtalnico, blaženju erozije rečnih bregov in privlačnosti reke za rekreacijo (Robert 2003). Na lokacijo ter obseg prodišč vplivajo antropogeni dejavniki, kot na primer izgradnja jezov in protipoplavne regulacije, ter naravni dejavniki, kot je povečana količina padavin in s tem večji odtok (Assani in Petit 2004). Industrijski odzem prodaja na več mestih ogroža obstoj prodišč (Jogan, Kotarac in Lešnik 2004). Prodišča so občutljiva na hidrološke spremembe, zato veljajo za zanesljive kazalnike motenj v fluvialnem okolju (Kiss in Andrásí 2017).

V primerjavi s terenskimi popisi nudi analiza na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja hitre rezultate, ki so pri uporabi prosto dostopnih posnetkov tudi cenovno smotrní. Spremljanje obsega in lokacije prodišč z uporabo daljinskega zaznavanja se izvaja z ročnim kartiranjem na podlagi letalskih ortofoto posnetkov Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (Ploskovni podatkovni sloj ... 2018) ali satelitskih posnetkov (Serlet 2018). Značilnosti, kot so dobra prostorska, radiometrična in spektralna ločljivost, možnost večstopenjskega pregleda (krajevni, regionalni, svetovni), visoka časovna ločljivost in prosta dostopnost, so omogočile, da so se satelitski posnetki že uveljavili kot pomemben vir podatkov o okolju (de Sherbinin s sodelavci 2014).

Za spremljanje površine vodnih ekosistemov na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja je na svetovni ravni razvitih že več izdelkov (Huang s sodelavci 2018). V najširši rabi je *Global Surface Water Explorer*, razvit na Skupnem raziskovalnem centru Evropske komisije (Pekel s sodelavci 2016). Drugi podobni izdelki spremljajo obseg površinske vode skozi čas (Donchyts s sodelavci 2016) ali se osredotočajo na določene oblike površinskih voda, na primer jezera (Verpoorter s sodelavci 2014), mokrišča (Prigent s sodelavci 2001) ali reke (Allen in Pavelsky 2018). Glavna pomanjkljivost omenjenih izdelkov je nizka prostorska ločljivost, ki večinoma ni boljša od 30 m. Za svetovni pregled je to zadovoljivo, na regionalni ali občinski ravni pa lahko vodi do nepopolnih podatkov. Ta omejitev pride do izraza zlasti na območjih z veliko prostorsko razdrobljenostjo, ki je značilna za Slovenijo (Hladnik 2005; Foški 2017). Povirni deli rek v gorskih območjih so tipičen tovrsten izziv.

Za omilitev omejitev povezanih s prostorsko ločljivostjo satelitskih posnetkov smo uporabili metodo kartiranja pokrovnosti rečnega in obrečnega prostora, zasnovano na analizi vsebnosti spektralnega signala (AVSS, angleško *spectral signal mixture analysis*; Atkinson 2005; Foody, Muslim in Atkinson 2005). Glede na odziv posameznega slikovnega elementa na elektromagnetno valovanje v različnih valovnih dolžinah z AVSS določimo deleže izbranih razredov pokrovnosti. Tako dosežemo podpikselsko tematsko natančnost kartiranja, torej natančnost, ki je boljša od prostorske ločljivosti vhodnega posnetka (Ling s sodelavci 2016; Mylona s sodelavci 2018). Ključna informacija za AVSS je spektralni odboj čistih oziroma končnih slikovnih elementov (angleško *endmembers*), to je tistih slikovnih elementov, ki vsebujejo le en razred pokrovnosti (Veganzones in Graña 2008; Somers s sodelavci 2011). Ti končni slikovni elementi so skrajne točke v spektralnem prostoru (Keshava 2003).

Namen naloge je raziskava primernosti AVSS za kartiranje pokrovnosti rek in obrečnega prostora. V tej smeri smo si zadali naslednja cilja:

1. preverjanje natančnosti AVSS za kartiranje prodaja, vegetacije in površinske vode;
2. ugotavljanje razlik v natančnosti med ročnim in samodejnim izborom končnih slikovnih elementov.

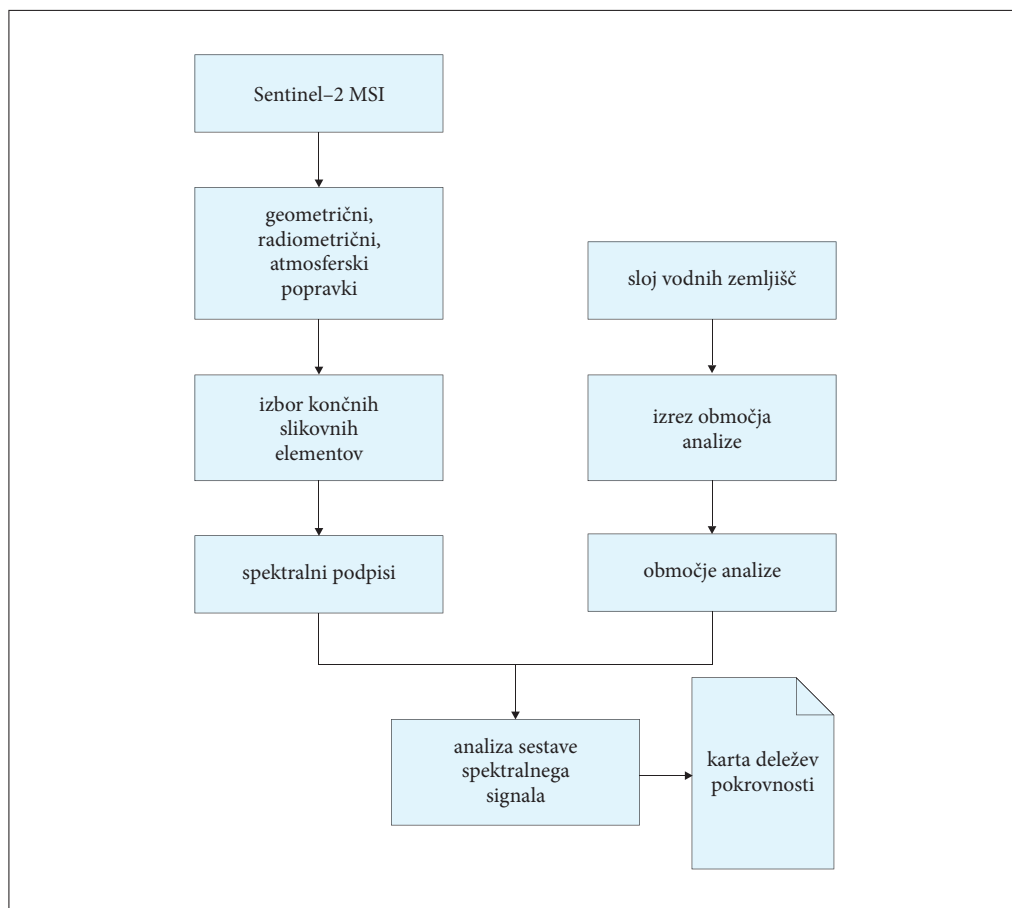
2 Metode dela

Pri razvoju in testiranju metode smo se osredotočili na skoraj 15 km dolg odsek v zgornjem porečju reke Soče med Kobaridom in Tolminom (slika 1). Geološko podlago območja večinoma gradita apnenec

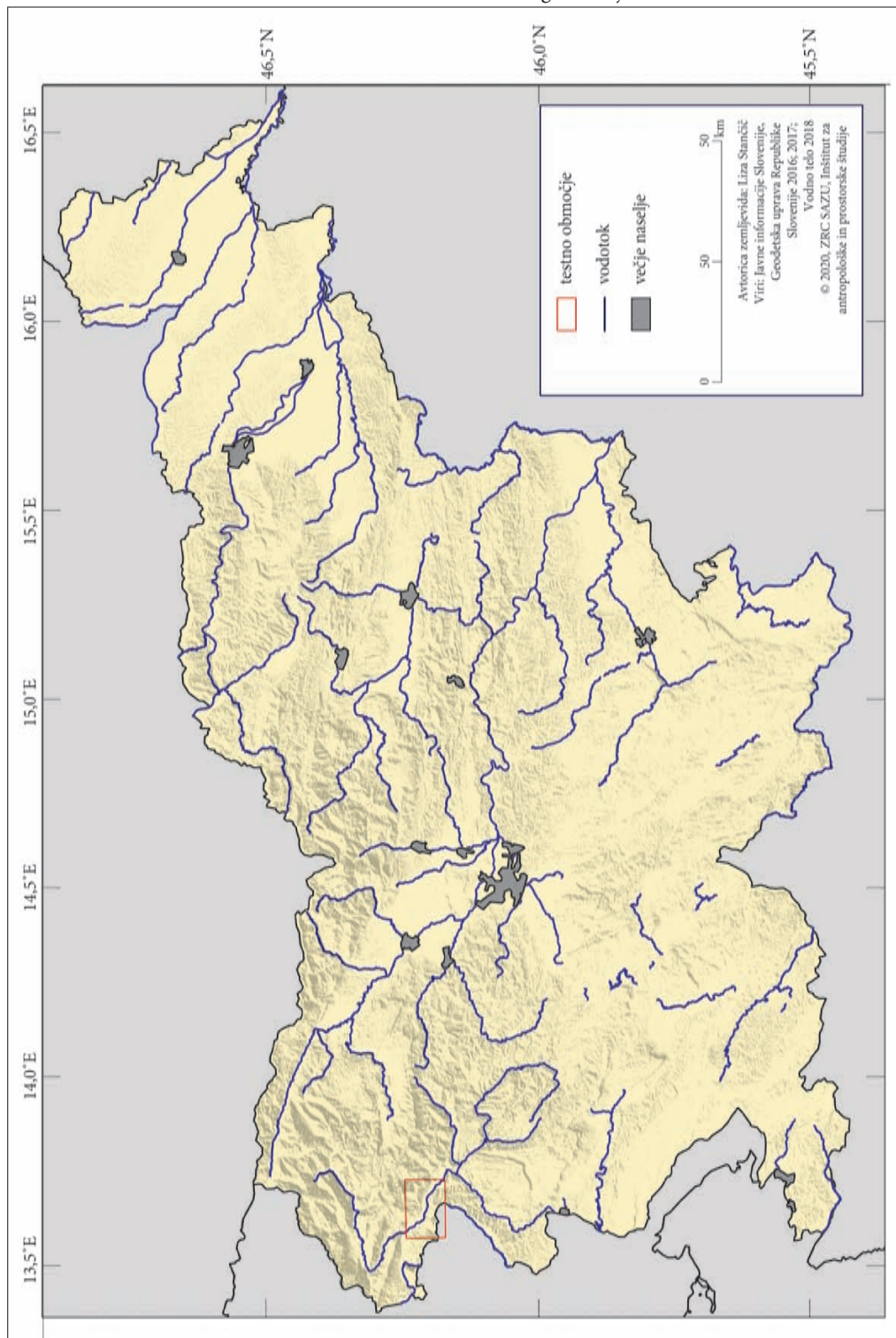
in dolomit, na južnem delu je prisoten fliš (Buser 1987). Podnebje prehaja iz gorskega v zmerno sredozemsko (Ogrin in Plut 2009). Za porečje je značilen snežno-dežni pretočni režim. V aprilu ali maju ob taljenju snega nastopi glavni pretočni višek, sekundarni pa navadno novembra ob jesenskem deževju. Zimski pretočni nižek, ki je posledica snežne retinence, je izrazitejši od poletnega, ki nastopi navadno avgusta zaradi visoke evapotranspiracije (Ogrin in Plut 2009). Zaradi intenzivnih erozijskih procesov gre za najbolj prodonosno območje v Sloveniji (Ranfl 2010). Na izbranem odseku je več prodišč.

Kartiranje pokrovnosti rek in obrečnega prostora smo izvedli v več zaporednih korakih (slika 2). Vhodni podatki so bili optični satelitski posnetki sistema Sentinel-2, ki ga za Evropsko unijo upravlja Evropska vesoljska agencija. Posnetki Sentinel-2, zajeti s senzorjem *Multi-Spectral Instrument* (MSI), imajo 13 spektralnih kanalov in prostorsko ločljivost 10 m, 20 m ali 60 m, odvisno od spektralnega kanala. Prvi satelit, Sentinel-2A, je bil izstreljen junija 2015, drugi, Sentinel-2B, pa marca 2017, s čimer se je časovna ločljivost sistema povečala z deset na pet dni ob ekvatorju (Gatti in Galoppo 2018).

Slika 1: Zemljevid lokacije testnega območja v zgornjem toku reke Soče. ► (str. 76)



Slika 2: Potek analize vsebnosti spektralnega signala za podpikselsko kartiranje pokrovnosti rek in obrečnega prostora (MSI – Multi-Spectral Instrument).



Za analizo smo izbrali satelitske posnetke, za katere je mogoče preveriti natančnost rezultatov z drugimi viri podatkov. Za referenčni sloj smo izbrali ortofote CAS, posnete 26. 6. 2015. V analizo smo vključili satelitske posnetke, posnete čim bližje datuma zajema ortofota in brez oblakov, ki bi zakrivali reko ter obrečni prostor. Za primerjavo smo tako izbrali posnetek Sentinel-2, posnet 11. 7. 2015. Zaradi ohranjanja čim večje prostorske ločljivosti smo v analizo vključili le spektralne kanale z 10- in 20-metrsko prostorsko ločljivostjo. Skupno smo torej analizirali odbojnost v desetih spektralnih kanalih, in sicer 1–8A in 11 ter 12 (preglednica 1).

Posnetke Sentinel-2 je geometrično popravil že ponudnik. Radiometrične in atmosferske popravke smo naredili s procesno verigo STORM (Pehani s sodelavci 2016). Za odstranjevanje vplivov atmosfere in zaznavanje oblakov procesna veriga uporablja program ATCOR 2 (Richter in Schlapfer 2019). Posnetke v spektralnih kanalih Sentinel-2 z ločljivostjo 10 m smo prevzorčili na 20 m z bilinearno interpolacijo. Po predobdelavi je odbojnost, prikazana na posnetkih, posledica zgolj značilnosti površja, s čimer so posnetki primerni za nadaljnje analize.

Območje analize smo določili na podlagi vektorskega sloja vodnih zemljišč Direkcije Republike Slovenije za vode (Vodno zemljišče ... 2018). Gre za površinska vodna telesa do prve geomorfološke spremembe, na primer rečne terase (Metodologija ... 2017).

Naslednji korak v analizi je izbor končnih slikovnih elementov in pridobivanje njihovih spektralnih podpisov. Izbrani razredi pokrovnosti, ki smo jih obravnavali v raziskavi, so prod, vegetacija in voda. Čiste slikovne elemente smo ročno izbrali na satelitskih posnetkih v programu QGIS (QGIS ... 2019). Za vsak razred pokrovnosti smo izbrali 15–20 vzorcev. Pri izboru vzorcev smo s pomočjo pregleda na ortofoto zagotovili, da znotraj izbranega slikovnega elementa ni drugega razreda pokrovnosti. Iz odbojnih vrednosti posameznih vzorcev smo izračunali aritmetično sredino in tako dobili tipične spektralne podpise izbranih razredov pokrovnosti. Za samodejni izbor končnih slikovnih elementov smo uporabili implementacijo algoritma N-FINDR (Winter 1999) v Python knjižnici pysptools (Therien 2018, različica 0.15.0). Algoritem išče izbor slikovnih elementov, ki v večdimenzijskem spektralnem prostoru tvorijo skrajne točke geometrijskega telesa z največjim možnim volumnom (slika 3). Na začetku obravnava naključen izbor slikovnih elementov, za katerega izračuna volumen geometrijskega telesa. Nato en slikovni element zamenja z drugim in ponovi izračun volumna. Če je volumen večji, prvi potencialni končni slikovni element zamenja z drugim. Postopek se ponavlja, dokler algoritem ne naredi nobenih

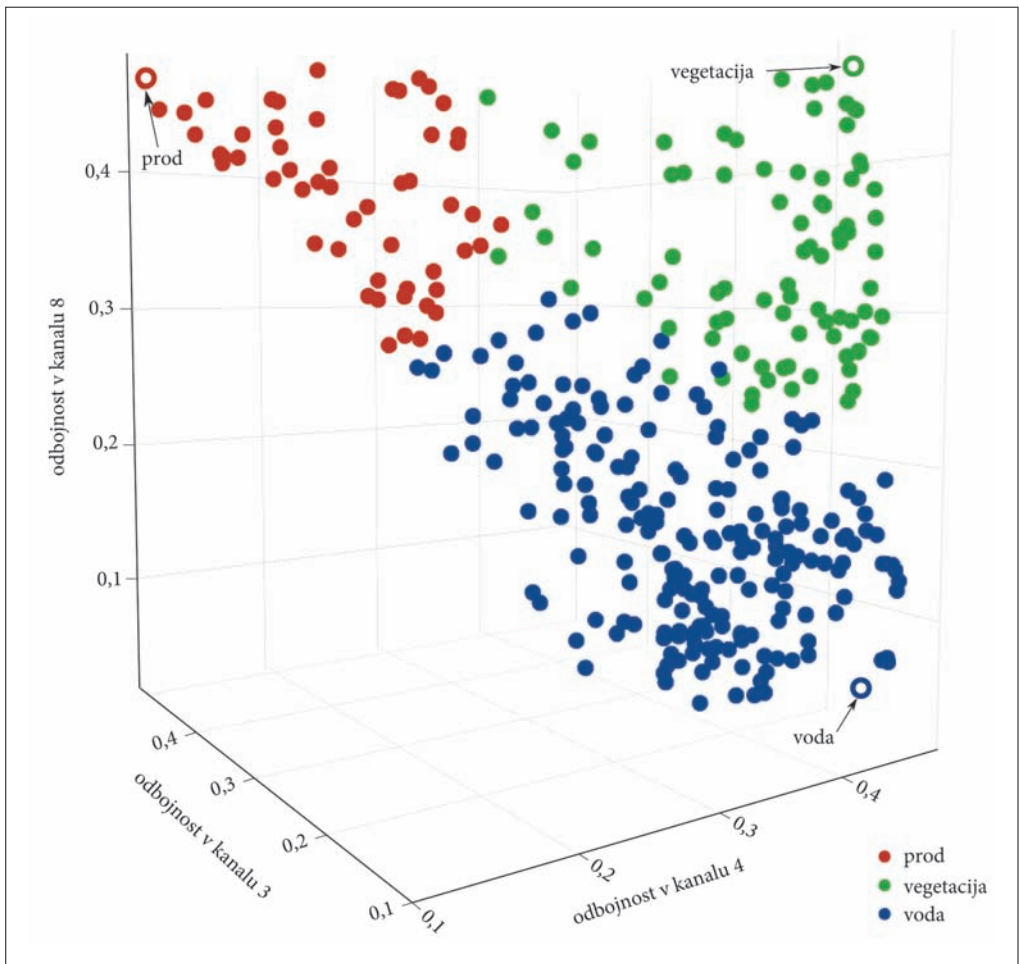
Preglednica 1: Značilnosti spektralnih kanalov senzorja Multi-Spectral Instrument na satelitih Sentinel-2 (Gatti in Galoppo 2018).

spektralni kanal	srednja valovna dolžina (nm)	prostorska ločljivost (m)
1 – robni modri	443	60
2 – modri	490	10
3 – zeleni	560	10
4 – rdeči	665	10
5 – rastlinski robni rdeči	705	20
6 – rastlinski robni rdeči	740	20
7 – rastlinski robni rdeči	783	20
8 – bližnji infrardeči	842	10
8A – rastlinski robni rdeči	865	20
9 – vodna para	945	60
10 – kratkovalovni infrardeči (cirus)	1375	60
11 – kratkovalovni infrardeči	1610	20
12 – kratkovalovni infrardeči	2190	20

zamenjav potencialnih slikovnih elementov več (Winter 1999). Z opisanimi postopkoma smo torej pridobili dva niza spektralnih podpisov – iz ročno in iz samodejno izbranih končnih slikovnih elementov (slika 4).

Metoda AVSS je bila razvita za opazovanje skalnega površja in mineralne sestave na Marsu (Adams, Smith in Johnson 1986). Od takrat so metodo uporabili za različne namene, med drugim za kartiranje rabe tal (Ling s sodelavci 2016), ugotavljanje deležev razredov pokrovnosti na urbanih območjih (Kärđi 2007), spremljanje degradacije tal (Dubovyk s sodelavci 2015), spremljanje stanja travišč (Shao s sodelavci 2018), kartiranje rečnih meja (Niroumand-Jadidi in Vitti 2017) in kartiranje morske obale (Foody, Muslim in Atkinson 2005; Muslim, Foody in Atkinson 2007). Metodo AVSS so uporabili za analizo hiperspektralnih (Keshava 2003; Somers s sodelavci 2011) in večspektralnih posnetkov, vključno s posnetki Landsat (Wu 2004) in Sentinel-2 (Mylona s sodelavci 2018).

AVSS deluje z modeliranjem odbojnosti mešanih slikovnih elementov. Na ta način je odbojnost na satelitskih posnetkih pretvorjena v delež pokrovnosti izbranih končnih slikovnih elementov. Metode modeliranja se v grobem delijo na linearne in nelinearne. Izbor modela je odvisen od predpostavljene



Slika 3: Primer končnih slikovnih elementov v trodimenzijskem spektralnem prostoru.

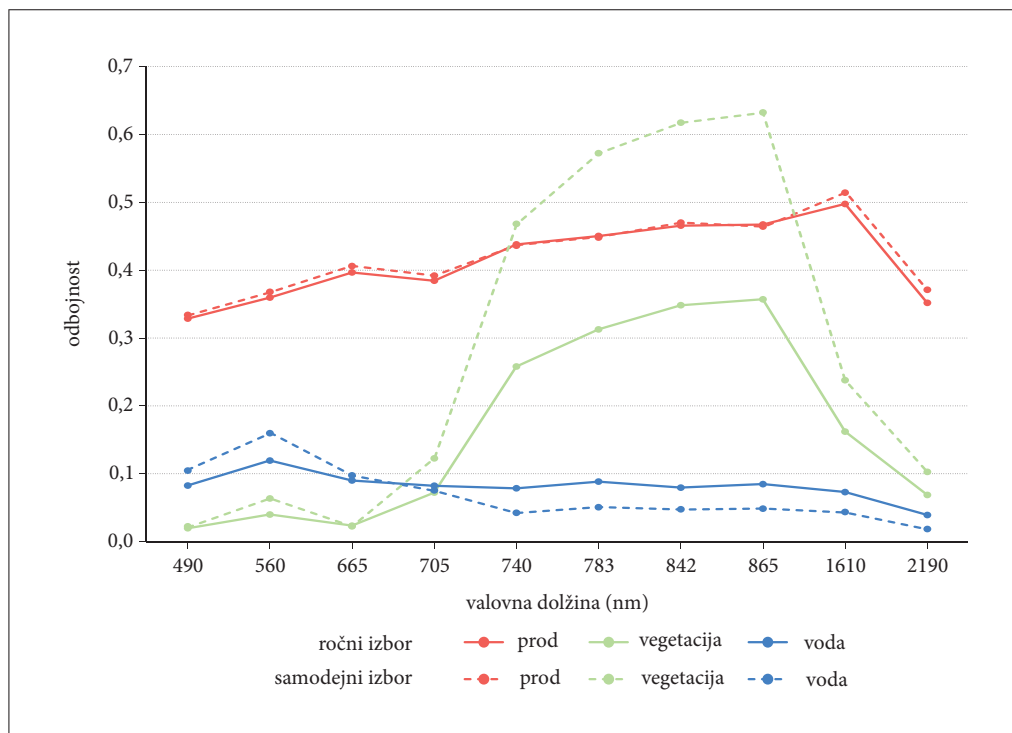
nega mehanizma mešanja spektralnega signala. Linearno mešanje odbojnosti nastopi, ko se obravnava razredi pokrovnosti pojavljajo v prostorsko zamejenih oblikah. Glavna fizikalna predpostavka pri linearni AVSS je, da vsak vhodni foton reagira zgolj z enim tipom pokrovnosti. Na drugi strani je nelinearno mešanje značilno za primere, kjer so različni tipi pokrovnosti med sabo tesno prepleteni. Mešanje odbojnosti je bolj kompleksno, saj vsak vhodni foton reagira z več različnimi tipi pokrovnosti (Keshava in Mustard 2002; Keshava 2003).

Glede na predpostavke je torej mogoče signal mešanega slikovnega elementa (r) opisati kot linearno kombinacijo čistih signalov končnih slikovnih elementov, obteženih s podpikselskim deležem pokrovnosti. Model je mogoče določiti z enačbo (Adams, Smith in Johnson 1986; Somers s sodelavci 2011):

$$r = Mf + \epsilon$$

kjer je M matrika, v kateri vsak stolpec pomeni spektralni podpis izbranega končnega slikovnega elementa, f je vektor deležev pokrovnosti, ϵ pa je šum oziroma delež signala, ki ga ni mogoče modelirati z uporabo izbranih končnih slikovnih elementov.

Enačba je rešljiva z znanimi spektralnimi podpisi in številom končnih slikovnih elementov, ki je nižje od števila spektralnih kanalov analiziranega posnetka. V praksi za reševanje pogosto uporabijo kvadratno programiranje, metodo največje verjetnosti ali metodo najmanjših kvadratov (Du 2018). Metodo AVSS lahko implementiramo brez omejitev, a je za pridobitev fizikalno smiselnih rezultatov pogosta omejitev vrednosti koeficientov na pozitivna števila. Občasno uporabljajo tudi pogoj, da mora biti seštevek vrednosti koeficientov enak ena (Somers s sodelavci 2011). Obe omejitvi smo upoštevali tudi sami.



Slika 4: Spektralni podpisi izbranih razredov pokrovnosti na uporabljenem posnetku.

Na podlagi spektralnih podpisov izbranih razredov pokrovnosti smo na izbranem območju izvedli linearno AVSS v Python knjižnici `pysptools` (Therien 2018, različica 0.15.0). Uporabili smo implementacijo polno omejenega reševalca metode najmanjših kvadratov (angleško *fully constrained least squares solver*). Z AVSS smo za vsak slikovni element izračunali deleže prisotnosti proda, vegetacije in vode ter naredili karto, ki prikazuje deleže prisotnosti različnih razredov pokrovnosti.

Za ugotavljanje natančnosti AVSS smo na testnem območju izbrali 100 naključnih ploskev v velikosti $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, ki so se lokacijsko ujemale s slikovnimi elementi posnetka Sentinel-2. Znotraj vsake ploskve smo zarisali enakomerno mrežo 100 točk, ki so bile vsaj en meter oddaljene od roba ploskve. Na lokaciji vsake točke smo določili razred pokrovnosti, pri čemer smo uporabili barvni ortofoto s prostorsko ločljivostjo $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$. Za boljše ločevanje vegetacije od vode smo si pomagali tudi z lažno barvno podobo ortofota v bližnji infrardeči valovni dolžini in prostorsko ločljivostjo $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$. Zaradi omejenega števila obravnavanih razredov pokrovnosti smo naredili nekatere poenostavitve. Pozidane površine (na primer ceste) in gole površine (na primer prst) smo vključili v razred prod. Drevesa, grmovje in travo smo označili kot vegetacijo. Območjem v senci smo pripisali enega izmed razredov pokrovnosti, v kolikor smo ga lahko razbrali iz konteksta. S seštevkom števila točk z vsakim izmed obravnavanih razredov pokrovnosti smo dobili referenčne deleže pokrovnosti na vsaki ploskvi. Te vrednosti smo primerjali z deleži, izračunanimi z AVSS. Izračunali smo povprečno absolutno napako (PAN):

$$PAN = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x|$$

ki je izražena kot povprečna absolutna razlika med deleži pokrovnosti na ortofotu (x) in deleži pokrovnosti, izračunanimi z metodo AVSS (x_i). Vrednost PAN je izračunana za vseh 100 ploskev ($n = 100$).

3 Rezultati

Primerjava z ortofotom in pregled na satelitskih posnetkih sta pokazala, da smo s samodejno metodo izbrali enake razrede končnih slikovnih elementov kot z ročnim pristopom, in sicer prod, vegetacijo in vodo. Izdelali smo karte deleža pokrovnosti proda, vegetacije in vode na podlagi ročno (slika 5) in samodejno izbranih (slika 6) končnih slikovnih elementov. Vizualno so karte videti smiselne. Območja z večjim deležem vode so linijska in sklenjena. Večji delež vegetacije je zaznan v sklenjenih območjih na rečnih bregovih. Območja z večjimi deleži proda se pojavljajo ob rečnih bregovih ter v sredini struge v oblikah, ki so podobne prodiščem.

Rezultati AVSS na podlagi ročno izbranih končnih slikovnih elementov so bolj natančni kot rezultati na podlagi samodejno izbranih končnih slikovnih elementov (preglednica 2). Povprečna absolutna napaka izračuna deležev pokrovnosti je pri obeh metodah pod 0,2; pri metodi ročnega izbora pa je za 0,06 nižja kot pri metodi samodejnega izbora končnih slikovnih elementov. Razlika med metodama

Preglednica 2: Povprečna absolutna napaka izračuna deležev pokrovnosti po razredih pokrovnosti za različni metodi izbora končnih slikovnih elementov.

razred pokrovnosti	ročni izbor	samodejni izbor
prod	0,11	0,11
vegetacija	0,10	0,16
voda	0,12	0,22
skupaj	0,11	0,17

je najmanjša pri določevanju deležev proda, kjer se metodi v povprečni absolutni napaki razlikujeta manj kot 0,005. Največja razlika med metodama je pri določevanju deležev površinske vode, in sicer več kot 0,1 v povprečni absolutni napaki.

4 Razprava

Izdelana karta pokrovnosti rečnega in obrečnega prostora na podlagi AVSS je videti smiselno. Vodne površine so sklenjene. Za vsak posamezen slikovni element dobimo informacije o deležu prisotnosti izbranih razredov pokrovnosti. Rezultati nakazujejo, da lahko z AVSS v primerjavi s tako imenovano trdo klasifikacijo, kjer vsak slikovni element pripišemo enemu od izbranih razredov pokrovnosti, dobimo tematsko bolj natančne informacije o pokrovnosti rečnih in obrečnih ekosistemov.

Kljub tematsko bolj podrobnim informacijam, je še vedno prisotna prostorska omejitev natančnosti rezultatov glede na prostorsko ločljivost vhodnega satelitskega posnetka. Posamezen slikovni element je namreč osnovna enota, za katero so podani deleži pokrovnost različnih razredov.

Natančnost uporabljene metode AVSS je primerljiva z drugimi izračuni deležev pokrovnosti z uporabo AVSS (Schug s sodelavci 2018). Tako ročna kot samodejna metoda uspešno zaznata delež proda. Najtežavnejše je zaznavanje vode. Zaradi nizke globine reke pogosto pride do odboja svetlobe od rečnega dna in posledične napačne klasifikacije vode v klasifikacijski razred prod. Težave so tudi na območjih, kjer raste vegetacija zelo različnih višin, saj so sence pogosto napačno klasificirane kot voda. Za izboljšanje natančnosti izračuna deležev pokrovnosti bi lahko v analizo vključili četrti končni slikovni element, ki bi upošteval značilnosti senc (Amaral s sodelavci 2015). Glede na velika odstopanja v primeru modeliranja prisotnosti vode, bi lahko uporabili več različnih končnih slikovnih elementov za opis spektralnega signala vode. Voda je lahko spektralno zelo raznolika, zato se za njeno modeliranje uporablja tudi 10 (Irion 2018) ali do 30 različnih modelov (Cavanaugh s sodelavci 2011).

Glavna omejitev metode, povezana z uporabo optičnih satelitskih posnetkov, je prisotnost oblakov, ki zakrivajo površje. Poleg oblakov in njihovih senc opazovanje površja onemogočajo tudi sence visokih gora ali hribov, ki v ozkih rečnih dolinah zmanjšujejo natančnost klasifikacije. To je posebej problematično v zimskih mesecih, ko je Sonce nizko nad obzorjem in je vpadni kot žarkov majhen.

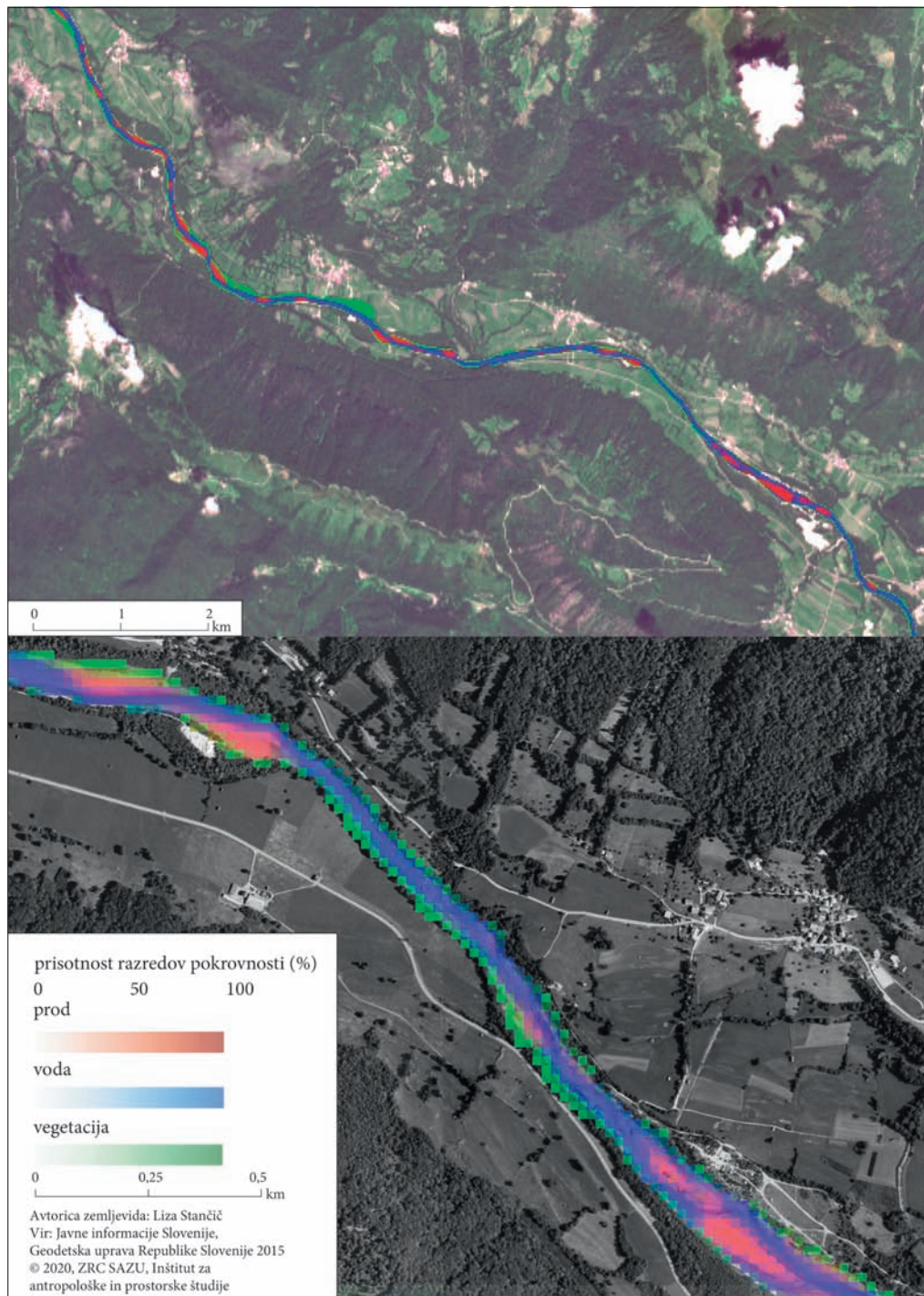
Poleg splošnih omejitev, povezanih z značilnostmi optičnega daljinskega zaznavanja, so pomembne tudi omejitve povezane s samo metodo AVSS. Metoda je zelo odvisna od kakovosti izbranih končnih slikovnih elementov. V primeru, da ti ne odražajo resničnega spektralnega signala izbranega razreda pokrovnosti, so rezultati napačni. Kljub večji natančnosti modela na podlagi ročno izbranih končnih slikovnih elementov je pomembna ugotovitev, da s samodejno izbranimi končnimi slikovnimi elementi ne dobimo bistveno slabših rezultatov. Samodejni izbor poleg velikega časovnega prihranka omogoča večjo prenosljivost metode na druga območja opazovanja.

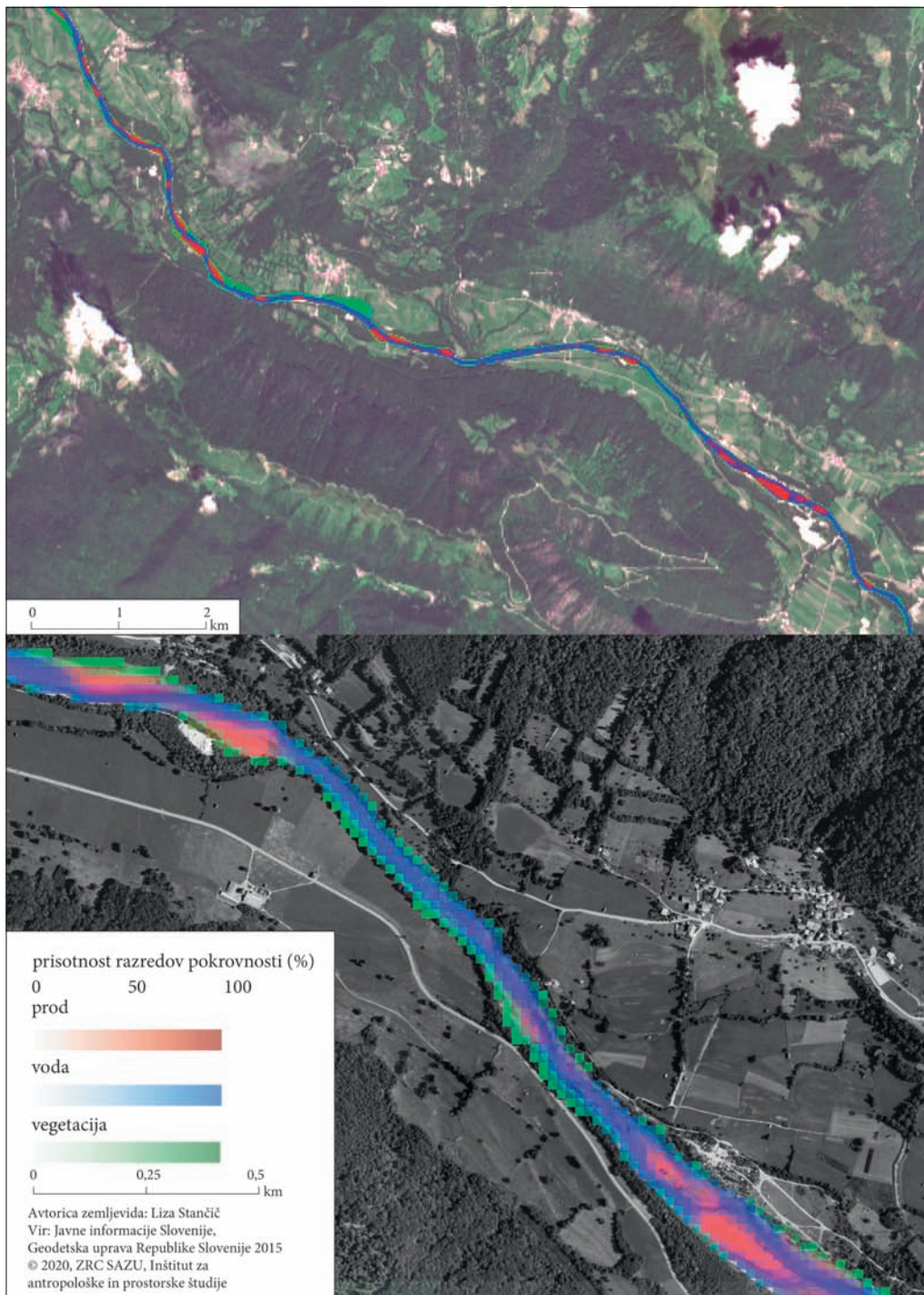
5 Sklep

Rečni ekosistemi so značilno dinamični, zato jih je smiselno spremljati z daljinskim zaznavanjem, ki omogoča gosto časovno vrsto podatkov. V prispevku je opisana metoda kartiranja pokrovnosti rečnih ekosistemov z analizo vsebnosti spektralnega signala (AVSS) na odseku Soče med Kobaridom in Tolminom. Metodo AVSS, ki sodi med tako imenovane mehke klasifikatorje, smo izbrali zaradi

Slika 5: Karta deležev izbranih razredov pokrovnosti na testnem območju na podlagi ročno izbranih končnih slikovnih elementov. ► (str. 82)

Slika 6: Karta deležev izbranih razredov pokrovnosti na testnem območju na podlagi samodejno izbranih končnih slikovnih elementov. ► (str. 83)





možnosti podajanja tematsko bolj natančnih rezultatov od trde klasifikacije. Za obravnavano območje je značilne majhne površine z notnim razredom pokrovnosti, zato so podpikselske informacije pomemben podatek. Na podlagi satelitskih posnetkov Sentinel-2 smo izdelali karte deležev prisotnosti treh izbranih razredov pokrovnosti – prod, vegetacija in površinska voda. Primerjali smo rezultate AVSS na podlagi ročno in samodejno izbranih končnih slikovnih elementov, to je slikovnih elementov z enim samim razredom pokrovnosti. Natančnost izračuna deležev smo preverjali z referenčnimi podatki ortofoto CAS, ki so bili posneti v enakem časovnem obdobju kot satelitski posnetki.

Rezultati so pokazali, da AVSS večinoma uspešno modelira odbojnost izbranih razredov pokrovnosti. Metoda je najbolj natančna za kartiranje deleža proda. Kartiranje deleža površinske vode je najbolj težavno, zlasti s samodejno izbranimi končnimi slikovnimi elementi. Na testnem območju je voda večinoma plitva, zato prihaja do presevanja rečnega dna in posledične napačne klasifikacije vode med prod. Poleg tega je veliko območij, ki se nahajajo v senci, klasificiranih kot voda. Možna izboljšava je vključitev dodatnega končnega slikovnega elementa, ki bi vseboval sence ali uporaba več različnih končnih slikovnih elementov za modeliranje vode.

ZAHVALA: Hvala prof. dr. Reinhertu Ceulemansu in prof. dr. Marku Krevsu za koristne nasvete pri pripravi osnutka prispevka. Raziskavo je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa številka P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika, temeljnega raziskovalnega projekta številka J6-9395 in usposabljanja mlade raziskovalke številka SP-0618/17.

6 Viri in literatura

- Adams, J. B., Smith, M. O., Johnson, P. E. 1986: Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 site. *Journal of Geophysical Research* 91-B8. DOI: <https://doi.org/10.1029/JB091iB08p08098>
- Allen, G. H., Pavelsky, T. M. 2018: Global extent of rivers and streams. *Science* 361-6402. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat0636>
- Amaral, C. H., Roberts, D. A., Almeida, T. I. R., Souza Filho, C. R. 2015: Mapping invasive species and spectral mixture relationships with neotropical woody formations in southeastern Brazil. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.06.009>
- Assani, A. A., Petit, F. 2004: Impact of hydroelectric power releases on the morphology and sedimentology of the bed of the Warche River (Belgium). *Earth Surface Processes and Landforms* 29-2. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1004>
- Atkinson, P. M. 2005: Sub-pixel target mapping from soft-classified, remotely sensed imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 71-7. DOI: <https://doi.org/10.14358/PERS.71.7.839>
- Buser, S., 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Tolmin in Videm (Udine). Zvezni geološki zavod. Beograd. Medmrežje: <http://biotit.geo-zs.si/ogk100/> (15. 1. 2019).
- Cavanaugh, K. C., Siegel, D. A., Reed, D. C., Dennison, P. E. 2011: Environmental controls of giant-kelp biomass in the Santa Barbara Channel, California. *Marine Ecology Progress Series* 429. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps09141>
- de Sherbinin, A., Levy, M. A., Zell, E., Weber, S., Jaiteh, M. 2014: Using satellite data to develop environmental indicators. *Environmental Research Letters* 9-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084013>
- Denac, D., Božič, L. 2012: Gnezdilke rečne struge, Monitoring učinkov vodnogospodarskih vzdrževalnih del na stanje izbranih varovanih vrst in habitatnih tipov na območju Natura 2000 Drava med Malečnikom in Duplekom. Končno poročilo, Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije. Ljubljana. Medmrežje: http://www.natura2000.gov.si/uploads/tx_library/monitoring_gnezdiik_final_2012_1.pdf (4. 1. 2019).

- Donchyts, G., Baart, F., Winsemius, H., Gorelick, N., Kwadijk, J., van de Giesen, N. 2016: Earth's surface water change over the past 30 years. *Nature Climate Change* 6-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3111>
- Du, Q. 2018: Pixel unmixing. *Comprehensive Remote Sensing*. Oxford.
- Dubovyk, O., Menz, G., Lee, A., Schellberg, J., Thonfeld, F., Khamzina, A. 2015: SPOT-based sub-field level monitoring of vegetation cover dynamics, A case of irrigated croplands. *Remote Sensing* 7-6. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70606763>
- Foody, G. M., Muslim, A. M., Atkinson, P. M. 2005: Super-resolution mapping of the waterline from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 26-24. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160500213292>
- Foški, M. 2017: Določanje parcelnih vzorcev in analiza njihovega spreminjanja v slovenskem podeželskem prostoru. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Gatti, A., Galoppo, A. 2018: Sentinel-2 products specification document. Medmrežje: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2-Products-Specification-Document> (14. 1. 2019).
- Geršič, M. 2010: Sukcesija na prodiščih reke Save. *Dela* 33. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.33.1.5-19>
- Hladnik, D. 2005: Spatial structure of disturbed landscapes in Slovenia. *Ecological Engineering* 24, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.12.004>
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., Wu, J. 2018: Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics* 56-2. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018RG000598>
- Irion, D. 2018: Estimating kelp cover from Landsat imagery. Medmrežje: <https://www.caperadd.com/news/estimating-kelp-cover-from-landsat-imagery/> (15. 9. 2019).
- Javne informacije Slovenije 2015. Digitalni ortofoto. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2015.
- Javne informacije Slovenije 2016. Digitalni model višin. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2016.
- Javne informacije Slovenije 2017. Državna pregledna karta merila 1 : 1.000.000 – vektorski podatki. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2017.
- Jogan, N., Kotarac, M., Lešnik, A. (ur.) 2004: Opredelitev območij evropsko pomembnih negozdnih habitatnih tipov s pomočjo razširjenosti značilnih rastlinskih vrst. Končno poročilo, Center za kartografijo favne in flore. Miklavž na Dravskem polju.
- Kärdi, T. 2007: Remote sensing of urban areas, Linear spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper images acquired over Tartu (Estonia). *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology, Ecology* 56-1.
- Keshava, N. 2003: A survey of spectral unmixing algorithms. *Lincoln Laboratory Journal* 14-1.
- Keshava, N., Mustard, J. F. 2002: Spectral unmixing. *IEEE Signal Processing* 19-1.
- Kiss, T., András, G. 2017: Hydro-morphological responses of the Drava river on various engineering works. *Ekonomika i Ekohistorija* 13.
- Langhans, S. D., Tockner, K. 2014: Edge effects are important in supporting beetle biodiversity in a gravel-bed river floodplain. *PLOS ONE* 9-12. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114415>
- Ling, F., Zhang, Y., Foody, G. M., Li, X., Zhang, X., Fang, S., Li, W., Du, Y. 2016: Learning-based super-resolution land cover mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2527841>
- Metodologija za zajem podatkov hidrografije in dejanske rabe – Verzija 2.0. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana, 2017. Medmrežje: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/metodologija_zajem_podatkov_vodna_zemljisca_feb2018.pdf (28. 1. 2019).
- Muslim, A. M., Foody, G. M., Atkinson, P. M. 2007: Shoreline mapping from coarse-spatial resolution remote sensing imagery of Seberang Takir, Malaysia. *Journal of Coastal Research* 236. DOI: <https://doi.org/10.2112/04-0421.1>
- Mylona, E., Daskalopoulou, V., Sykioti, O., Koutroumbas, K., Rontogiannis, A. 2018: Classification of Sentinel-2 images utilizing abundance representation. *Proceedings 2*. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05141>

- Niroumand-Jadidi, M., Vitti, A. 2017: Reconstruction of river boundaries at sub-pixel resolution, Estimation and spatial allocation of water fractions. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6120383>
- Ogrin, D., Plut, D. 2009: Aplikativna fizična geografija Slovenije. Ljubljana.
- Pehani, P., Čotar, K., Marsetič, A., Zaletelj, J., Oštir, K. 2016: Automatic geometric processing for very high resolution optical satellite data based on vector roads and orthophotos. *Remote Sensing* 8-4. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8040343>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A. S. 2016: High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540-7633. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Ploskovni podatkovni sloj hidrografije – objekti in ostalo. Direkcija Republike Slovenije za vode. Ljubljana, 2018. Medmrežje: http://www.statika.evode.gov.si/fileadmin/vodkat/DRSV_HIDRO5_OBM_OBJ.zip (15. 1. 2019).
- Prigent, C., Matthews, E., Aires, F., Rossow, W. B. 2001: Remote sensing of global wetland dynamics with multiple satellite data sets. *Geophysical Research Letters* 28-24. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001GL013263>
- QGIS Development Team 2019. QGIS Geographic Information System.
- Ranfl, I. 2010: Razvejana struga Soče v Bovški kotlini. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Richter, R., Schlapfer, D. 2019: Atmospheric/topographic correction for satellite imagery (ATCOR-2/3). User guide, Version 9.3.0. Medmrežje: https://www.rese-apps.com/pdf/atcor3_manual.pdf (8. 2. 2019).
- Robert, A. 2003: River Processes: An Introduction to Fluvial Dynamics. London, New York.
- Schug, F., Okujeni, A., Hauer, J., Hostert, P., Nielsen, J. Ø., van der Linden, S. 2018: Mapping patterns of urban development in Ouagadougou, Burkina Faso, using machine learning regression modeling with bi-seasonal Landsat time series. *Remote Sensing of Environment* 210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.022>
- Serlet, A. J. 2018: Biomorphodynamics of river bars in channelized, hydropower-regulated rivers. Doktorska disertacija, University of Trento in Queen Mary University of London. Trento, London.
- Shao, Q., Shi, Y., Xiang, Z., Shao, H., Xian, W., Peng, P., Li, C., Li, Q. 2018: Monitoring the grassland change in the Qinghai-Tibetan plateau: A case study on Aba County. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 46-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12524-017-0721-7>
- Somers, B., Asner, G. P., Tits, L., Coppin, P. 2011: Endmember variability in spectral mixture analysis: A review. *Remote Sensing of Environment* 115-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.003>
- Therien, C. 2018: PySptools documentation. Medmrežje: <https://pysptools.sourceforge.io/index.html> (21. 2. 2020).
- Veganzones, M. A., Graña, M. 2008: Endmember extraction methods: A short review. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, Proceedings of the 12th International Conference KES*. Zagreb.
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A., Tranvik, L. J. 2014: A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophysical Research Letters* 41-18. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GL060641>
- Vodno telo. Direkcija Republike Slovenije za vode. Ljubljana, 2018. Medmrežje: http://www.statika.evode.gov.si/fileadmin/vodkat/DRSV_VTVOD_VT.zip (15. 1. 2019).
- Vodno zemljišče tekočih celinskih voda. Direkcija Republike Slovenije za vode. Ljubljana, 2018. Medmrežje: http://www.statika.evode.gov.si/fileadmin/vodkat/DRSV_VZ_TEK_CV.zip (15. 1. 2019).
- Winter, M. E. 1999: N-FINDR, An algorithm for fast autonomous spectral end-member determination in hyperspectral data. *Proceedings of the SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation*. Denver. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.366289>
- Wu, C. 2004: Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. *Remote Sensing of Environment* 93-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.08.003>
- Zeng, Q., Shi, L., Wen, L., Chen, J., Duo, H., Lei, G. 2015: Gravel bars can be critical for biodiversity conservation: A case study on Scaly-sided Merganser in South China. *PLOS ONE* 10-5. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127387>

ZAZNAVANJE IN KARTIRANJE INVAZIVNIH TUJERODNIH RASTLINSKIH VRST S SATELITSKIMI POSNETKI SENTINEL-2

Ana Smerdu

Center odličnosti VESOLJE-SI

ana.smerdu@space.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3482-9891>

Urša Kanjir, dr. Žiga Kokalj

ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije

Center odličnosti VESOLJE-SI

ursa.kanjir@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1332-5624>

ziga.kokalj@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-0351>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_06

UDK: 528.8:581.96(497.4Ljubljana)

IZVLEČEK

Zaznavanje in kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst s satelitskimi posnetki Sentinel-2
Pristotnost invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst v urbanih območjih je postala stalnica po vsem svetu. Le te se lahko širijo zelo hitro in negativno vplivajo na ekosisteme, v katere vstopajo. Mestne uprave si prizadevajo, da bi se izognile pretirani prevladi takšnih rastlinskih vrst, tako da jih izkoreninjajo in nadzorujejo ali pa jih predelajo v uporabne izdelke. Za opazovanje širjenja invazivnih vrst na nekem območju, jih je treba spremljati in kartirati. V okviru projekta APPLAUSE smo razvili pristopa za zaznavanje invazivnih rastlinskih vrst s pomočjo metode podpornih vektorjev (SVM) in naključnih gozdov (RF) na satelitskih posnetkih Sentinel-2. Kot vhodne podatke uporabljamo rdeče-zelene-modre kanale, dodatno pa še normirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI) in izboljšan indeks vegetacije (EVI).

KLJUČNE BESEDE

daljinsko zaznavanje, strojno učenje, metoda podpornih vektorjev, metoda odločitvenih dreves, fenologija, japonski dresnik

ABSTRACT

Detection and mapping of invasive non-native plant species using Sentinel-2 satellite images

Presence of invasive alien plant species in urban areas has become a regularity throughout the globe. These plants can quickly spread and negatively affect the ecosystems that they enter. City administrations are making efforts to avoid the overpopulation of such invasions by eradicating and/or controlling such species, or alternatively, try to process them into useful products. To monitor the spread of species over a region, it is important to monitor and map them. In the scope of the APPLAUSE project, we have developed a One-Class support vector machine (SVM) approach and Random Forest (RF) classification to detect invasive species on Sentinel-2 satellite images. As input data, the proposed approaches use red-green-blue bands, and additionally normalized difference vegetation index (NDVI) and enhanced vegetation index (EVI).

KEY WORDS

remote sensing, machine learning, Support Vector Machine, Random Forest, phenology, Japanese knotweed

1 Uvod

Prepoznavanje, zaznavanje in kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst postaja prioriteta v urbanih območjih po vsem svetu, saj invazivne vrste izpodrivajo avtohtono rastje. To lahko negativno vpliva na obstoječe ekosisteme in počutje ljudi. Terenske izmere so še vedno najpogosteje uporabljen pristop pri zagotavljanju prostorskih informacij, čeprav so pogosto povezane z visokimi terenskimi stroški in le delnim pokrivanjem pokrajine (Crosier in Stohlgren 2004). Zahvaljujoč razpoložljivosti visoko ločljivih satelitskih podatkov se daljinsko zaznavanje vse pogosteje uporablja za preučevanje in modeliranje širjenja invazivnih rastlinskih vrst (Müllerová s sodelavci 2017). Daljinsko zaznavanje ima zato pomembno, a omejeno vlogo pri odkrivanju in kartiranju invazivnih rastlin, saj lahko s to tehnologijo hitro in celovito opazujemo velika območja. Invazivne rastlinske vrste lahko uspešno zaznavamo, dokler le te kažejo značilne posebnosti v primerjavi z okoliškimi avtohtonimi vrstami (Huang in Asner 2009). Njihovo zaznavanje pa je veliko bolj zahtevno in predstavlja veliko večji izziv v gozdovih oziroma pod krošnjami dreves. Prav tako je večje sestoje, kjer so invazivne vrste očitno dominantna vrsta in kjer je okoljska heterogenost zmanjšana, iz posnetkov lažje zaznati (Lass s sodelavci 2005) kot samostojne rastline manjšega obsega. Poleg tega se zaznava izboljša, če imajo opazovane rastlinske vrste poudarjene fenološke lastnosti, ki se razlikujejo od avtohtonega rastja (Evangelista s sodelavci 2009).

Izbira in primernost podob daljinskega zaznavanja za kartiranje rastja je določena s številnimi dejavniki. Izbrati moramo posnetke, ki zagotavljajo dovolj primerno prostorsko pokritost ciljnega območja, imajo dovolj visoko prostorsko ločljivost za opazovanje ciljnih objektov, imajo primerno spektralno ločljivost (širina pasov valovnih dolžin), ki nam dajejo vpogled v sezonskost opazovanega rastja ter nimajo visokih stroškov pridobivanja (Cuneo, Jacobson in Leishman 2009). V naši študiji uporabljamo satelitske posnetke Sentinel-2. Ker lahko do posnetkov iste lokacije na Zemlji z njimi dostopamo vsakih nekaj dni oziroma tednov, lahko območja, ki nas zanimajo, redno spremljamo. Z uporabo časovno gostih posnetkov, se lahko izognemo težavam pri zaznavanju invazivnih vrst na eni sami podobi, kjer nekaterih tujerodnih rastlinskih vrst ni mogoče prepoznati zaradi razlik v njihovem življenjskem ciklu v primerjavi z okoliškim rastjem (Müllerová s sodelavci 2017). Poleg časovne spremenljivke je pomembna tudi velikost enote, ki jo zaznavamo. En sam slikovni element (ali piksel) namreč ne nosi dovolj pomembnih informacij za natančno določitev, kje se invazivne tujerodne rastlinske vrste nahajajo. Zato moramo za relevantno analizo opazovati dovolj veliko območje sestojev invazivnih rastlin. To je tudi glavna omejitev pri zaznavanju različnih vrst invazivnih tujerodnih rastlin s satelitskih posnetkov.

Spektralni odboj posameznega tipa rastja (krošnji dreves, travnikov, kmetijskih zelenih površin in tako dalje), ki ga zaznavajo sateliti, se s časom in glede na sezono spreminja. Invazivne rastlinske vrste imajo specifičen spektralni podpis, ki je sicer zelo podoben ostali zeleni vegetaciji, saj močno absorbirajo valovanje v rdečem in modrem delu spektra, medtem ko odbijajo zeleno in bližnjo infrardečo svetlobo. Kljub temu je njihov spektralni odboj toliko drugačen, da ga lahko iz posnetka z zapletenimi algoritmi ločimo od ostalih rastlinskih vrst. Za pridobivanje informacij o razvoju rastja se navadno uporabljajo vegetacijski indeksi, ki jih izračunamo iz razmerij oziroma razlik satelitskih spektralnih kanalov in odražajo predvsem stanje klorofila v rastlinah.

Cilj te študije je določiti prostorski obseg japonskega dresnika (*Fallopia japonica*) v Mestni občini Ljubljana, čeprav so na preučevanem območju v veliki meri prisotne tudi druge invazivne vrste (na primer kanadska in orjaška zlata rozga, octovec, orjaški dežen, topinambur, veliki pajesen in tako dalje). Japonski dresnik tvori izrazite, goste sestoje in je zato primerna vrsta za zaznavanje invazivnih rastlinskih vrst s pomočjo satelitskih posnetkov, obenem pa je po mnenju Müllerove s sodelavci (2017) tudi težko prepoznavna, saj je težko ločljiva od okoliškega rastja. Obstoječi večji sestoji japonskega dresnika imajo dokaj značilen vzorec pojavljanja; na brežinah vodotokov, ob prometnicah, na gradbiščih in zapuščenih zemljiščih. Ti sestoji se na posnetku drugače prikazujejo pozimi ali poleti, saj se aktivnost klorofila v listih močno spreminja med rastno dobo. Prav tako se sestoji v istem časovnem obdobju nahajajo v različnih fazah rasti, ki je odvisna od ravni talne vode, sončne lege in tako dalje. Za lažje

zaznavanje japonskega dresnika in vključitev vseh naštetih časovnih spremenljivk, uporabljamo posnetke iz različnih časovnih obdobj. Analitiki temu pravimo, da uporabljamo podatke časovnih vrst in z njimi torej opazujemo pojavnost japonskega dresnika skozi čas. V študiji se osredotočamo na zaznavo invazivnih rastlinskih vrst s pomočjo metode strojnega učenja SVM (angleško *Support Vector Machine*) oziroma metode podpornih vektorjev. Metoda SVN je nadzorovana statistična metoda, razvita za ravnanje bodisi z binarnimi ali z večrazrednimi razvrstitvami (Vapnik 2006), v daljinskem zaznavanju pa se uporablja predvsem za klasifikacijo pikselov ali objektov v razrede. Metoda je osredotočena na razdelitev učnih primerov v razrede tako, da je ravnina med posameznimi razredi največja. Različne ocene kakovosti metode kažejo, da je algoritem sposoben opisati razrede z majhnim številom učnih vzorcev, ne da bi pri tem izgubili na natančnosti same zaznave (Bruzzone, Chi in Marconcini 2006; Zheng s sodelavci 2015). Druga metoda, ki smo jo razvili v ta namen, pa temelji na klasifikaciji RF (*Random Forest*). Ta metoda sestavi določeno število odločitvenih dreves, ki z glasovanjem razvrstijo piksele (slikovne točke) ali objekte v izbrane razrede.

Ko sestojе na posnetku enkrat zaznamo, natančnost določitev območij pojavljanja invazivnih rastlinskih vrst ocenimo z uporabo referenčnih terenskih podatkov. Satelitski posnetki in terenske meritve so med seboj sicer težko neposredno primerljivi, saj so slednji lahko zelo spremenljivi in jih pogosto opazujemo na majhnih območjih, nam pa vseeno dajejo grobo sliko razmerij med njimi. Z vidika načrtovanja ukrepov in nadzora invazivnih tujerodnih vrst, je večje število lažno zaznanih poligonov bolj zaželen problem kot pa večje število spregledanih poligonov.

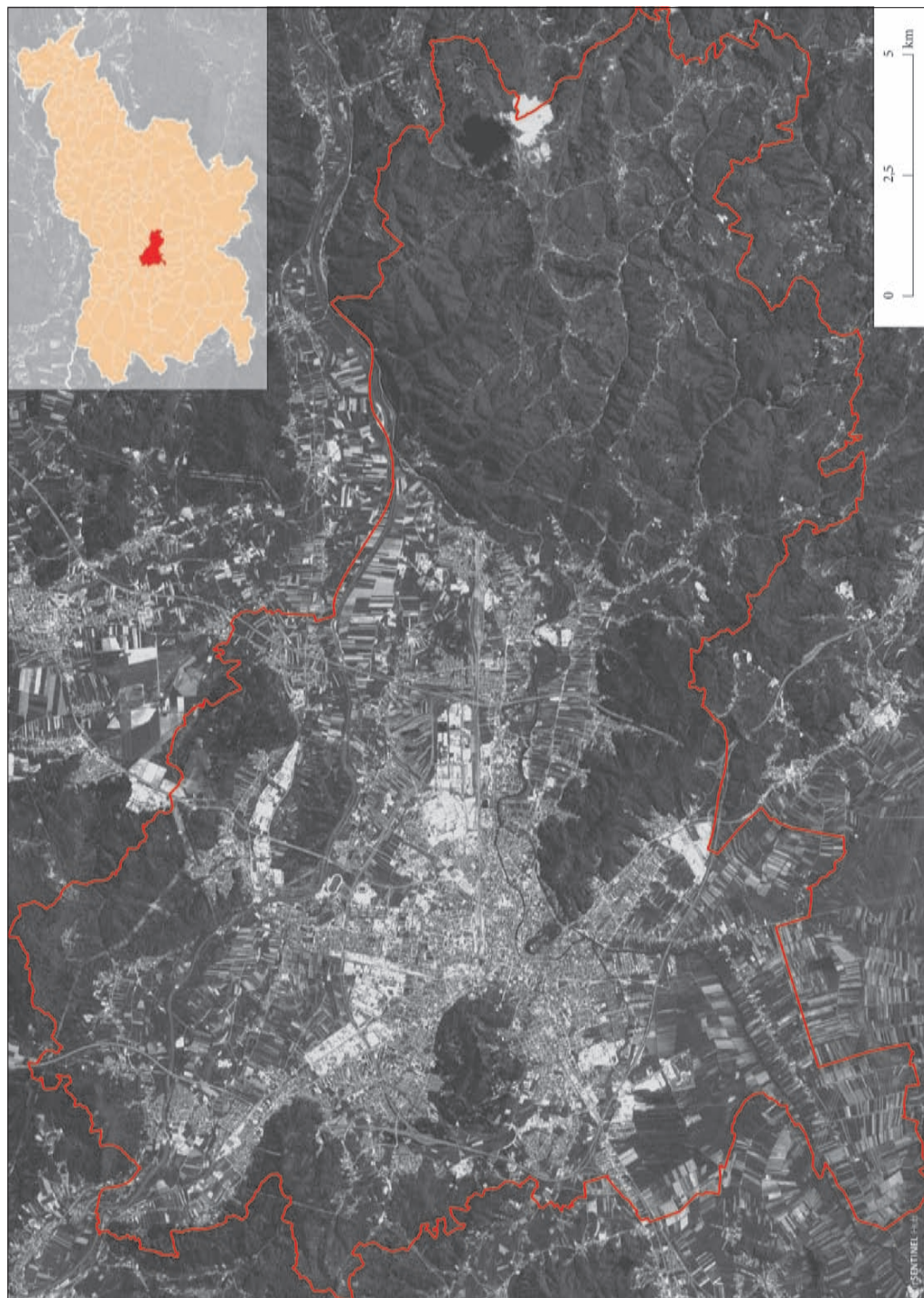
2 Metode dela in podatki

Preučevano območje je Mestna občina Ljubljana (MOL; slika 1), ki obsega 257 km² in je največja izmed enajstih mestnih občin v Sloveniji. Znotraj občine v 38 naseljih živi 292.988 prebivalcev (2019). Mestna občina Ljubljana leži v Ljubljanski kotlini, ob sotočju reke Ljubljanice in Save. V Mestni občini Ljubljana se mestne oblasti trudijo spremljati, nadzorovati in izkoreniniti invazivne rastlinske vrste. Mesto je študijski primer za reševanje izziva invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst s pomočjo inovativne prakse z aktivno udeležbo občanov v sklopu projekta *APPLAUSE (Urban Innovative Actions initiative)*, v okviru katerega je bila ta študija tudi opravljena.

Za zaznavanje invazivnih rastlinskih vrst smo uporabili prosto dostopne optične satelitske posnetke senzorja Sentinel-2. Satelit je del misije za opazovanje Zemlje evropskega programa *Copernikus*, ki ga vodi Evropska vesoljska agencija (ESA) in zajema podatke površja Zemlje ter obalnih območij v visoki prostorski in časovni ločljivosti. Na Sentinel-2 so vgrajeni optični senzorji za zajem vidne, bližnje infrardeče in kratkovalovne infrardeče svetlobe, ki zagotavljajo podatke v 13 različnih intervalih valovnih dolžin s prostorsko ločljivostjo 10 m, 20 m ali 60 m (Veljanovski, Švab Lenarčič in Oštir 2014). Širina pasu snemanja je 290 kilometrov, kar v kombinaciji s kratkim ponovnim časom obiska omogoča spremljanje hitrih, nenadnih sprememb, kot tudi rastne cikle rastlinstva.

Za zaznavanje invazivnih vrst smo iz platforme *Sentinel Hub* (Sentinel Hub 2019) pridobili posnetke (*Level-1C S-2*) iz leta 2018, na katerih je bila oblačnost manjša od 10 %. Vsi posnetki, ki nosijo 10 m prostorsko ločljivost, so bili pred analizo predhodno atmosfersko obdelani s procesno verigo *STORM* (Pehani s sodelavci 2016), katere del so med drugim samodejni atmosferski popravki, narejeni s programom *ATCOR* (Richter in Schlapfer 2016). Poleg rdečega, zelenega in modrega kanala smo pridobili še indeksa *NDVI* (normirani diferencialni vegetacijski indeks) in *EVI* (*enhanced vegetation index*). *NDVI* je kazalnik aktivnosti rastja na zemeljski površini in je relativno in posredno merilo količine

Slika 1: Mestna občina Ljubljana – preučevano območje zaznave invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst. Grafična podlaga predstavlja posnetek Sentinel-2 (SentinelHub, posnet aprila 2018), z vektorjem meje ljubljanske občine (GURS 2019). ► (str. 90)



fotosintetske biomase. Računa se ga kot razmerje med bližnje infrardečim (NIR) in rdečim (R) spektralnim kanalom, oziroma v primeru uporabe Sentinel-2 posnetka kot razmerje med osmim in četr-tim spektralnim kanalom:

$$NDVI = \frac{(\text{kanal } 8 - \text{kanal } 4)}{(\text{kanal } 8 + \text{kanal } 4)}.$$

EVI ima podobno vlogo kot NDVI in ga je mogoče uporabiti za količinsko opredelitev vegetacijske zele-nosti. Prav tako je bolj občutljiv na območjih z gostim rastjem (Matsushita s sodelavci 2007). EVI se za posnetke Sentinel-2 računa z naslednjo formulo:

$$EVI = \frac{2.5 \cdot (\text{kanal } 8 - \text{kanal } 4)}{(\text{kanal } 8 + (2.4 \cdot \text{kanal } 4) + 1)}.$$

Terenske podatke sestojev japonskega dresnika smo uporabili kot učne (in testne) vzorce za stroj-no učenje. Kot že omenjeno, mora biti velikost sestoja japonskega dresnika, najdenega na terenu, dovolj velika, da lahko na satelitskih posnetkih izvedemo analizo, zato so bili uporabljeni vsi terenski podat-ki (poligoni) s površino večjo od 100 m². Za lažje zaznavanje sestoj ne sme ležati pod krošnjami drugega rastja in mora biti kar se da homogen, torej naj se ne bi nahajal v kombinaciji z drugim rastjem. V sklo-pu projekta *APPLAUSE* biologi redno zbirajo terenske podatke invazivnih tujerodnih vrst v Mestni občini Ljubljana. Prav tako je za območje celotne Slovenije razvita aplikacija *Invazivke* (Spletni ... 2019), kjer lahko dostopamo do javnih podatkov o nahajališčih invazivnih rastlinskih vrst, med drugim tudi do nahajališč japonskega dresnika. Poleg že omenjenih virov podatkov, ki so predstavljali učne vzorce, smo pri razvoju samodejnega algoritma uporabili tudi terenske podatke, ki so jih zbrali strokovnjaki za daljin-sko zaznavanje. Ti podatki so se izkazali kot najbolj primerni za strojno učenje, saj so osredotočeni na značilnosti (velikost, obliko sestojev, razpršenost), ki odlikujejo kakovostne terenske vzorce, primer-ne za analize na satelitskih posnetkih.

Za prepoznavanje japonskega dresnika smo razvili dva postopka, ki uporabljata različni metodi stroj-nega učenja. Prvi postopek temelji na uporabi enorazredne metode podpornih vektorjev oziroma tudi imenovane klasifikacije SVM (*OneClass – Support Vector Machine*). Vhodne podatke predstavljajo polju-bno število satelitskih posnetkov z vidnim spektrom (rdeči-zeleni-modri kanali) ter indeksa NDVI in EVI, izračunana iz njihovih razmerij, dodatno pa tudi terenski podatki o nahajališčih japonskega dres-nika. Parametre, ki so potrebni za klasifikacijo SVM, smo nastavili s pomočjo iskanja po mreži, kjer pregledamo vse možne kombinacije izbranih parametrov. Ta metoda se je izkazala za primernejšo izbi-ro kot metoda, ki uporablja genetski algoritem. Kot rezultat nam postopek vrne razvrščene piksele, ki so bodisi prepoznani kot dresnik bodisi kot ostalo. Drugi postopek temelji na posplošeni metodi odlo-čitvenih dreves oziroma RF (*Random Forest*). Vhodni podatki so v primeru te metodologije identični kot v primeru SVM, razlikuje se le izbira terenskih meritev, saj moramo tukaj v nasprotju od prejšnjega postopka zagotoviti učne vzorce ne samo za japonski dresnik, temveč tudi za vzorce več različnih razred-ov rabe tal (na primer gozdovi, travniki, njive, pozidani predeli). Za slednje smo uporabili Evidenco dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (2018) Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehra-no. Rezultat pri tem so piksli, razvrščeni v razrede, za katere smo zagotovili učne vzorce. Prednost metode RF je, da lahko en sam model naučimo prepoznavati različne tujerodne invazivne rastline, medtem ko pri metodi SVM potrebujemo za vsako rastlinsko vrsto posebej naučen model za prepoznavanje dolo-čene vrste.

3 Prve izkušnje pri klasifikaciji

V prispevku želimo prikazati možnosti zaznave invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst s prosto dostop-nimi satelitskimi posnetki. Osnova za dobro prepoznavanje in pridobivanje informacij ciljnih objektov

so oblika, barva, vzorci in tekstura, ki jih lahko dobimo iz posnetka. Kot primer zaznave invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst smo podrobneje obravnavali japonski dresnik in ostale vrste iz družine dresnikov, saj so zaradi svoje pojavnosti primerna študijska vrsta za razvoj algoritmov na satelitskih posnetkih. Kljub temu pa njegova zaznava ni nedvoumna. Dresnik namreč tvori goste sestoje, ki so precej podobni okoliškemu rastju, kar je zaradi relativno nizke ločljivosti posnetkov Sentinel-2 in glede na velikost sestojev še dodatno oteženo. Ključna razlika med japonskim dresnikom in večino ostalega rastja je nekoliko poznejši začetek rastne sezone dresnika (slika 2). Na podlagi te informacije lahko ločimo dresnik od ostalega rastja na časovno gostih podatkih (Müllerová s sodelavci 2017).

Obe zgoraj opisani metodi za zaznavo invazivnih rastlin sta močno odvisni od kakovosti učnih vzorcev. Že same lastnosti satelitskih posnetkov (na primer prostorska ločljivost), nas omejujejo pri velikosti najmanjših še zaznanih sestojev (vsaj 100 m²) in njihovi obliki. Zaradi nepopolne geometrične poravnosti časovno različnih satelitskih posnetkov, ki se lahko zamaknejo tudi za 1 piksel (10 m), je nemogoče zaznavati ozke sestoje ob cestah in rekah.

Točnost rezultatov je odvisna tudi od izbire in števila vhodnih posnetkov Sentinel-2. Večje število posnetkov iz naših opazovanj ne pomeni tudi večje natančnosti, temveč je za boljšo natančnost pomembnejša ustrezna izbira datumov satelitskih posnetkov. Najboljše rezultate smo dobili s štirimi posnetki (21. januar, 11. april, 10. junij in 17. november 2018), ki so bili zajeti pred začetkom rastne sezone, med začetkom rastne sezone ostalega rastja in začetkom rastne sezone japonskega dresnika, po začetku rastne sezone dresnika in po koncu rastne sezone japonskega dresnika. Na sliki 3 so prikazani zaznani sestoji japonskega dresnika z obema predstavljenima metodama (SVM in RF). Pri vizualnem pregledu smo ugotovili, da so zaznani vsi večji sestoji, vendar v različnih deležih. Glavna razlika med rezultati obeh metod se kaže pri napačnih zaznavah, kar lahko napeljuje, da bi za izboljšavo končnih rezultatov, vzeli neke vrste prirejen presek rezultatov, ki jih posamezni metodi vrmeta za različne vhodne podatke. Z metodo SVM smo zaznali približno 90 % vseh prisotnih območij dresnika, z metodo RF pa je izdelovalčeva natančnost celotne klasifikacije med 91 % in 97 % (odvisno od vhodnih podatkov).

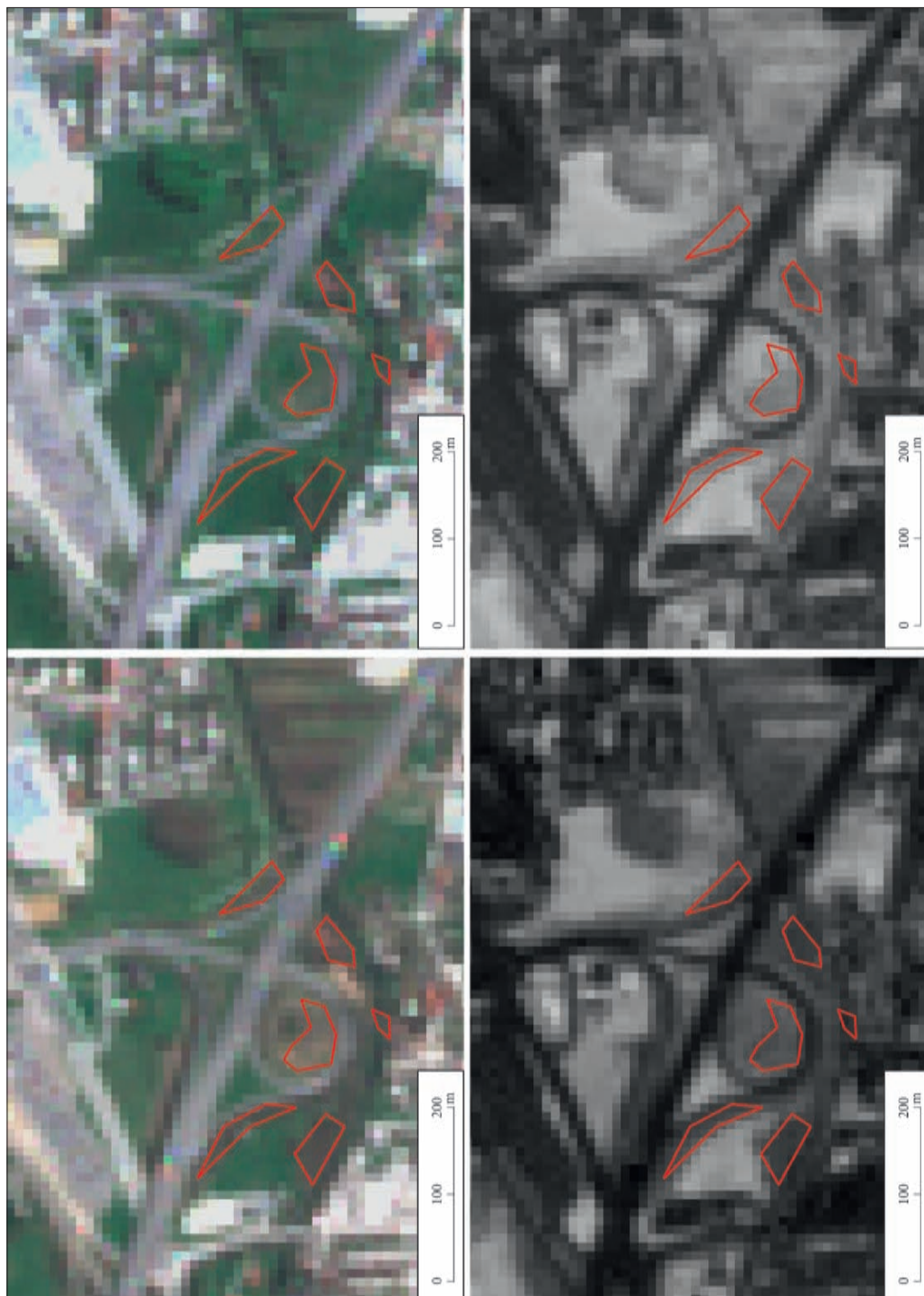
Na območju Mestne občine Ljubljana so se že izvajale podobne študije (Đurić 2011; Dorigo s sodelavci 2012), kjer so s pomočjo objektno usmerjene klasifikacije prepoznavali japonski dresnik na letalskih posnetkih (prostorska ločljivost < 1m).

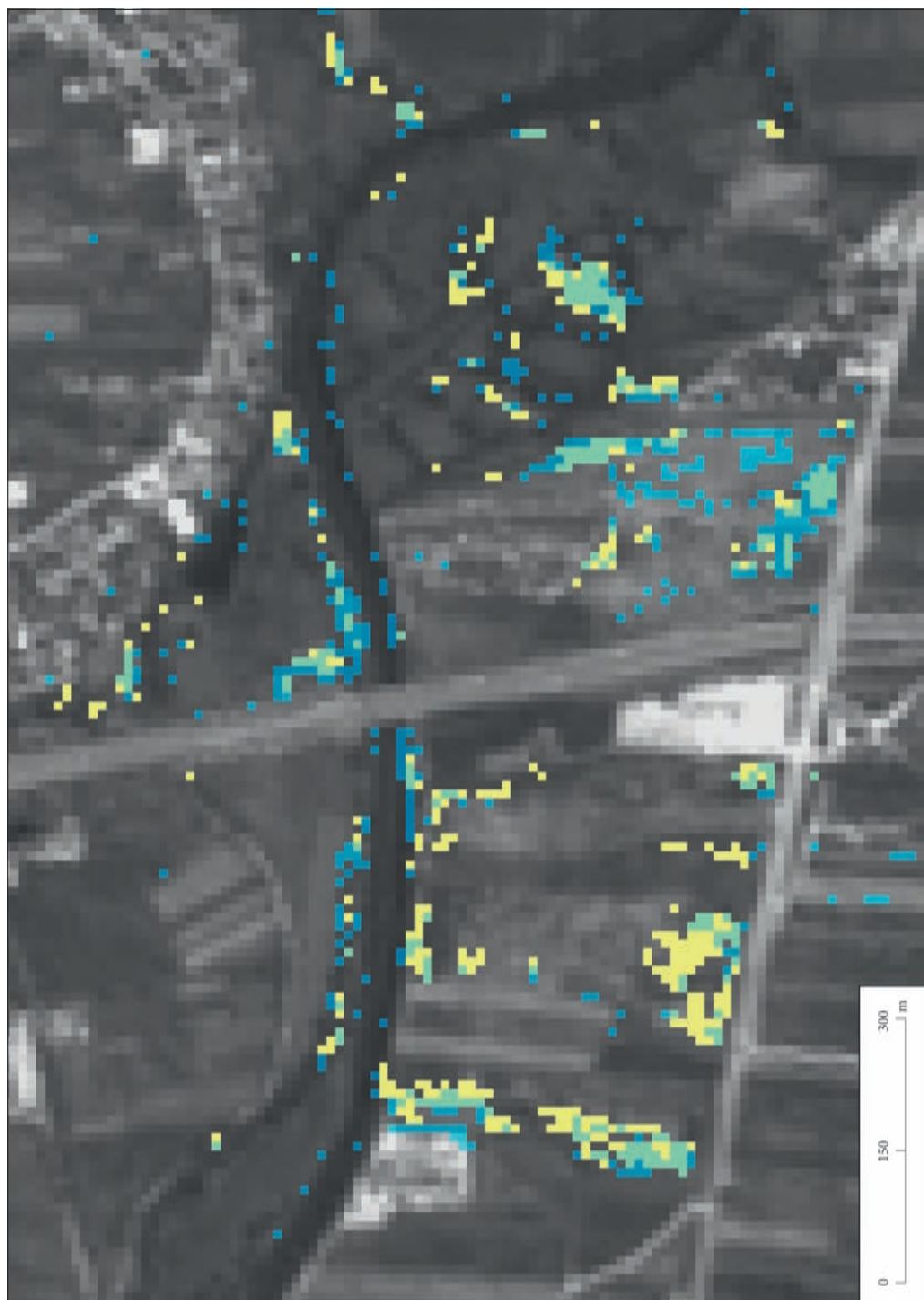
Na splošno nam lahko zemljevidi lokacij in obsega tujerodnih invazivnih rastlinskih vrst, pridobljeni iz podatkov daljinskega zaznavanja, dajo dober pregled nad prostorsko razporeditvijo invazivnih vrst, nam pomagajo razumeti njihov vpliv na okolje, omogočajo stroškovno učinkovito upravljanje ter prizadevanje za preprečevanje njihovega nadaljnega širjenja in nenazadnje večajo ozaveščenost med meščani. Predstavljeni pristop je primeren za zaznavo invazivnih vrst v zgodnjih fazah razvoja tudi na drugih, večjih urbanih območjih (občinah), kjer razpolagamo s terenskimi podatki.

ZAHVALA: Raziskavo sta sofinancirali Evropski sklad za regionalni razvoj s pobudo Urban Innovative Action (UIA) v okviru projekta APPLAUSE ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa številka P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika in temeljnega raziskovalnega projekta številka J6-9395. Informacije in stališča odražajo izključno stališča avtorjev. Pobuda UIA ne odgovarja zanje niti za njihovo uporabo. Hvala recenzentom za konstruktivne komentarje.

Slika 2: Japonski dresnik pred (levo zgoraj RGB, spodaj NDVI, posnetek 11. 4. 2018) in po (desno zgoraj RGB, spodaj NDVI, posnetek 21. 4. 2018) začetku rastne sezone. Rastna sezona ostalega rastja v okolici se je začela pred datumom levega posnetka. ►

Slika 3: Prepoznani sestoji japonskega dresnika z metodo RF (rumena barva) in SVM (modra barva). Piksli, ki so bili prepoznani z obema metodama, so prikazani v turkizni barvi. ► (str. 94)





4 Viri in literatura

- Bruzzone, L., Chi, M., Marconcini, M. 2006: A novel transductive SVM for semisupervised classification of remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44-11. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.877950>
- Crosier, C. S., Stohlgren, T. J. 2004: Improving biodiversity knowledge with dataset synergy: A case study of non-native plants in Colorado. *Weed Technology* 18-1. DOI: [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2004\)018\[1441:IBKWDS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2004)018[1441:IBKWDS]2.0.CO;2)
- Cuneo, P., Jacobson, C. R., Leishman, M. R. 2009: Landscape-scale detection and mapping of invasive African olive (*Olea Europaea* L. ssp. *cuspidata* Wall Ex G. Don Ciferri) in SW Sydney, Australia using satellite remote sensing. *Applied Vegetation Science* 12-2. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2009.01010.x>
- Dorigo, W., Lucieer, A., Podobnikar, T., Čarni, A. 2012: Mapping invasive *Fallopia japonica* by combined spectral, spatial, and temporal analysis of digital orthophotos. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.05.004>
- Đurić, N. 2011: Objektno usmerjena klasifikacija za določanje drevesnih vrst in zaznavanje japonskega dresnika. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Evangelista, P. H., Stohlgren, T. J., Morisette, J. T., Kumar, S. 2009: Mapping invasive tamarisk (*Tamarix*): A comparison of single-scene and time-series analyses of remotely sensed data. *Remote Sensing* 1-3. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs1030519>
- Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2018.
- Huang, C. Y., Asner, G. P. 2009: Applications of remote sensing to alien invasive plant studies. *Sensors* 9-6. DOI: <https://doi.org/10.3390/s90604869>
- Lass, L. W., Prather, T. S., Glenn, N. F., Weber, K. T., Mundt, J. T., Pettingill, J. 2005: A review of remote sensing of invasive weeds and example of the early detection of spotted knapweed (*Centaurea maculosa*) and babysbreath (*Gypsophila paniculata*) with a hyperspectral sensor. *Weed Science* 53-2. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-04-044R2>
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., Qiu, G. 2007: Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density cypress forest. *Sensors* 7-11. DOI: <https://doi.org/10.3390/s7112636>
- Müllerová, J., Brůna, J., Bartaloš, T., Dvořák, P., Vítková, M., Pyšek, P. 2017: Timing is important: Unmanned aircraft vs. satellite imagery in plant invasion monitoring. *Frontiers in Plant Science* 8-887. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00887>
- Pehani, P., Čotar, K., Marsetič, A., Zaletelj, J., Oštir, K. 2016: Automatic geometric processing for very high resolution optical satellite data based on vector roads and orthophotos. *Remote Sensing* 8-4. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8040343>
- Richter, R., Schlapfer, D. 2016: Atmospheric / Topographic correction for satellite imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 9.0.2). Medmrežje: https://www.dlr.de/eoc/en/Portaldata/60/Resourcen/dokumente/5_tech_mod/atcor3_manual_2012.pdf (18. 11. 2019).
- Sentinel Hub, 2019. Medmrežje: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser> (18. 11. 2019).
- Spletni portal Invazivke, 2019. Medmrežje: <https://www.invazivke.si/> (22. 11. 2019).
- Vapnik, V. 2006: Estimation of dependences based on empirical data. *Information Science and Statistics*. New York. DOI: <https://doi.org/10.1007/0-387-34239-7>
- Veljanovski, T., Švab Lenarčič, A., Oštir, K. 2014: Sateliti Sentinel – vesoljska komponenta Evropskega programa za opazovanje Zemlje Copernicus. *Geodetski vestnik* 58-3.
- Zheng, B., Myint, S. W., Thenkabail, P. S., Aggarwal, R. M. 2015: A Support Vector Machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.002>

IZDELAVA VISOKOLOČLJIVEGA SINTETIČNEGA ORTOFOTA NA OSNOVI POSNETKOV SENTINEL-2 Z UPORABO SUPER-LOČLJIVOSTNIH GENERATIVNIH NASPROTNIŠKIH MREŽ

Alen Mangafić, dr. Tomaž Žagar

Geodetski inštitut Slovenije

alen.mangafic@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7718-5969>

tomaz.zagar@gis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_07

UDK: 528.7(497.41)

IZVLEČEK

Izdelava visokoločljivega sintetičnega ortofota na osnovi posnetkov Sentinel-2 z uporabo super-ločljivostnih generativnih nasprotniških mrež

V tem prispevku predstavljamo pristop globokega učenja za izdelavo visokoločljivega 2,5-metrskega sintetičnega ortofota na osnovi posnetkov Sentinel-2. Metoda izboljšave sloni na generativnih nasprotniških mrežah – zvrsti globokega učenja, ki sloni na dveh nevronskih mrežah, generatorju in diskriminatorju. Za povečanje ločljivosti izbranih posnetkov z izvajanjem podpikselske napovedi smo uporabili super-ločljivostne generativne nasprotniške mreže (SR-GAN). Generator, ki smo ga poimenovali SRĐAN, je primeren za izboljšavo vseh posnetkov Sentinel-2 severovzhodne Slovenije brez oblakov in snežne odeje.

KLJUČNE BESEDE

Sentinel-2, ortofoto, globoko učenje, nevronske mreže, generativne nasprotniške mreže

ABSTRACT

Creation of high-resolution synthetic orthophoto based on Sentinel-2 imagery using super-resolution generative adversary networks

In this paper we present a deep learning approach to produce high resolution, 2.5 meter synthetic orthophoto from Sentinel-2 imagery. The enhancement method is based on generative adversarial networks, which are a class of deep learning systems based on two neural networks, a generator and a discriminator. We used super-resolution generative adversary networks (SR-GAN) to increase the resolution of selected imagery by executing a sub-pixel prediction. The generator, which we named SRĐAN, is suitable for enhancing all the cloud-free and snow-free Sentinel-2 images that cover north-east Slovenia.

KEY WORDS

Sentinel-2, orthophoto, deep learning, neural networks, generative adversarial networks

1 Uvod

Ciklično aerofotografiranje Slovenije (v nadaljevanju CAS) zajema približno tretjino Slovenije vsako leto. Posledično je njegova časovna ločljivost 3 leta. Najpomembnejši izdelek CAS je ortofoto, ki ima prostorsko ločljivost do 0,25 m. Veliko projektov, ki temeljijo na zajemu prostorskih podatkov, je odvisnih od ortofota CAS. Stroga merila natančnosti zajema zahtevajo projekti, ki se ukvarjajo z vzdrževanjem dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (Interpretacijski ključ 2013) ali s posodabljanjem Državnega topografskega modela (Pravilnik o ... 2014). Ortofoto CAS sicer omogoča izpolnjevanje teh pogojev, ampak je časovna ločljivost oziroma semantična točnost in vsebinska popolnost zagotovljena le za triletno obdobje. Obstaja veliko primernih alternativ ortofotu CAS, ki ponujajo tudi enodnevne časovne ločljivosti. Satelitski posnetki WorldView-2 in 3 ponujajo pankromatske posnetke z ločljivostjo med 0,31 in 0,43 m v nadirju, konstelacija Pléiades pa prav tako izjemnih 0,5 m. Največja omejitev pogošte uporabe teh posnetkov je njihova cena. Drugi vir posnetkov z visoko časovno ločljivostjo so posnetki konstelacij Sentinel-2, Terra in Landsat-7 in 8. Ti posnetki so odprti podatki (brezplačni in prosto dostopni brez omejitev avtorskih pravic). Od naštetih je Sentinel-2 tista konstelacija, ki ima najboljšo prostorsko ločljivost in na območju Slovenije ponuja izdelke vsakih 2–5 dni (ESA 2020). Sentinel-2 zajame območje osrednje Slovenije enkrat na 5 dni, v zahodnem in vzhodnem delu Slovenije pa se orbite prekrivajo, tako da v 5 dneh ti območji zajame dvakrat (Pehani 2020).

V okviru projekta Lidarsko podprte prostovoljske geografske informacije za ugotavljanje topografskih sprememb, ki ga financira ARRS (L2-1826), raziskujemo tudi uporabnost podatkov Sentinel-1 in Sentinel-2 za namen posodabljanja zbirke podatkov Državnega topografskega modela (DTM). Izvirni podatki posnetkov Sentinel-2 imajo prostorsko ločljivost do 10 metrov. Njihova fotointerpretacija in samodejna klasifikacija sta zaradi slabše absolutne položajne natančnosti in prostorske ločljivosti lahko slabši oziroma neprimerni kot dopolnilni vir za nekatere topografske objektne tipe, kot so na primer infrastrukturni objekti (MPC Team 2020). Obstoječa metodologija zajema topografskih podatkov za posodabljanje zbirke podatkov DTM sloni na uporabi kombinacije izdelkov CAS in Laserskega skeniranja Slovenije (LSS). Največji potencial podatkov Sentinel-2 v tem kontekstu je ta, da so lahko vir za nekatere kontrole in vsebinske popravke za približno dve tretjini Slovenije, ki ni posneta vsako leto, ter za preostalo tretjino območja, ki je posneta v drugem časovnem obdobju. To pomeni, da lahko z uporabo posnetkov Sentinel-2 hitro identificiramo najnovejše spremembe ter s tem prehitimo ortofoto CAS z obdobjem snemanja treh let.

Raziskavo smo razdelili na dve nalogi: prvo, ki raziskuje možnosti izboljšave ločljivosti podatkov Sentinel-2, in drugo, ki ocenjuje prostorsko in semantično natančnost le-teh. V tem prispevku predstavljamo algoritem kognitivne izboljšave posnetkov Sentinel-2, ki ne sloni na optičnem ostrenju, ampak na podpikselski napovedi z uporabo modela globokega učenja – področja strojnega učenja. Rezultat izboljšave je sintetični ortofoto 2,5-metrске ločljivosti generiran iz posnetkov Sentinel-2.

2 Metoda izdelave modela

2.1 Generativne nasprotniške mreže

Podpikselske analize kot je na primer spektralno ločevanje MESMA (Dennison in Roberts 2003) zahtevajo poznavanje končnih pikslov (angleško *endmember*). Končne piksele v terminologiji strojnega učenja lahko predstavljajo označbe mešanih vrednosti znotraj piksla, koncept izvajanja spektralnega ločevanja pa je lahko analogen nadzorovanemu strojnemu učenju. V nasprotju s spektralnim ločevanjem ima predlagani model nenadzorovano osnovo učenja (in nadzorovano posodabljanje uteži nevronske mreže) le pri svoji izgradnji, potem pa ga lahko uporabljamo hitro in brez spreminjanja na ostalih podatkih Sentinel-2. Metoda izboljšave sloni na generativnih nasprotniških mrežah (GAN), ki

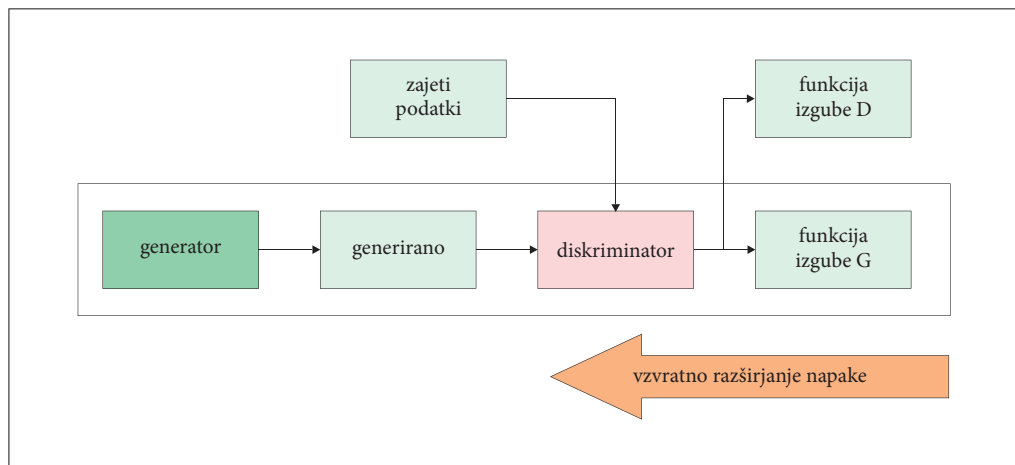
so veja globokega učenja sloneča na dveh nevronske mrežah: generatorju in diskriminatorju. Mreži iterativno tekmujeta med seboj z namenom generacije novih podatkov in diskriminacije oziroma zavračanja ali sprejemanja le-teh.

Pri učenju GAN so vhodni podatki slike, ki jih želimo generirati. Rezultat učenega klasifikatorja pa so umetno zgrajene slike, ki so čim bolj podobne vhodnim podatkom. V fazi učenja generator izdeluje slike, ki jih diskriminator oceni s primerjanjem z vhodnimi podatki. Rezultata iteracije učenja sta funkciji izgube generatorja in diskriminatorja, ki se vzvratno razširjata ter posodabljata naslednjo iteracijo učenja (slika 1). Izgradnja optimalnega modela se konča, ko generator pride do take stopnje, da generira slike, ki jih diskriminator oceni kot resnične (Goodfellow s sodelavci 2014). Poznamo različne kategorije GAN, ki se razlikujejo glede na namen. Za namene kognitivne izboljšave ločljivosti slik (iz manjše v večjo) je Ledig s sodelavci (2016) predlagal arhitekturo superločljivostnih generativnih nasprotniških mrež (SR-GAN), ki so zelo učinkovite v kombinaciji s tehnikami prenesenega učenja nevronske mrež (Ledig s sodelavci 2016; Salimans s sodelavci 2016; Nagano in Yohei 2018). Te imajo arhitekturo, ki vsebuje več milijonov naučenih konvolucijskih nevronske mrež, medsebojno povezanih z milijardami povezav kot so VGGNet, Xception, ResNet in Inception.

Model SR-GAN, ki je namenjen kognitivni izboljšavi posnetkov Sentinel-2, so izdelali na francoskem Nacionalnem inštitutu za prostorske raziskave in tehnologije okolja in kmetijstva (Cresson 2019). Referenčni podatki za izboljšavo so bili pankromatsko ostreni posnetki Spot 6 in 7, ki imajo ločljivost 1,5 m. Rezultate so sicer objavili v obliki spletnega servisa, ampak jih niso ovrednotili ali objavili izvorne kode oziroma opisali arhitekture. V nadaljevanju bomo predstavili ozadje našega generatorja za izboljšavo ortofota, ki smo ga poimenovali SRĐAN.

2.2 SRĐAN: podatki, arhitektura in izgradnja generatorja

Naše študijsko območje obsega severovzhodno Slovenijo. To območje smo izbrali, ker je bilo na njem v letu 2016 izvajano CAS in ker se na tem območju križata dva različna pasova Sentinel-2, kar pomeni večjo gostoto snemanja. Za to območje se je CAS ponovno izvajal leta 2019. Tako smo lahko preverili uporabnost modela tudi za podatke po snemanju leta 2016. Raznolikost pasov Sentinel-2 je pomembna, ker smo želeli izdelati čim bolj univerzalen generator, ki ni tako občutljiv na radiometrične in fenološke razlike. SRĐAN je generator za izboljšavo podatkov Sentinel-2, ki je zgrajen na osnovi

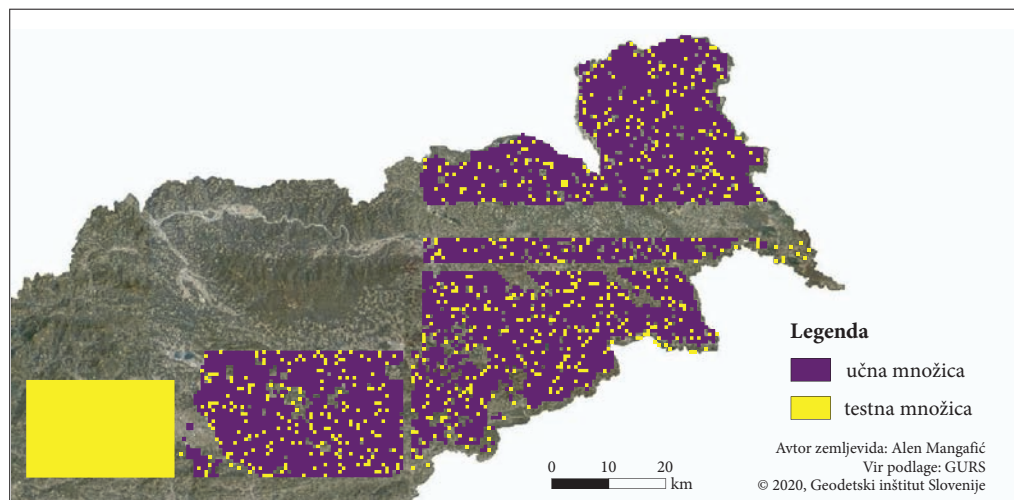


Slika 1: Dinamika učenja generativnih nasprotniških mrež.

6073 parov ortofoto – Sentinel-2 (slika 2). Predobdelava vhodnih podatkov obsega pridobivanje podatkov Sentinel-2, ki so časovno najbližji datumu snemanja CAS. Datumi snemanja izbranega ortofoto vzorca so bili 16. 4., 21. 4. in 22. 5. 2016. Izbrani podatki Sentinel-2 pa so zajeti 13. 4., 26. 4. in 23. 5. 2016.

Sestavili smo pare skladnih podatkov, tako da smo izločili vse podatke Sentinel-2, ki imajo oblake, sence oblakov, radiometrične napake ali pa zaradi časovne razlike nastanka posnetka niso vsebinsko skladni (na primer vegetacija na njivah na posnetku Sentinel-2, ki je ni na ortofotu ali obratno). Vsebinsko skladnost smo preverili s fotointerpretacijo. Pred tem smo podatke Sentinel-2 radiometrično obdelali ter jih dodatno georeferenciali. Georeferenciranje je pomembno za generativne nasprotniške mreže, saj so sestavljene iz blokov konvolucijskih nevronske mreže, ki so občutljive na rotacije, premike in razlike merila (Goodfellow, Bengio in Courville 2016). Arhitekturo modela (slika 3) smo prevzeli iz SR-GAN arhitekture, ki jo predlagajo Ledig s sodelavci (2016) in Ahirwar (2019). Uporabljena arhitektura definira funkcijo izgube kot evklidsko razdaljo med vhodnimi podobami in podobami pridobljenimi iz konvolucijskih mreže, ki so izvedene s prenosom znanja iz mreže VGG19 (Simonyan in Zisserman 2015). Izračun uteži modela se začne tako, da generator izdelava raster z naključnimi vrednostmi, ki ga diskriminator oceni s funkcijo izgube nato pa se uteži iterativno izboljšujejo.

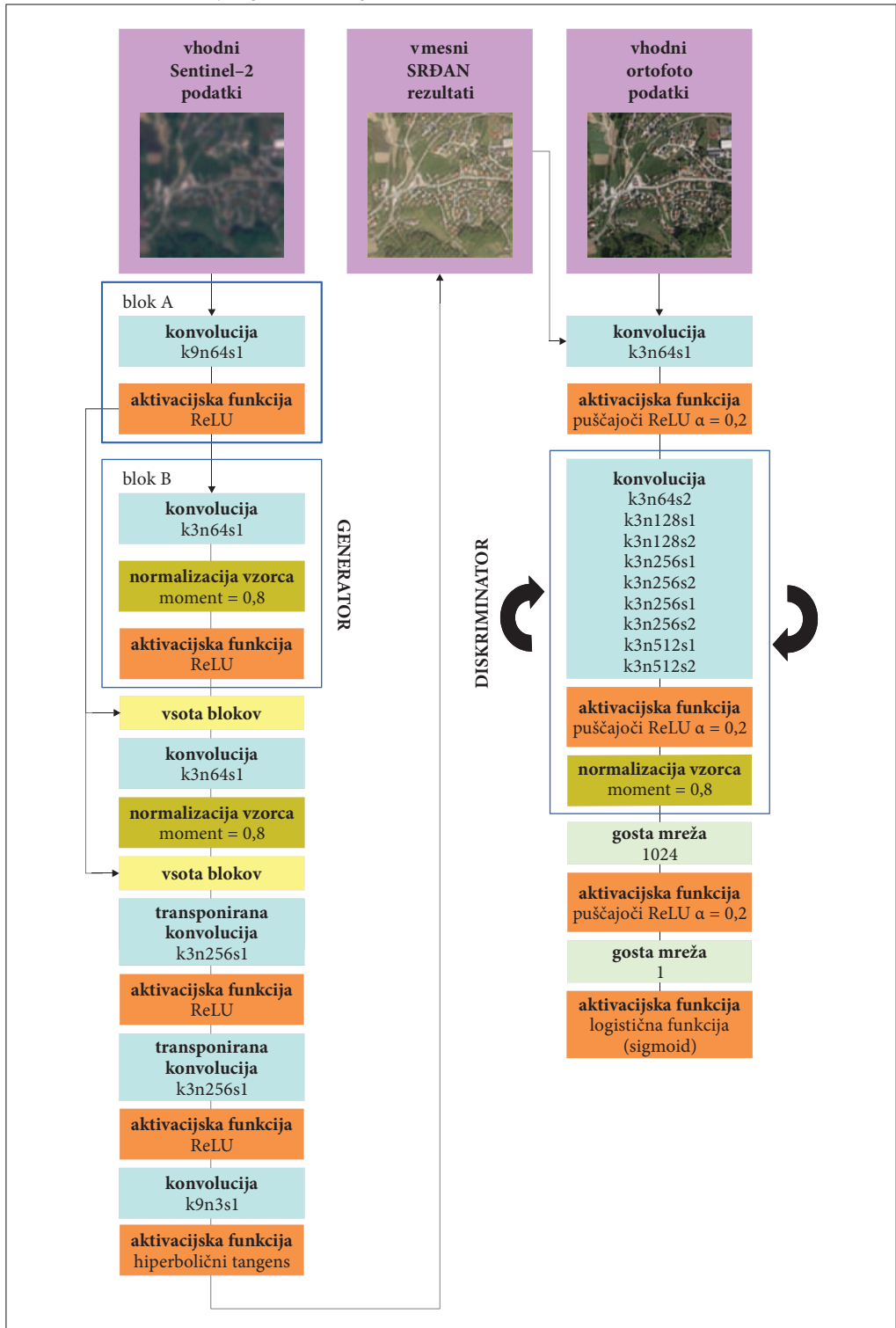
Ko je model zgrajen, lahko izdelamo sintetično ortofoto sliko samo s pomočjo izračunanih uteži modela in posnetka Sentinel-2. Slika 3 prikazuje (hiper)parametre konvolucij, aktivacijskih funkcij (ReLU, puščajoči ReLU, hiperbolični tangens in sigmoid), normalizacije in goščenja. Parameter konvolucije k določa velikost konvolucijskega filtra, ki se izvaja na sliki velikosti $n \times n$, medtem ko s določa korak premikanja konvolucijskega filtra. Uporaba aktivacijskih funkcij zmanjšuje možnost dogodka »izgina ali eksplozije« gradienta (angleško *vanishing, exploding gradient*), vendar pa ne zagotavlja, da se znotraj nevronske mreže v fazi učenja ne pojavijo uteži z zasičenimi vrednostmi (0 ali 1). Za rešitev tega problema lahko uporabimo tehniko paketne normalizacije pred ali po aktivaciji posameznega skritega sloja (Géron 2019). Moment je hiperparameter, ki se uporablja za eksponentna premikajoča povprečja. Dodelili smo mu vrednost 0,8, ker je ta v literaturi empirično določena kot boljša za generacijo novih slik z GAN (Purkait 2019). Uporaba aktivacijske funkcije puščajočega ReLU pripomore tudi k temu, da nevroni ne obtičijo v iteracijah (tako imenovani mrtvi nevron). Hiperparameter α puščajočega ReLU določa naklon



Slika 2: Študijsko območje.

Slika 3: Arhitektura generatorja in diskriminatorja. ►

Izdelava visokoločljivega sintetičnega ortofota na osnovi posnetkov Sentinel-2 z uporabo ...



(gradient) »puščanja« za vse uteži manjše od 0 (Géron 2019). Preizkusili smo pet različic modela, katerih parametri so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Preizkušeni modeli.

parametri	SRĐAN 1	SRĐAN 2	SRĐAN 3	SRĐAN 4	SRĐAN 5
velikost podvzorca na iteracijo	1	8	10	14	3
število iteracij	30.000	50.000	50.000	100.000	10.000
naključna izbira podvzorca	DA	DA	DA	DA	DA
zrcaljenje 50 % naključnih slik	NE	NE	NE	DA	DA

3 Rezultati

Skladnost rezultatov z izvornimi posnetki Sentinel-2 smo ocenili z indeksom strukturne skladnosti (SSIM; Wang s sodelavci 2004) na testni množici 6073 rastrov (preglednica 2).

Od vseh preizkušenih generatorjev se je najbolj izkazal model SRĐAN 5. Glede na to, da generator preslika en piksel posnetka Sentinel-2 v 16 pikselov sintetičnega ortofota in s tem za štirikrat izboljša prostorsko ločljivost, je srednja vrednost (aritmetična sredina) SSIM 0,62 odlična. SSIM ortofota in izvornega posnetka Sentinel-2 je slabši od vrednosti modela SRĐAN 5, kar je pričakovano, saj rezultati modela SRĐAN 5 izhajajo iz posnetka Sentinel-2 in ne iz ortofota. Cilj spreminjanja parametrov modela je bil dobiti SSIM vrednosti podobne ali višje od SSIM vrednosti ortofota. Pri modelu SRĐAN 5 sta najmanjša tudi standardni odklon in koeficient variacije, kar pomeni, da so vrednosti rezultatov modela SRĐAN 5 najbližje srednji vrednosti. Najvišja minimalna vrednost SSIM kaže, da je njegov najslabši rezultat boljši od ostalih najslabših. Na sliki 4 so prikazani vhodni podatki, rezultat (sintetični ortofoto) in ortofoto, ki ima funkcijo semantične kontrole rezultatov.

Zaradi procesa dekonvolucije (transponirane konvolucije) lahko na rezultatih opazimo močno izraženo teksturo v obliki šahovnice, ki so jo opisali Odena, Dumoulin in Olah (2016).

4 Sklep

SRĐAN je primeren za izboljšavo vseh posnetkov Sentinel-2 severovzhodne Slovenije brez oblakov in snežne odeje posnetih v obdobju snemanja CAS. Izboljšana ni le prostorska ločljivost, temveč tudi barve in tekstura. Rezultati so se izkazali kot izjemno primerni za fotointerpretacijo nekaterih topografskih

Preglednica 2: Statistika indeksov strukturne skladnosti

SSIM	SRĐAN 1	SRĐAN 2	SRĐAN 3	SRĐAN 4	SRĐAN 5	ortofoto
srednja vrednost (aritmetična sredina)	0,59	0,42	0,49	0,28	0,62	0,51
standardni odklon	0,09	0,11	0,10	0,10	0,07	0,08
koeficient variacije	0,15	0,26	0,19	0,37	0,12	0,16
maksimalna vrednost	0,90	0,87	0,90	0,74	0,84	0,96
minimalna vrednost	0,32	0,19	0,26	0,11	0,33	0,13



Slika 4: Primeri vhodnega podatka, rezultata in kontrolnega ortofota.

objektnih tipov, kot so ceste in pozidani objekti. Teksturna izboljšava odlično diskriminira drevesa, grmičevja in trave, kar je osnova za fotointerpretacijo tako gozdov kot ožjih mejic. V nadaljevanju bomo nadgradili SRĐAN model z dodatno generativno nasprotniško mrežo kot na primer CycleGAN (Zhu s sodelavci 2017) ter tako poskusili izločiti efekt šahovnice. Novi SRĐAN bo zgrajen na podlagi ortofoto posnetkov od junija 2016 naprej. Generirali bomo sintetične ortofote velikosti DTK5 sekcij ter zanje izvedli kontrolo kakovosti v skladu s standardi za preverjanje kakovosti izdelkov CAS (Oven, Tršan in Bric 2019).

Glede na spodbudne rezultate predstavljenega modela, smo mnenja, da je ob ustreznem upoštevanju sprememb v okolju aplikativni potencial sintetičnih ortofotov velik in lahko podkrepi tako posodabljanje različnih prostorskih evidenc v skoraj realnem času (za posnetke Sentinel-2 na 2 do 5 dni) kot tudi odločitvene procese terenskih služb, ki se ukvarjajo s kontrolo okolja.

ZAHVALA: Raziskava je bila opravljena v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta L2-1826, ki ga sofinancirajo Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenija in Ministrstvo za obrambo.

5 Viri in literatura

- Ahirwar, K. 2019: Using SRGANs to generate photo-realistic images. Medmrežje: <https://github.com/PacktPublishing/Generative-Adversarial-Networks-Projects/tree/master/Chapter05> (4. 2. 2020).
- Cresson, R. 2019: Enhancement of Sentinel-2 images at 1.5m. IRSTEA. Medmrežje: <https://mdl4eo.irstea.fr/2019/03/29/enhancement-of-sentinel-2-images-at-1-5m/> (4. 2. 2020).
- Dennison, P. E., Roberts, D. A. 2003: Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using endmember average RSME. *Remote Sensing of Environment* 87, 2-3. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00135-4)
- ESA, 2020. User guides, Sentinel-2 MSI, Revisit and coverage, Sentinel online. Medmrežje: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/revisit-coverage> (20. 4. 2020).
- Géron, A. 2019: *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. Sebastopol.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. 2016: *Deep learning*. Cambridge, Massachusetts, London.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., Bengio, Y. 2014: Generative adversarial networks. arXiv:1406.2661 [cs.LG].
- Interpretacijski ključ, 2013. Podroben opis metodologije zajema dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Direktorat za kmetijstvo, Služba za register kmetijskih gospodarstev, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.
- Ledig, C., Lucas, T., Ferenc, H., Jose, C., Andrew, C., Alejandro, A., Andrew, A., Alykhan, T., Johannes, T., Zehan, W., Wenzhe, S. 2016: Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network. arXiv 1609.04802 [Cs, Stat].
- MPC Team, 2020. Sentinel-2 L1C data quality report issue 47. ESA. Medmrežje: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_L1C_Data_Quality_Report (3. 2. 2020).
- Nagano, Y., Yohei, K. 2018: SRGAN for super-resolving low-resolution food images. *Proceedings of the Joint Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities and Multimedia Assisted Dietary Management, CEA/MADiMa '18*, Stockholm. DOI: <https://doi.org/10.1145/3230519.3230587>
- Odena, A., Dumoulin, V., Olah, C. 2016: Deconvolution and checkerboard artifacts. *Distill*. DOI: <https://doi.org/10.23915/distill.00003>
- Oven, K., Tršan, S., Bric, V. 2019: Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2017-19«. Zbirno poročilo celotnega cikla in dopolnitev tehnične dokumentacije za nov razpis CAS 2020-22, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Pehani, P. 2020. Osebni vir, 5. 3. 2020.

- Pravilnik o katalogu topografskih podatkov in topografskem ključu. Uradni list Republike Slovenije 54/2014. Ljubljana.
- Purkait, N. 2019: Hands-on Neural Networks with Keras: Design and Create Neural Networks Using Deep Learning and Artificial Intelligence Principles. Birmingham.
- Salimans, T., Goodfellow, I., Zaremba, W., Cheung, V., Radford, A., Chen, X. 2016: Improved Techniques for Training GANs. arXiv 1606.03498 [cs.LG].
- Simonyan, K., Zisserman, A. 2015: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv 1409.1556 [cs.CV].
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., Simoncelli, E. P. 2004: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE Transactions on Image Processing 13-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>
- Zhu, J.-Y., Park, T., Isola, P., Efros, A. A. 2018: Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. arXiv:1703.10593 [cs]

OPAZOVANJE POBOČNIH PROCESOV Z BREZPILOTNIM LETALNIKOM NA PRIMERU PLAZOV V SLOVENSКИH GORICAH

dr. Rok Ciglič, dr. Mateja Ferk

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

rok.ciglič@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3517-3780>

mateja.ferk@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0145-7590>

Gábor Nagy

University of Pécs, Faculty of Sciences, Institute of Geography and Earth Sciences

gnagy@gamma.ttk.pte.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1755-9719>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_08

UDK: 911.2:551.435.62(497.41)

528.8:551.435.62(497.41)

IZVLEČEK

Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah

V prispevku predstavljamo prve rezultate analize manjšega plazovitega območja z dvema plazovoma v Slovenskih goricah s pomočjo brezpilotnega letalnika. Namen prispevka je analizirati pobočne procese ter določiti obseg in osnovne značilnosti plazov na območju. Avgusta 2019 in januarja 2020 smo na območju izvedli snemanje plazov z letalnikom, nato pa smo z obdelavo posnetkov pripravili digitalni model površja in izpeljane podatkovne sloje, kot so naklon, senčen relief, delež vidnega neba in ortorektificiran posnetek. Z interpretacijo omenjenih slojev smo določili obseg plazov ob zadnjem snemanju (januar 2020), s primerjavo višin površja ob obeh snemanjih pa smo za obdobje zadnjih 6 mesecev zaznali tudi nekaj manjših sprememb na površju.

KLJUČNE BESEDE

geografija, geomorfologija, plazovi, erozija, geografski informacijski sistemi, daljinsko zaznavanje, brezpilotni letalnik, Šentilj v Slovenskih goricah

ABSTRACT

Observation of slope processes using an unmanned aerial vehicle at the landslide sites in Slovenske Gorice Hills

The paper reports preliminary results of measurements with an UAV of an area with two landslides in the Slovenske Gorice Hills. The main aim of the chapter is to analyse the slope processes in order to determine the extent and main characteristics of the landslide area. The measurements of the landslides with an UAV were carried out in August 2019 and January 2020. Based on the aerial images digital surface models and additional digital data layers were created, i.e. slope inclination, hill-shade and sky view factor maps, and orthophotos. The current extent and characteristics of the landslides were determined based on the measurements in January 2020. The comparison of both measurements enabled us to identify minor landmass movements in the period of 6 months.

KEY WORDS

geography, geomorphology, landslides, erosion, geographic information systems, remote sensing, unmanned aerial vehicle, Šentilj v Slovenskih goricah

1 Uvod

Zemeljsko površje se nenehno prilagaja razmeram in spremembam okoljskih dejavnikov. Opazovanje pobočnih procesov, na primer plazov (Komac in Zorn 2007; Zorn in Komac 2008), zahteva beleženje dogodkov v preteklosti (Bevan s sodelavci 2017; Cignetti s sodelavci 2019; Józsa s sodelavci 2019) ter kontinuirano oceno obsega nestabilnih pobočij, oceno premikanja, značilnosti oblikovanosti površja in njegovega preoblikovanja, na primer zaznavo razpok. Ustrežno raziskovanje pobočnih procesov, kot so na primer plazovi, lahko pripomore k učinkovitemu ukrepanju v času, ko pride do neželenega pojava, ter opozori na najbolj prizadeta območja (Cignetti s sodelavci 2019).

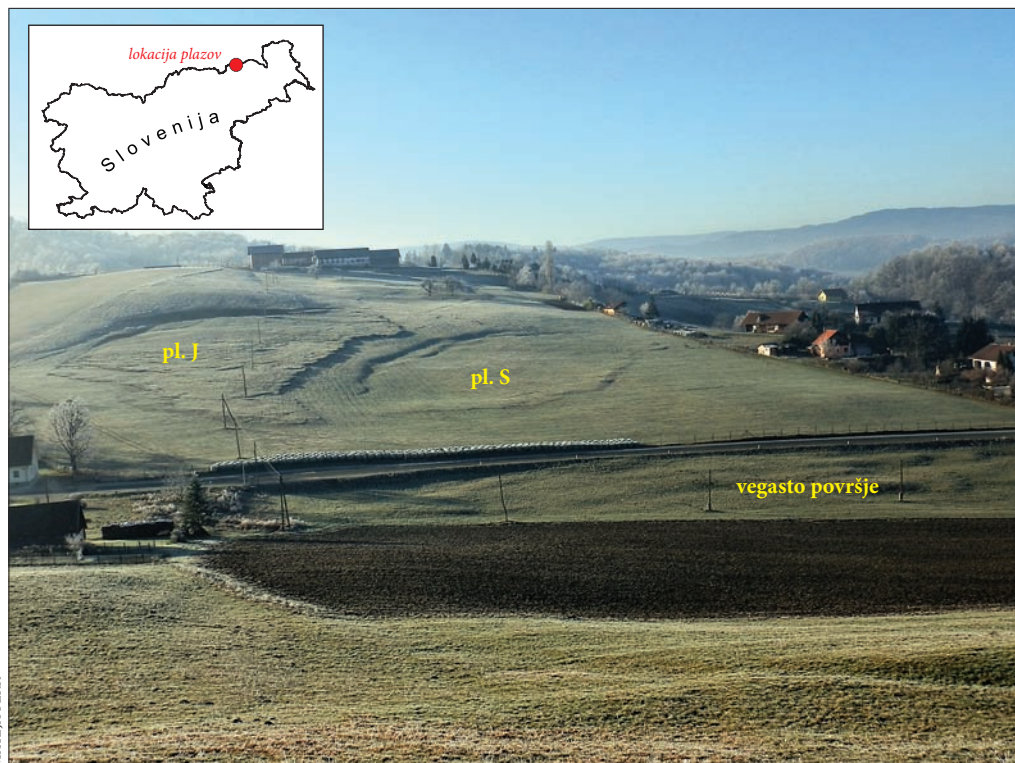
Vede, ki preučujejo okolje, za modeliranje pokrajine uporabljajo daljinsko zaznavanje ter postopke, kot sta metodi grajenja strukture iz gibanja (angleško *Structure-from-Motion* – SfM) in stereo z več pogledi (angleško *Multi-View Stereo* – MVS), s katerima računalniško obdelajo posnetke pokrajine z raznih terestičnih ali zračnih vozil, na primer brezpilotnih letalnikov (Meinen in Robinson 2020). S pomočjo teh tehnik lahko pripravimo oblak točk in analiziramo aktivne plazove z zmernim finančnim vložkom (Carrivick in Smith 2019; Cignetti s sodelavci 2019). Podatki, pridobljeni s pomočjo letalnika na neporaslem območju, kot je na primer kamnolom, so v primerjavi z laserskim skeniranjem primerljive kakovosti (Beretta s sodelavci 2018). Prednost letalnikov so hitra priprava na let, visoka ločljivost fotografij in uporabnost na težje dosegljivih terenih (Rossi s sodelavci 2018). Letalniki so posebej primerni, ko potrebujemo produkte, na primer model površja, v ločljivosti nekaj decimetrov ali centimetrov (Cignetti s sodelavci 2019). Letalniki so manj primerni pri zajemanju podatkov na obsežnem območju (Giordan s sodelavci 2015 navaja velikost območij do 0,5 km²), saj imajo krajši čas letenja zaradi omejitev baterije, letalnik pa mora biti znotraj dovoljene oddaljenosti od operaterja. Pri letalnikih, ki so opremljeni s fotoaparatom, moramo upoštevati, da rastje zastira relief, zato v primerih bujnega rastja pogosto ne moremo pridobiti kakovostnih podatkov o samem reliefu.

Objavljenih je več primerov opazovanja plazov oziroma erozije (Stumpf s sodelavci 2013; Lucieer s sodelavci 2014; Peterman 2015; Dugonjić Jovančević s sodelavci 2016; Fernández s sodelavci 2016; Bevan s sodelavci 2017; Gupta in Shukla 2017; Peternel s sodelavci 2017; Rossi s sodelavci 2018; Cignetti s sodelavci 2019) ter tudi drugih pokrajinskih elementov, na primer vodnih teles (Carrivick in Smith 2019) in rastja (Fawcett s sodelavci 2019). Pregled nad uporabo daljinsko vodenih zračnih plovil na področju naravnih nesreč je pripravil Giordan s sodelavci (2018), širši razvoj in zgodovino uporabe letalnikov pri daljinskem zaznavanju pa Colomina in Molina (2014). Casagrande, Sik in Szabó (2018) so predstavili še dodatne možnosti uporabe letalnikov v geografiji. Nekatere od omenjenih študij so na podlagi posnetkov analizirale trenutno stanje in opravile vizualno interpretacijo obsega in reliefnih značilnosti plazov (na primer Bevan s sodelavci 2017; Gupta in Shukla 2017), nekatere pa so tudi opravile več snemanj in tako zabeležile premike s pregledom ortofoto posnetkov (na primer Lucieer s sodelavci 2014). Pogosto opazovanja kontrolirajo s tahimetričnimi meritvami pritrjenih oznak, uporabo računskega določanja premikov in/ali korelacijo posnetkov (Lucieer s sodelavci 2014; Peterman 2015; Fernández s sodelavci 2016; Peternel s sodelavci 2017).

V prispevku predstavljamo prve rezultate zajema zračnih posnetkov z brezpilotnim letalnikom na manjšem območju Slovenskih goric, s katerimi smo v okviru projekta *Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije* analizirali pobočne procese ter z njimi povezani erozijo in odtokanje vode. V sorodnih raziskavah je bilo opozorjeno na velik vpliv erozije in plazov na pokrajino ter pomen preventivnega zadrževanja vode v povirnih delih. Celotna pokrajina je namreč zelo dovzetna za pojavljanje plazov in hitro odtokanje vode (Pipan in Kokalj 2017; Deriaz s sodelavci 2019; Ferk s sodelavci 2020). Namen prispevka je preveriti uporabnost zajema podatkov z letalnikom pri opazovanju pobočnih procesov ter določiti obseg in osnovne značilnosti plazanja, kjer so v preteklosti že zaznali očitne premike gradiva na pobočju.

2 Raziskovalno območje

Slovenske gorice so gričevnata pokrajina med rekama Dravo in Muro na severovzhodu Slovenije ter predstavljajo del zahodnega roba Panonske kotline (Perko 1998). Najvišji vrhovi gričevja segajo do nadmorske višine okoli 400 m. Kamninska podlaga so miocenske sedimentne kamnine (Kert 1959; Žnidarčič in Mioč 1987; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009), zlasti lapor, ki se menjava z glinavci, peščenjaki in konglomerati; ponekod se pojavlja litotamnijski apnenec. V dolinskih dneh so nasipane kvartarne rečne naplavine, ki oblikujejo široke naplavne ravnice. Zaradi slabe odpornosti kamnin na preperevanje so erozija in pobočni procesi intenzivni. Po izračunih Hrvatina s sodelavci (2019), ki so uporabili enačbo po Pintarju, Mikošu in Verbovšku (1986), se na območju Slovenskih goric letno v povprečju na vsakem km² sprosti 1032 m³ sedimenta oziroma 16,5 t/ha. Padavin je glede na slovenske razmere malo; v tej celinski regiji (Ogrin 1996) je po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje v obdobju 1981–2010 padlo okoli 980 mm padavin na leto, povprečna temperatura za januar in julij pa sta bili –1,1 °C oziroma 20,1 °C. Vodni odtok skozi leto variira, najvišji je med močnimi nalivi in taljenjem snega (Kert 1998), v času manjše količine padavin in večje evapotranspiracije pa manjši vodotoki tudi presahnejo (Kolbezen 1998). Hudourniške poplave so značilne med močnimi nalivi poleti in jeseni (Trobec 2016). V obdobju 1961–2016 se je količina padavin v jesenskih in zimskih mesecih rahlo povečevala, število dni s snegom pa zmanjšalo (Žiberna 2017); to ob manjši evapotranspiraciji pomeni večjo nevarnost za poplave (Ferk s sodelavci 2020) in zmanjšano stabilnost pobočij oziroma pospeševanje pobočnih procesov.



Slika 1: Stanje plazovitega pobočja jugovzhodno od Šentilja decembra 2012 (južni plaz – pl. J, severni plaz – pl. S). Stojišče fotografiranja je severovzhodno od pobočja.

Panonska gričevja, tudi Slovenske gorice, imajo delež gozda pod slovenskim povprečjem. Gozd obsega približno tretjino površja, nekaj odstotkov pa je površin v zaraščanju (Kert 1998; Ciglič in Nagy 2019). Velik del je namenjen kmetijstvu. Nekateri vinogradi na najbolj strmih pobočjih se zaraščajo (Deriaz s sodelavci 2019), kar zmanjšuje erozijo, ponekod pa lastniki ne vzdržujejo ali celo opuščajo terasirane vinograde in jih spreminjajo v vertikalne, kar erozijo povečuje (Pipan in Kokalj 2017).

Slaba odpornost kamnin na preperevanje (Hrvatini s sodelavci 2019), neugodna raba tal (Kert 1998; Pipan in Kokalj 2017; Ciglič in Nagy 2019; Deriaz s sodelavci 2019), pojav intenzivnih kratkotrajnih padavin (Kert 1998; Trobec 2016) ter spreminjanje podnebnih razmer (Žiberna 2017) so dejavniki, ki pospešujejo odtokanje vode, erozijo in s tem tudi bolj aktivne pobočne procese (na primer plazove).

V raziskavi smo opravili analizo pobočnih procesov v severozahodnem delu Slovenskih goric, kjer smo izbrali nestabilno pobočje z dvema plazovoma (slika 1; južni plaz – pl. J in severni plaz – pl. S). Območje se uporablja kot pašnik in je poraslo s travo, kar je za opazovanje z letalnikom, ki je opremljen s fotografskim aparatom, pomembno, saj za razliko od tehnologije laserskega skeniranja takšen zajem podatkov (fotografiranje) ne more prodreti skozi rastje do tal. Opazovano pobočje je približno kilometer jugovzhodno od naselja Šentilj. Ima severno ekspozicijo in se razteza na nadmorskih višinah med 310 in 360 m. Povprečen naklon pobočja je približno 8°.

V 20. stoletju je bilo preučevano pobočje zasajeno s sadnim drevjem. Sadje so v sokove, žgane pijače in kis predelovali v Šentilju (Jelenko 2009; Oset, Berberih Slana in Lazarevič 2010). Po propadu sadno-predelovalne industrije v 90. letih 20. stoletja sta se prodaja in odzem sadnih pridelkov drastično zmanjšala, zato so bili sadovnjaki večinoma posekani. Tudi na preučevanem pobočju, ki je v lasti Kmetijsko gozdarskega zavoda Maribor, je bil med leti 2004 in 2005 posekan sadovnjak. Na pobočju so nameravali sprva urediti njivo, a se je po odstranitvi sadnega drevja sprožil zemeljski plaz, zato je pobočje primerno le za pašniško rabo. Nestabilno in plazovito pa bi naj bilo pobočje že v času, ko je tam še rasel sadovnjak, na kar so kazali zamiki v vrstah sadnega drevja, ki so bile ponekod zamaknjene za okoli 4 m (Bratkovič 2020).

Plazova smo analizirali med 20. 8. 2019 in 31. 1. 2020. V tem obdobju so na postaji Agencije Republike Slovenije za okolje na Šentilju zabeležili 352 mm padavin, ob tem so zabeležili 14 dni s prek 10 mm padavin, od tega štirikrat celo prek 20 mm. Vsaj en mm padavin je padlo še 24 krat (medmrežje 1).

3 Metode

3.1 Analiza plazanja in primerjava stanj

V prvi fazi smo na letalskih posnetkih, pripravljenih digitalnih modelih višin laserskega skeniranja (slika 2) in fotografijah iz lastnega arhiva (slika 1) določili osnovne geomorfološke in morfometrične značilnosti plazovitega pobočja.

Na podlagi snemanja z brezpilotnim letalnikom smo za podrobnejše geomorfološke analize ter ugotavljanje hitrosti pobočnih procesov izdelali lastne digitalne modele površja (glej poglavje 3.2) in vizualno določili obseg zemeljskega plazu (podoben pristop so uporabili Fernández s sodelavci 2016 ter Cignetti s sodelavci 2019). Z nadaljnjo analizo smo izmerili morfometrične značilnosti plazovitega dela pobočja. V ta namen smo iz nadmorske višine izračunali ukrivljenosti površja (vzdolžno, prečno, skupno), naklon ter izvedli analitično senčenje površja. S pomočjo programa RVT (Zakšek, Oštir in Kokalj 2011; Kokalj in Somrak 2019) smo pripravili tudi prikaz površja z izračunom deleža vidnega neba. Oba posnetka smo med seboj primerjali tudi tako, da smo izračunali razliko med višino površja leta 2020 in višino leta 2019. Za posnetek iz leta 2020 smo preizkusili tudi določitev smeri površinskega vodnega toka, pri tem pa smo uporabili standarden postopek, ki vsebuje pripravo ustreznega digitalnega modela površja ali reliefa ter določanje smeri in akumulacije toka (Zhou, Wei in Fu 2019). Uporabili smo *ArcGIS Desktop*, in sicer orodji za določitev smeri toka (angleško *flow direction*) in akumulacijo toka (angleško *flow accumulation*). Pred tem izračunom smo zapolnili vse depresije, ki so bile manjše kot ocenjena natančnost modela.

3.2 Priprava podatkov fotografiranja z brezpilotnim letalnikom

Terenski zajem podatkov smo opravili 20. 8. 2019 ter 31. 1. 2020. Pri vsakem snemalnem dogodku smo opravili fotografiranje s pomočjo brezpilotnega letalnika, *DJI Phantom 4 Pro*, s katerim smo na izbranem plazovitem pobočju (celotno območje, ki smo ga posneli je veliko približno 7 ha) posneli več sto fotografij. Posnetki so bili opravljeni s kamero, ki je del standardnega modela letalnika (FC6310; 8,8 mm), pod kotom 90° (preglednica 1). Giordan s sodelavci (2015) je predlagal, da se pri blagih naklonih pobočja (do 40°) uporablja navpične posnetke. Za izboljšanje natančnosti umestitve posnetkov v prostor je treba na območju snemanja postaviti oslonilne točke (angleško *ground control points*) in jim odmeriti natančno lokacijo (Cignetti s sodelavci 2019). Po celotnem območju smo zato ob vsakem snemanju razmestili oslonilne in kontrolne točke ter določili njihovo lokacijo s sprejemnikom GNSS Leica Zeno 20 in anteno AS10. Omenjena oprema s povezavo RTK (angleško *real-time kinematic*) nam je omogočila beleženje lokacij točk na terenu z natančnostjo 1 cm.

Zbrane posnetke smo nato obdelali v programu *Metashape Professional*, po postopku, ki so ga opravili tudi v drugih raziskavah (Bevan s sodelavci 2017). Najprej smo posnetke neustrezne kakovosti izločili. Opravili smo tudi kalibracijo kamere s pomočjo črno-bele šahovnice ter izmerjene vrednosti upoštevali pri obdelavi posnetkov. Posnetke smo postavili v prostor ter določili ključne točke oziroma izdelali surov oblak točk (angleško *sparse cloud*). Nato smo vnesli koordinate (x, y, z) izmerjenih oslonilnih in kontrolnih točk ter nato vsako točko na vsakem posameznem posnetku, na kateri je vidna oslonilna ali kontrolna točka, poravnali na središče izmerjenih koordinat. Tako poravnani posnetki in surov oblak točk se uporabijo pri metodi stereo z več pogledi za pripravo gostega oblaka točk (angleško *dense cloud*) in nadalje digitalnega modela površja (DMP) in ortorektificiranega posnetka oziroma ortofota (Peternel s sodelavci 2017; Cignetti s sodelavci 2019). Izraz digitalni model površja uporabljamo, ker nismo izločili sloja trave na območju, zato ne moremo sloja označiti kot digitalni model reliefa. Beleženje točk na terenu in končni produkti so bili pripravljene v koordinatnem sistemu D96.

Preglednica 1: Podatki snemanj z brezpilotnim letalnikom.

datum snemanja	20. 8. 2019	31. 1. 2020
tip letalnika	DJI Phantom 4 Pro	DJI Phantom 4 Pro
število fotografij	487	251
ocenjena višina leta	116 m	109 m
ločljivost	2,9 cm/piksl	2,76 cm/piksl
število fotografij na posamezno celico	> 9	> 9
število oslonilnih točk (ocenjena napaka)	10 (10,12 cm)	10 (4,28 cm)
število kontrolnih točk (ocenjena napaka)	2 (6,27 cm)	2 (6,51 cm)

4 Rezultati in razprava

4.1 Analiza geomorfoloških značilnosti zemeljskih plazov

Iz podatkov laserskega skeniranja leta 2014 (slika 2c) in ortofota iz obdobja 2009–2011 (slika 2b) je razvidno, da na pobočju obstajata dve izrazitejši območji plazenja, hkrati pa je vegasto površje opazno tudi severno od plazov in severno od ceste. Nestabilno, vegasto površje je opazno tudi že na letalskih posnetkih iz leta 2006 (slika 2a), še preden je prišlo do sprožitve zemeljskega plazov. To potrjuje opažanja domačinov, da je bilo pobočje podvrženo polzenju tal že v času, ko ga je še preraščal sadovnjak

(Bratkovič 2020). Nekdanje visokostebelno sadno drevje so v 2. polovici 20. stoletja nadomestili z nizko stebelnimi drevesi in na njih pridelovali sadje za sadno industrijo Slovenskih goric (Oset s sodelavci 2010; Bratkovič 2020). Vendar imajo nizko stebelna sadna drevesa plitvejšo korenine, ki so manj učinkovite za črpanje vode iz tal in stabilizacijo zemljine kot višja drevesa. Po raziskavi Sidleja in Terryja (1992) se zaradi odstranjenih dreves in propadajočih korenin stabilnost pobočij močno spremeni po 2 do 12 letih, kar se povsem ujema s procesi na opazovanem pobočju. Po odstranitvi sadovnjaka v letih 2004 in 2005, so se pobočni procesi še pospešili in prerasli v zemeljski plaz. Leta 2008, 3 leta po odstranitvi sadnega drevja, sta se na pobočju sprožila dva plazova, ki ju je najemnik zemljišča poskušal sanirati. Plazini so strojno prekopali in izravnali ter vstavili drenažne cevi 7 m globoko pod glavo južnejšega plazu (Bratkovič 2020). Sanacija ni bila uspešna, saj je bila usmerjena v zgolj manjši del plazov. Že v naslednjem letu je najemnik opazil nove premike zemljine. Južnejši plaz (slika 2; pl. J) je višje na pobočju, globlji in obsežnejši (okoli 12.000 m²). Severnejši plaz (slika 2; pl. S) je manj izrazit in manj obsežen (okoli 7500 m²). Vizualna analiza geomorfoloških značilnosti plazov po fotografijah iz leta 2012 (slika 1) kaže, da gre v obeh primerih za translacijski tip zemeljskega plazov (Varnes 1978). Zdrsnilo je zgornjih nekaj metrov preperine v enem kosu, ki predvidoma drsita vzporedno s pobočjem po neprepustni lapornati podlagi (Žnidarčič in Mioč 1987; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009) z minimalnim krožnim gibanjem.

Zajem posnetkov plazov z letalnikom in njihova pretvorba v DMP je omogočila nadaljnje podrobnejše geomorfološke in morfometrične analize. S pomočjo vizualizacije – prikazom senčenege površja in izračunanih podatkovnih slojev, predvsem ukrivljenosti, naklona in deleža vidnega neba – smo lahko natančno zamejili območji plazov. Ob zadnjem snemanju (januarja 2020) je južnejši plaz meril 12.354 m², severnejši pa 7493 m². Na prikazu senčenega površja in naklonov je na obeh zemeljskih plazovih možno ločiti med različnimi deli plazov ter identificirati značilne pojave na plazinah samih (sliki 3 in 4). Večji, južnejši plaz je kompleksnejši z bolj razgibano površino plazine (slika 4). Zgornji odlomni rob plazov je dolg 136 m in visok 3 m, širina zdrsne ploskve pa v najvišjem delu plazov meri 9 m. Telo plazine je dolgo do 150 m. Zlasti v spodnji polovici plazov se pojavljajo številne prečne razpoke, kotanje, grude in narivne gube. Manjši, severnejši plaz je enostavnejši zdrs preperine, ki je ostala v enem kosu (slika 4). Zgornji odlomni rob plazov je dolg 180 m in visok 1,6 m. Širina zdrsne ploskve ob čelu plazov zelo variira in je največ do 4 m široka. Telo plazine je dolgo do 75 m. Na površini plazov se pojavlja le nekaj prečnih razpok, kotanj in grud, le ob peti narivanja je oblikovana izrazitejša narivna guba.

Pridobljene podatkovne sloje smo za zadnje stanje uporabili tudi na primeru uporabe bolj naprednih geoinformacijskih analiz, s katerimi smo ocenili pot oziroma stekanje površinske vode (slika 5). Princip akumuliranja vodnega toka na podlagi seštevanja je preprost način simulacije stekanja vode v naravi, a je lahko uporaben za oceno erozije oziroma služi kot vhodni podatek za modeliranje erozije in hidroloških procesov (Meijerink, van Lieshout in Rahnama Mobareke 1996; Zhou, Wei in Fu 2019). Daljše linije stekanja in zato tudi močnejšo erozijo je mogoče pričakovati ob jugovzhodnem robu vsakega od obeh plazov. Sicer pa je stekanje na plazov dokaj enakomerno porazdeljeno brez vidnega večjega stekanja vodnih poti in oblikovanja erozijskih jarkov.

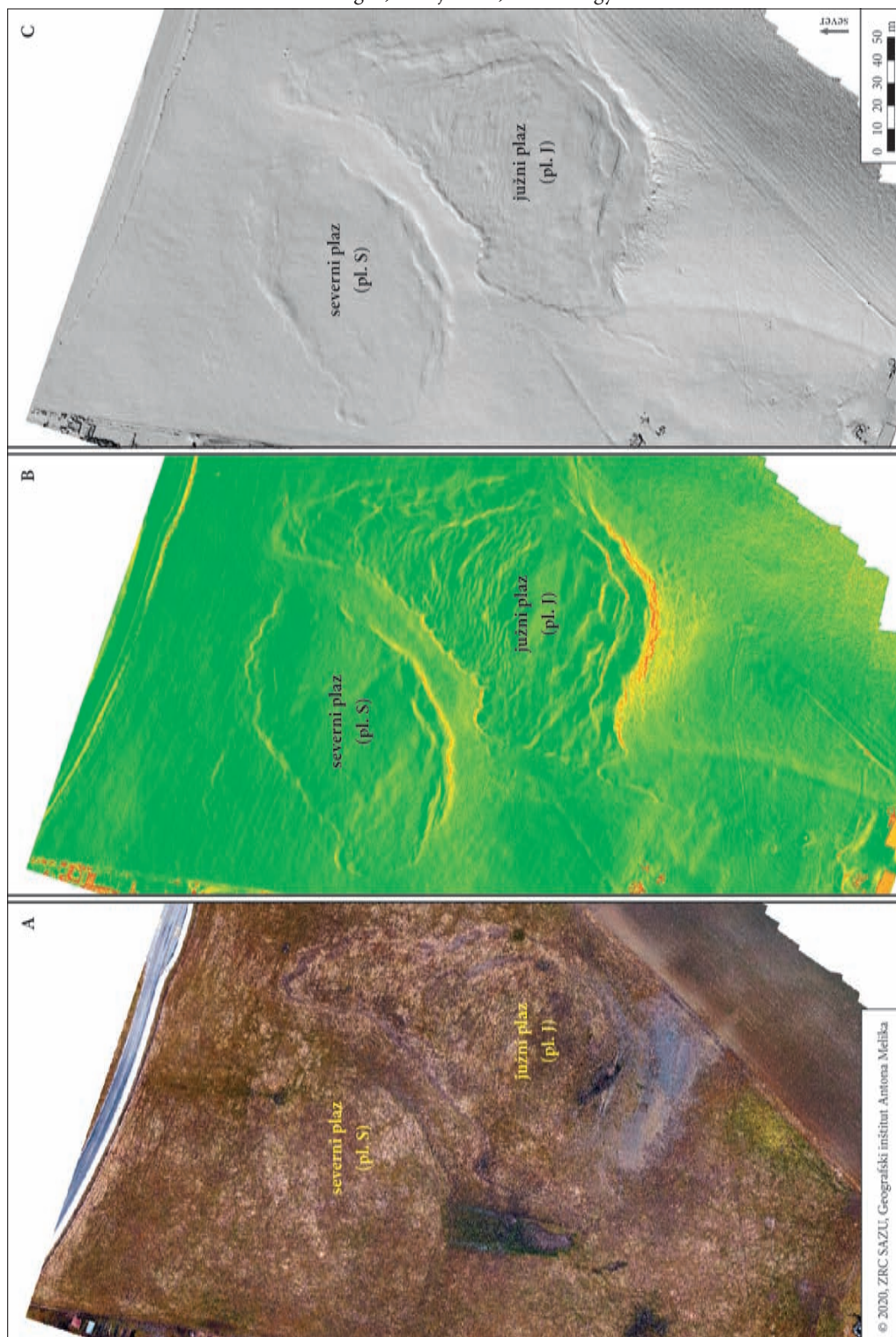
Slika 2: Prikazi preučevanega pobočja v preteklosti (južni plaz – pl. J, severni plaz – pl. S): a) pobočje pred sprožitvijo plazov (ortofoto iz snemanja v letu 2006), b) pobočje po sprožitvi plazov (ortofoto iz snemanja v letih 2009–2011), c) senčen relief (lasersko skeniranje iz leta 2014). ►

Slika 3: Prikazi plazov na dan 31. 1. 2020 (južni plaz – pl. J, severni plaz – pl. S): a) ortofoto, b) zemljevid naklonov v stopinjah, legenda je prikazana na sliki 5, c) senčeno površje. ► (str. 114)

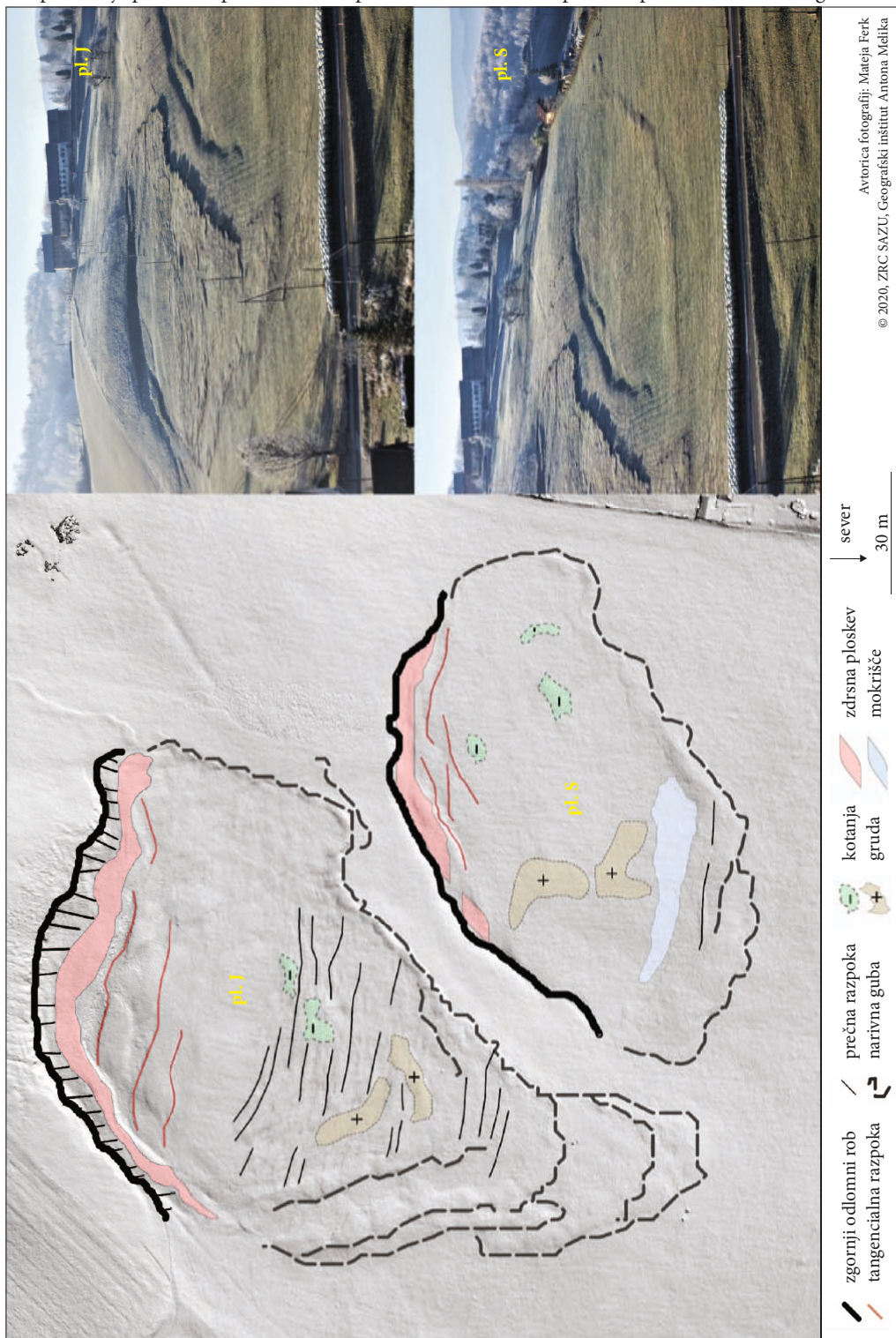
Slika 4: Geomorfološka karta na temelju podatkov leta 2020 ter fotografiji plazov iz leta 2019 in 2020. Karta je obrnjena za 180° zaradi primerjave plazov na fotografijah. ► (str. 115)

Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah

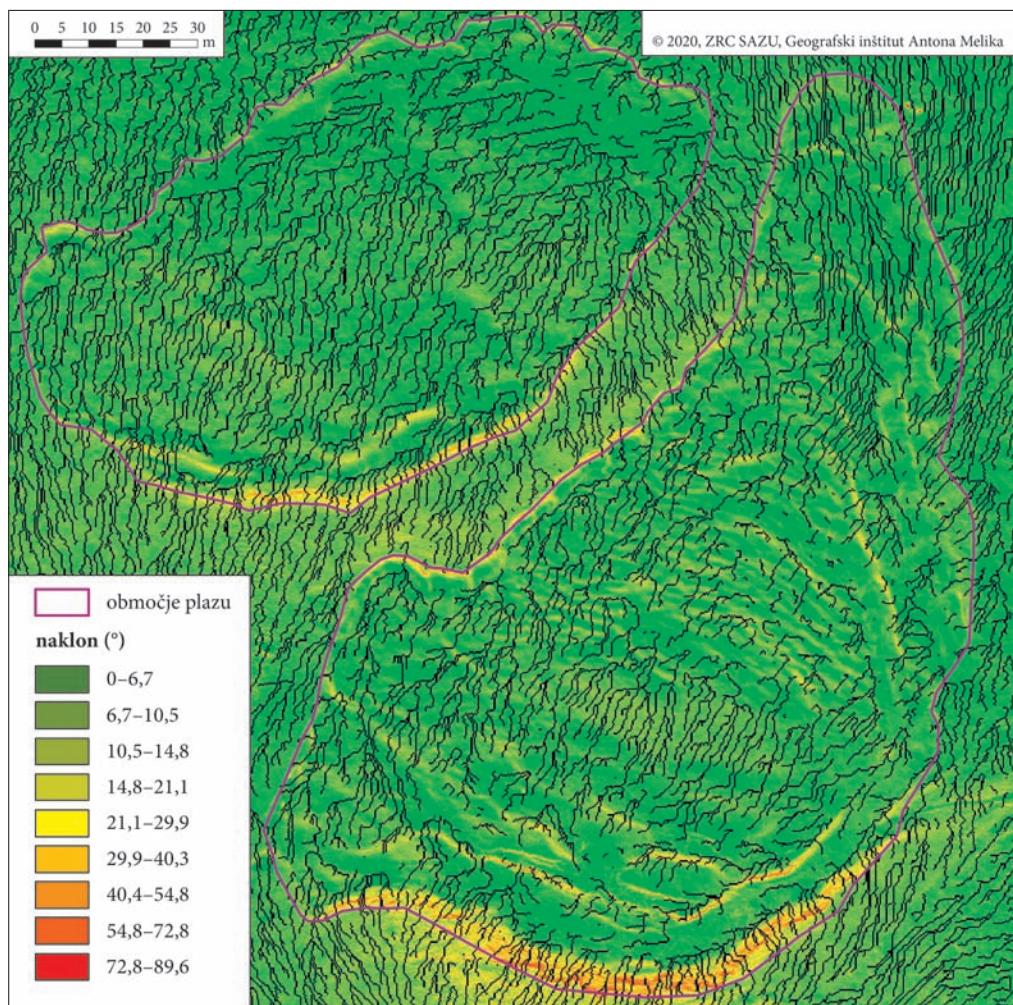




Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah



Avtorica fotografij: Mateja Ferik
© 2020, ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

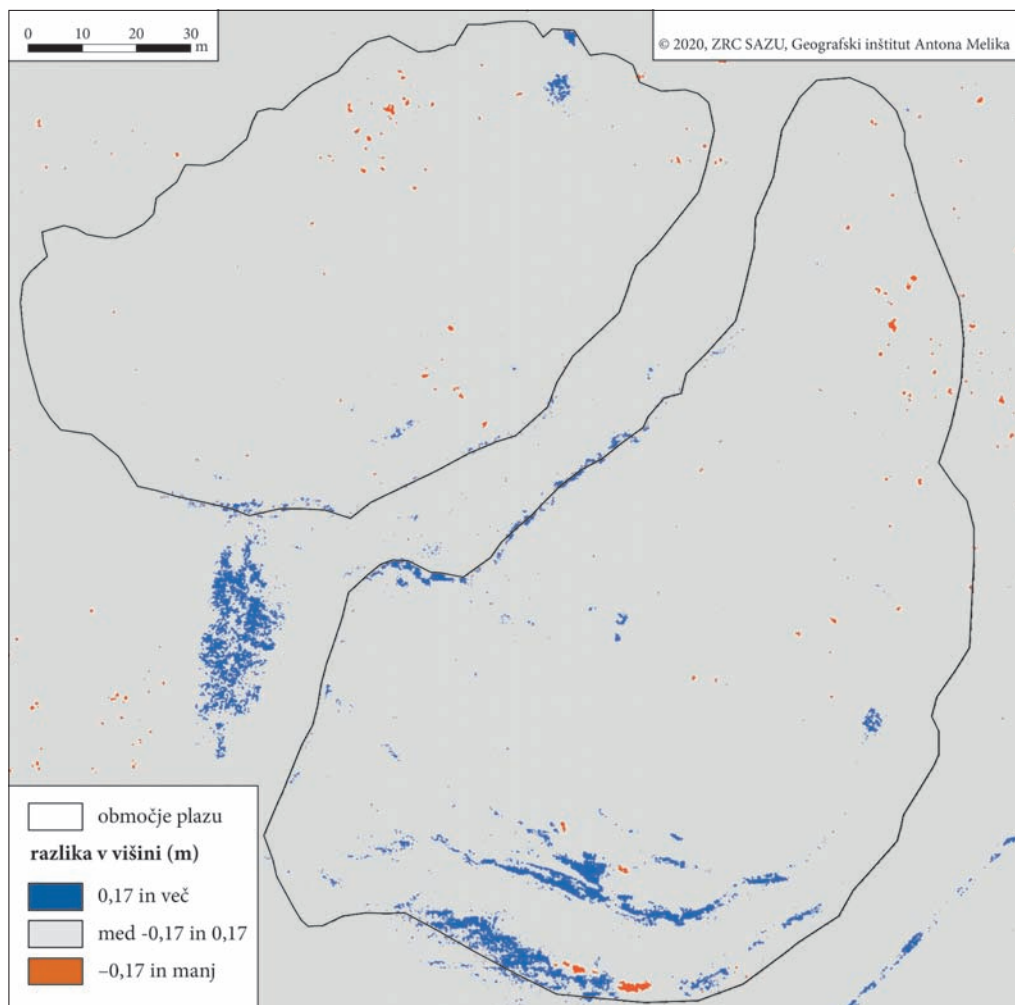


Slika 5: Prikaz ocene stekanja vode na območju plazov za posnetek dne 31. 1. 2020. Linije stekanja vode so določene na podlagi največjih vrednosti akumulacije vodnega toka. V podlagi je prikazan naklon površja.

4.2 Analiza sprememb površja med avgustom 2019 in januarjem 2020

Glede na primerjavo dveh časovnih situacij (avgust 2019 in januar 2020) je bilo ugotovljeno, da je plaz aktiven, saj smo zabeležili manjša odstopanja v višinah, ki presegajo mejo napake modelov, razlike pa so bile opazne tudi pri primerjavi ortofoto posnetkov, naklona in senčenega površja. Ugotovili smo, da je šlo v izbranem časovnem obdobju pri opazovanem pobočju z vidika merilnih zmožnosti za zelo majhne premike, večinoma največ nekaj decimetrov. Zato smo prikazali le največja odstopanja (slika 6), ki presegajo seštevek napak obeh modelov (preglednica 1).

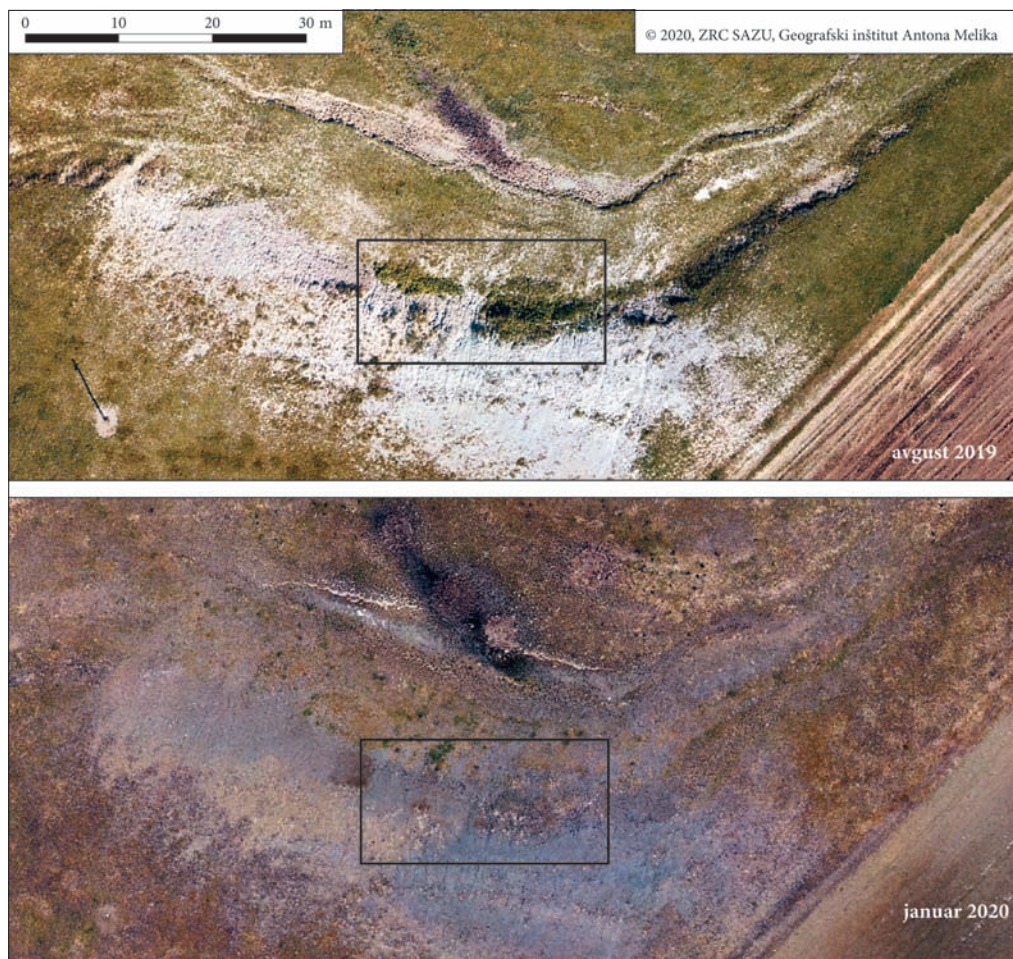
Na dobljene vrednosti vpliva tudi rastje (trava), kljub temu, da smo v obeh obdobjih snemanje opravili, ko je bila trava nizka (avgusta 2019 po košnji, januarja 2020 pred začetkom intenzivne rasti). Na južnem robu južnega plazu nekoliko izstopa območje negativne razlike ravno zaradi rasti – v avgu-



Slika 6: Razlika v nadmorski višini pri primerjavi površij med januarjem 2020 in avgustom 2019 (od stanja leta 2020 smo odšteli stanje leta 2019).

stu je tam rasel šop trave oziroma manjšega grmičja, ki pa je bil do januarja odstranjen (slika 7). Težave s točnimi vrednostmi zaradi prisotnosti rastja so imeli tudi pri drugih raziskavah (na primer Fernández s sodelavci 2016). Nasploh so položajne točnosti in vertikalne točnosti v raziskavah zelo različne, izsledke je zato težko primerjati, tudi zaradi pomanjkanja poenotene protokola poročanja (za primere glej Szabo in Schlosser 2019 ter Meinen in Robinson 2020).

Največje spremembe so bile opazne na območju zdrsne ploskve in glave južnejšega plazua, ki je povsem brez vegetacije in najbolj dovzetno za vpliv eksogenih sil ter posledično nastanek erozije. Pozitivne vrednosti kažejo na akumulacijo gradiva, ki je sprano z nekoliko širšega območja nad skrajnim južnim obrobjem, kjer so spremembe na m^2 očitno manjše in jih zato nismo zabeležili. Spremembe so opazne tudi na čelu severnega plazua, kjer pozitivne vrednosti kažejo na aktivno premikanje plazine, ki se kaže v višanju narivne gube na peti plazua.



Slika 7: Prikaz razlike v rastju na ortofotu pri obeh snemanjih (zgoraj avgust 2019, spodaj januar 2020).

5 Sklep

V prispevku smo prikazali prve izsledke opazovanja plazovitega pobočja pri Šentilju v Slovenskih goricah. Pobočje je podvrženo plazanju, ki je po odstranitvi sadnega drevja v letih 2004 in 2005 preraslo v dva zemeljska plazova. Na podlagi starejših letalskih snemanj (2006 in 2009–2011), podatkov laserskega skeniranja (2014) in lastnih arhivskih fotografij (2012), smo oba plaza interpretirali kot translacijski tip zemeljskega plazju in jima določili osnovne morfometrične značilnosti. Leta 2019 in 2020 smo na območju izvedli snemanje plazov z letalnikom. Z obdelavo posnetkov smo pripravili digitalni model površja in izpeljane podatkovne sloje, kot so naklon, senčen relief in delež vidnega neba, ter ortofoto posnetek. Z interpretacijo omenjenih slojev smo določili natančen obseg plazov ob zadnjem merjenju (januar 2020), s primerjavo višin DMP-jev ob obeh snemanjih pa smo zaznali tudi spremembe med stanji in smer plazenja. Pripravljen DMP smo uporabili tudi za prikaz stekanja površinskega vodnega toka. Spremembe v slabe pol leta so na večini pobočja v rangu napake naših meritev, zato povsem točnih

podatkov o premikih še ne moremo podati. Pridobljeni podatki nam sicer omogočajo določitev osnovnih lastnosti plazov in geomorfološke analize posameznih stanj, na primer smer odtekanja vode po površju, kar nam omogoča nadaljnje analize in oceno, kje lahko pride do povečane erozije. Za podrobnejšo analizo hitrosti premikanja gradiva bodo potrebna nadaljnja ciklična snemanja z brezpilotnim letalnikom (na primer vsakih 6 mesecev).

ZAHVALA: Prispevek je nastal v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije (N6-0070; SNN 125727), ki sta ga sofinancirali Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in madžarska Nacionalna agencija za raziskave, razvoj in inovacije, ter v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

6 Viri in literatura

- Beretta, F., Shibata, H., Cordova, R., de Lemos Peroni, R., Azambuja, J., Costa, J. F. C. L. 2018: Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining. REM – International engineering journal 71-3. DOI: <https://doi.org/10.1590/0370-44672017710074>
- Bevan, D. J., Brook, M. S., Tunncliffe, J., Richards, N. P., Prebble, W. M. 2017: Use of UAV mounted /Structure-from-Motion (SfM) data capture for engineering geological landslide mapping. 20th NZGS Geotechnical Symposium. Wellington.
- Bratkovič, I. 2020: Nastanek plazov pri Šentilju. Osebni vir (21. 4. 2020).
- Carrivick, J. L., Smith, M. W. 2019: Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology. Wires Water 6-1. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1328>
- Casagrande, G., Sik, A., Szabó, G. (ur.) 2018: Small Flying Drones. Applications for Geographic Observation. New York. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66577-1>
- Ciglič, R., Nagy, G. 2019: Naturalness level of land use in a hilly region in north-eastern Slovenia. Geografski vestnik 91-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91101>
- Cignetti, M., Godone, D., Wrzesniak, A., Giordan, D. 2019: Structure from motion multisource application for landslide characterization and monitoring: The Champlas du Col case study, Sestriere, North-Western Italy. Sensors 19-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19102364>
- Colomina, I., Molina, P. 2014: Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing 92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. 1996: Landslide types and processes. Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247.
- Deriaz, J., Ciglič, R., Ferk, M., Lóczy, D. 2019: The influence of different levels of data detail on land use change analyses: a case study of Franciscan Cadastre for a part of the Pannonian Hills, Slovenia. European Countryside 11-3. DOI: <https://doi.org/10.2478/euco-2019-0019>
- Dugonjić Jovančević, S., Peranić, J., Ružić, I., Arbanas, Ž. 2016: Analysis of a historical landslide in the Rječina River Valley, Croatia. Geoenvironmental Disasters 3-1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0061-x>
- Fawcett, D., Azlan, B., Hill, T. C., Kho, L. K., Bennie, J., Anderson, K. 2019: Unmanned aerial vehicle (UAV) derived structure-from-motion photogrammetry point clouds for oil palm (*Elaeis guineensis*) canopy segmentation and height estimation. International Journal of Remote Sensing 40-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1591651>
- Ferk, M., Ciglič, R., Komac, B., Lóczy, D. 2020: Management of small retention ponds and their impact on flood hazard prevention in the Slovenske Gorice Hills. Acta geographica Slovenica 60-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.7675>

- Fernández, T., Pérez, J., Cardenal, J., Gómez, J., Colomo, C., Delgado, J. 2016: Analysis of landslide evolution affecting olive groves using UAV and photogrammetric techniques. *Remote Sensing* 8-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8100837>
- Giordan, D., Hayakawa, Y. S., Nex, F., Tarolli, P. 2018: Preface: The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS) in monitoring applications and management of natural hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18-11. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3085-2018>
- Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P. 2015: UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milano.
- Gupta, S. K., Shukla, D. P. 2017: 3D Reconstruction of a landslide by application of UAV & Structure from Motion. *AGILE 2017*. Wageningen. Medmrežje: https://agile-online.org/conference_paper/cds/agile_2017/shortpapers/124_ShortPaper_in_PDF.pdf (20. 3. 2020).
- Hrvatini, M., Ciglič, R., Lóczy, D., Zorn, M. 2019: Določanje erozije v gričevjih severovzhodne Slovenije z Gavrilovičevo enačbo. *Geografski vestnik* 91-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91206>
- Jelenko, B. 2009: 680 let Šentilja. *Glasilo Občine Šentilj* 13-2.
- Józsa, E., Lóczy, D., Soldati, M., Drágut, L. D., Szabó, J. 2019: Distribution of landslides reconstructed from inventory data and estimation of landslide susceptibility in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 68-3. DOI: <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.3.4>
- Kert, B. 1959: Geomorfologija severozahodnih Slovenskih Goric. *Geografski zbornik* 5.
- Kert, B. 1998: Slovenske gorice. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Kokalj, Ž., Somrak, M. 2019. Why not a single image? Combining visualizations to facilitate fieldwork and on-screen mapping. *Remote Sensing* 11-7. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11070747>
- Kolbezen, M. 1998: Kopenske vode. *Geografski atlas Slovenije*. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15. Ljubljana.
- Lucieer, A., de Jong, S. M., Turner, D. 2014: Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 38-1. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0309133313515293>
- Medmrežje 1: <http://meteo.arso.gov.si/> (23. 3. 2020).
- Meijerink, A. M. J., van Lieshout, A. M., Rahnama Mobareke, F. 1996: Comparison of approaches for erosion modelling using flow accumulation with GIS. *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*. IAHS 235. Dunaj.
- Meinen, B. U., Robinson, D. T. 2020: Mapping erosion and deposition in an agricultural landscape: Optimization of UAV image acquisition schemes for SfM-MVS. *Remote Sensing of Environment* 239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111666>
- Ogrin, D. 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik* 68.
- Oset, Ž., Berberih Slana, A., Lazarevič, Ž. 2010: Mesto in gospodarstvo, Mariborsko gospodarstvo v 20. stoletju. Ljubljana.
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38.
- Peterman, V. 2015: Landslide activity monitoring with the help of unmanned aerial vehicle. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-1/W4. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-215-2015>
- Peternel, T., Kumelj, Š., Oštir, K., Komac, M. 2017: Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements. *Landslides* 14-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0759-6>
- Pintar, J., Mikoš, M., Verbovšek, V. 1986: Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov: alternativa utesnjevanju živih naravnih procesov v toge objekte. *Drugi kongres o vodama Jugoslavije*. Beograd.
- Pipan, P., Kokalj, Ž. 2017: Transformation of the Jerusalem Hills cultural landscape with modern vineyard terraces. *Acta geographica Slovenica* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.4629>
- Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (ur.) 2009: *Geologija Slovenije*. Ljubljana.

- Rossi, G., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S., Casagli, N. 2018: Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization. *Landslides* 15-5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0978-0>
- Sidle, R. C., Terry, P. K. K. 1992: *Shallow landslide analysis in terrain with managed vegetation. Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions.* Wallingford.
- Stumpf, A., Malet, J.-P., Kerle, N., Niethammer, U., Rothmund, S. 2013: Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics. *Geomorphology* 186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.010>
- Szabo, G., Schlosser, A. D. 2019: Fotogrammetriai felszínmodell pontosságvizsgálata RTK-UAV alkalmazásával. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X. *Theory Meets Practice in GIS.* Debrecen.
- Trobec, T. 2016: Spatio-temporal distribution of flash floods in Slovenia. *Dela* 46. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.46.1.5-39>
- Varnes, D. J. 1978: *Slope movements types and processes.* Landslides – Analyses and Control. Transportation Research Board Special Report 176.
- Zakšek, K., Oštir, K., Kokalj, Ž. 2011: Sky-View Factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing* 3-2. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs3020398>
- Zhou, G., Wei, H., Fu, S. 2019: A fast and simple algorithm for calculating flow accumulation matrices from raster digital elevation. *Frontiers of Earth Science* 13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0725-9>
- Zorn, M., Komac, B. 2008: *Zemeljski plazovi v Sloveniji.* Georitem 8. Ljubljana.
- Žiberna, I. 2017: Trendi vodne bilance v severovzhodni Sloveniji v obdobju 1961–2016. *Geografije Podravja.* Maribor. DOI: <https://doi.org/10.18690/978-961-286-074-5.1>
- Žnidarčič, M., Mioč, P. 1987: *Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Maribor.* Zvezni geološki zavod. Beograd.

GEOSTATISTIČNO MODELIRANJE NEOLITSKE POSELITVE V PANONSKI NIŽINI

dr. Dimitrij Mlekuž Vrhovnik

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije

dmllekuz@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6721-640X>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_09

UDK: 91:311:903.3(4-191.2)«634»

IZVLEČEK

Geostatistično modeliranje neolitske poselitve v Panonski nižini

V prispevku modeliramo neolitske poselitve zahodne Panonske nižine in Vzhodnih Alp s časovno in prostorsko analizo korpusa radiokarbonskih datumov. Zanima nas dinamika širitve neolitske poselitve, ki jo razumemo kot prostorskočasovni pojav, vzorčen s pomočjo radiokarbonskih datumov na arheoloških najdiščih. Ti podatki so pogosto pristrani, polni šuma in napak. V študiji jih obravnavamo kot podatkovje, v katerem s pomočjo prostorskih analiz, agregacijo in interpolacijo iščemo vzorce in trende. Proces oblikovanja neolitske poselitve na območju zahodne Panonske nižine in Vzhodnih Alp ni bil hiter, uniformen proces, ki bi ustvaril homogeno neolitsko poselitev. Ugotovimo, da je šlo za kompleksen proces, ki je trajal tisočletja in je ustvaril nehomogen in neenakomeren vzorec poselitve.

KLJUČNE BESEDE

geostatistika, neolitik, arheologija, modeliranje, poselitev

ABSTRACT

Geostatistical modelling of Neolithic occupation in the Pannonian Basin

Paper presents the model of the Neolithic settlement patterns in the Western Carpathian Basin and Eastern Alps using a corpus of radiocarbon dates. Neolithic settlement dynamics is modelled as spatio-temporal phenomena, sampled using radiocarbon dates on archaeological sites. This data is often biased, noisy and prone to errors. In this study we approach them as data and use spatial analyses, aggregation and interpolation, to understand the patterns and trends in the data. The process of formation of Neolithic settlement systems in the study area was not a swift, uniform transition that established a homogenous Neolithic settlement system. Instead, it was a complex process that lasted several millennia and resulted in patchy and non-homogenous settlement patterns.

KEY WORDS

geostatistics, Neolithic, archaeology, modelling, settlement pattern

1 Uvod

Neolitik je pojav, ki se začne nekako okoli leta 11.500 cal BP (angleško *calibrated years before the present*) na Bližnjem vzhodu (v besedilu datume navajamo kot koledarska leta pred sedanjostjo, kjer je sedanjost opredeljena kot leto 1950). Neolitik lahko razumemo kot skupek iznajdb, od kulture žit in stročnic, udomačitve živali, stalne naselitve v vaseh, rabe novih stvari, kot so lončenina, figurice in glajena orodja, do intenzivnega družbenega in ritualnega življenja. Ta skupek se je pokazal za izredno trdoživega in uspešnega in se je kmalu razširil iz jedrnega območja. Širitev neolitika v Evropo je proces premikanja ljudi, stvari in tehnologij z jugovzhoda proti severozahodu (JV-SZ), ki traja nekaj tisočletij, a ohranja uniformnost in koherentnost (Robb 2013; 2014).

Neolitik se začne širiti proti Evropi in okoli leta 9000 cal BP doseže Grčijo. Od tu se hitro širi po Balkanu v srednjo in severno Evropo, Skandinavijo in na Britansko otočje. Druga smer širitve je po morju, predvsem po severni obali Sredozemlja, kjer okoli 7700 cal BP doseže Iberski polotok (Fort s sodelavci 2012).

Kljub veliki uniformnosti pa je v procesu širjenja veliko regionalnih posebnosti in razlik. Ponekod je širitev zelo hitra, v nekaterih delih Evrope pa neolitsko poselitev zaznamo šele nekaj tisočletij po stiku s prvimi kmetovalci.

Cilj članka je modeliranje širitve neolitika v zahodnem delu Panonske nižine in Vzhodnih Alpah s pomočjo časovne in prostorske analize korpusa radiokarbonskih datumov. Zanima nas dinamika širitve neolitske poselitve, ki jo razumemo kot prostorskočasovni pojav, vzorčen s pomočjo radiokarbonskih datumov na arheoloških najdiščih.

Študijsko območje raziskave obsega zahodni del porečja Donave nad sotočjem s Savo. Vključuje zahodni del Panonske nižine, Vzhodne Alpe in severovzhodni del Dinaridov. Na tem prostoru se odvija eden ključnih momentov širjenja neolitika z Balkana v srednjo Evropo. Populacijsko gre za premike in širitev potomcev bližnjevzhodnih kmetovalcev, ki na tem prostoru prilagodijo neolitske iznajdbe zmernejšemu podnebnju srednje Evrope. Od tu se neolitik naglo razširi v srednjo in severno Evropo. Gre torej za kulturno, historično in populacijsko uniformen pojav, ki se razlikuje od neolitika v sredozemskem povodju, ki se širi po severnem robu Sredozemlja, predvsem s pomočjo potovanj po morju.

2 Časovna komponenta

Radiokarbonsko datiranje temelji na predpostavki, da je v okolju stabilno razmerje med radioaktivnim izotopom ^{14}C in stabilnimi izotopi ogljika. To velja tudi za organizme, ki izmenjujejo snovi z okoljem. Ko organizem odmre, ko preneha z metabolizmom, začne delež izotopa ^{14}C upadati zaradi radioaktivnega razpada. Izotop ogljika ^{14}C ima razpolovno dobo okoli 5730 let, z merjenjem radioaktivnosti (standardna metoda) ali količine izotopa ^{14}C (AMS metoda) v vzorcu lahko določimo starost (Bronk Ramsey 2008). V resnici je ugotavljanje prave starosti bolj zapleteno, saj razmerje med ^{14}C in drugimi izotopi ogljika v atmosferi v zemeljski zgodovini ni bilo popolnoma konstantno. Izotop ^{14}C nastaja v gornjih plasteh atmosfere ob interakciji kozmičnih žarkov z atomi dušika. Proizvodnja ^{14}C je odvisna od količine kozmičnih žarkov, ki jih modulira sončni veter in jakosti sončnega in zemeljskega magnetnega polja. Da bi dobili pravo (tako imenovano koledarsko) starost vzorca, moramo meritev kalibrirati s kalibracijsko krivuljo. Ta temelji na primerjavi radiokarbonske starosti s pravo starostjo vzorcev (običajno gre za les, ki ga lahko neodvisno natančno datiramo z dendrokronološko metodo). Rezultat radiokarbonskega datiranja tako ni natančna starost, temveč verjetnostna razporeditev starosti vzorca. Radiokarbonska metoda je standardno orodje za datiranje arheoloških sledov, z njo pa lahko datiramo le organske ostanke (oglje, kosti, semena in tako dalje). Z AMS metodo lahko s precejšnjo gotovostjo datiramo vzorce na okoli 100 do 200 let natančno.

Z razvojem AMS datiranja in povečanjem količine datacij lahko radiokarbonske datacije uporabljamo ne zgolj za določanje starosti posameznih vzorcev, temveč kot podatkovje, ki omogoča odkrivanje prej neopaženih trendov in vzorcev. Velika količina datacij – kjer vsaka datira skoraj nepomemben dogo-

dek, torej prekinitev metabolizma nekega naključnega organizma – tako postane nova kakovost, ki omogoča razumeti večje prostorskočasovne vzorce in procese v preteklosti. To veliko podatkovje radiokarbonskih datacij omogoča, da analiziramo neolitik kot časovnoprostorski pojav ali proces, ki ima svoj obseg, smer, hitrost, ritem in tempo.

Dinamiko procesa širitve neolitika preučujemo prek analize distribucije radiokarbonskih datacij v prostoru in času. Temelji na kombiniranju verjetnostih porazdelitev radiokarbonskih datacij s arheoloških najdišč. Glavna predpostavka pristopa je, da zgostitev števila datacij v prostoru in času kaže na večjo intenzivnost poselitve, saj se večje število ljudi in najdišč pomeni tudi večjo aktivnost, ki se odraža v količini radiokarbonskih datacij.

Študijsko območje smo razdelili na šesterokotnike, ki smo jih uporabili za združevanje opazovanih spremenljivk.

Spremenljivka, ki jo opazujemo, je vsota verjetnostne porazdelitve radiokarbonskih datacij (*summed probability density*, SPD) (Williams 2012) znotraj celice. SPD je vsota verjetnostnih porazdelitev skupine radiokarbonskih datumov na določenem prostoru, v našem primeru znotraj šesterokotne celice. Ključna predpostavka je, da je število radiokarbonskih datacij sorazmerno z intenzivnostjo poselitve; število datacij v celici korelira s številom najdišč ali ljudi, ki so tu živeli. Povišan SPD naj bi tako odražal intenzivnejšo poselitev znotraj celice. SPD se običajno uporablja v paleodemografskih študijah kot indikator velikosti populacije. V tej študiji ga uporabljamo bolj splošno, kot indikator intenzivnosti poselitve znotraj posamezne poselitvene celice.

Temeljna predpostavka pristopa temelji na logiki vzorčenja arheoloških vzorcev za datacije, saj običajno vzorčimo vzorce iz tako imenovanih kulturnih plasti, torej ostankov bivanja. Vendar vzorci za radiokarbonsko datiranje niso vzorčeni naključno – niti znotraj posameznega najdišča, niti med najdišči. Število vzorcev je odvisno od raziskovalnih vprašanj, interesov, financiranja in zgodovine raziskav. Tako se lahko število datacij iz posameznih faz ali plasti na najdišču močno razlikuje med sabo. Pogosto so bolj vzorčne zgodnejše plasti, saj so primarna raziskovalna vprašanja običajno vezana na začetke in starost najdišča.

Do neke mere lahko te pristranskosti ublažimo s kopičenjem in agregiranjem podatkov. Predpostavka je, da lahko dovolj velik regionalen vzorec radiokarbonskih datacij zmanjša pristranskosti na nivoju posameznega najdišča, torej, da množica majhnih nesistematičnih vzorcev s velikega števila najdišč sestavlja kvazi naključen vzorec regionalnih trendov v poselitvi (Williams 2012).

Radiokarbonske datacije zato v študiji agregiramo znotraj celic in ne posameznih najdišč. SPD je tako vsota verjetnostnih porazdelitev radiokarbonskih datacij znotraj posamezne šesterokotne celice. Da se izognemo pristranskostim, ki so posledica bolj intenzivnega vzorčenja posameznih plasti na najdiščih, datacije znotraj celice razdelimo v 200 let velike razrede. Datacije znotraj razredov kalibriramo, seštejemo njihove verjetnostne porazdelitve in vsoto normaliziramo (Shennan s sodelavci 2013; Timpson s sodelavci 2014). SPD celice je tako vsota verjetnostnih porazdelitev razredov.

Z agregiranjem datacij v razrede in celice se izognemo pristranskostim zaradi različnih intenzivnosti vzorčenja znotraj najdišč in znotraj najdišč v regiji.

Vse analize smo izvedli v statističnem orodju R (R Core Team 2018), s paketom *rcarbon* za kalibracijo radiokarbonskih datacij in izračun SPD (uporabili smo krivuljo IntCal13) ter paket *sp* za prostorske analize (Bivand s sodelavci 2013).

3 Prostorska analiza

Študijsko območje, ki obsega površino okoli 170.000 km², smo prekrili s 320 šesterokotnimi celicami (slika 1). Šesterokotnike smo izbrali zato, ker gre za najenostavnejše like, ki so po obliki še najbližje krogu in s katerimi je moč prekriti (teselirati) površino. Šesterokotne celice imajo manjši efekt roba, saj si z vsemi sosedami delijo isti rob, prav tako je ista razdalja do središč vseh sosednih celic. Premer celice je okoli 25 km, površina celice je 525 km². Velikost šesterokotnika smo izbrali glede na povprečno

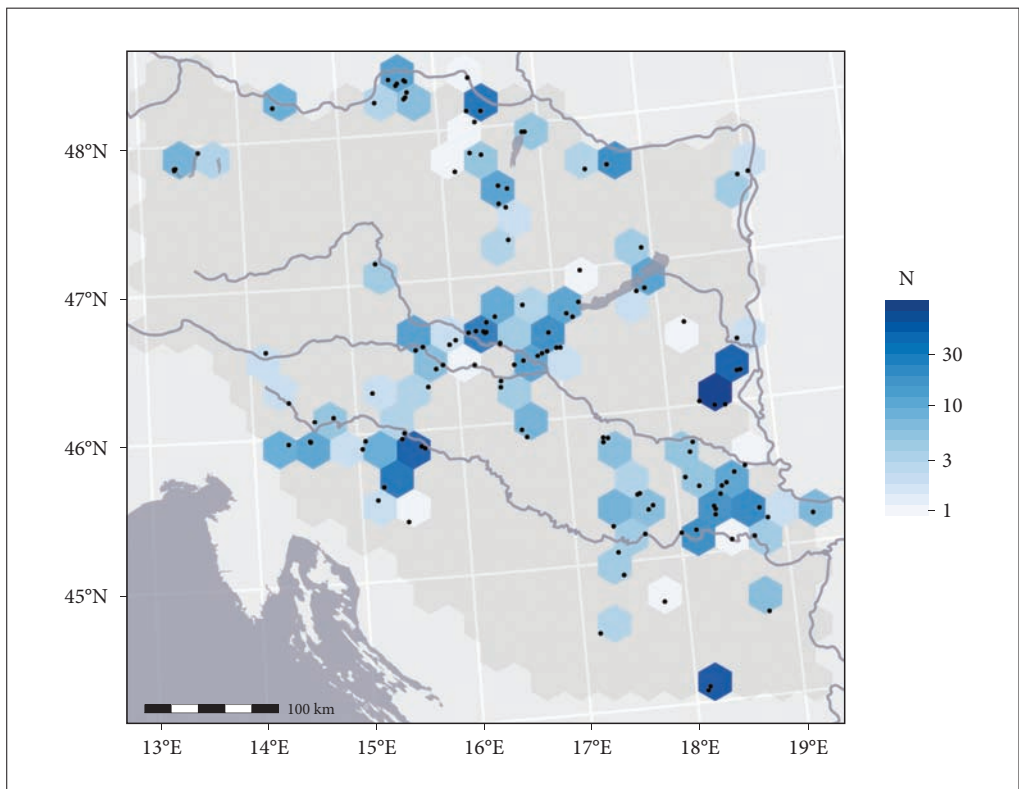
razdaljo med najbližjema najdiščema, ki je okoli 11 km, na ta način smo zagotovili, da celice agregirajo podatke najdišč. Pri tem merilu opazovanja predpostavljamo, da celica ustreza regionalnemu poselitvenemu sistemu ali gruči povezanih naselij. Regionalni poselitveni sistem je običajno definiran kot sistem nekaj medsebojno odvisnih naselij, povezanih z izmenjavami različnih dobrin in partnerjev (Parkinson 2002).

Sestavili smo podatkovno zbirko (korpus) 136 najdišč s radiokarbonskimi datacijami (Mlekuž Vrhovnik 2020). Zaradi velike zgoščenosti najdišč le 81 celic vsebuje najdišča. V večini celic najdemo le eno najdišče, najgosteje poseljena celica vsebuje 9 najdišč.

Neenakomerna distribucija poseljenih celic odraža neenakomerno gostoto neolitske poselitve na študijskem območju. Celice se gostijo v nekaj skupkov, dva v Slavoniji, velik skupek, ki se razteza preko jugovzhodnih Alp, zahodne in osrednje Transdanubije in tretji v Dunajski kotlini. Opažamo tudi nekaj zelo velikih vrzeli, še posebej izrazita je vrzel v Alpah, pomenljive pa so tudi prazni prostori v srednjem toku rek Save in Drave, v osrednji Transdanubiji in na avstrijskem Štajerskem.

Ta neenakomerna distribucija odraža v vzorec neolitske poselitve; neolitska poselitev je omejena na nižine in se izogiba gričevju in gorovju. Na drugi strani pa odraža tudi raziskovalne pristranskosti, saj je večino datiranih najdišč iz novejših raziskav, predvsem najdišča, ki so bila odkrita med gradnjo avtocestnega omrežja v Sloveniji, na Madžarskem in Hrvaškem.

Zbrali smo 749 radiokarbonskih datacij iz neolitskih in eneolitskih najdišč iz časa med okoli 8000 in 5000 cal BP. Število radiokarbonskih datacij na celico variira med 1 (10 celic) in 84 datacij na celico s mediano 4 datacij na celico (slika 1).



Slika 1: Študijsko območje (senčeno) z uporabljenimi arheološkimi najdišči in številom radiokarbonskih datacij na posamezno celico. Merilo je v logaritemski skali.

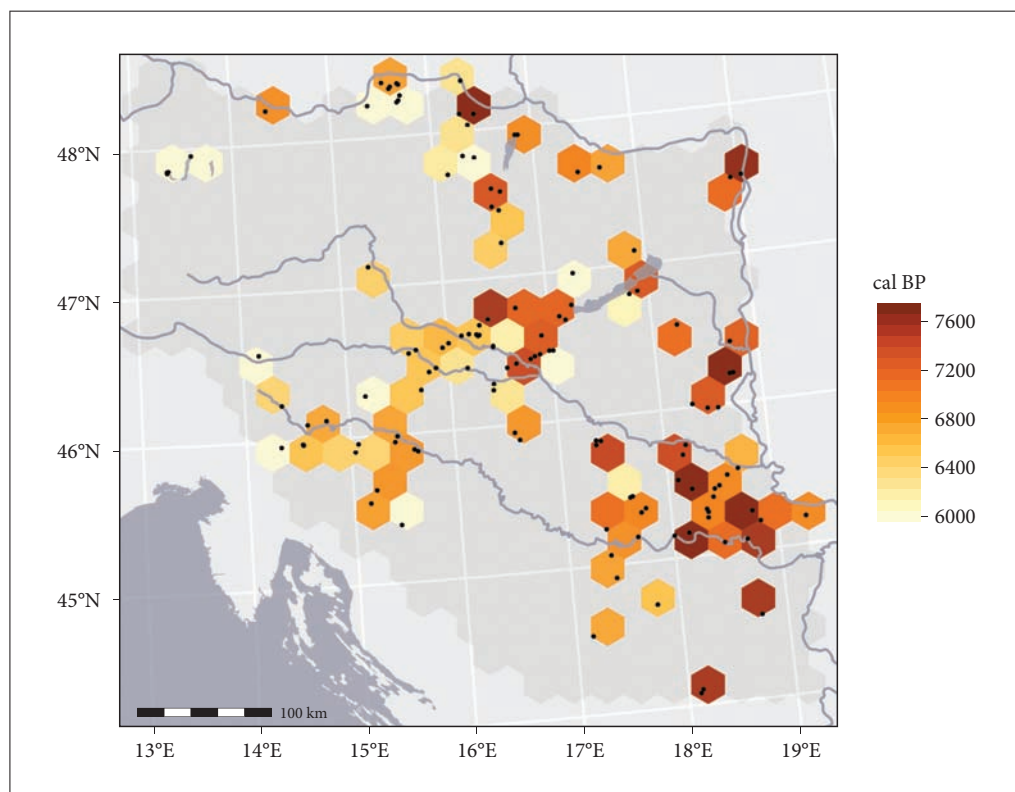
Za vsako celico smo po gornjem postopku izračunali vsoto verjetnostne razporeditve (SPD). Na ta način smo dobili poselitveno zgodovino posamezne celice. Obdobja, kjer je verjetnostno porazdelitev višja od 68 % interpretiramo kot indikator poselitve celice, spodnji rob 68 % verjetnostne porazdelitve pa za začetek poselitve posamezne celice (slika 2).

Ko kartiramo začetek poselitve celic, lahko opazimo izrazit trend v smeri vzhod–zahod. Naj-zgodnejše poseljene celice so zgoščene na jugozahodnem robu študijskega območja, v Slavoniji, z nekaj izoliranimi celicami tudi v Transdanubiji in Dunajski kotlini. Zdi se, da lahko v prvih 500 letih po pojavu neolitskih naselbin na študijskem območju najdemo izolirane poseljene celice po vsem vzhodnem delu študijskega območja. Začetek neolitske poselitve tako lahko vežemo na izolirane celice, enklave.

Datum začetka poselitve posamezne celice smo uporabili za oceno pojava neolitske poselitve na celotnem študijskem območju, kjer smo začetek poselitve interpolirali z metodo kriginaga.

Kriging je dvofazna geostatistična metoda, pri kateri z analizo podatkov najprej ugotovimo vzorce avtokorelacije in napovednosti vrednosti glede na lokacijo. Rezultat te faze je semivariogram, ki modelira razlike med vrednostmi spremenljivke glede na razdaljo in smer med njima (Chilés in Delfiner 2012). V drugi fazi izvedemo interpolacijo, ki temelji na modeliranem semivariogramu.

Podatki za kriginag so centriodi celic, spremenljivka, ki jo interpoliramo, je datum začetka poselitve celice. Celic z le enim datumom nismo uporabili. Rezultat je interpolirana rastrska površina z vrednostjo začetka neolitske poselitve za vsako celico, torej spodnji časovnoprostorski rob pojava, ki nas zanima (slika 3).



Slika 2: Datum začetka neolitske poselitve za posamezno celico.

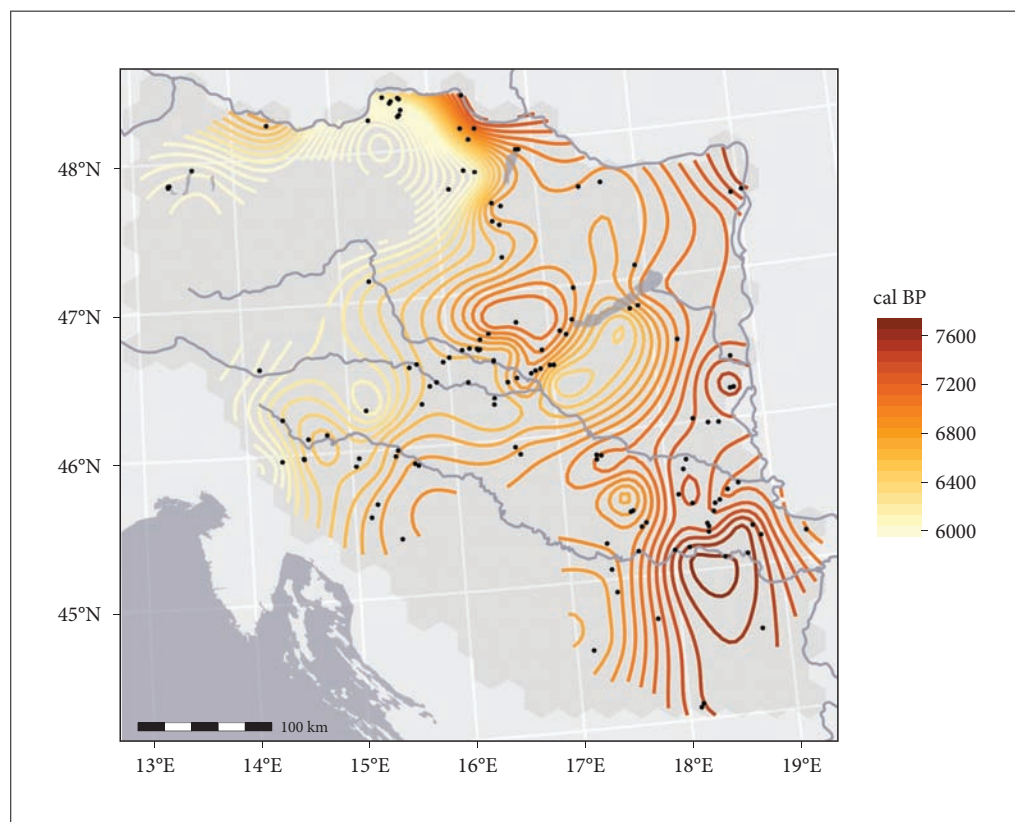
Jedno območje širitve neolitika je med Savo in Dravo. Od tu se neolitik očitno širi v dveh smereh: prva gre ob Donavi, druga pa ob Dravi in Muri in vzhodnem robu Alp do Dunajske kotline, kjer se srečata. Širitev prepoznamo kot zaporedje izoliranih enklav, kjer se neolitska poselitev pojavi pred okolico. Kar opažamo, je najbrž ostanek niza skupnosti, ki so se širile ob koridorjih širitve.

Prepoznamo tudi območja, kjer neolitska poselitev precej zamuja. Najbolj očitno je celotno območje Alp, pa tudi območje južno od Blatnega jezera.

Območja zgoščenih izokron kažejo na stabilno mejo ali rob širjenja neolitika. Najbolj očitna je na zahodnem robu Dunajske kotline in na zahodnem robu Panonske nižine, ob spodnjem toku reke Mure, kjer se neolitska širitev proti zahodu zaustavi za skoraj 500 let, nato pa se relativno hitro razširi po rečnih dolinah Save in Drave v jugovzhodne Alpe, v prostor današnje Slovenije.

Oceno začetka neolitske poselitve smo uporabili tudi za izračun smeri in hitrosti širjenja neolitika (slika 4). Iz zmeščane interpolirane površine začetka neolitske poselitve smo izračunali usmeritev in naklona. Naklon posamezne celice predstavlja hitrost širjenja neolitika v sosednje celice, izrazili smo ga v kilometrih na leto. Smer širitve je definirana kot smer največjega naklona ali hitrosti. Hitrost in smer širitve smo vizualizirali kot vektorsko polje, kjer smer puščice kaže smer, velikost puščice pa hitrost širitve.

Hitrost širitve neolitika na celotnem študijskem območju je očitno precej visoka, razdaljo 400 km med Slavonijo in Dunajsko kotlino neolitske skupnosti premagajo v okoli 200 letih, kar kaže na hitrost premikanja okoli 2 km na leto. Vendar je to globalna hitrost procesa, torej hitrost premikanja in vzpo-



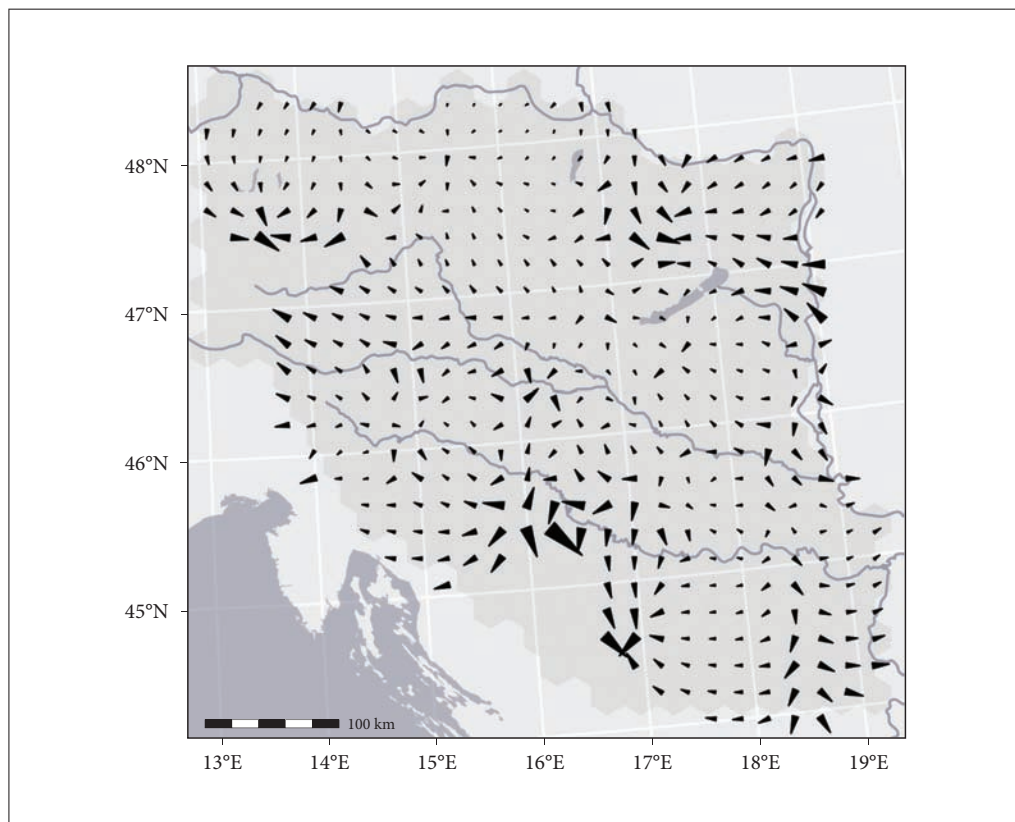
Slika 3: Interpolirana ocena začetka neolitske poselitve na študijskem območju.

stavljanja enklav. Hitrost, ki smo jo izračunali iz naklona površine ocene začetka neolitske poselitve, kaže na drug proces, na relativno počasno širitev poselitve okoli enklav, torej proces, s katerim je neolitska poselitve zapolnila prostor. Ta, lokalna hitrost širitve, je relativno nizka in ocenjena na interval med 0,025 in 5 km na leto, z mediano pri 0,15 km na leto. Ekstremi se pojavljajo ob robovih interpolacijskega območja, kjer gre najbrž za efekt roba.

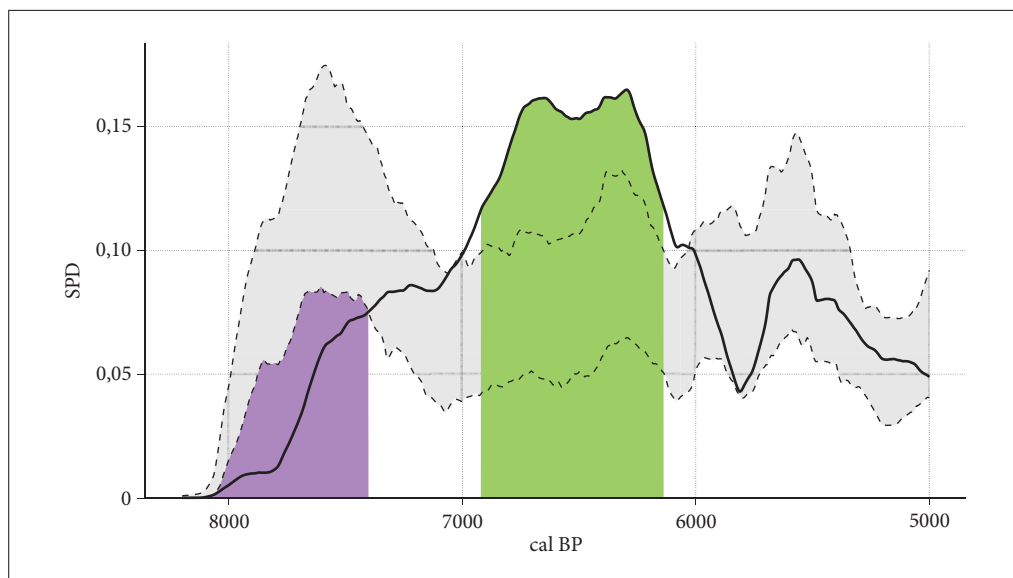
Podatke o poselitvi celic lahko uporabimo tudi za diahrono analizo poselitve, ki temelji na seštevku verjetnostnih distribucij vseh celic (slika 5). Ta vrednost, globalna verjetnostna porazdelitev ali globalna SPD, odraža poselitvene in demografske trende, saj je odvisna od števila in intenzivnosti poselitve celic v določenem letu. Globalno SPD težko pretvorimo v absolutne številke (števila naselbin ali ljudi), z njo opazujemo predvsem spremembe, obdobja rasti in upadov poselitve.

Oblika globalne SPD je podvržena mnogim pristranostim, zato jo primerjamo z ničelno hipotezo (Porčić, Blagojević in Stefanović 2016; Blagojević s sodelavci 2017). V našem primeru je to stacionarni model poselitve, ki predpostavlja nespremenljivo intenzivnost poselitve, enako povprečni vrednosti globalne SPD.

S pomočjo Monte Carlo simulacije večkrat naključno vzorčimo stacionarni model poselitve in izračunamo SPD. Te podatke agregiramo in izračunamo 95 % interval zaupanja. Kjer globalna SPD odstopa od kritičnih vrednosti, ničelna hipoteza o stacionarni poselitvi ne velja. V našem primeru je intenzivnost ali obseg poselitve manjši do leta 7600 cal BP, sledi obdobja povečana intenzivnost poselitve med okoli 6900 in 6200 cal BP, temu pa sledi upad okoli 5600 cal BP (slika 5).



Slika 4: Hitrost in smer širjenja neolitske poselitve na študijskem območju.



Slika 5: Primerjava med globalno verjetnostno porazdelitvijo (črta) in 95 % interval zaupanja Monte Carlo simulacije ničelne hipoteze o stacionarni poselitvi (senčeno). Obdobja, kjer globalna verjetnostna porazdelitev odstopa od kritičnih vrednosti, so označena z vijolično (obdobja upadov) ali zeleno (obdobja rasti).

4 Sklep

V študiji smo neolitik obravnavali kot kompleksen prostorskočasovni pojav, vzorčen s pomočjo radio-karbonskih datumov na arheoloških najdiščih. Značilnost tovrstnih podatkov je, da so pogosto pristrani, polni šuma in napak. Zato smo jih obravnavali kot podatkovje in v njem iskali vzorce in trende. S pomočjo prostorskih metod, predvsem agregacije podatkov in interpolacije, smo iz korpusa podatkov rekonstruirali dinamiko pojava v prostoru in času.

Proces oblikovanja neolitske poselitve na območju zahodne Panonske nižine in Vzhodnih Alp ni bil hiter, uniformen proces, ki bi ustvaril homogeno neolitsko poselitev. Iz pričujoče analize lahko ugotovimo, da je šlo za kompleksen proces, ki je trajal tisočletja in je ustvaril nehomogen in neenakomeren vzorec poselitve (Mlekuž Vrhovnik 2019).

Kompleksne prostorskočasovne procese lahko razumemo kot interakcije treh enostavnejših prostorskih procesov, premikov, širitve in procesov agregacije in segregacije (O'Sullivan in Perry 2013). Premiki se nanašajo na gibanje posameznih entitet, ki entiteto (molekulo, organizem, osebo) premaknejo iz ene lokacije v drugo. Ti premiki so bodisi naključni ali pa nanje vplivajo okoljske razmere. V tej študiji lahko temu procesu pripišemo hiter pojav razpršenih enklav neolitske poselitve po skoraj vsem študijskem območju. Ta proces kaže na izredno veliko mobilnost zgodnjeneolitskih skupnosti ali celo posameznikov. Premiki sledijo naravnim koridorjem v pokrajini.

Širitev je proces počasne rasti ali ekspanzije roba fenomena (na primer širitve plina v vakuum, širitve ognja ali ekspanzija populacije v novo okolje). Na študijskem območju ta proces prepoznamo predvsem kot počasno širitev poselitve okoli poselitvenih jeder, enklav, in zapolnjevanje prostora okoli njih. Ta proces lahko vežemo predvsem na demografsko rast.

Neenakomeren vzorec poselitve ustvarjajo procesi segregacije in agregacije. Oba procesa temeljita na Toblerjevem prvem zakonu geografije, dejstvu, da se podobne stvari pojavljajo skupaj, kar vodi k ustvarjanju neenakomernih, nenaključnih, heterogenih prostorskih vzorcev (O'Sullivan and Perry 2013). V našem primeru proces agregacije vezan na oblikovanje neenakomernih skupkov poselitve. Zdi se, da je pri oblikovanju skupkov glavno vlogo igralo okolje. Neolitska poselitev je omejena na rečne doline in nižine; izogiba se gričevjem in gorovjem.

5 Viri in literatura

- Bivand, S. R., Pebesma, E., Gómez-Rubio, V. 2013: Applied Spatial Data Analysis with R. New York.
- Blagojević, T., Porčić, M., Penezić, K., Stevanović, S. 2017: Early Neolithic population dynamics in the Eastern Balkans and the Great Hungarian Plain. *Documenta Praehistorica* 44. DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.44.2>
- Bronk Ramsey, C. 2008. Radiocarbon dating: revolutions in understanding. *Archaeometry* 50-2. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00394.x>
- Chilés, J.-P., Delfiner, P. 2012: Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. New York.
- Fort, J., Pujol, T., Vander Linden, M. 2012: Modelling the Neolithic transition in the Near East and Europe. *American Antiquity* 77-2. DOI: <https://doi.org/10.7183/0002-7316.77.2.203>
- Mlekuž Vrhovnik, D. 2019: Neolithic and Copper Age settlement dynamics in the Western Carpathian Basin and Eastern Alps. *Documenta Praehistorica* 46. DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.46.16>
- Mlekuž Vrhovnik, D. 2020: Neolithic/Copper Age radiocarbon dates from West Carpathian basin and East Alps. Zenodo. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3742733>
- O'Sullivan, D., Perry, G. L. W. 2013: Spatial Simulation: Exploring Pattern and Process. New York.
- Parkinson, W. A. 2002: Integration, interaction, and tribal 'cycling': The transition to the Copper Age on the Great Hungarian Plain. *The Archaeology of Tribal Societies*. Ann Arbor.
- Porčić, M., Blagojević, T., Stefanović, S. 2016: Demography of the early Neolithic population in central Balkans: population dynamics reconstruction using summed radiocarbon probability distributions. *Plos One* 11-8. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160832>
- R Core Team, 2018. Medmrežje: <https://www.R-project.org> (16. 2. 2020)
- Robb, J. 2013: Material culture, landscapes of action, and emergent causation: A new model for the Origins of the European Neolithic. *Current Anthropology* 54-6. DOI: <https://doi.org/10.1086/673859>
- Robb, J. 2014: The future Neolithic: a new research agenda. *Early Farmers: The View from Archaeology and Science*. Oxford.
- Shennan, S., Dowen, S. S., Timpson, A., Edinborough, K., Colledge, S., Kerig, T., Manning, K., Thomas, M. G. 2013: Regional population collapse followed initial agriculture booms in mid-Holocene Europe. *Nature Communications* 4.
- Timpson, A., Colledge, S., Crema, E., Edinborough, K., Kerig, T., Manning, K., Thomas, M. G., Shennan, S. 2014: Reconstructing regional population fluctuations in the European Neolithic using radiocarbon dates: a new case-study using an improved method. *Journal of Archaeological Science* 52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.08.011>
- Williams, A. N. 2012: The use of summed radiocarbon probability distributions in archaeology: a review of methods. *Journal of Archaeological Science* 39-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.07.014>

GEOINFORMACIJSKA PODPORA PREOBLIKOVANJU OBMOČIJ VOLILNIH ENOT IN VOLILNIH OKRAJEV

dr. Marko Krevs

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo
marko.krevs@ff.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3239-5540>

mag. Aleš Veršič

Ministrstvo za javno upravo Republike Slovenije
aversic@gov.si

dr. Boštjan Rogelj

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo
bostjan.rogelj@ff.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5858-1037>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_10

UDK: 911.3:324.843(497.4)

659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Geoinformacijska podpora preoblikovanju območij volilnih enot in volilnih okrajev

Opredelitev volilnih območij ni le politični, ampak tudi geografski in geoinformacijski izziv. Predstavljeni so glavni koraki v izvedbi projekta preoblikovanja volilnih enot in volilnih okrajev ter kritično ovrednotena uporaba geoinformacijske podpore posameznim korakom. Izpostavljamo zlasti tri vidike geoinformacijske podpore: okolje za interaktivno sestavljanje volilnih okrajev, skripte za »polsamodejno« sestavljanje volilnih okrajev (oboje je uporabljala ekspertna skupina) ter spletno aplikacijo za interaktivno sestavljanje volilnih okrajev (ki so jo uporabljale politične stranke). Predstavljeni so nekateri metodološki izzivi, spoprijemanje z njimi ter izbrani rezultati.

KLJUČNE BESEDE

volilna geografija, volilne enote, geoinformatika, podpora prostorskemu odločanju, Slovenija

ABSTRACT

Geoinformatic support for changing the electoral districts

Designing electoral districts is geographical and geoinformational as well as political challenge. The main steps in the realisation of a project of changing electoral districts are presented, with an emphasis on critical evaluation of the geoinformatic support to individual steps. Three specific aspects of the geoinformatic support are pointed out: environment for the interactive designing of the electoral districts, scripting for semi-automatic designing of the electoral districts (both used by the expert group) and online application for interactive designing of the electoral districts (used by political parties). Some of the methodological challenges, dealing with them, and selected results are presented in the paper.

KEY WORDS

electoral geography, electoral districts, geoinformatics, spatial decision support, Slovenia.

1 Uvod

Volilne enote so prostorske enote, na katere je država razdeljena v volilne namene (Reynolds in Reilly 1997). V volilni sistem so navadno vključene zaradi želje po enakomernejši prostorski porazdelitvi mandatov, tesnejši povezanosti volivcev in poslancev ter lažji organizaciji in izvedbi volitev. Oblikovanje volilnih enot je kompleksna naloga. Oblikovalci morajo zadostiti različnim, med seboj pogosto nasprotujočim si ciljem in načelom (Rogelj 2012). Poleg tega ima ureditev volilnih enot pomemben vpliv na delitev mandatov. Volilna podpora posameznim političnim strankam je prostorsko neenakomerno porazdeljena. Posledično lahko delitev države na volilne enote pomembno vpliva na delitev mandatov ter izvoljivost posameznih strank oziroma kandidatov. Tako ne preseneča, da poskušajo stranke uveljaviti ureditev, ki bi kar najbolj služila njihovim interesom. Takšno ravnanje, ki ga označujemo s terminom volilna geometrija (angleško *gerrymandering*), lahko odločilno zaznamuje proces oblikovanja volilnih enot. To še posebej velja takrat, kadar o sprejetju nekega predloga odločajo predstavniki političnih strank.

Razvoj geoinformacijskih tehnologij je v zadnjih treh desetletjih odločilno zaznamoval proces oblikovanja volilnih enot. Tehnološki razvoj je volilnim kartografom omogočil, da v proces vključijo široko paleto informacij, na podlagi katerih lahko izdelajo rešitve (karte volilnih enot), ki v največji možni meri optimizirajo predhodno sprejete vrednote in načela volilnega sistema (Eagles, Katz in Mark 1999; 2000). Zagovorniki geoinformacijskih tehnologij so menili, da bodo te omogočile oblikovanje nepristranskih, od človeških dejavnikov neodvisnih rešitev oziroma da bodo postale orodje za zaznavanje in ocenjevanje volilne geometrije. Uporaba naprednih geoinformacijskih tehnologij je sicer močno olajšala, pospešila in pocenila proces oblikovanja volilnih enot, vendar se je – vsaj doslej – pokazalo, da popolnoma avtomatizacija procesa zaradi matematičnih, računskih in filozofskih omejitev ne daje zadovoljivih rezultatov (Altman in McDonald 2010).

Politične elite so se hitro zavedale moči novih tehnologij in njihove uporabnosti pri zadovoljevanju specifičnih interesov. Nekateri pa so v njih videli orodje, s katerim lahko vladajoče politične elite na relativno preprost način dosežejo svoje politične cilje (Altman, MacDonald in McDonald 2005). Ne smemo pozabiti, da so bile geoinformacijske tehnologije do pred kratkim zaradi visoke cene dostopne relativno ozkemu krogu uporabnikov.

V zadnjem desetletju so omenjene tehnologije postale lažje dostopne tudi širši javnosti, zaradi česar je prišlo do opolnomočenja civilnodružbenih gibanj, ki sodelujejo v procesu oblikovanja volilnih enot ali ga nadzorujejo (Crampton 2013).

V Sloveniji smo se s problemom oblikovanja volilnih enot in volilnih okrajev intenzivneje ukvarjali trikrat; prvič leta 1992 ob sprejemanju Zakona o volitvah v državni zbor (ZVDZ; 2006) in Zakon o določitvi volilnih enot za volitve poslancev v državni zbor (ZDVEDZ; 2005) (Rogelj 2011; 2012), drugič ob poizkusu uvedbe večinskega volilnega sistema leta 2000 (Ravbar 2000; Krevs 2000) ter tretjič leta 2019 po sodbi Ustavnega sodišča (Odločba ... 2018), da je 4. člen ZDVEDZ neskladen z Ustavo.

V nadaljevanju prispevka predstavljamo geografski in geoinformacijski vidik dela delovne skupine, ki je sodelovala v procesu oblikovanja nove ureditve volilnih enot in volilnih okrajev leta 2019. Izpostavljamo zlasti tri vidike geoinformacijske podpore: okolje za interaktivno sestavljanje volilnih okrajev, skripte za »polsamodejno« sestavljanje volilnih okrajev (oboje je uporabljala ekspertna skupina) ter spletno aplikacijo za interaktivno sestavljanje volilnih okrajev (ki so jo uporabljale politične stranke). Najprej pa pojasnimo nekaj temeljnih geografskih, zakonodajnih in političnih okoliščin ter temeljne delovne korake v izvedbi projekta.

2 Oblikovanje novih volilnih okrajev

Za volilni sistem, uporabljen na volitvah poslancev v Državni zbor Republike Slovenije, je značilna večslojna ureditev volilnih enot. ZVDZ in ZDVEDZ določata, da se na območju države oblikuje osem

volilnih enot, vsaka od njih pa je razdeljena na enajst volilnih okrajev. Zahteva po doslednem spoštovanju načela enake volilne pravice ter odsotnost primerne regionalne upravno-teritorialne členitve države je pripeljala do oblikovanja osmih, z vidika števila prebivalcev enako velikih, vendar geografsko nehomogenih volilnih enot. Na prostorski obseg volilnih okrajev pa je odločilno vplivala zahteva, da so ti geografsko in kulturno čim bolj zaokroženi oziroma homogeni. V praksi to pomeni, da obstoječa ureditev volilnih okrajev v večji meri sledi leta 1992 veljavni upravno-teritorialni delitvi države na občine (Rogelj 2011). Tako oblikovani volilni okrajji se med seboj močno razlikujejo po številu prebivalcev oziroma volivcev (leta 2019 je imel največji volilni okraj 31.694, najmanjši pa 7945 volivcev).

Zaradi omenjenih razlik je bila ureditev volilnih okrajev večkrat predmet ustavne presoje (Rogelj 2012). Novembra 2018 je Ustavno sodišče presodilo, da je del ZDVEDZ neskladen z Ustavo, saj volilni okrajji ne ustrezajo več nobenemu merilu iz ZVDZ, pri čemer so problematične tako velike razlike v velikosti volilnih okrajev kot dejstvo, da niso spoštovane niti meje sedanjih občin niti merilo geografske zaokroženosti. Ustavno sodišče je Državnemu zboru zato naložilo, da v roku dveh let odpravi neustavno stanje (Odločba ... 2018).

Predsednik Republike Slovenije je v začetku leta 2019 pričel s posvetovanji za odpravo neustavnosti. Na njih so se predstavniki političnih strank dogovorili o dveh možnih rešitvah. Prva predvideva spremembo volilnega sistema in odpravo volilnih okrajev, druga pa preoblikovanje trenutno veljavne ureditve volilnih okrajev. V okviru drugega pristopa k reševanju neustavnega stanja je Ministrstvo za javno upravo aprila 2019 ustanovilo medresorsko delovno skupino z nalogo, da pripravi predlog spremembe območij volilnih okrajev.

Delo skupine je potekalo v več korakih:

1. analiza veljavne ureditve volilnih enot in volilnih okrajev z vidika spoštovanja zakonskih določil ter odločbe Ustavnega sodišča;
2. priprava osnovnih načel, meril in postopkov za preoblikovanje volilnih okrajev;
3. priprava predloga sprememb meja volilnih enot v okviru veljavnega volilnega sistema;
4. preizkusna uporaba sprejetih načel in meril na primeru oblikovanja volilnih okrajev v dveh volilnih enotah;
5. priprava predloga sprememb meja volilnih okrajev za vseh osem volilnih enot;
6. priprava spletne aplikacije, ki političnim strankam omogoča pregledovanje predlaganih in oblikovanje alternativnih predlogov volilnih okrajev;
7. priprava dopolnjenega predloga sprememb območij volilnih enot in volilnih okrajev, ki predvideva večja odstopanja v velikosti volilnih okrajev.

Okoliščine, v katerih je delovna skupina zasnovala in izvedla projekt, je močno zaznamoval kratek časovni rok za pripravo predloga ter nejasnimi in medsebojno nasprotujočimi pravnimi izhodišči. Predlog volilnih okrajev (Rogelj s sodelavci 2019a; 2019b) je ob tako ohlapnih zakonskih merilih nujno kompromisen, zato je delovna skupina dala posebno težo strokovni in transparentni izvedbi. Prvi vidik je poskušala doseči predvsem s strokovnimi argumenti za uporabljeno metodologijo in ponujene predloge, drugega pa s transparentnostjo izvedenih postopkov ter s sočasnim vključevanjem političnih strank v nekatere faze procesa (po zgoraj nakazanih korakih 4, 5, 6 in 7). Pri uveljavljanju obeh vidikov je imela geoinformacijska podpora zelo pomembno vlogo.

3 Metodološki izzivi

Analiza obstoječe ureditve volilnih enot in okrajev z vidika pripomb Ustavnega sodišča (korak 1 v zgoraj predstavljenem poteku projekta) je bila izvedena s kombiniranjem različnih orodij za geoprocesiranje in prostorske statistične analize. Med glavnimi cilji analize so bili iskanje neskladij občinskih meja z mejami volilnih enot in okrajev, ugotavljanje neželenih delitev občin in naselij pri sestavljanju obstoječih volilnih enot in okrajev ter ugotavljanje občin in naselij, ki bi potencialno lahko

predstavljala samostojne volilne okraje. Uporaba digitalnih podatkov o volivcih (Število volivcev ... 2019) in prostorskih enotah (Register prostorskih enot 2019), iz katerih so sestavljeni volilni okraji (slika 1), je terjala izdatno geoinformacijsko podporo. Slednja ni bila namenjena zgolj urejanju in predstavljanju prostorskih podatkov, ampak je na dva načina podpirala prostorsko odločanje, najprej pri oblikovanju volilnih enot in okrajev, posredno pa tudi s pripravo informacijskih podlag za kasnejše politično odločanje. Večina geoinformacijske podpore je bila izvedena z namiznim in spletnim geoinformacijskim orodjem ArcGIS ter uporabo programskega jezika Python.

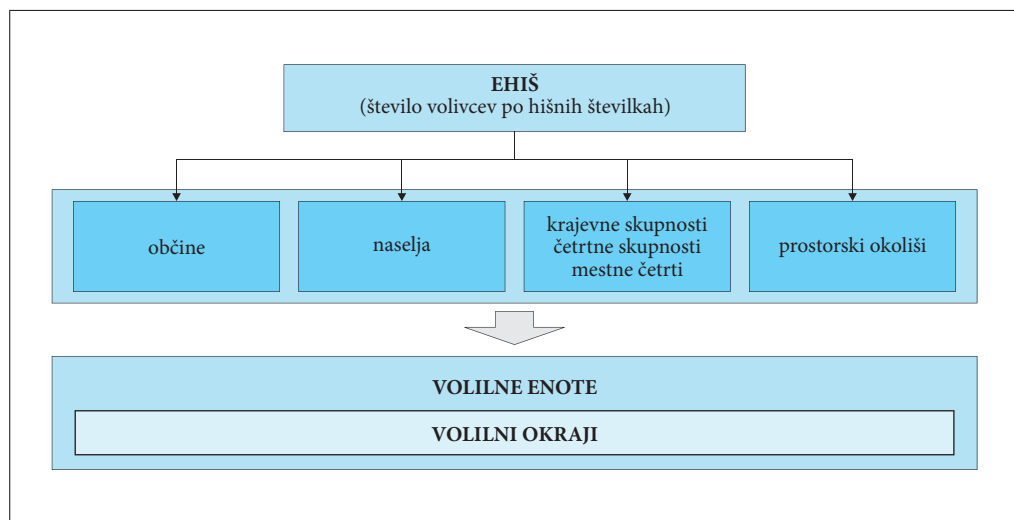
Med osrednjimi metodološkimi problemi, ki jih je morala rešiti delovna skupina, je bil **predlog načel, meril in postopkov njihove uporabe** pri oblikovanju predlogov novih volilnih enot in okrajev (korak 2). Pri oblikovanju tega predloga je delovna skupina izhajala iz zakonskih določil, odločitve ustavnega sodišča, mednarodnih standardov in priporočil ter opravljene analize obstoječe opredelitve volilnih enot in okrajev.

Predlog sprememb območij volilnih enot je temeljil na treh osnovnih načelih oziroma merilih:

- velikost volilnih enot je določena na podlagi števila volivcev;
- vse volilne enote morajo imeti približno enako število volivcev; največje dovoljeno odstopanje od velikosti povprečne volilne enote je $\pm 5\%$;
- meje volilnih enot naj bodo usklajene z občinskimi mejami, razen v primerih, ko to vodi v kršenje načela enake volilne pravice.

Predlog sprememb območij volilnih okrajev je temeljil na sledečih načelih oziroma merilih:

- velikost volilnih okrajev je določena na podlagi števila volivcev;
- velikost volilnih okrajev je določena na podlagi velikosti povprečnega volilnega okraja na državni ravni; največje dovoljeno odstopanje od povprečne velikosti je $\pm 15\%$; če je mogoče, naj velikost volilnega okraja ne odstopa od povprečja za več kot $\pm 10\%$ (preglednica 1);
- občine in naselja predstavljajo temeljno enoto za oblikovanje volilnih okrajev; če je mogoče, se izognemo delitvi občin in naselij;
- v primeru delitve občin so upoštewane meje naselij; v primeru delitve naselij so upoštewane meje krajevnih, četrtnih oziroma vaških skupnosti;



Slika 1: Predlagani volilni okraji so praviloma sestavljeni iz občin in naselij, ponekod pa so bile za sestavljanje uporabljene krajevne skupnosti, četrtne skupnosti, mestne četrti, le v Ljubljani tudi prostorski okoliši.

- le v primerih delitve naselij, ki so večja od največje dovoljene velikosti volilnega okraja, so za oblikovanje volilnih okrajev uporabljeni prostorski okoliši, ki so tudi najmanjša prostorska enota v tem postopku;
- pri združevanju prostorskih enot so upoštewane meje upravnih enot, na ravni naselij pa meje krajevnih, četrtnih oziroma vaških skupnosti;
- iščemo najboljše celostne rešitve na ravni volilne enote.

V praksi se nekatera izmed načel oziroma meril med seboj pogosto izključujejo, zlasti težnji po enakomerni porazdelitvi volivcev med volilnimi okraji ter geografski zaokroženosti volilnih okrajev. Medtem ko obstoječa ureditev daje prednost geografski zaokroženosti, poskuša predlagana ureditev bolj enakovredno upoštevati tudi enakomerno porazdelitev volivcev. Znotraj velikostnih omejitev je delovna skupina iskala rešitve, ki ohranjajo celovitost prostorskih enot (občin, naselij, mestnih četrti, četrtnih in krajevnih skupnosti), s čimer v čim večji meri udejanja geografsko zaokroženost volilnih okrajev. Niso bile pomembne le lokalne rešitve, ampak tudi (čim boljše) celostna rešitev za celotno posamezno volilno enoto. To pomeni, da je bil pri marsikateri lokalni rešitvi nujen kompromis med upoštevanjem velikostnih omejitev volilnih okrajev, njihovo geografsko zaokroženostjo ter izvedljivostjo teh meril tudi za druga območja znotraj volilne enote.

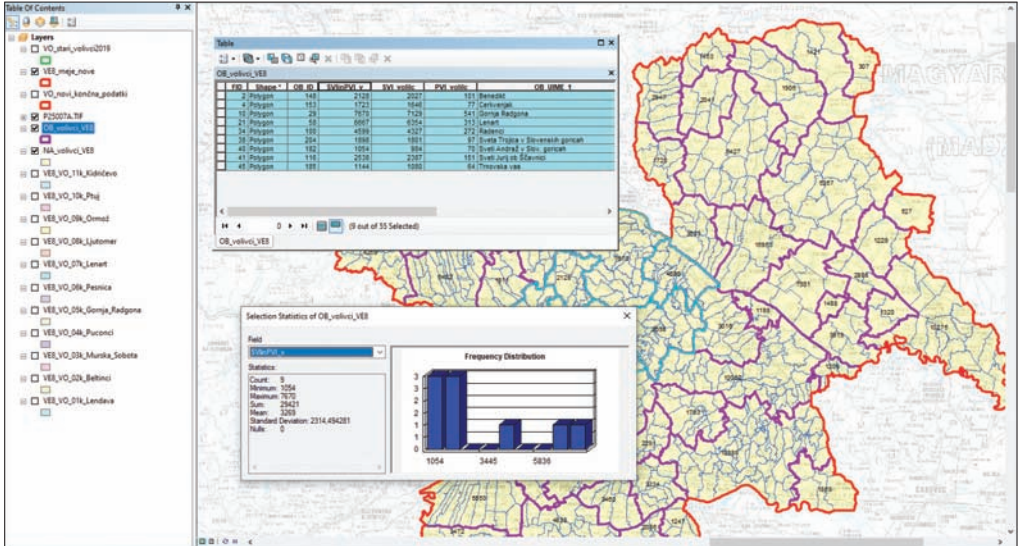
Nabor načel in meril iz koraka 2 je bil najprej uporabljen pri oblikovanju volilnih enot (korak 3) ter preizkusne izvedbe predlogov volilnih okrajev za dve volilni enoti (korak 4). Preizkusna izvedba je bila namenjena preverjanju meril in postopkov ter delnih rezultatov pri političnih strankah pred izvedbo predlogov za celotno ozemlje države. V tem koraku smo se odločili uporabiti dve metodi oblikovanja volilnih okrajev: interaktivno »nesamodejno« metodo ter alternativno »polsamodejno« metodo.

»Nesamodejna« (ekspertna) metoda je temeljila na geoinformacijsko podprtem postopnem sestavljanju volilnih okrajev s pomočjo interaktivne uporabe orodja ArcGIS (slika 2). Glede na številne sloje podatkov, možne kombinacije pri sestavljanju volilnih okrajev (slika 3) ter vsakokratni presoji njihovega ustrežanja zahtevi o geografski zaokroženosti je takšno delo terjalo veliko zbranost, natančnost in geoinformacijsko spretnost izvajalca. Ta je presojal ustreznost lokalnih rešitev pa tudi »globalne« rešitve (znotraj posamezne volilne enote) s »polsamodejnimi« izračuni v programu za delo s preglednicami.

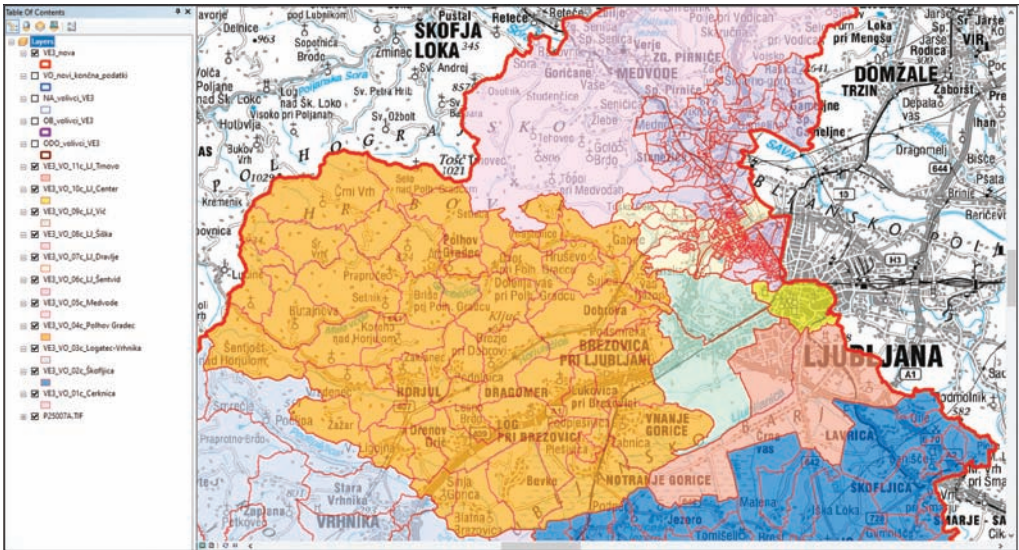
V podobnem projektu pred dvema desetletjema smo predlagali, da bi v prihodnje poskusili razviti aplikacijo za samodejno sestavljanje volilnih okrajev (Krevs 2000). S to idejo smo vstopili tudi v ta projekt. Zgoraj omenjene okoliščine izvajanja projekta (časovne omejitve in ohlapne pravne opredelitve) so bile praktično enake kot v predhodnem projektu – torej neugodne. A razvoj geoinformacijskih orodij in ravni zahtevnosti njihove rabe, zlasti v navezavi na programiranje geoinformacijskih orodij s programskim jezikom Python, obenem pa vključitev zelo odzivnih zunanjih sodelavcev (iz podjetja GDİ d. o. o.), sta spodbudila delovno skupino k odločitvi, da ponovno poskusi z izvedbo ideje. Zgoraj opisana načela, merila in postopki sestavljanja volilnih okrajev se zdijo razmeroma preprosti, proces izvedbe pa sestavljen iz vrste ponavljajočih se preprostih operacij, ki vključujejo številna preizkušanja različnih možnih rešitev. Razmere torej, v katerih je uporaba orodja za samodejno izvedbo čim večjega dela postopka zelo smiselna. V okviru projekta je nastala poskusna različica »polsamodejne«

Preglednica 1: Dovoljene in priporočene velikosti volilnega okraja po merilu, ki dopušča do 10 %, izjemoma do 15 % odstopanja.

	najmanjša dovoljena velikost (–15 %)	najmanjša priporočena velikost (–10 %)	povprečna velikost (število volivcev / 88)	največja priporočena velikost (+10 %)	največja dovoljena velikost (+15 %)
število volivcev	16.454	17.422	19.358	21.293	22.261

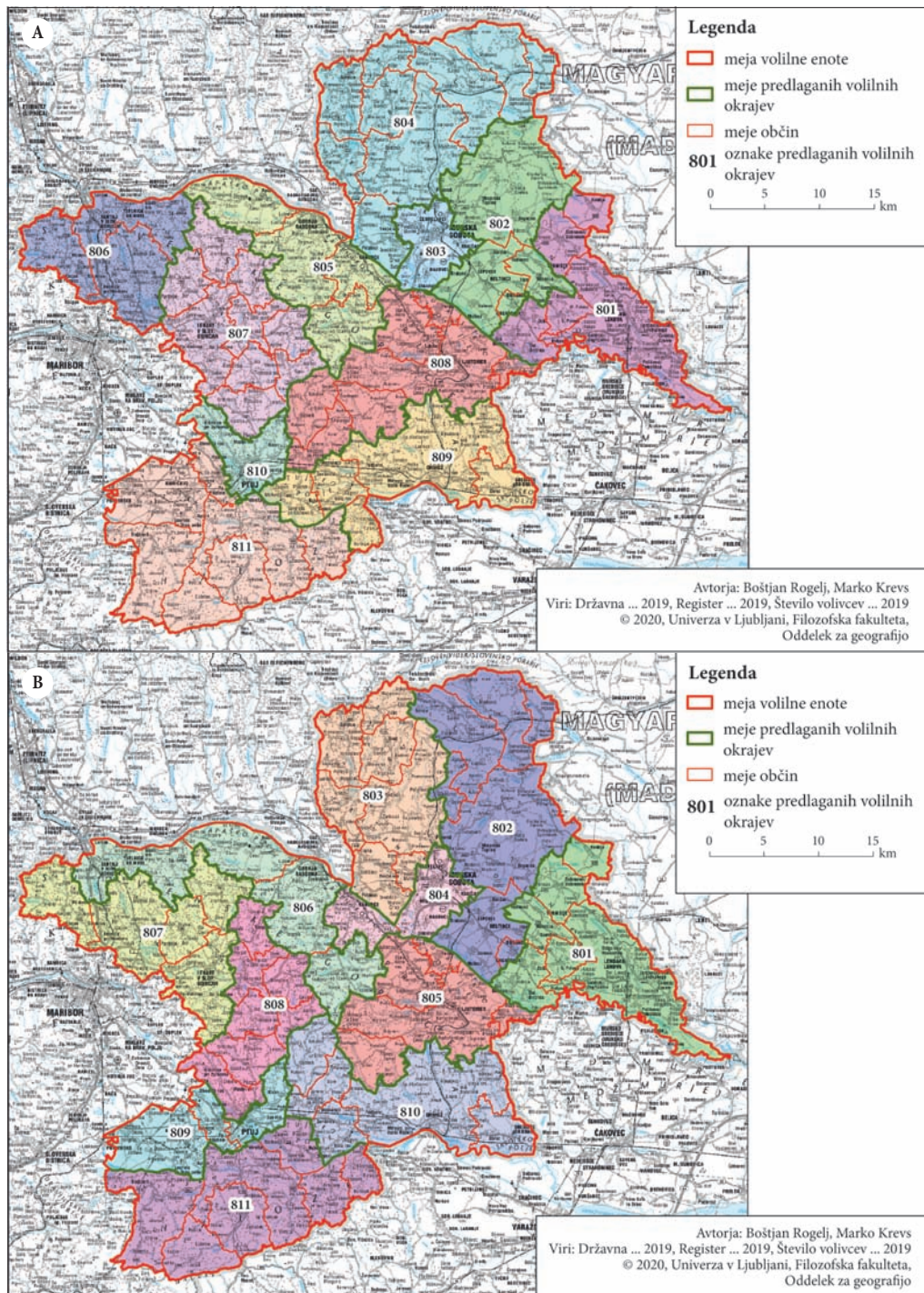


Slika 2: Za interaktivno oblikovanje volilnih okrajev je delovna skupina uporabila raznovrstna geoinformacijska orodja.



Slika 3: Primer preoblikovanja volilnih okrajev v volilni enoti 3, z vidnimi mejami različnih prostorskih enot, iz katerih so sestavljeni. Na območjih največjih zgoštevitev volivcev so volilni okraji sestavljeni iz prostorskih okolštev.

Slika 4: Primerjava dveh delitev volilne enote 8 na volilne okraje, izdelanih z interaktivno ekspertno metodo (a) ter s »polsamodejno« metodo (b). ►



geoinformacijske aplikacije za oblikovanje volilnih okrajev (Plestenjak, Trunkl in Šević 2019), ki je sicer dajala obetavne rezultate, a je bil časovni okvir celotnega projekta za njeno izpopolnjevanje žal prekratek. Na sliki 4 na primeru volilne enote 8 vidimo, da so rešitve »nesamodejnega« in »polsamodejnega« pristopa k oblikovanju volilnih okrajev sicer na videz različne, a tudi »polsamodejna« metoda večinoma ponudi vsaj s količinskega vidika sprejemljive rezultate.

Predstavitvi načel, meril in postopkov oblikovanja novih volilnih okrajev volilni komisiji, parlamentu, političnim strankam in predsedniku države (po zaključenih korakih 2, 3 in 4) je sledila priprava prvega predloga nove ureditve volilnih okrajev za vseh osem volilnih enot (korak 5). Uporabljena je bila zgoraj opisana »nesamodejna metoda«. Glede na pričakovane raznolike pripombe političnih strank, vključno z očitki o netransparentnosti in možni pristranskosti postopka izvedbe predloga volilnih okrajev, je delovna skupina predlagala in v sodelovanju z zunanjimi sodelavci s pomočjo orodja ArcGIS Online pripravila **spletno aplikacijo, ki omogoča političnim strankam podajanje alternativnih predlogov** volilnih okrajev (korak 6, slika 5; Jelen, Bojc in Veršič 2019). Kljub usposabljanju potencialnih uporabnikov aplikacije ter pozivom političnim strankam, da jo uporabijo za podajanje svojih predlogov, je bil odziv zelo skromen. Nekateri izmed bolj vztrajnih so priznali, da je naloga – kljub navidezni preprostosti – težje izvedljiva, kot so si predstavljali, zlasti če so poskusili podati predlog za vse volilne okraje v neki volilni enoti.

Na pobudo parlamentarnih strank je delovna skupina pripravila dopolnjen predlog ureditve volilnih enot in volilnih okrajev (korak 7), ki dovoljuje večja odstopanja velikosti volilnih okrajev od povprečja (s +/-15 % na +/-25 %). Pobuda je terjala ponovno povečanje teže merila geografske zaokroženosti pri oblikovanju volilnih okrajev, kar v izjemnih primerih pomeni bistveno večja odstopanja od povprečne velikosti volilnega okraja kot v prvotnem predlogu oziroma vrnitev problemov, na katere je v obstoječi ureditvi volilnih okrajev opozorilo Ustavno sodišče.

Za **oceno uspešnosti odpravljanja očitanih pomanjkljivosti obstoječe delitve** ozemlja Slovenije na volilne okraje, ki jih prinašajo predlogi nove delitve na volilne okraje, je delovna skupina uporabila več kazalcev, na primer:

- posamična in skrajna odstopanja števila volivcev v volilnih okrajih od povprečnega števila volivcev v volilnih okrajih;
- delež volilnih okrajev, ki znatno odstopa od povprečne velikosti volilnih okrajev;
- število in delež volilnih okrajev, v katerih so razdeljene občine ali naselja.

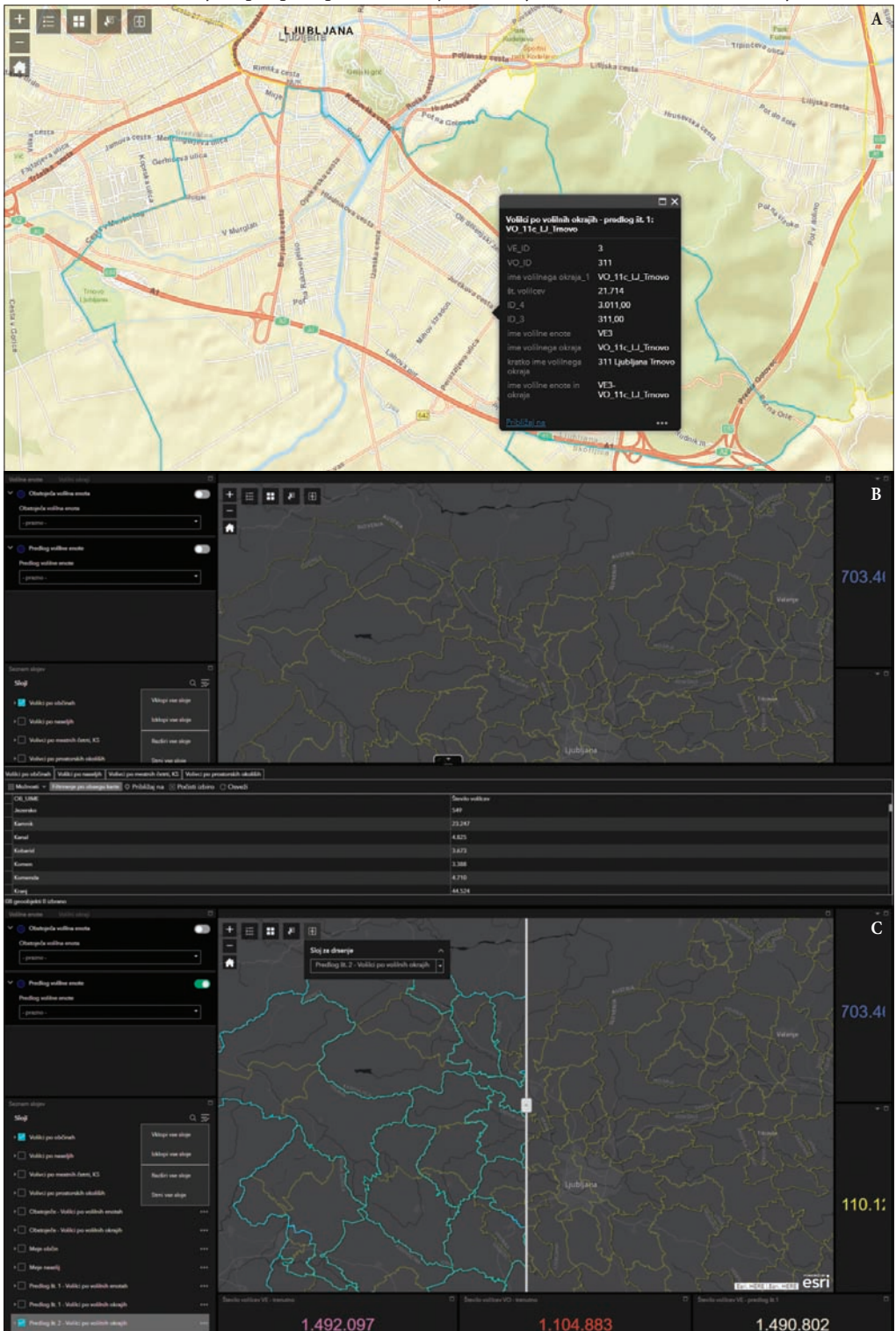
Prva navedena kazalca se nanašata na razlike v velikosti volilnih okrajev (prav te razlike so bile glavni razlog za odločitev Ustavnega sodišča, da je veljavna ureditev neustavna), tretji pa vsaj deloma na usklajenost mej volilnih enot z občinskimi mejami ter upoštevanje geografske zaokroženosti volilnih enot.

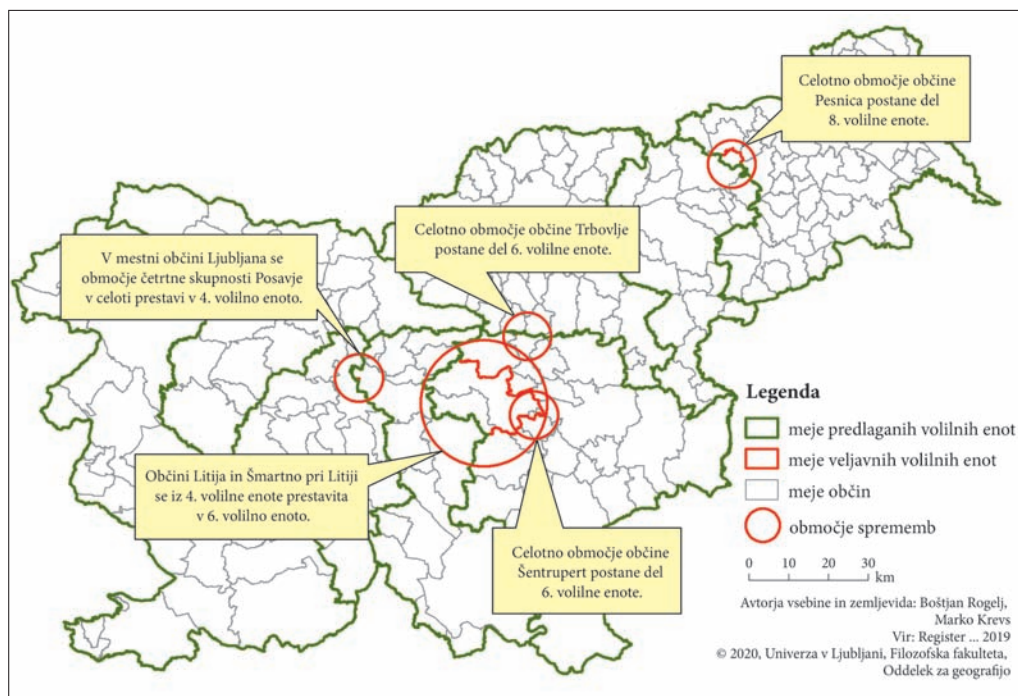
4 Predlogi volilnih enot in okrajev

Z izbranimi rezultati želimo ponazoriti različno uspešnost geoinformacijske podpore pri izvajanju projekta in doseganju njegovih ciljev. Sprva v projektu nismo nameravali spreminjati volilnih enot, razen manjših uskladitev z občinskimi mejami. Analize v koraku 1 pa so pokazale, da volilna enota 4 (Ljubljana-Vzhod) za več kot 5 % odstopa od povprečne velikosti volilnih enot, zato smo predlagali spremembo kot nujno (slika 6, preglednica 2). Vsi nadaljnji predlogi delitev ozemlja Slovenije na volilne okraje vključujejo tako spremenjene meje volilnih enot.

Slika 5: Primeri iz uporabe spletne aplikacije za interaktivno sestavljanje volilnih okrajev, ki so jo imele na voljo politične stranke: ogled izračunov za podani izbor območij (a), različni vpogledi v razpoložljive podatke (b) in uporaba drsnika za lažjo vizualno primerjavo med predlagano rešitvijo in drugimi sloji podatkov (c) (Jelen, Bojc in Veršič 2019; Veršič in Jelen 2019). ►

Geoinformacijska podpora preoblikovanju območij volilnih enot in volilnih okrajev

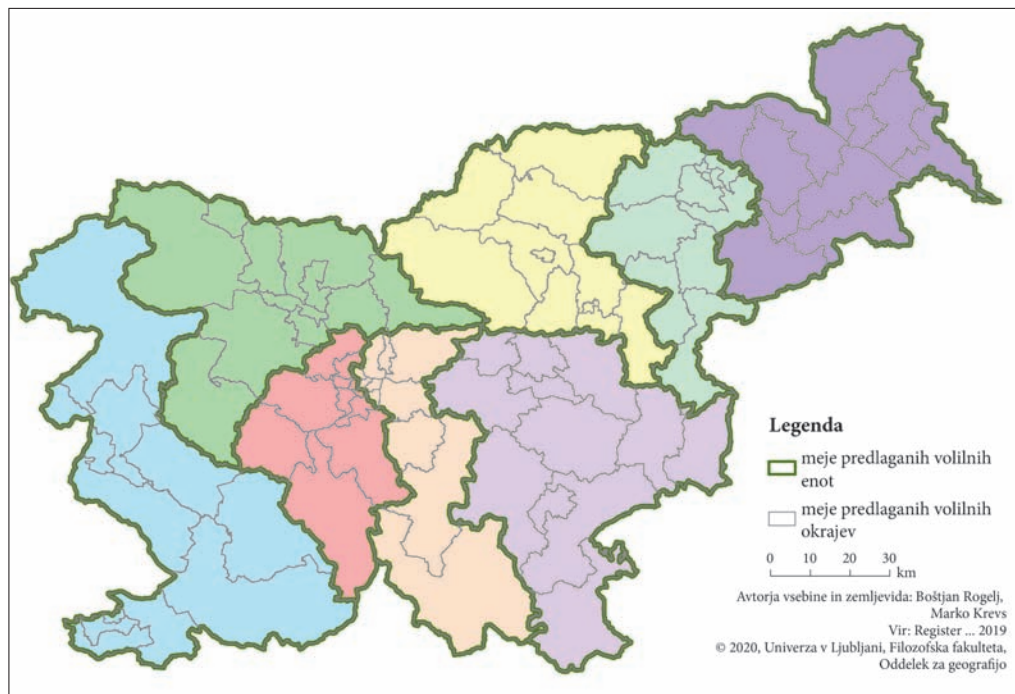




Slika 6: Usklajevanje meja volilnih enot z mejami občin in reševanje problema prevelikih velikostnih odstopanj volilnih enot 4 in 6 (Rogelj s sodelavci 2019b).

Preglednica 2: Z manjšimi spremembami meja volilnih enot sta odpravljeni dve večji odstopanji od načela enake volilne pravice (v volilnih enotah 4 in 6).

Volilna enota	veljavna ureditev		predlagana ureditev	
	število volivcev	indeks velikosti (212.933 = 100)	število volivcev	indeks velikosti (212.933 = 100)
VE 1	209.353	98,3	209.353	98,3
VE 2	209.836	98,5	209.836	98,5
VE 3	218.667	102,7	218.659	102,7
VE 4	225.951	106,1	208.888	98,1
VE 5	214.138	100,6	214.124	100,6
VE 6	202.434	95,1	219.511	103,1
VE 7	211.726	99,4	210.431	98,8
VE 8	211.367	99,3	212.662	99,9



Slika 7: Primer različice predloga delitve Slovenije na volilne enote in volilne okraje (do 15 % odstopanje od povprečnega števila volivcev v volilnem okraju).

Preglednica 3: Rezultati geoinformacijsko podprtega ugotavljanja upoštevanja postavljenih meril: primerjava predlagane (različica, ki dovoljuje do 15 % velikostna odstopanja) in veljavne ureditve volilnih okrajev na podlagi izbranih kazalcev.

	VELJAVNA UREDITEV	PREDLAGANA UREDITEV
število volilnih okrajev	88	88
povprečna velikost volilnega okraja (število volivcev)	19.358	19.358
največji volilni okraj	Grosuplje	Ljubljana - Vič
velikost največjega volilnega okraja	31.694 (+63,7 %)	22.268 (+15,03 %)
odstopanje največjega volilnega okraja od povprečja	+12.336	+2910
najmanjši volilni okraj	Hrastnik	Železniki
velikost najmanjšega volilnega okraja	7945 (-59,0 %)	16.454 (-15,0 %)
odstopanje najmanjšega volilnega okraja od povprečja	-11.413	-2904
razlika med največjim in najmanjšim volilnim okrajem	23.749	5814
število volilnih okrajev, ki od povprečja odstopajo manj kot 15% (-/+ 15%)	40	86
število volilnih okrajev, ki od povprečja odstopajo več kot 15% (-/+ 15%)	48	2
število volilnih okrajev, ki od povprečja odstopajo manj kot 10% (-/+ 10%)	21	57
število občin, ki so razdeljene na 2 ali več volilnih okrajev	24	16
število razdeljenih občin, ki so manjše od največjega volilnega okraja	19	6
število naselij, ki so razdeljena na dva ali več volilnih okrajev	18	5

Na sliki 7 je predstavljena ena izmed končnih različic predlogov nove delitve države na volilne okraje, ki ustreza merilu največ 15 % odstopanja velikosti posameznega volilnega okraja od povprečja. Kot smo omenili v drugem poglavju, krčenje tovrstnih dovoljenih velikostnih odstopanj na ožji interval neposredno vpliva na pogostejše kršenje ali omejevanje ustrežanja zahtevam o geografski zaokroženosti volilnih okrajev, a to je bila posredna zahteva Ustavnega sodišča. Preglednica 3 in slika 8 nazorno dokazujeta, da smo z uporabljenimi metodami bistveno zmanjšali problem velikostnih razlik med volilnimi okraji – tako glede skrajnih velikostnih odstopanj posameznih volilnih okrajev od povprečja, razpona med največjim in najmanjšim volilnim okrajem, kot tudi deleža volilnih okrajev, ki znatno odstopajo od povprečja. Prav tako smo močno zmanjšali število delitev občin in naselij, kar vsaj delno odraža uspešnost ohranjanja geografske celovitosti volilnih okrajev. Med sestavljanjem volilnih okrajev smo poskušali ohranjati njihovo geografsko zaokroženost tudi na načine, ki jih omenjeni izračuni v preglednici 3 ne zajamejo, na primer z razmislekom o tem, katere (nerazdeljene) občine ali naselja združujemo med seboj. Vendar smo bili ob tem večkrat omejeni z vidika velikostnih omejitev volilnih okrajev.

5 Sklep

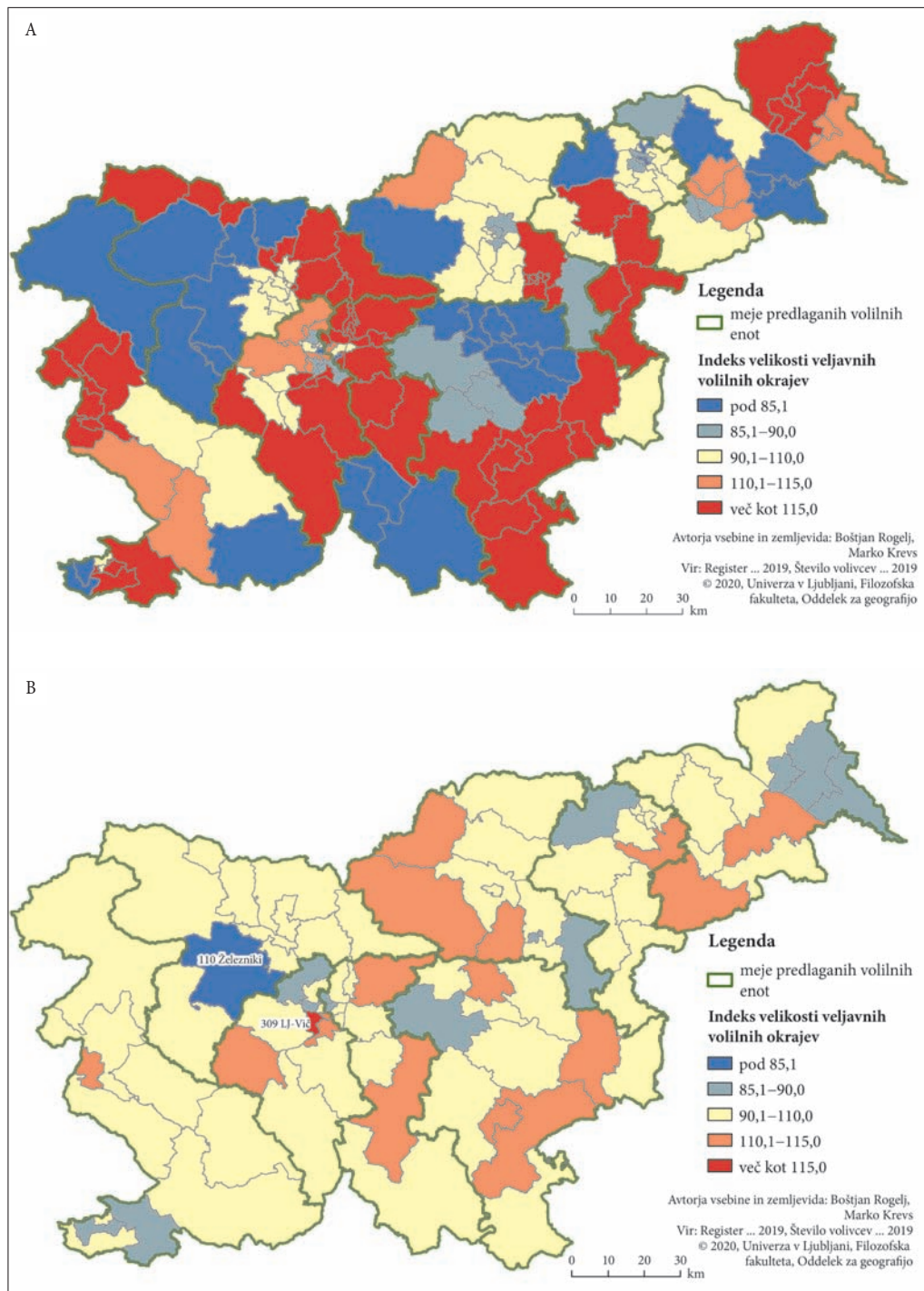
Med izvajanjem projekta smo ugotovili, da se soočamo z nekaterimi zelo podobnimi izzivi, kakršne je imela delovna skupina za oblikovanje volilnih okrajev v Sloveniji leta 2000: podobna časovna omejitev, podobno ohlapna merila za opredeljevanje volilnih okrajev ter reševanje ključne metodološke težave, da sta si upoštevanje merila velikostne izenačenosti volilnih okrajev in težnja k njihovi geografski zaokroženosti pogosto v nasprotju. V obziru pa v tukaj predstavljenem prispevku ugotavljamo nekaj pomembnih geoinformacijskih napredkov:

- splošen geoinformacijski razvoj, boljša geoinformacijska opremljenost, tozadevno znanje in izkušnje sodelujočih v projektu so se odrazili v učinkovitejšem in odzivnejšem sodelovanju delovne skupine in zunanjih sodelavcev;
- izpopolnitev »nesamodejnega« interaktivnega postopka ekspertnega oblikovanja volilnih okrajev, ki je delovni skupini omogočala izboljšanje hkratne osredotočenosti na »lokalno« (znotraj volilnega okraja) in »globalno« (znotraj volilne enote) rešitev;
- izvedba poskusnega »polsamodejnega« postopka oblikovanja volilnih okrajev;
- vključitev političnih strank v podajanje predlogov sprememb volilnih okrajev s pomočjo spletne interaktivne geoinformacijske aplikacije;
- izboljšanje merjenja učinkovitosti upoštevanja velikostnih meril za oblikovanje volilnih okrajev ter vsaj delno uveljavljanje geografske zaokroženosti volilnih okrajev.

Kljub temu, da je napredek na področju uveljavljanja geoinformacijsko podprte samodejnosti pri oblikovanju volilnih okrajev zastal v poskusni fazi, menimo, da so pridobljene izkušnje obetavne. Med izzivi, ki ostajajo za morebitne prihodnje poskuse podajanja predlogov volilnih okrajev, izpostavljamo učinkovitost doseganja geografske zaokroženosti. Ta bo tudi v prihodnje težko izvedljiva in merljiva, dokler ne bodo podana nedvoumna količinska merila za njeno opredelitev. Ustrežanje velikostnim merilom že zdaj dobro merimo, tudi tukaj pa ostaja problem nedorečenosti še sprejemljivih mejnih vrednosti. Z nedvoumno opredelitvijo slednjih bi bila pravila jasnejša, s čimer bi se zmanjšala potreba po vsakokratnih političnih razpravah, katera mera je prava.

Ne glede na to, ali bodo rezultati predstavljenega projekta dejansko uporabljeni, je pridobljeno znanje lahko pomembno in uporabno za snovalce in izvajalce drugih administrativnih delitev ozemlja Slovenije. Tudi zato je predvideno nadaljnje raziskovalno ukvarjanje s samodejnim izvajanjem tovrstnih postopkov, ki je bilo zastavljeno in žal zaradi pomanjkanja časa le delno izvedeno v sklopu tega projekta.

Slika 8: Primerjava odstopanj volilnih okrajev od povprečne velikosti volilnega okraja v veljavni (a) in predlagani (b) delitvi na volilne okraje (različica predloga, ki dovoljuje do 15% odstopanja). ►



ZAHVALA: Majhna strokovna delovna skupina je delo opravila v postavljenih okvirih v veliki meri zaradi sodelovalnega vzdušja in konstruktivnosti vseh udeleženi, za kar se jim avtorji iskreno zahvaljujemo. Delo Medresorske delovne skupine za pripravo sprememb in dopolnitev ZVDZ je večji del trajanja projekta koordinirala mag. Mateja Prešern, v zadnjem delu mag. Aleš Veršič, oba z Ministrstva za javno upravo. Poleg avtorjev članka in vodje delovne skupine, ki so bili v strokovno delo skupine vključeni ves čas, so bili zunanji strokovni sodelavci pri izvedbi geoinformacijskih rešitev Dragan Šević, Andrej Trunkl, Erik Plestenjak, Alenka Jelen in David Bojc, vsi iz podjetja GDi d. o. o., Ljubljana.

6 Viri in literatura

- Altman, M., MacDonald, K., McDonald, M. 2005: From crayons to computers: the evolution of the computer use in the redistricting. *Social Science Computer Review* 23-3. DOI: <https://doi.org/10.1177/0894439305275855>
- Altman, M., McDonald, M. P. 2010: The promise and perils of computers in redistricting. *Duke Journal of Constitutional Law and Public Policy* 5.
- Crampton, J. W. 2013: Commentary: Political applications of the geoweb: Citizen redistricting. *Environment and Planning A: Economy and Space* 45-1. DOI: <https://doi.org/10.1068/a44486>
- Državna pregledna karta Republike Slovenije, merilo 1 : 250.000. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2019.
- Eagles, M., Katz, R. S., Mark, D. 1999: GIS and redistricting: Emergent technologies, social geography, and political sensibilities. *Social Science Computer Review* 17-1. DOI: <https://doi.org/10.1177/089443939901700101>
- Eagles, M., Katz, R. S., Mark, D. 2000: Controversies in political redistricting: GIS, geography, and society: Editorial. *Political Geography* 19-2. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0962-6298\(99\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0962-6298(99)00044-X)
- Jelen, A., Bojc, D., Veršič, A. 2019: Predlog sprememb območij volilnih enot in volilnih okrajev. Spletna ArcGIS Online aplikacija, namenjena političnim strankam, GDi d. o. o. Ljubljana.
- Krevs, M. 2000: Uporaba GIS-a pri oblikovanju volilnih okrajev v Sloveniji. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999-2000*, GIS v Sloveniji 5. Ljubljana.
- Odločba U-I-32/15-56, izdana 8. 11. 2018. Ustavno sodišče Republike Slovenije. Ljubljana, 2018.
- Plestenjak, E., Trunkl, A., Šević, D. 2019: Aplikacija za pol-samodejno oblikovanje volilnih okrajev. Pilotna izvedba. Python skripti, interno gradivo, GDi d. o. o. Ljubljana.
- Ravbar, M. 2000: Delovna skupina za pripravo volilnih okrajev v okviru predloga zakona o volitvah poslank in poslancev. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO2551> (23. 2. 2020). Register prostorskih enot (stanje: april 2019). Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2019.
- Reynolds, A., Reilly, B. 1997: *The International IDEA Handbook of Electoral System Design*. Stockholm.
- Rogelj, B. 2011: *Političnogeografska analiza volilnega sistema volitev v Državni zbor Republike Slovenije*. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Rogelj, B. 2012: Ureditev volilnih enot v državnozborskem volilnem sistemu. *Dela* 37. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.37.107-128>
- Rogelj, B., Krevs, M., Prešern, M., Veršič, A. 2019a: Predlog sprememb območij volilnih enot in volilnih okrajev. Poročilo Medresorske delovne skupine za pripravo sprememb in dopolnitev ZVDZ, 2. del, 28. avgust 2019. Ministrstvo za javno upravo Republike Slovenije. Ljubljana.
- Rogelj, B., Krevs, M., Prešern, M., Veršič, A. 2019b: Dopolnjen predlog sprememb območij volilnih enot in volilnih okrajev. Poročilo Medresorske delovne skupine za pripravo sprememb in dopolnitev ZVDZ, 3. del, 18. november 2019. Ministrstvo za javno upravo Republike Slovenije. Ljubljana.
- Število volivcev po hišnih številkah za območje Slovenije (stanje: april 2019). Centralni register prebivalstva. Ministrstvo za notranje zadeve. Ljubljana, 2019.

Veršič, A., Jelen, A. 2019: Uporabniška navodila za uporabo spletne aplikacije »Predlog sprememb območij volilnih enot in volilnih okrajev«. Uporabniška navodila, Ministrstvo za javno upravo Republike Slovenije in GDİ d. o. o. Ljubljana.

Zakon o določitvi volilnih enot za volitve poslancev v državni zbor. Uradni list Republike Slovenije 24/2005. Ljubljana.

Zakon o volitvah v državni zbor. Uradni list Republike Slovenije 109/2006, 54/2007 in 23/1017. Ljubljana.

POVEZANOST MED RAZŠIRJENOSTJO OKUŽBE S KORONAVIRUSOM IN DELOVNO MOBILNOSTJO MED OBČINAMI V SLOVENIJI

dr. Samo Drobne

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

samo.drobne@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4859-3920>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_11

UDK: 331.556:616-036.22(497.4)

IZVLEČEK

Povezanost med razširjenostjo okužbe s koronavirusom in delovno mobilnostjo med občinami v Sloveniji

V prispevku analiziramo povezanost delovne mobilnosti s širjenjem koronavirusne bolezni 2019 (COVID-19) v Sloveniji. Rezultati študije kažejo, da so bolj odporne na okužbo občine, ki imajo manj kontaktov delovne mobilnosti z drugimi občinami. Zato je pomembno ob pojavu okužbe pravočasno omejiti vožnje na delo.

KLJUČNE BESEDE

delovna mobilnost, koronavirus, SARS-CoV-2, COVID-19, okužba, občina, Slovenija

ABSTRACT

The correlation between the spread of infections by coronavirus and labour commuting mobility between municipalities in Slovenia

In this paper, we analyse the correlation of labour commuting mobility with the spread of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Slovenia. The results of the study show that municipalities that have fewer labour commuting contacts with other municipalities are more resistant to infection. In the event of infection, it is therefore important to limit driving to work in a timely manner.

KEY WORDS

labour commuting, coronavirus, SARS-CoV-2, COVID-19, infection, municipality, Slovenia

1 Uvod

Znano je, da mobilnost prebivalstva prispeva k razširjanju okužb (Charaudeau, Pakdaman in Boëlle 2014; Panigutti s sodelavci 2017; Zhou s sodelavci 2019). V tem prispevku analiziramo povezanost delovne mobilnosti s širjenjem koronavirusne bolezni 2019 (COVID-19) v Sloveniji. V nadaljevanju najprej navajamo nekaj ključnih dejstev in datumov, ki so pomembni za spremljanje dogajanja povezanega s pojavom okužbe, njenega širjenja in ukrepov za preprečevanje okužbe.

Koronavirusna bolezen 2019 (COVID-19) je nalezljiva bolezen, ki jo povzroča koronavirus SARS-CoV-2. Širi se predvsem s kapljicami, ki jih okužene osebe ustvarjajo ob kašlju in kihanju. Povprečna doba do pojava znakov okužbe znaša 5,5 dni; v skoraj vseh primerih se znaki okužbe pokažejo do 12. dneva (Lauer s sodelavci 2020). Okužba se pri nekaterih sploh ne izrazi ali pa je zelo blaga, lahko pa napreduje v pljučnico in sindrom nenadne dihalne stiske. Na voljo ni nobenega cepiva ali posebnega protivirusnega zdravljenja (podatek velja za maj 2020). Svetovna zdravstvena organizacija je poročala, da so do 1. 5. 2020 zaznali preko 3.175.207 primerov okužbe, od tega je 224.172 obolelih umrlo (Coronavirus disease ... 2020). Na ta dan je bilo v Sloveniji 1439 potrjeno okuženih in 93 umrlih (COVID-19 Sledilnik 2020).

Prvi primer COVID-19 je bil zaznan sredi novembra 2019 na Kitajskem (Davidson 2020). Zaradi globalnega širjenja okužbe je Svetovna zdravstvena organizacija 11. 3. 2020 proglašila pandemijo (WHO Director-General's ... 2020). Republika Slovenija (RS) je epidemijo razglasila 12. 3. 2020 (Ukrepi za ... 2020). RS je po tem datumu sprejela številne ukrepe in priporočila za zajezitev širjenja bolezni COVID-19 v Sloveniji. Letalski promet je bil ustavljen, zaprle so se meje s sosednjimi državami z nekaj izjemami oziroma kontrolnimi točkami, ob prihodu v državo je bila obvezna 14-dnevna karantena. S 16. 3. 2020 so se zaprle vse vzgojno-izobraževalne ustanove, ustavil se je javni potniški avtobusni in železniški promet, prepovedala se je ponudba ter prodaja blaga in storitev neposredno potrošnikom, delovanje upravnih enot se je omejilo na opravljanje nujnih nalog. 20. 3. 2020 se je prepovedalo zbiranje ljudi na javnih shodih, prireditvah in drugih dogodkih na javnih krajih. 30. 3. 2020 pa se je omejilo gibanje večine prebivalstva na območje občine. 4. 4. 2020 se je prilagodil obratovalni čas trgovin z vsakdanjo potrošnjo za posebej ranljive skupine. 12. 4. 2020 se je obvezna karantena ob prihodu v državo skrajšala na 7 dni. 18. 4. 2020 so se začele sproščati omejitve glede gibanja med občinami. 20. 4. 2020 so se začele sproščati nekatere dejavnosti (gradnja, servisi, šport na prostem, nekateri linijski prevozi). 29. 4. 2020 so se pod posebnimi pogoji začele odpirati knjižnice, galerije, muzeji in podobno. 30. 4. 2020 se je sprostil ukrep prepovedi gibanja izven občin. 4. 5. 2020 pa so se pod posebnimi pogoji začele odpirati tržnice, strežba na terasah, trgovine do 400 m², kozmetični in frizerski saloni (COVID-19 Sledilnik 2020; Ukrepi za ... 2020).

Podatke o delovni mobilnosti (DM) med občinami Slovenije zbira in posodablja Statistični urad RS (SURS) v Statističnem registru delovno aktivnega prebivalstva (SRDAP) (Delovno aktivno prebivalstvo ... 2020), kjer sta na voljo kraj bivanja in kraj dela zaposlenega. SRDAP vsebuje podatke o zaposlenih in samozaposlenih osebah v delovnem razmerju, starih nad 15 let, na območju RS (zajetje je popolno, vendar so izvzeti kmetje), za katere sta znani obe ozemeljski enoti, tako enota delovnega mesta kot tudi enota prebivališča. V primeru, da ima posameznik začasno prebivališče, se v registru upošteva slednje. Po podatkih SURS (Delovne migracije ... 2020) je bilo ob koncu leta 2019 v Sloveniji nekaj manj kot 881.900 delovno aktivnih oseb (pri čemer kmetje niso bili upoštevani). Glede na leto 2018 se je število delovno aktivnih oseb povečalo za 2 % (17.500 delovno aktivnih oseb). Od vseh delovno aktivnih oseb jih je 53,1 % (468.600 oseb) odhajalo na delo v drugo občino. Najbolj obremenjena z delovno mobilnostjo ponornih tokov (tokov prihodov delovno mobilnih iz drugih občin) kot tudi izvornih tokov (tokov odhodov delovno mobilnih v druge občine) je bila občina Ljubljana, saj je vanjo dnevno (ali kako drugače) prihajalo na delo nekaj več kot 129.200 oseb iz drugih občin, hkrati pa je iz nje odhajalo na delo v druge občine okoli 23.300 njenih delovno aktivnih prebivalcev. Vsi tokovi delovne mobilnosti za občino Ljubljana so torej znašali okoli 152.500 delovno aktivnih oseb, trikrat manj delovne mobilnosti je

bilo v občini Maribor (okoli 46.100); sledile so občine Celje (28.100), Kranj (26.100) in Koper, kjer je bilo nekaj več kot 18.500 delovno mobilnih v obeh smereh (Delovne migracije ... 2020).

Podatke o razširjanju bolezni COVID-19 v Sloveniji smo pridobili preko spletne aplikacije COVID-19 Sledilnik (2020), ki je nastala v okviru istoimenskega projekta. V okviru tega projekta se zbirajo, analizirajo in objavljajo podatki o širjenju koronavirusa SARS-CoV-2 v Sloveniji. Podatki se zbirajo iz različnih javno dostopnih virov, od 28. 3. 2020 dalje pa je bila v okviru projekta vzpostavljena neposredna povezava z zdravstvenimi zavodi in Nacionalnim inštitutom za javno zdravje (NIJZ) (COVID-19 Sledilnik 2020).

Zadnji razpoložljivi podatki na dan 5. 5. 2020 nakazujejo, da se je v Evropi začel širiti koronavirus SARS-CoV-2 že v decembru 2019. V Franciji so namreč odkrili pacienta, ki so mu 27. 12. 2019 sicer diagnosticirali pljučnico, imel pa je novi koronavirus (Coronavirus: Franceš ... 2020).

Številni ukrepi Vlade RS po razglasitvi epidemije COVID-19 dne 12. 3. 2020 (Ukrepi za ... 2020) so omejili mobilnost prebivalcev. Poleg omejitve mobilnosti na področju osnovnošolskega, srednješolskega in visokošolskega izobraževanja, se je omejila tudi mobilnost delovno aktivnega prebivalstva. Po rezultatih študije ponudnika mobilnih storitev A1 se je mobilnost v Sloveniji na delovni dan zmanjšala v povprečju za 40 % (Analiza ukrepov ... 2020). V raziskavi so primerjali mobilnost strank pred razglasitvijo pandemije na dan 22. 1. 2020 ter v času pandemije do zadnjega aktivnega dne. Podobne ugotovitve je objavila Družba za avtoceste v RS (DARS). Ta je ugotovila, da je do 24. 3. 2020 promet na najbolj obremenjenih odsekih avtocestnega križa upadel za okoli 40 % (Avtoceste napol prazne ... 2020). Nekoliko večje zmanjšanje delovne mobilnosti v Sloveniji pa je ocenila Googlova študija (Google COVID-19 ... 2020), po kateri se naj bi delovna mobilnost na splošno – ne samo med občinami Slovenije, kot jo obravnavamo v tem prispevku – zmanjšala za okoli 50 %. Iz zapisanega sklepamo, da se je v Sloveniji v času od razglasitve epidemije COVID-19 v sredini marca pa do 5. 5. 2020, delovna mobilnost v povprečju zmanjšala za 40–50 %.

Temeljna domneva, ki smo jo preizkusili v tem prispevku, je bila, da je delovna mobilnost med občinami statistično značilno povezana s širjenjem okužbe z novim koronavirusom SARS-CoV-2 v Sloveniji.

2 Metoda dela

Analizo povezanosti delovne mobilnosti in razširjanja bolezni COVID-19 v Sloveniji smo izvedli s pomočjo podatkov o delovni mobilnosti med občinami Slovenije, nekaterih drugih statističnih demografskih podatkov ter podatkov o širjenju koronavirusa SARS-CoV-2 po občinah Slovenije.

Podatke o delovni mobilnosti smo pridobili iz statističnega registra SRDAP (Delovno aktivno prebivalstvo 2020). V izogib enoletnim vplivom smo – namesto obravnave tokov delovne mobilnosti zgolj za zadnje razpoložljivo obdobje, to je leto 2019 – za potrebe analize izračunali povprečne tokove delovne mobilnosti za zadnja štiri leta, to je za obdobje 2016–2019. Analizirali smo povezanost štirinajstih parametrov delovne mobilnosti z okuženostjo po občinah:

- število izvornih interakcij občine (število občin, v katere se izvaja delovna mobilnost),
- število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v druge občine,
- povprečno število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v druge občine, na interakciji izvora,
- število ponornih interakcij občine (število občin, iz katerih se izvaja delovna mobilnost),
- število delovno aktivnih iz drugih občin, ki se vozijo na delo v občino,
- povprečno število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v občino, na interakciji ponora,
- indeks delovne mobilnosti,
- število delovnih mest v občini,
- odstotek delovnih mest v občini glede na Slovenijo,
- število delovnih mest na prebivalca,
- število delovno aktivnih v občini,

- število delovno aktivnih, ki delajo v občini,
- odstotek delovno aktivnih, ki delajo v občini (odstotek delovnih mest v občini, ki jih zasedajo domači prebivalci),
- odstotek delovnih mest v občini, ki jih zasedejo delovno aktivni iz drugih občin.

Vse v analizo povezanosti vključene parametre delovne mobilnosti smo obravnavali kot povprečne vrednosti v letih 2016–2019, razen indeksa delovne mobilnosti, ki se je nanašal na leto 2019.

V analizo smo vključili tudi nekatere demografske podatke. Za novo virusno boleznijo COVID-19 lahko zbolijo kdor koli, ne glede na starost. Starejši ljudje in tisti, ki imajo že zdravstvene težave (na primer astmo, sladkorno bolezen, bolezen srca) so bolj ogroženi, saj je potek bolezni pri njih lahko težji (Koronavirus (SARS-CoV-2) ... 2020). Zato smo v analizi posebej obravnavali tudi vpliv starostne strukture populacije ter kapacitet za oskrbo starostnikov po občinah. Omenjene demografske in druge podatke smo pridobili iz statistične baze SiStat (Demografsko in socialno področje ... 2020). Analizirali smo povezanost števila prebivalcev, gostote prebivalstva, zasedenosti prostora po občinah, povprečne starosti, indeksa staranja, odstotka starih 65 let in več, odstotka starih 80 let in več ter števila postelj v domovih za ostarele v občini z okuženostjo s koronavirusom v občini. Omenjeni demografski podatki veljajo za dan 1. 7. 2019.

Podatke o okuženosti s koronavirusom SARS-CoV-2 po občinah smo pridobili v okviru projekta COVID-19 Sledilnik (2020) za dan 23. 4. 2020. Okuženost občine z virusom je bila beležena kot število dni od zadnje potrjene okužbe, pri čemer so bili podatki na intervalu med 1 in 48 dnevi, za občine, ki niso imele potrjenega primera okužbe, pa smo za potrebe analize predpostavili vrednost 55. Zabeleženi so primeri okužbe v posamezni občini (neodvisno od stalnega prebivališča okuženega). V primeru starostnikov v domovih za ostarele pa le-ti spremenijo stalno prebivališče ob prihodu v dom.

Analizo statistične povezanosti širjenja COVID-19 v Sloveniji z obravnavanimi posameznimi spremenljivkami smo izvedli s pomočjo testa korelacije. Korelacijo smo računali s Spearmanovim koeficientom ρ .

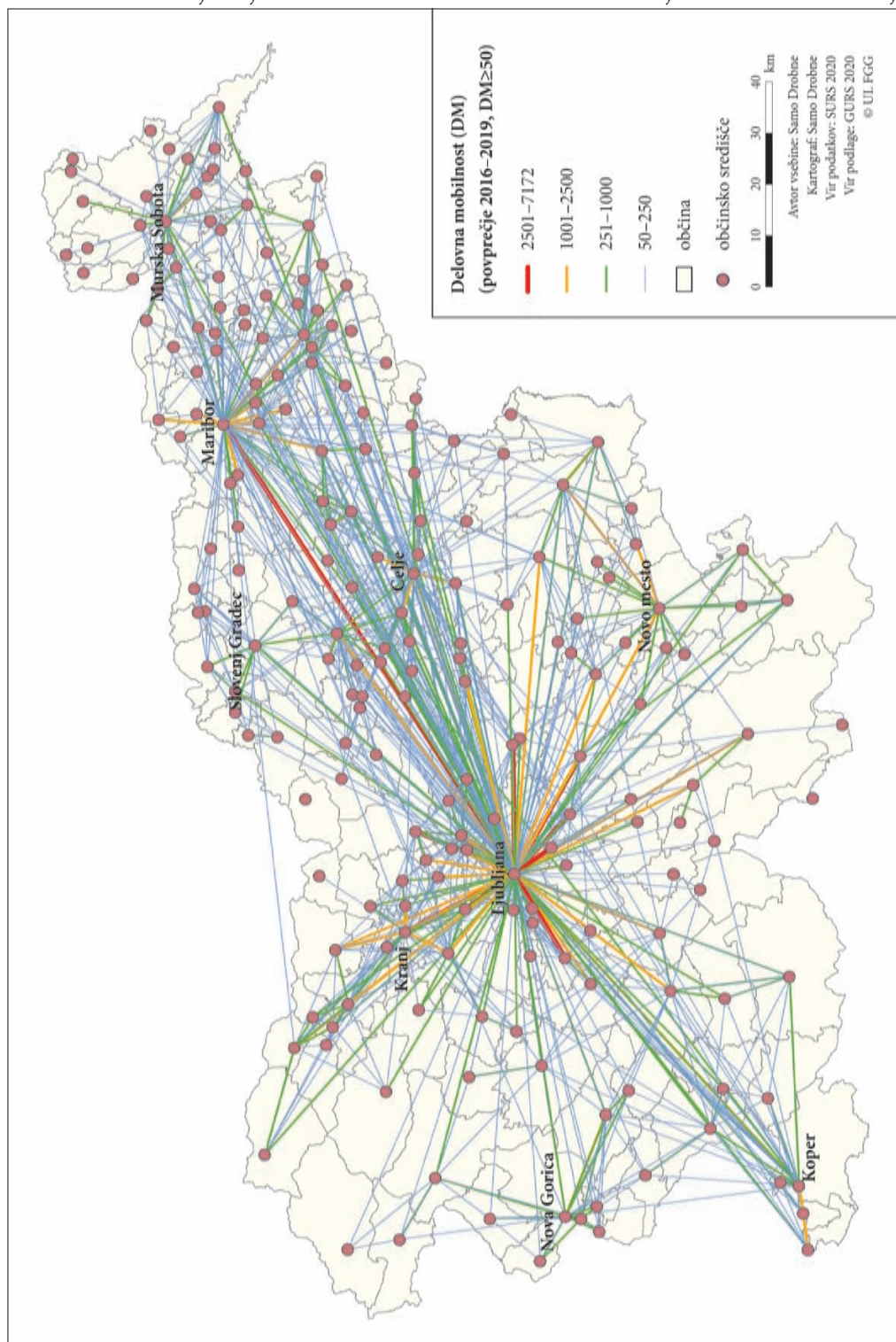
3 Rezultati

Modeliranje in upodobitev tokov delovne mobilnosti med 212 občinami Slovenije v obdobju 2016–2019 sta izkazala prevladujočo vlogo najmočnejšega zaposlitvenega središča v Sloveniji, to je Mestne občine Ljubljana (MOL) (slika 1). MOL je v tem obdobju imela okoli 223.900 delovnih mest, kar je 26,6 % vseh delovnih mest v Sloveniji. Sledile so ji občine Maribor s približno 59.700 (7,1 %) delovnih mest, Celje s približno 29.100 (3,5 %) delovnih mest, Novo mesto s približno 24.500 (2,9 %) delovnih mest, Kranj s približno 24.300 (2,9 %) delovnih mest in Koper/Capodistria s približno 24.000 (2,9 %) delovnih mest. Občine, ki so še imele 1 % ali več delovnih mest v Sloveniji so bile: Velenje, Nova Gorica, Ptuj, Murska Sobota, Domžale, Škofja Loka, Krško, Žalec, Kamnik in Slovenska Bistrica. Ti rezultati so skladni s številnimi prejšnjimi raziskavami delovne mobilnosti v Sloveniji (Gabrovec in Bole 2009; Bole 2011; Drobne, Rajar in Lisec 2013; Delovne migracije 2020). Občine, ki imajo veliko delovnih mest, so potencialna žarišča hitrega širjenja COVID-19, saj vanje dnevno prihaja na delo veliko delavcev vozačev, nato pa se vračajo v občine prebivališča. Občine z velikim številom delovnih mest imajo tudi veliko ostalih spremljevalnih dejavnosti (trgovine, storitve, uprava in tako dalje), kar lahko še posebej pospeši hitro širjenje okužbe izven meja teh občin.

Pregled okuženosti z novim koronavirusom SARS-CoV-2 v slovenskih občinah na dan 23. 4. 2020 (slika 2) je izkazal dejstvo, da je bilo na ta dan v Sloveniji kar 62 občin, v katerih ni bilo niti enega potrjenega primera okužbe. Večina teh občin leži v vzhodni Sloveniji ter ob meji s sosednjimi državami.

Slika 1: Delovna mobilnost med slovenskimi občinami (povprečje tokov 2016–2019; prikazani so samo tokovi s 50 delovno aktivnih in več). ►

Povezanost med razširjenostjo okužbe s koronavirusom in delovno mobilnostjo med občinami v Sloveniji



V teh občinah je prebivalo 226.507 prebivalcev ali 11,03 % populacije v Sloveniji. Ugotovimo lahko tudi, da veliko neokuženih občin leži neposredno ob občinah, v katerih je prišlo do okužbe zgolj nekaj dni pred referenčnim datumom 23. 4. 2020. S slike 2 je tudi mogoče razbrati 50 občin, katere so imele zadnji potrjen primer okužbe z virusom pred več kot tremi tedni (22 dni ali več od zadnje potrjene okužbe v občini) – torej pred sprejetjem odloka Vlade RS o prepovedi gibanja izven občin. Vlada RS je namreč sprejela Odlok o začasni splošni prepovedi gibanja in zbiranja ljudi na javnih mestih in površinah v RS ter prepovedi gibanja izven občin, ki je začel veljati 30. 3. 2020 ob 00.00. Med občine, ki so potencialno obvladale okužbo na dan 23. 4. 2020, štejemo 76 občin, v katerih je preteklo več kot 14 dni od zadnje potrjene okužbe. Na dan 23. 4. 2020 je bilo v Sloveniji 74 »okuženih« občin, tj. občin, v katerih so potrdili zadnji primer okužbe pred dvema tednoma ali manj. Med njimi so bila vsa največja zaposlitvena središča Slovenije.

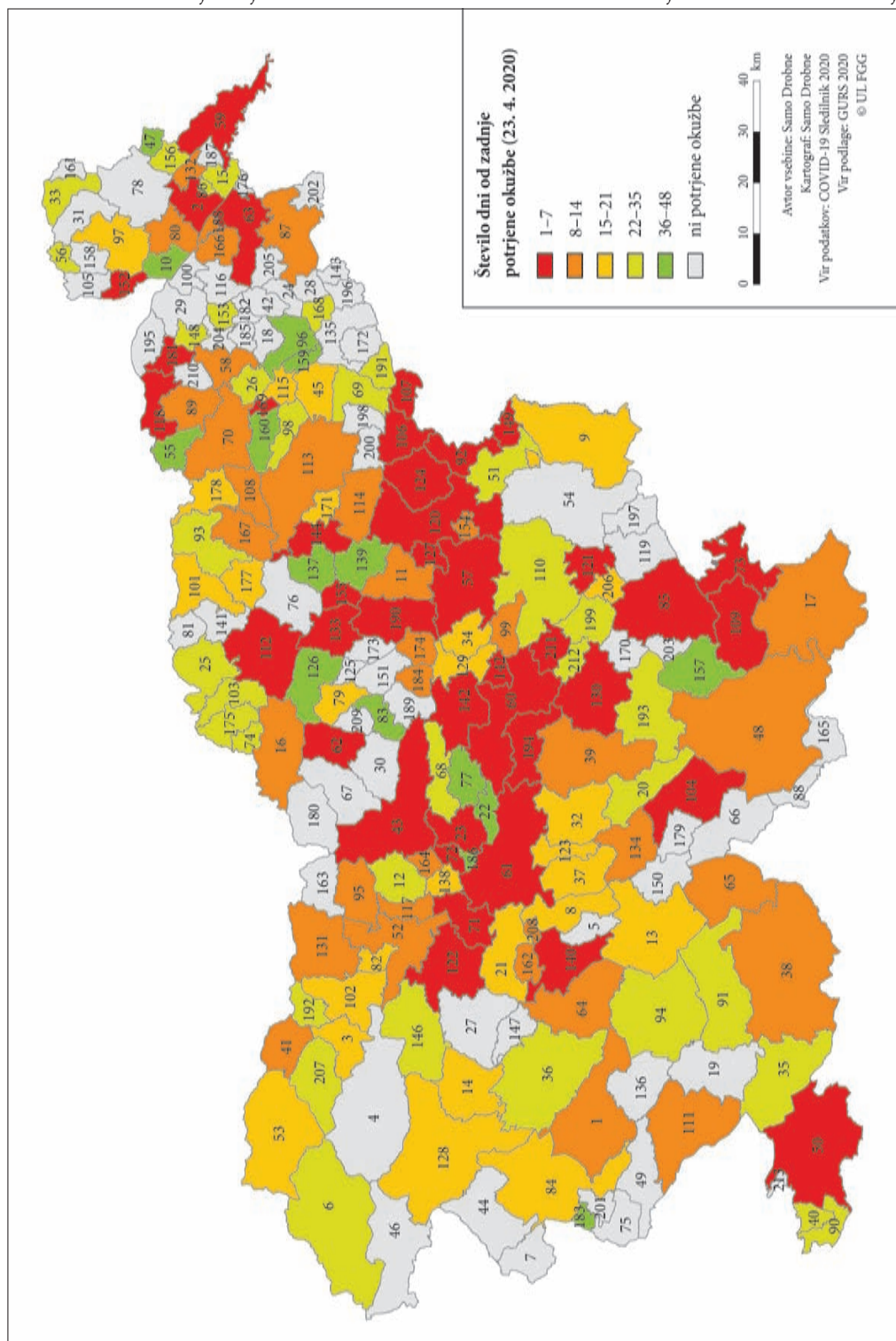
Analiza porazdelitve obravnavanih spremenljivk je pokazala, da se le-te ne porazdeljujejo normalno. Zato smo domnevo o povezanosti posameznih obravnavanih spremenljivk z okuženostjo v občini preizkusili s testom Spearmanovega koeficienta korelacije, ρ ., pri čemer · označuje posamezno obravnavano spremenljivko.

Analiza statistične povezanosti je pokazala, da je od vseh obravnavanih demografskih spremenljivk samo populacija (število prebivalcev v občini) zmerno povezana z okuženostjo v občini (preglednica 1): večje število prebivalcev ima občina, manj dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe. Gostota prebivalcev v občini (število prebivalcev na površino občine) in zasedenost občine (površina občine na število prebivalcev) sta, v nasprotju s pričakovanim, zgolj šibko povezana z okuženostjo. Za neznatno povezane z okuženostjo so se izkazale spremenljivke, s katerimi merimo starostno strukturo prebivalstva (povprečna starost, indeks staranja, odstotek starih 65/80 let in več). Kapaciteta oskrbe starostnikov v občini (število postelj v domovih za ostarele v občini) je šibko povezana z okuženostjo.

V nasprotju z zgoraj omenjenimi spremenljivkami pa so skoraj vse v analizo vključene spremenljivke delovne mobilnosti med občinami Slovenije zmerno povezane z okuženostjo, to je absolutne vrednosti Spearmanovega koeficienta korelacije so na intervalu 0,4–0,7. Te spremenljivke so:

- število izvornih interakcij iz občine oziroma število občin, v katere se izvaja delovna mobilnost; $\rho_{ST_IZV_INT} = -0,462$; manjše je število občin, v katere se izvaja delovna mobilnost, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v druge občine; $\rho_{SUM_DM_IZV} = -0,458$; manj delovno aktivnih se vozi na delo v druge občine, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- število ponornih interakcij v občino oziroma število občin, iz katerih se izvaja delovna mobilnost v občino; $\rho_{ST_PON_INT} = -0,498$; manjše je število občin, iz katerih se izvaja delovna mobilnost v občino, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo iz drugih občin; $\rho_{SUM_DM_PON} = -0,488$; manj delovno aktivnih se vozi na delo iz drugih občin, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- povprečno število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo iz drugih občin, na interakciji ponora v občino; $\rho_{PDM_NA_PON_INT} = -0,408$; manj delovne mobilnosti se v povprečju izvaja na interakciji ponora v obravnavano občino (manjše je število delovno aktivnih na povprečni poti na delo v občino), več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- število delovnih mest v občini; $\rho_{ST_DEL_MEST} = -0,498$; manjše je število delovnih mest v občini, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- delež delovnih mest v občini glede na Slovenijo; $\rho_{\%_DEL_MEST} = -0,498$; manjši delež delovnih mest je v občini glede na Slovenijo, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;

Slika 2: Število dni od zadnje potrjene okužbe z virusom SARS-CoV-2 v občini na dan 23. 4. 2020. Številke na zemljevidu so identifikatorji občin. ►



- h) število delovnih mest na prebivalca v občini; $\rho_{ST_DEL_MEST} = -0,417$; manjše je število delovnih mest na prebivalca v občini, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- i) število delovno aktivnih v občini; $\rho_{DEL_AKT} = -0,483$; manj delovno aktivnih je v občini, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- j) število delovno aktivnih, ki delajo v občini prebivališča; $\rho_{ST_DELA_DOMA} = -0,501$; manjše je število delovno aktivnih dela v občini prebivališča, več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih;
- k) delež delovno aktivnih, ki delajo v občini prebivališča; $\rho_{\%_DELA_DOMA} = -0,407$; manjši delež delovno aktivnih dela v občini prebivališča (večji delež se jih v normalnih razmerah vozi na delo v druge občine), več dni je preteklo od zadnje potrjene okužbe oziroma v občini ni okuženih.

Od spremenljivk delovne mobilnosti sta samo dve spremenljivki šibko povezani z okuženostjo, to je povprečno število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v druge občine, na interakciji izvora iz občine, in indeks delovne mobilnosti, medtem ko delež delovnih mest, ki jih zasedajo delovno aktivni iz drugih občin, ni statistično značilno povezan z okuženostjo v občini.

Zaradi prostorske omejitve prispevka prikazujemo zgolj nekaj tipičnih spremenljivk delovne mobilnosti, ki so statistično značilno zmerno povezane z okuženostjo v občini. V ta namen prikazujemo število izvornih interakcij občine (slika 3), število delovno aktivnih v občini, ki se vozijo na delo v druge občine (slika 4), število ponornih interakcij (slika 5) in odstotek delovno aktivnih, ki delajo v občini izvora (slika 6). Medtem ko so prve tri omenjene spremenljivke pričakovano negativno povezane z okuženostjo s koronavirusom v občini, pa je rezultat negativne povezanosti odstotka delovno aktivnih, ki delajo v občini, nepričakovan.

4 Razprava

Zmerna povezanost enajstih (in šibka povezanost dveh) spremenljivk delovne mobilnosti z okuženostjo z virusom SARS-CoV-2 v občini potrjuje domnevo o povezanosti delovne mobilnosti in širjenja COVID-19 v Sloveniji. Rezultati analize namreč kažejo, da so bolj odporne na okužbo občine, ki imajo manj kontaktov z drugimi občinami – tako po številu interakcij kot tudi po številu delavcev vozačev. Med bolj odporne občine spadajo tudi občine z manjšim številom delovnih mest (absolutno, relativno glede na Slovenijo, kot tudi na prebivalca v občini), saj tiste z večjim številom delovnih mest predstavljajo številčnejše ponore interakcij.

Nekoliko presenetljiv je rezultat, da so širjenju COVID-19 bolj uspešno kljubovale občine, z manjšim številom presenetljivih, ki delajo v domači občini, oziroma katerih manjši delež delovno aktivnega prebivalstva dela v domači občini. To so občine, iz katerih se v normalnih razmerah vozi na delo v druge občine večje število ali večji delež delovno aktivnih. Toda primerjava slik 2 in 6 nudi možno razlago za takšen rezultat: v skupino občin, ki so se uspešno ubranile širjenju COVID-19 in katerih velik odstotek delovno aktivnega prebivalstva dela v drugih občinah, spada večina manjših občin vzhodne Slovenije. Večina njih leži v funkcionalno povezanih območjih delovne mobilnosti Ptujja in Murske Sobote (Drobne, Borovnik in Lakner 2018), v katerih je veliko neokuženih občin, s katerimi so v interakciji. Hkrati so

Slika 3: Število izvornih interakcij delovne mobilnosti v občini (povprečje 2016–2019). Številke na zemljevidu so identifikatorji občin. ► (str. 158)

Slika 4: Število delovno aktivnih v občini, ki so se vozili na delo v druge občine (povprečje 2016–2019). Številke na zemljevidu so identifikatorji občin. ► (str. 159)

Slika 5: Število ponornih interakcij delovne mobilnosti v občini (povprečje 2016–2019). Številke na zemljevidu so identifikatorji občin. ► (str. 160)

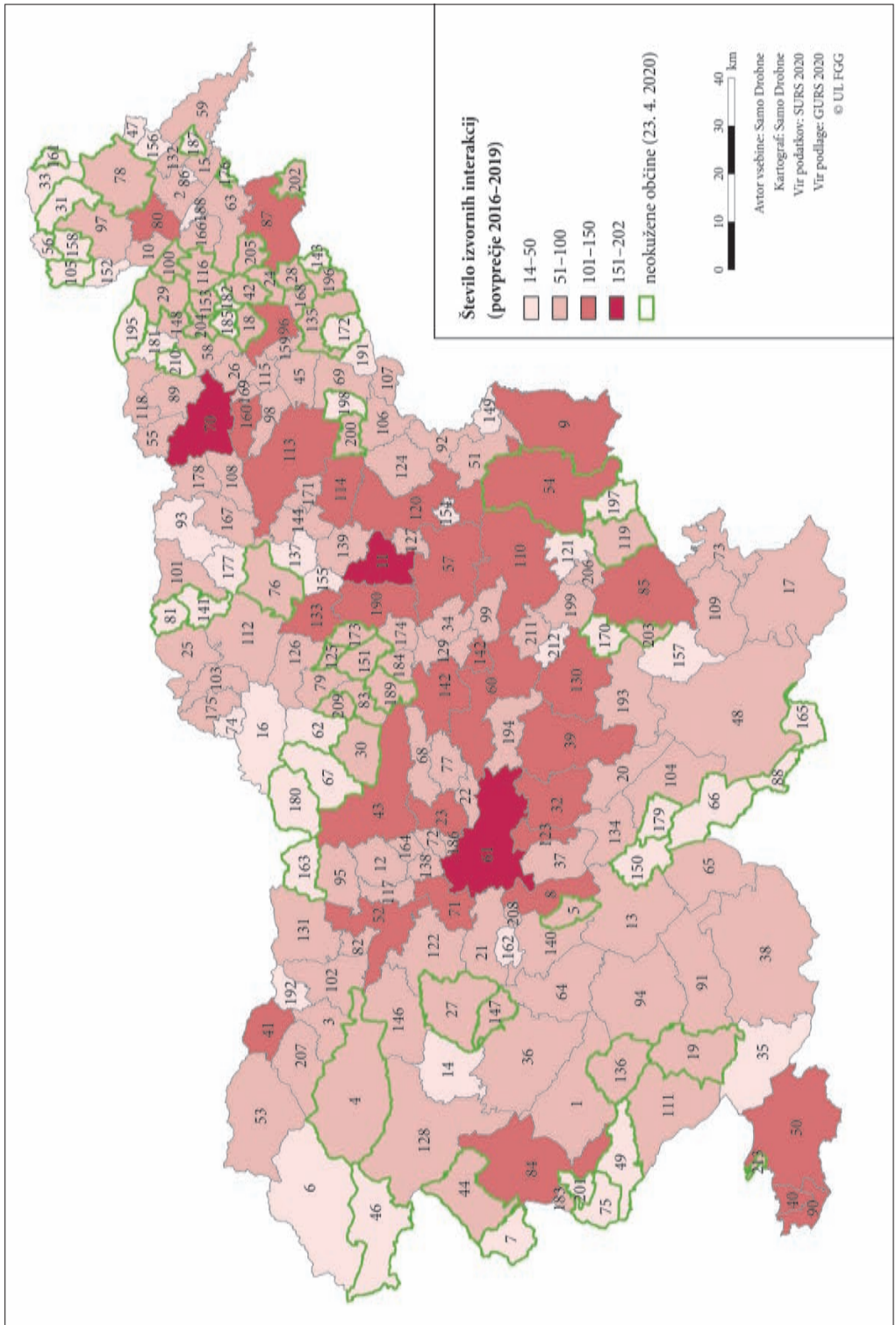
Slika 6: Odstotek delovno aktivnih, ki delajo v občini izvora (povprečje 2016–2019). Številke na zemljevidu so identifikatorji občin. ► (str. 161)

Preglednica 1: Statistična povezanost demografskih spremenljivk in spremenljivk povezanih z delovno mobilnostjo z okuženostjo z virusom SARS-CoV-2 v občini na dan 23. 4. 2020.

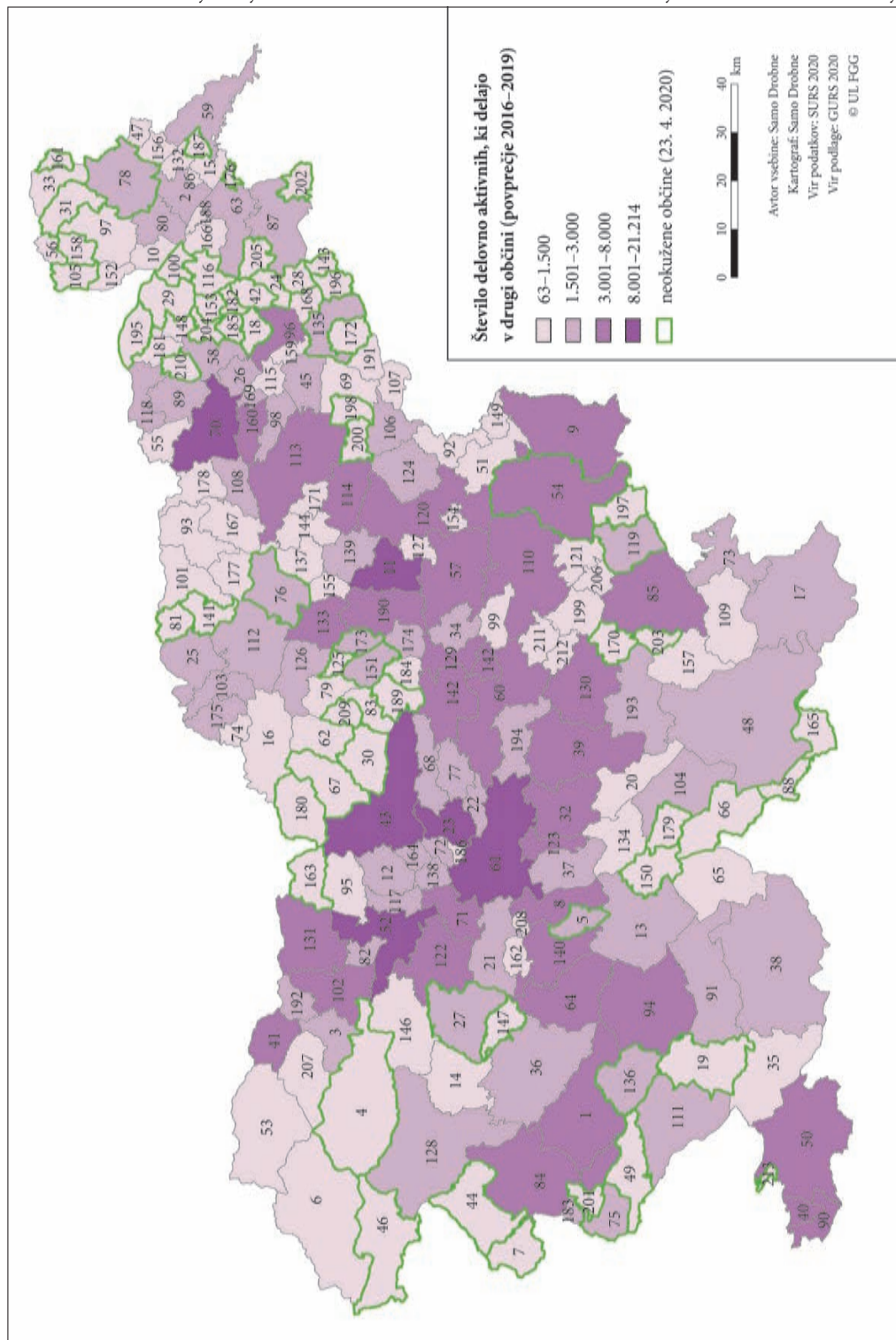
ime spremenljivke	opis spremenljivke	ρ	vrednost p (dvostranski test)
POPULACIJA	število prebivalcev občine	-0,477	1,80E-13
GOSTOTA	gostota prebivalcev v občini	-0,262	1,17E-04
ZASEDENOST	zasedenost občine s prebivalci	0,262	1,12E-04
POVP_STAR	povprečna starost v občini	0,146	0,034
IND_STAR	indeks staranja v občini	0,113	0,100
%_65_IN_VEC	odstotek starih 65 let in več v občini	0,080	0,246
%_80_IN_VEC	odstotek starih 80 let in več v občini	-0,016	0,817
ST_POST_DOM_OST	število postelj v domovih za ostarele v občini	-0,367	3,61E-08
ST_IZV_INT	število izvornih interakcij občine (število občin, v katere se izvaja delovna mobilnost)	-0,462	1,29E-12
SUM_DM_IZV	število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v druge občine	-0,458	2,16E-12
PDM_PO_IZV_INT	povprečno število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v druge občine, na interakciji izvora	-0,384	7,56E-09
ST_PON_INT	število ponornih interakcij občine (število občin, iz katerih se izvaja delovna mobilnost)	-0,498	1,07E-14
SUM_DM_PON	število delovno aktivnih iz drugih občin, ki se vozijo na delo v občino	-0,488	4,36E-14
PDM_NA_PON_INT	povprečno število delovno aktivnih, ki se vozijo na delo v občino, na interakciji ponora	-0,408	6,56E-10
IDM19	indeks delovne mobilnosti	-0,397	2,13E-09
ST_DEL_MEST	število delovnih mest v občini	-0,498	1,12E-14
%_DEL_MEST	odstotek delovnih mest v občini glede na Slovenijo	-0,498	1,09E-14
ST_DEL_MEST_NA_PREB	število delovnih mest na prebivalca	-0,417	2,46E-10
ST_DEL_AKT	število delovno aktivnih v občini	-0,483	8,56E-14
ST_DELA_DOMA	število delovno aktivnih, ki delajo v občini	-0,501	6,82E-15
%_DELA_DOMA	odstotek delovno aktivnih, ki delajo v občini (odstotek delovnih mest, ki jih zasedejo domači delovno aktivni)	-0,407	7,35E-10
%_DELA_OD_ZUNAJ	odstotek delovnih mest, ki jih zasedejo vozači iz drugih občin	0,041	0,560

Opombe: ρ - Spearmanov koeficient korelacije z okuženostjo z virusom SARS-CoV-2 v občini; $|\rho|$: (0,0-0,2) - neznačajna povezanost; $|\rho|$: [0,2-0,4) - šibka povezanost; $|\rho|$: [0,4-0,7) - zmerna povezanost.

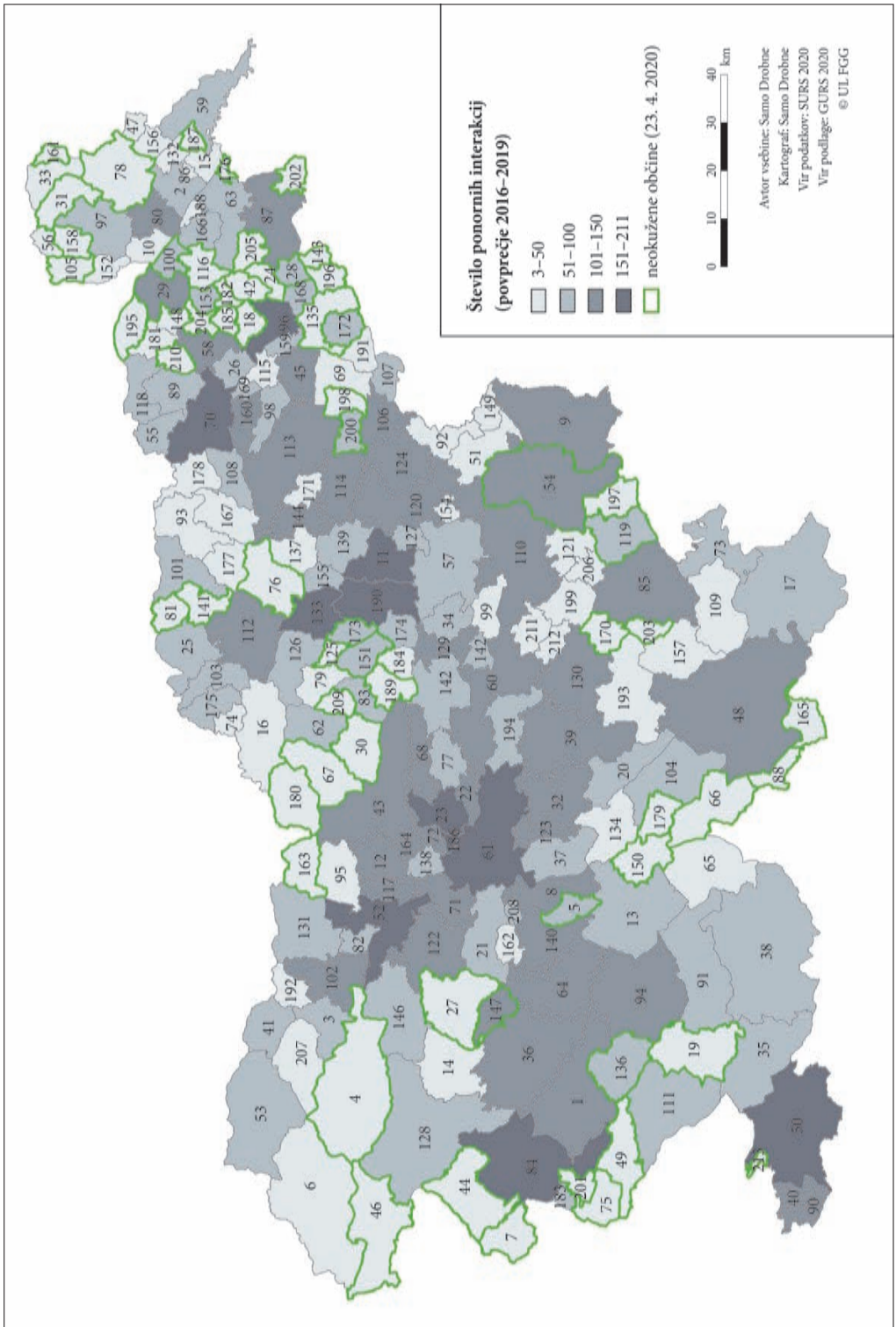
Samo Drobne

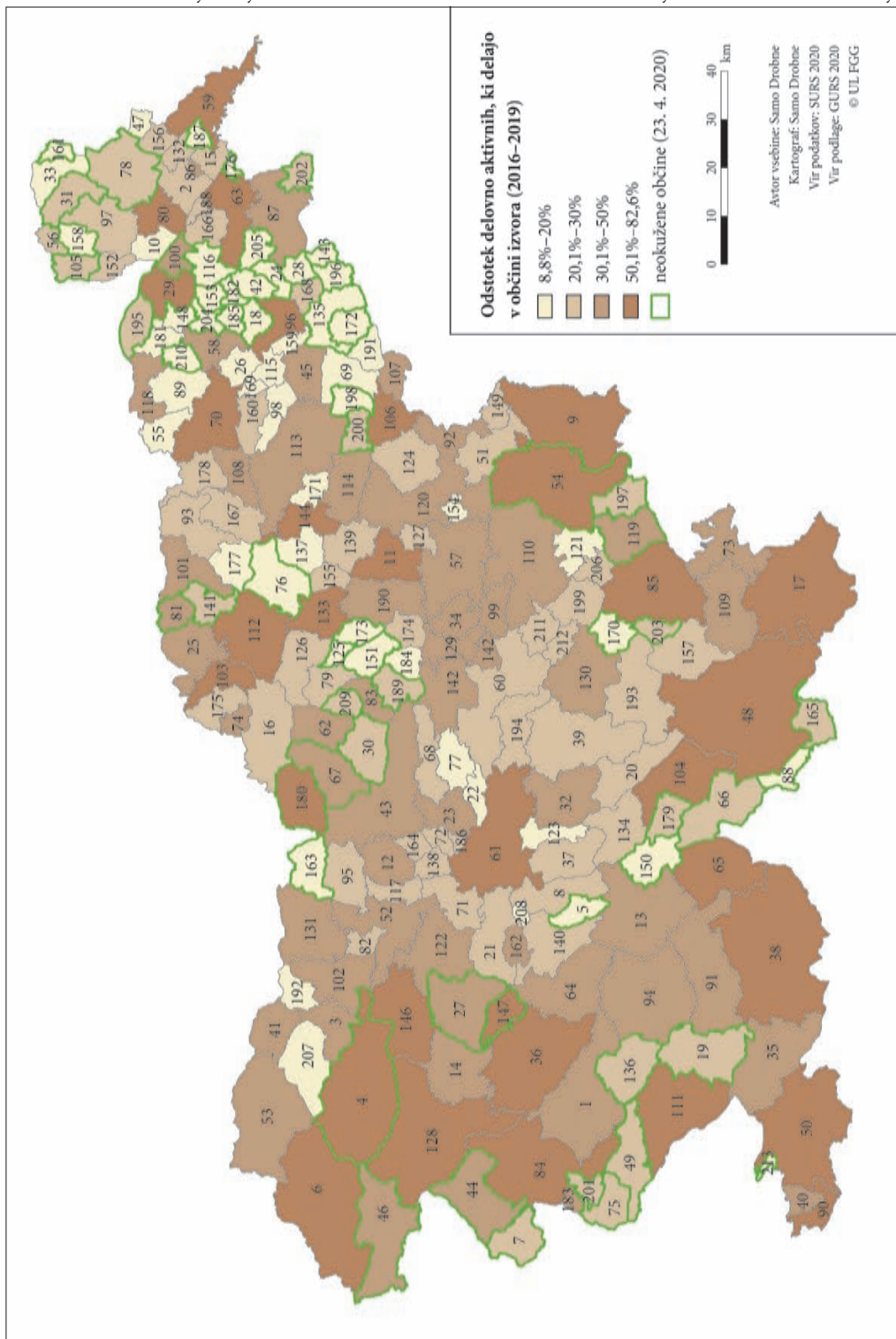


Povezanost med razširjenostjo okužbe s koronavirusom in delovno mobilnostjo med občinami v Sloveniji



Samo Drobne





v interakciji z dvema večjima lokalnima zaposlitvenima središčema, s Ptujem, ki že več kot štiri tedne ni imel nobenega potrjenega primera okužbe, in Mursko Soboto, ki je imela en potrjen primer okužbe šele 29. 3. 2020.

5 Sklep

V prispevku smo analizirali statistično povezanost delovne mobilnosti med občinami s širjenjem okužbe z novim koronavirusom SARS-CoV-2 v Sloveniji. Rezultati analize so pokazali zmerno povezanost nekaterih parametrov delovne mobilnosti s širjenjem okužbe. Bolj odporne na širjenje okužb so se izkazale namreč občine, ki imajo manj kontaktov delovne mobilnosti z ostalimi občinami v Sloveniji.

V primeru pandemije COVID-19 v Sloveniji sta se v sredini marca ustavila javni potniški avtobusni in železniški promet, konec marca pa se je omejilo gibanje večine prebivalstva na območje občine. V obdobju do konca aprila se je delovna mobilnost v Sloveniji v povprečju zmanjšala za okoli 50 %; delovna mobilnost v Ljubljano, ki nudi več kot 26 % vseh delovnih mest v Sloveniji, pa celo za 57 % (Google COVID-19 ... 2020). S pomočjo rezultatov naše študije ne moremo odgovoriti na vprašanje, ki se je v času pandemije pogosto pojavljalo, ali je dodaten ukrep, to je omejitev gibanja prebivalstva na območje občine, bistveno pripomogel k umiritvi širjenja koronavirusa SARS-CoV-2 v Sloveniji. Rezultati Googlove (Google COVID-19 ... 2020) študije sicer kažejo, da se je delovna mobilnost v tistem tednu uvedbe omejitve gibanja na občino nekoliko zmanjšala. Lahko pa na osnovi rezultatov naše študije pritrdimo, da sta delovna mobilnost in širjenje okužb v Sloveniji povezana. Zato je smiselno ob morebitnih pojavih novih okužb, ali celo v primeru novega vala okužbe s COVID-19, pravočasno omejiti vožnje na delo in nekaj časa, tam, kjer je to mogoče, delo opravljati v izoliranem (domačem) okolju.

Omejitev naše raziskave se kaže predvsem v uporabi podatkov iz Statističnega registra delovno aktivnega prebivalstva (SRDAP), za katerega sta Gabrovec in Bole (2009) ugotovila nekatere napake v navedbi kraja bivanja in kraja dela.

V nadaljnjih raziskavah je smiselno v analizo statistične povezanosti vključiti še gospodarske spremenljivke (na primer delovna mesta po gospodarskih panogah), ali pa raziskati širjenje okužb v odvisnosti od mreže delovne mobilnosti. Primer takšne študije na simuliranem družbenem omrežju so pred kratkim izvedli Zaplotnik s sodelavci (2020) ter Zaplotnik, Gavrič in Medic (2020). Smiselno je tudi raziskati vpliv tako imenovane ekološke napake (statistična primerjava različno velikih prostorskih enot) (Krevs 1998) na rezultate analize.

ZAHVALA: Avtor prispevka se zahvaljuje Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za delno sofinanciranje študije iz državnega proračuna v okviru raziskovalnega programa Opazovanje Zemlje in geoinformatika (P2-0406), temeljnega raziskovalnega projekta Razvoj socialne infrastrukture in storitev za izvajanje dolgotrajne oskrbe v skupnosti (J6-9396) in temeljnega raziskovalnega projekta Ustvarjanje družbene vrednosti s starostnikom prijaznim upravljanem stanovanjskega sklada v vseživljenjskih soseskah (J5-1784). Posebna zahvala pa gre Aleksu Jakulinu, Mihlu Kaduncu (Sinergise) in Luki Renku (ustanovitelju projekta Sledilnik.org) za posredovanje podatkov o okuženosti s COVID-19 v slovenskih občinah.

6 Viri in literatura

Analiza ukrepov, ki so najbolj učinkovali, omejitve gibanja na občine ni med njimi, 2020. Medmrežje: <https://m.24ur.com/novice/korona/mobilnost.html> (5. 5. 2020).

Avtoceste napol prazne, Dars hiti z vzdrževalnimi deli, 2020. Medmrežje: <https://www.rtvsl.si/slovenija/avtoceste-napol-prazne-dars-hiti-z-vzdrzevalnimi-deli/519333> (6. 5. 2020).

- Bole, D. 2011: Spremembe v mobilnosti zaposlenih: primerjalna analiza mobilnosti delavcev v največja zaposlitvena središča Slovenije med letoma 2000 in 2009. *Acta geographica Slovenica* 51-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS51104>
- Charaudeau, S., Pakdaman, K., Boëlle, P. Y. 2014: Commuter mobility and the spread of infectious diseases: Application to influenza in France. *PLOS One* 9-1. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083002>
- Coronavirus disease (COVID-19) Situation Report 102. Data as received by WHO from national authorities. World Health Organization, 2020. Medmrežje: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200501-covid-19-sitrep.pdf?sfvrsn=742f4a18_2 (6. 5. 2020).
- Coronavirus: France's first known case 'was in December', 2020. Medmrežje: <https://www.bbc.com/news/world-europe-52526554> (5. 5. 2020).
- COVID-19 Sledilnik, 2020. Medmrežje: <https://covid-19.sledilnik.org/> (5. 5. 2020).
- Davidson, H. 2020: First Covid-19 case happened in November, China government records show – report. *The Guardian*. Medmrežje: <https://www.theguardian.com/world/2020/mar/13/first-covid-19-case-happened-in-november-china-government-records-show-report> (3. 5. 2020).
- Delovne migracije, Slovenija, 2019. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana, 2020. Medmrežje: <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/8726> (3. 5. 2020).
- Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po občinah prebivališča in občinah delovnega mesta po spolu, občine, Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana, 2020. Medmrežje: https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/10_Dem_soc/10_Dem_soc_07_trg_dela_05_akt_preb_po_regis_virih_10_07234_delovne_migracije/0723405S.px/ (15. 4. 2020).
- Demografsko in socialno področje, SiStat. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana, 2020. Medmrežje: https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/10_Dem_soc/ (15. 4. 2020).
- Drobne, S., Borovnik, L., Lakner, M. 2018: Lokalna območja delovne mobilnosti v Sloveniji. *Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji* 14. Ljubljana.
- Drobne, S., Rajar, T., Lisec, A. 2013: Dinamika selitev in delovne mobilnosti v urbana središča Slovenije, 2000–2011. *Geodetski vestnik* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.02.333-353>
- Gabrovec, M., Bole, D. 2009: Dnevna mobilnost v Sloveniji. *Georitem* 11. Ljubljana.
- Google COVID-19 Community Mobility Reports, 2020:. Medmrežje: <https://www.google.com/covid19/mobility/> (6. 5. 2020).
- Koronavirus (SARS-CoV-2) – ključne informacije, 2020. Medmrežje: <https://www.nijz.si/sl/koronavirus-2019-ncov> (5. 5. 2020).
- Ukrepi za zaježitev širjenja, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/koronavirus/koronavirus-ukrepi-za-zajezitev-sirjenja/> (3. 5. 2020).
- Krevs, M. 1998: Vpliv izbora prostorske enote na rezultate geografskih statističnih analiz. *Geografski vestnik* 70.
- Lauer, S. A. Grantz, K. H., Bi, Q., Jones, F. K., Zheng, Q., Meredith, H. R., Azman, A. S., Reich, N. G., Lessler, J. 2020: The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: Estimation and application. *Annals of Internal Medicine* 172-9. DOI: <https://doi.org/10.7326/M20-0504>
- Panigutti, C., Tizzoni, M., Bajardi, P., Smoreda, Z., Colizza, V. 2017: Assessing the use of mobile phone data to describe recurrent mobility patterns in spatial epidemic models. *Royal Society Open Science* 4-5. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.160950>
- SURS 2020: Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po občinah prebivališča in občinah delovnega mesta po spolu, občine, Slovenija, letno, pregled po občinah. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana. Medmrežje: <https://pxweb.stat.si/SiStat/> (25. 3. 2020).
- WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19. World Health Organization, 2020. Medmrežje: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-11-march-2020> (3. 5. 2020).

- Zaplotnik, Ž., Gavrič, A., Jakulin, A., Medic, L. 2020: Simulacija pandemije COVID-19 na socialnem omrežju Slovenije. Medmrežje: <https://www.youtube.com/watch?v=ZzIbNxvGdo8&feature=youtu.be&t=1521> (8. 5. 2020).
- Zaplotnik, Ž., Gavrič, A., Medic, L. 2020: Simulation of the COVID-19 pandemic on the social network of Slovenia: estimating the intrinsic forecast uncertainty. arXiv 2005.13282v1 [q-bio.PE].
- Zhou, S., Zhou, S., Liu, L., Zhang, M., Kang, M., Xiao, J., Song, T. 2019: Examining the effect of the environment and commuting flow from/to epidemic areas on the spread of dengue fever. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16245013>

ANALIZA PROMETNE DOSTOPNOSTI S PODATKI OPENSTREETMAPA

Simon Koblar

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

simon.koblar@uirsi.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4470-4360>

Valentina Pajk Koblar

Kaliopa, informacijske rešitve d. o. o.

valentina.pajk-koblar@kaliopa.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_12

UDK: 911.3:656.11(497.4)

659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Analiza prometne dostopnosti s podatki OpenStreetMapa

Analize prometne dostopnosti v primerjavi z izračunom evklidske razdalje zagotavljajo boljšo natančnost rezultatov, zato so v zadnjih letih vse pogosteje uporabljene. Njihova glavna slabost je zahtevna izdelava prometnega omrežja, ki je do sedaj večinoma temeljila na uporabi cestnih podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije. V prispevku predstavimo analizo prometne dostopnosti s podatki OpenStreetMapa, ki na območju Slovenije vključujejo večino kategoriziranih javnih cest. Pri tem uporabimo orodja Openrouteservice, ArcGIS in OpenTripPlanner. Postopek izdelave omrežja in analiz dostopnosti se je izkazal za dovolj enostavna in hitrega, vsa uporabljena orodja pa dajejo zadovoljive rezultate.

KLJUČNE BESEDE

OpenStreetMap, prometna dostopnost, modeliranje, GIS, evklidska razdalja, prometno omrežje

ABSTRACT

Traffic accessibility analyses using OpenStreetMap data

Traffic accessibility analyses, compared to the Euclidean distance calculation, provide better accuracy of results and have been increasingly used in recent years. The main drawback of this approach is demanding construction of a transport network, which so far has been usually based on road data from the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia. This paper presents a traffic accessibility analysis with OpenStreetMap data, which includes most of the categorized public roads in Slovenia. Analyses were made with Openrouteservice, ArcGIS and OpenTripPlanner. The process of network creation and accessibility analysis has proven to be simple and quick enough. All tools are producing satisfactory results.

KEY WORDS

OpenStreetMap, traffic accessibility, modelling, GIS, Euclidean distance, transport network

1 Uvod

Pri načrtovanju prostorskega razvoja je koncept prometne dostopnosti eden bistvenih. To velja tako na regionalni (Kozina 2009) kot na lokalni ravni (Tiran, Lakner in Drobne 2019). V zadnjih letih se vse bolj uveljavlja modeliranje prometne dostopnosti na podlagi prometnega omrežja, rezultati teh analiz so namreč veliko bolj natančni od izračuna evklidske razdalje (Kozina 2010a). Dosedanje raziskave prometne dostopnosti v Sloveniji so se osredotočale predvsem na dostopnost peš (Kozina 2010a; Tiran, Mladenovič in Koblar 2014; 2015; Tiran 2015; Koblar 2017; Tiran in Koblar 2017; Tiran, Koblar in Mladenovič 2017; Tiran, Lakner in Drobne 2019) in na dostopnost z osebnim avtom (Bensa s sodelavci 1996; Gulič in Plevnik 2000; Kozina 2008; 2010b; 2010c; Drobne in Paliska 2015). Večina teh analiz je bilo opravljenih z omrežji, izdelanimi pretežno s podatki iz zbirke Gospodarska javna infrastruktura (v nadaljevanju GJI) – cestna infrastruktura, v kateri pa ni zabeležene omejitve hitrosti, zato so za izračun potovalnega časa uporabljene posplošene povprečne vrednosti (Ivajnsič in Novak 2017), povprečne hitrosti glede na kategorijo ceste (Gulič in Plevnik 2000; Drobne in Paliska 2015), glede na podatke o hitrostih samodejnih števecov in kategorije ceste (Kozina 2008) ali pa so bili podatki o omejitvah na podlagi terenskega dela in drugih kartografskih virov vneseni za vsak cestni odsek posebej (Brezovšek 2019). Zelo podrobno omrežje je za območje Ljubljane izdelal Kozina (2010a). Osnovo omrežja predstavljajo cestni podatki GJI-ja, iz katerih so bile izbrisane kategorije cest, ob katerih je prepovedana hoja. Tem so dodani podatki o pešpoteh iz registrov Mestne občine Ljubljana, nekateri predeli pa so bili še dodatno izboljšani s pregledovanjem ortofoto posnetkov in terenskimi ogledi. Omrežje je bilo pozneje uporabljeno še v drugih raziskavah (Tiran in Ortar 2014; Tiran, Mladenovič in Koblar 2014; 2015; Tiran 2015; Tiran, Lakner in Drobne 2019). Ob razširitvi tega omrežja (Koblar 2017) na območje celotne Ljubljanske urbane regije so bili dodani še vektorski podatki iz baze *OpenStreetMap* (v nadaljevanju OSM) v obliki datotek *shapefile*, prenesenih s spletne strani *Geofabrik* (2019). Podoben pristop združevanja podatkov iz različnih virov je bil uporabljen še za nekatera druga mesta (Tiran 2015; Tiran in Koblar 2017). Poleg naštetih vektorskih modelov so v uporabi tudi rastrski modeli (Drobne in Paliska 2015).

Kljub številnim primerom modeliranja prometne dostopnosti se v načrtovanju še vedno pogosto uporablja preprostejše analize na podlagi evklidske razdalje. Eden od razlogov je nepoznavanje razpoložljivih programov za izdelavo analiz dostopnosti. Še večja težava je časovno zamudna in tehnično zahtevna izdelava analiz prometne dostopnosti, pri čemer ključen korak predstavlja izdelava omrežja. Za Slovenijo namreč ni na voljo ustreznih javno dostopnih podatkov o prometnem omrežju. Na voljo so sicer vektorski podatki o cestah v katastru GJI-ja kot zbirni sloj digitalnega topografskega modela (v nadaljevanju DTM) in vektorski sloji državnih topografskih in preglednih kart (e-Geodetski podatki 2020), vendar izdelava prometnega omrežja s temi podatki zahteva veliko dodatnega dela. Ker raziskovalne skupine z izdelanimi lastnimi omrežji med sabo le delno sodelujejo, nimamo na voljo enotnega omrežja na ravni države. Rešitev je skupen prosto dostopen podatkovni vir, ki bi ga skupaj dopolnjevali, s čimer bi razporedili delo in izboljšali rezultate.

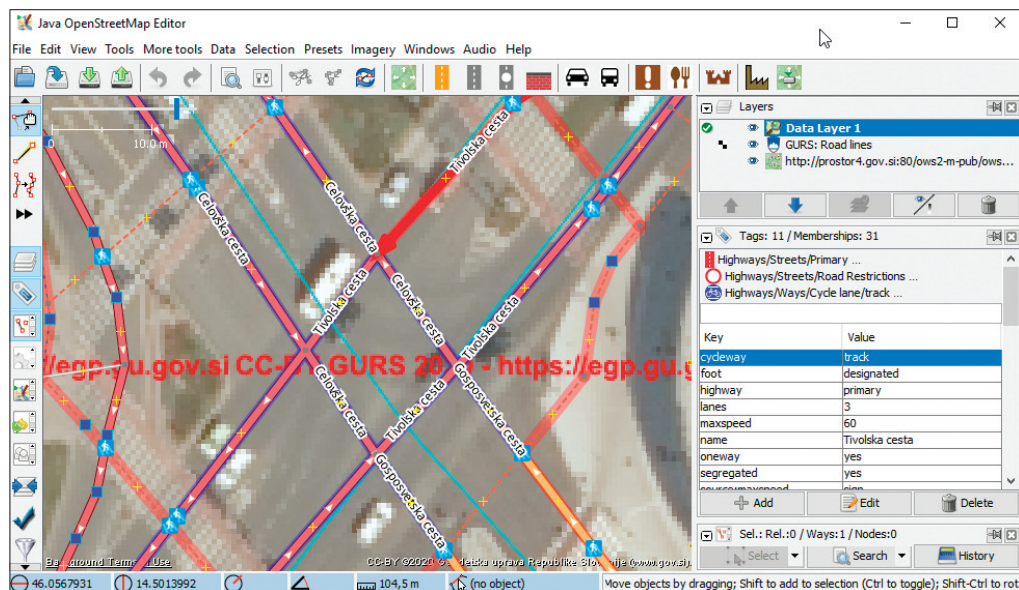
Namen prispevka je izdelava analize prometne dostopnosti z orodji *Openrouteservice*, *ArcGIS* in *OpenTripPlanner* z uporabo podatkov OSM-ja. Vsa orodja omogočajo izračun razdalje in potovalnega časa med dvema točkama, izris območja dostopnosti in imajo možnost shranjevanja rezultatov v vektorski obliki. Pred izdelavo analiz bomo preverili hipotezo, da podatki OSM-ja na območju Slovenije vključujejo celotno omrežje državnih cest in večji del kategoriziranih občinskih cest, saj le na podlagi celotnega prometnega omrežja lahko izdelamo dovolj natančne analize prometne dostopnosti.

2 Metodologija

Projekt OSM spada med tako imenovane prostovoljne geografske informacije (angleško *volunteered geographic information*). Podatke vnašajo prostovoljci na podlagi lastnega poznavanja prostora, GPS

sledi in kartografskih podlag (na primer satelitskih posnetkov ali digitalnih ortofoto posnetkov). Začetek projekta sega v leto 2004, ko je bila registrirana spletna domena, dve leti pozneje pa je bila objavljena spletna karta. Prvotni cilj projekta je bilo kartiranje Združenega kraljestva, vendar se je z eksponentnim naraščanjem števila uporabnikov začelo kartirati še preostale dele sveta (History of OpenStreetMap 2020). V letu 2017 je bilo v OSM-ju na svetovni ravni vnesenih že 89 % vseh cest (Barrington-Leigh in Millard-Ball 2017). Ena od ključnih prednosti pred ostalimi komercialnimi kartografskimi viri je *ODbL – Open Database License* licenca, ki dovoljuje brezplačno komercialno uporabo podatkov. Uporaba odprte licence in dobra prostorska pokritost je verjetno tudi razlog za številne programske rešitve, ki uporabljajo podatke OSM-ja. Na spletnem gostiteljskem servisu *GitHub* ima ključno besedo OSM več kot 16.000 odlagaljšč programske kode. Topološka urejenost podatkov in vključenost dodatnih atributov, kot sta kategorija ceste in omejitve hitrosti (glej sliko 1), omogočata načrtovanje poti po omrežju. Zato je na voljo več spletnih orodij in mobilnih aplikacij za načrtovanje poti. Poleg osnovne navigacije za osebni avto mnoge med njimi omogočajo tudi načrtovanje poti s kolesom in peš, nekatere celo za osebe na invalidskem vozičku (Routing/online routers – OpenStreetMap Wiki 2020).

Bazo OSM-ja je mogoče popravljati in dopolnjevati. Za dodajanje osnovnih popravkov je ustrezno spletno orodje, za vnašanje večjega števila popravkov je bolj primeren program *JOSM*, v katerem so kot podlaga na voljo tudi ortofoto posnetki Geodetske uprave Republike Slovenije, linije cest iz baze *GJI*-ja ter še nekateri drugi podatki, kot je prikazano na sliki 1. Program *JOSM* omogoča shranjevanje lokalnih kopij podatkov, ki jim lahko poljubno odstranjujemo ali dodajamo cestne odseke, spreminjamo omejitve hitrosti in tako dalje, ter tako izdelamo analizo dostopnosti za različne scenarije (Koblar, Gulič in Praper 2019). Dostop do podatkov je mogoč na več načinov. Za manjša območja je podatke najenostavneje prenesti kar preko spletne karte OSM-ja, vendar je v tem primeru največje število vzlišč omejeno na 50.000, kar omogoča izvoz podatkov le za manjša območja. Za večja območja je podatke enostavneje shraniti iz spletne strani *Geofabrik* (2019), kjer so na voljo dnevno posodobljeni podatki za različna območja: cel planet, posamezne celine, države in dele držav. Za Slovenijo so podatki na voljo le za celotno državo. Prenesene podatke lahko s programom *Osmosis* (2019) obrežemo in filtriramo.



Slika 1: Urejanje podatkov OSM-ja s programom JOSM.

Za izvedbo kakovostne analize prometne dostopnosti v omrežju ne sme biti manjkajočih cestnih odsekov, zato smo izdelali analizo, v kateri smo podatke iz baze OSM-ja primerjali s slojema cest iz podatkovnih zbirk GJI-ja in DTM-ja. Sloj GJI ceste je uraden register cest, ki združuje različne uradne vire. Skupna dolžina cest v GJI-ju je 61.292 km. DTM je izdelan z analizo več podatkovnih virov, med drugim ortofota in podatkov laserskega skeniranja. Njihova prednost je, da vključujejo več cest kot sloj GJI-ja (104.998 km), vendar pokrivajo le približno 85 % ozemlja Slovenije, pri čemer so vključena vsa večja naselja (e-Geodetski podatki 2020). Skupna dolžina cest v DTM-ju je večja predvsem zaradi velikega števila vključenih nekategoriziranih cest (pešpoti, gozdne ceste, planinske poti). Celotno prometno omrežje smo dobili z združitvijo celotnega sloja DTM-ja in sloja GJI-ja za tista območja, na katerih DTM ni izdelan. Združen sloj vključuje 115.024 km cest. V prometnem sloju OSM-ja je 84.697 km cest, kar je več kot v sloju GJI-ja, vendar manj kot v DTM-ju ter v združenem sloju DTM-ja in GJI-ja. Razlog za večjo dolžino prometnega omrežja v OSM-ju kot v GJI-ju, je način vnašanja podatkov v OSM, saj se v mestih pogosto ločeno vrisuje posamezne smerne pasove in kolesarsko stezo s pločnikom (glej sliko 1), kjer so ceste iz GJI-ja prikazane s turkizno barvo. Za določitev manjkajočih cest v OSM-ju smo iz sloja DTM-ja in GJI-ja izbrisali vse ceste, ki so znotraj 25 m pasu cest iz sloja OSM-ja. Upoštevanje dodatnih 25 m je bilo potrebno zaradi odstopanj v poteku linij v posameznih slojih.

3 Uporabljen programski oprema

Analize prometne dostopnosti s podatki OSM-ja smo testno izvedli s tremi programskimi orodji. Ob izboru smo se omejili na orodja, ki omogočajo izračun razdalje in potovalnega časa med dvema točkama, izris območja dostopnosti in imajo možnost shranjevanja rezultatov v vektorski obliki. Z vsemi orodji smo izračunali poti med paroma točk in izdelali 15 minutno izohrono kolesarjenja do naku-povalnega centra Qlandia v Mariboru.

Openrouteservice je na voljo kot vmesnik za programiranje aplikacij in kot orodje na spletni strani, ki zadošča za izdelavo osnovnih analiz in ga predstavljamo v nadaljevanju. Orodje podpira pet potovalnih načinov: osebni avto, težko vozilo, kolo, hojo in invalidski voziček. Pri izračunu poti je na voljo še nekaj dodatnih možnosti. Med drugim lahko določimo, da naj se izračunana pot izogne prečkanju državnih meja ali območij, ki jih narišemo sami. Poleg izračuna poti omogoča tudi izdelavo izohron, vendar le do razdalje 100 km. Podatke je mogoče shraniti v različnih formatih in jih uporabiti v geografskih informacijskih sistemih. Če pred uporabo urejamo podatke OSM-ja, moramo upoštevati približno desetdnevni časovni zamik pri osveževanju podatkov.

Program *ArcGIS* smo izbrali zaradi razširjenosti uporabe. Analize smo naredili v različici 10.4. Poleg osnovnega programa smo uporabili še dodatek za izdelavo mrežnih analiz *Network Analyst* in brezplačen dodatek *ArcGIS Editor for OSM* (Esri/arcgis-osm-editor 2020).

Omrežje smo izdelali v dveh korakih z uporabo orodij iz dodatka *ArcGIS Editor for OSM*:

- *Load OSM File* – izbrano datoteko osm.pbf smo uvozili v *Feature dataset* in
- *Create OSM Network Dataset* – iz *Feature dataset* smo izdelali omrežje za posamezen potovalni način.

Pri tem smo uporabili osnovne nastavitve za hojo, kolo in avtomobil, ki so vključene v program.

Izdelano omrežje je mogoče v programu *ArcGIS* dodatno urejati. Ob potrebi po večjem urejanju sicer predlagamo, da se popravke vnese neposredno v OSM, saj s tem izboljšujemo njegovo bazo tudi za ostale uporabnike. Po izdelavi omrežja smo uporabili orodja, ki so na voljo v dodatku *ArcGIS NetworkAnalyst*.

OpenTripPlanner je odprtokodni program, napisan v programskem jeziku Java, kar mu daje veliko fleksibilnost, saj ga je mogoče zagnati na katerikoli napravi, ki ima naloženo ustrezno različico Jave – od prenosnih računalnikov do strežnikov, neodvisno od operacijskega sistema. Program smo prenesli s spletne strani (Central Repository 2020) in ga zagnali prek ukazne vrstice. Pri tem smo si pomagali z navodili (Young 2019; OpenTripPlanner 2019). V nasprotju s programom *ArcGIS* se izdela le en

graf, ki omogoča načrtovanje poti za vse potovalne načine. *OpenTripPlanner* omogoča tudi načrtovanje poti z javnim potniškim prometom, za kar poleg podatkov OSM-ja rabimo še podatke o vozniških redih v obliki *GTFS* (*GTFS Static Overview* 2019). Po zagonu programa in izdelavi grafa omrežja je analize mogoče izvajati v spletnem brskalniku, pri čemer se rezultati le prikazujejo na zaslonu, brez možnosti shranjevanja vektorskih podatkov. Izohrone smo zato izdelali s pomočjo razvojnega okolja Rstudio, ki služi za komunikacijo z *OpenTripPlannerjem*. Pri tem je potrebno vsaj osnovno poznavanje programskega jezika R, vendar so za ta korak na voljo kakovostna navodila (Young 2016; 2019).

4 Rezultati in razprava

Osnovni pogoj za izdelavo analiz dostopnosti je celovitost uporabljenega omrežja. V analizi smo ugotovili, da v podatkih OSM-ja manjka 37.565 km cest iz sloja DTM-ja in GJI-ja. Dolžine manjkajočih odsekov po kategoriji ceste in delež manjkajočih cest glede na skupno dolžino cest je prikazan v preglednici 1. Z vidika izvajanja analiz prometne dostopnosti je problematičnih manjkajočih 149 km lokalnih cest in 512 km javnih poti. Druge manjkajoče ceste imajo nižjo kategorizacijo in ne predstavljajo osnovnega prometnega omrežja, zato nimajo večjega vpliva na kakovost izdelanih analiz prometne dostopnosti. Na sliki 2 so prikazani manjkajoči cestni odseki v OSM-ju. V urbaniziranem delu ne manjkajo nobene cestne povezave, največ jih manjka v hribovitem delu in na Sorškem polju. S tem lahko potrdimo hipotezo, da podatki OSM-ja na območju Slovenije vključujejo celotno omrežje državnih cest in večji del kategoriziranih občinskih cest. V prihodnje bi bilo sicer smiselno manjkajoče podatke iz DTM-ja in GJI-ja vključiti v bazo OSM-ja, kar bi omogočilo še boljše natančnost izdelanih analiz.

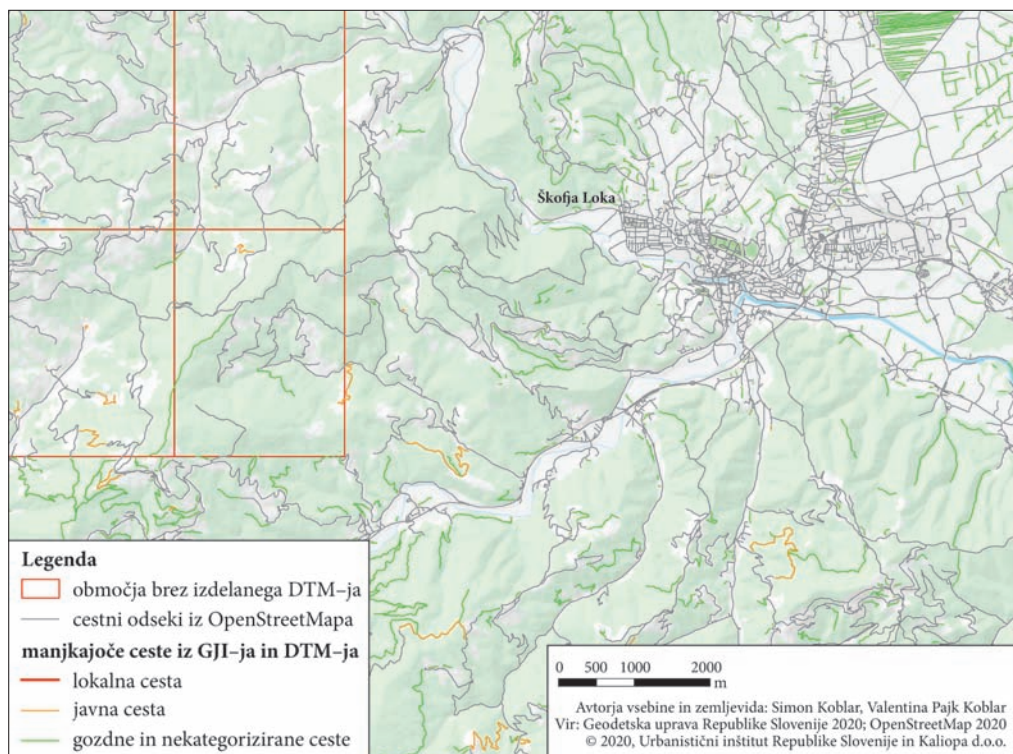
S podatki OSM-ja smo izdelali analize dostopnosti z orodji *Openrouteservice*, *ArcGIS* in *OpenTripPlanner*. Najpreprostejši za uporabo je *Openrouteservice*, ki je na voljo na spletni strani. Izdelava omrežja v *ArcGIS* vključuje le dva koraka, vendar je treba postopek ponoviti za vsak potovalni način, ki ga želimo uporabiti v analizi. Po izdelavi omrežja so nam na voljo zmogljiva orodja, ki omogočajo vrsto analiz. Izdelava omrežja v *OpenTripPlannerju* je bila najhitrejša, vendar je izdelava analiz v primeru shranjevanja podatkov nekoliko zahtevnejša, saj nima vgrajenega uporabniškega vmesnika. Vsa predstavljena orodja bi predlagali za uporabo, pri tem pa se je treba zavedati prednosti in slabosti, ki so predstavljene v preglednici 2.

Za primerjavo rezultatov analiz izdelanih s predstavljenimi programi smo za izbrano lokacijo v Mariboru modelirali območje dostopnosti s kolesom v 15 minutah. Rezultati so prikazani na sliki 3, kjer se opazi razlika v podrobnosti prikaza rezultatov, kjer najbolj izstopa *Openrouteservice* z zelo zglašenim območjem. Območje izdelano v programu *OpenTripPlanner* je najmanjše, medtem ko je območje

Preglednica 1: Odseki cest GJI-ja in DTM-ja, ki se ne prekrivajo s podatki iz OSM-ja.

kategorija ceste v GJI-ju in DTM-ju	dolžina manjkajočih odsekov (km)	delež manjkajočih glede na vse odseke
lokalna cesta	149	2 %
planinska pot	438	15 %
javna pot	512	10 %
glavna mestna cesta (kategorija iz DTM-ja, ki je napačno določena – v resnici gre za majhne ulice in kolovoze)	561	11 %
gozdna cesta	1611	20 %
nekategorizirana cesta	34.281	45 %

izdelano v programu *OpenRouteService* ponekod celo večje od radija 3,6 km. Do razlik lahko pride zaradi različne metode izrisa izohrone in različnih pravil glede uporabe kolesarskega omrežja. Do največjih razlik med radijem in izohronami pride ob ovirah, kot so reke in večje prometnice. Razlike med rezultati uporabljenih orodij kažejo na potrebo po previdnosti pri njihovi uporabi.



Slika 2: Prikaz manjkajočih cestnih odsekov v OSM-ju.

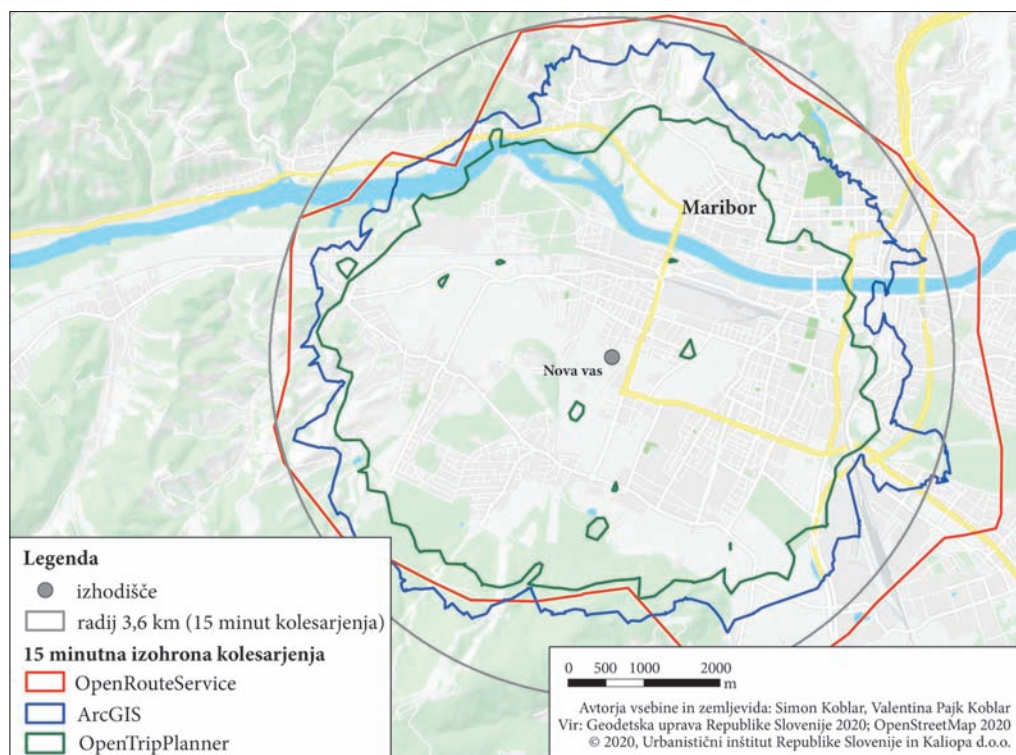
Preglednica 2: Prednosti in slabosti uporabljenih orodij.

orodje	prednosti	slabosti
<i>OpenRouteService</i>	<ul style="list-style-type: none"> • preprosta uporaba v brskalniku • brezplačno • možnost nastavitve dodatnih parametrov 	<ul style="list-style-type: none"> • primerno le za manjše število analiz • ni mogoče izdelovati scenarijev, saj se podatki črpajo neposredno iz OSM-ja
<i>ArcGIS</i>	<ul style="list-style-type: none"> • enostavna izdelava omrežja • analize se izvaja znotraj širšega GIS programskega paketa • možnost popravljanja že izdelanega omrežja 	<ul style="list-style-type: none"> • visoka cena programa • izdelava omrežja za območje Slovenije traja več ur
<i>OpenTripPlanner</i>	<ul style="list-style-type: none"> • odprtokoden program • hitra izdelava omrežja • hitro izvajanje večjega števila analiz 	<ul style="list-style-type: none"> • brez uporabniškega vmesnika

Rezultati analiz oddaljenosti med dvema točkama se med uporabljenimi orodji bistveno ne razlikujejo. Vsa orodja so tako zelo primerna za izračun razdalje in potovalnega časa med dvema točkama, s programoma *ArcGIS* in *OpenTripPlanner* pa imamo možnost avtomatizacije izvajanja analiz, s čimer lahko naredimo analizo za večje število lokacij. Velika prednost vseh orodij je možnost uporabe različnih potovalnih načinov, med drugim tudi kolesa, kar za Slovenijo ne omogočajo niti popularni Google zemljevidi.

5 Sklep

Analize prometne dostopnosti so bolj natančne od izračunov evklidskih razdalj, žal pa zahtevajo nekoliko več truda. Predstavljena metodologija uporabe podatkov iz baze OSM-ja z uporabljenimi orodji olajša izdelavo analiz v primerjavi z izdelavo omrežja iz drugih razpoložljivih podatkov za Slovenijo. Podatki OSM-ja vključujejo celotno omrežje državnih cest in večino kategoriziranih občinskih cest, kar omogoča izdelavo dovolj natančnih analiz. Za modeliranje hoje in kolesarjenja na lokalni ravni pa je pred izdelavo analiz smiselno preveriti kakovost podatkov in jih po potrebi dopolniti. Med uporabljenimi orodji se je za najpreprostejšega izkazal *Openrouteservice*, ki deluje kot spletna storitev, kar je idealno za izdelavo hitrih analiz. *ArcGIS* se je izkazal s preprosto izdelavo omrežja in širokega nabora orodij iz dodatka *NetworkAnalyst*. Če nimamo možnosti uporabe plačljivega programa *ArcGIS*, je za izdelavo analiz smiselno uporabiti odprtokodni *OpenTripPlanner*, ki je sicer nekoliko zahtevnejši za uporabo. Rezultati analize dostopnosti s kolesom za izbrano lokacijo v Mariboru se med sabo zelo razlikujejo,



Slika 3: izohrone 15 minutne dostopnosti s kolesom do nakupovalnega centra Qlandia Maribor.

zato je ob modeliranju prometne dostopnosti potrebna določena mera kritičnosti do rezultatov. Izdelava analize prometne dostopnosti s predstavljenimi orodji in z uporabo podatkov OSM-ja se je izkazala za dovolj hitro in preprosto, rezultati pa so bolj natančni od izračunov radijev, zato upamo, da bo modeliranje prostorske dostopnosti s podatki OSM-ja v prihodnje pogosteje uporabljeno. Večja uporaba podatkov OSM-ja bo verjetno spodbudila tudi dopolnjevanje baze, s čimer bi se izboljševali vsi izdelki in analize, ki temeljijo na podatkih OSM-ja.

6 Viri in literatura

- Barrington-Leigh, C., Millard-Ball, A. 2017: The world's user-generated road map is more than 80% complete. PLOS ONE 14-10. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180698>
- Bensa, B., Miljevič, J., Hazler-Papič, M., Rupar, R., Starc, M., Cerar, M., Novak, A. 1996: Analiza dostopnosti naselij do cestne in železniške mreže v Republiki Sloveniji. Ljubljana.
- Brezovšek, N. 2019: Vrednotenje prometne dostopnosti v občini Šentjur s pomočjo geografskih informacijskih sistemov. Magistrsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Mariboru. Maribor. Medmrežje: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=75238> (6. 2. 2020).
- Central Repository, 2020. Medmrežje: <https://repo1.maven.org/maven2/org/opentripplanner/otp/> (26. 2. 2020).
- Drobne, S., Paliska, D. 2015: Average transport accessibility of the Slovenian municipalities to the nearest motorway or expressway access. Geodetski vestnik 59-3. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.03.486-519>
- e-Geodetski podatki, 2019. Medmrežje: <http://egp.gu.gov.si/egp/> (20. 6. 2019).
- Esri/arcgis-osm-editor, 2020. Medmrežje: <https://github.com/Esri/arcgis-osm-editor> (6. 2. 2020).
- Geofabrik, 2020. Medmrežje: <https://download.geofabrik.de/> (14. 1. 2020).
- GTFS Static Overview, 2020. Medmrežje: <https://developers.google.com/transit/gtfs> (26. 2. 2020).
- Gulič, A., Plevnik, A. 2000: Prometna infrastruktura in prostorski razvoj Slovenije: novejša analitična spoznanja. IB revija 34-2.
- History of OpenStreetMap – OpenStreetMap Wiki. Medmrežje: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/History_of_OpenStreetMap (5. 2. 2020).
- Ivajnsič, D., Novak, T. 2017: Vrednotenje prometne dostopnosti Pomurja s prostorsko analizo cestnega omrežja. Revija za geografijo 12-1.
- Koblar, S. 2017: Predlog alternativnega omrežja javnega potniškega prometa v Ljubljanski urbani regiji. Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=99200> (6. 2. 2020).
- Koblar, S., Gulič, A., Praper, S. 2019: UIRS atlas dostopnosti. Urbani izziv, Strokovne izdaje 9.
- Kozina, J. 2008: Prometna dostopnost kot kriterij regionalizacije Slovenije. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=23434> (6. 2. 2020).
- Kozina, J. 2009: Vloga prometne dostopnosti v strateških prostorskih dokumentih Slovenije. Razvojni izzivi Slovenije, Regionalni razvoj 2. Ljubljana.
- Kozina, J. 2010a: Modeliranje prostorske dostopnosti do postajališč javnega potniškega prometa v Ljubljani. Geografski vestnik 82-1.
- Kozina, J. 2010b: Prometna dostopnost v Sloveniji. Georitem 14. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545680>
- Kozina, J. 2010c: Transport accessibility to regional centres in Slovenia. Acta geographica Slovenica 50-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS50203>
- OpenTripPlanner, 2019. Medmrežje: <https://www.opentripplanner.org/> (5. 8. 2019).

- Osmosis – OpenStreetMap Wiki, 2020. Medmrežje: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmosis> (25. 2. 2020).
- Routing/online routers – OpenStreetMap Wiki, 2020. Medmrežje: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Routing/online_routers (6. 2. 2020).
- Tiran, J. 2015: Geografsko vrednotenje bivalnega okolja v izbranih slovenskih mestih. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: http://geo.ff.uni-lj.si/pisnadel/pdfs/diss_201511_jernej_tiran.pdf (6. 2. 2020).
- Tiran, J., Koblar, S. 2017: Kakovost bivalnega okolja v Mariboru. Geografije Podravja. Maribor. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610500261>
- Tiran, J., Koblar, S., Mladenovič, L. 2017: Accessibility to public transport in Ljubljana: review, development, and challenges. Research on the Road. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS50203>.
- Tiran, J., Lakner, M., Drobne, S. 2019: Modelling walking accessibility: A case study of Ljubljana, Slovenia. Moravian Geographical Reports 27-4. DOI: <https://doi.org/10.2478/mgr-2019-0015>
- Tiran, J., Mladenovič, L., Koblar, S. 2014: Računanje dostopnosti do javnega potniškega prometa v Ljubljani z metodo PTAL. Digitalni prostor, GIS v Sloveniji 12. Ljubljana.
- Tiran, J., Mladenovič, L., Koblar, S. 2015: Dostopnost do javnega potniškega prometa v Ljubljani po metodi PTAL. Geodetski vestnik 59-4. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.04.723-735>
- Tiran, J., Ortar, J. 2014: Ugotavljanje hodljivosti prostora z vidika peš dostopnosti: primer Ljubljane. Tehnologija in družbena utopija. Ljubljana.
- Young, M. 2016: An automated framework to derive model variables from open transport data using R, PostgreSQL and OpenTripPlanner. 24th GIS Research UK Conference. DOI: <https://doi.org/doi:10.13140/RG.2.1.4292.0082>
- Young, M. 2019: OpenTripPlanner – creating and querying your own multi-modal route planner. Medmrežje: https://www.researchgate.net/publication/321110774_OpenTripPlanner_-_creating_and_querying_your_own_multi-modal_route_planner (6. 2. 2020).

DIGITALNA DRUŽBA SLOVENIJE – PREGLED INTERNETNEGA DOSTOPA

dr. Tomaž Šturm, Marko Simončič, Gregor Baliž, Primož Uršič, mag. Nika Mesner

Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije

tomaz.sturm@akos-rs.si

marko.simoncic@akos-rs.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9583-423X>

gregor.baliz@akos-rs.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0920-2103>

primoz.ursic@akos-rs.si

nika.mesner@akos-rs.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_13

UDK: 004.738.5(497.4)

IZVLEČEK

Digitalna družba Slovenije – pregled internetnega dostopa

Pot v digitalno družbo, kot jo določa vizija Evrope do leta 2025, vodi prek doseganja strateških ciljev, ki jih ocenjujemo z uporabo kazalnika pokritosti glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja in gospodinjstev z zelo visokozmogljivim širokopasovnim omrežjem. Osnova za ugotavljanje pokritosti so podatki omrežnih priključnih točk. Ugotovili smo, da je v Sloveniji skladno s cilji strategije pokritost vseh deležnikov danes več kot 85 %. Po končani realizaciji izkazanega tržnega interesa se bo pokritost povečala na več kot 96 %. Prav tako smo raziskali konkurenco med telekomunikacijskimi operaterji in ponudniki storitev dostopa do interneta. Ta se pojavlja predvsem v urbanih središčih, kar posledično prispeva k večji kakovosti in nižji ceni tovrstnih storitev.

KLJUČNE BESEDE

omrežne priključne točke, kartiranje, AKOS, gospodarska javna infrastruktura, visokozmogljiva širokopasovna omrežja, giga-bitna družba, digitalna povezljivost

ABSTRACT

Digital society of Slovenia – internet access overview

The road to digital society, as defined by Europe's vision for 2025, leads to the achievement of strategic goals, which are assessed using the coverage indicator of the main drivers of socio-economic development and of households with a very high-speed broadband network. The coverage was determined using the data on network termination points. We found the coverage of all stakeholders in Slovenia is now over 85% in accordance with the goals of the strategy. After commercial interest will be realized, the coverage will increase to more than 96%. We also investigated the infrastructure competition between telecommunication operators and internet access service providers. This occurs mainly in urban areas, which contributes to higher quality and lower cost of such services.

KEY WORDS

network termination points, mapping, AKOS, cadastre of public infrastructure, very-high capacity networks, gigabit society, digital connectivity

1 Uvod

Razvoj informacijskih in komunikacijskih tehnologij (IKT) je ključen za konkurenčnost Evrope v današnjem vse bolj digitalnem globalnem gospodarstvu, zato tudi Evropa, samo v finančni perspektivi 2014–2020, več kot 20 milijard evrov iz Evropskega sklada za regionalni razvoj namenja za naložbe na področju IKT-ja za to obdobje (Informacijske in komunikacijske tehnologije 2020). Te naložbe podpirajo ukrepe Evropske komisije (EK) pri cilju oblikovanja enotnega digitalnega trga, ki bo prinesel še dodatno gospodarsko rast. Eden izmed ključnih ukrepov je tudi razširitev uvajanja širokopasovnih povezav in omrežij z visoko zmogljivostjo. V novi finančni perspektivi (2019–2024) EK namenja še več sredstev za investicije v širokopasovna omrežja, hkrati pa tudi zastavlja višje cilje, ki bi jih lahko strnili v tri ključne strateške cilje za leto 2025 (Arnold s sodelavci 2015):

- gigabitna povezljivost za vse glavne spodbujevalce socialno-ekonomskega razvoja, kot so šole, prometna vozlišča in glavni izvajalci javnih storitev ter digitalno intenzivna podjetja,
- neprekinjena pokritost z omrežji 5G za vsa mestna območja in vse glavne prizemne prometne poti (avtoceste, nacionalne ceste in železnice skladno z opredelitvijo vseevropskih prometnih omrežij),
- dostop do internetne povezljivosti s pritočno hitrostjo vsaj 100 Mb/s, ki se lahko nadgradi v gigabitno hitrost, za vsa evropska gospodinjstva na podeželju ali v mestih.

Sodobno in konkurenčno digitalno gospodarstvo ni možno brez konkurenčnih in brezhibnih elektronskih komunikacij. Eden izmed ciljev novega Evropskega zakonika o elektronskih komunikacijah (*European Electronic Communications Code*) (Direktiva ... 2018) je pospešiti razvoj omrežij naslednje generacije, spodbujanje naložb v zelo visokozmogljiva širokopasovna omrežja (*Very high Capacity Network – VHCN*), vzpostavitev bolj usklajenega pristopa enotnega trga k politiki in upravljanju spektra, vzpostavitev pogojev za pravi enotni trg z odpravljanjem regulativne razdrobljenosti, zagotavljanje učinkovitega varstva potrošnikov, enakih konkurenčnih pogojev za vse udeležence na trgu, dosledna uporaba predpisov in vzpostavitev učinkovitejšega regulativnega institucionalnega okvira. Zelo visokozmogljivo omrežje pomeni elektronsko komunikacijsko omrežje, ki ga v celoti sestavljajo elementi iz optičnih vlaken vsaj do razdelilne točke na končni lokaciji ali ki v običajnih razmerah največje obremenjenosti omogoča podobno zmogljivost omrežja glede razpoložljive pritočne in odtočne pasovne širine, odpornosti, z napakami povezanih parametrov ter latence in njenih variacij.

Tehnološki pregled razvoja na področju elektronskih komunikacij napoveduje popolno digitalizacijo procesov in storitev, ki se selijo na nove platforme. Razvoj nove tehnologije 5G prinaša možnosti konvergence različnih področij, kot so elektronske komunikacije, IT, mediji in druga področja, ki se bodo morala razvijati interdisciplinarno. Industrija poleg pametnega doma, zgradb, mest in pametnih (avtonomnih) vozil obljublja pametni svet. Hitrost podatkov je le ena od prednosti nove tehnologije. Omrežja bodo veliko bolj odzivna in stanovitna (*Connectivity ... 2016*). Razvijajo se nove naprave in storitve, ki bodo prenašale vse večje količine podatkov, zato se bodo morala trenutno obremenjena omrežja prilagoditi naslednji generaciji omrežij. Prav tako ne gre pozabiti na čedalje hitrejši razvoj in uporabo umetne inteligence, ki lahko osmisli velike količine podatkov, ponudi učinkovite rešitve in tako izboljša izdelke, postopke in poslovne modele tudi v sektorju elektronskih komunikacij.

Z naraščanjem digitalne pismenosti in uporabe digitalnih storitev se širokopasovno omrežje visokih hitrosti nezadržno širi, saj se operaterji na povpraševanje končnih uporabnikov po zagotovitvi hitre, brezhibne in zanesljive povezljivosti primerno odzivajo, tovrstna digitalna preobrazba pa prinaša velik potencial za celotno skupnost. Za spremljanje trendov razvoja in doseganja ciljev digitalne družbe EK vsako leto objavi indeks digitalnega gospodarstva in družbe (DESI indeks), ki ga na podlagi zbranih podatkov za posamezne države članice v posebnih letnih poročilih tudi redno posodablja. Gre za sestavljen indeks, ki povzema pomembne kazalnike o uspešnosti Evropske unije (EU) glede digitalizacije, spremlja pa tudi napredek držav članic na področju digitalne konkurenčnosti. V primeru Slovenije DESI indeks za leto 2019 kaže, da se Slovenija uvršča na 16. mesto med 28 državami članicami, torej v skupino srednje uspešnih držav (*Connectivity ... 2019*). Pokritost s fiksnimi širo-

kopasovnimi omrežji v Sloveniji ostaja stabilna (pokrivanje 98 % gospodinjstev), večji napredek pa se kaže v pokritosti s hitro širokopasovno povezavo (86 % gospodinjstev), kar je nad povprečjem EU (83 %). Tudi pri pokritosti ultra hitrih (100 Mb/s in več) povezav Slovenija močno presega povprečje EU (Connectivity ... 2019).

V prispevku smo pregledali doseganje strateških ciljev zapisanih v viziji Evrope do leta 2025. Predmet raziskave so pokritost glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja in gospodinjstev z VHCN-jem. Pregledali smo obstoječe stanje v času raziskave in vključili tudi podatke načrtovanih omrežnih priključnih točk, ki morajo biti zgrajene do leta 2023. Ocenili smo dejansko in načrtovano stanje internetnega dostopa skozi prizmo doseganja strateških ciljev Evrope 2025. Zanimala nas je tudi konkurenca med ponudniki internetnih storitev na posameznem naslovu in širših območjih.

2 Podatki o elektronskih komunikacijskih omrežjih v Evropi

Zaradi pomembnosti kartiranja elektronskih komunikacijskih omrežij za učinkovito oblikovanje, izvajanje in spremljanje politike širokopasovnih povezav in s tem povezane regulacije je EK izvedla projekta SMART 2012/0022 (študija širokopasovnega in infrastrukturnega kartiranja) in SMART 2014/0016 (kartiranje fiksnih in mobilnih širokopasovnih storitev). V projektu SMART 2012/0022 je preverjala stanje po evropskih državah in širše ter vzpostavila enotno metodologijo kartiranja. Določila je štiri tipe kartiranja (Arnold s sodelavci 2015):

- infrastrukturno kartiranje je natančno, prostorsko umeščeno in strukturirano zbiranje, obdelava in prikazovanje podatkov obstoječe infrastrukture,
- storitveno kartiranje je zbiranje, analiza in prikazovanje podatkov o zagotavljanju storitev elektronskih komunikacij s posameznimi parametri kakovosti storitev,
- kartiranje povpraševanja sestavljata zbiranje dejanskega povpraševanja po storitvah elektronskih komunikacij in merjenje parametrov kakovosti obstoječe storitve,
- kartiranje investicij je zbiranje, združevanje, obdelava in prikaz informacij o načrtovanih investicijah v omrežja elektronskih komunikacij.

V sklopu projekta SMART 2014/0016 so se deležniki (regulatorji telekomunikacij, javne ustanove, operaterji elektronskih komunikacij, akademiki in drugi) uskladili glede zbiranja, analize, obdelave in prikazovanja podatkov fiksnih in mobilnih širokopasovnih storitev. Rezultat tega projekta je vseevropski portal širokopasovnih storitev (<https://www.broadband-mapping.eu/public-portal/>), na katerem je možen vpogled v kakovost interneta širokopasovnih omrežij. Projekt je razvil tudi definicije treh kategorij kakovosti storitev (*Quality of Services – QoS*) pri storitvenem kartiranju (European broadband ... 2020):

- QoS-1, pri katerem gre za izračunano razpoložljivost storitev (tako imenovane teoretične kalkulacije storitvene pokritosti omrežnih operaterjev),
- QoS-2, ki predstavlja izmerjeno zagotavljanje storitev ob izključenosti uporabniškega okolja (panelni testi in meritve poljske jakosti signala),
- QoS-3, ki predstavlja meritve uporabniške izkušnje (testi internetne hitrosti in ostalih parametrov kakovosti, ki jih končni uporabniki izvedejo z uporabo različnih aplikacij, tako imenovani »speed testi«).

Direktiva (EU) 2018/1972 o Evropskem zakoniku o elektronskih komunikacijah je naložila nacionalnim regulatorjem telekomunikacij, oziroma drugim pristojnim organom za to področje, izvedbo kartiranja dosega omrežij elektronskih komunikacij. Skladno s to direktivo ima Organ evropskih regulatorjev za telekomunikacije (*Body of European Regulators for Electronic Communications – BEREC*) obveznost izdati smernice za kartiranje omrežij elektronskih komunikacij. Pri izdelavi smernic sodeluje tudi Agencija za komunikacijska omrežja in storitve (AKOS), nacionalni regulatorni organ za področje elektronskih komunikacij, elektronskih medijev, pošte in železniškega prometa v Republiki Sloveniji ter član BEREC-a.

3 Podatki o elektronskih komunikacijskih omrežjih v Sloveniji

V Sloveniji se trenutno na ravni države in skladno z veljavno zakonodajo učinkovito izvajajo infrastrukturno in storitveno kartiranje ter kartiranje investicij. Kartiranje povpraševanja se na ravni države ne izvaja, se pa poslužujejo izvajanja le-tega posamezni ponudniki maloprodajnih storitev elektronskih komunikacij. Osnova za izvajanje kartiranja so podatki o elektronskih komunikacijskih omrežjih (Pravilnik o vodenju ... 2018). Podatke o javnih komunikacijskih omrežjih ter omrežnih priključnih točkah (OPT) vodi Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS) v zbirnem katastru gospodarske javne infrastrukture (ZK GJI). Pomemben vir podatkov predstavljajo tudi podatki, ki jih vodita AKOS in Ministrstvo za javno upravo (MJU), in sicer evidenca tržnega interesa ter podatki o namerah gradnje gospodarske javne infrastrukture (Zakon o elektronskih ... 2017).

3.1 Omrežne priključne točke

ZK GJI predstavlja temeljno nepremičninsko evidenco v Sloveniji, v kateri so evidentirani objekti gospodarske javne infrastrukture (prometna, energetska, komunalna, vodna, infrastruktura za gospodarjenje z drugimi vrstami naravnega bogastva ali varstva okolja ter elektronske komunikacije) ter OPT-ji. Podrobni podatki o posameznem OPT-ju, to je o fizični točki, na kateri ima končni uporabnik dostop do javnega komunikacijskega omrežja (Izmenjevalni format ... 2019), so:

- vrsta OPT-ja glede na tehnološko izvedbo voda, na katerega je neposredno povezan OPT (optični, koaksialni kabel, bakrena parica, brezžično, drugo),
- status glede na aktivnost (zgrajen in priključen, zgrajen in nepriključen, omogočen),
- zmogljivost v Mb/s,
- investitor ali upravljavec,
- vrsta subjekta (gospodinjstvo, poslovni subjekt, javna institucija, drugo).

Sloj OPT-jev se vodi v tabelarni obliki, lokacija je podana opisno z naslovom stavbe (enolični identifikator naslova) ali s šifro katastrske občine in številko stavbe. Če lokacija OPT-ja ni na stavbi ali gre za stavbo, ki nima niti naslova niti ni vpisana v kataster stavb, je lokacija podana s koordinatami v državnem koordinatnem sistemu. Podatki OPT-jev so osnova za storitveno kartiranje in omogočajo prikaz možnih storitev dostopa do elektronskega komunikacijskega omrežja na fizični lokaciji končnih uporabnikov.

3.2 Evidenca izkazanega tržnega interesa za gradnjo širokopasovnega omrežja

Razvoj širokopasovne infrastrukture na podeželskih območjih je zaradi razpršene in redke posejnosti otežen, saj je ruralnih naselij skoraj tri četrtine, v teh naseljih pa živi slaba četrtina celotnega prebivalstva, kar Slovenijo umešča med ruralne države. Zasebnim investitorjem zaradi navedenega praviloma ne uspe oblikovati vzdržnih investicijskih projektov. Slovenija zato z javnimi sredstvi sofinancira gradnjo infrastrukture na belih lisah, kjer ni na voljo ustrezne infrastrukture in tudi ni tržnega interesa za njeno gradnjo. Postopek (so)financiranja gradnje elektronskih komunikacijskih omrežij z javnimi sredstvi vključuje poizvedovanje po tržnem interesu za gradnjo širokopasovnega omrežja (Zakon o elektronskih ... 2017). Pred objavo razpisa za gradnjo MJU objavi poziv, s katerim poizveduje po tržnem interesu na lokacijah, ki so predvidene za (so)financiranje gradnje. Če obstaja tržni interes, MJU sklene pogodbo z investitorjem, ki se zaveže, da bo omrežje zgradil v roku treh let.

3.3 Tržni interes

V evidenci izkazanega tržnega interesa se vodijo podatki o lokacijah, za katere so investitorji v elektronska komunikacijska omrežja sklenili pogodbo z MJU-jem in se s tem zavezali k izgradnji OPT-jev

v roku treh let. Podatki izkazanega tržnega interesa po pogodbah, ki so bile sklenjene v letu 2019, so javne in vključujejo naslednje podatke:

- lokacija načrtovanega priključka (enolični identifikator hišne številke),
- število priključkov, ki bodo zgrajeni na določenem naslovu,
- naziv investitorja,
- vrsta načrtovanega priključka (optični, kabelski),
- zmogljivost načrtovanega priključka v Mb/s,
- rok izgradnje.

Podatki izkazanega tržnega interesa se uporabljajo za usmeritev (so)financiranja gradnje omrežij na območja, ki so za investitorje tržno nezanimiva. Uporabni so tudi za preverjanje načrtovane gradnje na določeni lokacije, za oceno predvidene pokritosti v roku do treh let ter za načrtovanje aktivnosti za doseganje popolne pokritosti prebivalstva in drugih končnih uporabnikov v skladu s strateški cilji gigabitne družbe do 2025 (Connectivity ... 2016).

3.4 Odprta širokopasovna omrežja

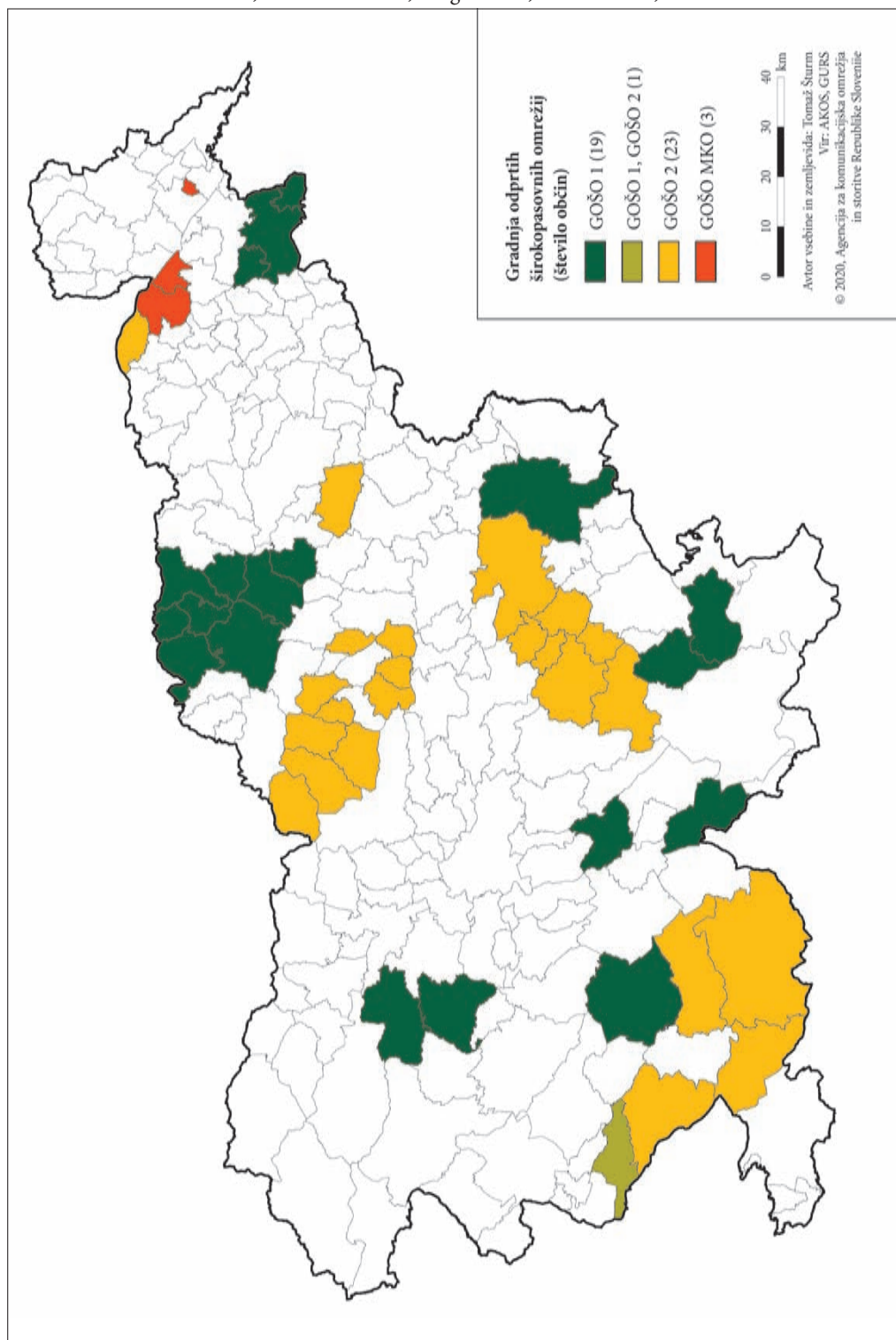
Območja, kjer ni izkazanega tržnega interesa za gradnjo omrežja, so predmet javnega razpisa za (so)financiranje z javnimi sredstvi (gradnja odprtih širokopasovnih omrežij (OŠO) elektronskih komunikacij). Ta območja, imenovana bele lise, so opredeljena kot območja, kjer ob času prijave na javni razpis širokopasovni priključki niso omogočeni, oziroma kot območja, kjer novi interesenti nimajo možnosti pridobitve širokopasovnega priključka, četudi na tem območju že obstajajo posamezni širokopasovni priključki in kot območja, za katera na dan objave javnega razpisa s strani operaterjev ni izkazan tržni interes. Sofinanciranje upravičenih stroškov gradnje OŠO-jev v lokalnih skupnostih na območjih belih lis je urejeno prek javnega razpisa. Tako zgrajeno omrežje je v javnem interesu, je odprto in pod enakimi pogoji dostopno vsem telekomunikacijskim operaterjem in ponudnikom storitev (Zakon o elektronskih ... 2017). Do leta 2019 so bili uspešno uresničeni trije javni razpisi, v katerih je sodelovalo 43 občin (slika 1) in so bili zgrajeni širokopasovni priključki za 30.734 gospodinjstev (Načrt razvoja ... 2016).

4 Zelo visokozmogljiva širokopasovna omrežja v Sloveniji

V tej raziskavi so bili kot VHCN-ji upoštevani optični in kabelski OPT-ji, saj tudi za kabelske OPT-je obstaja velika verjetnost, da bodo, predvsem upoštevajoč nacionalno topologijo kabelskih omrežij, izpolnjevali vse kriterije kakovosti VHCN omrežij, ki bodo dogovorjeni do konca leta 2020 (Direktiva ... 2018). V raziskavi smo predpostavili, da ima pravna oseba ali gospodinjstvo dostop do VHCN-ja, če je na sedežu le-te zgrajen ali omogočen vsaj en dovolj zmogljiv OPT, ki omogoča uporabnikom prenos/nalaganje podatkov s hitrostjo 1 Gb/s. Prav tako smo upoštevali, da je OPT omogočen, če je dovolj zmogljivo omrežje v neposredni bližini, to je do 200 m. Ocenili smo stanje VHCN-jev in doseganje strateških ciljev giga-bitne družbe na področju fiksnih omrežij (Connectivity ... 2016). Predmet raziskave je:

- pokritost glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja in gospodinjstev,
- infrastrukturna konkurenca,
- pričakovana pokritost gospodinjstev do leta 2023.

Slika 1: Občine, vključene v projekte izgradnje OŠO omrežij v okviru javnih razpisov Ministrstva za javno upravo (GOŠO 1 in GOŠO 2) ter Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (GOŠO MKO). ► (str. 180)



Za analizo smo uporabili podatke OPT-jev, ki smo jih prevzeli s spletnih strani GURS-a na dan 14. 12. 2019. Število vseh zapisov OPT-jev, ki smo jim določili tudi grafični del, je bilo 1.944.051. Ugotovili smo, da 904 (0,5 %) zapisov nima podatka o lokaciji. Vseh OPT-jev, ki smo jim lahko določili lokacijo in jih uporabili za nadaljnje analize, je 1.943.147.

4.1 Pokritost glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja

Prvi strateški cilj glede povezljivosti do leta 2025 (Arnold s sodelavci 2015) je, da imajo vsi glavni spodbujevalci družbeno-ekonomskega razvoja (šole, univerze, prometna vozlišča, vsi ponudniki javnih storitev ter podjetja, ki slonijo na digitalnih tehnologijah) dostop do zelo visoko zmogljive (gigabitne) povezljivosti. Kazalnik za oceno strateškega cilja je pokritost (delež) spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja, ki imajo možnost dostopa do VHCN-ja. Za izračun kazalnika smo glavne spodbujevalce družbeno-ekonomskega razvoja določili na podlagi podatkov o glavni dejavnosti pravnih oseb po standardni klasifikaciji dejavnosti (SKD), ki je registrirana v Poslovnem registru Slovenije (2020). V raziskavo smo vključili pravne osebe, ki imajo kot glavno dejavnost opredeljeno eno izmed naslednjih dejavnosti po SKD-ju:

- izobraževanje,
- znanstvena raziskovalna in razvojna dejavnost,
- bolnišnična zdravstvena dejavnost,
- splošna dejavnost javne uprave, urejanje zdravstva, izobraževanja, kulturnih in drugih socialnih storitev,
 - informacijske in komunikacijske dejavnosti.

Iz tega nabora so izločeni samostojni podjetniki, društva, interesna združenja, zasebni učitelji ipd. Na območju Slovenije smo določili prek 3000 poslovnih subjektov, ki ustrezajo kriterijem glavnih spodbujevalcev ekonomsko-družbenega razvoja. Poslovne subjekte smo povezali z OPT-ji, analiza je pokazala, da ima 91,3 % od njih VHCN dostop (preglednica 1), do leta 2025 pa v bi v skladu s cilji gigabitne družbe morali doseči 100 % pokritost.

Preglednica 1: Deleži VHCN-jev glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja (2019).

vrsta priključka	delež v %
optični priključek	84,7
kabelski priključek	6,6

Z upoštevanjem podatkov o izkazanem tržnem interesu smo ocenili predvideno pokritost glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja ob predpostavki, da bo tržni interes 100 % uresničen v dogovorjenem triletnem roku. V izračunu smo poleg zgrajenih in omogočenih OPT-jev upoštevali tudi vse OPT-je, ki bodo zgrajeni na podlagi sklenjenih pogodb o izkazanem tržnem interesu med ministrstvom in posameznimi investitorji. Z upoštevanjem izkazanega tržnega interesa v letih 2016, 2018, 2019 bo po dokončanju gradnje dostop do VHCN-jev imelo 97,8 % glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja v Sloveniji.

4.2 Pokritost gospodinjstev z omrežnimi priključnimi točkami

Drugi strateški cilj, kot ga določa vizija Evrope do leta 2025, je, da imajo vsa evropska gospodinjstva, tako v mestih kot na podeželju, dostop do povezljivosti, ki omogoča hitrost prenosa vsaj 100 Mb/s in jo je mogoče nadgraditi na 1 Gb/s (Arnold 2015). Slovenski strateški cilji do leta 2020 so, da se čim več gospodinjstvom zagotovi širokopasovni dostop do interneta vsaj 100 Mb/s, ostalim gospodinjstvom

pa vsaj 30 Mb/s. Kazalnik za oceno teh strateških ciljev je pokritost (delež) gospodinjstev, ki imajo možnost dostopa do VHCN-jev. Vir podatkov za določitev števila gospodinjstev na posamezni lokaciji (naslovu) je evidenca gospodinjstev, ki jo vodi Ministrstvo za notranje zadeve v sklopu centralnega registra prebivalstva (Centralni register ... 2019). Pri analizi smo upoštevali, da so na enem naslovu pokrita vsa gospodinjstva, če je na naslovu zgrajen ali omogočen vsaj en optični ali kabelski OPT.

Podatke OPT-jev smo povezali s podatki o gospodinjstvih, ki jih je 870.695. Analiza je pokazala, ima v Sloveniji trenutno dostop do interneta 865.613 (99,4 %) gospodinjstev (preglednica 2).

Preglednica 2: Delež gospodinjstev glede na vrsto priključka leta 2019.

vrsta priključka	število gospodinjstev	delež [%]
optični priključek	615.324	71,1
kabelski priključek	120.986	14,0
drugo	129.303	14,9
skupaj	865.613	100

Od vseh gospodinjstev, ki imajo dostop do interneta, je gospodinjstev z VHCN-jem več kot 85 % (preglednica 2). Še vedno pa je velik delež gospodinjstev (14,9 %), ki nimajo internetnega dostopa prek VHCN-ja.

Za bolj podroben vpogled smo najprej uporabili prikaz dostopnosti gospodinjstev do VHCN-jev na ravni občin. Deleži pokritosti gospodinjstev z VHCN-ji po občinah so prikazani na sliki 2.

Na sliki 2 je 11 % občin, kjer imajo vsa gospodinjstva dostop do VHCN. Največ občina (50 %) ima delež pokritosti gospodinjstev z VHCN-ji med 76 in 99 %. Na drug strani je 5 občin (2,4 %), ki sploh nimajo gospodinjstev z VHCN dostopom. Še bolj podroben vpogled v delež pokritost gospodinjstev z VHCN-ji nam nudi prikaz po naseljih (slika 3).

V 2047 (34 %) naseljih imajo vsa gospodinjstev (100 %) dostop do VHCN-ja (slika 3). Na drugi strani pa imamo veliko število naselij (36 %), kjer dostop do VHCN-jev ni niti omogočen. Med temi naselji je 20 naselij neposeljenih, 25 pa samo z enim gospodinjstvom (Pravilnik o vodenju ... 2018).

Na podlagi podatkov o izkazanem tržnem interesu smo ocenili predvideno pokritost gospodinjstev ob predpostavki, da bo tržni interes 100 % uresničen v dogovorjenem triletnem roku. V izračunu smo poleg zgrajenih in omogočenih OPT-jev upoštevali tudi vse OPT-je, ki bodo zgrajeni na podlagi sklenjenih pogodb o izkazanem tržnem interesu med MJU-jem in posameznimi investitorji. Z upoštevanjem izkazanega tržnega interesa v letih 2016, 2018, 2019 bo po dokončanju gradnje dostop do VHCN-jev imelo 839.030 gospodinjstev (96,4 %) v Sloveniji.

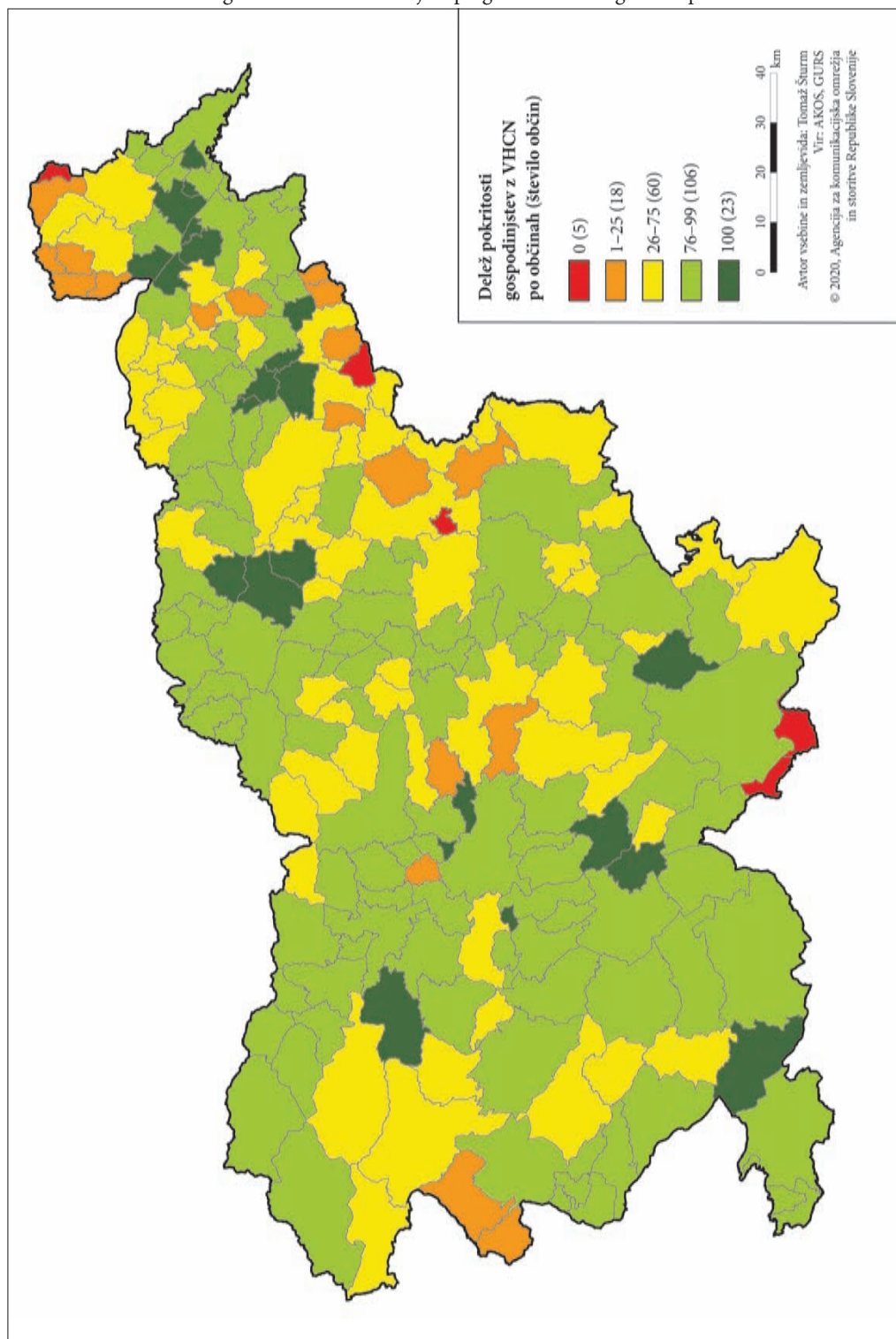
4.3 Infrastrukturalna konkurenca

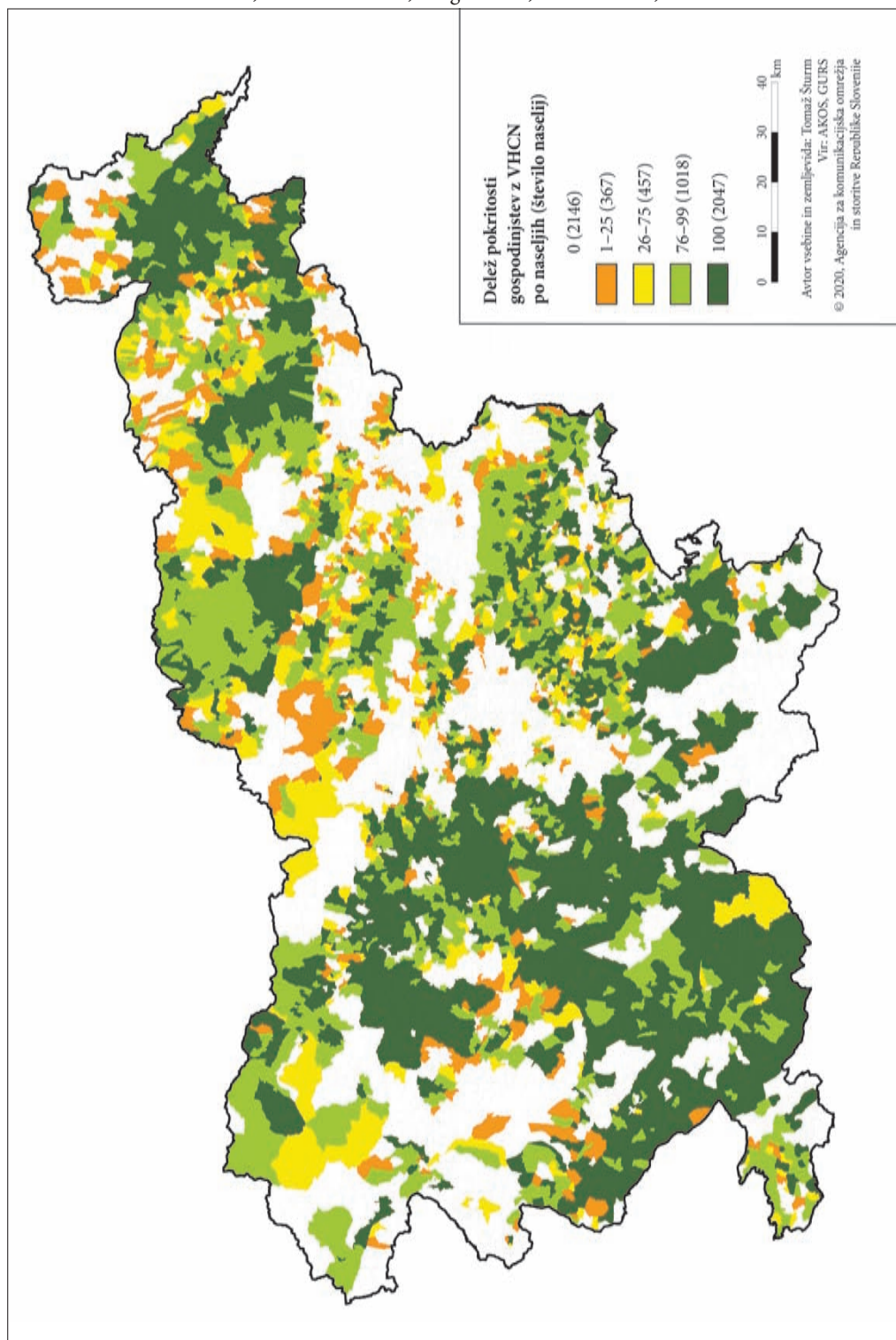
S predhodnimi analizami smo preučili pokritost lokacij z možnostjo dostopa do VHCN-jev. Na eni strani so v Sloveniji lokacije, ki so izredno tržno nezanimive in investitorji niso zainteresirani za gradnjo, po drugi strani pa so urbana območja z zelo visoko gostoto poselitve za investitorje izredno zanimiva. Z analizo infrastrukturne konkurence smo ocenili prostorsko porazdelitev območij, na katerih je prisotnih več infrastruktur različnih upravljavcev. S tem namenom smo izračunali število različnih investitorjev ali upravljavcev VHCN-jev na posameznem naslovu (slika 4).

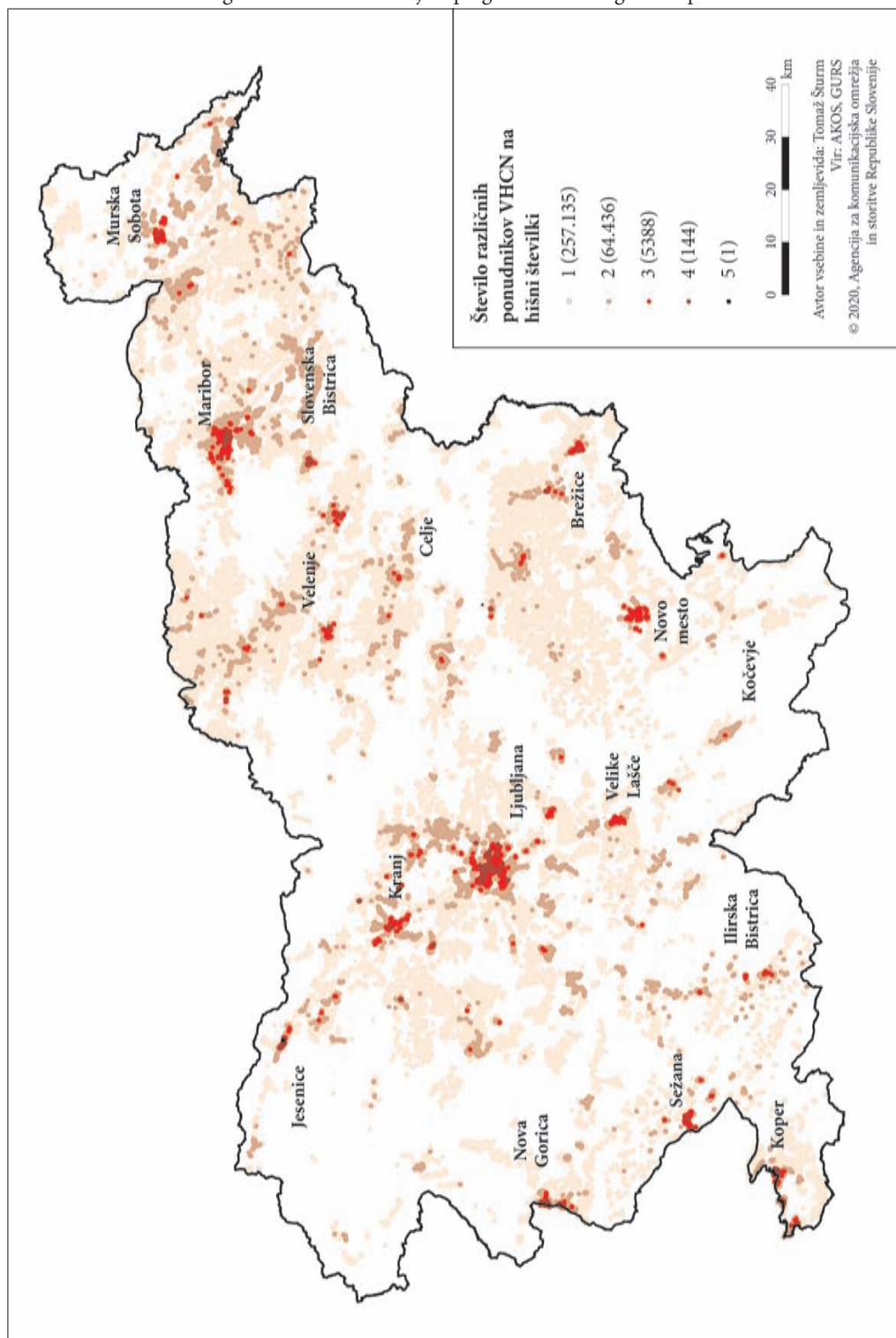
Slika 2: Delež pokritosti gospodinjstev z VHCN-ji po občinah (2019). ►

Slika 3: Delež pokritosti gospodinjstev z VHCN-ji po naseljih leta 2019. ► (str. 184)

Slika 4: Število ponudnikov VHCN-jev na hišni številki leta 2019. ► (str. 185)







Izstopajo predvsem mestna naselja in regionalna središča (Mestna ... 2020), kjer je večja količina prebivalstva in tudi industrije. Čeprav je malo lokacij, kjer so prisotni trije ali celo več VHCN operaterjev (manj kot 2 %), pa obstaja veliko število naslovov (19 %), kjer je možnost izbire vsaj med dvema operaterjema.

5 Razprava in sklepi

S strategijo enotnega digitalnega trga (*digital single market*) do leta 2020 in s strategijo gigabitne družbe (*European gigabit society*) do leta 2025 EK med drugim zasleduje tudi vsesplošno povezanost državljanov članic, podjetij in institucij (Arnold 2015). Pokritosti glavnih spodbujevalcev družbeno-ekonomskega razvoja z VHCN-ji v Sloveniji je trenutno 91,3 %, strateški cilj je 100 % do leta 2025 (Arnold 2015). Ko smo vključili še podatke načrtovanega tržnega interesa, je bil rezultat pokritosti 97,8 %. Drugi cilj strategije je pokritost vseh gospodinjstev z vsaj 100 Mb/s (Arnold 2015), v Sloveniji pa je trenutna pokritost več kot 85 %. Visok delež gospodinjstev z VHCN-ji predvsem na podeželju gre iskati v vstopu Slovenije v EU in razpisih za gradnjo, upravljanje in vzdrževanje OŠO-jev elektronskih komunikacij v lokalni skupnosti. Po zaključeni gradnji tržnega interesa leta 2023 se bo delež povečal na več 96 %. Za uspešno dokončanje strateških ciljev do leta 2025 (Connectivity ... 2016) ostane v Sloveniji po letu 2023 za izgradnjo še manj kot 4 % lokacij. V letu 2020 je pripravljen že četrti razpis za gradnjo OŠO-jev (1. javni razpis ... 2020), kar je še en korak bliže zastavljenim strateškim ciljem do leta 2025.

Pregled infrastrukturne konkurence je pokazal, da le ta obstaja predvsem na urbanih območjih, kjer je večje število prebivalcev in posledično tudi več ponudnikov VHCN-jev, največkrat dva ponudnika. Na ta način imamo uporabniki možnost izbire, kar vpliva tudi na kakovost in ceno storitev. Ugotovili smo tudi, da v Sloveniji obstajajo območja (naselja), kjer ni VHCN-jev. Med razlogi lahko najdemo prazna naselja brez gospodinjstev, ali pa naselja s samo enim prebivalcem, oddaljenost od večjih središč ali pa težaven teren, ki ne omogoča niti gradnje OŠO-ja z razumnimi stroški.

Pot do digitalne družbe prihodnosti je povezana z internetom zelo velikih hitrosti. Pričujoča raziskava je pokazala, da so postali podatki OPT-jev na ravni EU-ja pomemben kazalec VHCN in dostopnosti do digitalnih storitev. Slovenija se upravičeno lahko uvršča v sam vrh EU-ja na področju prostorskih podatkov, katerih karakteristike so odprtost, položajna natančnost in točnost, kakovost, pravna ureditev, zbiranje in strukture podatkov. Rezultati raziskave so pokazali, da Slovenija sledi strateškemu ciljem EK-ja do leta 2025. Nahajamo se pred ključnim obdobjem, v katerem bo treba uspešno zaključiti morebitne javne razpise OŠO-jev in tržni interes. Na ta način bomo vsem prebivalcem Slovenije omogočili VHCN prehod v digitalno družbo po meri človeka.

6 Viri in literatura

1. javni razpis za podukrep 7.3: Podpora za širokopasovno infrastrukturo, vključno z njeno vzpostavitvijo, izboljšanjem in razširitvijo, pasivno širokopasovno infrastrukturo ter zagotavljanjem dostopa do širokopasovnega interneta in rešitev v zvezi z e-upravo. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si/zbirke/javne-objave/objava-javnega-razpisa-in-razpisne-dokumentacije-k-1-javnem-razpisu-za-podukrep-7-3-podpora-za-sirokopasovno-infrastrukturo-vključno-z-njeno-vzpostavitvijo-izboljšanjem-in-razširitvijo-pasivno-sirokopasovno-infrastrukturo-ter-zagotavljanjem-dostopa-do-sir/> (29. 1. 2020).
- Arnold, R., Kirch, M., Waldburger, M., Windolph, A. 2015: Study on Broadband and Infrastructure Mapping. Bruselj. DOI: <https://doi.org/10.2759/488313>
- Centralni register prebivalstva Republike Slovenije. Ministrstvo za notranje zadeve. Ljubljana, 2019.

- Connectivity – Broadband market developments in the EU. Evropska komisija. Bruselj, 2019. Medmrežje: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60010 (14. 1. 2020).
- Connectivity for a competitive digital single market – Towards a European gigabit society. Evropska komisija. Bruselj, 2016. Medmrežje: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-587-EN-F1-1.PDF> (14. 1. 2020).
- Direktiva (EU) 2018/1972 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 11. decembra 2018 o Evropskem zakoniku o elektronskih komunikacijah (prenovitev) Besedilo velja za EGP. Medmrežje: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/1972/oj?locale=sl> (20. 1. 2020).
- European broadband mapping, 2019. Medmrežje: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/broadband-and-infrastructure-mapping-project> (14. 1. 2020).
- Informacijske in komunikacijske tehnologije, 2020. Medmrežje: https://ec.europa.eu/regional_policy/sl/policy/themes/ict/ (14. 1. 2020).
- Izmenjevalni format za posredovanje podatkov o omrežnih priključnih točkah verzija 3.3. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2019. Medmrežje: https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/GJI/Elaborati_OPT/Format_sifrant_OPT_3_3_9_12_2019.pdf (8. 1. 2020)
- Mesta in urbana območja v Sloveniji, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/mesta-in-urbana-območja-v-sloveniji/> (14. 1. 2020).
- Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport. Ljubljana, 2016. Medmrežje: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MJU/DI/48354c7446/Nacrt-razvoja-sirokopasovnih-omrezij.pdf> 14. 1. 2020).
- Poslovni register Slovenije, 2020. Medmrežje: https://www.ajpes.si/Registri/Poslovni_register/Splosno (14. 1. 2020).
- Pravilnik o vodenju in vsebini podatkov o komunikacijskih omrežjih in pripadajoči infrastrukturi, omrežnih priključnih točkah in drugih elektronskih komunikacijskih omrežjih. Uradni list Republike Slovenije 19/2018. Ljubljana.
- Zakon o elektronskih komunikacijah. Uradni list Republike Slovenije 109/2012, 110/2013, 40/2014, 54/2014, 81/2015, 40/2017 in 30/2019. Ljubljana.

SMARTKARST.EU – SPLETNA NAVIGACIJSKA PLATFORMA ZA RAZVOJ TRAJNOSTNEGA TURIZMA V ČEZMEJNI KRAŠKI POKRAJINI

dr. Mateja Breg Valjavec

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

mateja.breg@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7581-758X>

Matija Klanjšček

Zavod Tovarna trajnostnega turizma – Goodplace

matic@goodplace.si

dr. Rok Ciglič

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

rok.ciglic@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3517-3780>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_14

UDK: 911.3:338.48(497.4/.5)

004.738.5:338.48(497.4/.5)

IZVLEČEK

SmarTKarst.eu – spletna navigacijska platforma za razvoj trajnostnega turizma v čezmejni kraški pokrajini

Namen prispevka je predstaviti izdelavo in delovanje spletne navigacijske platforme, ki povezuje obstoječo turistično ponudbo čezmejne kraške pokrajine z njeno raznoliko dediščino. Obiskovalce usmerja na pripravljene kolesarske in pohodne poti (KarsTrail) in predstavlja več turističnih proizvodov, ki so povezani s krasom. Območje platforme pokriva čezmejno pokrajino jugozahodne Slovenije in Hrvaškega Primorja, med Krasom na severu in Kvarnerjem na jugu. Izpostavlja štiri destinacije, ki predstavljajo različne tipe kraške pokrajine. Poleg tehničnih izzivov smo se soočili še z izzivom vzdrževanja funkcionalnosti platforme in njene širitve, saj platforma omogoča postopno širitev na kraške pokrajine v celotni Evropi.

KLJUČNE BESEDE

geografija, spletni GIS, kras, dediščina, kolesarjenje, pohodništvo, Slovenija, Hrvaška

ABSTRACT

SmartTKarst.eu – web navigation platform for the development of tourism in cross-border karst area

The main purpose of the chapter is to present a construction and a functioning of a web navigation platform that connects the existing tourist offer of the cross-border karst area with its diverse heritage. It helps visitors to find interesting cycling and hiking trails (KarsTrail) and presents karst-related tourist products. The platform is limited to the cross-border area of south-western Slovenia and northern Croatian Littoral from Kras Plateau on the north to the Bay of Kvarner on the south. It highlights four destinations that represent different types of karst landscapes. In addition to the technical issues, we also encounter the challenge of maintaining the functionality of the platform and its spatial expansion. Namely, also other karst landscapes throughout Europe can gradually be included in the platform.

KEY WORDS

geography, web GIS, heritage, cycling, hiking, Slovenia, Croatia

1 Uvod

Spletne storitve v turizmu so postale ključnega pomena za posredovanje informacij tako splošni javnosti kakor turistični industriji (Chang in Caneday 2012). Spletne platforme so v zadnjih desetletjih postale nepogrešljivo orodje v globalnem, regionalnem in lokalnem turizmu, zato narašča njihova uporaba tako s strani turistov, kakor tudi s strani načrtovalcev turističnih proizvodov in storitev. Pri tem imajo vodilno vlogo spletne turistične agencije, kot sta na primer *Booking.com* ter *TripAdvisor* (Lopez-Cordova 2020). Večina omenjenih platform vključuje tudi prostorsko komponento, čeprav prvenstveno ne gre za geoinformacijske (v nadaljevanju GIS) platforme. Primeri spletnih GIS platform, ki se posredno uporabljajo v turizmu, so na primer *Google Maps*, *Yahoo Maps*, *Bing Maps*, *OpenStreet Maps* in druge, ki so omogočile novo generacijo komunikacijskih omrežij ter dostopnost do raznovrstnih turističnih in prostorskih podatkov (Chang in Caneday 2012).

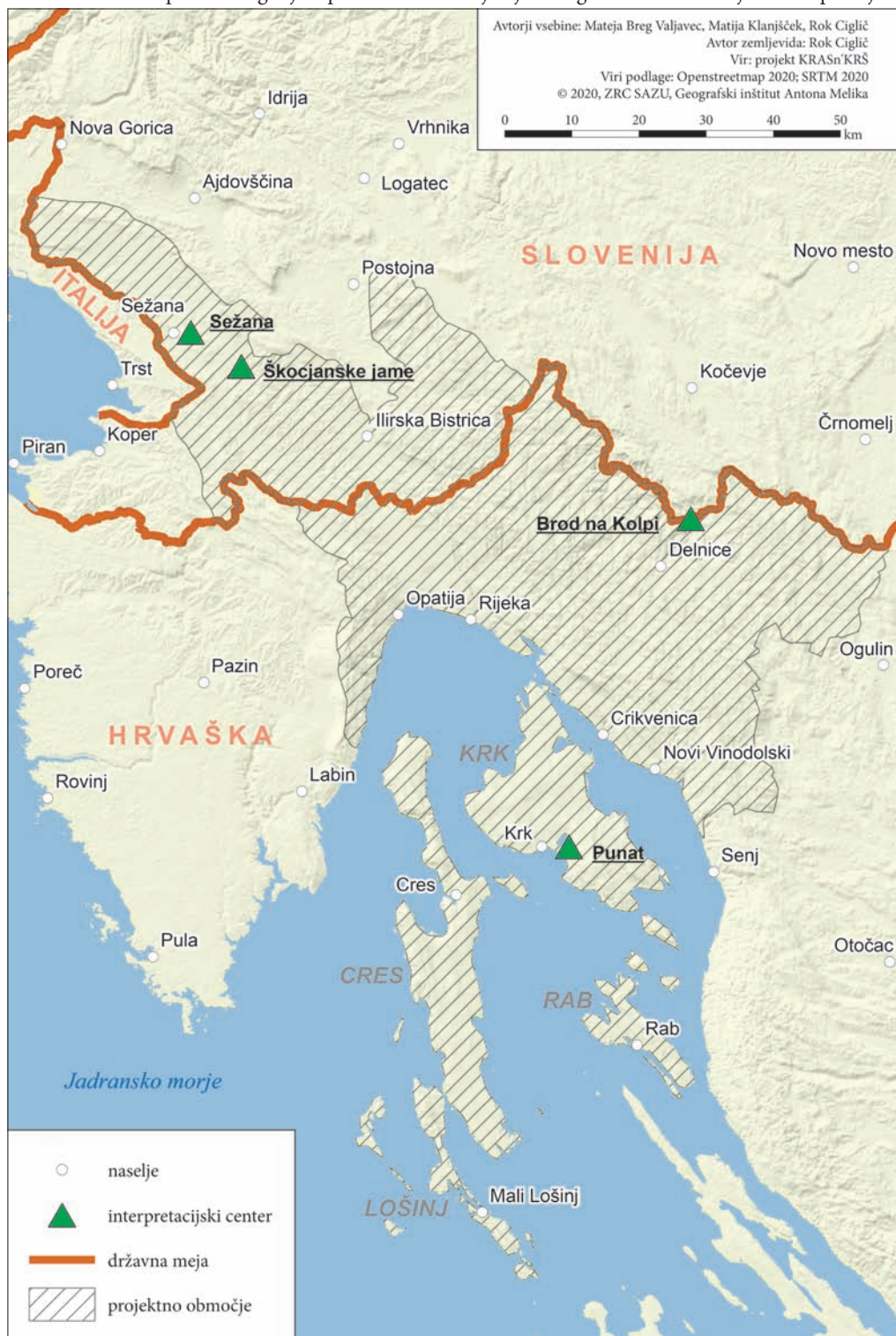
V turizmu lahko ločimo **spletne platforme, ki so namenjene odločevalcem in načrtovalcem turističnih storitev in turistične ponudbe** ter **platforme za turiste, uporabnike**. Prve so namenjene razvoju turizma, druge pa uporabnikom. Najboljše platforme prepoznajo »turistični« profil uporabnika, kar zmanjšuje stroške iskanja potencialnih turistov in analize trga (angleško *tracking costs*) (Goldfarb in Tucker 2019), ter omogočajo pripravo proizvodov in storitev, ki ustrezajo točno določenim uporabnikom. Uporaba spletnih storitev narašča tako med ponudniki tradicionalnih (na primer hoteli) in ne-tradicionalnih (na primer *bed and breakfast*, *Airbnb*) namestitev (Lopez-Cordova 2020), kakor tudi pri ponudnikih sodobnih in inovativnih turističnih storitev (na primer kolesarski turizem, doživljajski turizem). Primer »podporne« GIS platforme namenjene načrtovalcem je *Shapetourism Observatory* (medmrežje 1), kjer so na voljo statistični podatki o turizmu za območje Sredozemlja.

Platforme, ki so namenjene turistom, lahko vključujejo orodja, s katerimi si ti lažje organizirajo potovanje ali rekreacijo ter najdejo zanimive cilje, načrtujejo obisk dediščine, poti in način potovanja med njimi. Kot primer rekreacijske spletne GIS platforme je na primer »*Sprosti se na prostem!*« (medmrežje 2), ki za območje mesta Ljubljana ponuja možnosti za brezplačno rekreacijo na prostem. Večina turističnih spletnih platform je omejena na območja in čas trajanja projekta, zato je težko zagotoviti njihovo trajnost. Spletne GIS platforme, ki bi ponujala in povezovala turistično ponudbo na ravni Slovenije, pa še ni.

Namen prispevka je predstaviti izdelavo, značilnosti, uporabnost in prednosti platforme *SmarTKarst* (medmrežje 3), ki povezuje dediščino in turistično ponudbo v čezmejni kraški pokrajini, o njej izobražuje, jo promovira, a hkrati varuje najbolj ranljivo dediščino z usmerjanjem turistov, saj ponuja že pripravljene kolesarske in pohodne poti. Platforma je namenjena uporabnikom, bodisi individualnim obiskovalcem, kakor tudi turističnim agencijam in turističnim vodnikom (na primer kolesarskim vodnikom). Trenutno je območje platforme omejeno na čezmejno pokrajino jugozahodne Slovenije in Hrvaškega Primorja, med Krasom na severu in Kvarnerjem na jugu, a z vizijo, da se postopno širi na kraške pokrajine v celotni Evropi. Znotraj čezmejnega območja smo izpostavili štiri destinacije, ki predstavljajo različne tipe kraške pokrajine. S tem platforma v izobraževalnem smislu poudarja georaznolikost, bioraznolikost in kulturno raznolikost kraških pokrajin. Izpostavljene destinacije so: Sežana na nizki kraški planoti Kras, Škocjanske jame na kontaktnem krasu med Krasom in flišnimi Brkini, Brod na Kolpi na visokem dinarskem krasu Gorskega Kotarja in Punat na obalnem krasu otoka Krka (slika 1).

Platforma je eden od glavnih rezultatov projekta *KRASn'KRŠ* (medmrežje 4), po katerem je poimenovana tudi turistična destinacija. Zasnova platforme je temeljila na povezavi interpretacijskih središč kraške dediščine na štirih izbranih območjih z vročimi točkami kraške dediščine (poglavje 2.1) ter obstoječo turistično ponudbo (poglavje 2.3) v enotne kolesarske turistične proizvode temelječe na novih trasiranih poteh (poglavje 2.2), ki smo jih poimenovali *KarsTrail*.

Slika 1: Območje, ki ga pokriva in promovira SmarTKarst platforma. ►



2 Zbiranje in obdelava podatkov

2.1 Podatki o dediščini in izbor vročih točk kraške dediščine

Zanimive objekte kraške dediščine smo izbrali na podlagi modela za predhodno vrednotenje, s katerim smo določili tako imenovane vroče točke kraške dediščine (Breg Valjavec s sodelavci 2018). Vroče točke predstavljajo potencialno najpomembnejšo **geodediščino, biodediščino in kulturno dediščino krasa**. Izbor temelji na obstoječih bazah zavarovanih naravnih in kulturnih vrednot dediščine v Sloveniji (Naravne vrednote, Kataster jam, Register kulturne dediščine) in na Hrvaškem, ki so dopolnjene z izborom vročih točk na podlagi predlogov strokovnjakov s področja krasoslovja (slika 2). Med slednjimi so objekti dediščine, ki (še) ni zakonsko zaščiteni.

Pri vrednotenju vročih točk smo uporabili model vrednotenja GAM (angleško *Geosite Assessment Model*; Vujičić s sodelavci 2011), ki smo ga prilagodili posebnostim kraške pokrajine. Izbrali smo devet osnovnih kazalnikov: geološka in geomorfološka izjemnost, biološka izjemnost, kulturološka izjemnost, reprezentativnost, ranljivost, raziskanost, dostopnost, turistična infrastruktura in dodatne zmogljivosti za obiskovalce, oddaljenost od najbližjega interpretacijskega središča ali poligona kraške dediščine. Vrednosti oziroma razmerja med posameznimi kazalniki so podana z različnim seštevkom točk, ki so na razpolago za vrednotenje. Tako ima na primer »izjemnost« najvišje število točk 6, »turistične zmogljivosti« pa imajo pol nižje najvišje število točk (Breg Valjavec s sodelavci 2018). Podatki o dediščini predstavljajo osnovni tematski sloj geolocirane podatkovne baze (slika 3), ki je temeljno izhodišče za vsebinski del platforme *SmartKarst*.

2.2 Podatki o poteh

Postavljena sta bila dva načina povezovanja – s pomočjo kolesarskih in pohodnih poti. Kolesarjenje omogoča dovolj veliko hitrost potovanja in predstavlja enega najhitreje rastočih segmentov aktivnega turizma (Rozman in Mrak 2019), pohodništvo pa ob nižji hitrosti premagovanja razdalj omogoča aktivnejše opazovanje okolice. Aktivni turizem omogoča razvoj podeželja. Kolesarjenje v Evropi in v svetu postaja ena najbolj trajnostnih oblik mobilnosti, ki ni obremenjujoča za okolje, je ekonomsko razmeroma nezahtevna ter hkrati izboljšuje kakovost življenja prebivalcev (Polajnar Horvat in Drogenik 2015; Rozman in Mrak 2019).

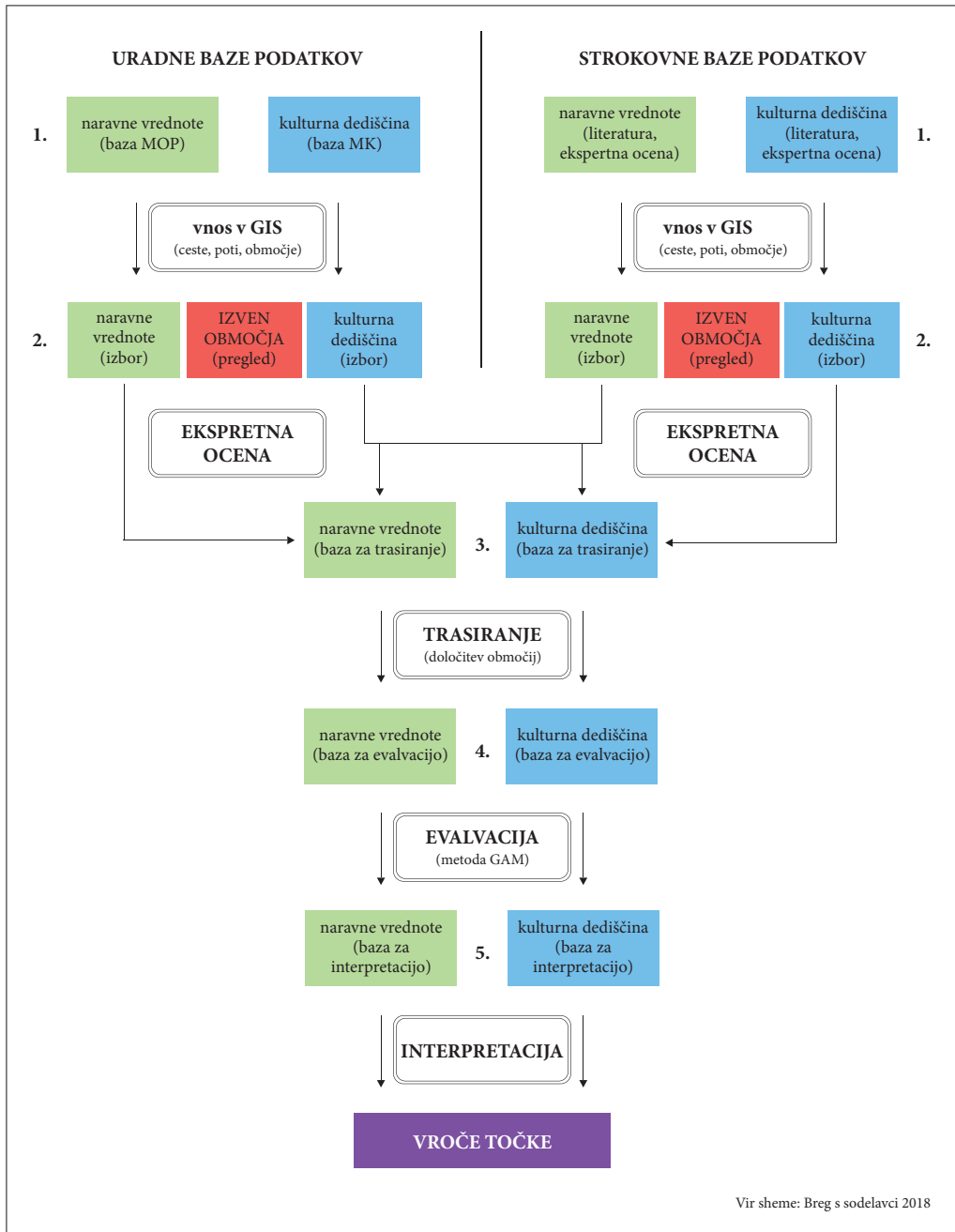
V ta namen je bilo treba prepoznati ustrezno omrežje obstoječih poti, ga preveriti, ustrezno urediti in dopolniti z novimi potmi, ki so bile terensko preverjene oziroma trasirane s pomočjo zajema podatkov sprejemnika GNSS.

Obstoječi podatki so obsegali bazo obstoječih poti, ki jih Zavod Tovarna trajnostnega turizma – *GoodPlace* razvija in uporablja v sodelovanju s turistično agencijo *Visit GoodPlace*. Poleg teh so bile na podlagi vprašalnika pridobljene dodatne informacije o obstoječih tematskih poteh v vseh štirih izbranih območjih. V pretežni meri pa so bili podatki pridobljeni na podlagi lastnega trasiranja, kar je pomenilo približno 130 delovnih ur, v sklopu katerih je bilo prevoženih približno 620 km predvsem kolesarskih, pa tudi pohodniških tras.

Prva faza je vključevala kabinetno pripravo na terensko delo – kartografsko prepoznavanje obravnavanega območja, določitev možnih kolesarskih povezav, oceno dolžin, višinskih metrov vzponov in spustov, osnutek dnevnih etap kolesarjenja/hoje ter podobno. V drugi fazi je sledila terenska izmera, ki je bila večinoma opravljena na kolesih, v manjšem delu tudi z avtomobilom.

Med terenskim delom so bile pridobljene prostorske sledi z ročnim GNSS-sprejemnikom (*Garmin GPSMAP 64s*), sočasno pa opredeljeni in prostorsko umeščeni tudi opisni atributi, kot so vrsta vozne podlage (asfalt, makadam, kolovoz, steza), zahtevnost posameznih odsekov in celotne etape ter dolžine in višinske razlike vzponov oziroma spustov. Attribute smo dodali digitalno, z beleženjem komentarjev k shranjenim točkam in linijam poti.

Vse prostorske sledi so bile popravljene predvsem s pomočjo satelitskih posnetkov v smislu položajne natančnosti ter programsko v smislu glajenja višinskih profilov.



Slika 2: Shematski prikaz postopka za opredelitev vročih točk kraške dediščine.

2.3 Podatki o spremljajoči turistični infrastrukturi

Del podatkovne baze je obsegal tudi podatke o infrastrukturi ob kolesarskih in pohodniških poteh (prenočitvene zmogljivosti, gostinske storitve in izposoja koles) ter izbranih turističnih prireditvah. Za številne objekte smo imeli zgolj poštni naslov, zato smo na podlagi imena in točnega naslova izvedli geokodiranje. Geokodiranje je postopek, pri katerem za določanje lokacij uporabimo že obstoječo bazo lokacij naslovov (Hutchinson 2010; Singh 2017). To pomeni, da imamo za vsak naslov poznano lokacijo v prostoru oziroma lahko o lokaciji naslova sklepamo z določeno stopnjo zaupanja. V našem primeru smo seznam naslovov ponudnikov storitev geokodirali s pomočjo globalne baze naslovov podjetja ESRI. Referenčno bazo sicer lahko ob ustreznih podatkovnih bazah pripravimo tudi sami; na primer s povezovaljem podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije. Geokodiranje je lahko uspešno v celoti ali pa le delno. Delna uspešnost je lahko posledica napačnega naslova v podatkovni bazi uporabnika, napačnega naslova v referenčni bazi naslovov ali pa napačnega postopka (Ratcliffe 2001; Singh 2017). V našem primeru smo uspeli samodejno določiti lokacijo za večino naslovov, približno desetino pa je bilo treba dodatno preveriti ali vnesti povsem na novo. V teh primerih smo si pomagali z iskalniki turističnih ponudnikov ali pa zemljevidi podjetja *Google*.

Podatki o ponudnikih so bili zelo raznoliki, njihovo dejansko stanje pa je mogoče preveriti zgolj na terenu, zato smo v končni podatkovni bazi ohranili ime ponudnika, naslov in točne koordinate v stopinjah (koordinatni sistem WGS84). Vsaka enota pri prenočitvenih zmogljivostih, gostinski ponudbi in izposojevalnici koles ima eno lokacijo, nekateri dogodki pa imajo več lokacij, saj se nekatere prireditve dogajajo sočasno v različnih krajih.

3 Priprava in funkcionalnost platforme

Spletna platforma *SmarTKarst* za turistično destinacijo *KRASn'KRŠ* podaja informacije o poteh in kraških značilnostih ter temelji na kartografski podlagi, na kateri so označene vse v destinacijo vključene lokacije: območja štirih interpretacijskih središč in štirih poligonov (to so tematske kraške poti, ki se navezujejo na posamezno središče), vroče točke, obstoječa turistična ponudba in omrežje poti. S platformo *SmarTKarst* je bila vzpostavljena virtualna signalizacija, ki omogoča trajnostno usmerjanje obiskovalcev h kraškim zanimivostim in pri tem uporablja turistične proizvode *KarsTrail*.

3.1 Glavne funkcionalnosti in lastnosti delovanja platforme

Platforma *SmarTKarst* je bila razvita na podlagi odprtokodnih rešitev (*Drupal*, *Ubuntu*, *PHP*, *PostgreSQL* + *Postgis*) in zagotavlja natančen prikaz prostorskih tematskih vsebin (poti in točk) s pomočjo spletnega kartografskega pregledovalnika (slika 4). V pregledovalniku ponuja ustrezne prostorske podlage, skladno z možnostmi osnovnega kartografskega oblikovanja in zagotavljanja kakovostnega prikaza tematskih vsebin (nastavljiva topografska podlaga s prikazom reliefnih značilnosti, satelitska slika). Platforma vključuje lasten model višin na celotnem projektnem območju, ki omogoča določitev prostorskih oziroma metričnih parametrov linijskih in točkovnih tematskih vsebin, kot so nadmorska višina, dolžina linij in višinski profili. V procesu izgradnje platforme je bila izvedena kakovostna prostorska umestitev vsebin s predhodno obdelavo prostorskih podatkov, ki je zagotavljala položajno natančnost manj kot 10 m (linije) oziroma manj kot 5 m (točke) ter višinsko natančnost manj kot 20 m. Zagotovljena je tudi možnost prikaza lokacije uporabnika za potrebe navigacije po terenu.

Platforma zagotavlja optimizacijo kartografskih prikazov ter s tem uporabniku kakovostno in uporabniško izkušnjo. Poti in točke na kartografskem pregledovalniku so namreč prikazane v vektorski

Slika 3: Geolocirana podatkovna baza je osnova za vsebinski del platforme SmarTKarst. ►



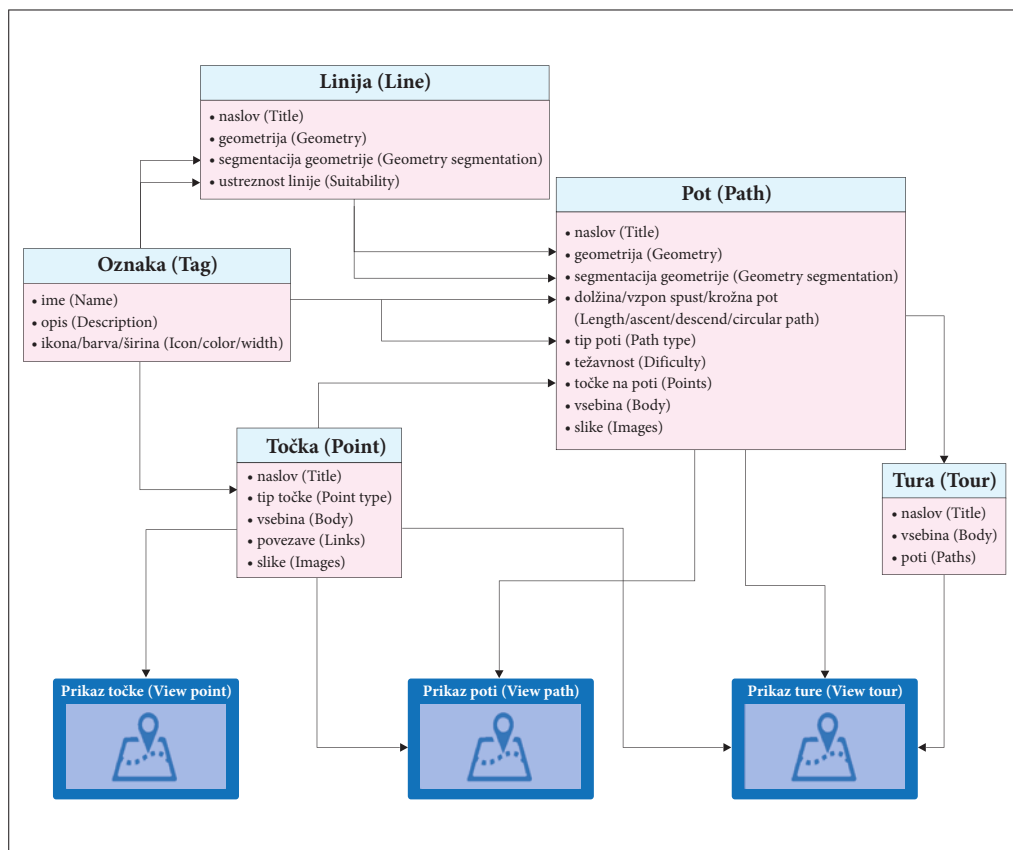
obliki, podatki za vektorski prikaz pa so sprotno omejeni na vsakokratno povečavo in okvir zemljevida (angleško *bounding box*); vsak premik zemljevida ali sprememba povečave sproži novo zahtevo na strežnik, ki vsebuje podatke o okvirju, povečavi in podatkih za filtriranje, strežniški odgovor pa vsebuje le podatke za tiste poti in točke, ki ustrezajo tem kriterijem.

Platforma ponuja filtriranje vsebin glede na izbrane parametre, kakor tudi iskalnik po vsebinah. Za zunanjo uporabo tematskih vsebin, ki so vključene na platformi *SmartKarst*, je preko uporabniškega vmesnika omogočen izvoz linij in točk (format *gpx*) ter vsebinsko-slikovnega opisa poti s pripadajočimi točkami (format *pdf*).

Platforma zagotavlja delovanje na namiznih operacijskih sistemih in mobilnih napravah, saj se prikaz prilagaja lastnostim uporabnikove naprave (angleško *responsive design*).

3.2 Glavne lastnosti administratorskega vmesnika

Administratorski vmesnik platforme *SmartKarst* omogoča masovni uvoz in izvoz podatkov, kakor tudi uvoz oziroma izvoz posameznih vsebin ali vsebin po posameznih objektnih tipih (na primer linije, poti, ture, točke, članki). Izvoz je namenjen tudi celostnemu arhiviranju tako vsebin kakor tudi uporabniško zgrajene strukture platforme (možnost arhiviranja vsebin in vseh njihovih medsebojnih relacij ena-ena oziroma ena-mnogo) in poteka na podlagi določene razpredelnice strukture



Slika 4: Tehnična shema platforme.

podatkov, zapisane v formatu *csv* (*xlsx*) za točkovni objektni tip oziroma v formatu *json* za preostale geometrijske vsebine.

Upravitelju je na razpolago urejena struktura podatkov ter filtriranje in iskanje po vseh vsebinah. Omogočeno je urejanje tematskih vsebin (tekstovnih opisov, fotografij in podobnega), kakor tudi urejanje geometrijskih prostorskih podatkov (urejanje/brisanje/dodajanje tematskih točk in linij, urejanje/brisanje/dodajanje vozliščnih in lomnih točk linij).

Upravitelju je omogočeno ustvarjanje in urejanje atributov tematskih vsebin (točk in poti), njihovo dodeljevanje tematskim vsebinam glede na potrebe ter temu ustrezno filtriranje prikazov vsebin. Osnovo kartografskega dela platforme predstavlja oblikovanje vsebin različnih kartografskih prikazov ter določanje in nastavljanje prikaznih filtrov. Nadalje je upravitelju na voljo tudi oblikovanje vsebin poljubnih kartografskih prikazov za potrebe umestitve »kartografskega okna« v druge, obstoječe spletne strani.

Omogočena je tudi nastavljiva struktura aplikacije. To pomeni, da se lahko različnim osebam dodelijo različne ravni upravljanja vsebin, od celotnega dostopa do poljubno omejenih vsebinsko-uredniških pravic, do katerih upravljavci dostopajo z lastnim osebnim geslom.

4 Rezultati in diskusija

4.1. Kaj platforma *SmarTKarst* vsebinsko in tehnično ponuja uporabniku?

Platforma nudi specifično tematsko turistično predstavitev čezmejne pokrajine med Slovenijo in Hrvaško s poudarkom na kraški dediščini. Omogoča tako prostorsko, vsebinsko in tehnično razširitev glede na nadaljnje potrebe območja in morebitnih novih razvojnih projektov na področju turizma in varstva dediščine. Zaradi vsebinske usmerjenosti v kolesarski turizem in v ob poteh locirano dediščino (vroče točke) prevladujejo linijski in točkovni podatki.

Lastnosti linijskih podatkov:

- topološko urejeni linijski prostorski podatki so združeni v zveznem mrežnem modelu, ki upravitelju omogoča sestavljanje poljubnih poti;
- zagotovljen je prikaz interaktivnega in na posamezno pot vezanega višinskega profila;
- zagotovljena je možnost natančnega opredeljevanja tehničnih in drugih atributov prikazanih poti za celotno pot in po potrebi po posameznih poljubnih odsekih (kategorija poti, dolžina, višinska razlika, zahtevnost, podlaga vozne površine);
- omogočeno je filtriranje prikazov linijskih vsebin glede na opredeljene attribute.

Lastnosti točkovnih podatkov:

- natančen prostorski prikaz tematskih točk različnih kategorij;
- tematske točke so opremljene z atributi ter dopolnilnimi besedili in multimedijskimi vsebinami;
- zagotovljeno je filtriranje prikazov točkovnih vsebin glede na opredeljene attribute;
- zagotovljeno je združevanje tematskih točk glede na gostoto prikaza in glede na povečavo zemljevida (zagotavljanje berljivosti zemljevida tudi pri manjših povečavah);
- omogočeno je povezovanje tematskih točk in poti v zaključeno celoto (določitev pripadnosti posamezne tematske točke eni ali več določenim potem).

4.2 Možnost razvoja turističnih proizvodov

Z zasnovo trajnostnega usmerjanja turistov po destinaciji so bili vzpostavljeni čezmejni turistični proizvodi *Kars Trail* – kolesarske ali pohodne poti za aktivne obiskovalce. Za ustvarjanje novih *Kars Trail* turističnih proizvodov so bila prepoznana naslednja merila:

- merilo zanimivosti ob poteh (vsebinsko in turistično ovrednotene vroče točke kraške dediščine);
- merilo turistične ponudbe ob poteh (spanje, hrana, e-polnilnice, dogodki);

- merilo vrste dejavnosti (kolesarjenje, pohodništvo);
- merila kategorizacije kolesarskih poti glede na tip (na primer gorsko, cestno, potovalno, družinsko) in zahtevnost kolesarjenja (lahka, srednje zahtevna, zahtevna pot);
- merilo dolžine oziroma oddaljenosti med posameznimi cilji;
- posamezna novo vzpostavljena interpretacijska središča kot izhodišče za kolesarske/pohodniške dejavnosti in odkrivanje znamenitosti kraškega sveta.

Opredeljena osnovna izhodišča so nato časovno in vsebinsko pogojevala dejansko izgradnjo posameznih *KarsTrail* turističnih proizvodov:

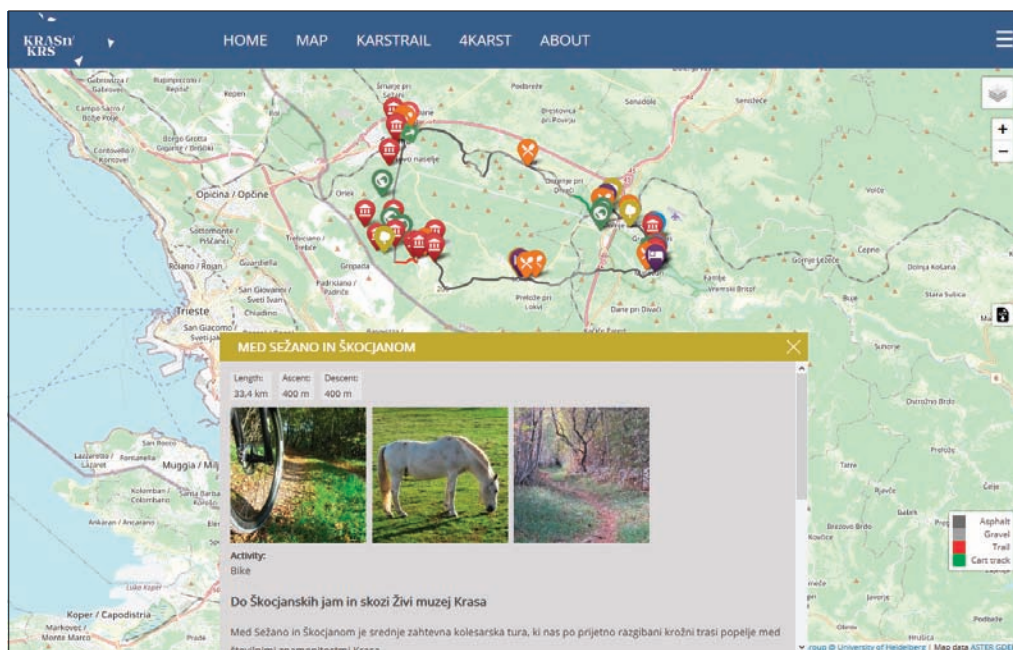
- enodnevne kolesarske ture v okolici posameznega interpretacijskega središča;
- 2- in 3-dnevne kolesarske povezave med posameznimi interpretacijskimi središči;
- več etapna 8-dnevna kolesarska tura na širšem območju, ki poveže vsa interpretacijska središča;
- pohodniške in učne tematske poti.

Oblikovanih je bilo 18 različnih *KarsTrail* čezmejnih turističnih proizvodov, in sicer 5 enodnevnih kolesarskih tur (za primer glej sliko 5), 3 dvodnevne kolesarske ture, 4 tridnevne kolesarske ture, 1 osemdnevna kolesarska tura ter 5 pohodniških oziroma učnih tematskih pešpoti.

4.3 Vsebinska statistika

Na spletni platformi *SmarTKarst* so zbrani naslednji prostorski podatki oziroma tematske vsebine:

- 143 tematskih točk različnih kategorij:
 - interpretacijska središča (4),
 - biodediščina (15),
 - geodediščina (35),



Slika 5: Posnetek zaslona *SmarTKarst* platforme prikazuje potek enodnevnih kolesarskih poti z bližnjo kraško dediščino (vroče točke) in trajnostno turistično ponudbo (namestitve, gostinska ponudba, dogodki in drugo) ter opis in fotografije poti.

- kulturna dediščina (63),
- informacijske točke (22),
- razgledišča (4).
- 284 točk dodatne turistične ponudbe ob poteh:
 - nastanitve (127),
 - prehrana (157).
- mrežni model linijskih odsekov, ki sestavljajo posamezne kolesarske in pohodniške poti oziroma dnevne etape (222 unikatnih linij v skupni dolžini 1716,7 km);
- 36 posameznih kolesarskih in pohodniških poti (36 dnevnih etap v skupni dolžini 1552,4 km s 35.630 m skupnih vzponov in 36.770 m skupnih spustov), ki sestavljajo 18 samostojnih eno- in večdnevnih kolesarskih in pohodniških tur (18 *KarsTrail* turističnih proizvodov):
 - enodnevne kolesarske ture:
 - Med Sežano in Škocjanom (33,4 km),
 - Divaški kolesarski krog (56,8 km),
 - Nad dolino Kolpe (37,6 km),
 - Med Punatom in Krkom (23,0 km),
 - Iz Punata čez Mesečev plato (52,2 km),
 - dvodnevne kolesarske ture:
 - Po slovenskem krasu (80,6 km),
 - Od Reke do Reke (114,3 km),
 - Preko Čičarije do morja (89,3 km),
 - tridnevne kolesarske ture:
 - Od Sežane do Kolpe (151,4 km),
 - Od Kolpe do Kvarnerja (104,4 km),
 - Kraške planote v zaledju Reke (144,7 km),
 - Skozi Risnjak in okoli Snežnika (169,3 km),
 - osemdnevna kolesarska tura:
 - Veliki kraški krog (465,9 km),
 - enodnevne pohodniške oziroma učne tematske poti:
 - Peš na Mesečev plato (19,0 km),
 - Kraška tematska pot Gradišče (4,0 km),
 - Kraška tematska pot med vrtačami (3,6 km),
 - Kraška tematska pot Tri križi (1,7 km),
 - Kraška tematska pot Vučja stopa (1,2 km).

5 Sklep

Platforma *SmarTKarst* je v prvi vrsti namenjena aktivnim turistom, kolesarjem in pohodnikom. Najpomembnejši prispevek platforme je prostorski prikaz podatkov o dediščini, poteh in infrastrukturi na čezmejnem slovensko-hrvaškem kraškem območju. Kras predstavlja osrednji vsebinski poudarek. Poleg številnih tehničnih izzivov, povezanih s pridobivanjem in usklajevanjem obstoječih in novih podatkovnih baz ter samim programiranjem, pa smo zagotovili tudi dolgoročno platforme, in sicer s promocijo in njeno uporabo med lokalnimi ponudniki turističnih namestitev, turističnimi vodniki, lokalnimi skupnostmi in individualnimi uporabniki. Platforma *SmarTKarst* omogoča vsebinsko in prostorsko širjenje na območje celotne Evrope ter povezovanje s sorodnimi platformami. Platforma ima poleg potenciala za trženje v turizmu, potencial za trajnostno upravljanje zavarovanih območij, predvsem z vidika trajnostnega usmerjanja obiskovalcev po vnaprej določenih poteh, pri čemer se ne izpostavlja najbolj ranljive kraške dediščine in se jo s tem varuje. Nena zadnje, a zelo pomembno je,

da je poslanstvo platforme tudi popularizacija krasoslovja, kraških pokrajin med splošno javnostjo v Sloveniji, na Hrvaškem in širšem evropskem prostoru.

ZAHVALA: Platforma SmartKarst je nastala v okviru projekta KRASn'KRŠ – Ohranjanje in valorizacija dediščine ter razvoj trajnostnega turizma v čezmejni kraški pokrajini (2017–2020), ki ga je financiral program čezmejnega sodelovanja Interreg Slovenija–Hrvaška. Platforma in prispevek sta nastala tudi v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

6 Viri in literatura

- Breg Valjavec, M., Modrič Surina, Ž., Surina, B., Dunato Pejnović, N., Zorn, M., Tičar, J., Komac, B., Čarni, A., Smrekar, A., Polajnar Horvat, K. 2018: Orodje za opredelitev vročih točk kraške dediščine. Projekt KRASn'KRŠ (2017–2020), Interreg Slovenija–Hrvaška. Poročilo o dosežku, ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika. Ljubljana.
- Chang, G., Caneday, L. 2012: Web-based GIS in tourism information search: An analysis of the effect of socioeconomic characteristics on perception and behavior. *Society and Leisure* 35-1. DOI: <https://doi.org/10.1080/07053436.2012.10707839>
- Goldfarb, A., Tucker, C. 2019: Digital economics. *Journal of Economic Literature* 57-1. DOI: <https://doi.org/10.1257/jel.20171452>
- Hutchinson, M. J. 2010: Developing an agent-based framework for intelligent geocoding. Doktorsko delo, Curtin University of Technology. Bentley.
- Lopez-Cordova, E. 2020: Digital platforms and the demand for international tourism services. Policy Research Working Paper 9147. Washington, DC.
- Medmrežje 1: <http://www.shapetourism.eu/main-output/shapetourism-survey/> (1. 2. 2020).
- Medmrežje 2: <https://rekreacija-lj-zemljevid.zrc-sazu.si/> (1. 2. 2020).
- Medmrežje 3: <https://smartkarst.eu/> (28. 2. 2020).
- Medmrežje 4: <https://krasnkrš.eu> (28. 2. 2020).
- Polajnar Horvat, K., Drogenik, U. 2015: Opportunities for developing mountain biking in the municipality of Bohinj. *Acta geographica Slovenica* 55-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.1884>
- Ratcliffe, J. H. 2001: On the accuracy of TIGER-type geocoded address data in relation to cadastral and census areal units. *International Journal of Geographical Information Science* 15-5. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658810110047221>
- Rozman, U., Mrak, G. 2019: Primerjava omrežij državnih kolesarskih povezav v tujini in Sloveniji. *Igra ustvarjalnosti* 7. DOI: <https://doi.org/10.15292/IU-CG.2019.07.068-075>
- Singh, S. K. 2017: Evaluating two freely available geocoding tools for geographical inconsistencies and geocoding errors. *Open Geospatial Data, Software and Standards* 2-1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40965-017-0026-3>
- Vujičić, M. D., Vasiljević, D. A., Marković, S. B., Hose, T. A., Lukić, T., Hadžić, O., Janičević, S. 2011: Preliminary geosite assessment model (gam) and its application on Fruška gora mountain, potential geotourism destination of Serbia. *Acta geographica Slovenica* 51-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS51303>

PLANINSKI GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEM – PLANGIS

dr. Andrej Stritar

Planinska zveza Slovenije

andrej.stritar@pzs.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_15

UDK: 796.52(497.4)

659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Planinski geografski informacijski sistem – PlanGIS

V Sloveniji imamo več kot 10.000 kilometrov markiranih planinskih poti. Nastajati so začele že pred dobrim stoletjem. Njihov potek se je počasi vrisoval na zemljevide. Pred slabima dvema desetletjema smo začeli načrtno zbirati GIS podatke o poteh. Pred petimi leti smo vse podatke združili v Geopedii in začeli vzdrževati centralizirano bazo. Ob tem smo se soočili z vrsto izzivov. Izkazalo se je namreč, da so uradne kartografske podlage za potrebe kartiranja planinskih poti praktično neuporabne. Večina stez in stezic je na uradnih zemljevidih vrisanih bodisi narobe, bodisi jih na terenu sploh ni. Marsikje pa ni vrisane steze, ki na terenu obstaja. Zato smo predvsem za visokogorja zgradili lastno bazo poti, ne zgolj markiranih. Baza je glavna podlaga za izdelavo planinskih zemljevidov PZS. Glavni gradniki baze so kote, ki ponazarjajo točke na terenu, in odseki (linije), ki ponazarjajo potek posamezne steze. Iz slednjih pa potem zgradimo poti, ki lahko potekajo na večjih razdaljah, celo čez celotno Slovenijo. Poseben izziv predstavlja različnost poti na terenu. Slovenija je preprejena ne le s planinskimi, temveč tudi s številnimi tematskimi, lokalnimi, turističnimi in podobnimi potmi.

KLJUČNE BESEDE

planinski geografski informacijski sistem, markirane poti, planinske poti, Planinska zveza Slovenije

ABSTRACT

Mountaineering Geographical Information System PlanGIS

There are more than 10.000 kilometres of marked mountaineering trails in Slovenia. First such trails were created more than a century ago. Through years they were gradually appearing on mountaineering maps. Some twenty years ago Alpine Association of Slovenia started with the systematic collection of GIS data on marked trails. Collected data were firstly assembled into the software Quo. About five years ago all data were centralised into the software platform Geopedia.

It has soon turned out that the official GIS data maintained by the Surveying and Mapping Authority of Slovenia were in most cases obsolete or not accurate enough for our purposes. Major part of paths on official maps are either drawn falsely or are even non-existent. We have therefore started to systematically collect data about all the trails, not only marked ones. That database is the main source of mountain paths published on mountaineering maps by the Alpine Association of Slovenia. Key elements in the database are points and lines of individual sections of trails. From such line sections we create longer trails, which could extend also into the larger territory. A special challenge is a variety of different kinds of trails in the field. Most are marked by mountaineering clubs, but there are also others that are maintained by local tourist societies or some other organisations.

KEY WORDS

mountaineering geographic information system, marked paths, trails, Alpine Association of Slovenia

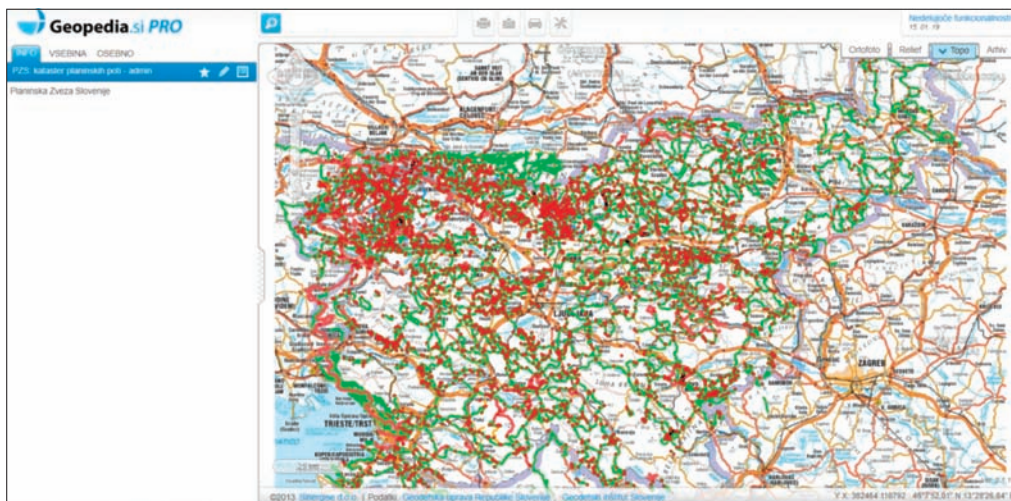
1 Uvod

V Sloveniji imamo več kot 10.000 kilometrov markiranih planinskih poti, za katere skrbijo planinska društva, združena v Planinsko zvezo Slovenije (PZS). Nastajati so začele že pred dobrim stoletjem (Otvoritev ... 1904). Poti in markacije na terenu vzdržujejo prostovoljci planinskih društev, markacisti. Markirane poti so nastajale glede na interese planincev na posameznih območjih. Šele s sprejetjem Zakona o planinskih poteh leta 2007 (Zakon ... 2007), je bila vzpostavljena zakonska podlaga za gradnjo in vzdrževanje planinskih poti v naravi. Z njegovo uveljavitvijo so sicer težave, toda sprejetje tega zakona je bil eden od razlogov za iskanje rešitev za sistematično katalogizacijo vseh geografskih podatkov o planinskih poteh. Njihov potek so sicer vrsovali že na prve planinske zemljevide pred dobrim stoletjem. V članku pa opisujemo, kako podatke o planinskih poteh sistematično zbiramo in vzdržujemo danes.

Prikaz planinskih poti v geoinformacijskih sistemih je že dolgo izziv doma in po svetu. Celo najbolj priljubljeni navigacijski sistemi kot je *Googlov* (Google maps 2020), ponujajo podatke tudi o pešpoteh, vendar je njihova uporabnost sila skromna. V Evropi je še najbolj razširjen sistem *Outdooractive* (Outdooractive 2020), čigar platformo uporabljajo v več planinskih zvezah alpskih dežel. Sistem omogoča vnos prostorskih podatkov o poljubni vrsti poti, dodati je možno opise poti, naravnih znamenitosti in turistične ponudbe. Sistem je namenjen predvsem ponudnikom turističnih storitev in promociji. Na Hrvaškem so pred dobrim letom objavili spletni prikaz njihovih planinskih poti (Interaktivna ... 2020). Pri nas je bil poskus izdelave aplikacije za mobilne telefone v sklopu diplomske naloge (Žilčar 2016).

2 Zgodovina

Pred skoraj dvema desetletjema so se na PZS lotili sistematične digitalizacije planinskih poti in vzpostavitve Katastra planinskih poti Slovenije. Slovenija je bila razdeljena na 15 območij. Sprva so poti vrisali na roko, kmalu pa so krajevnim markacistom preskrbeli GPS sledilnike, s katerimi so posneli poti. Vsako območje je imelo svojega lokalnega urednika. Krajevni uredniki so zbrane gpx zapise vnašali v program *Quo* in s tem gradili mrežo poti na svojem območju. Vzporedno je na PZS potekala izdelava tiskanih planinskih zemljevidov. Ob vsaki novi izdaji ali reambulaciji obstoječih so bila aktivirana krajevna pla-



Slika 1: Kataster planinskih poti na Geopedii (Geopedia 2020).

ninska društva in posamezni poznavalci, da so sporočali točne poteke planinskih poti. Vsaka tovrstna kampanja je trajala več mesecev. Uredniki katastra so tako poleg gpx zapisov kot vir podatkov o poteh lahko imeli tudi vrise na obstoječih planinskih zemljevidih.

Z leti se je pokazala slabost tovrstnega sistema. Bil je decentraliziran, 15 urednikov pa je imelo 15 mrež planinskih poti vsak na svojem računalniku. Poskusi centralizacije in prikaza podatkov iz katastra (oziroma 15 podkatastrov) niso bili uspešni.

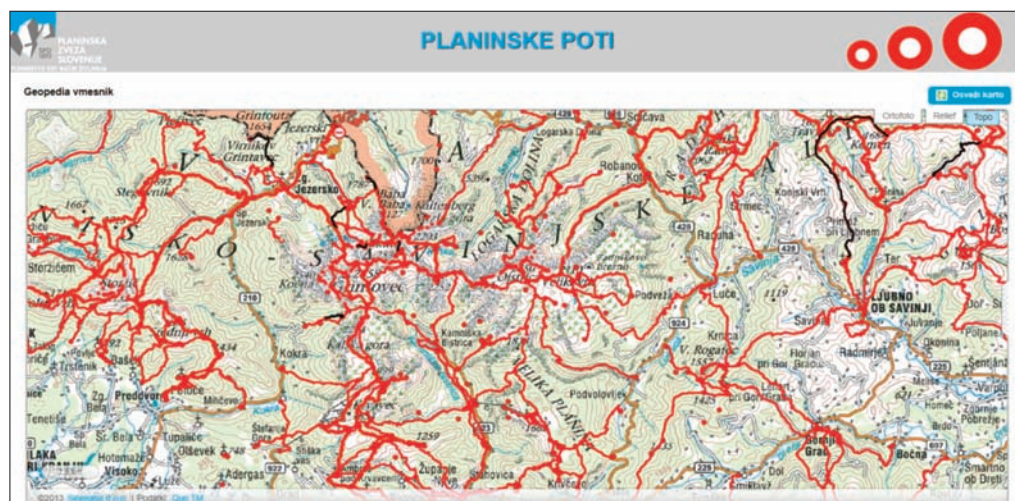
Leta 2013 se je kot možnost za vodenje katastra planinskih poti ponudilo spletno orodje *Geopedia*. Podjetje Sinergise je omogočilo, da smo vse do tedaj zbrane podatke prenesli v to spletno orodje in prvič zgradili centralizirano bazo vseh planinskih poti (slika 1).

Geopedia se je izkazala kot zelo uporabno orodje, ki je hitro zadovoljilo temeljne potrebe po sistemu, ki vzdržuje geografske podatke, ter poleg geolociranja točk in linij omogoča tudi vzdrževanje poljubne zbirke atributov vsakega elementa, omogoča pa tudi dodeljevanja pravic vpogleda v podatke ali njihovo urejanje različnim vrstam uporabnikov. Uporabniku je omogočeno nezahtevno urejanje linij in premikanje točk, uvažanje novih točk ali linij ter njihov odstranjevanje.

Smo pa pri *Geopedii* naleteli na problem zaradi pomanjkanja programerske podpore za izdelavo prikazov iz katastra za širšo javnost, to je za planince na terenu. Poudariti velja, da je celoten sistem na *Geopedii* zgrajen na prostovoljni osnovi, gostovanje na strežniku pa družba Sinergise omogoča brezplačno. Za izdelavo bolj zahtevne rešitve na PZS ni bilo sredstev. Tako prikaz podatkov iz planinskega katastra za širšo javnost iz *Geopedie* ni prišel dlje od precej nerodnega sistema na spletišču: www.planinske-poti.si (Planinske poti 2020), prikazanega na sliki 2.

Podatki iz katastra v *Geopedii* so postali glavni vir informacij pri izdelavi tiskanih planinskih zemljevidov PZS. Kot je bilo omenjeno, so bile ob pripravah novih izdaj planinskih zemljevidov potrebne obsežne in dolge kampanje zbiranja podatkov na terenu. Zdaj, ko so vsi podatki sproti posodobljeni v osrednjem katastru, ni več potrebe po posebnih dodatnih kampanjah ob izdelavi novih reambulacij. Kartografi, ki pripravljajo tiskani zemljevid, preprosto z izvozom iz *Geopedie* dobijo gpx zapise vseh planinskih in podobnih poti ter ostale podatke o zanimivih točkah iz katastra.

Leta 2019 smo na PZS izvedli razpis in kot najboljšega ponudnika za vzdrževanje podatkov o planinskih (in drugih) poteh izbrali podjetje LUZ d. o. o.. Podjetje ima že vzpostavljen GIS sistem za vzdrževanje geografskih podatkov za več velikih uporabnikov, kot sta Zavod za gozdove (Evidenca ... 2020) in Agencija Republike Slovenije za okolje (Atlas okolja 2020). Podatke iz katastra planinskih poti smo



Slika 2: Javni prikaz podatkov iz katastra planinskih poti na *Geopedii*.

prenesli v njihov sistem za urejanje in prikaz prostorskih podatkov. Izbrali smo tudi novo ime, dosežanji Kataster smo preimenovali v *Planinski geografski informacijski sistem* ali *PlanGIS* (slika 3). V začetku leta 2020 se je zaključil razvoj prve faze, to je sistema za vzdrževanje in urejanje podatkov. V drugi fazi bo izdelan uporabniku prijazen sistem za prikaz podatkov. To bo omogočeno tako na osebнем računalniku kot na pametnem telefonu.

3 Organizacija podatkov v *PlanGIS*

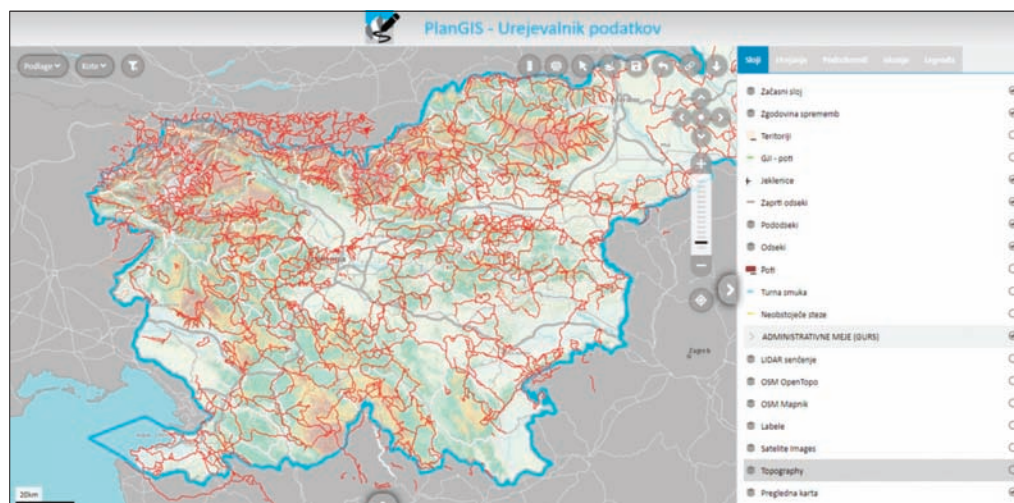
Temeljni gradniki podatkov, potrebnih za geografski prikaz, so kota, odsek, pot in pododsek.

Kota je katera koli točka na terenu, kjer se začne, konča ali razcepi pot: začetek poti, razcep, vrh, koča, slap in podobno (črne pike ali ikone na sliki 4). Ni nujno, da je kota na koncu ali začetku poti (odseka), lahko je tudi samostojna točka v prostoru, na primer vrh brez do njega nadelane ali označene poti ali oznaka okna v grebenu, ki ga lahko vidimo zgolj od daleč. Kot atribut ima zapisano vrsto (na primer vrh, koča, kraj, parkirišče), poleg tega pa še višino, skrbnika (planinsko društvo) in podobno. S koto so lahko povezane tudi fotografije in to bodisi kot točka, s katere je bila fotografija posneta, bodisi kot objekt, ki je na določeni fotografiji.

Odsek je linija med dvema kotama, ki ponazarja del poti (slika 4). Pomemben je predvsem za vzdrževalce poti in vzdrževalce podatkov, za ostale uporabnike pa so pomembnejše poti. V *PlanGIS* mora biti po eni geografski liniji vnesen le en odsek. Po njem pa lahko poteka tudi več različnih poti. Odsek ima lahko več atributov, kot so skrbnik, kategorija in vrsta (markiran, nemarkiran).

Pot je zaporedje odsekov od izhodišča mimo vmesnih kot do cilja (slika 5). Vsaka pot ima svoje ime in je pglavilni element, zanimiv za splošno javnost. Obhodnice PZS so v *PlanGIS* tehnično enake kot ostale poti, le da dobijo dodatne attribute.

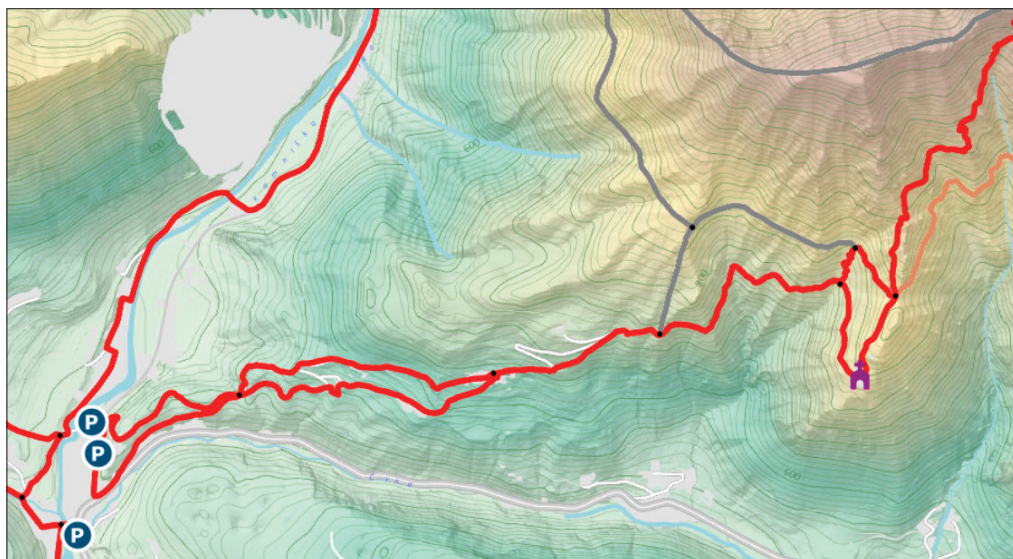
Z razvojem in uporabo katastra planinskih poti, se je pokazala potreba po dodatnem temeljnem gradniku. Glavne uporabnike katastra, markaciste, torej tiste, ki za poti skrbijo, praviloma zanimajo zgolj markirane planinske poti. Za njih so pomembni odseki med dvema razpotjema markiranih poti. Zelo so bili nezadovoljni, ko smo v kataster začeli dodajati tudi nemarkirane poti, ki so se ponekod odcepile od planinskih odsekov. Tam je nastala nova kota (razcep), zaradi katere se je prejšnji markirani odsek razdelil na dva manjša. Markacisti so vztrajali, da si želijo svoje planinske odseke imeti čim daljše.



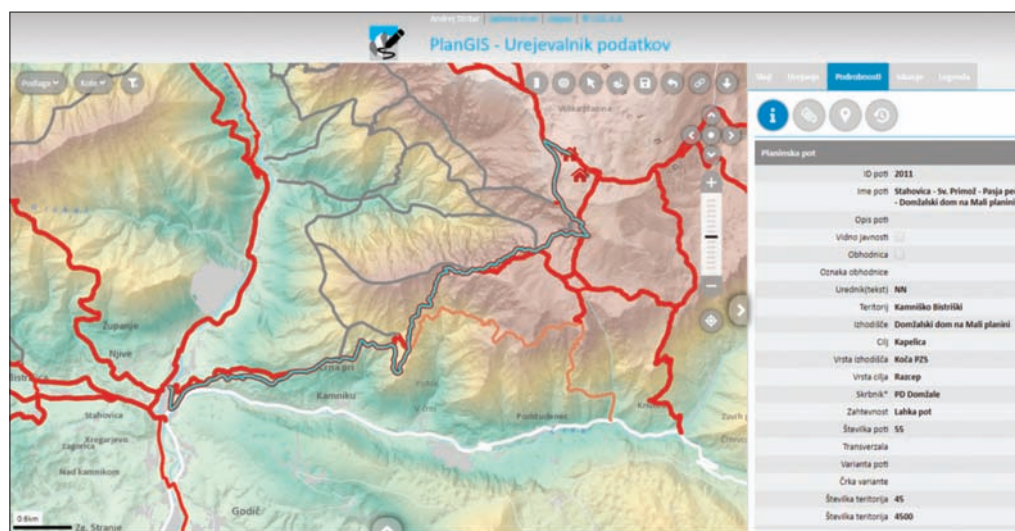
Slika 3: Planinski podatki na GIS sistemu podjetja LUZ.

Po drugi strani pa ima PZS s *PlanGIS* ambicijo zajeti čim več, praktično vse GIS informacije, ki so zanimive za obiskovalce narave. To pa so poleg markiranih tudi nemarkirane poti, turistične poti, učne poti in podobno. Vse te odseke bi radi imeli v enotni mreži linij, kar bi omogočalo gradnjo poti med poljubnima kotama, v prihodnosti pa tudi navigacijo. Da bi to dosegli, si želimo čim večjo razdrobljenost, torej čim več odsekov, ki bi zajemali vse raznovrstne poti.

Razkorak med željami markacistov in ostalimi uporabniki smo rešili z dodatno ravnjo – pododsekom.



Slika 4: Primer kot in odsekov v *PlanGIS*. Parkirišče/izhodišče in cerkev imajo svojo ikono, razcep odsekov pa je črna pika. Rdeči odseki so markirani, sivi nemarkirani, oranžni označeni, vendar ne kot planinske poti v skladu z Zakonom o planinskih poteh.



Slika 5: Primer poti iz izhodišča v Stahovici do Domžalskega doma na Veliki planini.

Pododsek je tako kot odsek linija med dvema kotama, ki ponazarja del poti (slika 6). Ima svojo grafično linijo, h kateri pa sodita zgolj atributa vrste podlage (dobro uhojena steza, slabo uhojena steza, kolovoz in podobno) in zahtevnosti (lahka, zahtevna, zelo zahtevna). Z uvedbo pododsekov so odseki izgubili podatek o liniji v prostoru in se zdaj zgradijo iz pododsekov podobno kot poti.

V preglednici 1 je prikazano število vseh prostorskih enot v *PlanGIS* na začetku leta 2020. Skupna dolžina vseh pododsekov je več kot 10.000 kilometrov.

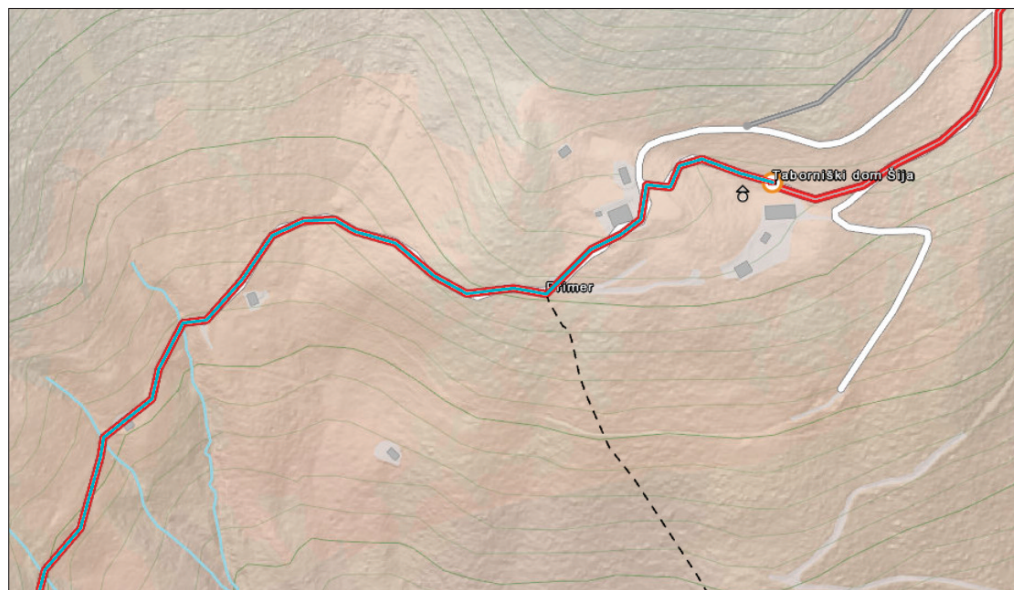
Preglednica 1: Število prostorskih enot v *PlanGIS*.

prostorska enota	število
kota	9681
pododsek	10.288
odseki planinskih poti	6658
ostali odseki	3204
planinske poti	2032

4 Izziv gradnje omrežja poti

Koncept kota-pododsek-odsek-pot je razmeroma enostaven. Zaplete se, ko začnemo vnašati množico podatkov, na primer, če dobimo gpx zapis daljše vezne poti, ki delno poteka po pododsekih v *PlanGIS*, delno pa izven (sliki 7) po trasah, ki še niso bile zajete v *PlanGIS*.

V naš *PlanGIS* bi radi vnesli traso Slovenske turnokolesarske poti (STKP), ki je do sedaj še ni bilo. Trasa je modra črta na sliki 7. Na sliki vidimo, kako ponekod pod modro črto ni obstoječega (rdečega)



Slika 6: Primer, kjer smo k markirani poti v točki »Primer« priključili nemarkirano pot. Planinski odsek je ostal nerazdeljen (modrikasta črta), pod njim pa sta nastala dva pododseka.

pododseka. Do kote 1 STKP očitno pride z vzhoda po markirani poti. Od kote 1 do kote 2 bi bilo treba v *PlanGIS* vnesti nov pododsek, ki bi postal gradnik prihodnje poti STKP. Od kote 2 do kote 3 je treba prepoznati, da na trasi STKP pododsek že obstaja po cesti. Od kote 3 do kote 4 pa bi morali zopet zgraditi nov pododsek.

Vse to bi se dalo izvesti na roke, torej nekako rezati gpx od STKP na posamezne odseke, ter na roko dodajati nove kote, kjer so novi razcepi, deliti obstoječe pododseke, vnašati nove pododseke in na koncu iz vsega še zgraditi novo STKP v *PlanGIS*. To bi bilo zelo zamudno in bi bilo smiselno zgolj za krajše poti, zgrajene iz nekaj odsekov. Ravno STKP je primer večjega izziva, saj je dolga več kot 1700 km in marsikje prepletena z obstoječimi odseki planinskih poti.

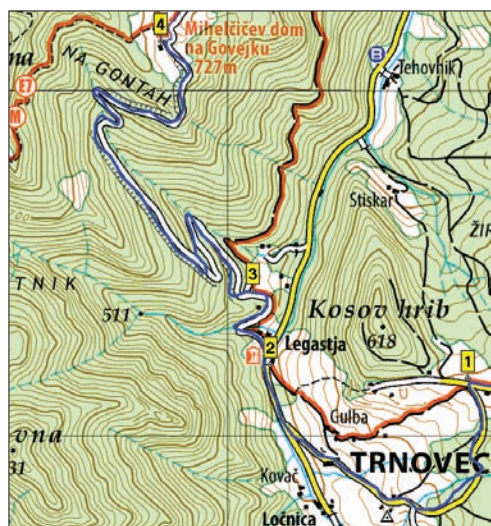
V začetku leta 2020 je potekal razvoj orodja, ki bi v kar največji možni meri olajšal tovrstno vnašanje dolgih poti in s tem gradnjo omrežja vseh poti.

5 Izziv natančnosti vnosa podatkov

Stremimo k čim večji natančnosti podatkov. Nove podatke večinoma pridobimo z GPS meritvami. *Geopedia* nam je kot podlago omogočala uporabo ortofoto posnetkov. To je bilo odlično za popravke v visokogorju, kjer so steze uhojene na travnatih podlagah ali celo izsekane v ruševju. Točnost takšnih vnosov je potem odvisna le še od natančnosti kalibracije ortofoto posnetkov.

Žal so ortofoto posnetki neuporabni v gozdovih, zato pa so tam toliko bolj uporabni lidarski posnetki. Žal jih v *Geopedii* kot podlaga ni bilo, drugače pa je v *PlanGIS*. V *PlanGIS* so nam kot podlago omogočili tudi uporabo podatkov iz *OpenStreet*. Ti podatki so zelo koristni, saj se njihova kakovost izboljšuje skorajda dnevno. *Crowdsourcing* se v tem primeru kaže kot izjemno koristen in učinkovit način zbiranja podatkov. Marsikje se celo kaže, da so tovrstni vnosi bolj natančni od tistih, ki smo jih uspeli pridobiti sami. Kot nikoli dokončan izziv nam bo ostalo stalno preverjanje novosti in prilagajanje naših podatkov tam, kjer bo očitno, da so javni boljši.

Zadnji pomemben vir podatkov so državne karte DTK 25, katerih natančnost pa je iz dneva v dan manjša, saj so podatki na njih lahko stari tudi več desetletij. Velika škoda je, da država več ne skrbi za posodobitev podatkov izven naselij. V visokogorju in izven urbanih središč so podatki že tako nezanesljivi, da smo v našem katastru vpeljali kategorijo »neobstoječe poti«. Pri pripravi tiskanih zemljevidov



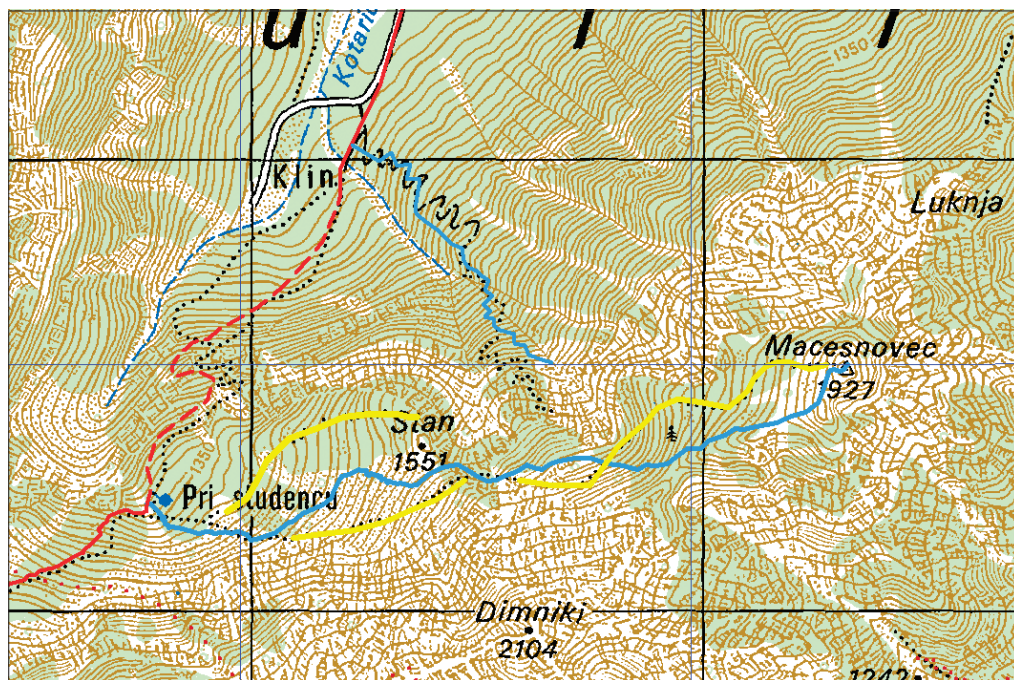
Slika 7: Primer vnosa novih podatkov (modra – STKP) v obstoječo mrežo.

se je vedno znova dogajalo, da so nam kartografi pošiljali v pregled osnutke, polne napačnih vrisov poti. Uporabili so državne podlage, ki so zastarele. Da se nam ne bi bilo treba vedno znova ukvarjati z istimi napakami, smo jih ustrezno popisali in porisali v neobstoječe odseke, torej take, ki se nekje pojavljajo, v resnici jih pa ni. Ob pripravi novih zemljevidov zato pošljemo te podatke vnaprej. Slika 8 prikazuje primer napačnih vrisov na poti na Macesnovec v Julijskih Alpah.

Poseben izziv so nadmorske višine. Kot primer navedimo, da še danes ne vemo točno, koliko višinskih metrov je treba prehoditi, če se odpravimo od Maribora do Ankarana po Slovenski planinski poti, dolgi nekaj čez 617 km. Uradno smo sicer objavili, da je treba prehoditi 37.300 višinskih metrov, a negotovost te številke ni nekaj sto metrov, ampak celo do 10.000 m! Posamezni gpx zapisi sicer zajamejo tudi višine, a so te zelo negotove, tako da jih v kataster nismo vnašali. *Geopedia* nam je sicer omogočala uporabo digitalnega modela višin, iz katerega se je dalo izračunati višinske razlike, a smo na več primerih, za katere smo poznali višinske razlike, ugotovili, da so zelo negotove. Upamo, da bo lidarska podlaga v *PlanGIS* to omogočila. Kljub temu pa se zavedamo pasti, na primer, če imamo pot speljano prečno po strmih pobočju ali po robu prepada, nam lahko že ena sama nekoliko zmaknjena točka v liniji pododseka pomeni nekaj sto metrov višinske napake. Potrebno bo še dolgotrajno dopolnjevanje podatkov preden se bomo lahko bolj zanašali na višinske podatke.

6 Sklep

Opisali smo razvoj in trenutno stanje sistema *PlanGIS* za vzdrževanje podatkov o planinskih in ostalih poteh v Sloveniji. Opisani so izzivi, s katerimi smo se srečevali in njihove rešitve. Obstoječi kataster planinskih poti in prihajajoči *PlanGIS* sta uporabna za vse, ki prostovoljno vzdržujejo široko mrežo



Slika 8: Nemarkirana pot na Macesnovec kot primer netočnosti državnih zemljevidov. Modra linija je na terenu izmerjena in preverjena ter vnesena v *PlanGIS*. Rumeno so vnosi v sloj neobstoječih poti.

steza za naše prostočasne dejavnosti. V bližnji prihodnosti bomo s podatki iz te baze gradili uporabniku prijazne pripomočke in vabila za obisk naravnega sveta.

7 Viri in literatura

- Atlas okolja, 2020. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (15. 1. 2020).
- Evidenca gozdnih cest, 2020. Medmrežje <https://zgs.gisportal.si/javno/profile.aspx?id=EGC@ZGS> (15. 1. 2020).
- Geopedia, 2020. Medmrežje: <http://www.geopedia.si/> (15. 1. 2020).
- Google maps, 2020. Medmrežje: <https://www.google.com/maps/> (15. 1. 2020).
- Interaktivna planinarska karta Hrvatske, 2020. Medmrežje: <https://www.hps.hr/karta/> (15. 1. 2020).
- Otvoritev nove planinske poti čez Komar na Triglav, 1904. Planinski vestnik 10-8.
- Outdooractive, 2020. Medmrežje <https://www.outdooractive.com/en/> (15. 1. 2020).
- Planinske poti, 2020. Medmrežje: <http://www.planinske-poti.si/> (15. 1. 2020).
- Zakon o planinskih poteh. Uradni list Republike Slovenije 61/2007. Ljubljana.
- Žilčar, P. 2016: Izdelava aplikacije za vodenje uporabnika po planinskih poteh v Sloveniji. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

SPLETNE PLATFORME ZA SPREMLJANJE PRIVLAČNOSTI PROSTORA NA PRIMERU PODONAVJA

Blaž Barborič

Geodetski inštitut Slovenije

blaz.barboric@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3024-2460>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_16

UDK: 528.9:004.5(4)

711.1(4)

IZVLEČEK

Spletne platforme za spremljanje privlačnosti prostora na primeru Podonavja

Geografska vizualizacija ali geovizualizacija je poleg kazalnikov prostorskega razvoja eden bistvenih dejavnikov sistema spremljanja stanja prostorskega razvoja. Z uporabo najnovejših GIS aplikacij, ki vključujejo prostorsko komponento, geovizualizacija danes ni več samo statična vizualna predstavitev prostorskih gradnikov z uporabo zemljevidov in različne računalniške grafike, ampak gre za nabor orodij, metod in tehnik, ki omogočajo interaktivnost in spremljanje stanja prostorskega razvoja, ki vključuje različne prostorske podatke. V Evropi naraščata število in raznolikost sistemov spremljanja prostorskega razvoja z uporabo kazalnikov, od lokalnih preko nacionalnih in transnacionalnih vse do evropske ravni. V članku sta predstavljeni platformi za spremljanje privlačnosti prostora na transnacionalni (CO-TAMP) in nacionalni ravni (TAMP) s kazalniki privlačnosti območij. Platformi sta bili razviti v okviru projekta Privlačno Podonavje, ki je potekal v okviru transnacionalnega programa Podonavje.

KLJUČNE BESEDE

geovizualizacija, sistemi spremljanja prostorskega razvoja, privlačnost prostora, platforma, Privlačno Podonavje, Podonavska regija

ABSTRACT

Web platforms for monitoring of territorial attractiveness – an example of the Danube region

Geographical visualization or geovisualization is one of the essential factors of any territorial monitoring system beside territorial monitoring indicators. Utilizing the latest GIS-based applications, geovisualization is today more than a plain, static, visual presentation of the territorial structures using maps and various computer graphics; it's about a set of tools, methods and techniques that enables interactivity and exploration capabilities over the territorial monitoring system that includes different spatial data. The number and diversity of the territorial monitoring systems in Europe is growing, from local to national and transnational to the European level. The article introduces transnational (CO-TAMP) and national (TAMP) territorial attractiveness monitoring platforms using attractiveness indicators. The platforms were developed within the framework of the Attractive Danube project, which was part of the Danube Transnational Programme.

KEY WORDS

geovisualization, territorial monitoring systems, territorial attractiveness, platform, Attractive Danube, Danube Region

1 Uvod

Da bi prostorski načrtovalci razumeli in se ustrezno odzvali na trenutne in prihodnje izzive sprememb v prostoru, potrebujejo informacijsko platformo za sprejemanje odločitev, temelječih na podatkih, ter učinkovitejše izvajanje prostorskih in razvojnih politik. Kartografski prikazi kazalnikov in razvita spletna orodja so se izkazali kot koristno orodje za zbiranje potrebnih podatkov za spremljanje prostorskih politik in prikaz razvojnih potencialov v 11 državah Podonavja: Sloveniji, na Madžarskem, Češkem, Slovaškem, v Nemčiji, Bolgariji, Romuniji, Srbiji, na Hrvaškem, v Črni gori ter Bosni in Hercegovini. Poseben poudarek je bil namenjen krepitvi prostorskega razvoja, temelječega na podatkih. Podatkovno zasnovan način spremljanja prostorskega razvoja (SPR) s kartografskimi prikazi omogoča vizualno razmišljanje in javno sporočanje rezultatov na nacionalni in transnacionalni ravni, kjer imajo deležniki različno zgodovino prostorskega načrtovanja in različna pričakovanja.

V Evropski uniji se z vsebino SPR-ja ukvarja program sodelovanja ESPON 2020 (ESPON 2020), ki poteka pod okriljem Evropske komisije. Program ESPON želi izpostaviti prostor kot pomemben dejavnik za razvoj in sodelovanje v Evropi, ki temelji na podatkih. ESPON razvija Evropski sistem SPR-ja (European Territorial Monitoring System 2019) za regijo Baltskega morja, Podonavja ter Alpske in Jadransko-jonske makroregije. Sistem temelji na prostorskih kazalnikih, ki opisujejo prostorske potencialne za različna časovna obdobja. S spletnim kartografskim prikazom, analitičnimi in interaktivnimi značilnostmi je mogoče oceniti in razumeti prostorske razvojne procese in trende. Sistem SPR-ja za regijo Baltskega morja je že razvit (Baltic Sea Region Territorial Monitoring System 2020), medtem ko so ostali sistemi še v razvoju (ESPON EMTM ... 2018). V Sloveniji je Ministrstvo za okolje in prostor za spremljanje prostorskega razvoja vzpostavilo spletno platformo s kazalniki prostorskega razvoja (Sistem spremljanja ... 2019), ki omogočajo prikaz različnih lastnosti prostora. Cilj spletnega portala je na enem mestu omogočiti pregled ključnih prostorsko-razvojnih trendov ter njihovo kontinuirano spremljanje.

Usklajevanje prostorskega načrtovanja s sektorskimi politikami je Evropa prepoznava kot pomembno od uvedbe Perspektive prostorskega razvoja (*European Spatial Development Perspectives ESDP*) (European Spatial ... 2019). Kot navaja Dühr (2007), so kartografske predstavitve pomembno orodje za sporočanje ciljev strategije prostorskega razvoja, kar potrjuje vse večje število sistemov SPR-ja na različnih ravneh odločanja v Evropi. Zaradi razlik med sistemi prostorskega načrtovanja v Evropi in razlik v kartografskih prikazih vsebin načrtovanja in upravljanja prostora je geovizualizacija poseben izziv v okviru transnacionalnega prostorskega načrtovanja, še posebej, ker je primerov dobre prakse s tega področja malo (Dühr 2007; Lindberg in Dubois 2014).

Cilj tega prispevka je predstaviti vlogo geovizualizacije, njene sestavne dele in prednosti na primeru izbranih spletnih platform za spremljanje privlačnosti prostora v 11 državah Podonavja in poudariti pomen odločanja o prostorskih in razvojnih izzivih na osnovi podatkov. V prispevku sta območje in regija Podonavje opredeljena na temelju Evropskega transnacionalnega programa Podonavje (Interreg Podonavje 2014–2020).

Skladno s cilji predstavljamo opredelitev in opis elementov geovizualizacije ter splošne prednosti geovizualizacije v okviru transnacionalnega sistema SPR-ja v Evropi. Podane so informacije o projektu Privlačno Podonavje (cilji, koncept, spletni aplikaciji CO-TAMP in TAMP) (Danube Transnational Programme 2019; Živković in Barborič 2017) z opisom metodologije in korakov za vzpostavitev platform. Predstavljamo trenutne prednosti in slabosti platform ter predloge za možne prihodnje smeri razvoja in izboljšave.

Kot omenjeno, so makro regionalni sistemi SPR-ja v razvoju. Spletno platforme za spremljanje prostorske privlačnosti s sistemom kazalnikov v Podonavju so inovativne in pionirske rešitve. Inovativnost raziskave se nanaša tudi na metodologijo razvoja transnacionalnega sistema SPR-ja, ki združuje obstoječa izhodišča pobud, kot so ESPON, INSPIRE (INSPIRE ... 2019) ter praktičen pristop projekta Privlačno Podonavje pri ozaveščanju o podatkovno zasnovanem odločanju na temelju kazalnikov z vzpostavitvijo spletnih platform v 11 državah Podonavja.

1.1 Geovizualizacija in sistemi spremljanja stanja prostora

Geovizualizacija po definiciji (Dühr 2007) predpostavlja sposobnost kartografskega prikaza grafičnih in slikovnih elementov na način, da obstoječi prostorski odnosi in osnovni vzorci prostorskih podatkov postanejo vidni in enostavneje razumljivi predvsem odločevalcem in načrtovalcem prostorskega razvoja (Dühr 2007). Skladno s tem je geovizualizacija več kot kartografska predstavitev ali slikovno sporočanje rezultatov z zemljevidi. Prek uporabniških vmesnikov vključuje tudi zmožnosti interaktivnega upravljanja s podatkovnimi sloji, kot je dodajanje in odstranjevanje podatkovnih slojev, interaktivni zemljevid ter prostorske poizvedbe. Po MacEachrenu in Fraser Taylorju (1994) je »interakcija v kartografiji ključni dejavnik, ki razlikuje geovizualizacijo od tradicionalne kartografije«, pri čemer je geovizualizacija »aktivni proces, v katerem se posameznik ukvarja z razvrščanjem, označevanjem, filtriranjem in preoblikovanjem podatkov v iskanju vzorcev in razmerij med podatki« (Nöllenburg 2006). Učinki geovizualizacije kažejo na premik na področju prostorskega načrtovanja in prostorskega razvoja: od zemljevida kot orodja za komunikacijo do zemljevida kot osnovo za »vizualno razmišljanje«. Geovizualizacija je učinkovito komunikacijsko orodje pri prostorskem načrtovanju, ki zasleduje razvojna načela in cilje, zlasti za prostorsko-razvojno načrtovanje na nacionalni in transnacionalni ravni (Lindberg in Dubois 2014).

Čeprav ni splošno sprejete definicije sistemov SPR-ja, lahko rečemo, da so cilji transnacionalnih sistemov spremljanja v Evropi danes (ESPON ... 2017):

- omogočiti zbiranje, shranjevanje, obdelavo, razširjanje in geovizualizacijo kazalnikov prostorskega razvoja na dosleden in ponovljiv način;
- zagotoviti informacije za oceno uporabnosti kazalnikov prostorskega razvoja in njihovo interpretacijo;
- zagotoviti možnosti za povezovanje z drugimi ustreznimi sistemi za spremljanje politik na različnih evropskih ravneh in tako izboljšati usklajevanje med politikami istih in različnih področij, pa tudi njihovo integrirano izvajanje;
- odločiti se na podlagi kredibilnih podatkov z ustreznimi in posodobljenimi kazalniki, ki so prikazani na platformah, ki omogočajo podporo odločanju o prostorskem razvoju in prostorskem načrtovanju ter podporo upravljanju prostorskih in razvojnih politik.

Po uvedbi skupnih glavnih načel in dolgoročnih ciljev prostorskega razvoja in prostorskega načrtovanja v Evropi z dokumentom ESDP ((European Spatial ... 2019) ter uvedbe programa ESPON so se v Evropi pojavile številne pobude za uresničitev ciljev prostorskih in razvojnih politik. Vendar imajo le nekatere od njih imajo možnosti interaktivne geovizualizacije, ki omogoča raziskovanje podatkov in prilagajanje zemljevidov potrebam uporabnika.

Raziskave so tudi potrdile, da so zemljevidi odlično orodje za prostorsko načrtovanje, saj lahko izboljšajo proces učenja in razumevanja sedanjih in prihodnjih problemov prostorskega razvoja na različnih ravneh upravljanja (Soria-Lara, Zúñiga-Antón in Pérez-Campaña 2015). Kot sta zaključila Lindberg in Dubois (Lindberg in Dubois 2014), je v primerjavi s tradicionalno kartografijo in njenimi metodami predstavitve geovizualizacija ključen dejavnik za razumevanje transnacionalnega načrtovanja v Evropi.

Dinamiko prostorskega razvoja v sistemu spremljanja prostora se učinkovito prikaže s kazalniki spremljanja prostorskega razvoja, ki vsebujejo:

- popisni list za vsak kazalnik teritorialnega razvoja z metapodatki;
- nabor orodij, metod in tehnik, ki podpirajo interaktivno vizualizacijo kazalnikov.

Opisani elementi so bili potrebni za izdelavo koncepta in metodologije predstavljenih platform za spremljanje privlačnosti prostora. Projekt »Privlačno Podonavje (Attractive Danube, 2017–2019) – Izboljšanje zmogljivosti javnih ustanov za večjo privlačnost prostora Podonavske regije« se je ukvarjal s kapitalizacijo razvojnih potencialov Podonavske regije (Attractive Danube 2017). Cilj projekta je krepitev večnivojskega transnacionalnega upravljanja območij ter institucionalnih zmogljivosti načrtovalcev razvojnih prostorskih politik večjega dela Podonavske regije za bolj usklajeno in učinkovitejšo

upravljanja projektnega območja. V ta namen smo posodobili transnacionalne kazalnike prostorske privlačnosti in razvili podrobnejše nacionalne kazalnike za spremljanje stanja prostorskega in ekonomskega razvoja v posameznih partnerskih državah. Kazalniki prostorske privlačnosti so bili definirani in uporabljeni v projektih ATTTREG (ESPON ATTREG 2013) in programa Evropske komisije ESPON (ESPON ... 2018; ESPON ... 2020).

V nadaljevanju sta predstavljena metodologija in koncept privlačnosti prostora s kazalniki privlačnosti ter podrobnejši opis razvoja spletnih platform za spremljanje privlačnosti prostora.

2 Metodologija

2.1 Privlačnost prostora: koncept in kazalniki

V projektu Privlačno Podonavje smo definicijo privlačnosti prostora povzeli po predhodno izvedenih projektih ESPON ATTREG in Attract-SEE (Ocena privlačnosti prostora v Jugovzhodni Evropi).

Prostorsko privlačnost lahko glede na predhodno sprejete definicije opredelimo kot »*zmogljivost prostora oziroma prostorskih potencialov, da bi pritegnili in obdržali ciljne skupine (podjetja, turisti in obiskovalci, prebivalci) z obstoječimi prednostmi prostora s podporo razvojnih politik in njihovih ciljev*« (Živković s sodelavci 2015, 757–758).

Razvoj kazalnikov prostorske privlačnosti za spremljanje privlačnosti območja Podonavja je potekal s participativnim pristopom. V strokovni literaturi je bilo na temo participativnega pristopa pri trajnostnem prostorskem načrtovanju in razvoju v zadnjem času objavljenih kar nekaj objav. Pregledni članek o vključenosti participativnega pristopa v zakonodajo glede planiranja na državnih in regionalnih ravni v državah alpskega prostora je opisan v članku *Achieving sustainable spatial development in the Alps through participatory planning* (Nared s sodelavci 2015). Vpliv participativnega planiranja in participativnih raziskav na pozitivne družbene, okoljske in ekonomske spremembe v lokalnih skupnostih je opisan v knjigi z naslovom *Participatory research and planning in practice* (Nared in Bole 2020). S konceptom participativnega urbanizma v Mestni občini Ljubljana, je na primeru dveh ustvarjalnih prostorskih praks avtorica članka Participativni urbanizem: ustvarjalni posegi za trajnostni razvoj (Poljak Istenič 2019), vrednotila potencial participativne metodologije za fizične in družbene posege v javni prostor. Nakaže, kako lahko iniciative od spodaj navzgor prispevajo k vzdržnemu razvoju urbanega okolja, še posebej v okoljskem in družbenem smislu.

Participativni pristop pri razvoju kazalnikov je obsegal komunikacijo in praktično delo z deležniki pri evidentiranju njihovih potreb glede reševanja prostorskih in razvojnih vprašanj, določanje kazalnikov, virov podatkov ter geovizualizacijo kazalnikov. V okviru projekta je bilo izvedenih 6 delavnic v posamezni partnerski državi. Poseben poudarek participativnega pristopa z vključevanjem deležnikov projekta je bil na uporabni vrednosti doseženih rezultatov delavnic (kazalnikov in spletnih platform). Le na ta način lahko doseženi rezultati preidejo v vsakdanjo uporabo. Za spremljanje prostorske privlačnosti smo na ta način razvili dva sklopa kazalnikov:

1. **na transnacionalni ravni** je bilo na podlagi predhodnega projekta »ATTRACT-SEE« že določenih 22 skupnih kazalnikov;
2. **na nacionalni ravni** je vsak projektni partner določil kazalnike za merjenje prostorske privlačnosti glede na svoj kontekst, in sicer v obsežnem participativnem procesu.

Ta proces identifikacije, zbiranja in posodabljanja kazalnikov se kaže v vzpostavitvi **spletnih GIS platform CO-TAMP in TAMP** kot orodij za razširjanje geoprostorskih statistik za spremljanje stanja v prostoru, ki sta predstavljeni v nadaljevanju.

V okviru projektne raziskave smo zbrali podatke za kazalnike skupne transnacionalne prostorske privlačnosti 11 držav Podonavja, ki so prikazani na skupni platformi prostorske privlačnosti (CO-TAMP) in podrobnejše kazalnike prostorske privlačnosti za vsako državo, ki so prikazani na ločenih nacionalnih

platformah prostorske privlačnosti (TAMP) za obdobje od leta 2008 naprej. Kazalniki za obe platformi bodo posodobljeni z novimi razpoložljivimi podatki do leta 2021, skupno za obdobje 14 let.

2.2 Kazalniki prostorske privlačnosti, razviti v projektu Privlačno Podonavje

Izbranih je bilo **5 kategorij kazalnikov oziroma kapitalov, ki opisujejo prostorsko privlačnost**: okoljski, človeški, družbeno-kulturni, gospodarski in človeški viri ter institucionalni kapital. Vsak kapital je opisan s kazalniki privlačnosti (preglednica 1), ki so potrebni za SPR na nacionalni in transnacionalni ravni. Skupaj je bilo zbranih 22 kvalitativnih kazalnikov privlačnosti, ki so predstavljeni v okviru skupne transnacionalne platforme CO-TAMP.

Nastanek in izbor relevantnih nacionalnih kazalnikov privlačnosti se je izvajal v sodelovanju z deležniki na nacionalni, regionalni in lokalni ravni. Med deležnike so vključene vse institucije, ki lahko sodelujejo pri vzpostavitvi in delovanju platforme ali pa so njeni potencialni uporabniki in s tem ciljna skupina.

Pri izboru kazalnikov je bil poudarek na udeležbi načrtovalcev politik s prostorskega načrtovanja, regionalnega razvoja in vsebinskih področij okolje, gospodarstvo, demografija, socialne zadeve, podjetništvo in turizem. Vzpostavljeni kazalniki odražajo praktične potrebe deležnikov za spremljanje privlačnosti na nacionalni, regionalni in lokalni ravni.

Preglednica 1: Transnacionalni kazalniki privlačnosti Podonavja.

številka	kazalnik	številka	kazalnik
1	onesnaženost zraka: koncentracija ozona (kazalnik Evropa 2020)	12	izdatki za raziskave in eksperimentalni razvoj kot odstotek bruto domačega proizvoda (kazalnik Evropa 2020)
2	prebivalstvo, priključeno na čistilne naprave z vsaj sekundarnim čiščenjem	13	stopnja zaposlenosti 20–64 let po spolu (%) (kazalnik Evropa 2020)
3	električna energija, proizvedena iz obnovljivih virov	14	stopnja brezposelnih mladih
4	poraba vode na prebivalca	15	delež zaposlenosti po sektorjih
5	odstotek kopenskega zavarovanega območja (skupaj in po ekološki regiji)	16	število nočitev turistov na prebivalca na leto
6	prebivalstvo (ali gospodinjstva) z dostopom širokopasovnih povezav visokih hitrosti	17	delež zaposlenih v turizmu glede na skupno zaposlenost
7	evropske kulturne znamenitosti na Unescovem seznamu svetovne dediščine, 2010	18	odstotek bruto domačega proizvoda tujih neposrednih naložb
8	pričakovana življenjska doba ob rojstvu po spolu (kazalnik Evropa 2020)	19	stopnja rasti prebivalstva
9	bruto razpoložljivi dohodek gospodinjstev	20	odstotek populacije v starosti 20–64 let
10	ljudje na robu revščine ali socialna izključenost (kazalnik Evropa 2020)	21	indeks staranja
11	prebivalstvo v starosti 25–64 let s terciarno izobrazbo	22	odstotek tujih študentov

3 Spletni platformi TAMP in CO-TAMP za spremljanje privlačnosti prostora

Platformi TAMP in CO-TAMP sta primera inovativne kartografske spletne geovizualizacije na temo prostorske privlačnosti v celotni Podonavski regiji. Platformi o prostorski privlačnosti temeljita na zbranih kazalnikih, ki jih je mogoče dopolnjevati, izboljšati, analizirati, geovizualizirati in izvažati.

Cilj platform je prispevati k boljšemu prostorskemu načrtovanju v vsaki od sodelujočih držav in podpreti večnivojsko in medsektorsko upravljanje za večjo privlačnost Podonavske regije. S tem orodjem lahko ocenimo stopnjo privlačnosti v državah, regijah in drugih prostorskih enotah za sledeče ciljne uporabnike: prebivalce, turiste in investitorje. Orodje omogoča analiziranje spreminjajočih prostorskih značilnosti in vrednotenje učinkov, ki ga lahko imajo politične odločitve na naše vsakodnevno življenje.

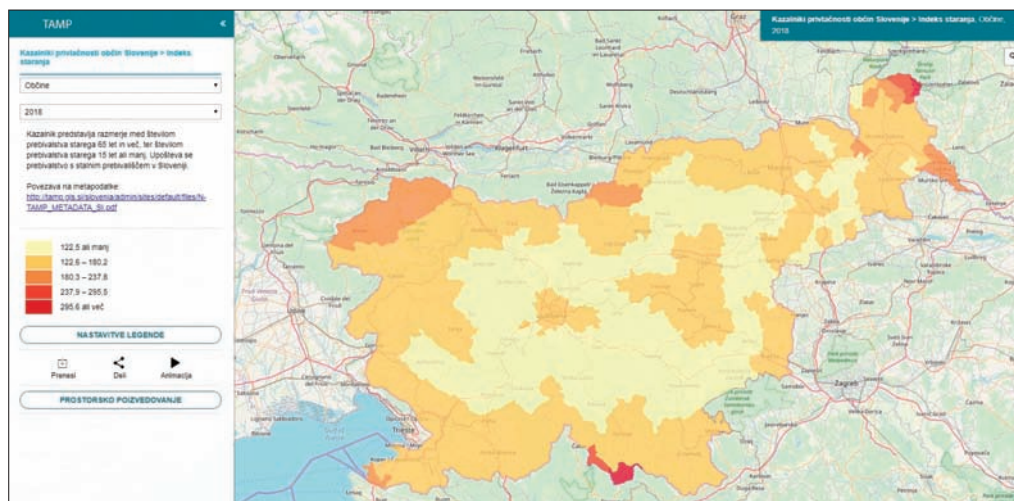
Spletni platformi sta prosto dostopni in na voljo na vseh napravah (mobilnih telefonih, tabličnih računalnikih ali računalnikih).

Ključ do uspeha platform so zanesljivi in natančni podatki. Platformi se osredotočata na okoljske, gospodarske in družbene vsebine z naborom podatkov glede na njihovo razpoložljivost od leta 2008 do leta 2021.

Prednostni jezik v 11 nacionalnih platformah TAMP je angleški. Vsaka nacionalna platforma je prevedena tudi v jezik partnerske države. Vsebinska skupne platforme CO-TAMP je v angleščini.

3.1 Platforma TAMP

TAMP je platforma (slika 1) za spremljanje nacionalne prostorske privlačnosti. Osredotočena je na posamezno državo in njene regije, občine in naselja. Kazalniki za vsako državo so bili izbrani glede na potrebe deležnikov. Tako se je v participativnem procesu določanja kazalnikov za Slovenijo pokazalo, da so bili kazalniki bolj pomembni na nacionalni in lokalni ravni, njihov namen pa je strokovna pomoč pri doseganju uspešnejših postopkov v procesu odločanja pri prostorskih in razvojnih vprašanjih. Kazalniki so bili razviti na treh nacionalnih delavnicah in treh seminarjih, kjer se je poudarjala uporabna vrednost platform s kazalniki.

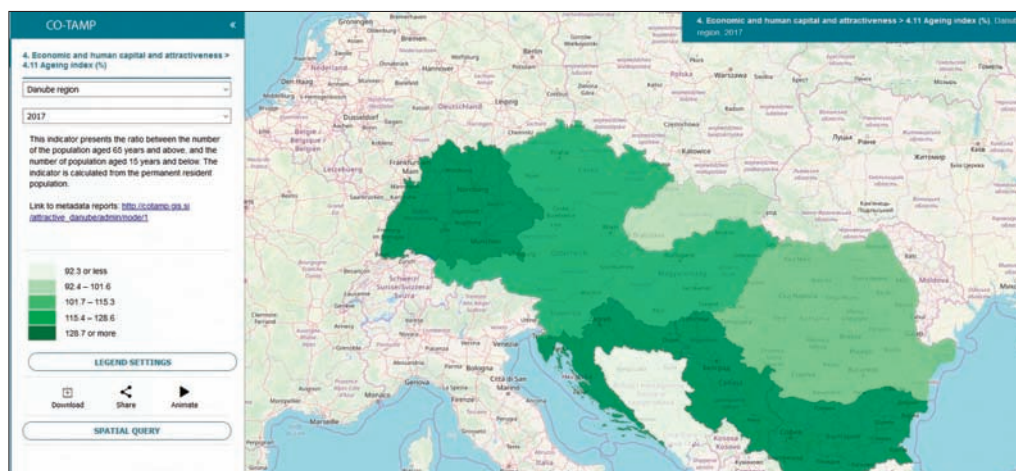


Slika 1: Prikaz spletne platforme TAMP za spremljanje nacionalne prostorske privlačnosti (vir: <http://tamp.gis.si/slovenia/>).

3.2 Platforma CO-TAMP

Spletno orodje CO-TAMP (platforma za spremljanje transnacionalne prostorske privlačnosti; slika 2) je podobno orodje kot TAMP, vendar nudi podatke za celotno projektno območje Podonavske regije. Zagotavlja podporo makroregionalnim razvojnim strategijam, ki podpirajo večnivojsko in medsektorsko upravljanje in usklajevanje politik. CO-TAMP odraža najnovejša znanja in trende v razvoju podatkovnega in informacijskega sistema ter vključuje standarde Evropske unije kot je INSPIRE.

Razpoložljivi podatki so na voljo od leta 2008 naprej, in sicer za 11 držav in dve nemški zvezni deželi. CO-TAMP skupno zajema 2354 podatkovnih nizov z metapodatkovnimi opisi (stanje v mesecu maju 2018). Povezava do spletne aplikacije je na naslovu: http://cotamp.gis.si/attractive_danube/.



Slika 2: Prikaz spletne platforme CO-TAMP za spremljanje transnacionalne prostorske privlačnosti (vir: http://tamp.gis.si/attractive_danube/).

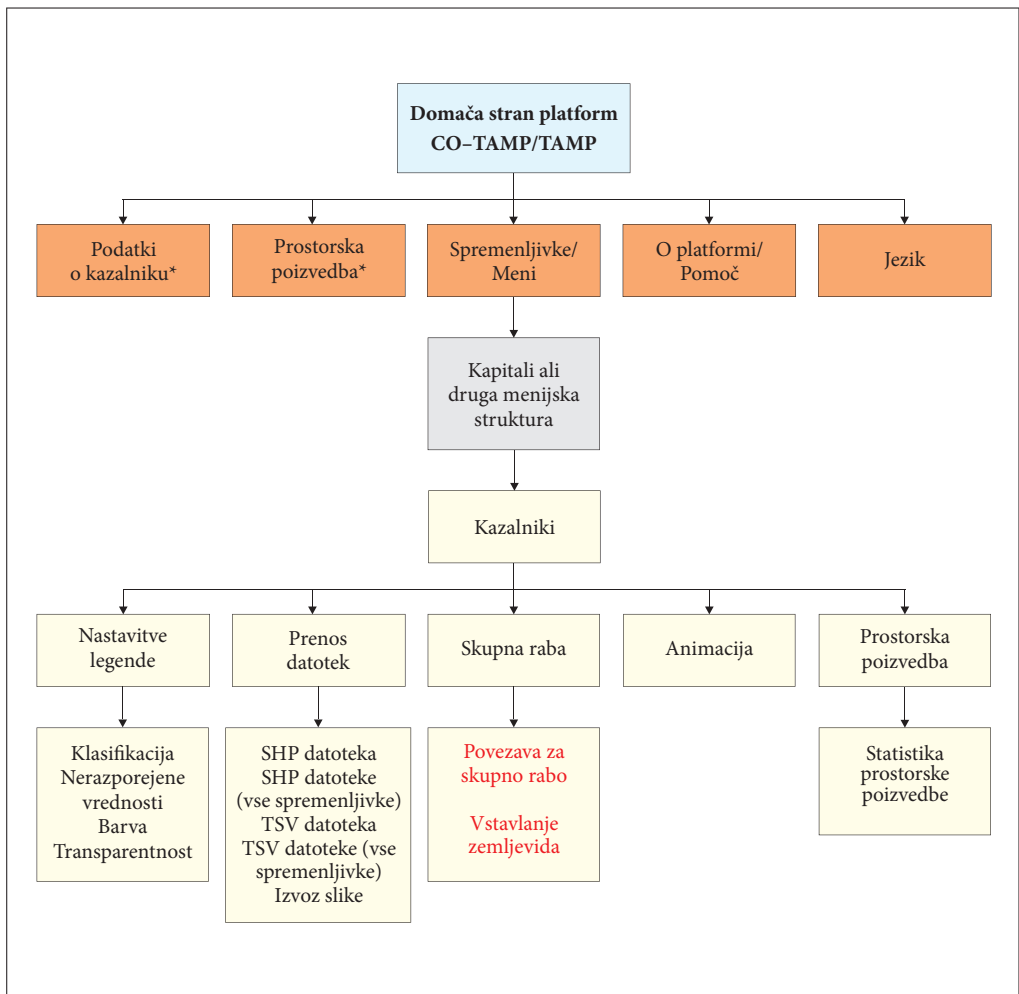
Preglednica 2: Metapodatkovni opis kazalnika privlačnosti.

Type of indicator	Local
Annual range	2011/2017
Data source for indicator	SURS. Data available at: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C5004S&=&path=../Database/Dem_soc/05_prebivalstvo/10_stevilo_preb/25_05C50_prebivalstvo_naselja/&lang=2
Key statistical data used	GIS iObčina. https://gis.iobcina.si/gisapp/Default.aspx?a=kranj
Spatial level	Availability at local level
Data presentation	Presented for local level (Municipality of Kranj)
Data completeness	Data is available from 2011–2017 (by 28. 6. 2018)
Policy/goals	To support policies for sustainable urban development
Contact person if available	On behalf of Geodec Institute of Slovenia: Maja Baloh, maja.baloh@gis.si
Conditions of use	Indicators available for view/available for download

Skupaj s kazalniki so bila za obe platformi pripravljena tudi metapodatkovna poročila kazalnikov. Metapodatkovna poročila (preglednica 2) vsebujejo metapodatke o opisu in vrsti kazalnika, letnem razponu podatkov, podatkovnem viru oz. drugih ključnih statističnih podatkih, popolnosti oz. razpoložljivosti podatkov, politikah oz. ciljih, ki jih kazalnik zasleduje, morebitni kontaktni osebi, pogojih nadaljnje uporabe kazalnika in interpretaciji določenega kazalnika.

3.3 Funkcionalnosti platform TAMP in CO-TAMP

Poleg osnovnih funkcionalnosti, ki so na voljo na strani skrbnika platform in so privzete, obe ponujata uporabniku oblikovanje funkcionalnosti prikaza in analize podatkov (slika 3). V članku so prikazane bistvene funkcionalnosti platform. Uporabniške funkcionalnosti so zasnovane na uporabniku prijazen način, do njih pa je mogoče pristopiti z enega samega menija. Uporabniki lahko v strukturi menija izberejo izbrani kazalnik (prek izbora »Spremenljivke« ali »Meni«).



Slika 3: Struktura platform CO-TAMP in TAMP z vsemi funkcionalnostmi.

Najpomembnejši elementi aplikacije so interaktivni zemljevid (slika 1, slika 2) z izbrano kartografsko osnovo in izbrani kazalnik, ki prikazuje statistične vrednosti na izbrani prostorski enoti, opis kazalnika s povezavo do poročil o metapodatkih in vrednosti legend.

Uporabnik lahko za posamezen kazalnik izbere različne prostorske enote, če so na voljo (samo v nacionalnih platformah TAMP), in različne časovne enote kazalnika za obdobje od leta 2008 naprej.

V nastavitvah legend (slika 4) so na voljo različna orodja za vizualizacijo podatkov: metoda klasifikacije in število razredov, specifikacija nerazvrščenih vrednosti, različne barvne lestvice, spreminjanje preglednosti zemljevida.

Datoteke je mogoče izvoziti v formatu ESRI shapefile (geoprostorski vektorski format) v arhivski datoteki ZIP (slika 5). Pri izvozu se lahko datoteke uporabijo za nadaljnje delo: analizo v GIS orodjih (na primer QGIS, ArcGIS ...), obdelavo podatkov in nadaljnjo vizualizacijo podatkov v programih za obdelavo preglednic (Microsoft Excel, Libre Office Calc ...).

5

Metoda klasifikacije

Equal intervals

122,5 ali manj

122,6 – 180,2

180,3 – 237,8

237,9 – 295,5

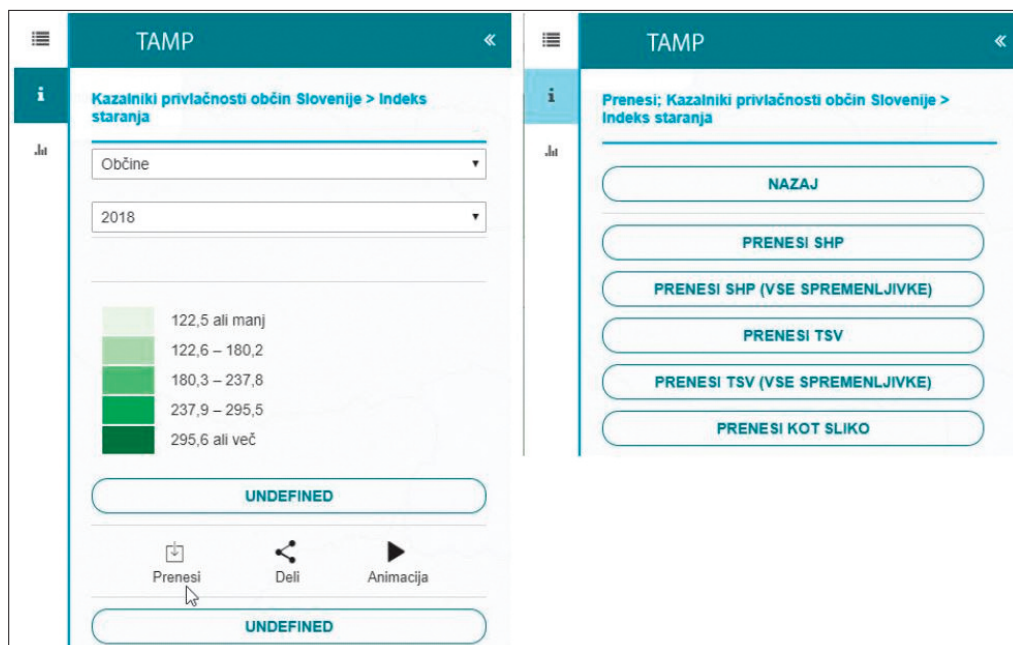
295,6 ali več

POTRDI SPREMEMBE

Barve

Prosojnost

Slika 4: Nastavitve legend v platformah TAMP in CO-TAMP.



Slika 5: Izvoz podatkov v platformah TAMP in CO-TAMP.

4 Sklep

V prispevku sta bili predstavljeni spletni platformi, zasnovani in izvedeni za zagotavljanje različnih geovizualizacij območij na osnovi kazalnikov z namenom, da bi države in regije spremljale in ocenjevale prostorske in razvojne politike ter prioritete v Podonavju na osnovi podatkov za različna časovna obdobja.

Predstavljena rešitev sistemov spremljanja prostorskega razvoja temelji na znanju in rešitvah programa ESPON in drugih pobud ter EU projektov. Projekt Privlačno Podonavje ponuja nova znanja in izkušnje, s svojimi rešitvami je pionirski, inovativen v Podonavju in širšem makroregionalnem prostoru. Rezultate je mogoče uporabiti pri drugih projektih, hkrati pa služijo tudi kot prispevek k novemu razvojnemu programiranju v Evropi (2021–2027).

S pojavom novih tehnologij in vse večjo zapletenostjo prostorskih odnosov in razvojnih izzivov je mogoče pričakovati, da se bo v prihodnosti povečalo število transnacionalnih sistemov spremljanja prostorskega razvoja in da bo geovizualizacija za prostorsko načrtovanje in prostorskega razvoja doživela v prihodnjih letih hiter razvoj.

5 Viri in literatura

Attractive Danube, 2017. Medmrežje: <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/attractive-danube> (23. 5. 2017).

Baltic Sea Region Territorial Monitoring System, 2020. Medmrežje: <https://www.espon.eu/tools-maps/baltic-sea-region-territorial-monitoring-system> (15. 1. 2020).

- Danube Transnational Programme 2014–2020, 2019. Medmrežje: <http://www.interreg-danube.eu/> (15. 8. 2019).
- Dühr, S. 2007: *The Visual Language of Spatial Planning – Exploring Cartographic Representation for Spatial Planning in Europe*. London, New York.
- ESPON 2020 Cooperation Programme, 2020. Medmrežje: <https://www.espon.eu/programme/espon/espon-2020-cooperation-programme> (23. 2. 2020).
- ESPON ATTREG, 2013. Medmrežje: http://www.espon.eu/main/Menu_Projects/Menu_AppliedResearch/attreg.html (23. 2. 2017).
- ESPON EMTM-European and Macro-regional Territorial Monitoring Tool, 2018. Medmrežje: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ESPON_Territorial%20Monitoring_Inception_Report.pdf (23. 2. 2019).
- ESPON Indicators for Integrated Territorial and Urban Development, 2018. Medmrežje: <https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/Working%20Paper%20Indicators%20for%20integrated%20development.pdf> (16. 3. 2020).
- ESPON Inspire Policy Making by Territorial Evidence, 2017. Medmrežje: <https://www.espon.eu/main/> (22. 7. 2017).
- European Spatial Development Perspective, 2019 Medmrežje: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/pdf/sum_en.pdf (15. 11. 2019).
- European Territorial Monitoring System, 2019. Medmrežje: <https://apps.espon.eu/etms/> (22. 6. 2019).
- INSPIRE Infrastructure for spatial information in Europe, 2019. Medmrežje: <http://inspire.ec.europa.eu/> (20. 8. 2019).
- Lindberg, G., Dubois, A. 2014: How to monitor territorial dynamics. Nordregio News Issue 2. Medmrežje: <https://archive.nordregio.se/en/Metameny/Nordregio-News/2014/Monitoring/Context/index.html> (15. 11. 2019).
- MacEachren, A., Fraser Taylor, D. R. 1994: *Visualisation in Modern Cartography*. Modern Cartography Series. Great Yarmouth.
- Nared, J., Bole, D. (ur.) 2020: *Participatory Research and Planning in Practice*. Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28014-7>
- Nared, J., Razpotnik Visković, N., Cremer-Schulte, D., Brozzi, R., Cortines, G. 2015: Achieving sustainable spatial development in the Alps through participatory planning. *Acta geographica Slovenica* 55-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.1631>
- Nöllenburg, M. 2006: *Geographic visualization. Human-Centered Visualization Environments*. Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-71949-6_6
- Poljak Istenič, S. 2019: Participatory urbanism: creative interventions for sustainable development. *Acta geographica Slovenica* 59-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.5142>
- Sistem spremljanja stanja prostorskega razvoja, 2019. Ministrstvo za okolje in prostor. Medmrežje: <http://gis.si/dev/sssp-frontend-v2/?seznam=2> (30. 11. 2019).
- Soria-Lara, J. A., Zúñiga-Antón, M., Pérez-Campaña, R. 2015: European spatial planning observatories and maps: merely spatial databases or also effective tools for planning? *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 42-5. DOI: <https://doi.org/10.1068%2Fb130200p>
- Živković, L., Marani, S., Berk, S., Dežman Kete, V., Trapani, F., Esposito, G., Špeh, N., Milić, D., Živanović, T., Barborič, B. 2015: Towards a monitoring information system for territorial attractiveness policy management in South East Europe. *Geodetski vestnik* 59-4. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.04.752-766>
- Živković, L., Barborič, B. 2018: ATTRACTIVE DANUBE project – Territorial attractiveness analysis of the Danube Region. Medmrežje: http://programm.corp.at/cdrom2018/papers2018/CORP2018_7.pdf (23. 10. 2019).

ESTETSKA VREDNOST IN DOŽIVLJANJE VELIKE PLANINE

Eva Harmel, Sabina Cepuš, Matevž Premelč, Sašo Weldt, Aleksandra Krajnc, Klemen Strmšnik, Matjaž Harmel

ZaVita, svetovanje, d. o. o.

eva@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2089-5940>

sabina@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6025-4147>

matevz@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-877X>

saso@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2255-674X>

aleksandra@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0948-7583>

klemen@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6197-2338>

matjaz@zavita.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7917-3470>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_17

UDK: 911.53:111.852(497.4Velika planina)

IZVLEČEK

Estetska vrednost in doživljanje Velike planine

Velika planina je ohranjen primer visokogorskega pastirskega naselja v Kamniško-Savinjskih Alpah, kjer je še vedno prisotna tradicionalna raba – pašništvo. Značilna arhitektura pastirskih stanov, biotska pestrost, lahek dostop, možnosti za prenočevanje in razgledi so tiste kakovosti območja, ki privlačijo čedalje več obiskovalcev. Ti predstavljajo obremenitve za naravo in okolje ter grožnjo za dodatne pritiske v primeru razvoja dejavnosti in infrastrukture, ki na planino morda ne sodijo oziroma njihova umestitev ni ustrezna. Vse naštetu vpliva na estetsko in doživljajsko vrednost Velike planine. V povezavi s tem smo izvedli analizo vidnosti krajine s posameznih stojišč, kar omogoča prepoznavanje bolj privlačnih krajinskih vzorcev in razmerij dejanske rabe tal.

KLJUČNE BESEDE

analiza vidnosti, doživljanje krajine, estetska vrednost, nosilna sposobnost, privlačnost

ABSTRACT

Aesthetic value and experiencing of Velika planina

Velika planina is a unique example of the preserved cultural heritage of Kamniško-Savinjske Alps due to traditional land use – pasture farming. Typical architecture of herdsman huts, biodiversity, accessibility of the area, accommodation capacities and the views are the reasons why the area attracts increased number of visitors. That creates increased pressures on nature and environment as well as a threat for further pressures on natural resources. Notably in case of further development of infrastructure and activities that do not belong on the Velika planina or their inappropriate placement. These factors have an important impact on aesthetic value and experiencing of the area. We performed a visibility analysis on selected stand points that helped us define the attractiveness of the area in connection with landscape patterns and land use.

KEY WORDS

visibility analysis, landscape experience, aesthetic value, carrying capacity, attractiveness

1 Uvod

Velika planina je edinstven primer ohranjene kulturne dediščine alpskih planin. V izjemno naravno območje je v veliki meri s svojo dejavnostjo posegel človek, kar se zrcali v kulturni krajini. Velika planina je zaradi ohranjenega pastirskega naselja, naravnega okolja, razgledov in biotske pestrosti izjemno privlačna za obisk. Posledično se sooča z vedno večjimi pritiski na okolje in naravo. To se odraža v večji obremenjenosti cest in poti, večjih potrebah po parkiranju, prenočitvenih in gostinskih zmogljivostih, povečani eroziji, degradaciji travišč, vznemirjanju živalskih vrst ter onesaženju vodnih virov. Razvoj turistične ponudbe povečuje potrebe po rabi naravnih virov, predvsem vode.

Občina Kamnik je pristopila k pripravi Strategije razvoja Velike planine. S sprejemom in izvajanjem strategije želi zagotoviti trajnosten razvoj območja, ki bo upošteval nosilno sposobnost območja. Strokovne podlage za oblikovanje scenarijev ohranjanja in razvoja Velike planine so opredelile tri možne scenarije razvoja: omejen razvoj s poudarjenim varstvom, uravnotežen trajnostni razvoj in poudarjen turistični razvoj (Strokovne podlage ... 2018). Pri pripravi strokovnih podlag se je izkazalo, da so ključni robni pogoji razvoja Velike planine povezani z okoljsko ranljivostjo območja. S tem namenom smo v podjetju *Za Vita* izdelali Oceno tveganj za okolje in naravo zaradi razvojnih dejavnosti na Veliki planini. V okviru naloge smo predlagane scenarije razvoja ovrednotili z vidika vplivov na okolje in naravo.

Ključni koraki ocene tveganj so bili:

- identifikacija ekosistemskih storitev;
- prepoznavanje obstoječih pritiskov in vplivov posameznih dejavnosti na ekosistemске storitve;
- določitev okoljskih kazalnikov za vrednotenje ključnih vplivov na ekosistemске storitve in določitev pragov okoljskih kazalnikov za opredelitev nosilne sposobnosti;
- vrednotenje scenarijev razvoja glede na pričakovano gibanje okoljskih kazalnikov in določen prag.

Opredelitev ekosistemskih storitev smo izvedli v skladu s klasifikacijo ekosistemskih storitev, ki je v uporabi v Evropski uniji (CICES 2019). Na Veliki planini smo identificirali oskrbovalne, uravnalne in kulturne ekosistemске storitve. Več ekosistemskih storitev je bilo prepoznanih kot potencialno ogroženih. Med njimi sta tudi kulturni ekosistemski storitvi estetska vrednost in doživljanje krajine.

V prispevku je prikazana obravnava estetske vrednosti in doživljanja krajine. Na podlagi spletne ankete smo zbirali mnenja o privlačnosti območja, motivih za obisk planine in motečih dejavnikih. Ciljno smo jo diseminirali med izbrane deležnike (planinska društva, Velika planina d. o. o., Občina Kamnik, skupine na družbenih omrežjih). Na anketo je odgovorilo 377 respondentov. Rezultati ankete so v povezavi s prostorskimi analizami omogočili opredelitev socialne nosilne sposobnosti. Ključni so bili tudi za ocenjevanje scenarijev, oblikovanih v Strokovnih podlagah za oblikovanje scenarijev ohranjanja in razvoja Velike planine (Strokovne podlage ... 2018). Scenariji predpostavljajo nadaljnji razvoj osmih področij (promet, krajina, pašništvo, turizem, poselitev, gospodarska javna infrastruktura, ekonomika in obisk) (Strokovne podlage ... 2018).

Vidno zaznavanje je subjektiven način spremljanja in zaznavanja informacij, na kar vplivajo številni dejavniki, kot so vidno zaznavne lastnosti krajine, značilnosti opazovalca ter prostorski in družbeni kontekst opazovanja (Strniša 2006). Na podlagi vidnega zaznavanja posameznik oceni estetsko vrednost območja. Metodološki postopki vrednotenja estetike prostora, ki jih povzema Strniša (2006), se opirajo na pestrost, naravnost, lepoto, prepoznavnost, razglede in anketiranje uporabnikov prostora.

Opredeljevanje doživljajske vrednosti krajine je odvisno ne le od estetske vrednosti območja, temveč tudi od razpoložena posameznika (Strniša 2006) ter okoliščin in razmer, v katerih obiskuje območje. Estetska vrednost in doživljanje krajine sta pomembna vidika, ki ju je treba upoštevati pri prostorskem načrtovanju in upravljanju krajine. Pogledi, vedute, dominante v prostoru, raznolikost strukture in razporeditev vzorcev, ki so prepoznani kot zelo kakovostni, zahtevajo ohranjanje in upravljanje. Pri umeščanju novih dejavnosti v prostor je ključen premislek o tem, ali sta predvidena lokacija in način izvedbe posega za območje sprejemljiva.

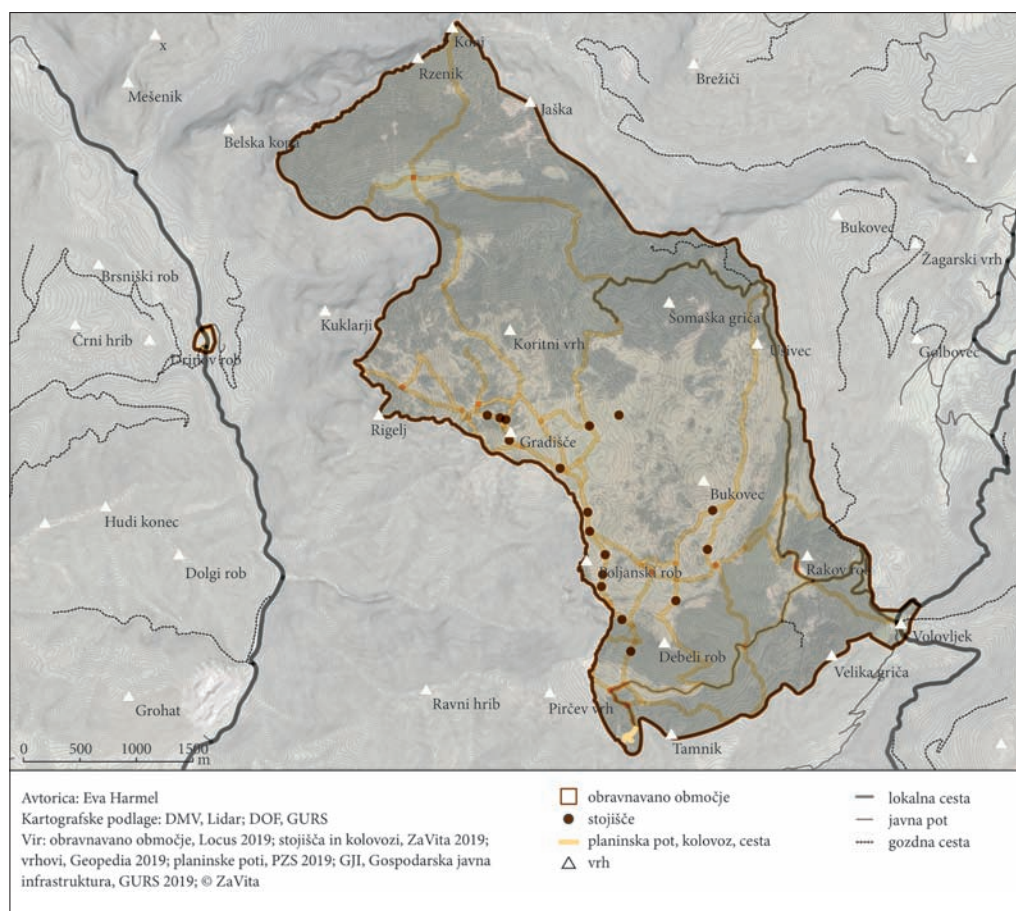
Pri opredelitvi števila obiskovalcev, ki ga planina še prenese, smo obravnavali socialno nosilno sposobnost območja. Ta je v tesni povezavi z estetsko vrednostjo in doživljanjem krajine ter dejavnostmi, ki vplivajo nanje. Velika planina bo za obisk ostala privlačna, če bodo značilnosti in kakovosti krajine ohranjene in še naprej omogočale visoko doživljajsko in estetsko vrednost območja.

2 Estetska in doživljajska vrednost

Estetsko in doživljajsko vrednost smo v okviru Ocene tveganj za okolje in naravo zaradi razvojnih dejavnosti na Veliki planini obravnavali na podlagi (Ocena tveganj ... 2019):

- ankete,
- analize vidnosti z izbranih stojišč,
- opredelitve raznolikosti dejanske rabe tal v območju vidnega polja s posameznega stojišča,
- opredelitve krajinskega vzorca.

Za vrednotenje vplivov na izbrani dve ekosistemski storitvi je bilo ključno anketiranje obiskovalcev glede motivov za obisk, prepoznanih motenj na Veliki planini, privlačnosti pogledov ter doživljajske

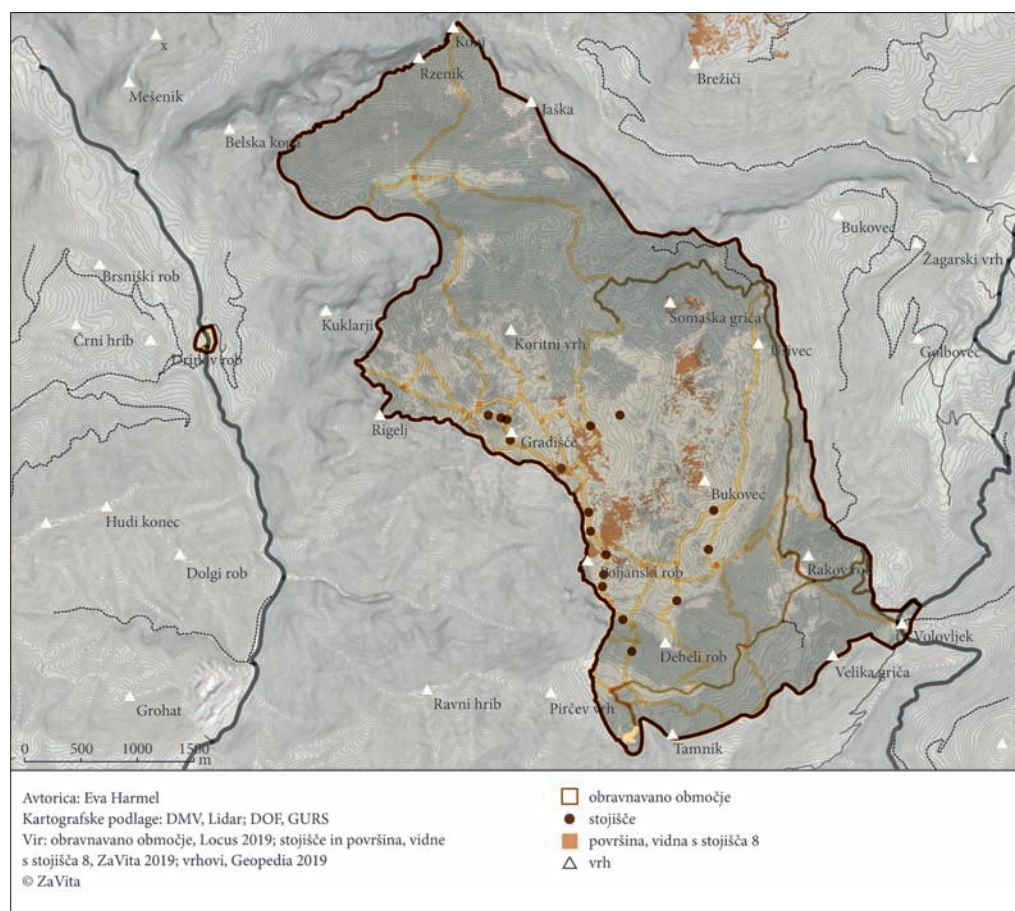


Slika 1: Obravnavano območje za določanje estetske vrednosti.

vrednosti Velike planine. Vse to je tesno povezano s fizičnimi spremembami v krajini (prostorska razmerja, raznolikost in razgibanost), ki so posledica sprememb tradicionalne rabe, naravnih procesov in razvoja novih dejavnosti. Največ anketirancev je navedlo, da Veliko planino obiščejo zaradi narave, pestrosti krajine, razgledov, mirnosti in odmaknjenosti ter značilne arhitekture pastirskih stanov. To dokazuje, da sta estetska in doživljajska vrednost pomembna motiva za obisk. Na poslabšanje doživljajske izkušnje po mnenju anketirancev vplivajo motnje, predvsem prisotnost motornih vozil, opuščena žičniška infrastruktura, neprimerna urejenost objektov ter številčnost obiskovalcev.

Anketiranci so med drugim ocenjevali **estetsko vrednost panoramskih fotografij**, posnetih na izbranih stojiščih ter opredeljevali ključne motive za obisk območja in morebitne moteče dejavnike, ki jih odvrčajo od obiska in so ključni za opredelitev doživljajske vrednosti.

Estetsko vrednost smo opredelili za 17 stojišč. Določili smo jih na planinskih poteh, kjer je obisk bolj zgoščen ter glede na lastno doživljanje raznolikosti in menjanje prizorišč na terenskem ogledu. **Z analizo vidnosti** smo želeli preveriti povezavo med privlačnostjo posameznih stojišč in površino vidnega polja. Znotraj vidnih polj smo ocenili raznolikost dejanske rabe tal. Predpostavljali smo, da bolj **raznolika raba tal** pomeni višjo estetsko vrednost in s tem večjo doživljajsko vrednost. Izkazalo se je,



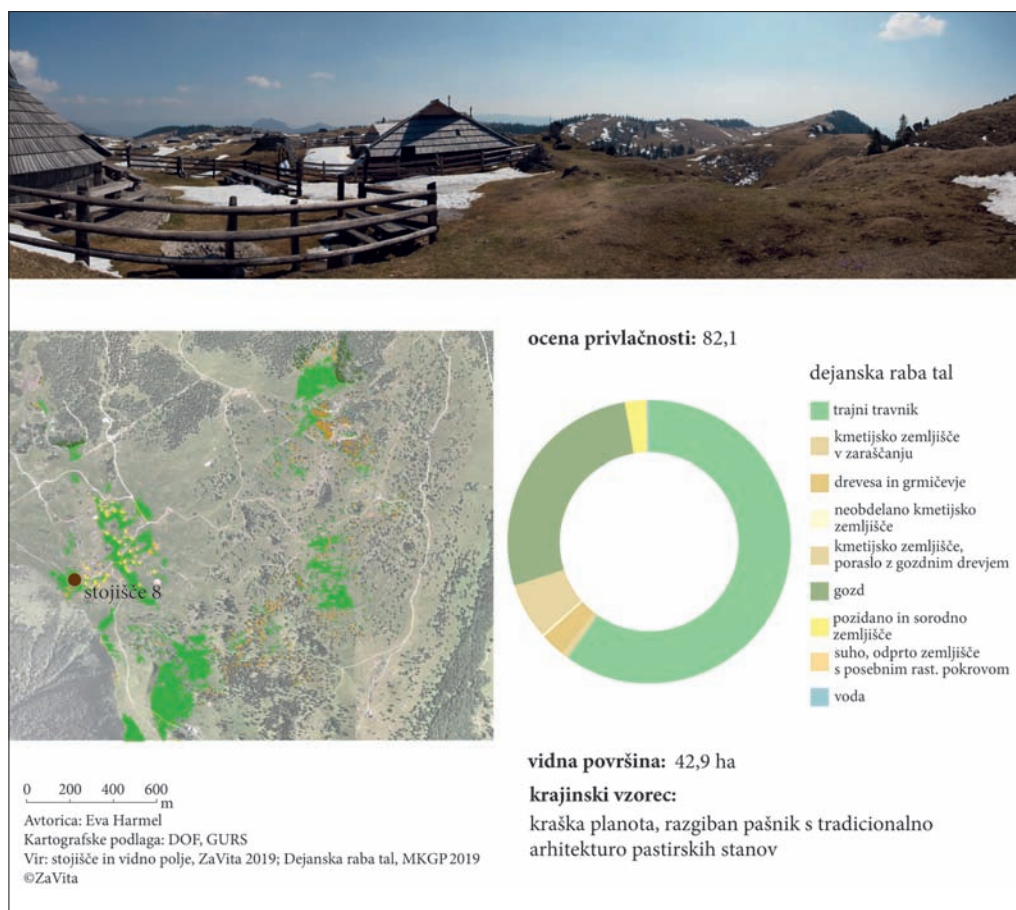
Slika 2: Vidno polje s stojišča 8.

da na estetsko in doživljajsko vrednost pomembno vpliva kombinacija značilnosti prostora, ki je odvisna od posameznega stojišča.

Za območje Velike planine, veliko 49 km² (slika 1), smo uporabili lidarske podatke (Geoportal ARSO 2019). Na podlagi georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk (GKOT), smo s pomočjo programskega orodja GRASS GIS izdelali digitalni model površja z natančnostjo 5 m.

Vidna polja s posameznih stojišč (slika 2) v rastrski obliki so bila s programskim orodjem QGIS pretvorjena v vektorsko obliko. Preračunali smo površine teh poligonov, s čimer smo dobili površine vidnih polj. Z uporabo orodja *Intersect* smo v programskem orodju QGIS preračunali deleže posamezne dejanske rabe tal znotraj vidnega polja. Na ta način smo lahko za stojišča dobili značilnosti, ki niso rezultat subjektivne strokovne ocene o estetski vrednosti območja. Na podlagi pridobljenih podatkov smo stojiščem **pripisali značilne krajinske vzorce** in ocene privlačnosti območij s stojišč iz anketnih vprašalnikov (slika 3).

Na podlagi podatkov, zbranih v anketi, smo izračunali tudi **nosilno sposobnost območja** Velike planine po metodi, ki jo opisuje Cifuentes (1992). Številčnost obiska je bila v anketi poudarjena kot ena izmed največkrat navedenih motenj. Na podlagi tega smo predpostavili, da v večini primerov poslabša doživljajsko izkušnjo na Veliki planini.



Slika 3: Pogled s stojišča z oceno anketirancev, dejanska raba tal in opredeljen krajinski vzorec.

Najprej smo izračunali fizično nosilno sposobnost (FNS), ki je opredeljena kot največje število uporabnikov, ki je lahko fizično prisotno na določenem območju in se izračuna po naslednji formuli:

$$FNS = P \times \frac{U}{e} \times Rf,$$

pri čemer je:

P = razpoložljiva dolžina planinske poti,

$\frac{U}{e}$ = površina na enoto, po kateri se lahko uporabnik giba (1 obiskovalec na m^2),

Rf = rotacijski oziroma povratni faktor, ki opredeljuje število obiskovalcev na dan, pri čemer se faktor izračuna po naslednji formuli:

$$Rf = \frac{\text{čas odprtja poti}}{\text{povprečno trajanje obiska}}$$

FNS območja z vidika številčnosti obiskovalcev smo ocenili na podlagi dolžine planinskih poti, kolo-vozov in javnih cest (45.960 m), površine, ki jo potrebuje obiskovalec ($1 m^2$), časa možnega obiska (15 ur) in povprečnega trajanja obiska (6 ur). Čas možnega obiska smo opredelili z dolžino dnevne svetlobe na poletni dan, povprečno trajanje obiska pa je ocenjeno na podlagi povprečnega časa prehojene planinske poti. FSN Velike planine je 114.900 obiskovalcev dnevno.

Dejanska nosilna sposobnost (DNS) predstavlja največje dovoljeno število obiskovalcev določene območja ob upoštevanju korekcijskih faktorjev (Kf), ki izhajajo iz posebnih značilnosti oziroma robnih pogojev nekega območja in so pomnoženi s FNS. Pri izračunu DNS se lahko uporabi poljubno število korekcijskih faktorjev, ki pa morajo biti ustrezno opredeljeni in argumentirani.

DNS se izračuna po naslednji formuli:

$$DNS = FNS \times (Kf1 \times Kf2 \times \dots \times Kfn),$$

pri čemer je:

Kf = korekcijski faktor, ki se ga izračuna po naslednji formuli:

$$Kf = 1 - \left[\frac{Mr}{Ms} \right],$$

pri čemer je:

Mr = robni pogoj spremenljivke,

Ms = skupna vrednost spremenljivke.

V našem primeru smo za določitev sprejemljivosti števila obiskovalcev uporabili le socialni korekcijski faktor, ki po mnenju obiskovalcev še omogoča visoko doživljajsko vrednost Velike planine.

Za pridobitev robnega pogoja in skupne vrednosti spremenljivke smo uporabili že omenjeno spletno anketo. Na podani sliki so anketiranci označevali razdaljo med 0 in 300 m, na kateri jim prisotnost drugih obiskovalcev ni moteča, podali pa so tudi velikost skupine, s katero obišejo Veliko planino.

Glede na podatek iz rezultatov anketnega vprašalnika, da je povprečna skupina, v kateri se obiskovalci gibljejo na Veliki planini, velika 5,3 osebe ter z upoštevanjem dolžine, ki je obiskovalcem še sprejemljiva za srečevanje ostalih obiskovalcev (126,8 m), je dejanska dnevna nosilna sposobnost 1921 oseb.

Odprtost območja ne omogoča nadzora nad številom obiskovalcev, obiskovalce se spremlja na podlagi prodanih kart za nihalko in ocene deleža obiska z ostalih izhodišč. Poleg tega vse poti na Veliki planini niso enako obiskane, nekatere so zelo obremenjene – na primer pot med Malo planino in Velikim stanom, na nekaterih pa je obiska malo. Preseganje nosilne sposobnosti je odvisno od razporeditve obiska po poteh. Tudi pri manjšem obisku, kot smo ga izračunali kot dnevno nosilno sposobnost, je ta lahko presežena, v kolikor je obisk skoncentriran na eni točki (na primer kapela Marije Snežne ob prazniku Marije Snežne).

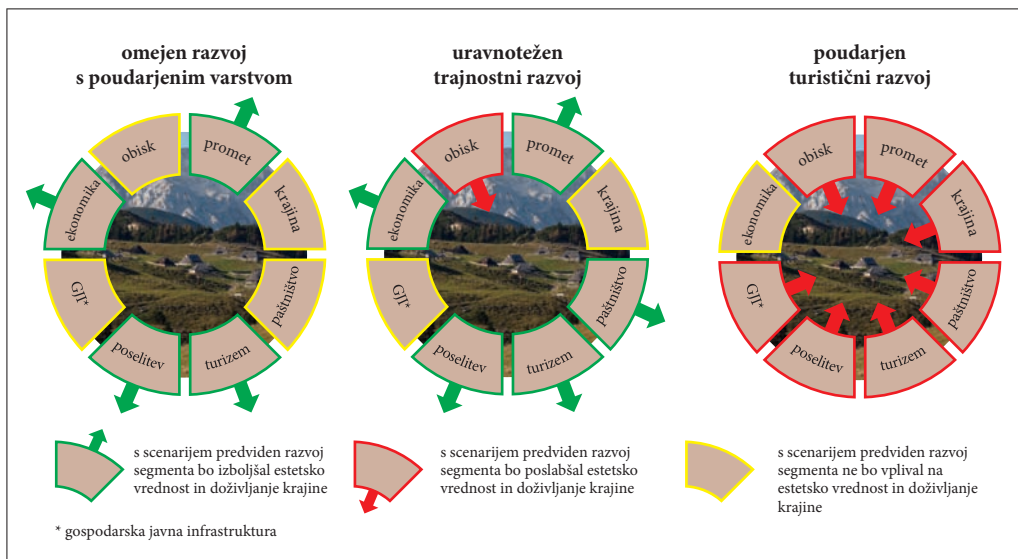
Zadnje vprašanje v anketi se je nanašalo konkretno na oceno doživljajske izkušnje na Veliki planini. Anketiranci so doživljajsko izkušnjo ocenjevali na lestvici od 0 do 100, pri čemer 0 predstavlja zelo slabo izkušnjo, 100 pa odlično. Približno polovica obiskovalcev jo je ocenila z vrednostjo 80 ali več, kar kaže na to, da obiskovalci Veliki planini pripisujejo visoko doživljajsko vrednost.

3 Usmeritve za razvoj ter upravljanje in spremljanje razvoja krajine

Opisan postopek obravnave izbranih ekosistemskih storitev je omogočil ocenjevanje vplivov scenarijev ohranjanja in razvoja Velike planine na estetsko vrednost in doživljanje krajine (slika 4). Ti obravnavajo segmente prometa, krajine, pašništva, turizma, poselitve, gospodarske javne infrastrukture (GJI), ekonomike in obiska ter zanje opredeljuje razvoj, širitev, omejitve ali opuščanje.

Iz izvedene naloge izhajajo tudi usmeritve za pripravo Strategije razvoja Velike planine, ki vključujejo ukrepe za ohranjanje krajinske slike (in s tem visoke estetske vrednosti) ter doživljajske vrednosti območja:

- Ohranjanje pašnih živali na Veliki planini je ključno za ohranjanje mozaičnosti, edinstvenosti in razgibanosti pogledov.
- Čredinke bi bilo smiselno urediti tudi na območjih, ki so se začela zaraščati, predvsem tista, ki so vidno izpostavljena in s tem pomembna za doživljanje območja. S finančnimi spodbudami bi bilo zaželeno žičnate ograje zamenjati s tradicionalnimi lesenimi ograjami.
- Usmerjanje in omejevanje obiska je ob viških obiska nujno. Smiselno bi bilo usmerjati tudi na druge poti, ki niso toliko obremenjene in s tem izboljšati doživljajsko izkušnjo.
- Nujno je sanirati in urediti planinske poti na način, da bodo prenesle predvidene obremenitve. Uhojene bližnjice se sanira in zapre.
- Ključno je ohranjanje ločnice med počitniškimi in pastirskimi naselji. Ohranjanje tradicionalne rabe tal – pašništva. Zagotavljanje odmaknjenosti turističnih dejavnosti od glavnih pašnih planin.
- Namestitvene kapacitete bi morale biti urejene na način, da tudi bivanje na Veliki planini omogoča doživetje življenja na visokogorski planini.



Slika 4: Vpliv scenarijev na estetsko vrednost in doživljanje krajine.

- Tip obiskovalcev planin se je v zadnjih letih pomembno spremenil. Spremenilo se je tudi povpraševanje, čemur je sledila tudi gostinska ponudba. To žal ne prispeva k doživljajski vrednosti. Planinski domovi bi morali ponujati tradicionalne jedi, lokalno hrano z visoko dodano vrednostjo. Pri dvigovanju standarda in posledično cen, lahko pričakujemo tudi spremembo tipa obiskovalcev.
- Ključno je, da se vožnja z motornimi vozili na osrednji planoti prepove, oskrbo objektov in storitve prevoza pa omeji, tako številčno kot časovno.
- Anketiranci so kot najmanj privlačne poglede na planini izpostavili pogled na opuščeno žičniško infrastrukturo, delujočo žičniško infrastrukturo in poglede s kolovozi. To izpostavlja potrebo po zatratitvi kolovozov, ki niso nujni in sanaciji nedelujoče žičniške infrastrukture.

Za spremljanje stanja krajine, doživljanja območja in estetske vrednosti bi bilo smiselno po določenem obdobju ponoviti pregled, ki je bil narejen v okviru te naloge. S tem bi bilo mogoče potrditi ustreznost upravljanja in razvoja Velike planine:

- Ponovitev terenskega ogleda in fotografiranje panoram z istih stojišč. S tem se zagotovi spremljanje fizičnih sprememb v krajini.
- Izvedba anketnega vprašalnika, ki naslavlja obiskovalce Velike planine. Z izvedbo se pridobi širše mnenje o stanju območja, ključnih motivih za obisk, ključnih pomanjkljivostih, ter splošnem zadovoljstvu z obiskom. Primerjava z rezultati pretekle analize in interpretacija razlik.
- Priprava digitalnega modela površja na podlagi novih lidarskih posnetkov in ponovitev analize vidnosti. Primerjava z rezultati predhodne analize vidnosti bo omogočila izpostavitev območij, ki so se morebiti zarasla ali zaradi krčenja rastja odprla. Mogoča bo povezava vplivov opuščanja ali razvoja določene dejavnosti oziroma rabe tal z vidnim poljem.
- Primerjava dejanske rabe tal, sprememba razmerij med različnimi rabami tal in interpretacija vzrokov za spremembe.

4 Sklep

Glede na odgovore, podane v anketnem vprašalniku, je območje obiskovalcem privlačno predvsem zaradi narave, razgledov in pestrosti krajine. Prav omenjeni elementi so najbolj ranljivi z vidika umeščanja dejavnosti in infrastrukture. Ključno za nadaljnji razvoj Velike planine je trajnostno upravljanje, ki vodi v ohranjanje in izboljšanje kvalitet, ki so prepoznane v prostoru kot tudi upoštevanje nosilne sposobnosti območja pri načrtovanju razvoja.

Analiza vidnosti v povezavi z estetsko in doživljajsko vrednostjo se je na primeru Velike planine izkazala kot najbolj obetavna za spremljanje sprememb v krajini ter usmeritev za nadaljnji razvoj dejavnosti in infrastrukture v okviru Strategije razvoja Velike planine. Menimo, da je uporaba kombinacije več metod (vključevanje uporabnikov prostora, analiza vidnosti, raznolikost dejanske rabe tal) lahko zelo uporabna za namene načrtovanja aktivnosti na prostem in zagotavljanje ustreznega upravljanja. To je ključno predvsem v zavarovanih območjih, kjer je usklajevanje varstvenih in razvojnih interesov še toliko bolj zahtevno. Kljub temu se pojavljajo pomisleki glede rezultatov anketiranja obiskovalcev zaradi:

- težko določljivih pragov – nezanesljiva objektivnost sklepov,
- okoliščin izkušnje obiskovalca na Veliki planini,
- različnih pričakovanj oziroma tipov obiskovalcev,
- panoramskih fotografij, ki niso zajele 360° pogleda in so bile posnete zgolj v enem letnem času.

Uporabnost analize vidnosti se kaže tudi pri:

- načrtovanju razglednih točk v okviru pešpoti/kolesarskih poti,
- trasiranju poti, kolesarskih poti, turističnih cest,
- spremljanju spreminjanja krajine in načrtovanju ukrepov v mozaični krajini,
- varovanju ključnih lokacij ter prepoznavnih in tipoloških značilnosti krajine na nekem območju s ciljnim upravljanjem,

- iskanju prostorskih alternativ pri umeščanju vizualno moteče infrastrukture/posegov v prostor,
- ohranjanju prepoznavnih vedut in koridorjev.

Poleg analize vidnosti z določene točke ocenjujemo, da se v praksi prostorskega načrtovanja preredko posega po analizah vidnosti določenih posegov in njihove vpetosti v prostor. Pri upravljanju ali načrtovanju učnih poti in razgledišč v prostor, se z uporabo teh orodij lahko zagotovi kvalitetnejša doživljajska izkušnja prostora. Pri opredeljevanju namenske rabe prostora, ki ni vizualno privlačna in lahko v širšem prostorskem kontekstu povzroči poslabšanje krajinske slike, lahko s tovrstnimi orodji preprečimo negativne vplive na krajino. Na tak način bi se zagotavljala tudi višja estetska vrednost krajin nasploh.

5 Viri in literatura

- CICES, 2019. Common International Classification for Ecosystem Services, Version 5.1. Medmrežje: <https://cices.eu/> (2. 6. 2020).
- Cifuentes, M. 1992: Determination de capacidad de carga touristic en areas protegidas. Turriabla.
- Geoportal ARSO. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2019. Medmrežje: <https://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page> (2. 6. 2020).
- Ocena tveganj za okolje in naravo zaradi razvojnih dejavnosti na Veliki planini. ZaVita d. o. o. Ljubljana, 2019.
- Strniša, M. 2006: Opredeljevanje nosilcev informacij o vidnih kakovostih krajine. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Strokovne podlage za oblikovanje scenarijev ohranjanja in razvoja Velike planine. Locus. Domžale, 2018.

PROSTORSKI PODATKI VARSTVA KULTURNE DEDIŠČINE

mag. Ksenija Kovačec Naglič, Grega Žorž

Ministrstvo za kulturo

ksenija.kovacec@gov.si, grega.zorz@gov.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_18

UDK: 719(497.4)

659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Prostorski podatki varstva kulturne dediščine

Prostorski podatki kulturne dediščine so pomemben segment varstva kulturne dediščine v Sloveniji. V tem prispevku so predstavljene spremembe, ki jih projekt celovite informacijske prenove eDediščina prinaša na področju procesov varstva kulturne dediščine ter nastajanja, vzdrževanja in distribucije prostorskih podatkov na Ministrstvu za kulturo.

KLJUČNE BESEDE

kulturna dediščina, varstvo kulturne dediščine, prostorsko načrtovanje, zgodovinske karte, državni prostorski podatki

ABSTRACT

Spatial data for the protection of cultural heritage

Spatial cultural heritage data represent an important segment of cultural heritage protection in Slovenia. This article presents the changes of the comprehensive information renovation project eDediščina brings to the field of cultural heritage protection and the creation, maintenance and distribution of spatial data at the Ministry of Culture.

KEY WORDS

cultural heritage, protection of cultural heritage, spatial planning, historical maps, national spatial data

1 Uvod

Kulturna dediščina v slovenskem prostoru ni izjema, ampak pravilo, praktično v vsem prostoru je treba varstvo kulturne dediščine vključevati v postopke načrtovanja prostora, presoje vplivov na okolje in gradnje.

Trenutno stanje prostorskih informacij in procesov na področju kulturne dediščine je nepopolno in ne dovolj transparentno, kar pomeni tudi veliko finančno tveganje za državo, občine in investitorje zaradi neustreznih prostorskih informacij na področju omejitve posegov v prostor z vidika kulturne dediščine.

V okviru projekta »Celovita informacijska podpora procesom varstva nepremične kulturne dediščine« oziroma krajše eDediščina, ki ga sofinancirata Evropska unija in Republika Slovenija, Ministrstvo za kulturo skupaj z Zavodom za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS) in Slovenskim etnografskim muzejem (SEM) ter arheološko stroko, izdeluje, dopolnjuje in posodablja vsebino in procese na področju varstvenih režimov kulturne dediščine v prostoru z namenom, da zagotovi ustrezno pravno podlago za izvajanje postopkov eProstor (Ministrstva za okolje in prostor), hkrati pa tudi večjo preglednost in učinkovitost pri urejanju prostora, graditvi objektov in upravljanju nepremičnin (Projekt eDediščina 2020). V sklopu projekta eDediščina se vzpostavlja tudi odprti dostop do podatkov o kulturni dediščini in podporne kartografske vsebine, kot so zgodovinski zemljevidi Slovenije.

2 Informacijski sistem eDediščina

Cilj Informacijskega sistema eDediščina (ISeD) je omogočiti preglednost vodenja evidenc o nepremični in nesnovni kulturni dediščini ter arheoloških soglasij in raziskav. Podatki bodo dostopni na enem mestu, povezave na zunanje storitve pa bodo omogočale točnost in skladnost podatkov, kar bo omogočalo preglednost nad vso nepremično in nesnovno kulturno dediščino ter nad vsemi opravljenimi arheološkimi raziskavami (Celovita informacijska podpora procesom 2016).

Notranjim uporabnikom bo ISeD omogočil GIS funkcionalnosti v spletnem okolju. Hramba podatkov bo v *Oracle* podatkovni bazi, kjer uporabljamo razširitev *Oracle Spatial* oziroma SDO zapis geometrije, s čimer zagotavljamo shranjevanje, dostop, analiziranje in deljenje prostorskih podatkov ter povezovanje s programskimi rešitvami različnih ponudnikov (Kothuri, Godfrind in Beinat 2007).

Spletni urejevalnik geometrij je narejen v *ArcGIS Enterprise* okolju z uporabo *Web App Builder JavaScript* tehnologije, ki omogoča enostavno spletno izdelovanje spletnih prostorskih aplikacij (*Web AppBuilder* 2020). Izvajalec razvoja aplikacije ISeD je razvil programski dodatek, ki omogoča poln nadzor komunikacije med aplikativnim in GIS delom aplikacije.

Ministrstvo za javno upravo (MJU) upravlja z Državnim računalniškim oblakom (DRO), ki ga sestavlja infrastruktura, na kateri se izvajajo storitve, ki uporabljajo občutljive, osebne in druge podatke in jih država ne želi shranjevati zunaj svojega okolja (Državni računalniški oblak 2020). Del DRO je tudi *GeoHub-si* okolje, ki uporablja *Esri Enterprise* programsko rešitev ter nudi vsem državnim organom dostop do vseh dodatno razvitih vtičnikov ter s tem zmanjšuje stroške. Spletno urejanje geometrije bo nudilo preprosta orodja (iskanje, ustvarjanje novih geometrij ...) ter tudi za spletni GIS kompleksnejše operacije, kot so coniranje poligonov, topološko preverjanje in ustvarjanje novih območij kulturne dediščine na podlagi zemljiško katastrskega prikaza.

Skladno z zahtevami Arhiva Republike Slovenije bo ISeD zagotovil trajno hrambo prostorskih vektorskih podatkov v formatu GML (*Geography Markup Language*) (Enotne tehnološke zahteve 2020).

2.1 Register kulturne dediščine

Osnovni namen registra kulturne dediščine je informacijska podpora varstvu nepremične kulturne dediščine. Namenjen je tudi predstavljanju, raziskovanju, vzgoji, izobraževanju in razvijanju zavesti

javnosti o kulturni dediščini. Enotna identifikacija iz registra se uporablja v procesih pravnega in strokovnega varstva dediščine, pa tudi kot povezovalni element med različnimi sistemi na področju varstva dediščine ter z digitalnimi objekti (multimedijsko gradivo, načrti ...) o dediščini.

Register sestavljajo trije medsebojno povezani deli: register nepremične dediščine, register premične dediščine in register nesnovne dediščine. V njem se vodijo osnovni, varstveni in predstavitveni podatki o posameznih enotah dediščine. Zakon o varstvu kulturne dediščine (2008) določa, da z vpisom v register enota dediščine ne pridobi varstvenega režima. Ta se določa predvsem z razglasitvijo za kulturni spomenik ter z vključitvijo v varstvena območja dediščine, lahko pa tudi (priporočilno) z varstvom v prostorskih aktih (Zakon o varstvu ... 2008). Še vedno pa register ostaja osrednja zbirka podatkov o kulturni dediščini in osnova za vse druge evidence ter postopke na področju varstva kulturne dediščine.

2.2 Kulturni spomeniki

Nepremična dediščina, ki predstavlja izrazit dosežek ustvarjalnosti in je pomemben del prostora ali predstavlja vir za razumevanje zgodovinskih procesov, pojavov ter njihove povezanosti s sedanjo kulturo in prostorom, se lahko zaradi svojega izjemnega pomena za državo, pokrajino ali občino razglasi za kulturni spomenik. Z aktom o razglasitvi se določijo prostorski obseg in vrednote spomenika ter varstveni režim, lahko pa tudi vplivno območje in varstveni režim zanj. Podatki o razglasitvi se v registru hranijo v varstvenih podatkih (Zakon o varstvu ... 2008).

2.3 Varstvena območja dediščine

Varstvena območja dediščine (VOD) se določijo z namenom celostnega ohranjanja nepremične dediščine, preprečevanja njenega uničenja in ohranjanja njenih vrednot v prostoru na državni in lokalni ravni (Zakon o varstvu ... 2008). Čeprava jih predvideva že Zakon o varstvu kulturne dediščine (2008), jih Ministrstvo za kulturo vzpostavlja šele zdaj v okviru projekta eDediščina. Merila za določanje VOD-ov so predvsem skupen zgodovinski kontekst nepremične dediščine, sorodne morfološke značilnosti in vrednote dediščine v prostoru ter topografska enovitost. Vlada Republike Slovenije določi vrste VOD-ov ter varstvenih usmeritev in predpiše podrobnejša merila za njihovo vzpostavitev (Zakon o varstvu ... 2008). ZVKDS pripravi predlog za določitev VOD-ov na podlagi podatkov registra. Ministrstvo za kulturo zagotovi javno predstavitev in določi način dajanja mnenj in pripomb javnosti. Proces določitve VOD-jev se sklene s predpisom ministra za kulturo.

Osnovno izhodišče za določitev posameznega VOD-a je območje iz registra, dodatno pa uvajamo conacijo, ki bo omogočala večjo prilagodljivost določanja varstvenih usmeritev na nivoju najmanjše enote posameznega VOD-a. S tem bomo zagotovili, da so varstvene usmeritve določene konkretno za posamezne dele VOD-a in ne le splošno za celotno območje VOD-a, hkrati pa bodo cone omogočale določitev varstvenih usmeritev različnih vrst v kompleksnejših primerih. Lastniki bodo tako imeli bolj transparenten pregled nad svojo kulturno dediščino in boljšo izkušnjo upravljanja nepremičnine, ki je KD.

3 Posredovanje podatkov o kulturni dediščini uporabnikom

Ministrstvo za kulturo skladno z Zakonom o dostopu do informacij javnega značaja (2003) zagotavlja odprtost podatkov o kulturni dediščini in nudi javni vpogled, spletne servise ter spletno mesto za prevzem podatkov kulturne dediščine. Skladno s tem so tako na INSPIRE (<https://eprstor.gov.si/imps/srv/eng/catalog.search#/home>) in OPSI (<https://podatki.gov.si>) portalu objavljeni metapodatkovni opisi podatkov o kulturni dediščini. Po vzpostavitvi VOD-ov bodo temu prilagojeno prevzemanje podatkov in spletni servisi. Z zaključkom projekta eDediščina bo zaključena transformacija iz starega v nov državni koordinatni sistem in uskladitev atributnih podatkov z INSPIRE direktivo.

Ministrstvo za kulturo je prenovljena pregledovalnika kulturne dediščine objavilo leta 2018 na DRO-ju. Javnosti je na voljo spletni GIS pregledovalnik Register kulturne dediščine (<https://gisportal.gov.si/rkd>), ki vsebuje podatke registra nepremične in nesnovne kulturne dediščine, ter pregledovalnik Pravnih režimov varstva kulturne dediščine eVRD (<https://gisportal.gov.si/evrd>). Prvi je namenjen vpogledu v register za stroko in splošno javnost, drugi je namenjen upravljalcem prostora, prostorskim načrtovalcem in lastnikom kulturne dediščine. V pregledovalniku eVRD so dostopne tudi pravne podlage varstva – akti o razglasitvah kulturnih spomenikov lokalnega in državnega pomena ter povezave na Priročnik pravnih režimov varstva, ki jih je treba upoštevati pri pripravi planov in posegih v območja kulturne dediščine (2020).

Ministrstvo za kulturo je z informacijsko prenovno spremenilo tudi način posredovanja podatkov uporabnikom. Zdaj ni več treba izpolnjevati obrazca za naročilo podatkov. Uporabniki lahko koristijo dostop prek spletnih servisov ali prenosa podatkov.

Spletni servisi vsebujejo tako podatke registra kulturne dediščine kot tudi pravnih režimov varstva in so dostopni prek spletnega kartografskega servisa (*Web Map Service* – WMS) in objektnega spletnega strežnika (*Web Feature Service* – WFS), v starem (EPSG 3912) in novem državnem koordinatnem sistemu (EPSG 3794). Prenos podatkov eVRD zagotavljamo v standardnem formatu *shape* z uporabo *Esri ArcGIS Enterprise Sites* oziroma *ArcGIS Hub* rešitve (ArcGIS Hub 2020), povezava za prenos podatkov je dostopna tako na *INSPIRE* kot *OPSI* portalu.

4 Kartografske podlage

Za procese varstva nepremične kulturne dediščine sta uporaba in dostop do starejših prostorskih podatkov, ki so s strani preostalih javnih in gospodarskih panog večinoma smatrani kot zastareli, zelo pomembna. Starejši prostorski podatki omogočajo enkratni vpogled v razvoj prostora ter so nepogrešljivi pri spremljanju kulturne dediščine. Za učinkovito spremljanje razvoja kulturne dediščine v prostoru smo že pred začetkom projekta eDediščina na Ministrstvu za kulturo uporabljali digitaliziran in georeferenciran Franciscejski kataster Arhiva Republike Slovenije na lastni GIS strežniški infrastrukturi. V projektu eDediščina smo nabor zgodovinskih kartografskih podlag razširili in s tem povezali potrebe področja varstva kulturne dediščine, cilje projekta Odprti podatki Slovenije (OPSI) ter izzive institucij, ki hranijo tovrstno arhivsko kartografsko gradivo. Na Ministrstvu za kulturo smo uredili in pripravili kartografske zbirke, ki jih hranijo Narodna in univerzitetna knjižnica, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani in Zemljepisni muzej Geografskega inštituta Antone Melika ZRC SAZU. Od leta 2018 so tako na voljo:

- Specialne karte Avstro-Ogrske monarhije (1 : 75.000) v časovnem preseku med 1880 in 1914,
- Topografska karta Kraljevine Jugoslavije (1 : 25.000) iz 30. let 20. stoletja za območje Dravske banovine,
- Topografska karta Kraljevine Italije (1 : 25.000) iz 30. let 20. stoletja za območje Julijske krajine,
- Topografska karta Jugoslavije (1 : 50.000) iz 50. in 60. let 20. stoletja.

S tem smo strokovni in splošni javnosti zagotovili kontinuiteto vpogleda v slovenski prostor od začetka 19. stoletja dalje. Trenutno znotraj *GeoHub-si* uporabljamo tudi državni ortofoto iz let 1990–2001, 2011, 2014 in 2017.

Poleg zgodovinskih zemljevidov smo izdelali lastno vizualizacijo lidarskih podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje za območje celotne države. Prvenstveno je namenjena arheološkim

Slika 1: Širitev poselitve severno od Škofje Loke leta 1820 (levo zgoraj), leta 1880 (desno zgoraj), leta 1914 (v sredini levo), leta 1938 (v sredini desno), v 50-ih letih (levo spodaj) in v 90-ih letih (desno spodaj). Z zemljevida je razvidno, da se je poselitev začela širiti severno od glavne ceste po prvi svetovni vojni, ko so tam zgradili tudi vojašnico. ►

Prostorski podatki varstva kulturne dediščine



raziskavam, zato smo uporabili tehniko vizualizacije *Sky-View* programa RVT, ki ga izdaja ZRC SAZU (Relief ... 2020).

Vse zbirke so bile georeferencirane, objavljene na *GeoHub-si* okolju ter javnosti ponujene kot spletni kartografski servisi (WMS) v starem državnem koordinatnem sistemu. Skladno z uvajanjem novega državnega koordinatnega sistema zagotavljamo in vzpostavljamo servise tudi v tej kartografski projekciji. Metapodatkovno opremljene zbirke smo objavili tudi na *ArcGIS Online* ter s tem ponudili enostaven vpogled na pametnih mobilnih napravah z aplikacijo *Explorer for ArcGIS* (ArcGIS Explorer 2020) ter ponovno uporabo v skladu z avtorskimi pravicami.

5 Sklep

Prostorski podatki kulturne dediščine so pomembni za varstvo kulturne dediščine. Slovenija je bila med prvimi v Evropi, ki je že leta 1997 svoj register nepremične kulturne dediščine obogatila s prostorsko komponento (Register kulturne dediščine 2020). Kljub temu so e-storitve na področju kulturne dediščine danes slabo razvite, prav tako informacijska podpora strokovnim in upravnim procesom. Celovito je podprto vodenje registra nepremične kulturne dediščine, prototipno vodenje registra nesnovne kulturne dediščine in spremljanje sofinanciranja spomeniškovarstvenih projektov. Minimalno je podprto vključevanje v prostorsko načrtovanje in evidentiranje izdanih kulturno varstvenih soglasij za raziskavo in odstranitev arheološke ostaline, sistemi za muzejsko dokumentacijo so parcialni. Obstoječi sistemi niso v celoti prilagojeni izzivom informacijske družbe in so potrebni posodobitve. Z optimizacijo poslovnih procesov in uporabo sodobnih informacijskih orodij v sklopu celovite informacijske podpore v okviru projekta eDediščina razvijamo učinkovitejše javne storitve in delovanje javne službe na področju kulturne dediščine, hkrati pa drugim deležnikom zagotavljamo dostopnost in povezljivost podatkov. Prenovljeni javni pregledovalniki, sistem prevzema podatkov in učinkovito medresorsko povezovanje pri iskanju rešitev digitalizacije in odpiranju zgodovinskih kartografskih zbirk so pokazatelj pravilne smeri razvoja kulturne dediščine. Za prikaz odpiranja podatkov o kulturni dediščini in njihovega pomena za razvoj turistične ponudbe v Sloveniji smo v sodelovanju z Ministrstvom za javno upravo in Slovensko turistično organizacijo ter tehnološkimi partnerji v letu 2018 izvedli skupni dogodek Hackathon: Kulturna pustolovščina na dlani. Na natečaju Evropske mreže za kulturni turizem Destinacija trajnostnega kulturnega turizma 2019 smo prejeli prvo nagrado v kategoriji inovacije in digitalizacija (Nagrada Evropske mreže ... 2020).

6 Viri in literatura

ArcGIS Explorer, 2020. Medmrežje: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/explorer-for-arcgis/overview> (29. 4. 2020).

ArcGIS Hub, 2020. Medmrežje: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-hub/overview> (29. 4. 2020).

Celovita informacijska podpora procesom varstva nepremične kulturne dediščine: investicijski program s študijo izvedbe. Ministrstvo za kulturo. Ljubljana, 2016.

Državni računalniški oblak, 2020. Medmrežje: <https://nio.gov.si/nio/asset/drzavni+racunalniski+oblak+dro?> (29. 4. 2020).

Enotne tehnološke zahteve, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si/zbirke/storitve/enotne-tehnoloske-zahteve-v-2-1-2013/> (29. 4. 2020).

Kothuri, R., Godfrind, A., Beinat, E. 2007: Pro Oracle Spatial for Oracle Database 11g. Berkeley.

Nagrada Evropske mreže za kulturni turizem (ECTN), 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si/novice/2019-10-25-nagrada-evropske-mreze-za-kulturni-turizem-ectn/> (29. 4. 2020).

- Priročnik pravnih režimov varstva, ki jih je treba upoštevati pri pripravi planov in posegih v območja kulturne dediščine, 2020. Medmrežje: https://gis.gov.si/MK_eVRDpredpis/P_11_11_02.htm (29. 4. 2020).
- Projekt e dediščina, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/projekt-edediscina/> (29. 4. 2020).
- Register kulturne dediščine, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/register-kulturne-dediscine/> (29. 4. 2020).
- Relief Visualization Toolbox, 2020. Medmrežje: <https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v> (29. 4. 2020).
- Varstvo dediščine v prostorskih in razvojnih dokumentih, 2020. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/varstvo-dediscine-v-prostorskih-in-razvojnih-dokumentih/> (29. 4. 2020).
- Web AppBuilder, 2020. Medmrežje: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/web-appbuilder/overview> (29. 4. 2020).
- Zakon o varstvu kulturne dediščine. Uradni list Republike Slovenije 16/2008, 123/2008, 8/2011, 90/2012, 111/2013, 32/2016 in 21/2018. Ljubljana.
- Zakon o dostopu do informacij javnega značaja. Uradni list Republike Slovenije 24/2003. Ljubljana.

GRAJENJE SLOVENSKE GIS TERMINOLOGIJE Z LOKALIZACIJO IZDELKOV ARCGIS

Alenka Jelen, David Bojc

GD*i* d. o. o., Ljubljana

alenka.jelen@gdi.net

david.bojc@gdi.net

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_19

UDK: 91:659.2:004

811.163.6'373.46

IZVLEČEK

Grajenje slovenske GIS terminologije z lokalizacijo izdelkov ArcGIS

Geografski informacijski sistemi (GIS) se že dolgo časa ne uporabljajo več samo med strokovnjaki, ki se ukvarjajo predvsem s prostorom (geoznanostjo). GIS-i so prisotni tako pri vsakdanjem življenju kot tudi pri dejavnostih, ki se s prostorom neposredno ne ukvarjajo in jih ne bi pričakovali (na primer železarstvo, bančništvo, medicina). Takšni uporabniki se običajno nikdar niso namensko izobraževali na tem področju informatike, zato potrebujejo lokalizirane izdelke v svojem maternem jeziku in intuitivne aplikacije, pripravljene za takojšnjo uporabo. Tudi v podjetju Esri se trudijo, da uporabniki čim bolje, hitreje in celostno uporabljajo GIS programsko opremo. V prispevku predstavljamo ključna področja GIS terminologije, ki smo jih obdelali in lokalizirali v izdelkih ArcGIS.

KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistemi, GIS, terminologija, slovenščina, lokalizacija, Esri, ArcGIS

ABSTRACT

Building Slovenian GIS terminology with localization of ArcGIS products

Geographic information systems (GIS) are no longer used only by experts who are primarily involved in spatial sciences (geoscience). GIS is present in everyday life as well as in professions that are not directly involved in space and would not be expected (e.g. iron and steel, banking, medicine). Usually, such users have never been specifically educated in the field of computer science, so they need localized products in their native language and intuitive applications ready for immediate use. In Esri, they also strive that the users use GIS software as good, as quickly and as comprehensively as possible. This paper presents key areas of GIS terminology that we have processed and localized in ArcGIS products.

KEY WORDS

geographic information systems, GIS, terminology, Slovenian, localization, Esri, ArcGIS

1 Uvod

V podjetju GD*i* d. o. o., Ljubljana smo uradni zastopnik za Esri v Sloveniji. Podjetje Esri veliko pozornost namenja tudi prisotnosti maternega jezika končnega uporabnika GIS programske opreme. GIS-i postajajo del vsakdana marsikatero dejavnosti in uporabnika, ki ga še pred nekaj leti ne bi opisali kot morebitnega GIS uporabnika, na primer železarstvo, rudarstvo, bančništvo, turizem, medicina, zgodovina. Uporabniki pričakujejo, da uporaba GIS programske opreme ne bo zahtevala dolgotrajnega učenja terminologije, analitičnih postopkov in uporabe orodij ter da bo v njihovem maternem jeziku.

Leta 2017 smo začeli z lokalizacijo izbranih izdelkov ArcGIS platforme, to je ArcGIS Online, ArcGIS Enterprise Portal in večine mobilnih ter spletnih aplikacij. Skupno smo lokalizirali 35 izdelkov ArcGIS z več kot 1 milijon besed.

Trenutno sta ArcGIS Online in Portal for ArcGIS z aplikacijami lokalizirana v 38 jezikov. To so: angleščina, arabščina, bosanščina, češčina, danščina, estonščina, finščina, francoščina, grščina, hebrejščina, hrvaščina, indonezijsščina, italijanščina, japonsščina, katalonščina, korejščina, latvijščina, litvanščina, madžarščina, nemščina, nizozemščina, norveščina, poenostavljena kitajščina, poljščina, portugalsščina (Brazilija), portugalsščina (Portugalska), romunščina, ruščina, slovenščina, srbsščina, španščina, švedščina, tajščina, tradicionalna kitajščina (Hongkong), tradicionalna kitajščina (Tajvan), turščina, ukrajinsščina in vietnamščina (Set language and ... 2020). Slovenščina je med jeziki z najmanj govorce, še manj govori estonščino (le 1 milijon) in latvijščino (1,5 milijona).

Spletna pomoč ArcGIS Online je prevedena v angleščino, arabščino, francoščino, italijanščino, japonsščino, korejščino, nemščino, poenostavljeno kitajščino, poljščino, portugalsščino (Brazilija), ruščino in španščino (Set language and ... 2020). Spletne pomoči za ArcGIS Online ni v slovenščini, saj lahko uporabniki pridobijo pomoč pri distributerju.

Med lokaliziranimi izdelki v slovenščino ni namizne programske opreme ArcGIS Desktop (del tega sta ArcMap in njegov naslednik ArcGIS Pro), ki je trenutno najbolj poznana med končnimi uporabniki. Razlog je predvsem smer razvoja GIS-ov v prihodnosti proti oblaknim storitvam. Takšen pristop uporabnikom olajša delo brez nepotrebnih namestitvev programov na njihovo infrastrukturo in zahtev po določeni strojni opremi ter vzdrževanju tako strojne kot programske opreme. Izdelek ArcGIS Desktop bo še vedno obstajal, a bo namenjen ožji skupini GIS strokovnjakom (analitikom, svetovalcem).

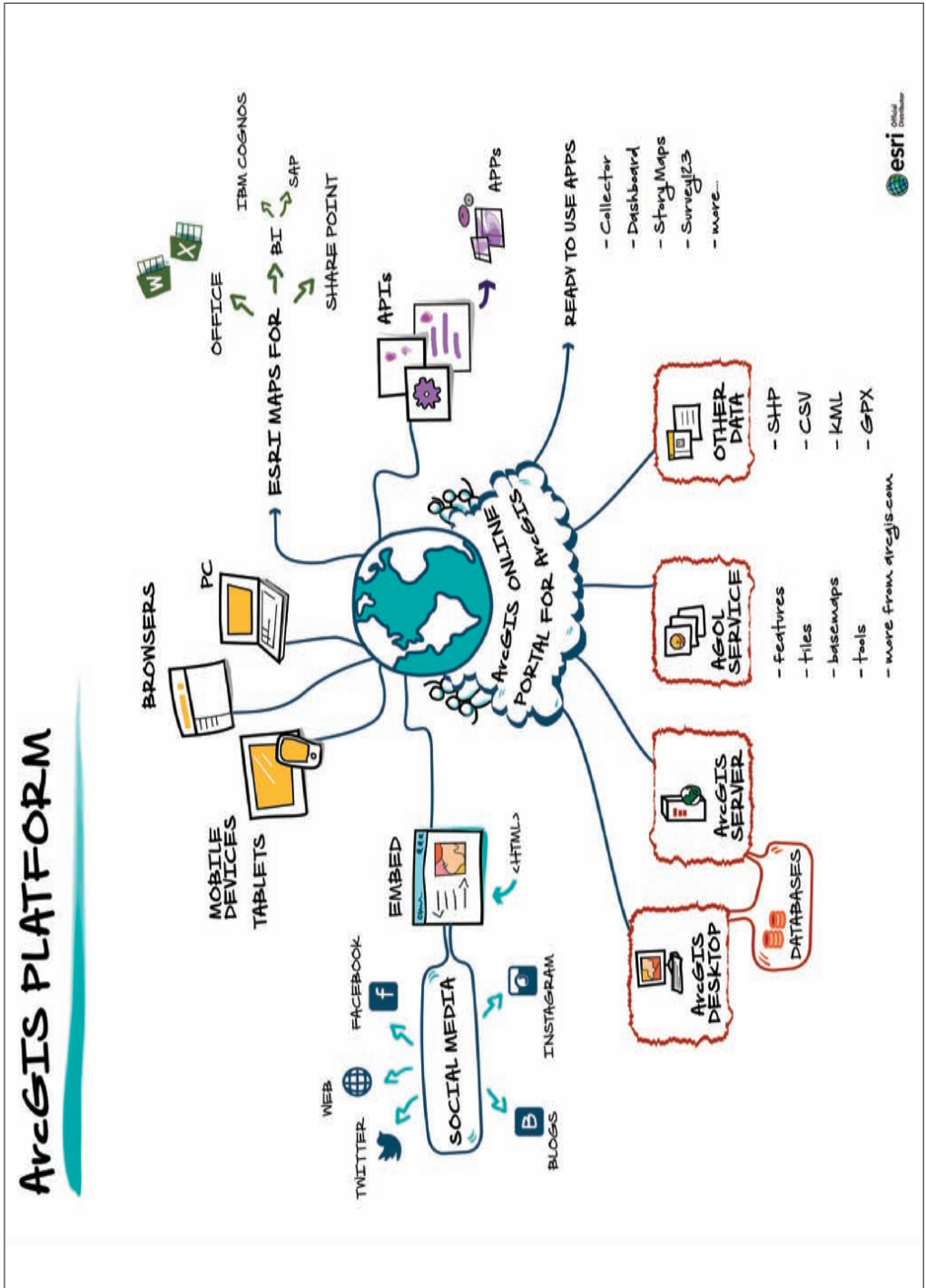
Trenutno je ArcGIS Desktop na voljo v arabščini, finščini, francoščini, italijanščini, japonsščini, kitajščini, nemščini, portugalsščini (Brazilija), ruščini, španščini in turščini (Installing a localized ... 2019), s programsko opremo nove generacije ArcGIS Pro pa še v češčini, hebrejščini, korejščini, poljščini in švedščini (Localized and silent ... 2020).

2 Metode dela

Pri projektu lokalizacije smo sodelovali GIS strokovnjaki, jezikoslovci in drugi strokovnjaki s področja računalništva in informatike. Delovna skupina se je soočala z veliko izzivi, ki jih je usklajevala na delavnicah. Največji izziv je bil, kako GIS terminologijo, ki se večinoma uporablja v angleščini, posloveniti, da bo pomen ostal enak, in obenem zadostiti pravilom slovenskega pravopisa. Izdelali smo delovni terminološki slovar, kjer smo skušali vsakemu angleškemu terminu poiskati ustrezen slovenski termin. Uporabili smo predvsem metode raziskovanja obstoječe GIS terminologije, študija pravopisa, analize Slovarja slovenskega knjižnega jezika (SSKJ) in drugih terminoloških slovarjev ter viharjenja možganov.

V nadaljevanju predstavljamo nekaj izzivov, s katerimi smo se soočili pri lokalizaciji. Pogosto smo naleteli na primere, kjer je bilo težko zadostiti pravilu enoznačnosti termina. Takšen primer so na primer

Slika 1: Shema gradnikov ArcGIS platforme v angleščini (Vir: Esri). ►



angleški izrazi *join*, *merge*, *add*, *append*. Vse besede imajo zelo podoben pomen, običajno bi jih prevedli kot 'priključi', 'združi', 'pridruži' ali 'dodaj'. Vendar smo jim dali pomen glede na to, kaj s posameznim orodjem izvedemo. Beseda *join* je dobila slovensko različico 'spojiti', 'spajanje', saj z orodjem podatke enega sloja spojimo z drugim, a z možnostjo združitve. Prav nasprotno pa deluje orodje *merge*, kjer se objekti iste vrste 'združijo'. Pomen 'priključiti' smo dali besedi *append*. Orodje namreč omogoča, da obstoječi atributni shemi sloja dodamo podatke drugega sloja, ki lahko ima enako atributno shemo ali tudi ne. *Add* smo prevedli kot 'dodati', saj ne gre za povsem GIS termin, ampak običajno besedo za začetek poimenovanja ukaza ali GIS orodja.

Nekatere besede, na primer *label*, v konkretnem primeru niso imele ustreznice v slovenskem jeziku. Tako smo poiskali arhaične besede (na primer 'napisovanje' – kakor se je imenoval šolski predmet v Avstro-Ogrski), ki bi ustrezale angleškemu terminu, in iz njih tvorili nove – na primer 'napis' (*labeling* je postalo 'napisovanje'). Beseda 'oznaka' je bila v tem primeru presplošna, saj so to besedila nad določenim objektom, ne samo grafične oblike. Ustrezneje bi torej bilo 'oznaka z besedilom'.

Prav tako smo nekatere že uveljavljene besede zamenjali z drugimi, bolj primernimi za GIS-e. Takšen primer je *slide*, ki ga poznamo predvsem iz programa Microsoft PowerPoint. Slovenski različici 'diapozitiv' in 'prosojnica' izhajata iz časov, ko smo fotografije in folije prikazovali s projektorji in grafoskopi. Teh naprav marsikdo danes ne pozna več. Tako smo se odločili za manj poznano, a pomensko ustreznejšo različico 'drsnica', ki sicer ni uveljavljena v informatiki (Prosojnica 2013), a njeno uporabo jezikoslovci spodbujajo. V spletni aplikaciji WebApp Builder orodji *time slider* in *slider* omogočata interaktivno pregledovanje slojev podatkov, ki se prekrivajo ali imajo časovni podatek. Podobno orodje je tudi v ArcGIS Pro-ju. Ker je omogočeno premikanje ročice, praktično drsimo po sloju, zato smo orodji poimenovali 'časovni drsnik' oziroma 'drsnik'.

Nekaj primerov je tudi takšnih, kjer smo naredili novo besedo, na primer *imagery*, ki označuje različne vrste rastrov oziroma slik. Gre za zajem podob iz narave, saj lahko rastre tvorimo tudi iz drugih prostorskih podatkov. V stroki se sicer bolj uporablja termin 'raster', ki je bolj uveljavljen, širši pojem, ampak širši skupini GIS uporabnikov tuj izraz, zato smo zgradili nov termin 'slikovje'. V GIS in drugi povezani terminologiji najdemo izraze, kot sta 'podoba' (Oštir 2006) in 'posnetek', ki ju pogosto zamenjamo z drugimi pomeni teh besed, na primer »predstavitev česa resničnega ali domišljjskega z likovnimi sredstvi«, fotografija, zvok ... (Sinonimni slovar ... 2018). Še posebej so to dvoumni izrazi širši skupini GIS uporabnikov, zato smo se takšnim izrazom raje izognili z izgradnjo novega termina.

Nastalo je več različic: *imagery with labels* 'slikovje z napisi', *oblique imagery* 'poševno slikovje', *hybrid imagery* 'kombinirano slikovje', *oriented imagery* 'usmerjeno slikovje', *image hosting* 'gostujoče slikovje'.

Takšen primer zamenjave in grajenja nove besede je tudi beseda *snap*, ki je dobila slovensko različico 'privlačiti'. Morda se zdi prevod nekoliko navaden in neprimeren, vendar so lastnosti orodja, s katerim urejamo sloj ali poizvedujemo po njegovih atributih, prav takšne. Na določeni oddaljenosti kazalca miške nas orodje privlači na določeno 'lomno točko' (*vertex*), rob ali končno točko objekta. Večina programske opreme besedo *snap* prevaja kot 'zatakniti', 'prilepi' (Microsoft Language Portal 2020) ali 'pripojitev' (Cerar 2012), a je to povsem napačno. Vsi uporabniki te besede izhajajo iz besede 'lepi' (lepljenje), kjer se je potrebno povsem približati objektu, medtem ko pri tem orodju ni potrebno in deluje že na določeni oddaljenosti od objekta. V delovni skupini smo izhajali iz naravnega pojava magnetizma, kjer na objekt deluje privlačna sila brez neposrednega stika.

Besede, ki niso GIS termini, ampak so bolj s področja geografije, geologije, pedologije, ekologije, hidrologije, kmetijstva, prostorskega načrtovanja, smo prevzeli po uveljavljeni terminologiji iz terminoloških slovarjev. Naleteli smo tudi na besede, na primer *soil*, kjer je med različnimi strokami veliko polemik, kako besedo prevesti v slovenščino, na primer 'prst' ali 'tla' (Vrščaj 2013; Repe 2015). Takrat smo poskušali uporabiti najpogosteje rabljeno besedo oziroma besedo, ki se najbolj približa danemu primeru.

Pogosto nas je pri prevodih omejevalo število znakov. V angleščini pogosto z eno besedo povemo bistvo ali jo uporabimo za več pomenov, medtem ko moramo v slovenščini pomen nadomestiti z besedno zvezo ali celo s stavkom. Zaradi omejitve števila znakov morda prevod ni najboljši, a je najkrajši.

Preglednica 1: Imena vseh lokaliziranih izdelkov ArcGIS.

Esri platforma	spletne aplikacije	namizne aplikacije	mobilne aplikacije	programski jezik	spletne strani – trženje
ArcGIS Online	Operation Dashboard for ArcGIS	AppStudio for ArcGIS	Survey123 for ArcGIS	Arcade	esri.com
ArcGIS Enterprise Portal	Map Viewer	AppStudio Player for ArcGIS	Collector for ArcGIS	API Python	Marketplace
	Scene Viewer	ArcGIS Urban	Tracker for ArcGIS	DotNet SDK	krovnna pogodba
	Story Maps	Survey123 for ArcGIS	Workforce for ArcGIS		My Esri
	Insights for ArcGIS	Survey123 Connect for ArcGIS	Explorer for ArcGIS		
	WebApp Builder		ArcGIS QuickCapture		
	Experience Builder		Navigator for ArcGIS		
	ArcGIS Open data				
	ArcGIS Hub				
	GeoPlanner for ArcGIS				
	Enterprise Sites				
	ArcGIS Mission				
	ArcGIS Analytics for IoT				
	Living Atlas of the World				

Takšen primer je na primer *buffer*. V slovenski GIS terminologiji se pojavlja kot 'vmesno območje' (Šumrada in Drobne 2009), kar lahko tudi napačno razumemo kot območje med dvema točkama/linijama/poligonoma in ne kot območje določene oddaljenosti od določene točke, linije ali poligona. Kot nov termin smo vzeli besedo 'obris', saj z njo povemo, da orodje obriše objekt za določeno oddaljenost. Tudi Slovar slovenskega knjižnega jezika besedo *obris* razlaga kot »črta, risba, ki prikazuje zunanji rob, robove česa« (Slovar ... 2014), čeprav to orodje ustvari poligon okoli objekta v določeni razdalji, ne pa linije. Lahko bi to orodje prevajali kot 'pas', vendar smo to besedo že uporabili za besedo *band*.

Sprejeli smo tudi odločitev, da imen izdelkov ne bomo prevajali, razen, če se enako imenuje tudi končni rezultat tega izdelka, na primer karta z zgodbo izdelka Story Maps.

3 Ključni GIS elementi

Ključni elementi v GIS-ih so: 'vektor' (*vector*), 'raster' (*raster*), 'podatkovna baza' (*geodatabase*), 'sloj' (*layer*), 'geoobjekt' (*feature*), 'geoobjektni razred' (*feature class*), 'geoobjektni sloj' (*feature layer*), 'mozaični podatkovni sklop' (*mosaics dataset*), 'rastrski katalog' (*raster catalog*), 'rastrski podatkovni sklop' (*raster dataset*), 'točka' (*point*), 'linija' (*line*), 'poligon' (*polygone*), 'mnogotočka' (*multipoint*), 'mnogolinija' (*multiline*), 'mnogopoligon' (*multipolygone*).

Izraz *shapefile* in vrste podatkovni baz ne prevajamo, na primer *file geodatabase*, *enterprise database*, ker so uveljavljeni podatkovni formati.

Feature je 'geoobjekt', ki predstavlja objekte v prostoru. Besedi objekt smo dodali prepono 'geo' in naredili zloženko. Pomen besede 'geo' izhaja iz grščine in pomeni zemlja (Snoj 2016). Pogosto smo se srečali tudi z drugimi pomeni besede *features* – 'funkcija', 'funkcionalnost'.

4 Kartografija in analitika

Ključen gradnik v GIS svetu je 'karta' ali 'zemljevid' (*map*). Delovna skupina se je odločila za izraz 'karta', ki sicer izvira iz grščine in latinščine (Snoj 2016), saj menimo, da je 'karta' širši pojem od zemljevida in zato bolj primerna za uporabo pri GIS-ih.

Na področju kartografije smo delali z naslednjimi termini: 'temeljna karta' (*basemap*), 'vstavljena karta' (*inset map*), 'kartografska podloga' (*background map*), '3D-prizor' (*scene*), 'kartlet' (*maplet*), 'urejevalnik kart' (*map editor*; gre za orodje), 'graditelj' (*builder*), 'koordinatni sistem' (*spatial reference*, *native projection*) ... Kartografski načini so tudi: 'vroča točka' (*hot spot*), 'žarenje' (*halo*), 'kresnica' (*firefly*), 'heksagon' (*hexbin*)...

Na področju analitike naj omenimo nekaj terminov, ki so del izdelkov ArcGIS. To so 'razgradi meje' (*dissolve boundaries*), 'gručenje' (*clustering*), 'skupinjenje' (*grouping*), 'osamelec' (*outlier*), 'interpolacija' (*interpolation*), 'relacijska baza' (*relational database*), 'geoobogatitev podatkov' (*geoenrichment*), 'prekrivanje' (*overlay*), 'model obteženega prekrivanja' (*weighted overlay model*), 'poizvedba' (*query*), 'prostorsko spajanje' (*spatial join*), 'naravni prelom' (*natural break*), 'ribja mreža' (*fishnet*), 'priloga' (*attachment*), 'geodetski obris' (*geodesic buffer*), 'ravninski obris' (*planar buffer*), 'kalkulator polja' (*field calculator*), 'rastrska analiza' (*raster analysis*), 'prevzorčenje' (*resampling*), 'preslikava polja' (*field mapping*), 'klasifikacija' (*classification*), 'matrika stroškov' (*cost matrix*) ...

5 Spletne storitve

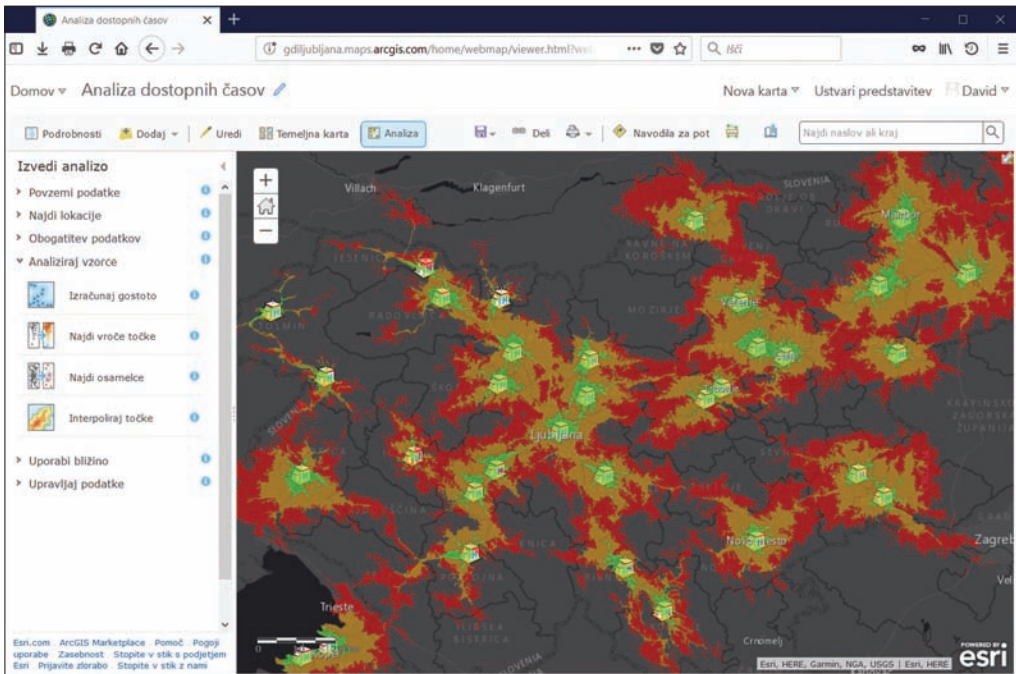
Povprečen GIS strokovnjak najpogosteje uporablja namizni GIS. Pri tem uporablja prostorske podatke iz svojega računalnika ali omrežnega pogona oziroma jih ima na podatkovnem strežniku v relacijski

bazi (na primer Oracle, MS SQL Server). Svoje izdelke shrani v obliki datotek pdf, jpg ali jih natisne. Morda še uporablja kakšne obstoječe 'spletne storitve' (*web service*) s spletnimi (URL) povezavami ter tako dopolni svoje podatke. Le redko pa uporabniki svoje podatke, končne izdelke ali karte objavijo kot spletno storitev (spletni GIS). Njihov končni izdelek postane dostopen širšemu krogu ljudi, ki so znotraj omrežja organizacije ali celo javnosti. V tem primeru uporabnik svoje podatke 'objavlja' oziroma 'deli' (*publish, share*) na GIS strežnik (na primer ArcGIS Enterprise) 'na njihovi infrastrukturi' (*on premises*). GIS strežnik je lahko 'nameščen v oblaku' (*cloud deployment*) na kakšnem izmed ponudnikov oblčnih storitev (na primer Microsoft Azure, Amazon). Izdelek v oblaku je tudi ArcGIS Online.

Obstaja več vrst spletnih storitev. Najpogosteje sta uporabljeni 'kartna storitev' (*map service*) in 'geoobjektna storitev' (*feature service*). V odprtih standardih sta to OGC WMS in WFS. Kartna storitev je slikovna dinamična upodobitev slojev, s pripadajočo atributno tabelo, ki jih pripravimo na namiznem GIS-u. Podoben tip je 'ploščični sloj' (*cached layer* ali *tiled layer*), kjer pripravljene sloje (večinoma slikovne) 'ploščičimo' (*caching, tiling*). To pomeni, da iz večjega slikovnega formata naredimo manjše 'ploščice' (*tiles*), običajno velikosti 256×256 pikselov in tako izvedemo prevzorčenje podatkov. Ploščice se ob ogledovanju karte sproti pretakajo s strežnika in tako hitreje prikazujejo na zaslonu končnega uporabnika.

Če imamo na voljo še dodatne strežnike, ki so namenjeni specifičnim funkcionalnostim, kot so slikovne analize prek omrežja (na primer Image Server), geoanalitične analize velikih podatkov (na primer GeoAnalytics Server), spremljanje podatkov v realnem času (na primer GeoEvent Server), lahko delamo še z drugimi vrstami spletnih storitev. To sta 'slikovna storitev' (*image service*) in 'pretočna storitev' (*streaming service, streaming*). Obe spletni storitvi sta danes del vse bolj uveljavljenega 'Interneta stvari' (*Internet of things*).

Uporabniki si lahko na namiznem GIS s pomočjo 'graditelja modelov' (*Model Builder*) sami izdelajo orodje in ga objavijo na GIS strežniku kot 'geoproceno storitev' (*geoprocessing service*). Na 'graditelju spletnih aplikacij' (*WebApp Builder*) si lahko z njihovo uporabo izdelajo nov 'pripomoček' (*widget*).



Slika 2: Primer spletne karte lokaliziranega izdelka ArcGIS Online.

6 Mobilni GIS

Mobilni GIS postaja vse bolj prisoten in uporaben v strokah, ki se ukvarjajo s prostorom. Obstaja veliko različnih aplikacij za delo na terenu. Ene aplikacije so bolj usmerjanje v 'zajem podatkov' na karti (*collecting data, capturing data*), druge pa v 'zajem atributnih podatkov' v obliki pametnih obrazcev (*survey*). Termin *collect* nismo prevajali kot zbiranje podatkov, ampak zajem podatkov, saj si z različnimi orodji pomagamo, da z neprekinjenim zajemom podatkov pridobimo čim več informacij (na primer metoda *streaming* – pomeni 'neprekinjen zajem podatkov'). V angleščini obstajata dva termina za 'zajem' (*capture*) oziroma 'zbiranje' (*collect*) podatkov, vendar je v stroki bolj uveljavljen termin 'zajem podatkov'. Esri v primeru aplikacije Collector uporablja besedo *collect*, vendar le zaradi tvorbe samostalnika imena izdelka. Termin *survey* bi lahko prevedli tudi kot 'vprašalnik' ali 'anketa', a aplikacija ni namenjena samo izpolnjevanju anket, temveč tudi izpolnjevanju kompleksnih obrazcev različnih metod in načinov izpolnjevanja (na primer ocenjevalna lestvica, geolokacija, nalaganje datotek, integracija z drugimi sistemi (webhook, čitalec črtnih kod, laserski razdaljemer, GPS), avtomatski izračuni, pogojna logika, relacijske tabele). Obrazec je torej nadpomenka ostalim oblikam vprašalnikov.

Pri delu na terenu uporabljamo 'navigacijo' (*navigation*), 'sledenje' (*tracking*) in 'usmerjanje' (*routing*) k izbranemu cilju. Uporabljajo se različni 'načini potovanja' (*travel mode*), računajo se 'potovalni časi' (*drive-time*) do posameznega študijskega ali interesnega območja. Ob možnosti uporabe spletne povezave se pridobivajo podatki o 'trenutnem prometu' (*live traffic*) in 'hitrostih prometa' (*live speed*) na določenem odseku.

Za delo na terenu si prej pripravimo 'mobilni kartni paket' (*mobile map package*) ali 'ploščični paket' (*tile package*), ki vsebuje različne podatke, ki nam pridejo prav na območjih brez internetne povezave. Na terenu si pomagamo tudi z 'zunanji GPS sprejemniki' (*external provider*) ali 'vgrajenimi GPS sprejemniki' (*internal provider*). Gre za zunanje GNSS sprejemnike oziroma pametne antene, za določanje zelo natančnega položaja. Medtem ko je GPS samo eden izmed satelitskih sistemov GNSS, a je med bolj znanimi, zlasti med ne-GIS strokovnjaki. Zato smo sprejeli kompromis ter ga v aplikacijah tako lokalizirali.

7 Sklep

GIS-i so se dolgo časa uporabljali v ozkem krogu strokovnjakov, ki z uporabo programske opreme v angleškem jeziku slovenski terminologiji (večinoma) niso namenjali dovolj pozornosti. To se vse bolj spreminja, saj se GIS-i uporabljajo vse bolj razširjeno, tudi med poklici, ki jih še pred leti ne bi nikdar uvrstili med GIS uporabnike. Takšna široka uporaba zahteva, da začnemo razmišljati o slovenski GIS terminologiji in jo čim prej zgradimo. Kljub majhnemu številu govorcev slovenskega jezika v svetovnem merilu, je prav, da imamo tudi na tem področju svojo terminologijo.

Projekt lokalizacije izdelkov ArcGIS še vedno poteka. GIS terminologija se pri projektu lokalizacije izdelkov ArcGIS še gradi, dopolnjuje in včasih nadomešča z ustrežnejšimi izrazi. Hkrati pa vseskozi prihajajo novosti in novi izdelki ter s tem nova terminologija. V prihodnje načrtujemo objavo celotnega terminološkega slovarja geografskih informacijskih sistemov.

8 Viri in literatura

- Cerar, T. 2012: Izdelava osnovnega GIS tečaja v slovenskem jeziku za objavo na svetovnem spletu. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Installing a localized ArcGIS Desktop setup, 2019. Medmrežje: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/installation-guide/installing-a-localized-arcgis-for-desktop-setup.htm> (7. 2. 2020).

- Localized and silent install options, 2020. Medmrežje: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/get-started/arcgis-pro-installation-administration.htm> (7. 2. 2020).
- Microsoft Language Portal, 2020. Medmrežje: <https://www.microsoft.com/en-us/language/Search> (13. 12. 2019).
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Prosojnica, 2013. Medmrežje: <https://isjfr.zrc-sazu.si/sl/terminologisce/svetovanje/prosojnica#v> (13. 12. 2019).
- Repe, B. 2015: 50 odtenkov rjave. Geografski obzornik 62, 2-3.
- Set language and region, 2020. Medmrežje: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/get-started/set-language-region.htm> (7. 2. 2020).
- Sinonimni slovar slovenskega jezika, 2018. Medmrežje: <https://fran.si/> (13. 12. 2019).
- Slovar slovenskega knjižnega jezika, 2014. Medmrežje: <https://fran.si/> (13. 12. 2019).
- Snoj, M. 2016: Slovenski etimološki slovar. Ljubljana. Medmrežje: <https://fran.si/> (13. 12. 2019).
- Šumrada, R., Drobne, S. 2009: GIS TEHNOLOGIJA (Geoinformatika). Gradivo za strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana.
- Vrščaj, B. 2013: Tla ali prst ? Prispevek k razpravam o rabi izrazov 'tla' in 'prst' v slovenskem poljudnem in strokovnem izrazoslovju. Acta agriculturae Slovenica 101-2. DOI: <https://doi.org/10.2478/acas-2013-0027>



ISSN 1855-4954



9 789610 504689

39,00 €