

GIS V SLOVENIJI

PRETEKLOST IN PRIHODNOST

MATEJA BREG VALJAVEC

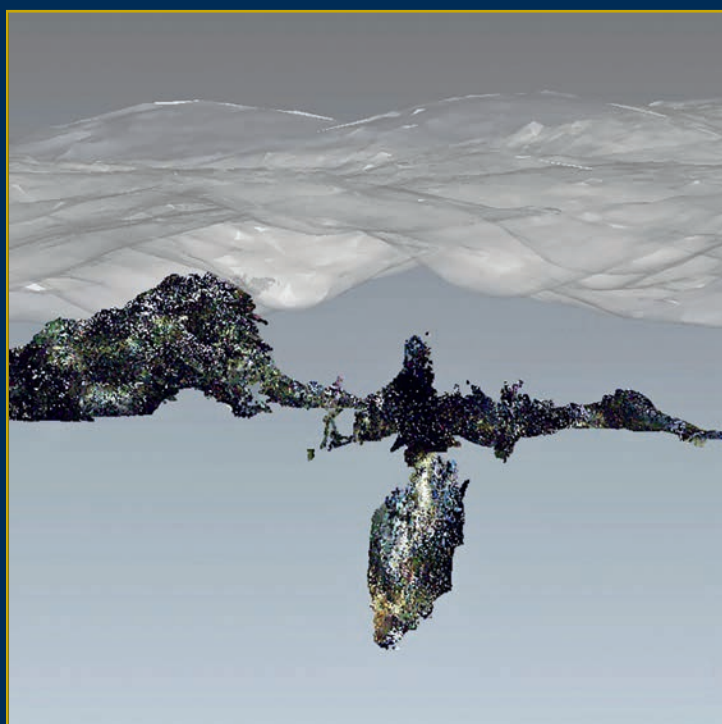
ROK CIGLIČ

ŠPELA ČONČ

MATJAŽ GERŠIČ

DRAGO PERKO

MATIJA ZORN



16



Založba ZRC

GIS V SLOVENIJI 16
PRETEKLOST IN PRIHODNOST



Založba ZRC

GIS V SLOVENIJI 16

PRETEKLOST IN PRIHODNOST

Uredili:

Mateja Breg Valjavec

Rok Ciglič

Špela Čonč

Matjaž Geršič

Drago Perko

Matija Zorn

LJUBLJANA 2022

GIS V SLOVENIJI 16

PRETEKLOST IN PRIHODNOST

Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Špela Čonč, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn

© 2022, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniki: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Špela Čonč, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn

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

Recenzenti: David Bole, Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Špela Čonč, Matjaž Geršič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Krištof Oštir, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Timotej Verbovšek, 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: Present, d. o. o.

Naklada: 300 izvodov

Prva izdaja, prvi natis. Prva e-izdaja.

Naslovnica:

Na sliki je del jame Polina peč, ki je prikazan kot oblak točk, izdelan z mobilnim trirazsežnostnim laserskim skeniranjem, in umeščen pod vrtačasto površje, prikazano z digitalnim modelom reliefa letalskega laserskega skeniranja ločljivosti 1 m.

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

<https://doi.org/10.3986/9789610506683>

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

659.2:004:91(082)

PRETEKLOST in prihodnost / uredili Mateja Breg Valjavec ... [et al.]. – 1. izd.,
1. natis. – Ljubljana : Založba ZRC, 2022. – (GIS v Sloveniji, ISSN 1855-4954 ; 16)

ISBN 978-961-05-0667-6

COBISS.SI-ID 117881091

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 119179523

ISBN 978-961-05-0668-3 (PDF)

VSEBINA

| | |
|--|-----|
| <i>Drago Perko, Matija Zorn, Rok Ciglič, Mateja Breg Valjavec, Špela Čonč</i> Geografski informacijski sistemi v Sloveniji med letoma 1992 in 2022 | 9 |
| <i>Timotej Verbovšek</i> Analiza anizotropije kraškega površja z uporabo smernih semivariogramov iz digitalnega modela reliefa | 29 |
| <i>Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Jure Tičar, Stanka Šebela</i> Določanje geomorfoloških in hidrogeoloških povezav med vrtačami in jamo Polina peč s 3D laserskim skeniranjem | 39 |
| <i>Borut Vrščaj, Peter Kastelic, Janez Bergant</i> Modeliranje vodne erozije tal v Sloveniji | 55 |
| <i>Janez Bergant, Peter Kastelic, Borut Vrščaj</i> Ocena vezave organskega ogljika v tla kmetijskih zemljišč Slovenije | 71 |
| <i>Mateja Jemec Auflič, Gašper Bokal, Špela Kumelj, Anže Medved, Mojca Dolinar, Jernej Jež</i> Sezonski vpliv padavin na pojav plazenja do sredine 21. stoletja | 85 |
| <i>Manca Volk Bahun, Mauro Hrvatin, Blaž Komac</i> Določanje potencialnih območij proženja snežnih plazov z analizo reliefa | 95 |
| <i>Alen Mangafić, Paolo Sivilotti, Klemen Lisjak</i> Uporaba satelitskih posnetkov za spremljanje vodnega potenciala v vinogradih | 109 |
| <i>Nejc Čož</i> Višinska razlika do najbližjega vodotoka (HAND) – podatki za Slovenijo | 119 |
| <i>Špela Čonč, Urša Fležar, Lan Hočevár, Teresa Oliveira, Miha Kropfel</i> Plenjenje evrazijskega risa (<i>Lynx lynx</i>) in mikrohabitatne reliefne značilnosti: primer analize morfometrije in morfologije vrtač kot lokacij uplenitev parkljarjev | 129 |
| <i>Urška Drešček, Jan Jež, Samo Drobne</i> Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji | 145 |
| <i>Ajda Katarina Degan, Anton Švigelj, Bernarda Zrimšek</i> Aplikacija za vodenje evidence prometne signalizacije državnih cest – WEPS | 161 |
| <i>Simon Koblar, Jernej Tiran, Nika Razpotnik Visković, Matej Gabrovec</i> Vpliv izbora metode na izračun dostopnosti postajališč javnega potniškega prometa | 173 |
| <i>Klemen Prah, Matjaž Knez</i> GIS kot orodje za analizo pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile | 183 |

| | |
|--|-----|
| <i>Tinkara Mazej, Blaž Repe, Marko Krevs</i> Kvantitativna kategorizacija planinskih poti na izbranih območjih Kamniško-Savinjskih Alp | 197 |
| <i>Rok Ciglič, Katarina Polajnar Horvat, Matija Zorn</i> Prostorska analiza mobilnosti štipendistov programa Marie Skłodowska-Curie Action v Evropi | 209 |
| <i>Janez Nared</i> Atlas kakovosti življenja v Sloveniji kot podpora odločevalcem pri regionalnem in lokalnem razvoju | 221 |
| <i>Tomaž Šturm, Niko Gaberc</i> Terenske meritve mobilnih omrežij 4G | 233 |
| <i>Boštjan Kop, Nataša Golobič, Eva Kolbl, Špela Jereb Planinšek, Jaka Klement, Sebastijan Nograšek, Jakub Adamec, Michal Polgár</i> Uporaba telematike in geografskih informacijskih sistemov v zavarovalništvu – primer mobilne aplikacije DRAJV | 249 |
| <i>Grega Žorž</i> Geodetska izmera rapalske meje, njena digitalizacija in presek s historičnim in aktualnim stanjem zemljiškega katastra | 259 |
| <i>Andreja Švab Lenarčič</i> Razvoj in uporaba geografskih informacijskih sistemov na Geodetski upravi Republike Slovenije | 269 |
| <i>Marija Brnot, Marjana Duhovnik</i> Zbirka topografskih podatkov (DTM) | 277 |
| <i>Klemen Čotar, Jernej Nejc Dougan</i> Flai.ai – spletna aplikacija za samodejno klasifikacijo oblaka točk | 289 |
| <i>Žiga Kokalj, Gašper Stegnar, Marko Kovač</i> Orientacije streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji | 299 |
| <i>Aleš Marsetič, Urša Kanjir</i> Klasifikacija pokrovnosti z uporabo globokega učenja na časovnih vrstah podatkov PlanetScope | 311 |
| <i>Natalija Novak, David Jesenko, Urška Drešček, Mihaela Triglav Čekada</i> Zbiranje prostovoljnih fotografij topografskih sprememb ter ocena njihove uporabnosti | 321 |
| <i>Drago Perko, Jure Tičar, Matjaž Geršič</i> Standardizacija hidronimov v Sloveniji in geografski informacijski sistemi | 333 |

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI MED LETOMA 1992 IN 2022

dr. Drago Perko, dr. Matija Zorn, dr. Rok Ciglič, dr. Mateja Breg Valjavec, Špela Čonč

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

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

matija.zorn@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5788-018X>

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

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

spela.conc@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2110-8542>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_01

UDK: 91:659.2:004(497.4)''1992/2022''

IZVLEČEK

Geografski informacijski sistemi v Sloveniji med letoma 1992 in 2022

Poglavje obeležuje 30. obletnico izdajanja knjižne zbirke GIS v Sloveniji in predstavlja razvoj geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji med letoma 1992 in 2022, kot ga kažejo poglavja v tej zbirki. Knjižna zbirka GIS v Sloveniji je bienalna monografska publikacija, ki izhaja v sodih letih in prinaša presek dveh letnega znanstvenega, strokovnega in pedagoškega dela na področju razvoja in uporabe geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji. Izdaja jo Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. V vseh letnikih je bilo skupaj objavljenih 425 poglavij.

KLJUČNE BESEDE

geografija, geodezija, zgodovina, knjižna zbirka, monografija, 30. obletnica, Slovenija

ABSTRACT

Geographic information systems in Slovenia between 1992 and 2022

The chapter commemorates the 30th anniversary of the GIS v Sloveniji (GIS in Slovenia) book series and depicts the evolution of geographic information systems in Slovenia from 1992 to 2022, as indicated by the chapters in these books. It is a biennial publication of monographs published in even years. It represents a cross-section of two years of research, technical, and educational activities in Slovenia related to the development and use of geographic information systems. It is published by the Anton Melik Geographical Institute of the Research Center of the Slovenian Academy of Sciences and Arts. To date, 425 chapters have been published through this series.

KEY WORDS

geography, geodesy, history, book series, monograph, 30th anniversary, Slovenia

1 Uvod

Prispevek namenjamo obeležitvi tridesete obletnice knjižne zbirke GIS v Sloveniji in kratkemu prikazu razvoja geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji med letoma 1992 in 2022, kakor ga kaže 425 poglavij, objavljenih v tej zbirki.

Zanimalo nas je predvsem, kako se je med posameznimi knjigami spreminjala zastopanost vsebin, ustanov in strok, ki pri svojem raziskovalnem delu uporabljajo GIS-e, ter kako so se razvijali pristopi, metode, podatki in drugo na področju GIS-ov.

Posodobili smo nekatere preglednice in slikovne prikaze, ki smo jih objavili ob izidu jubilejne desete knjige v zbirki leta 2010 (Perko in Zorn 2010).

Na knjižno zbirko se navezujejo tudi bienalni simpoziji, na katerih so nekaj dni po izidu knjige vsaki dve leti predstavljena izbrana poglavja iz tiste knjige, ki skušajo prikazati raznolikost razvoja in uporabe GIS-ov v Sloveniji.

2 Zgodovina zbirke

Začelo se je 22. oktobra 1992, ko je takratna Zveza geografskih društev Slovenije v sodelovanju z Oddelkom za geografijo in Oddelkom za arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, Oddelkom za geodezijo takratne Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter Geografskim inštitutom Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti organizirala prvi simpozij o geografskih informacijskih sistemih pri nas. Recenzirani prispevki so izšli v publikaciji Dela Oddelka za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Tudi po tridesetih letih je glavni namen bienalnih srečanj in izdajanj monografij še vedno isti: zbrati »... *raziskovalce, pedagoge, strokovnjake, uporabnike in proizvajalce GIS tehnologije iz Slovenije* ...« (Černe s sodelavci 1992, 7) in vsako drugo leto predstaviti »... *znanstvene, strokovne in pedagoške dosežke in usmeritve na področju razvoja in uporabe geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji* ...« (Perko s sodelavci 2006, 11).

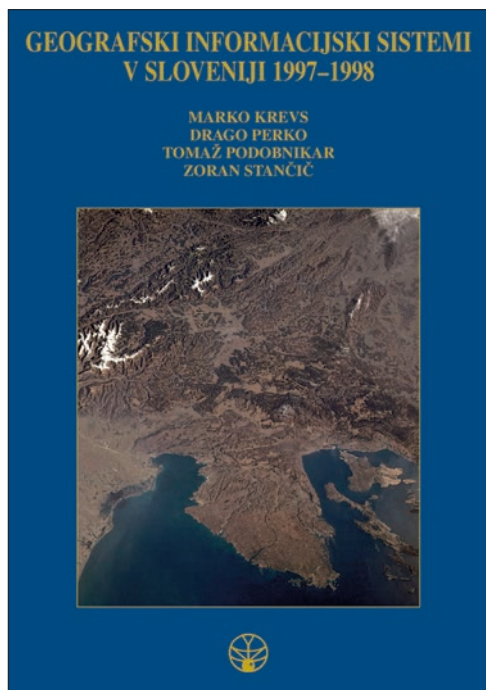
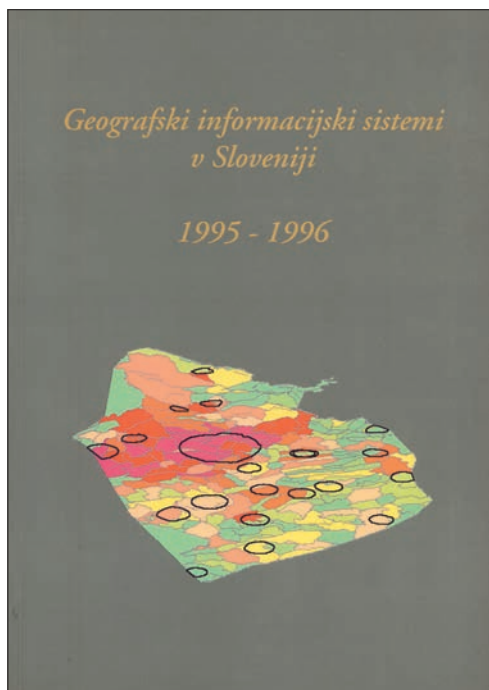
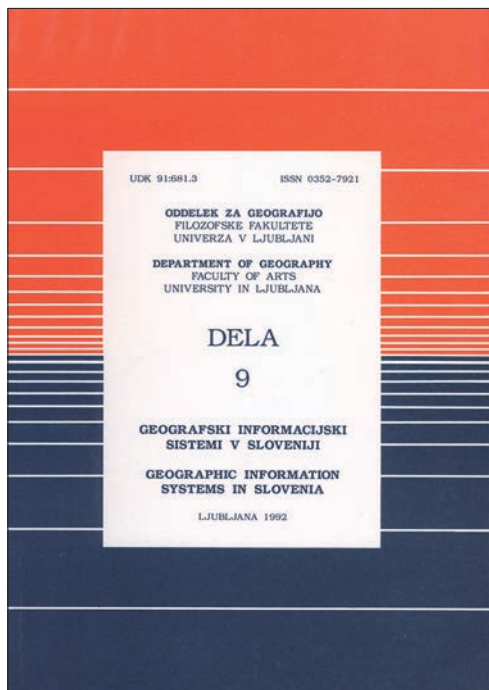
V prvih treh knjigah zbirke so bili objavljeni vsi pozitivno recenzirani referati s simpozija, od leta 1998 pa je na vsakem simpoziju predstavljenih samo osem najboljših in najbolj zanimivih prispevkov iz posameznih knjig, ki jih avtorji pošljejo na temelju razpisa. Predavatelje izbirajo uredniki, pri tem pa skušajo zaobjeti čim več različnih vsebin, strok in ustanov. Knjige v zbirki GIS v Sloveniji tako nudijo sorazmerno celovit pregled razvoja na področju geografskih informacijskih sistemov zadnjega dveletja, simpoziji pa le tako ali drugače izstopajoče dosežke v istem obdobju (Perko in Zorn 2011).

V zgodovini zbirke je pomembno leto 2008, ko smo se »... *zaradi utečenega izhajanja ... odločili, da iz monografij oblikujemo knjižno zbirko Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, naslov vsakokratne knjige pa kot doslej dopolnimo z letnicama, na kateri se nanaša* ...« (Krevs s sodelavci 2008, 9). Uradno ime zbirke je GIS v Sloveniji. Njen UDK je 91:659.2:004, ISSN pa 1855–4954. Ima tudi spletno stran na Založbi ZRC (<https://omp.zrc-sazu.si/zalozba/catalog/series/A06>), kjer so vsa poglavja prosto dostopna.

Od leta 2014 knjig ne ločujemo več po letnicah, ampak ima vsaka knjiga svoj naslov. Od dvanajste do petnajste knjige so bili naslovi: Digitalni prostor, Digitalni podatki, Pokrajina v visoki ločljivosti in Modeliranje pokrajine, šestnajsta knjiga pa ima v povezavi s tridesetletnico zbirke naslov Sedanjost in prihodnost.

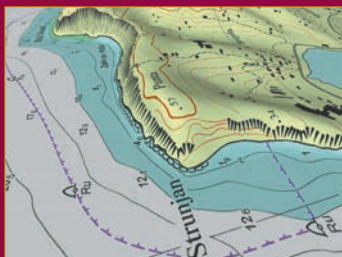
Obsežnejše predstavitve knjig iz zbirke redno objavlja le Geografski vestnik (Fridl 2000; 2002; Zorn 2004; 2006; 2008; 2010; 2012; 2014; Kumer 2016; 2018; Čonč 2020). Ob izdaji jubilejne desete knjige iz zbirke je obsežnejši prispevek objavil tudi časopis Delo (Perko in Zorn 2011).

Slika 1: Vseh 16 naslovnih knjig iz zbirke GIS v Sloveniji. ► (str. 11–14)



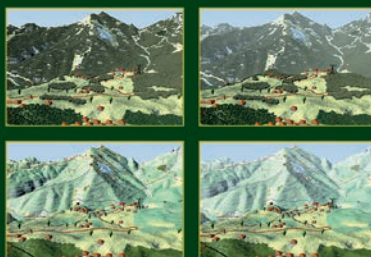
**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI
V SLOVENIJI 1999–2000**

DAVID HLADNIK
MARKO KREVS
DRAGO PERKO
TOMAŽ PODOBNIKAR
ZORAN STANČIČ



**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI
V SLOVENIJI 2001–2002**

TOMAŽ PODOBNIKAR
DRAGO PERKO
MARKO KREVS
ZORAN STANČIČ
DAVID HLADNIK



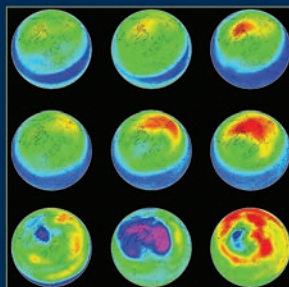
**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI
V SLOVENIJI 2003–2004**

TOMAŽ PODOBNIKAR
DRAGO PERKO
DAVID HLADNIK
MARKO KREVS
MARJAN ČEH
ZORAN STANČIČ



**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI
V SLOVENIJI 2005–2006**

DRAGO PERKO
JANEZ NARED
MARJAN ČEH
DAVID HLADNIK
MARKO KREVS
TOMAŽ PODOBNIKAR
RADOŠ ŠUMRADA



GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2007–2008

DRAGO PERKO
MATIJA ZORN
NIKA RAZPOTNIK
MARJAN ČEH
DAVID HLADNIK
MARKO KREVS
TOMAŽ PODOBNIKAR
BLAŽ REPE
RADOŠ ŠUMRADA



9



GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2009–2010



10



GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2011–2012

ROK CIGLIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN

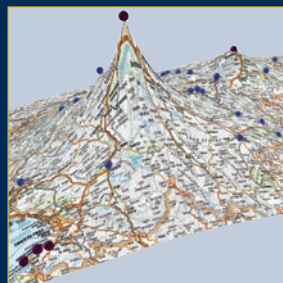


11



GIS V SLOVENIJI DIGITALNI PROSTOR

ROK CIGLIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



12



**GIS V SLOVENIJI
DIGITALNI PODATKI**

ROK CIGLIČ
MATJAŽ GERŠIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



13



**GIS V SLOVENIJI
POKRAJINA V VISOKI LOČLJIVOSTI**

ROK CIGLIČ
MATJAŽ GERŠIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



14



**GIS V SLOVENIJI
MODELIRANJE POKRAJINE**

ROK CIGLIČ
MATJAŽ GERŠIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



15



**GIS V SLOVENIJI
PRETEKLOST IN PRIHODNOST**

MATEJA BREG VALJAVEC
ROK CIGLIČ
ŠPELA ČONČ
MATJAŽ GERŠIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



16



Tudi o simpozijih je največkrat poročal Geografski vestnik (Podobnikar 2001; 2002b; Podobnikar, Oštir in Čeh 2004a; Perko 2006; 2008; 2010; Ciglič, Perko in Zorn 2012; 2014a; Ciglič 2016; 2018), nekaj poročil pa so objavile tudi druge revije, na primer Geodetski vestnik (Podobnikar 2000a; 2002a; Podobnikar, Oštir in Čeh 2004b; Liseč 2020), Geografski obzornik (Perko 1993) ter Okolje & prostor (Podobnikar 2000b).

3 Urejanje in izdajanje zbirke

Pri knjižni zbirki GIS v Sloveniji je v tridesetletnem obdobju pri urejanju in v uredniškem odboru sodelovalo 27 različnih posameznikov (preglednica 1).

V prvem desetletju (5 knjig) je zbirko urejalo 6 urednikov, v drugem desetletju (5 knjig) 11, v tretjem desetletju (6 knjig) spet 6, v celotnem obdobju (16 knjig) pa skupaj 16 različnih urednikov. Vsaj petkrat so bili uredniki: David Hladnik petkrat, Rok Ciglič, Marko Krevs in Tomaž Podobnikar šestkrat, Matija Zorn sedemkrat in Drago Perko trinajstkrat (preglednica 1).

V uredniškem odboru je v prvem desetletju sodelovalo 10 članov, v drugem desetletju 17, v tretjem desetletju 18, v celotnem obdobju pa skupaj 26 različnih članov. Vsaj desetkrat so bili člani uredniškega odbora: Tomaž Podobnikar enajstkrat, David Hladnik trinajstkrat in Drago Perko štirinajstkrat (preglednica 1).

Prvo knjigo je izdal Oddelek za geografijo Filozofske fakulteta Univerze v Ljubljani, drugo in tretjo Zveza geografov Slovenije in Zveza geodetov Slovenije, naslednji dve ZRC SAZU, šesto, sedmo in osmo knjigo Geografski inštitut Antona Melika in Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, vse naslednje pa Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. V prvi knjigi založnik ni naveden, tretjo knjigo sta sozaložili Zveza geografov Slovenije in Zveza geodetov Slovenije, ostalih štirinajst pa je založila Založba ZRC (preglednica 1).

4 Preteklost

Kako hitro so se geografski informacijski sistemi razvijali že na samem začetku, kažejo nekateri uvodniki v knjigah. V prvem uvodniku piše, da se je »... od srede osemdesetih let ... pri nas začela uporabljati tehnologija geografskih informacijskih sistemov ...« (Černe s sodelavci 1992, 7), v tretjem in četrtem pa že, da »... GIS-i pri nas niso več nikakršna novost ...« (Černe s sodelavci 1996, 7), da je »... mladostno obdobje geografskih informacijskih sistemov v Sloveniji že mimo ...« in da »... zatoj prihajajo v zrelo leta ...« (Krevs s sodelavci 1998, 5). V šesti knjigi celo piše, da monografija v tehničnem smislu »... ne sledi izjemnemu tehnološkemu napredku, ki so ga doživeli ... geografski informacijski sistemi ...« (Podobnikar s sodelavci 2002, 9). V sedmi knjigi pa uvodnik poudarja vse večji pomen povezovanja GIS-ov s spletom, saj pravi, da »... na področju lokacijskih internetnih storitev dobiva uporaba GIS-a in obnavljanje zbirk prostorskih podatkov nov zagon ...« (Podobnikar s sodelavci ... 2004, 9).

Zadnji »pravi« uvodnik začenja deseto knjigo in ugotavlja, da »... primerjava med prvo in zadnjo monografijo v knjižni zbirki GIS v Sloveniji pokaže na nedvomno izjemen vsestranski napredek na področju geografskih informacijskih sistemov: Na eni strani se je močno izboljšala raven prispevkov v tehničnem smislu, predvsem glede na kakovost zemljevidov, shem, diagramov in drugih slikovnih prikazov, prav tako pa tudi vsebinska pestrost prispevkov ... Narašča število avtorjev ... in število ustanov, s katerih prihajajo avtorji. Ugodna je tudi vse večja zastopanost različnih strok, tudi takih, za katere so mnogo še pred kratkim menili, da jim geografski informacijski sistemi pri njihovem delu ne morejo prav dosti pomagati ...« (Perko in Zorn 2010, 19).

Najmanjši napredek pa uvodnik vidi na področju izrazoslovja in pravi, da se problemi z GIS-ovskimi izrazi »... kažejo prek vseh monografij. Sprva so imeli avtorji velike probleme že pri slovenjenju temeljnih izrazov na področju geografskih informacijskih sistemov, kasneje pa je večji problem postala neenotna raba

Preglednica 1: Temeljni podatki o knjigah zbirke GIS v Sloveniji.

| zvezek | leto izida | št. strani | izdajatelj | soizdajatelj |
|--------|------------|------------|---|--|
| 1 | 1992 | 245 | Oddelek za geografijo Filozofske fakulteta Univerze v Ljubljani | |
| 2 | 1994 | 248 | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije | |
| 3 | 1996 | 176 | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije | |
| 4 | 1998 | 272 | ZRC SAZU | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 5 | 2000 | 286 | ZRC SAZU | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 6 | 2002 | 239 | Prostorsko-informacijska enota ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 7 | 2004 | 373 | Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 8 | 2006 | 325 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU | Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 9 | 2008 | 441 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 10 | 2010 | 341 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Zveza geografov Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 11 | 2012 | 264 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Zveza geografov Slovenije, Zveza geodetov Slovenije |
| 12 | 2014 | 226 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | |
| 13 | 2016 | 272 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | |
| 14 | 2018 | 200 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | |
| 15 | 2020 | 249 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | |
| 16 | 2022 | 349 | Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | |

| založnik | urednik | uredništvo |
|---|--|---|
| | Mirko Pak | Andrej Černe, Marko Krevs, Drago Perko, Zoran Stančič, Peter Šivic |
| ZRC SAZU | | Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada |
| Zveza geografskih društev Slovenije, Zveza geodetov Slovenije | | Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada |
| ZRC SAZU | Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič | Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada |
| ZRC SAZU | David Hladnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič | Andrej Černe, David Hladnik, Jurij Hudnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Radoš Šumrada |
| Založba ZRC | Tomaž Podobnikar, Drago Perko, Marko Krevs, Zoran Stančič, David Hladnik | David Hladnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Bojan Stanovnik, Radoš Šumrada |
| Založba ZRC | Tomaž Podobnikar, Drago Perko, David Hladnik, Marko Krevs, Marjan Čeh, Zoran Stančič | Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Janez Nared, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Roman Rener, Zoran Stančič, Bojan Stanovnik, Radoš Šumrada, Klemen Zakšek |
| Založba ZRC | Drago Perko, Janez Nared, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Radoš Šumrada | |
| Založba ZRC | Drago Perko, Matija Zorn, Nika Razpotnik, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Radoš Šumrada | |
| Založba ZRC | Drago Perko, Matija Zorn | Rok Ciglič, Marjan Čeh, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Nika Razpotnik, Blaž Repe, Matija Zorn |
| Založba ZRC | Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Marjan Čeh, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Nika Razpotnik, Visković, Blaž Repe, Radoš Šumrada, Matija Zorn |
| Založba ZRC | Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Marjan Čeh, Matjaž Geršič, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Matija Zorn |
| Založba ZRC | Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Matjaž Geršič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn |
| Založba ZRC | Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Matjaž Geršič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn |
| Založba ZRC | Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Matjaž Geršič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Kristof Oštir, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn |
| Založba ZRC | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Špela Čonč, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn | Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Špela Čonč, Matjaž Geršič, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Kristof Oštir, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Tomaž Šturm, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn |

izrazov med posameznimi strokami, kar pa je pri geografskih informacijskih sistemih kot izrazito multidisciplinarnem področju razumljivo. V zadnji letih ... se avtorji pri nekaterih tujih izrazih sploh ne trudijo več, da bi našli ustrezne slovenske izraze, in jih med besedilom uporabljajo kar v tujejezični obliki ...» in predlaga, da bi avtorji »... večjo skrb namenili tudi slovenskemu jeziku in razvijali slovensko izrazje tudi na področju geografskih informacijskih sistemov ...« (Perko in Zorn 2010, 16).

V dvanajsti in trinajsti knjigi pa sta »neprava uvodnika«, saj je nekaj uvodnih besed zapisanih samo na začetku obeh prvih prispevkov v knjigah. Dvanajsta knjiga opozori na navidezno resničnost, saj pravi: »... Digitalni prostor lahko opredelimo za navidezno resničnost, ker pa se z digitalizacijo vse bolj srečujemo pri številnih vsakdanjih dejavnostih v naših življenjih, digitalni prostor postaja tudi dejanska resničnost in pravimo, da živimo v digitalnem svetu ...« (Ciglič, Perko in Zorn 2014b, 10). Poda tudi malo drugačno, poenostavljeno, ljudem mogoče bolj razumljivo opredelitev GIS-ov: »... Pojem geografski informacijski sistem poslovenjeno zemljepisni podatkovni sestav, poenostavljeno povedano ne pomeni nič drugega kot pokrajino, ujeta v računalnik. Takemu trirazsežnostnemu računalniškemu prikazu resnične pokrajine pravimo navidezna pokrajina ali virtualna regija ...« (Ciglič, Perko in Zorn 2014b, 10). Trinajsta knjiga ugotavlja, kako močno je z geografskimi informacijskimi sistemi povezana tudi »... digitalna kartografija, saj tudi zemljevidi prikazujejo posamezne pokrajinske sestavine oziroma podatkovne sloje ...« ter poudarja, da »... z digitalnimi prostorskimi podatki gradimo digitalni prostor ...« in da je prav knjižna zbirka GIS v Sloveniji »... zelo dober pregled razvoja prostorskih podatkov in njihove uporabnosti v Sloveniji ...« (Perko, Ciglič in Zorn 2016, 10).

Vse knjige glede na vsebino kažejo na »... izjemno mnogovrstnost uporabe GIS-ov ...«, žal pa je »... razvoj izvirnih metodologij GIS-ov ... redek ...« (Podobnikar s sodelavci 2004, 9), prevladujejo namreč »... predstavitve že obstoječih metod in tehnoloških rešitev ...« (Perko s sodelavci 2006, 11).

Prispevke lahko po vsebini ločimo na bolj znanstvene ali bolj pregledne na eni strani ter na bolj teoretične ali bolj aplikativne na drugi strani.

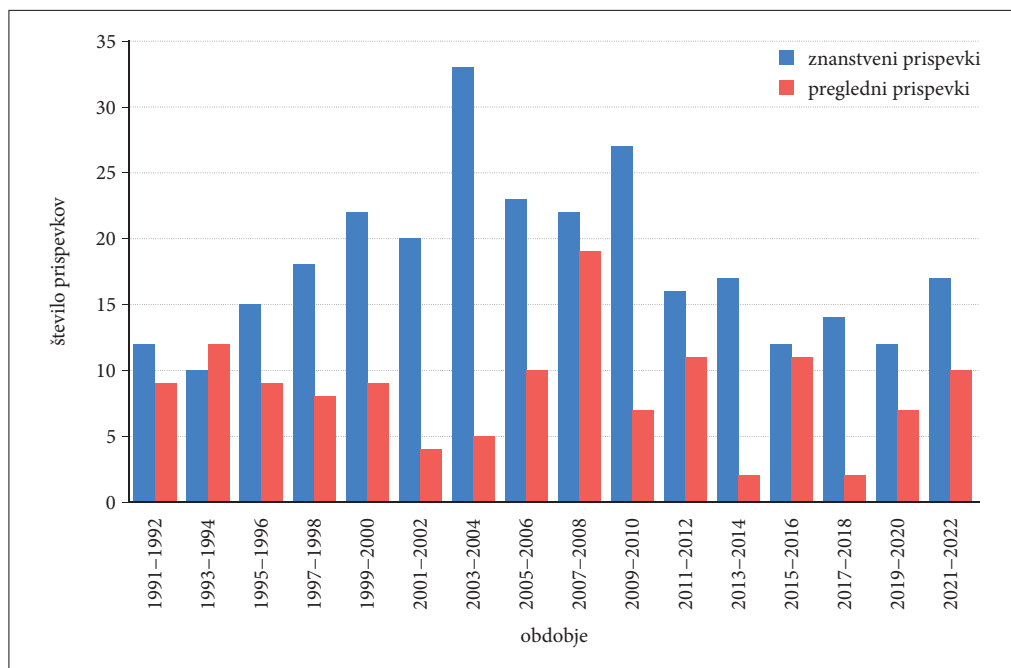
V vseh knjigah, razen v drugi, je bilo več znanstvenih prispevkov kot preglednih. Največ jih je bilo v dvanajsti knjigi, kar 89,5 %, najmanj pa v drugi knjigi, samo 45,5 % (slika 2).

Bolj se je med knjigami spreminjalo razmerje med teoretičnimi in aplikativnimi prispevki. V prvem desetletju je bilo njihovo število precej uravnoteženo, v drugem desetletju je poraslo število aplikativnih prispevkov, v tretjem desetletju pa je razmerje med knjigami precej nihalo. Teoretičnih prispevkov je bilo s 66,7 % največ v enajsti knjigi, aplikativnih prispevkov pa s 76,9 % v deveti knjigi (slika 3).

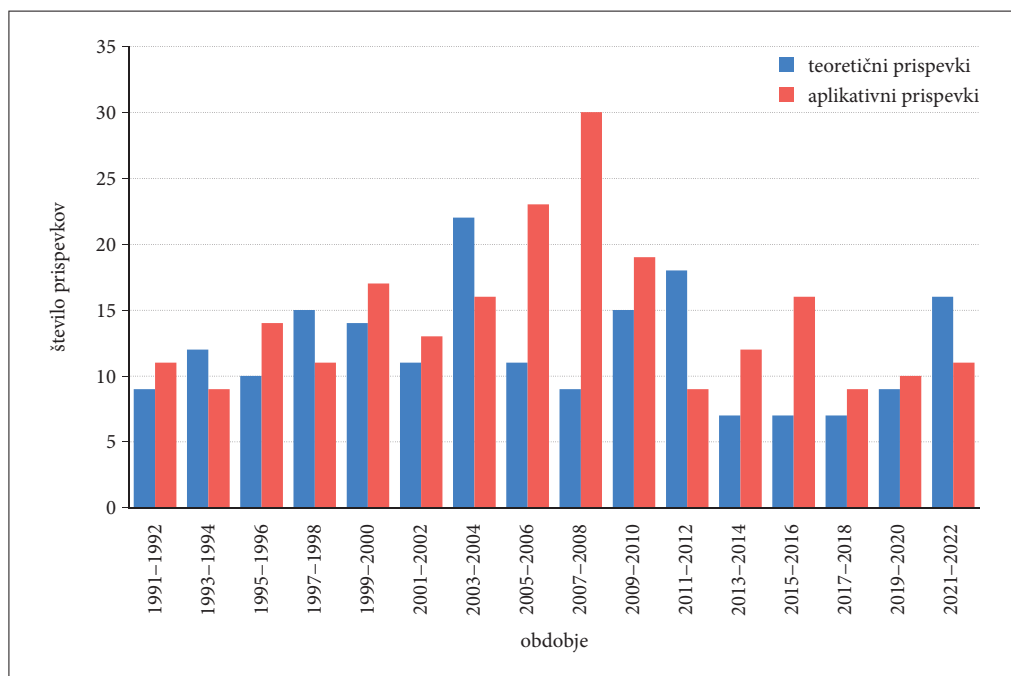
Pri vrednotenju teh razmerij moramo upoštevati, da so razmerja le »... približna, saj je posamezne prispevke moč uvrstiti v več kategorij hkrati, kljub vsemu pa je opazen premik k večanju deleža aplikativnih prispevkov glede na teoretične prispevke in večanju deleža znanstvenih prispevkov glede na bolj strokovne oziroma pregledne prispevke, kar je oboje prej dobro in vzpodbudno kot slabo ...« (Perko in Zorn 2010, 16).

Če se omejimo samo na vsebinska področja GIS-ov (slika 4), lahko ugotovimo, da so v prvih dveh desetletjih prevladovali prispevki o prostorskih podatkih in o prostorsko-časovnih analizah, vendar je bilo predvsem prvih v tretjem desetletju precej manj. Stalno so naraščali prispevki, povezani z daljinskim zaznavanjem, vendar v zadnjih knjigah njihovo število upada. V zadnjem obdobju so skoraj izginili prispevki, povezani z vizualizacijo in kartografijo, enako tudi prispevki, ki so GIS-e povezovali z izobraževanjem, čeprav teh nikoli ni bilo veliko. Še manj pa je bilo prispevkov, povezanih z GIS-i in e-upravljanjem. V vseh treh desetletjih so stalnica prispevki s področij planiranja ter aplikacije GIS-ov, a njihovo število nikoli ni izstopalo.

Med posameznimi strokami izrazito prevladujeta geodezija s 105 prispevki in geografija s 65 prispevki. Tretji po številu so interdisciplinarni prispevki, nato pa računalništvo in informatika s 25 prispevki in geologija z 22 prispevki. Največji delež geodetskih prispevkov je bil v četrti knjigi, točno polovica, največji delež geografskih prispevkov pa v dvanajsti knjigi z 42,1 %. Skupaj sta imeli geodezija in geografija največji delež prispevkov v četrti knjigi, kar 69,2 %, najmanj v deveti knjigi, 29,3 %, v vseh knjigah skupaj pa 42,6 %.



Slika 2: Spreminjanje razmerja med »znanstvenimi« in »preglednimi« prispevki.

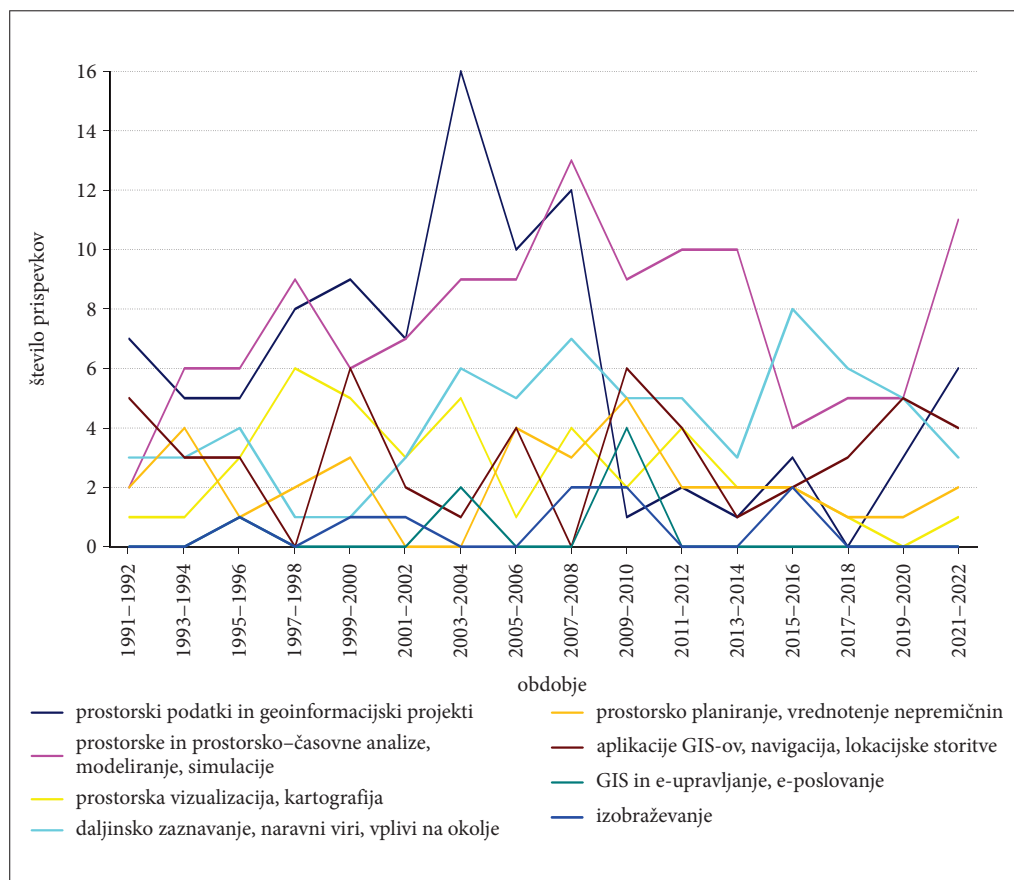


Slika 3: Spreminjanje razmerja med »teoretičnimi« in »aplikativnimi« prispevki.

Če upoštevamo delitev ved po klasifikaciji Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ki pozna 6 ved in interdisciplinarne raziskave, je na prvem mestu tehnika s 163 prispevki, nato humanistika z 92 prispevki in naravoslovje z 42 prispevki. Več prispevkov kot humanistika in naravoslovje ima interdisciplinarno področje s 94 prispevki. Biotehnika ima 22 prispevkov in družboslovje 12. Le medicina nima nobenega prispevka, vendar so nekatere medicinske vsebine zajete med interdisciplinarnimi raziskavami (slika 5).

V prvih desetih knjigah je največ prispevkov objavil Oddelek za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, skupaj 35, sledila pa sta mu dva inštituta Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti, in sicer Inštitut za antropološke in prostorske študije s 34 prispevki in Geografski inštitut Antona Melika z 32 prispevki. Geodetski inštitut Slovenije je objavil 31 prispevkov, ostale ustanove pa po manj kot 20 (Perko in Zorn 2010).

Tudi v zadnjem desetletju so imele največ prispevkov iste štiri ustanove. Tako so v vseh šestnajstih knjigah sodelavci Geografskega inštituta Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti objavili 64 prispevkov, sodelavci Inštituta za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti 54 prispevkov, sodelavci Oddelka za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani 52 prispevkov, sodelavci Geodetskega inštituta Slovenije pa 50 prispevkov. Nobena druga ustanova ni presegla 20 pri-



Slika 4: Spreminjanje razmerja med prispevki glede na vsebinska področja GIS-ov.

spevkov (preglednica 2). Imenovane štiri ustanove so torej skupaj sodelovale pri 220 prispevkih od 425 prispevkov, kar je več kot polovica (51,8 %).

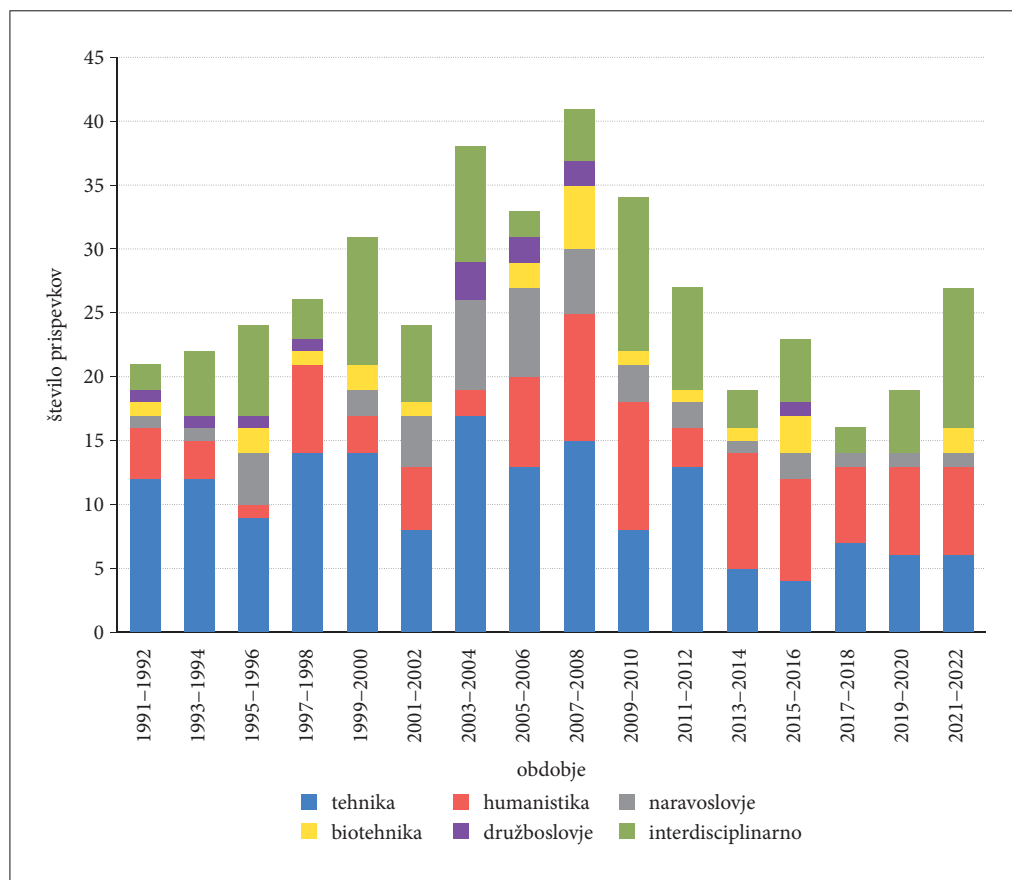
Najmanj ustanov je sodelovalo v prvi knjigi, samo 20, največ pa v deveti knjigi, kar 56, torej skoraj trikrat toliko. Povprečno število sodelujočih ustanov na knjigo je bilo 35.

5 Sedanjost

Kot sedanjost smo upoštevali poglavja, ki so bila v zbirki GIS v Sloveniji objavljena v zadnjem desetletju, to je med letoma 2012 in 2020 oziroma v knjigah 11, 12, 13, 14 in 15.

V zadnjem desetletju so se na področju geografskih informacijskih sistemov razvijale metode pridobivanja oziroma zajemanja podatkov, njihove obdelave in analize ter tudi prikaza rezultatov. Ob tem ne gre zanemariti tudi napredka v sposobnosti obravnave večje količine podatkov in višje hitrosti praktično pri vseh geoinformacijskih opravilih.

Pri pridobivanju podatkov so bile v ospredju pogosto metode daljinskega zaznavanja, med katerimi velja izpostaviti lasersko skeniranje oziroma lidar (angleško *light detection and ranging* ali zaznavanje svetlobe in določanje razdalje), povečini s pomočjo letala. V Sloveniji so bili podatki laserskega skeniranja



Slika 5: Spreminjanje razmerja med prispevki glede na vsebinska področja po vedah.

Preglednica 2: Prispevki po sodelujočih ustanovah; posebej so navedene vse ustanove z vsaj 5 prispevki v vseh šestnajstih knjigah (če je prispevek nastal v soavtorstvu, je prištet k vsem ustanovam, od koder so soavtorji, zato je skupno število v preglednici večje od dejanskega števila vseh prispevkov v vseh knjigah).

| dvoletje | 1991–1992 | 1993–1994 | 1995–1996 | 1997–1998 | 1999–2000 | 2001–2002 | 2003–2004 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| številka knjige | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU | 2 | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 | 2 |
| Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU | | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 7 |
| Oddelek za geodezijo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani | 2 | 3 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 |
| Geodetski inštitut Slovenije | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| Geodetska uprava Republike Slovenije | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | | 3 |
| Geološki zavod Slovenije | | | 3 | | | 1 | 2 |
| Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani | 1 | 1 | | 1 | 2 | | 1 |
| Statistični urad Republike Slovenije | | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| Urbanistični inštitut Slovenije | 1 | 1 | | 2 | | | 1 |
| Agencija Republike Slovenije za okolje | | 2 | 1 | | | | 4 |
| Center odličnosti VESOLJE-SI | | | | | | | |
| IGEA | 2 | | 2 | | 4 | | 1 |
| Kmetijski inštitut Slovenije | | | | | | | |
| Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani | 1 | 1 | | 1 | | 1 | |
| Oddelek za gradbeništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani | 1 | 2 | | 1 | | 1 | |
| Ministrstvo za okolje in prostor | | 1 | 1 | 3 | 1 | | 1 |
| Gozdarski inštitut Slovenije | | | 2 | | 1 | | |
| Harpha Sea | | | | | | 2 | |
| Fakulteta za pomorstvo in promet, Univerza v Ljubljani | | | 1 | | 1 | | 2 |
| ostale ustanove | 5 | 4 | 4 | 7 | 9 | 9 | 11 |
| skupaj | 20 | 27 | 25 | 32 | 36 | 28 | 47 |

| 2005–2006 | 2007–2008 | 2009–2010 | 2011–2012 | 2013–2014 | 2015–2016 | 2017–2018 | 2019–2020 | 2021–2022 | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | skupaj |
| 3 | 3 | 10 | 4 | 7 | 4 | 5 | 5 | 7 | 64 |
| 6 | 7 | 4 | 6 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 54 |
| 1 | 5 | 7 | 5 | 4 | 1 | 3 | 2 | 2 | 52 |
| 2 | 4 | 6 | 6 | 1 | 3 | 5 | 2 | 2 | 50 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | | | | | 2 | 20 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | 1 | 15 |
| | 3 | 1 | | 1 | 2 | | 1 | 1 | 15 |
| 1 | | | | | | | | | 14 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 14 |
| 4 | 1 | 1 | | | 1 | 2 | | 1 | 13 |
| | | | 3 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 13 |
| | 3 | 1 | | | | | | | 13 |
| 2 | 1 | 2 | | 1 | | | 1 | 3 | 10 |
| | | | 2 | 1 | | 2 | 1 | | 10 |
| 1 | 3 | | | | | | | | 9 |
| | | 1 | | | | | | | 8 |
| | 3 | | 1 | | | | | | 7 |
| 1 | 1 | | 3 | | | | | | 7 |
| 1 | | | 1 | | | | | | 6 |
| 12 | 16 | 13 | 5 | 5 | 11 | 6 | 9 | 13 | 139 |
| 41 | 56 | 50 | 42 | 26 | 32 | 29 | 27 | 39 | 553 |

že pogosto uporabljeni, saj je bilo posneto območje celotne države (Triglav Čekada, Bric in Oven 2012; Triglav Čekada in Bric 2015). Primeri uporabe lidarja so zelo raznoliki in zajemajo številna raziskovalna področja, denimo kmetijstvo in preučevanje rabe tal (Bergant, Kastelic in Bertonecelj 2020), varstvo narave in jamarstvo (Čekada in Gostinčar 2016; Tičar in Čekada 2018), glaciologijo (Triglav Čekada 2018), gozdarstvo (Šturm s sodelavci 2016), arheologijo (Mlekuž in Rutar 2014; Štular in Lozić 2016) in geodezijo (Triglav Čekada, Mesner in Barborič 2016).

Še vedno se pogosto uporabljajo tudi satelitski optični posnetki, v zadnjem času še posebej posnetki sistema Sentinel (Đurić, Kanjir in Veljanovski 2018; Smerdu, Kanjir in Kokalj 2020; Stančič, Oštir in Kokalj 2020), termični posnetki (Cedilnik, Oštir in Kokalj 2016), radarski posnetki (Čotar s sodelavci 2016), pa tudi hiperspektralni posnetki (Mlekuž 2018). Vse pogostejše se za zajem posnetkov (najpogostejše optičnih) uporabljajo tudi brezpilotni letalniki, na primer pri preučevanju zemeljskih plavov (Ciglič, Ferk in Nagy 2020).

Na voljo je tudi čedalje več drugih podatkovnih virov, na primer podatkov o infrastrukturi in cestnih omrežjih OpenStreetMap (Koblar in Pajk Koblar 2020) ter vodnih zemljiščih (Petrovič s sodelavci 2016), prav tako se v digitalnih bazah beležijo še mnogi drugi podatki, recimo podatki o internetnem dostopu (Šturm s sodelavci 2020).

Hkrati se ob zajemanju in veliki količini podatkov razvija tudi obdelava podatkov, na primer samodejna obdelava satelitskih posnetkov (Oštir s sodelavci 2014) in izboljšanje kakovosti posnetkov s pomočjo strojnega učenja (Mangafić in Žagar 2020). Pri razvoju metod velja izpostaviti tudi pomemben preskok s točkovne (rastrske) analize na objektno (Veljanovski, Kanjir in Kovačič 2012; Veljanovski in Kokalj 2012).

Rezultati prostorskih analiz so poleg običajnih dvorazsežnostnih zemljevidov že nekaj časa prikazani tudi v treh razsežnostih (na primer Bučar in Petrovič 2012; Šopič s sodelavci 2012), v zadnjih letih pa se krepi pomen spletnih aplikacij, ki uporabnikom omogočajo aktivno uporabo kartografskih izdelkov s spreminjanjem prikazov, poizvedovanjem, filtriranjem podatkov in z drugimi možnostmi upravljanja (na primer Grlj s sodelavci 2018; Breg Valjavec, Klanjšček in Ciglič 2020; Stritar 2020).

Ob orisu razvoja geografskih informacijskih sistemov je nujen tudi nenehen razvoj na terminološkem področju, saj se uporabniki in ponudniki storitev soočajo s prevajanjem tujih izrazov v slovenščino (na primer Jelen in Bojc 2020).

Ob pregledu lahko ugotovimo, da so avtorji poglavij v zbirki GIS v Sloveniji zagotovo pomembno prispevali k razvoju GIS-ov v Sloveniji in tako s pomočjo svojih objav prikazali izpopolnjevanje raznolikih metod na številnih področjih ter njihovo uporabo v raziskovalne in praktične namene.

6 Prihodnost

Kakšna bo prihodnost geografskih informacijskih sistemov? Svet, kakršen je danes, se je zelo spremenil in »razširil«, odkar je angleški geograf in pionir v svetu GIS-ov Roger Tomlinson v šestdesetih letih prejšnjega stoletja skoval poimenovanje in kratico GIS (Goodchild 2015). S širjenem GIS-ov zunaj geografije je ime dobilo številne različice, na primer geoinformatika, geomatika, geografske informacijske znanosti in prostorski informacijski sistemi.

Področje GIS-ov je danes v Sloveniji podobno kot po svetu interdisciplinarno in so se mu v zadnjih treh desetletjih pridružili strokovnjaki raznih znanosti. Številni se morda niti ne identificirajo primarno kot strokovnjaki s področja GIS-ov, so pa in bodo nedvomno prispevali k nadaljnjemu razvoju GIS-ov v Sloveniji. Njihov razvoj v Sloveniji in v svetu sledi hitremu tehnološkemu razvoju na vseh področjih, od zajema in obdelave podatkov do njihove vizualizacije in objav, kar lahko pričakujemo tudi v prihodnje.

V zadnjih 30-letih je največji preboj v GIS-ih sledil razvoju svetovnega spleta (Goodchild 2015). Posebej velik potencial si svetovna znanost obeta od tako imenovanih velikih podatkov (angleško *big-data*) za globalne družbeno-gospodarske in okoljske študije, na drugi strani pa lahko v Sloveniji glede

na dosedanje bolj ali manj lokalno in nacionalno usmerjene GIS-ovske raziskave pričakujemo nove pri-ložnosti v izboljšanju prostorske ločljivosti in natančnosti podatkov. Slednja je v Sloveniji v ospredju zaradi naše ozemeljske »majhnosti«, zemljiške in poselitvene razdrobljenosti, pa tudi drugih zemljepisnih dejavnikov. Prostorska in vsebinska natančnost podatkov se bo še naprej razvijala skladno z dostopnostjo novih tehnologij. Tako smo recimo v Sloveniji po uvedbi nacionalnega letalskega laserskega skeniranja in javno dostopnih podatkov lidar zaznali porast GIS-ovskih raziskav na različnih področjih (geogra-fija, geologija, geodezija, gradbeništvo, arheologija, gozdarstvo, agronomija, biologija, speleologija). Ob tem je treba posebej izpostaviti vlogo prostega dostopa do javnih podatkov tudi v prihodnosti.

Ko govorimo o *big-data*, gre za velike podatkovne zbirke, v katerih lahko iščemo vzorce, trende in jih uporabimo za pridobivanje novih informacij. Številni imajo geolokacijo, kar omogoča generiranje informacij o družbenih in naravnih procesih na različnih prostorskih ravneh in skozi čas. *Big-data* siste-mi vključujejo mreže senzorjev, ki spremljajo »delovanje« planet, kot tudi podatke Zemljanov. GIS-i bodo v prihodnje prilagojeni okolju in potrebam posameznika, ki bo vse geoinformacije spremljal v pro-storu in realnem času, torej štirirazsežnostno (4R). Tudi družbena omrežja in svetovne spletne platforme (na primer Google maps in TripAdvisor) postajajo zbirališča velikih podatkov. Ogromne koli-čine osebnih podatkov o posameznikih so in bodo na voljo v podatkovnih bazah svetovnih korporacij, razdrobljene, nenadzorovane.

Analiza raznolikosti objav v tridesetletnem obdobju GIS-ov v Sloveniji je pokazala prostorsko ome-jenost in osredotočenost na območje Slovenije in uporabo državnih podatkov, z izjemo uporabe satelitskih posnetkov. Glede na svetovne trende, lahko tudi v Sloveniji pričakujemo porast uporabe geolociranih *big-data* in s tem možnost za širjenje raziskav zunaj območja Slovenije ter tako postavljanje Slovenije v evropski in globalni kontekst predvsem iz različnih družbeno-gospodarskih in okoljskih vidikov. Največja prednost *big-data* v GIS-ih, ki jo bomo zagotovo izkoristili tudi v Sloveniji, bo v možnostih natančnejšega napovedovanja dogodkov, ne le kje, temveč tudi kdaj se bodo zgodili. Recimo, kje se bo gibal orkan v naslednjem tednu? Kakšna bo vrednost določene zgradbe, ki jo nameravamo kupiti, čez pet let? Kje bodo najmočnejši družbeno-gospodarski vplivi letošnje sezone Covid-a? Na kateri loka-ciji namestiti naslednjo trgovino v trgovski verigi?

Prek javno dostopnih mobilnih in spletnih GIS-ovskih aplikacij se bo uporaba GIS-ov samodejno širila med uporabniki, katerih število bo naraščalo, s tem pa tudi prostorsko razumevanje sveta in potre-ba po novih GIS-ovskih rešitvah. Posledično lahko tudi v Sloveniji pričakujemo zanimanje za učenje GIS-ov. Ker že dolgo slovijo, da se jih je težko naučiti in uporabljati, so nujni dobri in zanimivi GIS-ovski študijski programi na univerzitetni ravni. Glavne značilnosti področja GIS-ov v prihodnje bodo predvsem kakovostne natančne geografske informacije in procesi za zajemanje, predstavljanje, shra-njevanje, analizo, modeliranje in arhiviranje podatkov (Goodchild 2015), še posebej pa interdisciplinarno in multidisciplinarno sodelovanje strokovnjakov na področju GIS-ov.

Upamo, da bo del te uspešne prihodnosti na tem področju tudi knjižna zbirka GIS v Sloveniji.

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

7 Viri in literatura

- Bergant, J., Kastelic, P., Bertonecelj, I. 2020: Uporaba reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi posnetkov laserskega skeniranja površja (LiDaR). Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_02
- Breg Valjavec, M., Klanjšček, M., Ciglič, R. 2020: SmartKarst.eu – spletna navigacijska platforma za razvoj trajnostnega turizma v čezmejni kraški pokrajini. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_14

- Bučar, J., Petrovič, D. 2012: Izdelava trirazsežnostne topografske karte Horjula z okolico. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Cedilnik, R., Oštir, K., Kokalj, Ž. 2016: Satelitsko termično snemanje Ljubljane. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Ciglič, R. 2016: 13. bialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 27. 9. 2016. Geografski vestnik 88-2.
- Ciglič, R. 2018: 14. bialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 26. 9. 2018. Geografski vestnik 90-2.
- Ciglič, R., Ferk, M., Nagy, G. 2020: Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_08
- Ciglič, R., Perko, D., Zorn, M. 2012: 11. bialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 25. 9. 2012. Geografski vestnik 84-2.
- Ciglič, R., Perko, D., Zorn, M. 2014a: 12. bialni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 30. 9. 2014. Geografski vestnik 86-2.
- Ciglič, R., Perko, D., Zorn, M. 2014b: Digitalni prostor, digitalna pokrajina, prostorski podatki in naravopokrajinska klasifikacija Slovenije. Digitalni prostor, GIS v Sloveniji 12. Ljubljana.
- Čekada, M., Gostinčar, P. 2016: Uporaba lidarja v jamarstvu. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Černe, A., Hladnik, D., Hudnik, J., Krevs, M., Perko, D., Renner, R., Stančič, Z., Šumrada, R. 1996: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995–1996. Ljubljana.
- Černe, A., Krevs, M., Perko, D., Stančič, Z., Šivic, P. 1992: Uvodnik. Dela 9. Ljubljana.
- Čonč, Š. 2020: Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn (uredniki): Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Geografski vestnik 92-2.
- Čotar, K., Kokalj, Ž., Beden, A., Ivačić, M., Oštir, K. 2016: Samodejno zaznavanje vodnih površin iz radarskih satelitskih posnetkov in njihov prikaz na spletnem portalu. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Đurić, N., Kanjir, U., Veljanovski, T. 2018: Analiza časovnih vrst Sentinel-2 za zaznavanje neskladne rabe na trajnih travnikih. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14. Ljubljana.
- Fridl, J. 2000: David Hladnik, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Zoran Stančič (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999–2000. Geografski vestnik 72-2.
- Fridl, J. 2002: Tomaž Podobnikar, Drago Perko, Marko Krevs, Zoran Stančič, David Hladnik (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002. Geografski vestnik 74-2.
- Goodchild, M. F. 2015: Four Thoughts on the Future of GIS. ArcWatch. Medmrežje: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/four-thoughts-on-the-future-of-gis/> (9. 6. 2022).
- Grlj, A., Sušnik, A., Gregorič, G., Kokalj, Ž. 2018: Spletni Sušni uporabniški servis. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14. Ljubljana.
- Jelen, A., Bojc, D. 2020: Grajenje slovenske GIS terminologije z lokalizacijo izdelkov ArcGIS. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_19
- Koblar, S., Pakj Koblar, V. 2020: Analiza prometne dostopnosti s podatki OpenStreetMap. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_12
- Krevs, M., Čeh, M., Hladnik, D., Perko, D., Podobnikar, T., Razpotnik, N., Repe, B., Šumrada, R., Zorn, M. 2008: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008, GIS v Sloveniji 9. Ljubljana.
- Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. 1998: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.
- Kumer, P. 2016: Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn (uredniki): Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Geografski vestnik 88-2.
- Kumer, P. 2018: Rok Ciglič, Matjaž Geršič, Drago Perko, Matija Zorn (uredniki): Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14. Geografski vestnik 90-2.

- Lisec, A. 2020: 15. bienalni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji. *Geodetski vestnik* 64-4.
- Mangafić, A., Žagar, T. 2020: Izdelava visokoločljivega sintetičnega ortofota na osnovi posnetkov Sentinel-2 z uporabo super-ločljivostnih generativnih nasprotniških mrež. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_07
- Mlekuž, D. 2018: Uporaba hiperspektralnih snemanj v arheologiji. *Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji* 14. Ljubljana.
- Mlekuž, D., Rutar, G. 2014: Vpliv gostote zračnega laserskega skeniranja na prepoznavnost arheoloških sledov. *Digitalni prostor, GIS v Sloveniji* 12. Ljubljana.
- Oštir, K., Marsetič, A., Pehani, P., Perše, M., Zakšek, K., Zaletelj, J., Rodič, T. 2014: Procesna veriga za samodejno obdelavo optičnih satelitskih posnetkov v skoraj realnem času. *Digitalni prostor, GIS v Sloveniji* 12. Ljubljana.
- Perko, D. 1993: Simpozij Geografski informacijski sistem v Sloveniji. *Geografski obzornik* 40-1.
- Perko, D. 2006: 8. bienalni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 26. 9. 2006. *Geografski vestnik* 78-2.
- Perko, D. 2008: 9. bienalni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 30. 9. 2008. *Geografski vestnik* 80-2.
- Perko, D. 2010: 10. bienalni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Ljubljana, 28. 9. 2010. *Geografski vestnik* 82-2.
- Perko, D., Ciglič, R., Zorn, M. 2016: Od krtine do lidarja. *Digitalni podatki, GIS v Sloveniji* 13. Ljubljana.
- Perko, D., Nared, J., Čeh, M., Hladnik, D., Krevs, M., Podobnikar, T., Šumrada, R. 2006: Uvodnik. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006*. Ljubljana.
- Perko, D., Zorn, M. 2010: Zgodovina knjižne zbirke GIS v Sloveniji. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010, GIS v Sloveniji* 10. Ljubljana.
- Perko, D., Zorn, M. 2011: Pokrajina ujeta v računalniku: geografski informacijski sistemi v Sloveniji. *Delo* 53-232.
- Petrovič, D., Kosmatin Fras, M., Grigillo, D., Mikoš, M., Kete, P., Dežman Kete, V. 2016: Podatki o vodah in vodnih zemljiščih v Sloveniji. *Digitalni podatki, GIS v Sloveniji* 13. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2000a: »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji«: peta predstavitev dosežkov slovenske geoinformatike. *Geodetski vestnik* 44-3.
- Podobnikar, T. 2000b: GIS v Sloveniji – peti bienalni simpozij o dosežkih geoinformatike pri nas. *Okolje & prostor* 64 (okt. 2000).
- Podobnikar, T. 2001: Peti bienalni simpozij »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji«, Ljubljana, 26. 9. 2000. *Geografski vestnik* 73-1.
- Podobnikar, T. 2002a: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002, šestič. *Geodetski vestnik* 46-4.
- Podobnikar, T. 2002b: Šesti simpozij »Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002«, Ljubljana, 24. 9. 2002. *Geografski vestnik* 74-2.
- Podobnikar, T., Oštir, K., Čeh, M. 2004a: 7. bienalni simpozij Geografski informacijski sistemi v Sloveniji: Ljubljana, 28. 9. 2004. *Geografski vestnik* 76-2.
- Podobnikar, T., Oštir, K., Čeh, M. 2004b: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004, sedmi bienalni simpozij. *Geodetski vestnik* 48-4.
- Podobnikar, T., Perko, D., Krevs, M., Stančič, Z., Hladnik, D. 2002: Uvodnik. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002*. Ljubljana.
- Smerdu, A., Kanjir, U., Kokalj, Ž. 2020: Zaznavanje in kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst s satelitskimi posnetki Sentinel-2. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_06
- Stančič, L., Oštir, K., Kokalj, Ž. 2020: Analiza vsebnosti spektralnega signala na posnetkih Sentinel-2 za kartiranje rek in obrečnega prostora. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_05

- Stritar, A. 2020: Planinski geografski informacijski sistem – PlanGIS. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_15
- Šopič, D., Rudman, Č., Žerjal, A., Presl Radi, D., Grahor, J. 2012: 3R GIS okolje za načrtovanje in prikaz posegov v prostor. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Štular, B., Lozić, E. 2016: Primernost podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije za arheološko interpretacijo: metoda in študijski primer. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Šturm, T., Pisek, R., Kobler, A., Beguš, J., Matijašič, D. 2016: Možnosti uporabe lidarskih podatkov na Zavodu za gozdove Slovenije. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Šturm, T., Simončič, M., Baliž, G., Uršič, P., Mesner, N. 2020: Digitalna družba Slovenije – pregled internetnega dostopa. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_13
- Tičar, J., Čekada, M. 2018: Natančnost določanja lege naravnih vrednot v Sloveniji na primeru kraških jam. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14.
- Triglav Čekada, M. 2018: Geodetska masna bilanca slovenskih ledenikov iz podatkov laserskega skeniranja. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14.
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- Triglav Čekada, M., Bric, V., Oven, K. 2012: Prvo vsedrjavno lasersko skeniranje Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Mesner, N., Barborič, B. 2016: Lasersko skeniranje kot vir podatkov za določitev vseh stavb v Sloveniji. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Perko, D., Hladnik, D., Krevs, M., Čeh, M., Stančič, Z. 2004: Uvodnik. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
- Veljanovski, T., Kanjir, U., Kovačič, P. 2012: Ocena števila prebivalcev v neformalnem naselju Kibera iz rabe tal z metodo objektne klasifikacije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Veljanovski, T., Kokalj, Ž. 2012: Objektno usmerjeno kartiranje poplav in njihova vloga v poselitvi osrednjega dela Ljubljanskega barja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Zorn, M. 2004: Tomaž Podobnikar, Drago Perko, David Hladnik, Marko Krevs, Marjan Čeh, Zoran Stančič (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Geografski vestnik 76-2.
- Zorn, M. 2006: Drago Perko, Janez Nared, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Radoš Šumrada (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006. Geografski vestnik 78-2.
- Zorn, M. 2008: Drago Perko, Matija Zorn, Nika Razpotnik, Marjan Čeh, David Hladnik, Marko Krevs, Tomaž Podobnikar, Blaž Repe, Radoš Šumrada (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008, GIS v Sloveniji 9. Geografski vestnik 80-2.
- Zorn, M. 2010: Drago Perko, Matija Zorn (urednika): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008, GIS v Sloveniji 10. Geografski vestnik 82-1.
- Zorn, M. 2012: Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn (uredniki): Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Geografski vestnik 84-2.
- Zorn, M. 2014: Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn (uredniki): Digitalni prostor, GIS v Sloveniji 12. Geografski vestnik 86-2.

ANALIZA ANIZOTROPIJE KRAŠKEGA POVRŠJA Z UPORABO SMERNIH SEMIVARIOGRAMOV IZ DIGITALNEGA MODELA RELIEFA

dr. Timotej Verbovšek

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

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_02

UDK: 551.435.82:54.03

IZVLEČEK

Analiza anizotropije kraškega površja z uporabo smernih semivariogramov iz digitalnega modela reliefa

V prispevku je predstavljena uporaba semivariogramov za določevanje anizotropnih lastnosti površja. Za kraško površje je značilno, da ga oblikuje tektonska poškodovanost kamnin, kot glavna površinska oblika pa so značilne vrtače, ki so velikokrat nanizane v določeni smeri. Iz semivariogramov razberemo stopnjo anizotropije površja in tudi smer, v kateri se površje najbolj spreminja. Spreminjanje je opredeljeno kot višinske razlike iz digitalnega modela reliefa. Na primeru šestih analiziranih območij smo pokazali, da imajo kraška območja različno stopnjo anizotropije. Preferenčne smeri, pridobljene iz semivariogramov, se zelo dobro ujemajo s smermi, ki jih določimo vizualno iz kart, pa tudi s smermi prelomov na geoloških kartah. Metoda je torej uporabna za kvantitativno določevanje anizotropije, kot njeno nadgradnjo pa predlagamo izdelavo strukturno-geoloških kart.

KLJUČNE BESEDE

kras, vrtače, površje, anizotropija, semivariogram

ABSTRACT

Anisotropy of karstic surface with directional semivariograms from digital relief model

The paper presents use of semivariograms to determine the anisotropic properties of the land surface. Karstic landforms are typically shaped by tectonic deformations, and the main surface features are usually dolines, usually formed in a linear direction. From the semivariograms it is possible to determine the degree of anisotropy and the preferential direction, in which the surface changes the most. Surface changes are defined as height differences, obtained from the digital relief model. Results, based on the six studied test areas, show that anisotropy is present in the karstic areas. Directions from semivariograms agree very well with the ones obtained from visual inspection of the maps, and with the orientations of the faults. Method is therefore useful for quantitative determination of anisotropy. As its upgrade we propose a comparison with structural-geological maps.

KEY WORDS

karst, dolines, caves, anisotropy, semivariogram

1 Uvod

Kraško površje je zelo razgibano in njegova oblikovanost je predvsem posledica raztapljanja kamnin. Na površju je razvitih več površinskih oblik, ki so genetsko povezane s podzemnimi (Ford in Williams 2007). Med prvimi prevladujejo vrtače, s katerimi so se kvantitativno ukvarjali številni raziskovalci že pred več kot 40 leti (Williams 1972; Jennings 1975; White in White 1979; Čar 1982 in 1986), raziskave vrtač pa intenzivno potekajo tudi v Sloveniji (na primer v zadnjih letih Žvab Rožič, Čar in Rožič 2015; Šegina s sodelavci 2018; Podobnikar, Štefančič in Verbovšek 2019; Verbovšek in Gabor 2019; Mihevc in Mihevc 2021; Novljan 2021). Ena zanimivejših, a relativno slabo preučevanih lastnosti kraškega površja je njegova anizotropija, torej spreminjanje lastnosti površja v določeni smeri. Za kraško površje je namreč značilno, da ga oblikuje tektonska poškodovanost kamnin, zaradi katere so kamnine hidrogeološko zelo različne, posledično pa hidrogeološke lastnosti vplivajo na raztapljanje kamnin, na pretakanje podzemne vode v krasu (Šušteršič 2006) in na oblikovanost površja. Različne kamnine se namreč pri tektonskih deformacijah drugače poškodujejo, zato v kamninah nastanejo zdrobljene, porušene in razpoklinske cone (Čar 1982; Bauer, Schröckenfuchs in Decker 2016), predvsem pa se v različnih tektonskih conah oblikujejo različni tipi vrtač (Čar 2001 in 2018) in s tem tudi površja.

2 Metode dela

Za ugotavljanje smernih lastnosti površja smo uporabili lastnosti semivariograma, ki se uporabljajo pri prostorski interpolacijski metodi krigiranja oziroma kriganja (kakor lahko tudi tvorimo glagolnik iz priimka Krige, avtorja metode) (Davis 2002). Semivariogram je graf odvisnosti variance (oziroma polovice variance oziroma semivariance, od tod tudi ime semivariogram) z razdaljo med pari točk, ki jih analiziramo. Med bližnjimi pari točk je varianca majhna, saj so si vrednosti točk (na primer nadmorske višine površja) podobne. Z razdaljo korelacija med vrednostmi točk upada, semivarianca se posledično večja. To večanje ni linearno, poleg tega pa se varianca na neki razdalji večinoma ustali na določeni vrednosti in se ne spreminja več. Semivariogramu lahko tako pripišemo tri lastnosti oziroma vrednosti (slika 1): *doseg* (angleško *range*), ki je razdalja, s katero se varianca v prostoru ne spreminja več, *prag* (angleško *sill*), ki je vrednost semivariance, dosežene na razdalji dosega, in *odstopanje* (angleško *nugget*), to je odsek krivulje semivariograma na ordinatni osi. Slednji izraz je ponekod preveden tudi kot tako imenovani efekt zlatega zrna (Zagmajster, Sket in Culver 2008), kar je posledica dobesednega prevoda besede (angleško *nugget*), toda ta izraz pri statistični analizi ne pove kaj dosti. Z izbiro omenjenih vrednosti sprva določimo samo obliko semivariograma, ki naj se čim bolj prilaga podatkom, s tem pa dobimo tudi vpogled v lastnosti podatkov (kako se spreminjajo v prostoru). Nadgradnja semivariograma, ki je relativno redko uporabljena, je preučevanje različnih semivariogramov v različnih smereh – torej preučevanje anizotropije. V GIS okolju oziroma z ustreznimi geostatističnimi programi se lahko tega lotimo na dva načina, ki se med seboj ne izključujeta; lahko si izberemo smer v prostoru (azimut) in naredimo semivariogram v tej smeri, lahko pa izberemo možnost hkratnega prikaza več semivariogramov na istem grafu in tako dobimo vpogled v stopnjo anizotropije. Če je namreč območje izotropno, si bodo vsi semivariogrami podobni (se bodo prekrivali), v primeru velike anizotropije pa se bodo precej razlikovali. Poleg tega lahko tudi numerično ovrednotimo anizotropijo z razmerjem največjega dosega (torej v smeri, ki ima največji dosegi) in najmanjšega dosega. Večje ko je to razmerje, večja je anizotropija (Lyew-Ayee, Viles in Tucker 2007).

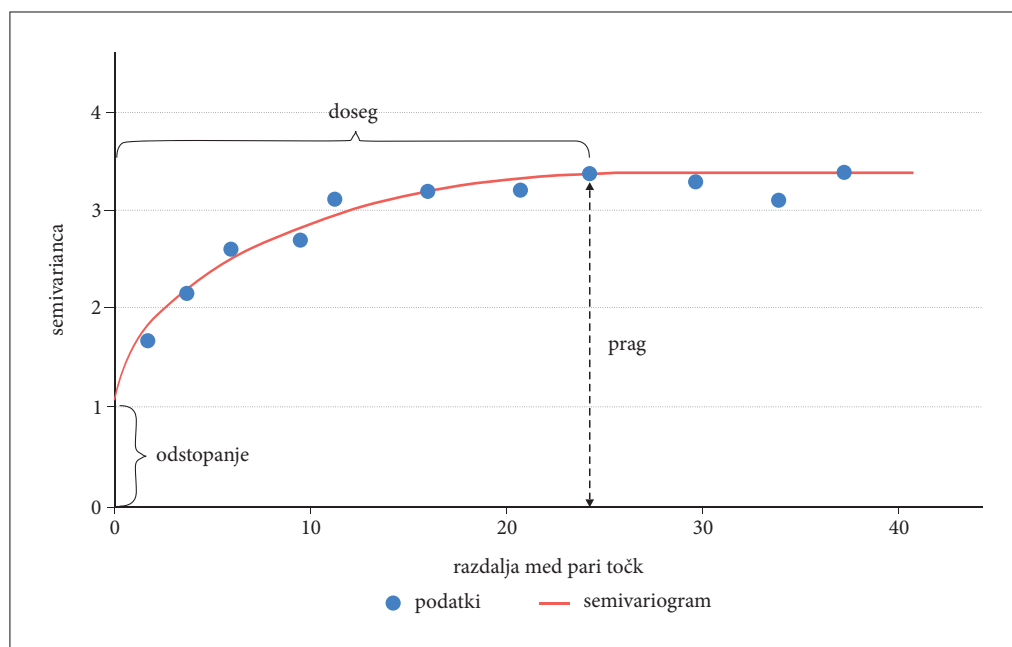
Te lastnosti lahko izkoristimo za preučevanje kraškega površja preko njegove spremenljivosti, ki je v tem prispevku določena kot razlika v nadmorskih višinah površja oziroma digitalnega modela višin (manjša razlika v višinah torej pomeni manjšo spremenljivost površja). Če so vrtače nanizane v eni smeri, bo spremenljivost površja zaradi večje razgibanosti nadmorskih višin v tej smeri precej večja (in s tem bo večja semivarianca) kot na primer v pravokotni smeri, kjer bo površje manj razgibano. Podoben

pristop so za analizo različnih tipov pobočnih sedimentov uporabili Trevisani, Cavalli in Marchi (2009), za analizo kraškega površja pa Lyew-Ayee, Viles in Tucker (2007). Za model krigriranja je bil izbran tako imenovani stabilni model (angleško *stable model*, ki je razširitev eksponentnega modela; Johnston s sodelavci 2001), ker je bilo ujemanje s podatki boljše kot pri na primer sferičnem (Zagmajster, Sket in Culver 2008), Gaussovem ali eksponentnem modelu, pri ostalih preučenihih modelih pa so bila ujemanja še slabša. Semivariogrami so bili narejeni v programskem paketu ESRI ArcGIS 10.5.

Namen prispevka je torej primerjati smerne semivariograme na različno zakraskelih območjih, kjer se pojavljajo vrtače, in preveriti, v kolikšni meri je opisana metoda uporabna za določevanje stopnje anizotropije, pa tudi za to, v kateri smeri je variabilnost površja največja. Ta smer je, kot omenjeno, največkrat vezana na litološke meje in predvsem na tektonske cone.

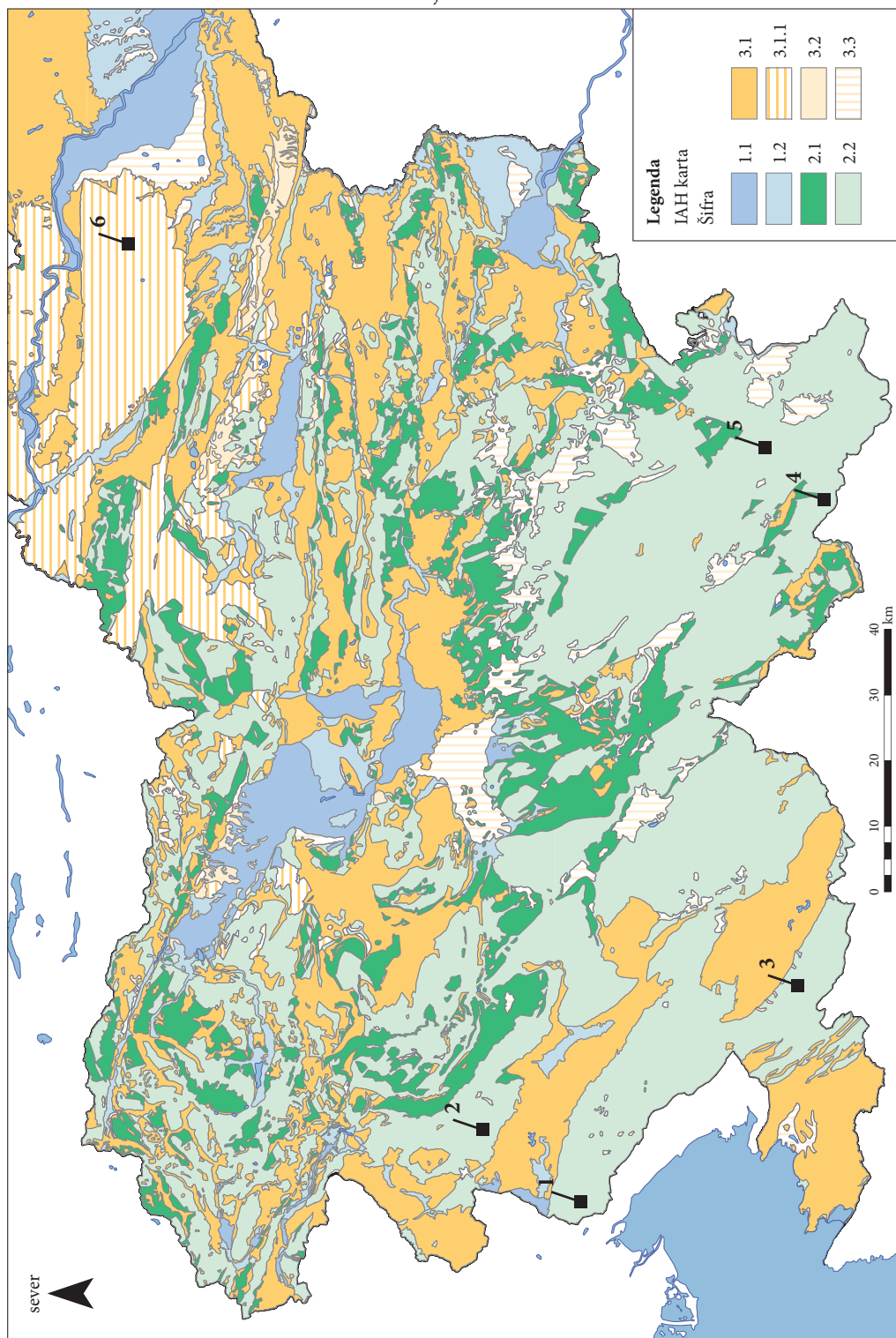
3 Testna območja

Metoda je bila preizkušena na petih kraških območjih in na enem nekraškem za preverbo delovanja metode. Območja (slika 2) so vsa iste velikosti (2×2 km), pridobljena iz rastrskih slojev nadmorskih višin s portala Agencije Republike Slovenije za okolje (Atlas voda 2021). Rastrski podatki imajo prostorsko ločljivost 1×1 m, za analize semivariogramov pa so bili pretvorjeni v vektorske točkovne sloje



Slika 1: Semivariogram in njegove komponente.

Slika 2: Lokacije preučenihih območij (kvadrati 2×2 km), katerih številke od 1 do 6 ustrezajo opisu v preglednici 1. Kratice so šifranti mednarodne hidrogeološke (IAH) karte. Kraške in razpoklinske kamnine so prikazane v zelenih odtenkih s šiframa 2.1 in 2.2. Šifri 1.1. in 1.2 predstavljata porozne medzrnske vodonosnike (predvsem prode), šifre 3.1, 3.1.1., 3.2 in 3.3. pa nekraške kamnine – slabo izdatne manjše vodonosnike ali vodonosnike z omejenimi viri oziroma brez virov podzemne vode (v glavnem magmatske, metamorfne in vulkanoklastične kamnine, fliš, glinavce in podobno). ► (str. 32)

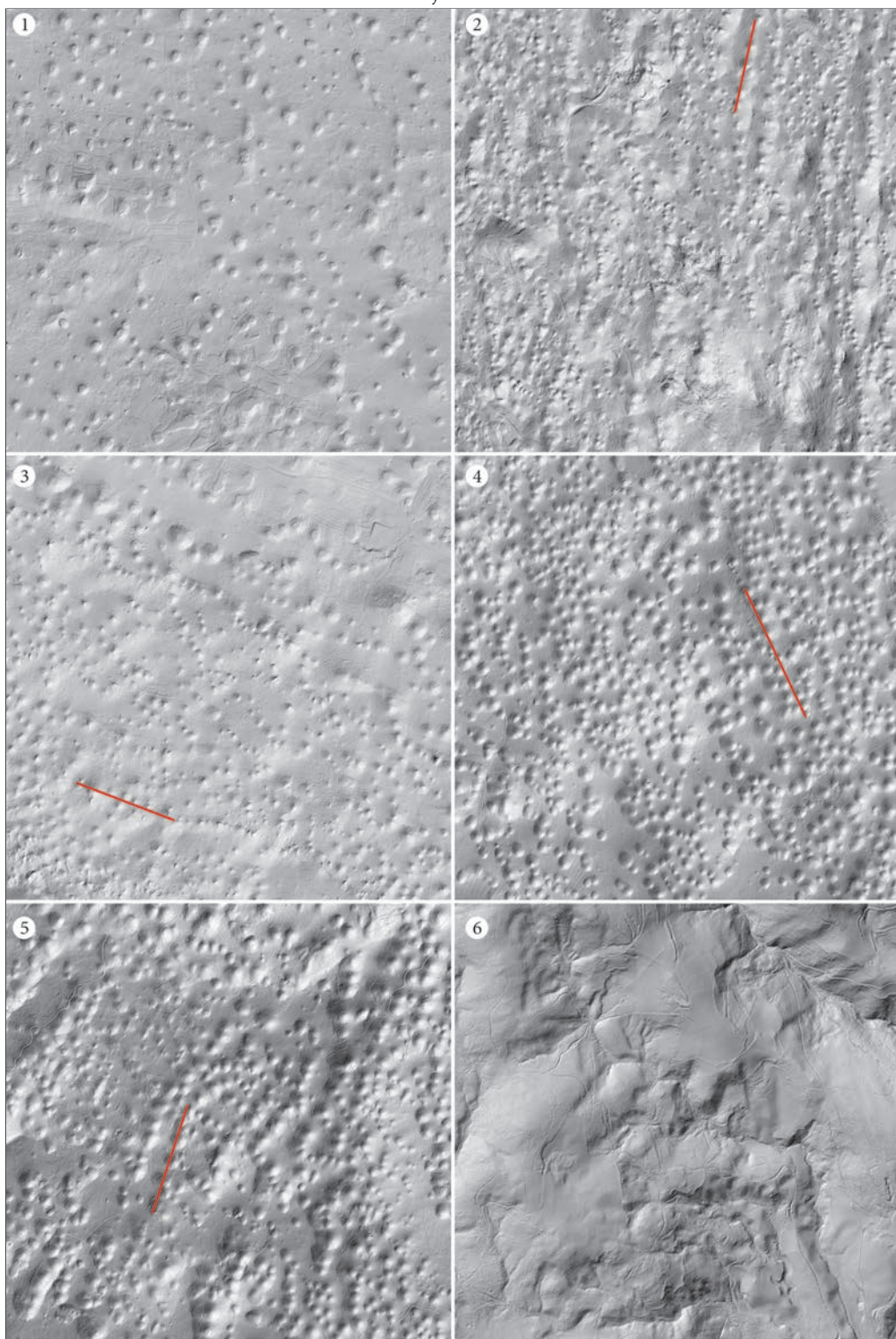


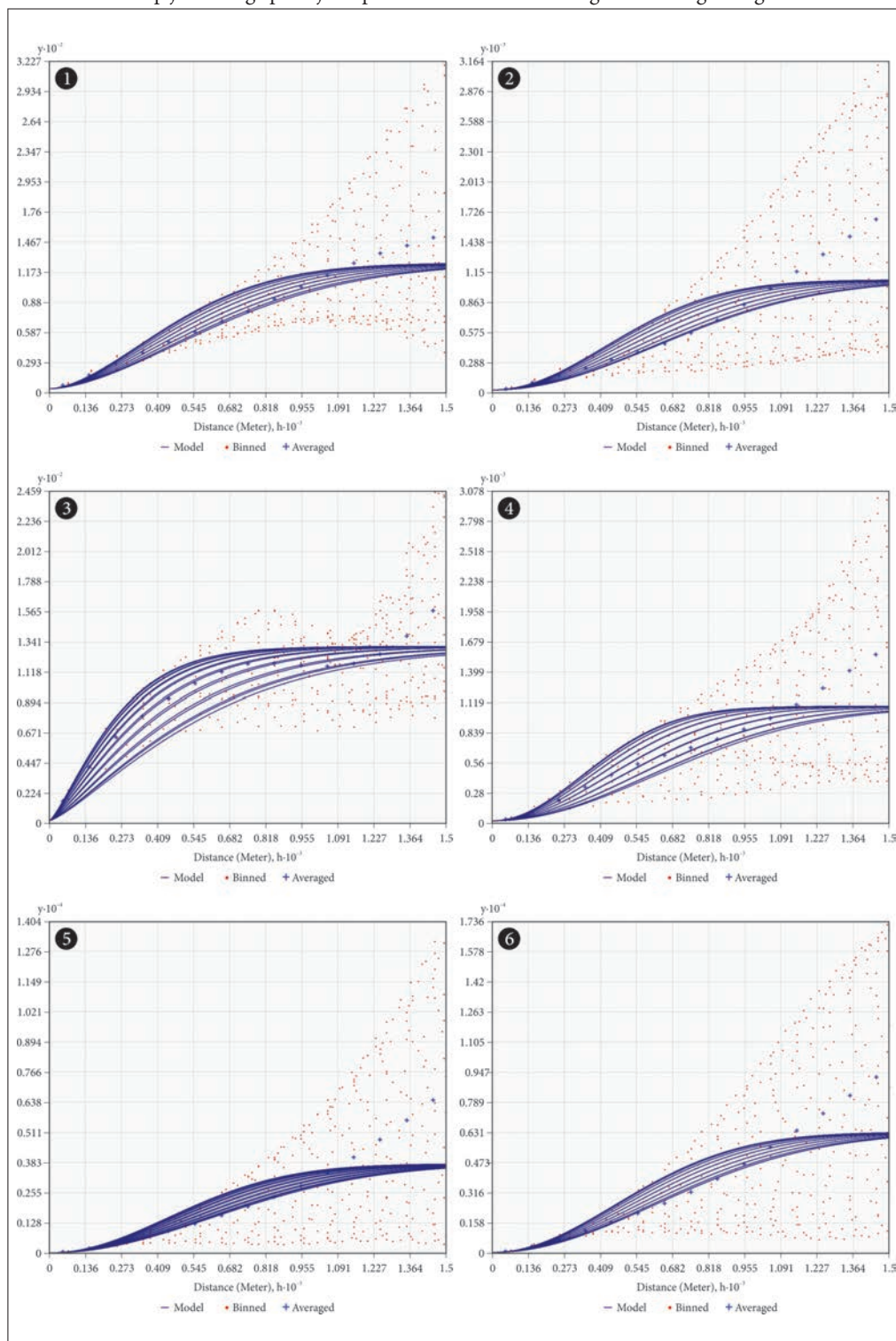
*Preglednica 1: Izbrana območja in njihove lastnosti. *Smer OGK je prevladujoča smer prelomnih struktur, odčitana s pripadajočega lista Osnovne geološke karte v merilu 1:100.000.*

| številka območja na karti | kratko ime | geološka zgradba | opombe | razmerje daljši/krajši doseg | azimut (iz semi-vario-grama) | ročno odčitani azimut | smer OGK* |
|---------------------------|------------------|---|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------|
| 1 | Kras | spodnje- in zgornjekredni apnenci ter dolomiti, zgornjekredni rudistni apnenci | vizualno anizotropno območje | 1,39 | 65° | – | – |
| 2 | Trnovski gozd | plastoviti spodnjekredni apnenci, spodnjekredni deloma oolitni apnenci, zgornjejurski koralni apnenci | vidna anizotropija v dveh smereh | 1,44 | 10° | 15° | 10° |
| 3 | Matarsko podolje | spodnje- in zgornjekredni apnenci ter dolomitne in apnenčaste breče, zgornjekredni rudistni apnenci | vidna izrazita anizotropija | 2,33 | 130° | 120° | 115° |
| 4 | Bilpa | biomikritni spodnjekredni apnenci, v manjši meri dolomiti, apnenčaste breče in zgornjejurski apnenci | vidna izrazita anizotropija | 1,81 | 150° | 155° | 150° |
| 5 | Rog | spodnjekredni biomikritni apnenci, srednejurski mikritni apnenci, v manjši meri spodnejurski dolomiti | vidna anizotropija v dveh smereh | 1,37 | 15° | 15° | 40° |
| 6 | Pohorje | tonalit, muskovitno-biotitni gnajs, v manjši meri amfibolit in marmor | grape, nekraško površje | 1,32 | 15° | – | – |

Slika 3: Senčeni modeli izbranih območij z vrisanimi prevladujočimi smermi nanizanih vrtač. Številke na sliki ustrezajo številkam območij v preglednici 1. Vsa območja so orientirana proti severu in velikosti 2 × 2 km. ► (str. 34)

Slika 4: Semivariogrami izbranih območij. Črta predstavlja model oziroma krivuljo semivariograma, ki jo prilagajamo točkam na grafu – podatkom medsebojnih parov razdalj med prostorskimi točkami, združenimi (angleško binned) v skupine. Ker slik ni možno spreminjati, so tukaj razložene in podane vrednosti na obeh koordinatnih oseh. Vrednosti na x-osi so razdalje med pari točk (povsod je zaradi medsebojne primerjave semivariogramov določena največja ista vrednost, 1500 m). Vrednosti na y-osi so semivarianca, ki je za območja različna in teh vrednosti ni možno prilagajati; za območje ① je vrednost 323 m, ②: 3164 m, ③: 245,9 m, ④: 3078 m, ⑤: 14.040 m, ⑥: 17.360 m. Številke na sliki ustrezajo številkam območij v preglednici 1. ► (str. 35)





z isto prostorsko ločljivostjo, saj metoda krigiranja in semivariogramov kot vhodni podatek zahteva točkovni sloj. Metoda je bila preizkušena tudi na slojih s prostorsko ločljivostjo 5×5 m, ki so bili narejeni iz prvotnih slojev z ločljivostjo 1×1 m z ukazom Resample v programskem paketu ESRI ArcGIS.

Območja so predstavljena na karti, ki prikazuje hidrogeološko zgradbo ozemlja Slovenije (Hidrogeološka karta 2006), in je prikazana namesto geološke karte Slovenije. Razloga sta dva – zaradi enostavnosti, majhnega števila enot in predvsem zaradi dejstva, da je bila izdelana iz litološke karte Slovenije, ta karta odslikava geološko zgradbo ozemlja in zadošča za splošni prikaz izbranih območij. Poleg tega bi bile obstoječe geološke karte v merilu 1 : 100.000 za splošen prikaz preveč podrobne. Litološke enote Geološke karte Slovenije v merilu 1 : 250.000 so bile razdeljene na osnovi svojih hidrogeoloških lastnosti v določene razrede skladno s priporočili IAH klasifikacije (Hidrogeološka karta 2006). Za analizo je bilo izbranih pet kraških območij ter dodatno šesto na Pohorju, kjer se pojavljajo magmatске in metamorfne kamnine. To območje je bilo dodano za primerjavo, kako izgleda vizualno in tudi kvantitativno semivariogram na ozemlju, ki nima take morfološke razgibanosti kot kraške vrtače, ki jih je v izbrani smeri več (in se površje zato hitro spreminja), temveč gre za rečni relief z grapami. Poleg tega tektonika na teh kamninah ne vpliva na oblikovanost tako, kot na krasu, kjer so prelomne strukture ključne za oblikovanost površja.

4 Rezultati in razprava

V preglednici 1 so za vsako preučevano območje podani kvantitativni parametri, pridobljeni z analizo smernih semivariogramov, tako razmerje med največjim in najmanjšim dosegom kot tudi azimut, pri katerem je variabilnost površja največja.

Največje razmerje (2,33) in s tem največja anizotropija površja sta razvidna na območju **Matarskega podolja (številka 3)**, kjer so vrtače vizualno zelo usmerjene v smeri približno SZ–JV, kar ustreza tako litološkim mejam kot tudi tektonskim elementom. Ročno določena smer nanizanih vrtač iz karte senčenega modela površja je 130° (zaradi preglednosti je na kartah na sliki 3 prikazana le po ena reprezentativna črta), računalniško pridobljena vrednost pa 120° . Vrednosti sta si torej zelo podobni. Tudi na območju **Bilpe (številka 4)** je razmerje veliko (1,81), smeri nanizanih vrtač pa sta si zelo podobni. Anizotropija obeh območij je razvidna tudi na semivariogramih (slika 4), saj so krivulje posameznih semivariogramov v različnih smereh med seboj najbolj oddaljene. Manjša, a še vedno vidna anizotropija je na območju **Trnovskega gozda (številka 2)**, kjer je razmerje 1,44 sicer manjše kot prej, a še vedno bistveno večje kot 1 (izotropna vrednost). Tudi krivulje semivariogramov so med seboj manj razmaknjene, a anizotropne lastnosti potrjujejo tudi podobni (ročno in računalniško pridobljeni) vrednosti usmerjenosti vrtač na površju. Pri območju **klasičnega krasa (številka 1)** pa anizotropija vizualno ni razvidna. Da pa gre za vsaj delno anizotropno površje, je razvidno iz krivulj semivariogramov, ki so sicer precej blizu, a dokaj podobne območju 2 (Trnovski gozd), pa tudi razmerji med največjim in najmanjšim dosegom sta si precej podobni (1,44 in 1,39). Verjetno na rezultate vpliva manjše število vrtač, ki so nanizane v smeri približno 65° (označene na sliki 3) in jih metoda semivariograma zazna, vizualno pa niso razvidne. Območje **Roga (številka 5)** je težje interpretirati, saj je vizualno anizotropija velika, a iz semivariogramov to ni razvidno, saj so njihove krivulje dokaj skupaj. Prav tako je relativno majhno tudi razmerje med največjim in najmanjšim dosegom (1,37). Najverjetneje je razlog za razhajanje med vizualno in računalniško vrednostjo v tem, da je morfologija območja bolj pestra kot pri do sedaj omenjenih primerih. Korelacija med posameznimi točkami v prostoru se zato verjetno zmanjša in učinkovitost anizotropije niso več zaznavni. Nekraško območje **Pohorja (številka 6)** že na videz ne kaže kakih anizotropnih značilnosti, kar potrjujejo tako semivariogrami kot razmerja. Krivulje semivariogramov so namreč precej skupaj, predvsem pa je razmerje med največjim in najmanjšim dosegom najmanjše.

Rezultati so zelo podobni tudi za relief s prostorsko ločljivostjo 5×5 m, saj je površje podobno in slabša ločljivost bistveno ne spremeni ničesar. Razlike med razmerji daljšega in krajšega dosega DMR

1 × 1 m in DMR 5 × 5 m se gibljejo od 0,18 % do 3,66 %. Razlike med azimuti DMR 1 × 1 m in DMR 5 × 5 m so podobno majhne – vsa štiri območja (številke od 2 do 5) z izrazito anizotropijo so celo brez razlik.

Samodejno pridobljene preferenčne smeri največje anizotropije se zelo dobro ujemajo tudi z glavnimi smermi prelomov, odčitanimi iz pripadajočih listov Osnovne geološke karte v merilu 1 : 100.000 (preglednica 1), kar potrjuje ugotovitve, da so vrtače vezane predvsem na tektonske strukture.

Opozoriti pa je treba, da je merilo te geološke karte za interpretacijo omenjenih območij neustrezno, saj bi bilo potrebno določiti prelomne strukture v bistveno natančnejšem merilu s strukturno-geološkim kartiranjem (Žvab Rožič, Čar in Rožič 2015; Vrviščar 2016; Čar 2018) in predvsem določiti večje število prelomov ter različne tipe geoloških struktur, ne le smeri samih prelomov.

5 Sklep

Anizotropija površja je precej opazna ter ima različne stopnje glede na litološke in tektonske značilnosti ozemlja. Efekti anizotropije so opazni na vseh kraških območjih, v manjši meri tudi na tistih, ki so vizualno izotropni. Azimuti usmerjenosti vrtač v njih, pridobljenih z ročnim oziroma vizualnim pregledom površja, se zelo dobro ujemajo s tistimi, ki so bili pridobljeni samodejno z analizo semivariograma, pa tudi s smermi prelomov, pridobljenimi z Osnovne geološke karte.

Čeprav je možno že vizualno opaziti preferenčne smeri na površju, je kvantitativni pristop obdelave površja oziroma nadmorskih višin boljši zaradi večje objektivnosti. Tako lahko bolj zanesljivo pridobimo preferenčno smer oziroma azimut največje variabilnosti površja. Če se na območju pojavlja več preferenčnih smeri, pa moramo variabilnosti ugotavljati z izdelavo semivariogramov v več smereh, ki jih določimo sami, nato pa kvantitativno preverjati variabilnosti v izbranih smereh med seboj.

Metoda preučevanja anizotropije z uporabo semivariogramov je torej uporabna na kraških območjih, saj se vrtače orientirajo vzdolž tektonskih struktur in podrejeno litoloških mej. Interpretacija, ki temelji samo na vizualnih lastnostih krivulje semivariograma ali samo na razmerju med daljšim in krajšim dosegom, ni ustrezna, saj moramo upoštevati vse rezultate hkrati.

Kot nadgradnjo metode predlagamo podrobno strukturno-geološko kartiranje izbranih območij, da se pridobi podatke o lastnostih in usmerjenostih prelomnih con, poleg tega pa tudi litološke značilnosti kamnin, saj oboje precej vpliva na vrtače. S tovrstno primerjavo rezultatov kartiranja in računalniško pridobljenih podatkov o površju bo mogoče natančneje preučiti smeri največjih variabilnosti površja in stopnjo anizotropije.

6 Viri in literatura

- Atlas voda, 2021. Medmrežje http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (15. 12. 2021).
- Bauer, H., Schröckenfuchs, T. C., Decker, K. 2016: Hydrogeological properties of fault zones in a karstified carbonate aquifer (Northern Calcareous Alps, Austria). *Hydrogeology Journal* 24-5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1388-9>
- Čar, J. 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta Carsologica* 10.
- Čar, J. 1986: Geološke osnove oblikovanja kraškega površja = Geological bases of karst surface formation. *Acta carsologica* 24/25.
- 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>
- Davis, J. C. 2002: *Statistics and data analysis in geology*. New York.
- Ford, D., Williams, P. W. 2007: *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester.

- Hidrogeološka karta, 2006. Medmrežje <http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BD0A9674F-16B8-45A1-9E30-34B00F3A1C45%7D> (19. 2. 2022).
- 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>
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2001: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Redlands.
- Lyew-Ayee, P., Viles, H. A., Tucker, G. E. 2007: The use of GIS-based digital morphometric techniques in the study of cockpit karst. *Earth Surface Processes and Landforms* 32-2. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1399>
- Mihevč, A., Mihevč, R., 2021. Morphological characteristics and distribution of dolines in Slovenia, a study of a lidar-based doline map of Slovenia. *Acta Carsologica* 50-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v50i1.9462>
- Novljan, Ž. 2021: Morfometrija in gostota vrtač na izbranih pobočjih slovenskega krasa. *Dela* 56. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.56.89-108>
- Podobnikar, T., Štefančič, M., Verbovšek, T. 2019: A GIS-based approach to karst relief cyclicity by using Fast Fourier transform. *AGILE 2019 – Limassol*, June 17-20.
- 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>
- Šušteršič, F. 2006: Relationships between deflector faults, collapse dolines and collector channel formation: some examples from Slovenia. *International Journal of Speleology* 35. DOI: <http://doi.org/10.5038/1827-806X.35.1.1>
- Trevisani, S., Cavalli, M., Marchi, L. 2009: Variogram maps from LiDAR data as fingerprints of surface morphology on scree slopes. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 9. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-129-2009>
- Verbovšek, T., Gabor, L. 2019: Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences* 78. 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. *Bulletin* 90. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1979\)90%3C385:QMO-LIC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1979)90%3C385:QMO-LIC%3E2.0.CO;2)
- Williams, P. W. 1972: Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *Bulletin* 83. 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)
- Zagmajster, M., Sket, B., Culver, D. C. 2008: Prikaz razporeditve vrstne pestrosti podzemeljskih hroščev z uporabo interpolacijskih metod. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*.
- 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>

DOLOČANJE GEOMORFOLOŠKIH IN HIDROGEOLOŠKIH POVEZAV MED VRTAČAMI IN JAMO POLINA PEČ S 3D LASERSKIM SKENIRANJEM

dr. Mateja Breg Valjavec, dr. Rok Ciglič, dr. Jure Tičar

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

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

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

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

dr. Stanka Šebela

ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa

stanka.sebela@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-6019>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_03

UDK: 528.8:551.435.8(497.4)

IZVLEČEK

Določanje geomorfoloških in hidrogeoloških povezav med vrtačami in jamo Polina peč s 3D laserskim skeniranjem

Namen prispevka je določiti, katere vrtače so najbolj neposredno povezane s plitvimi vodoravnimi jamami in za kakšne povezave gre. V raziskavi sledimo trem ciljem: (1) določiti lego jame v vadozni coni vodonosnika, (2) ugotoviti lego vrtač v razmerju do jame, (3) določiti geološke strukture. Raziskava temelji na podatkih letalskega laserskega skeniranja površja in trirazsežnostnega (3D) terestričnega laserskega skeniranja jame. V okviru slednjega smo z mobilnim laserskim skenerjem posneli jamo Polina peč (Matarsko podolje). S programi Leica Cyclone Register 360, Leica Cyclone 3DR, Global Mapper in ArcGISPro smo podatke obdelali in kartirali strukturno-geološke elemente, pomembne za transport vode. V jami smo določili dve območji s povezavami z vsaj tremi vrtačami na površju. Povzeli smo bistvene geomorfološke in geološke značilnosti povezav.

KLJUČNE BESEDE

lasersko skeniranje, oblak točk, kras, vrtača, jama

ABSTRACT

Determining the geomorphological and hydrogeological connections between dolines and the cave Polina peč using 3D laser scanning

The aim of the paper is to determine which dolines are most directly connected to shallow horizontal caves and what the connections are. The research has three objectives: (1) to determine the exact position of the cave in vadoze zone of aquifer, (2) to determine the position of the dolines in relation to cave, and (3) to determine the geological structures. The research is based on airborne laser scanning data for the surface and terrestrial 3D laser scans of the cave. As part of the latter, we scanned Polina peč Cave (Matarsko podolje) using a mobile 3D laser scanner. In the Leica Cyclone Register 360, Leica Cyclone 3DR, Global Mapper and ArcGISPro programs, the data were processed and the geological structures were mapped that are important for the transport of water. We determined two underground areas with connections with at least three dolines on the surface. We summarized main geomorphological and geological characteristics of the connections.

KEY WORDS

laser scanning, cloud points, karst, doline, cave

1 Uvod

Kras je edinstven tip pokrajine, ki zavzema 47 % površja Slovenije (Gostinčar 2016), poleg površja pa tudi podzemne geomorfološke oblike. Povezanost med površjem in podzemljem (na primer med jamo in vrtačami) se lahko določa neposredno s terenskim raziskovanjem človeku prehodnih rovov oziroma s posrednimi metodami, ki »dosežejo« tudi manj dostopne in nedostopne rove. Človek s svojimi dejavnostmi na površju vpliva na površinske oblike, kot so vrtače (Breg Valjavec, Zorn in Čarni 2018) in v podzemlju na kraške vodonosnike (Ravbar s sodelavci 2021). Predpogoj za ugotavljanje in vrednotenje antropogenih vplivov je dobro poznavanje delovanja kraškega hidrogeološkega sistema, ki pa je v večini primerov zelo kompleksen. Njegovo delovanje najlažje raziskujemo s preučevanjem potovanja snovnih tokov (voda, sedimenti) s površja v podzemlje. Poti vode in sedimentov se med kraškimi območji zelo razlikujejo, zato je vsaka povezava med vrtačo in pod njo ležečimi jamskimi rovi edinstvena, odvisna od številnih dejavnikov (tip kamnine, pretrstost kamnine, smer in vpad plasti).

Kadar gre za jamske rove plitvo pod površjem (približno do 50 m), so za preučevanje povezanosti smiselne tudi posredne geoinformacijske metode. Najsodobnejše raziskovanje površja (relief, gozdna vegetacija, stavbe) temelji na tehnologiji visokoločljivostnega laserskega skeniranja (lidar). V krasoslovju so bile raziskave omejene na površje, predvsem na zaznavanje vrtač, pri čemer so se razvile metode za avtomatsko klasifikacijo (Kobal s sodelavci 2015; Telbisz s sodelavci 2016; Verbovšek in Gabor 2019; Grlj 2020; Mihevc in Mihevc 2021; Čonč s sodelavci 2022; Ciglič s sodelavci 2022). Uporabnost letalskega lidarja v jamarstvu sta predstavila Čekada in Gostinčar (2016). Ugotavljala sta uporabnost klasificiranega oblaka točk tal za natančno določanje vhodov kraških jam, predvsem navpičnih brezen. Uporaba lidarjskih podatkov v zadnjem obdobju močno vpliva tudi na izboljšano natančnost lokacij jamskih vhodov v bazi Katastra jam, kar omogoča boljše varovanje najbolj zastopanih naravnih vrednot v Sloveniji (Tičar in Čekada 2018).

Za sledenje in kartiranje jamskih sistemov se je pokazala kot zelo uporabna tehnika terestričnega laserskega skeniranja (TLS) (Buchroithner in Gaisecker 2009), še posebej trirazsežnega (3R) oziroma tridimenzionalnega (v nadaljevanju 3D) terestričnega laserskega skeniranja. 3D TLS je tehnika zajema prostorskih podatkov s pomočjo 3D laserskega skenerja, kjer je rezultat oblak točk, ki predstavlja vse objekte v vidnem polju 3D skenerja. Gre za tehnologijo, ki se zelo hitro razvija in omogoča vedno nove in natančnejše prostorske analize. 3D laserski skenerji, kot mobilni sistemi na stativih ali podobnih stojalih, ki jih imenujemo terestrični 3D laserski skenerji, se uporabljajo v kulturni dediščini, arheologiji, pri meritvah arhitekturnih deformacij, topografskih meritvah in v strojništvu (Možetič 2004). Dosedanje raziskave v Sloveniji so predstavljale uporabo TLS pri antropogenih objektih (zgradbe, tuneli), medtem ko so bili 3D lasersko zajeti tudi že nekateri jamski objekti kot Železna jama (Petrovič s sodelavci 2008), sistem Škocjanskih jam (Novaković s sodelavci 2014; Walters in Zupan Hajna 2020), in Županova jama (Podržaj 2020). Prednost TLS so hitrost, količina in natančnost podatkov (gostota točk). Še vedno so za snemanje jam najbolj razširjeni stacionarni skenerji, s katerimi se skenira iz različnih pozicij v jami in pri katerih je nujna množica postaj po vsej jami, da bi se izognili sencam skeniranja zaradi okluzij v oblaku točk (Holenstein s sodelavci 2011). Prednost stacionarnih skenerjev v primerjavi z mobilnimi je v večjem dosegu laserskega žarka, zato so ti primerni za večje jamske sisteme (na primer Škocjanske jame). Čeprav TLS dajejo hitrejšje in zelo podrobne rezultate, je njihova uporaba v zahtevnih okoljih, kot so brezna in ožine, lahko omejena. Ročni ali mobilni 3D laserski skenerji omogočajo lasersko skeniranje tudi težje dostopnih rovov, ožjih rovov in globljih brezen, kjer ni možnosti namestitve stativa za statični TLS. Mobilni 3D laserski skenerji vključujejo samodejno združevanje točk med premikanjem po prostoru. En sam laserski posnetek med premikanjem operaterja zabeleži na milijone meritev v vseh treh dimenzijah, ki jih sodobni mobilni skener sam združi v 3D oblak točk (Zlot in Bosse 2014; Gallay s sodelavci 2015), izdela trajektorije (pot snemanja) in ustvari notranji koordinatni sistem. S pridobitvijo oblaka točk se ustvari 3D model, ki ga lahko po naknadni obdelavi uporabimo za podrobno preslikavo v realnih, visoko natančnih koordinatah in za različne raziskave jame (Konsolaki s sodelavci 2020).

V prispevku bomo predstavili posreden geoinformacijski pristop, ki temelji na laserskem skeniranju kraškega površja (letalski lidar) in kraških jam (mobilno 3D lasersko skeniranje). Raziskava temelji na uporabi mobilnega ročnega 3D laserskega sistema za skeniranje Leica BLK2GO. Namen prispevka je raziskati značilnosti v povezavah med vrtačami in jamskimi rovi. Rezultati bodo v nadaljevanju raziskave osnova za nadaljnje hidrogeološke in geofizikalne analize ter za določanje vpliva preteklih antropogenih dejavnosti v vrtačah (pašništvo, poljedelstvo, apneničarstvo) na vodoravne jame v vadozni coni. Skladno s tem iščemo odgovore na sledeča vprašanja: Kako globoko je jama pod površjem na določenih odsekih? Ali lahko smeri in vpade plasti v jami povežemo z izdanki apnenca in razpoklinskimi conami na površju? Ali lahko spremembe v kamnini na površju povežemo s spremembami kamnine v jami (plastovit apnenec, masiven apnenec, breča)? Ali se razlike v geoloških značilnostih (tip in starost kamnine, prelomi, debelina, smer in vpad plasti) pri posameznih geomorfoloških oblikah (vrtače, skraplje) odražajo v hidrogeoloških procesih med površjem in podzemljem? Skladno s tem v prispevku sledimo naslednjim ciljem: (1) določiti lego jame v vodonosniku (v vadozni coni), (2) ugotoviti lego posamezne vrtače v razmerju z jamo, (3) določiti geološke strukture (vpadni kot in smer plasti razpoke, prelomi) na površju in v jami in s tem smer tok padavinske vode ter potencialne povezave med posamezno vrtačo in jamo.

2 Preučevano območje: jama Polina peč v Matarskem podolju

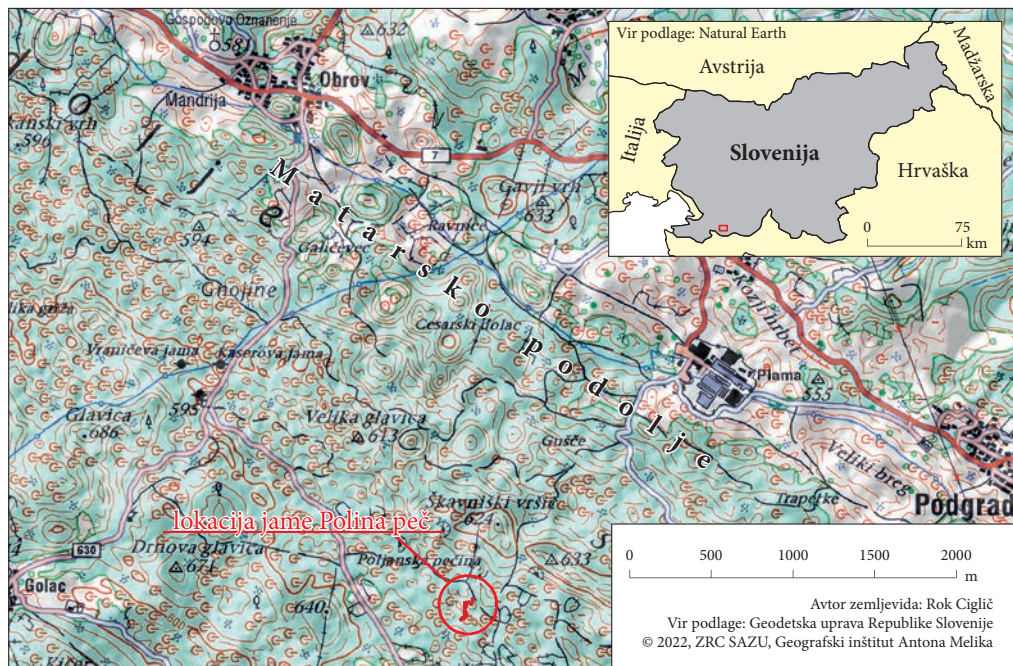
Matarsko podolje je kraška uravnava na nadmorski višini med 500 in 680 m. Oblikovala se je v krednih in paleogenskih apnencih (Verbovšek in Gabor 2019). Najpogostejša površinska geomorfološka oblika so vrtače, med katerimi prevladujejo manjše (do 100 m premera) in plitvejše (do 10 m) korozijske vrtače (slika 1). Njihova gostota je nekaj deset vrtač na km². Vrtače pokrivajo 7 % celotnega podolja (Grlj 2020; Mihevc in Mihevc 2021). Tradicionalno je bilo območje stoletja namenjeno pašništvu, pašniki so bili v prvi polovici 20. stoletja opuščeni in preraščeni s sredozemsko-montanskim gozdom, v katerem prevladujeta bukev (*Fagus sylvatica*) in navadna leska (*Corylus avellana*) v vrtačah, na plitvih tleh izven vrtač pa črni bor (*Pinus Negra*) (Breg Valjavec, Zorn in Čarni 2018). Matarsko podolje meji na flišne Brkine, zato se je na njunem stiku oblikovalo znano območje kontaktnega krasa. V slednjem so razvite jame kontaktnega krasa, ki so jih izoblikovale ponikalnice iz Brkinov. V veliki meri se zato pojavljajo bolj ali manj vodoravne vodne jame (Grlj 2020; Mihevc in Mihevc 2021).

Jama Polina peč je razvita v apnencih spodnje krede K₁¹⁻³, ki po geološki karti (Šikić in Pleničar 1975) pripadajo debeloplastnatim do masivnim apnencem. Karbonatne kamnine so del Brske formacije (barezijske do aptijske starosti). Ponekod na površju lahko poleg apnenca najdemo še karbonatno brečo ali dolomit. Brska formacija, poimenovana po vasi Brje na Tržaško-Komenski planoti, je debela več kot 500 m in jo gradita spodnjekredni bituminozen debelozrnat dolomit in apnenec (Jurkovšek s sodelavci 1996). Jama se nahaja med Materijskim prelomom (Placer 2015) na severu in Skadanskim prelomom na jugu (Placer 2007). Oba dinarska preloma (SZ–JV) sta tektonsko aktivna (Atanackov s sodelavci 2021, Karta aktivnih prelomov Slovenije 2022). Natančen načrt jame Polina peč (slika 2) smo pridobili iz baze Katastra jam (2020).

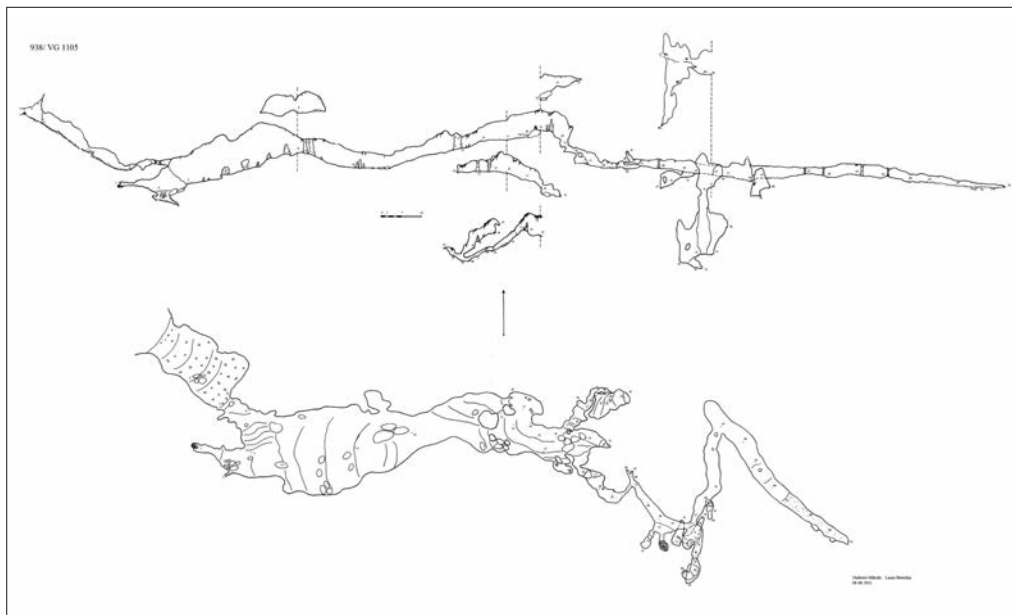
3 Metode in podatki

3.1 Zajem podatkov 3D laserskega skeniranja

Glavnina rovov jame Polina peč je bila lasersko skenirana z mobilnim skenerjem Leica BLK2GO. Gre za najmanjši dvoosni lidar (*dual axis lidar dome*), ki je na voljo z najboljšo natančnostjo v svojem razredu (20 mm), zaprt v popolnoma zaščiteni kupoli. Hitrost laserskega skeniranja znaša 420.000 točk



Slika 1: Pregledni zemljevid Matarskega podolja z lokacijo jame Polina peč (katastrska številka 938), ki se odpira jugovzhodno od Obrova na Matarskem podolju.



Slika 2: Načrt jame Polina peč (katastrska številka 938) iz Katastra jam. Spodnji prikaz je tloris jame, zgornji pa vzdolžni profil.

na sekundo. Doseg laserskega žarka znaša 0,5 do 25 m. Vidno polje sistema zajema za lasersko skeniranje je 360° krat 270° (vertikalni krat horizontalni kot vidnega polja). BLK2GO vključuje sistem vizualizacije z več kamerami (*multicamera vision system*), ki ga sestavljajo vgrajena podrobna kamera z 12 milijoni slikovnih pik za visoko kontrastne posnetke in tri dodatne panoramske kamere za vizualizacijo in navigacijo SLAM (*simultaneous localization and mapping*), za barvanje oblakov točk in zajem panoramskih posnetkov. Z uporabo treh kalibriranih panoramskih kamer algoritem za slikovno podporo samodejno in sproti ustvarja panoramsko fotografijo (300° krat 135°). Ta sistem kamer se uporablja tudi v sklopu VIS sistema (*visual inertial system*) in za obarvanje oblaka točk. GRAND-SLAM je kombinacija visokohitrostnega dvoosnega lidarja, večkamernega vidnega sistema in inercialne merilne enote, ki omogoča BLK2GO samodejno orientacijo brez zunanega sistema za pozicioniranje. Natančna kamera omogoča zajem detaljne fotografije ločljivosti 12 Mpix (vidno polje: 90° krat 120°). Fotografija je zajeta medtem, ko GRAND-SLAM nemoteno deluje (BLK2GO nemoteno skenira okolico in uporablja VIS sistem).

Za prikaz preliminarne lege jame na zemljevidu smo načrt iz Katastra jam vektorsko digitalizirali. Geolociranje jame je pri tem postopku temeljilo na lokaciji koordinat jamskega vhoda v Katastru jam in podatkih o smeri jame. Izmerjena dolžina jame je 365 m, globina pa 38 m. Jamo smo razdelili v 6 sektorjev, ki se deloma prekrivajo za potrebe združevanja v enoten 3D model jame. Prvi sektor vključuje površje z vrtačo z razširjenim naravnim vhodom v obliki spodmola na severovzhodnem pobočju vrtače (slika 3A, svetlo moder sektor). V vrtači smo na območju, kjer smo izvedli lasersko skeniranje, enakomerno razmestili štiri plastične tarče. Tarčam smo s pomočjo sprejemnika GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem) določili koordinate z natančnostjo nekaj centimetrov. Uporabili smo sprejemnik Leica Zeno 20. Koordinate smo pretvorili v državni koordinatni sistem D96/TM ter v tem sistemu določili nato tudi položaj celotnega oblaka točk vrtače in jame. Po štiri tarče smo namestili tudi znotraj jame v območjih prekrivanja posameznih sektorjev (prvi sektor je bil zunaj, pred vhodom v jamo), kar je pripomoglo k boljšemu povezovanju posameznih oblakov točk. Snemanje je potekalo v deloma osvetljenem okolju, kjer je bila svetloba v jami zagotovljena le iz svetilk na varovalnih čeladah. Skeniranje in georeferenciranje jame smo izvedli 23. aprila 2021.

3.2 Podatki letalskega laserskega skeniranja

Za geomorfološko in geološko analizo reliefa nad jamo Polina peč smo uporabili javno dostopne podatke laserskega skeniranja površja, in sicer digitalni model reliefa z ločljivostjo 1 m. Celotna država je bila skenirana s tehnologijo letalskega laserskega skeniranja v letih 2011, 2014 in 2015 v okviru nacionalnega projekta (Agencija RS za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor, 2015). Podatkovni sloji za površje (relief s stavbami in vegetacijo) in relief so bili za celo Slovenijo pripravljeni po enotni metodologiji (Triglav Čekada in Bric 2015) in so prosto dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje.

3.3 Računalniška obdelava in izdelava 3D modela jame

Uvoz in obdelava surovih oblakov točk sta potekala v programu za obdelavo 3D oblakov točk Leica Cyclone Register 360, kjer smo ločene oblake točk združili v enoten 3D oblak točk. Pri tem smo uporabili polavtomatski postopek. Ker je podatkov veliko, se je izkazalo, da je bolje uskladiti oblake točk enega za drugim. Program povezuje in združuje oblake točk samodejno tako, da razpozna podobne vzorce prekrivajočih se območij (slika 3B). Na začetku je bilo potrebno oblake točk registrirati z ročnim določanjem referenčnih točk na prekrivajočem območju (v našem primeru smo uporabili tarče in geološke strukture v jami, na primer razpoke in plasti), ki jih nato algoritem vključi v samodejno poravnavo (*auto alignment*) (Walters in Zupan Hajna 2020). Vizualna poravnava (*visual alignment*) samodejno zavrti delne oblake točk, da se najbolje prilegajo na podlagi geometrije. Na koncu je možno še ročno popraviti odstopanja pred dokončno in optimalno poravnavo, ki jo zaključimo z modulom *optimise allignment*. Združeni 3D oblak točk za celotno jamo obsega 923.638.901 točk v dolžini trajektorija

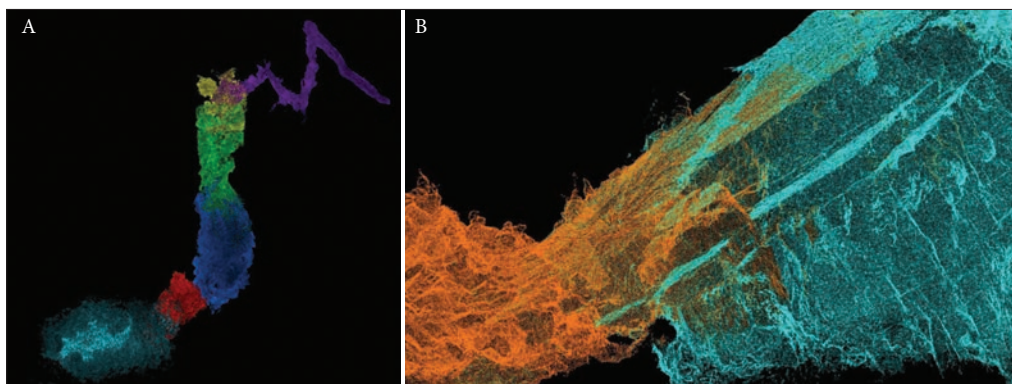
1.692,894 m. Sestavljen je iz 6 delnih oblakov točk (slika 3A), z različnim deležem medsebojnega prekrivanja (preglednica 1), ki v povprečju za celoten 3D oblak točk dosega 33 % prekrivanje s standardno napako 0,004 m.

3.4 Strukturno-geološko kartiranje jame in površja

Podrobno terensko strukturno-geološko kartiranje jame in površja (Čar 1982; Šebela 1998) smo opravili za dopolnitve in primerjave z rezultati 3D laserskega skeniranja (Konsolaki s sodelavci 2020). Kartiranje jame je potekalo na osnovi obstoječega jamskega načrta iz Katastra jam (Jamarska zveza Slovenija). Na načrtu smo označili tip in starost kamnine, debelino plasti, smer in kot vpada plasti ter

Preglednica 1: Značilnosti skeniranja po posameznih sektorjih (delnih oblakih točk).

| | čas snemanja (s) | dolžina trajektorija (m) | število točk v 3D oblaku | delež prekrivanja med sosednjima sektorjema | napaka prekrivanja |
|--------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------------|
| sektor 1 | 441 | 146 | 63.991.805 | 50,19 % | 0,004 m |
| sektor 2 | 438 | 126 | 91.722.013 | 5,30 % | 0,005 m |
| sektor 3 | 1.382 | 491 | 302.821.119 | 33,48 % | 0,004 m |
| sektor 4 | 667 | 238 | 152.559.901 | 49,43 % | 0,004 m |
| sektor 5 | 623 | 224 | 107.785.060 | 27,04 % | 0,004 m |
| sektor 6 | 1.997 | 610 | 302.916.799 | | |
| celotna jama | 5.548 | 1.835 | 1.021.796.697 | 33 % | 0,004 m |



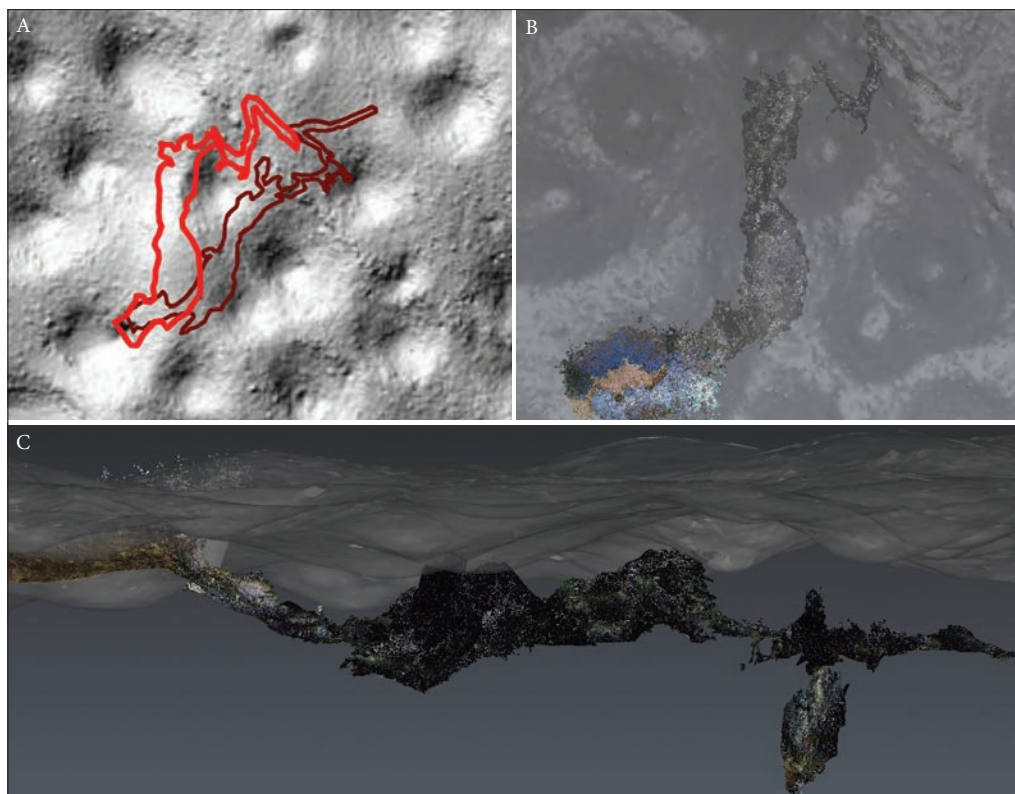
Slika 3: A – sestavljen 3D oblak točk jame iz 6 sektorjev, ki so vidni v različno obarvanih oblakih točk (sektor 1 – svetlo modra, sektor 2 – rdeča, sektor 3 – temno modra, sektor 4 – zelena, sektor 5 – rumena, sektor 6 – vijolična), B – poravnava in prekrivanje dveh zaporednih oblakov točk med postopkom združevanja s pomočjo modula visual alignment.

vidne geološke strukture (prelomi, razpoke, razpoklinske cone). Kartiranje površja je potekalo na natisnjeni kartografski podlagi, ki sta jo sestavljala vizualizacija reliefa z deležem vidnega neba (SVF) (Zakšek, Oštir in Kokalj 2011) v ločljivosti 1 krat 1 m ter čezenj položen prosojen sloj zemljevida TTN 1 : 5.000.

4 Rezultati in razprava

4.1 Projekcija jame na površje in lega pod površjem

Georeferenciran 3D oblak točk jame smo izvozili v standardnih formatih .E57 in .las za nadaljnje analize v GIS programih (Leica Cyclone 3DR 2021.1, ArcGIS Pro in Global Mapper 2.1). V programu Leica Cyclone 3DR smo georeferenciran 3D oblak točk postavili v trirazsežno okolje v razmerju z digitalnim modelom višin 1 krat 1 m. Georeferenciran 3D oblak točk smo projicirali na površje (slika 4A) in ga vektorizirali, da smo lahko določili vrtače, ki so v potencialni hidrogeološki povezavi z jamo. V trirazsežnostnem okolju je možen pogled iz različnih perspektiv (sliki 4B, 4C). Glede na preliminarno projekcijo obstoječega jamskega načrta (slika 4A, temno rdeč poligon) je končna projekcija jame, ki



Slika 4: A – projekcija digitaliziranega jamskega načrta (črn črtkan poligon) in projekcija na terenu zajete- ga 3D oblaka točk jame (rdeč poligon) na površje, B – pogled na 3D model jame pod prosojnim površjem (senčen relief) iz juga proti severu, C – pogled na 3D model jame v osnovni legi smer zahod–vzhod od spodaj navzgor (izpod senčenega lidarskega reliefa), dobro sta vidna vpad plasti po celotni jami ter jamski vhod v vrtači (tudi vegetacija) ter navpično brezno, ki na sliki B ni vidno zaradi navpičnega pogleda od zgoraj.

temelji na 3D modelu jame (slika 4A, svetlo rdeč poligon), nekoliko zamaknjena proti zahodu in v generalnem usmerjena proti severu. Pri določanju vrtač, ki so potencialno povezane z jamo, smo tako upoštevali slednji (lastno izdelan) načrt.

4.2 Strukturno-geološke značilnosti jame

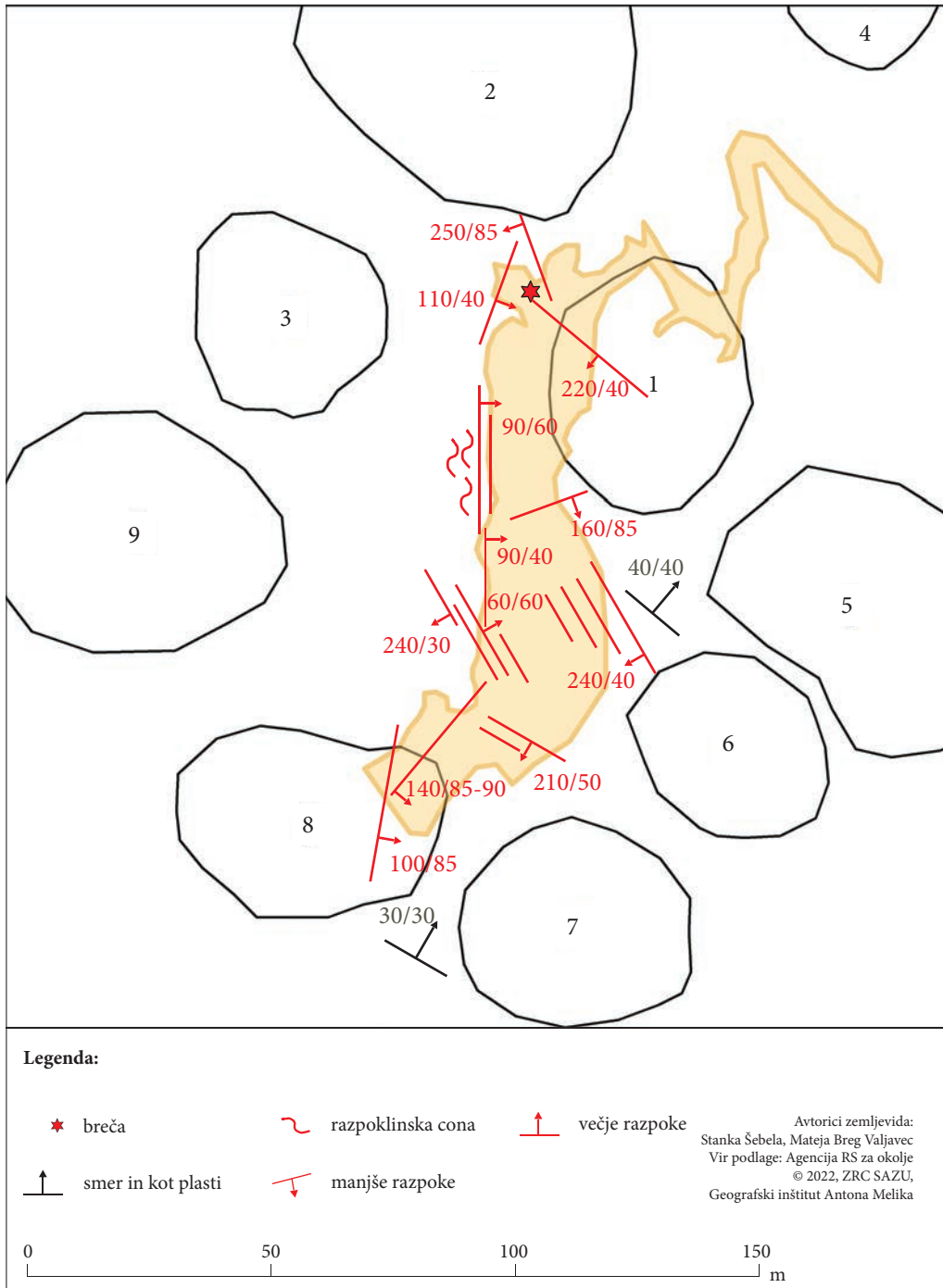
Glede na ogled površja, kjer smo izmerili smer vpada plasti apnenca proti severovzhodu za 30° – 50° , ter geološko karto (Šikić in sodelavci 1972) in 3D lasersko skeniranje jame smo tudi v Polini peči lahko potrdili, da plasti apnenca (spodnja kreda) debeline 1–2 m vpadajo proti severovzhodu (smer vpada 45°) pod kotom 40° (slika 5). Vpad plasti v jami je dobro viden na 3D modelu jame in se ujema s podatki strukturno-geološkega kartiranja oziroma ga dopolnjuje.

V Polini peči smo določili močnejše izražene sisteme razpok v dinarski smeri, kot tudi razpoklinsko cono in šibkejšje izražene razpoke (slika 5). Sklepamo lahko na deformacije gubanja in narivanja (manjši dupleks na vhodu v jamo), kar se ujema s podatki terenskega geološkega kartiranja, ki je bilo opravljeno na površju nekoliko bolj proti severozahodu od Poline peči, kjer so določili narivne prelome po lezikah in duplekse različnih dimenzij (Celarc s sodelavci 2012).

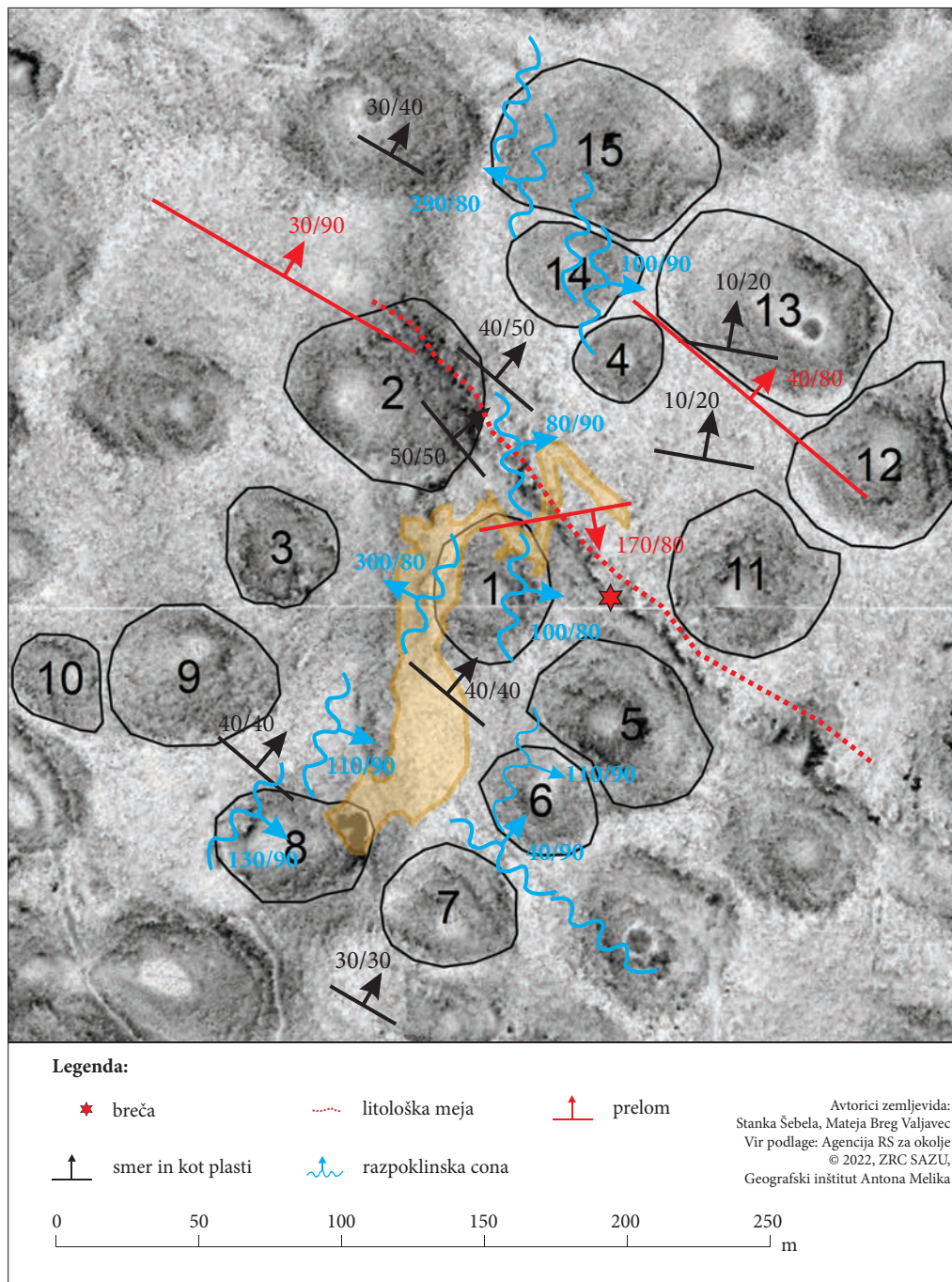
4.3 Jama in njene povezave s površjem

Rezultati strukturno-geološkega kartiranja površja so prikazani na sliki 6. Jasno sta definirani lito-loška in morfološka meja med debeloplastnatim in masivnim apnencem, med katerima se pojavi tudi plast breče. Med geološkimi strukturnimi oblikami smo tudi na površju zaznali razpoklinske cone ter določili prelome s smerjo vpada in vpadnim kotom. Določili smo smer vpada plasti apnenca proti severovzhodu za 20 – 50° . Glede na načrt jame smo naredili izbor petnajstih vrtač v njeni neposredni bližini (slika 6). Kot dodaten kriterij za nadaljnje vrednotenje vrtač smo upoštevali tudi rezultate strukturno-geološkega kartiranja površja nad jamo (slika 6) in same jame (slika 5). Glede na smer in vpad plasti apnencev ter na bližino so za povezanost z jamo najbolj zanimive vrtače na zahodni strani jame (številčne oznake 2, 3, 9, 8, 10), iz katerih bi lahko padavinska voda pritekala v jamo med lezikami, če bi sledila smeri vpada plasti. Neposredno nad jamo oziroma tik ob njej je vrtača 1. Vrtače na vzhodni oziroma jugovzhodni strani so glede na vpad skladov predvidoma slabše hidrološko povezane z jamo, vendarle pa je ob njih veliko razpoklinskih con s precej vertikalno usmerjenostjo (80° – 90°), ki bi zaradi bližine jame lahko usmerjale padavinsko vodo v jamske rove.

V programu Global Mapper smo izdelali vzdolžni navpični profil, ki preseka oblak točk jame in nadležeče površje (slika 7A). Ponazorili smo lego jame pod površjem in posameznih odsekih in vrtače na površju (slika 7B). Profil se začne na zahodnem robu vrtače in poteka v dolžini 50 m proti vzhodnem robu vrtače do spodmola z vhodom v jamo. Vhod v jamo je v obliki spodmola, ki je lociran v pobočju, pod strmo skalo na vzhodnem robu vrtače na nadmorski višini 565 m. Poleg oblike vrtače je v njej prikazana tudi višina grmovno-drevesne vegetacije. Od spodmola naprej se profil v dolžini 30 m lomi v smeri proti severovzhodu. Takoj za najožjim delom vhoda v jamo, kjer so nameščene tudi varovalne rešetke s ključavnico, se jama razširi v veliko in do 20 m visoko podorno dvorano in v nadaljnjih približno 120 m poteka v smeri proti severu. V začetku podorne dvorane je dosežena najnižja nadmorska višina dvorane na 547,2 m, hkrati pa se dve zajedi v stropu dvigata do nadmorske višine nad 570 m. Zaradi omejitve dosega laserskega žarka do 25 m sklepamo, da pri stropnih zajedah nismo dosegli končne višine in bo potrebno meritve v prihodnje dopolniti z dodatnim laserskim skeniranjem bližje stropu oziroma s primernim terestričnim laserskim skenerjem daljšega dosega. V nadaljevanju se podorna dvorana v isti smeri (proti severu) zoži in zniža na nekaj metrov, dno pa se začne dvigovati in na koncu doseže v našem primeru najvišjo izmerjeno nadmorsko višino jame 572 m (strop). V tem delu je jama najbližje površju (okrog 7 m), katero je na tej lokaciji na približno 579 m n. m. v. V zadnjem oziroma novem delu jame, ki je bil odkrit leta 1996 in se imenuje Brežanski rov, se rovi zožijo in ponovno spustijo do 40 m pod površje.



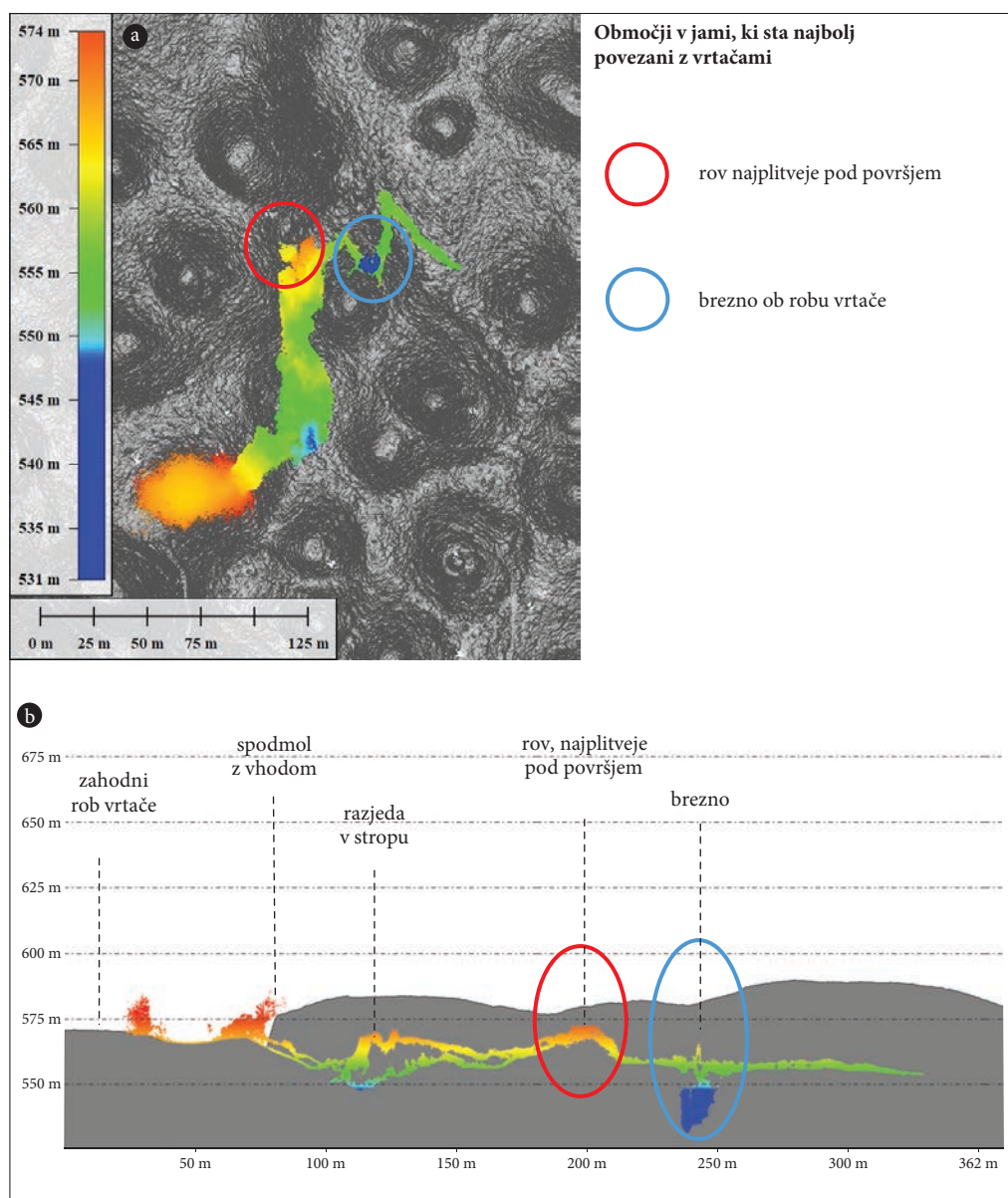
Slika 5: Strukturno-geološki zemljevid jame Polina peč.



Slika 6: Strukturno-geološki zemljevid površja nad jamo Polina peč. Poleg geoloških struktur je označena lega jame (oranžen poligon) in območja petnajstih vrtač (črni poligoni).

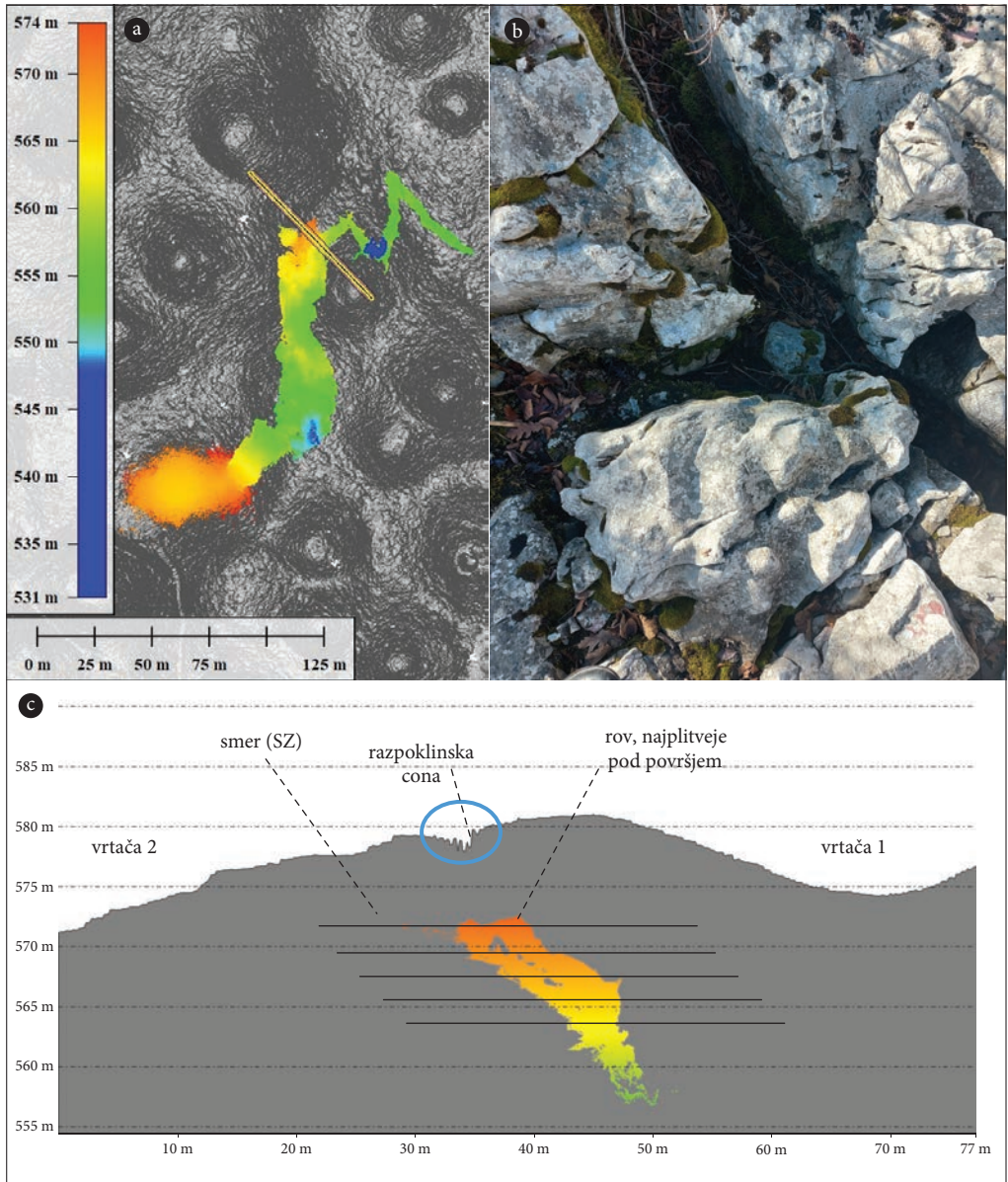
V tem delu ozek vodoravni rov prečno »preseka« navpično brezno, ki pada v globino še 25 m in doseže najgloblje izmerjeno točko jame na 531 m, hkrati pa se brezno dviga tudi proti površju.

V nadaljevanju podrobneje predstavljamo značilnosti dveh povezav označenih na sliki 7, za kateri lahko na osnovi zgolj geoinformacijskih metod z največjo mero verjetnosti potrdimo geomorfološke povezave med vrtači in jamo.



Slika 7: A – 3D oblak točk jame s prikazanimi nadmorskimi višinami projiciran na senčen relief, B – vzdolžni presek jame pod površjem v programu Global Mapper.

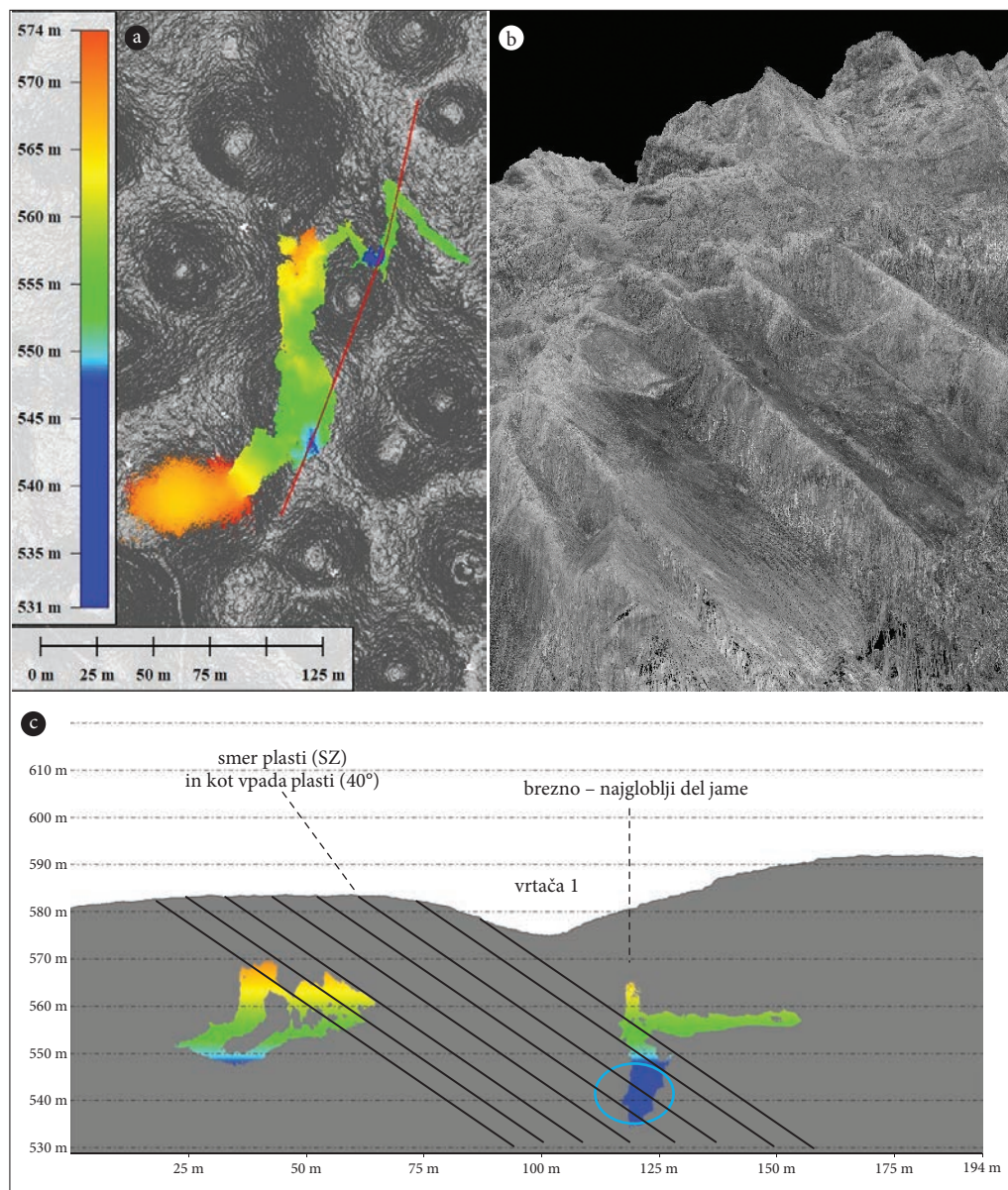
Kot je razvidno na sliki 8C, leži jama najplitveje pod površjem (7 m) med vrtačama 2 in 1, natančneje pod vzhodnim pobočjem vrtače 2. Med vrtačama je za vodo dobro prepustna razpoklinska cona (slika 8B) v prečno dinarski smeri, skozi katero se lahko padavinska voda prav tako usmerja v jama. Geomorfološko povezavo jame s površjem pri vrtači 2 posredno nakazuje tudi večja količina sedimentov,



Slika 8: A – lega prečnega preseka skozi jama, na območju, kjer je rov najplitveje pod površjem v smeri severozahod–jugovzhod, B – fotografija primera razpoklinske cone, C – prečni presek skozi jama in ponazoritev vpada plasti med vrtačama 2 in 1.

ki so usmerjeni v dvorano, ter preprih v razpokah, ki ga je zaznati le v vzhodnem delu jame ter v dvorani pod vrtačo 2.

Vrtača 1 navidezno »objema« jamo vse od jugozahodnega do severozahodnega roba (slika 9A). Na sliki 9C vidimo, da sta jugozahodno pobočje vrtače in del dna vrtače okrog 15 m nad jamskim stropom.



Slika 9: A – lega prečnega preseka skozi jamo na dveh območjih v smeri jugozahod–severovzhod skozi vrtačo 1, B – prikaz vpada plasti na 3D oblaku točk, C – prečni presek skozi jamo in ponazoritev vpada plasti med vrtačo 1 in dvema območjema v jami.

Na osnovi geološkega kartiranja (slika 6) smo na zahodnem robu vrtače 1 določili skoraj subvertikalno razpoklinsko cono v prečno dinarski smeri severovzhod–jugozahod ($300/80^\circ$ in $100/80^\circ$). Vpad plasti je v smeri severozahoda pod kotom 40° , tako kot je vpad plasti v jami (sliki 5 in 9B), kar pomeni, da padavinska voda iz zahodne strani vrtače 1 odteka v smeri brezna na severozahodni strani vrtače, če sledi lezikam med plastmi. Vendar številne razpoklinske cone, kjer so razpoke skorajda navpične, omogočajo tudi neposreden hiter odtok padavinske vode v podzemlje, tudi v jamo neposredno pod površjem.

Med vrtačami se v raziskavi nismo posvetili vrtačam, ki ležijo severovzhodno od jame, predvidoma 40 m nad jamo. Ker predvidevamo, da se jamski rovi nadaljujejo v različne smeri, so omenjene vrtače zanimive predvsem zaradi možnih geomorfoloških in hidrogeoloških povezav s še neodkritim delom jame. V eni od teh vrtač se na robu dna odpira vhod v jamo, kar nakazuje prepih na vhodu. Zaradi neposredne bližine obeh jam obstaja verjetnost, da sta jami povezani.

Čeprav je uporaba TLS omejena na manjša preučevana območja, omogoča bolj natančen 3D zajem objektov kot zračno lasersko skeniranje. 3D laserski skenerji so poenostavili celovito zajemanje podatkov o objektih, saj omogočajo preprosto in hitro zajemanje velike količine prostorskih koordinat točk skeniranih objektov ter njihovo predstavitev v obliki ravninskih ali prostorskih modelov (Mozetič 2004). Velika prednost 3D laserskega skeniranja je njegova zmožnost delovanja v popolni temi. Razmerje med porabljenim časom za skeniranje in pisarniško obdelavo je nekje med 1 : 3 do 1 : 5, odvisno od zahtevnosti skeniranja, velikosti in celovitosti objekta ter želenega končnega rezultata (Mozetič 2004). V prostorskem oblaku točk lahko merimo razdalje, računamo površine in volumne, izdelamo poljubne prereze itd.

5 Sklep

3D lasersko skeniranje in izdelava oblaka točk omogoča natančno 3D modeliranje in kartiranje kraških jam. Z uporabo sprejemnika GNSS za določanje položaja in natančnim georeferenciranjem izmerjenih točk zunaj jame postavimo jamo v državni koordinatni sistem (v našem primeru D96/TM) in jo primerjamo s površjem nad njo, kar je bil glavni namen tega prispevka. Uporabljeni pristop omogoča določanje potencialnih geomorfoloških in hidrogeoloških povezav med vrtačami in jamskimi rovi, ugotavljanje natančne lege in globine jame pod vrtačo, smer in vpad plasti kamnine, kartiranje strukturnih razpok ter globino in površino geomorfoloških in geoloških oblik na površju, kot so vrtače, grezi, ponori, škraplje ter razpoklinske cone.

Potencialne hidrogeološke povezave, ki jih zaznamo z geoinformacijskimi metodami, so podlaga za nadaljnje raziskave z uporabo dodatnih hidroloških (na primer sledenje) in geofizikalnih metod (na primer meritev električne upornosti tal). Metoda je uporabna tudi na kraških območjih zunaj Slovenije, kjer so na voljo podatki letalskega laserskega skeniranja za območje celotne države.

ZAHVALA: Raziskavo je financirala Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru temeljnega raziskovalnega projekta Koncept soodvisnosti v krasu: povezanost vrtač in jam z vidika antropogenih vplivov (J6-2592) in raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101).

6 Viri in literatura

Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Jež, J., Celarc, B., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A., Bavec, M., Kastelic, V., 2021: Database of active faults in Slovenia: Compiling a new active fault database at the junction between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin tectonic domains. *Frontiers in Earth Science* 9:604388. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.604388>.

- Breg Valjavec, M., Zorn, M., Čarni, A. 2018: Human-induced land degradation and biodiversity of Classical Karst landscape: On the example of enclosed karst depressions (dolines). *Land Degradation and Development* 29. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3116>.
- Buchroithner, M. F., Gaisecker, T. 2009: Terrestrial laser scanning for the visualization of a complex dome in an extreme Alpine cave system. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation* 4. DOI: <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2009/0025>.
- Ciglič, R.; Čonč, Š.; Breg Valjavec, M. 2022: The impact of digital elevation model preprocessing and detection methods on karst depression mapping in densely forested Dinaric Mountains. *Remote Sensing*, 14, 2416. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14102416>
- Celarc, B., Jurkovšek, B., Placer, L., Milanič, B. 2012: Strukturna zgradba območja med Dinaridi in Istrskim polotokom: Vpliv tektonike plošč na gradnje velikih infrastrukturnih objektov (primer 2. tira Divača – Koper). *Razprave 6. posvetovanja slovenskih geoteknikov*, Lipica, 14. - 15. junij 2012, SloGeD, 49-66, <http://sloged.si/wp-content/uploads/Razprave%206.%20posvetovanja/0.1.pdf> (8.4.2022).
- Čar, J., 1982: Geologic setting of the Planina Polje ponor area. *Acta Carsologica*, 10, 75-105.
- Čekada, M., Gostinčar, P. 2016: Uporaba Lidarja v jamarstvu. *Digitalni podatki. GIS v Sloveniji* 13. Ljubljana.
- Čonč, Š., Oliveira, T., Portas, R., Černe, R., Breg Valjavec, M., Krofel, M. 2022: Dolines and cats: Remote detection of karst depressions and their application to study wild felid ecology. *Remote Sensing* 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14030656>
- Gallay, M., Kaňuk, J., Hochmuth, Z., Meneely, J. D., Hofierka, J., Sedlák, V. 2015: Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology* 44-3. DOI: <https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.3.6>
- Gostinčar, P. Geomorphological characteristics of karst on contact between limestone and dolomite in Slovenia. Dissertation, 623 Fakulteta za podiplomski študij univerze v Novi Gorici, 2016.)
- Grlj, A. 2020: Omejevanje kraških kotanj z analizo polrezov. *Dela* 53. DOI: <https://doi.org/10.4321/dela.53.5-22>.
- Holenstein, C., Zlot, R., Bosse, M. 2011: Watertight surface reconstruction of caves from 3D laser data. *Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. San Francisco. DOI: <https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6095145>
- Jurkovšek B., Toman, M., Ogorelec B., Šribar L., Droben K., Poljak M., Šribar L. 1996. Geological map of the southern part of the Trieste-Komen plateau, Cretaceous and Paleogene carbonate rocks 1:50 000. *Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko*, Ljubljana, 142 pp.
- Konsolaki, A., Vassilakis, E., Gouliotis L., Kontostavlos, G., Giannopoulos, V. 2020: Visokoločljivostno digitalno 3D modeliranje podzemeljskih morfoloških struktur v jami Koutouki, Grčija. *Acta Carsologica* 49-2/3. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v49i2-3.7708>
- Kobal, M., Bertonecelj, I., Pirotti, F., Dakskobler, I., Kutnar, L. 2015: Using lidar data to analyse sink-hole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover – Case study of a high karst area in the Dinaric Mountains. *PLoS ONE* 10-3. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122070>
- Mihevč, A., Mihevč, R. 2021: Morphological characteristics and distribution of dolines in Slovenia, a study of a lidar-based doline map of Slovenia. *Acta Carsologica* 50-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v50i1.9462>
- Mozetič, B. 2004: Terestrično 3D (trirazsežno) lasersko skeniranje. *Geodetski vestnik* 48-3.
- Novaković, G., Mlekuž, D., Rozman, L., Lazar, A., Peric, B., Cerkenik, R., Peternelj, K., Erič, M. 2014: New approaches to understanding the world natural and cultural heritage by using 3D technology: UNESCO's Škocjan Caves, Slovenia. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 3-4. DOI: <https://doi.org/10.1260/2047-4970.3.4.629>
- Petrovič, D., Grigillo, D., Gnilšek, J., Vežočnik, R., Kosmatin Fras, M. 2008: Lasersko skeniranje Železne jame in možnost uporabe zajetih podatkov. *GIS v Sloveniji* 9, *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji* 2007-2008.

- Placer, L. 2007: Kraški rob, Geološki prerez vzdolž AC Kozina – Koper. *Geologija* 50-1. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2007.003>
- Placer, L. 2015: Simplified structural map of Kras, Kras (Slovene), Carso (Italian) = Geographical unit. *Geologija* 58-1. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2015.008>
- Podržaj, P. 2020: 3D lasersko skeniranje Županove jame. Magistrsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Ravbar, N., Petrič, M., Blatnik, M., Švara, A. 2021: A multi-method approach to create improved indicators for the adequate karst water source protection. *Ecological Indicators* 126-1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107693>
- Šebela, S. 1998: Tectonic structure of Postojnska jama cave system. ZRC publishing 18, Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/961618265X>
- Šikić, D., Pleničar, M., Šparica, M., Grad, K., Rijavec, J., Buser, S., Blašković, I., Prelogović, E., Dozet, S., Drobne, F., Mioč, P., Orehek, A., Pavlovec, R., Šribar, L., Turnšek, D., Magaš, N. 1972. Osnovna geološka karta SFRJ. / L 33-89, Ilirska Bistrica. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić, D., Pleničar, M. 1975: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, tolmač lista Ilirska Bistrica L 33-89. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Telbisz, T., Látos, T., Deák, M., Székely, B., Koma, Z., Standovár, T. 2016: The advantage of lidar digital terrain models in doline morphometry compared to topographic map based datasets – Aggtelek karst (Hungary) as an example. *Acta Carsologica* 45-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v45i1.4138>
- Tičar, J., Čekada, M. 2018: Natančnost določanja lege naravnih vrednot v Sloveniji na primeru kraških jam. *Pokrajina v visoki ločljivosti. GIS v Sloveniji* 14. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije/The project of laser scanning of Slovenia is completed. *Geodetski vestnik* 59-3.
- Verbovšek, T., Gabor, L. 2019: Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences* 78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8398-6>
- Walters, R., Zupan Hajna, N. 2020: 3D Laser scanning of the natural caves: example of Škocjanske jame. *Geodetski vestnik* 64-1. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.89-103>
- Zakon o varstvu podzemnih jam. Uradni list Republike Slovenije 2/2004. Ljubljana.
- 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>
- Zlot, R., Bosse, M. 2014: Three-dimensional mobile mapping of caves. *Journal of Cave and Karst Studies* 76-3. DOI: <https://doi.org/10.4311/2012EX0287>

MODELIRANJE VODNE EROZIJE TAL V SLOVENIJI

dr. Borut Vrščaj

Kmetijski inštitut Slovenije in Fakulteta za varstvo okolja

borut.vrscaj@kis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7220>

Peter Kastelic, Janez Bergant

Kmetijski inštitut Slovenije

peter.kastelic@kis.si, jani.bergant@kis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_04

UDK: 551.311.2:659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Modeliranje vodne erozije tal v Sloveniji

Erozija, še posebej vodna erozija, je ena bistvenih groženj tlom v svetu, saj ogroža celoten nabor ekosistemskih storitev tal. Boj proti eroziji je zato eden najpomembnejših ukrepov v kmetijstvu, pa tudi v gozdarstvu in drugih rabah prostora. Za uspešno varovanje in omejevanje erozije je treba oceniti erozijska tveganja v prostoru kot tudi intenzivnost erozijskih procesov.

Prispevek predstavlja zasnovo in izvedbo modela RUSLE, modela vodne erozije tal v Sloveniji. Opisani so vhodni nacionalni vsebinski in prostorski podatki, zasnova in izvedba posameznih erozijskih dejavnikov, združena izvedba v okolju GIS in RUSLE-SI ter ocene količine erodiranih tal na različnih rabah tal. Rezultati modeliranja RUSLE (informacijski sloji) so integrirani v GSERmap in tako predstavljajo prispevek Slovenije k izdelavi Globalne karte erozije tal FAO.

KLJUČNE BESEDE

erozija, model RUSLE, tla, GIS

ABSTRACT

Modelling soil water erosion in Slovenia

Erosion, especially water erosion, is one of the major threats to soil in the world. Erosion threatens the full range of soil ecosystem services. Combating erosion is therefore one of the most important measures in agriculture, as well as in forestry and other land uses. To successfully protect and limit erosion, it is necessary to assess erosion risks both spatially and in terms of the intensity of erosion processes.

The paper presents the design and implementation of the RUSLE model of water-soil erosion in Slovenia. The national spatial and content input data, the design and GIS implementation of the individual modules of the erosion factors are described, as well as the RUSLE-SI GIS procedure and estimates of eroded soils under different land uses.

The RUSLE modelling results (information layers) are integrated into the GSERmap and thus represent Slovenia's contribution to the creation of the FAO Global Soil Erosion Map.

KEY WORDS

erosion, RUSLE model, soil, GIS

1 Uvod

Erozija tal je naraven geomorfni proces odnašanja talnih delcev s površine tal. Zaradi delovanja človeka je lahko močno pospešena in pogosto nekajkrat večja kot v naravnih razmerah. Po izvoru jo delimo na vodno in vetrno erozijo tal (FAO 2019). Vodno erozijo povzročajo intenzivni padavinski dogodki, v primeru vetrne erozije pa močnejši vetrovni pojavi (na primer burja). Erozijo lahko obravnavamo na različnih prostorskih ravneh (na primer njiva, porečje, regija, država, celina). Časovno ni konstantna, saj se v največji meri dogaja ob ekstremnih vremenskih dogodkih. Prav zaradi tega je ocenjevanje izdatnosti erozije težka naloga. O nesprejemljivi eroziji govorimo, ko masa erodiranih tal presega maso nastajajočih tal. Slednja je po ocenah Verheijena in sodelavcev (2009; po Zorn 2015) v Evropi med 0,3 in 1,4 t/ha letno.

Za ocenjevanje obsega in izdatnosti erozije so se uveljavile različne strokovne metode in modeli. Takih, ki bi hkrati upoštevali vse možne dejavnike in natančno opredelili izdatnost erozije tal, pa pravzaprav ni. Pri uporabi erozijskih modelov je zato potrebna previdnost pri izbiri vhodnih podatkov in prostorski ločljivosti. Nujna je kritična presoja reprezentativnosti modela v določenem prostoru, na določenih tleh in kasneje preverjanje stanja v naravi. V Evropi je trenutno uveljavljena ocena po RUSLE2015 metodi, ki ocenjuje povprečno stopnjo vodne erozije na 2,46 t/ha letno (Panagos in sodelavci 2015a).

Cilj študije je bil na podlagi modela RUSLE preveriti oceno erozije za Slovenijo (Panagos in sodelavci 2015a), ob uporabi natančnejših podatkov. Rezultati kažejo na izdatnost erozijskih procesov v Sloveniji in na nujnost usmerjanja kmetijsko okoljskih ukrepov v novem programskem obdobju Programa razvoja podeželja ter so hkrati prispevek k razpravi o varovanju tal na ravni Slovenije.

2 Osnovno o modelu ocene vodne erozije RUSLE in njegovih dejavnikih

RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*, popravljena univerzalna enačba izgube tal) skupino empiričnih modelov za oceno izgube tal zaradi erozije zastopajo modeli temelječi na USLE (*Universal Soil Loss Equation*, univerzalna enačba izgube tal). USLE je empirični model, ki se uporablja za oceno povprečne letne stopnje erozije tal (ton/enoto površine tal) za dano kombinacijo sistema rastlinskih kultur, praks upravljanja in agrotehničnih ukrepov, talnih tipov, padavinskih režimov in topografije. Model je bil razvit na kmetijskih poskusnih ploskvah v Združenih državah Amerike (Wischmeier in Smith 1978). Enačba modela predstavlja splošen matematično-empiričen izraz ocene izdatnosti erozije na izbrani površini:

$$E = Rf * Kf * Lf * Sf * Cf * Pf,$$

pri čemer je: E – povprečna letna izguba tal z vodno erozijo na enoto površine (t/ha leto), Rf – dejavnik erozivnosti padavin ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{leto}^{-1}$), Kf – dejavnik erodibilnosti tal ($\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$), Lf – dejavnik dolžine pobočja (brez enot), Sf – dejavnik nagiba pobočja (brez enot), Cf – dejavnik pokrovnosti in rabe tal (brez enot) in Pf – dejavnik zaščitnih ukrepov (brez enot).

Model USLE uporabljajo v številnih državah, v različnih velikostnih okvirih ter različnih podnebnih območjih. USLE je kljub svojemu imenu (»universal«) najbolj primeren za srednje težka tla, pobočja dolžine do 122 m, nagibe med 3 % in 18 % ter tla, ki jih obdelujejo z običajnimi agrotehničnimi ukrepi. Standardna testna erozijska kmetijska površina je pravokotnik dolžine 22,1 m, širine 1,83 m z nagibom 9% (Wischmeier in Smith 1978).

Model USLE je bil večkrat nadgrajen (na primer RUSLE, RUSLE2 in MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*)). Model RUSLE vključuje nove padavinske erozijske karte ZDA in predvsem izboljšane algoritme obravnave različnih dejavnikov USLE (Renard in sodelavci 1997). Dodane so spremembe

k erodibilnosti tal zaradi procesov zmrzovanja-odmrzovanja ter vlage tal pri metodi računanja dejavnikov pokrovnosti in obdelave tal, spremembe pri integraciji vpliva topografije ter posodobljene vrednosti za upoštevanje agrotehničnih ukrepov (Renard in Freimund 1994).

2.1 Dejavniki, ki določajo izdatnost vodne erozije

2.1.1 Erozivnost padavin (R_f)

Procesi erozije tal so ključno odvisni od kinetične energije padavin (Yin in sodelavci 2015). Erozivnost padavin določajo: intenziteta dežja in časovna razporeditev (mm/h), kinetična energija dežnih kapljic oziroma njihova razporeditev, velikost in hitrost padanja ter trajanje padavinskega dogodka. Merjenje kinetične energije padavin (E) zahteva napredne merilne naprave in posledično meritve niso zelo pogoste. Običajno specifično kinetično energijo padavin izračunavajo kot funkcijo intenzitete padavin (Petan 2010).

R_f je vhodna spremenljivka modela RUSLE, ki opredeljuje erozivnost padavin kot posledico količine ter intenzivnosti dežja in vodnega odtoka. R_f sta v sklopu metode USLE utemeljila Wischmeier in Smith (1965; 1978), kasneje pa so ga nadgrajevali Arnoldus (1980), Renard in sodelavci (1997), Loureiro in Coutinho (2001), Panagos in sodelavci (2015c) ter drugi. R_f ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{leto}^{-1}$) je podan kot letno povprečje vsote produktov kinetične energije padavin (E) in maksimalne 30-minutne intenzitete padavin (I_{30}) erozivnih dogodkov (ed), ki so nastopili v daljšem časovnem obdobju trajanja N let:

$$R = \frac{\sum ed \cdot I_{30}}{N}.$$

Petan (2010) je za Slovenijo na podlagi 31 pluviografskih merilnih mest Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) z vsaj 10-letnim nizom podatkov (1999–2008) in s 13 postaj z dnevnim beleženjem količine padavin izdelal rastrski sloj letne erozivnosti padavin z ločljivostjo 100 m.

2.1.2 Erodibilnost tal (K_f)

Erodibilnost tal ($\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$) v modelu RUSLE izraža večje število lastnosti tal in predstavlja občutljivost tal za erozijo in stopnjo površinskega odtoka, merjena pri standardnih pogojih stanja površine. Lastnosti tal se spreminjajo tako v zelo kratkem (letni časi), kakor tudi v krajšem (nekaj let) in srednjem časovnem obdobju (nekaj deset, sto, tisoč let); oziroma so praktično nespremenljive. Na K_f vplivajo talne lastnosti: zrnavost tal, vsebnost talne organske snovi in struktura tal. Okvirne vrednosti K_f glede na zrnavost tal so za: lahka, pretežno peščena tla (0,007–0,053), srednje težka tla (0,033–0,053) in meljasta tla (prek 0,053) (NRCS 2014). V modelu RUSLE ni priporočljiva ekstrapolacija vrednosti K_f nad 4 % talne organske snovi.

2.1.3 Pokrovnost tal (C_f)

Pokrovnost tal opredeljuje vpliv rabe tal in s pokrovnostjo tal povezanih kmetijskih praks na erodibilnost tal. C_f je koeficient, ki kvantitativno oceni vpliv pokrovnosti tal in kmetijskih praks na erozijo glede na referenčne pogoje. Referenčne pogoje predstavlja zemljišče z golimi tlemi, orano vzporedno s pobočjem, kjer je vrednost $C_f 1$ (Panagos in sodelavci 2015b). C_f je glede protierozijskih ukrepov najpomembnejši dejavnik, saj ga je mogoče uravnavati prek ukrepov kmetijske politike in dobrih kmetijskih praks, ki zmanjšujejo razsežnost pojava erozije. Izračune C_f so opredelili različni avtorji (na primer Renard in sodelavci 1997; Van der Knijff, Jones in Montanarella 2000; Verstraeten in sodelavci 2001; Notebaert in sodelavci 2006; Djoukbal in sodelavci 2019). C_f upošteva vpliv predhodne rabe tal, rastlinski pokrov, zastiranje, hrapavost in vlažnost tal na mesečni ravni.

Zaradi kompleksnosti avtorji dejavnik pokrovnosti in rabe tal pogosto ocenijo tudi preprosteje – za izračun ne uporabljajo modelov, temveč dejavnik vežejo neposredno na vrsto rabe tal. V Sloveniji so obravnavali in praviloma *Cf* vezali na vrsto rabe tal Bezak in sodelavci (2015), Petek (2017), Meden (2018) ter Komac in Pavlič (2017) Vrednosti *Cf* glede na vrsto rabe tal omenjenih avtorjev povzema preglednica 1.

*Preglednica 1: Vrednosti Cf izbranih avtorjev, pripisane vrstam rabe tal po evidencah Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP 2020) (*vrednosti z nekaterimi spremembami povzeto po: Auerswald in Schmidt (1986), Richter (1991) in Petkovšek (2002); ** povzeto po Wischmeier in Smith 1978; *** vrednosti C za CLC-SI povzete po Panagos in sodelavci 2015b.)*

| raba tal | Panagos in sodelavci 2015b (Craba) | Bezak in sodelavci 2015* | Komac in Pavlič 2017** | Meden 2018*** |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------|
| njive in vrtovi | – | 0,100 | 0,035 | 0,136 |
| hmeljišča | – | 0,250 | – | – |
| rastlinjak | – | – | 0,0001 | – |
| vinograd | 0,15–0,45 (povprečno 0,3) | 0,300 | – | 0,299 |
| intenzivni sadovnjak | 0,1–0,3 (povprečno 0,2) | 0,300 | – | 0,150 |
| ekstenzivni sadovnjak | 0,1–0,3 (povprečno 0,2) | 0,250 | 0,018 | 0,100 |
| oljčnik (in podobna zemljišča) | 0,1–0,3 (povprečno 0,2) | 0,250 | – | 0,227 |
| travinje | 0,001–0,08 (povprečno 0,0405) | 0,004 | 0,008 | 0,045 |
| kmetijsko zemljišče | 0,003–0,05 (povprečno 0,0265) | 0,050 | 0,45 | 0,024 |
| drevesa in grmičevje | – | – | 0,009 | – |
| kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem | – | – | 0,1 | – |
| neobdelano kmetijsko zemljišče | – | – | 0,8 | 0,286 |
| gozd | 0,0001–0,003 (povprečno 0,00155) | 0,002 | 0,001 | 0,001 |
| pozidano zemljišče | – | 0,000 | 0,001 | – |
| barje | – | – | 0,0001 | – |
| trstičje | – | – | 0,0001 | – |
| ostala zamočvirjena zemljišče | – | – | 0,0001 | – |
| suho odprto zemljišče s posebnim rastlinskim pokrovom | 0,1–0,45 (povprečno 0,275) | 0,100 | 0,018 | – |
| suho odprto zemljišče brez ali z neporaslim rastlinskim pokrovom | – | – | 0,95 | – |

2.1.4 Reliefni oziroma topografski dejavnik (*LSf*)

Dejavnik združuje dejavnika dolžine (*L*) in nagiba pobočja (*S*) ter predstavlja učinek topografije na stopnjo erozije (Van Remortel, Hamilton in Hickey 2001). Wischmeier in Smith (1978) sta opredelila *L* kot razdaljo od točke začetka površinskega toka do točke, kjer se *S* zmanjša toliko, da se začne odlaganje oziroma ko se vodni tok začne zbirati v kanalih.

2.2 Metode, orodja in podatki za izdelavo karte vodne erozije tal v Sloveniji

Uporabili smo **numerične metode** za izračun posameznih dejavnikov. Enačbe so predstavljene v okviru opisa posameznih dejavnikov. Ker ni šlo drugače, smo se naslonili na ekspertna pedološka in empirična kmetijska znanja, strokovne razlage ter opredelitve posameznih količin, dejavnikov in kmetijskih agrotehničnih ukrepov.

Uporabili smo naslednja **GIS orodja** za prostorsko obdelavo podatkov in rastrsko modeliranje: *ESRI ArcGIS10*, *ArcWorkstation*, *QGIS* in *SAGA*. Izdelali smo avtomatizirane GIS algoritme; posebej tiste, ki jih je treba pognati v več iteracijah. Oblika rastrskih informacijskih slojev je bila predvsem *GEOTiff*.

Uporabljeni podatki v *RUSLE-SI* modelu so: digitalni model višin Slovenije (DMV) ločljivosti 12,5 m (GURS 2005), digitalna pedološka karta Slovenije 1 : 25.000 in podatki pedoloških profilov (MKGP 2007a, b), sloji zahtev kmetijskih subvencij za leta 2016, 2017, 2018 in 2019 (ARSKTRP 2016–2019), podatki rabe zemljišč (MKGP 2016–2020) in rastrski podatkovni sloj erozivnosti padavin (Petan 2010b).

3 Rezultati

Rezultati študije so predvsem metode GIS, tj. zasnova, postopki, implementacija algoritmov in izvedba slovenskim razmeram prilagojenega modela *RUSLE-SI* za oceno erozije ter rezultati numerične obdelave GIS, tj. rastrski informacijski sloji posameznih dejavnikov, *RUSLE-SI* rastrski sloj ocene izdatnosti erozije in grafične ponazoritve rezultatov modeliranja (zemljevidi). Omejenost dolžine prispevka omogoča predstavitev zgolj poglobitnih rezultatov.

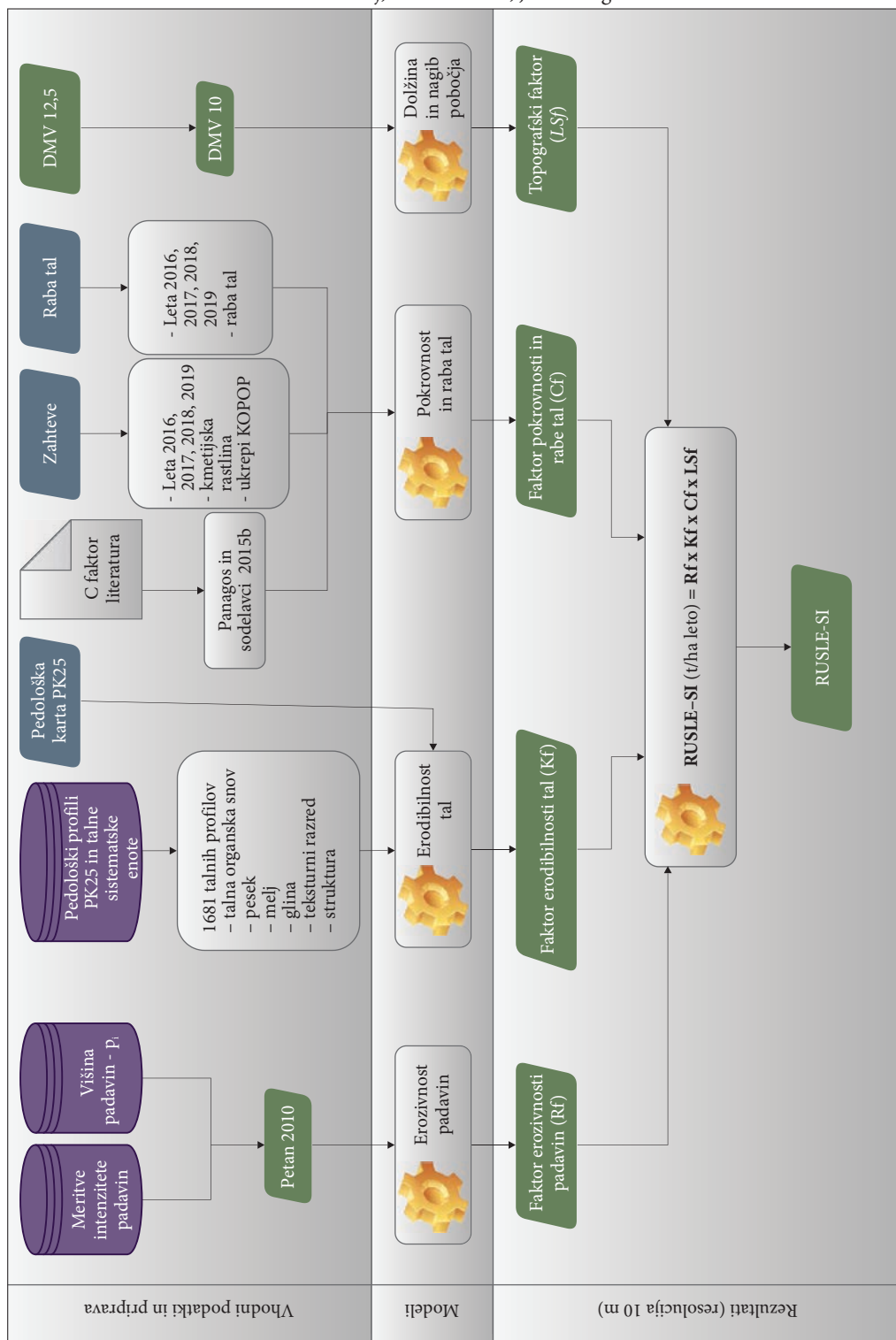
3.1 Metoda *RUSLE-SI* za oceno vodne erozije tal Slovenije

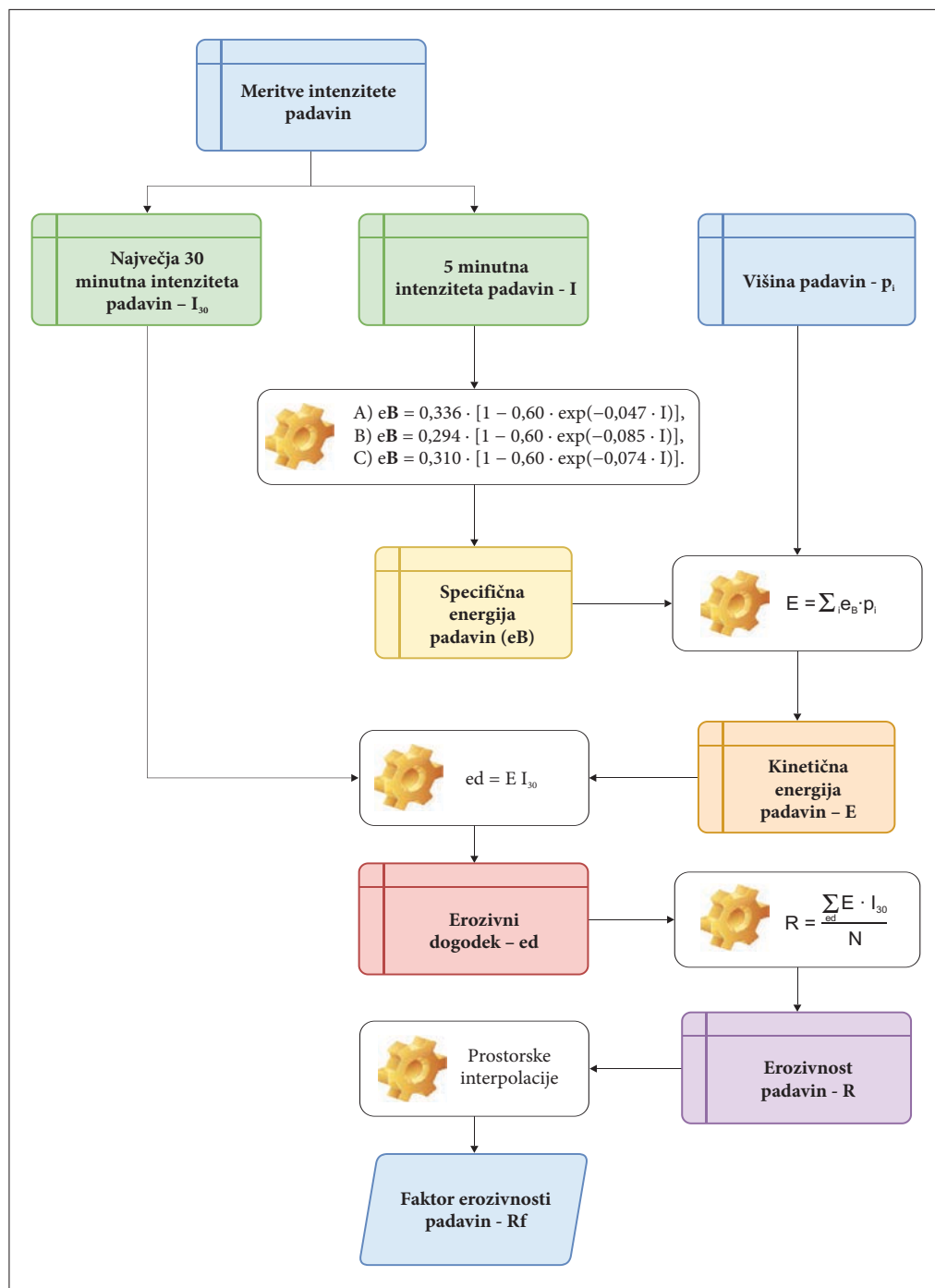
Pri razvoju metode *RUSLE-SI* 2020 za oceno erozije tal v Sloveniji smo izdelali ločene prostorske modele in rastrske informacijske sloje petih dejavnikov: a) *Rf*: erozivnost padavin, b) *Kf*: erodibilnost tipa tal, c) *LSf*: relief (nagib in dolžina pobočij), d) *Cf*: pokrovnost in raba tal ter e) *Pf*: kmetijske prakse (obdelava tal). Izdelali smo GIS postopek, v katerega smo povezali posamezne module in algoritme (slika 1).

3.1.1 Sloj erozivnosti padavin (*Rf*)

Sloj dejavnika erozivnosti padavin (*Rf*) je, kot rečeno, izračunal Petan (2010) na podlagi izpeljanih regresijskih povezav za izračun kinetične energije padavin in podatkov o merjenih intenzitetah padavin na pluviografskih postajah ARSO z vsaj 10-letnim nizom podatkov med letoma 1999 in 2008. Predpisano spodnjo mejo 12 mm za višino padavin znotraj posameznega erozivnega dogodka je znižal na 6 mm in tako zajel tudi manj intenzivne dežne dogodke. Z *ArcGIS* smo rastrske vrednosti pretvorili v točkovni sloj, slednjega pa smo interpolirali po metodi IDW in izdelali sloj *Rf* z ločljivostjo 10 m. Potek izračuna *Rf* prikazuje slika 2.

Slika 1: Poenostavljen prikaz modela RUSLE-SI, modulov in uporabljenih vhodnih podatkov. ► (str. 60)





Slika 2: Potek izdelave sloja erozivnosti padavin (Rf) modela RUSLE-SI.

3.1.2 Sloj erodibilnosti tal (K_f)

Pregledali smo podatke 1681 talnih profilov. K_f smo izračunali na podlagi enačbe:

$$K_f = \{ [2,1 \times (10 - 4) \times M1,14 \times (12 - OS)] + [3,25 \times (s - 2)] \times (p - 3) \} / 100 \times 0,1317,$$

pri čemer je: K_f – erodibilnost tal [$t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$], M – velikost talnih delcev (delež melja, delež finega peska in delež gline), OS – organska snov (%), s – razred strukture tal in p – razred prepustnosti tal.

Enačba je povzeta po Wischmeierju in Smithu (1978) ter Renardu in sodelavcih (1997), uporabili pa so jo tudi Panagos in sodelavci (2014). K_f smo izračunali za površinske pedogenetske horizonte in z upoštevanjem njihove debeline izračunali K_f tal za erozivno globino tal (0–20 cm). Potek izračuna K_f prikazuje slika 3.

Delež finega peska v vzorcih tal ni bil merjen, zato smo po zgledu Panagosa in sodelavcev (2014) ocenili, da ga je v tleh glede na delež skupnega peska 20 %. Parameter strukture tal, ki vpliva na erodibilnost padavin in je podan v razredih od 1 do 4, smo prevedli na standardne oblike strukturnih agregatov. Kombinacij načina zapisa oblike strukturnih agregatov talnih horizontov je veliko, zato smo vsaki kombinaciji pripisali harmonizirano opredelitev, ki je ustrezala standardnim oblikam strukturnih agregatov. Parameter prepustnosti tal ima šest razredov, pri čemer 1 pomeni zelo dobro prepustna tla in 6 zelo slabo prepustna tla. Vrednosti so opredeljene za 12 teksturnih razredov tal.

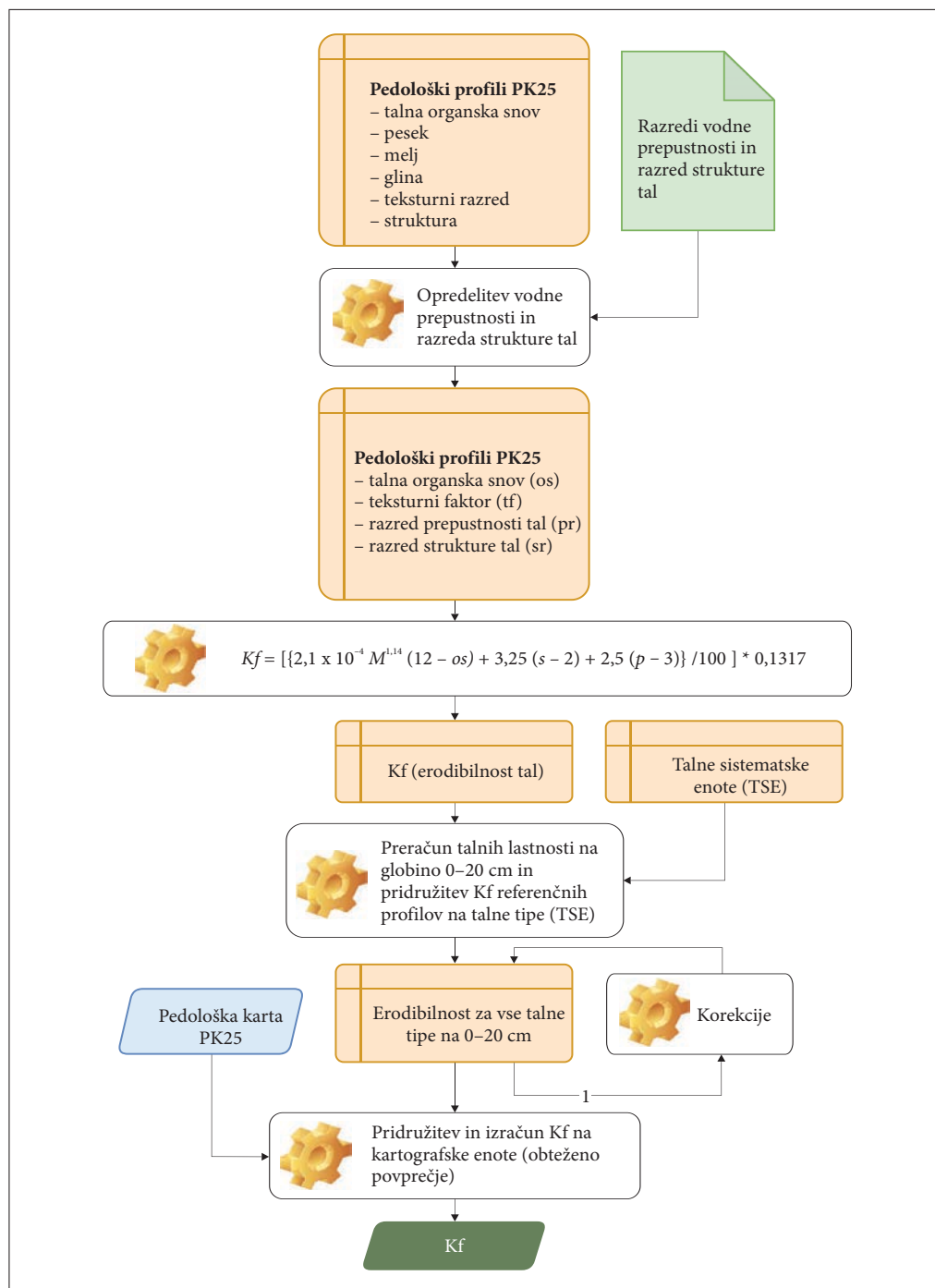
3.1.3 Sloj pokrovnosti in rabe tal (C_f)

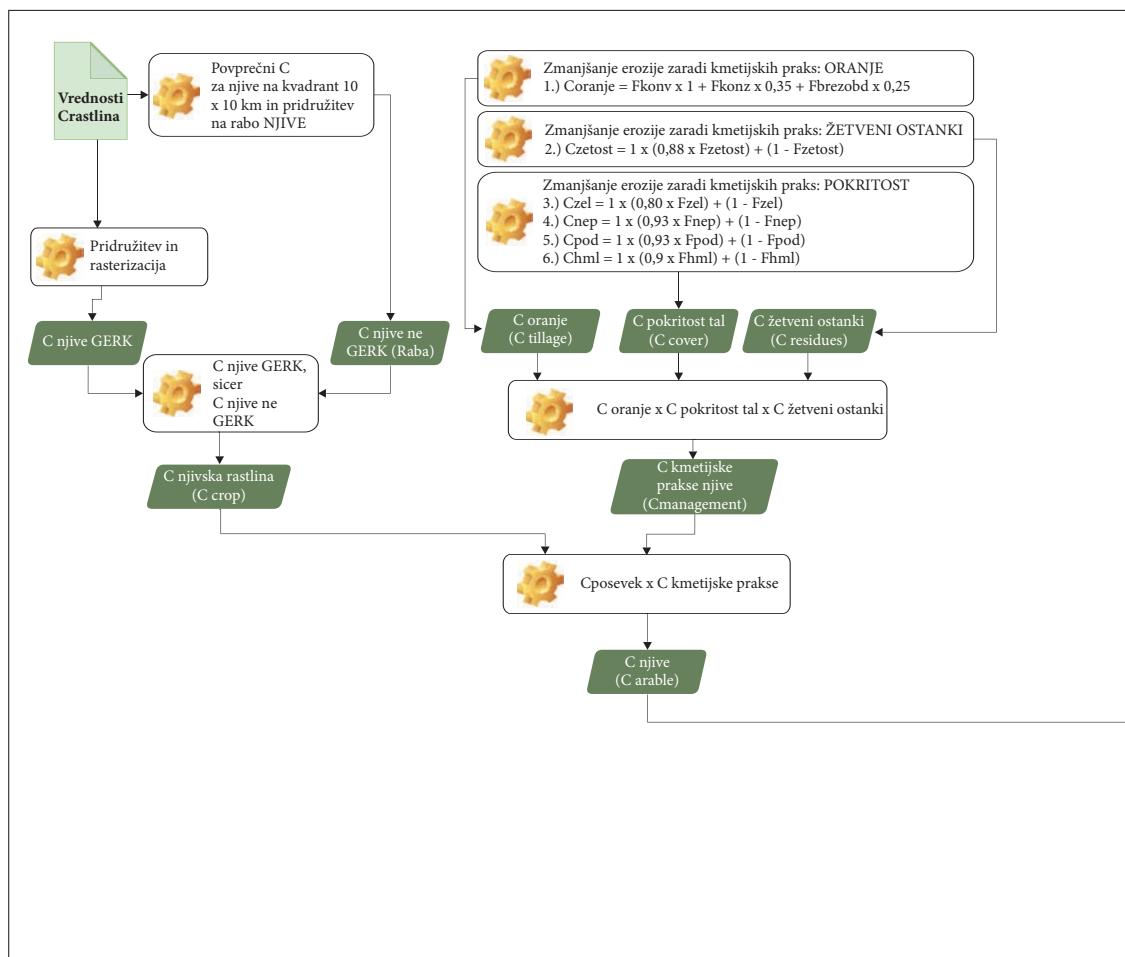
Dejavniki pokrovnosti in rabe tal smo izdelali tako, da smo referenčne vrednosti dejavnika C za 17 njivskih kultur povzeli iz literature na ravni Evrope (Panagos in sodelavci 2015b) ter jih pripisali na prostorski sloj kmetijskih rastlin Slovenije (v nadaljevanju KR) za obdobje 2015–2019 (ARSKTRP 2015–2019) (*Crastlina*). Zajeli smo tiste KR, ki so v omenjenem obdobju v kumulativnem deležu obsegale 98 % površin, ločeno kot glavni posevek, prezimni posevek in neprezimni posevek. Območja, ki niso v evidenci subvencijskih GERK površin, nimajo podatka o KR, zato smo ta območja zajeli s slojem rabe zemljišč, ki pokriva celotno Slovenijo. Območjem smo pripisali srednjo vrednost dejavnika C (Wischmeier in Smith 1978; Auerswald in Schmidt 1986; Richter 1991; Bezak in sodelavci 2015; Panagos in sodelavci 2015b) za neobdelovalna zemljišča iz kategorij pokrovnosti rabe tal *Corine Land Cover* (CLC). Kategorije smo prevedli na vrste slovenske rabe tal iz sloja Raba tal (MKGP 2016–2019) ter parameter poimenovali *Craba*. Vrednosti, za katere smo na podlagi agrotehničnih in empiričnih znanj presodili, da srednja vrednost po Panagosu in sodelavcih (2015b) ne ustreza lastnostim slovenske rabe tal, smo vrednost *Craba* ekspertno prilagodili.

Vrednosti *Crastlina* smo preko šifre rastline vezali na prostorski sloj njivskih GERK zemljišč (ARSKTRP 2016–2019), vrednosti *Craba* pa smo preko RABA ID vezali na prostorski sloj rabe tal za leta 2016–2019 za celotno površino Slovenije (MKGP 2016–2019). Prostorske podatke GERK zemljišč smo glede na rabo razdelili v štiri skupine: **njivska zemljišča**, **vinogradi**, **sadovnjaki** (intenzivni sadovnjaki in oljčniki) in **ostala raba**.

Crastlina in *Craba* smo prilagodili z dejavniki kmetijskih praks, ki pripomorejo k zmanjševanju erozije: ohranitvena obdelava tal, setev rastlin za podor, ozelenitev njivskih površin, neprezimni medonosni posevki na njivah ter pokritost v medvrstnem prostoru v sadovnjakih, vinogradih in hmeljiščih.

Iz referenčnih vrednosti *Crastlina* in *Craba* in iz vseh kmetijskih praks smo izdelali rastrske sloje za območje Slovenije v ločljivosti 10 m in v skladu z metodologijo izdelali sloje C_f za: njivska zemljišča, vinograde, sadovnjake in ostalo rabo tal. V zadnjem koraku smo sloje prostorsko združili v sloj dejavnika C (C_f). Končni C_f smo izračunali kot povprečje C_f za leta 2016–2019 (slika 4).





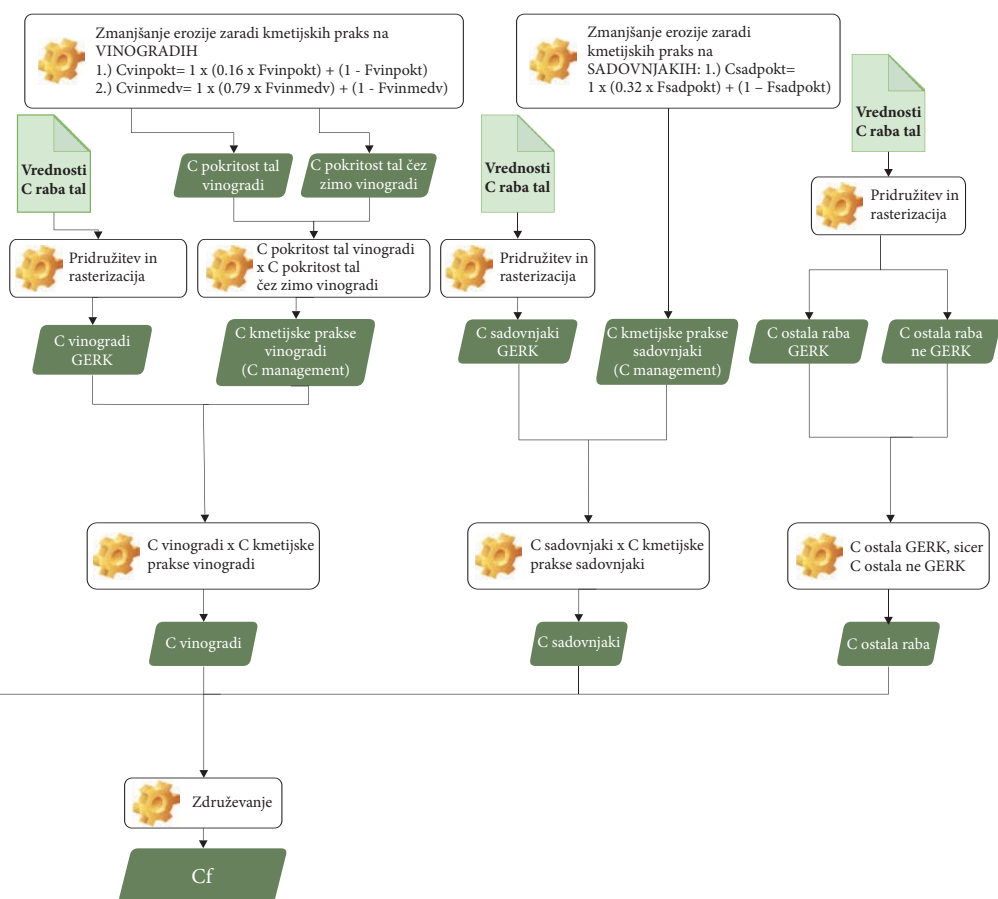
Slika 4: Potek izdelave sloja pokrovnosti in rabe tal v modelu RUSLE-SI.

3.1.4 Sloj topografskega dejavnika (LSf)

Metodologija za izračun dejavnikov dolžina pobočja (L) in nagiba pobočja (S) ter združenega topografskega dejavnika (LS) vključuje rastrski sloj DMV v ločljivosti 12,5 m (GURS 2005), prilagojen algoritem, ki sta ga razvila Desmet in Govers (1996) (slika 5) ter omejitev izračuna za območja z nagibom do 50 % (26,6°). LSf smo s programom *SAGA* izdelali z uporabo hidrološkega modula *LS Factor (One Step)*, ki združuje predobdelavo DMV (zapolnitev lokalnih depresij), akumulacijo površinskega toka, določitev specifičnega prispevnega območja, nagib pobočja in končni izračun LSf po algoritmu Desmeta in Goversa (1996) ter Panagosa, Borellija Meusburgerja (2015).

Izračun dejavnika LS je potekal po naslednji enačbi:

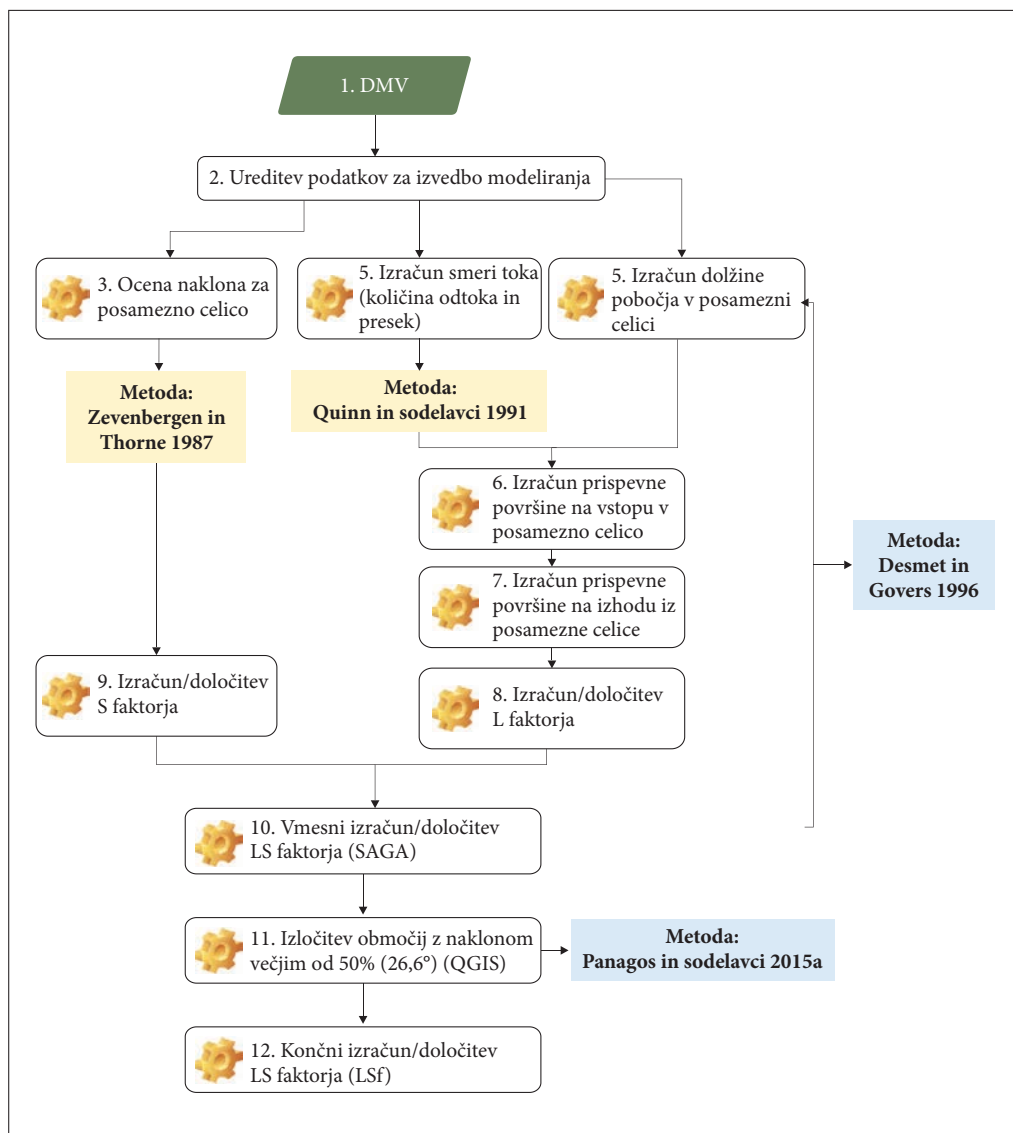
$$LS_j = \frac{S_j \times (\lambda_j^{(m+1)} - \lambda_{j-1}^{(m+1)})}{(\lambda_i - \lambda_{i-1}) * (22,13)^m},$$



pri čemer je: L – dejavnik dolžine pobočja, S_j – dejavnik nagiba pobočja za j -segment, λ_j – razdalja od spodnje meje j -segmenta do meje na vrhu hriba in m – eksponent dolžine USLE LSf .

3.1.5 Sloj zaščitnih ukrepov (P_f)

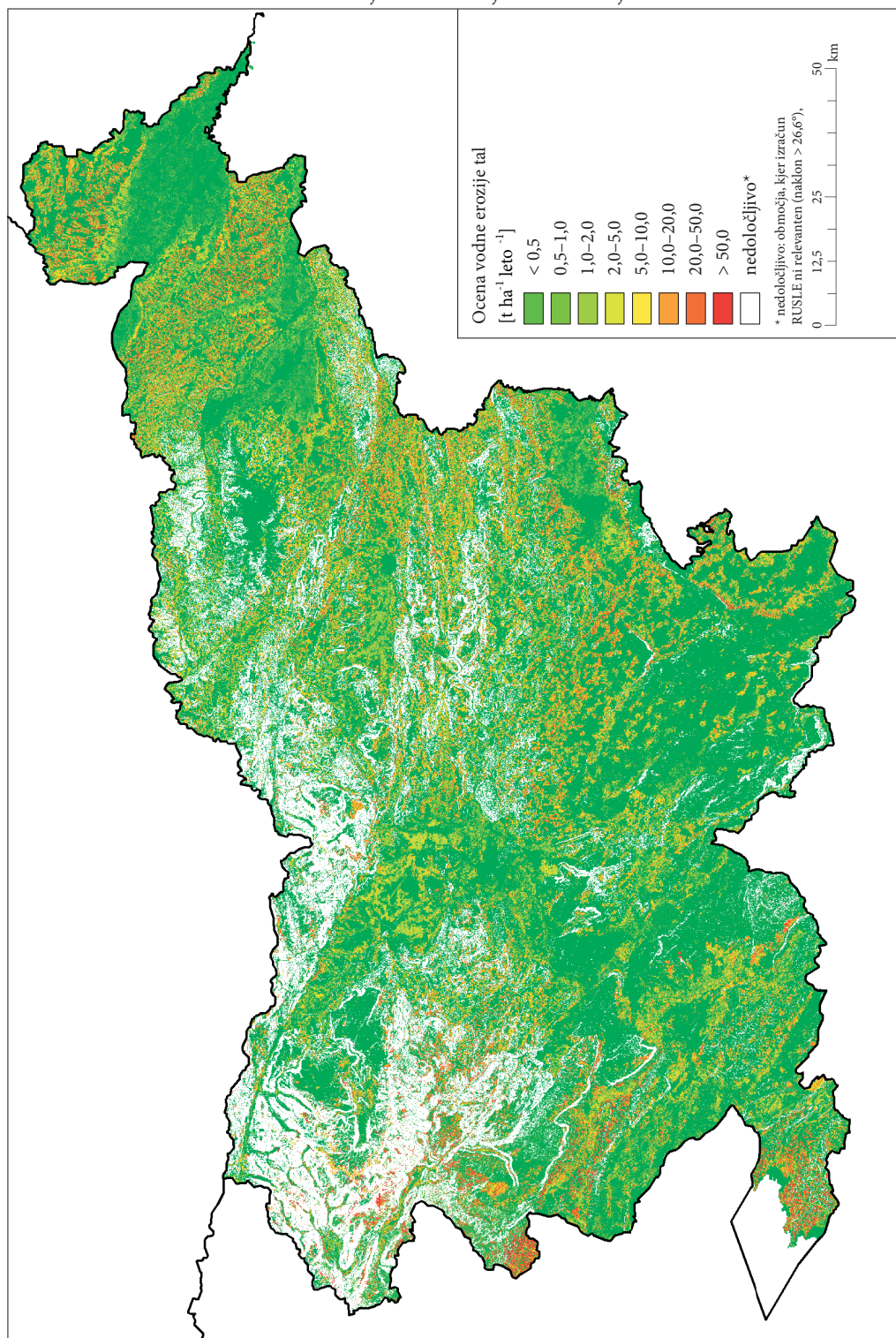
Pestrost dejavnikov kmetijske rabe ter pomanjkanje specifičnih podatkov o izvedenih agrotehničnih ukrepih in uporabljenih kmetijskih praksah ne omogočajo natančne prostorske ocene in opredelitve posameznih kmetijskih agrotehničnih ukrepov. Zaradi pomanjkanja podatkov smo pri izdelavi modela $RUSLE-SI$ za P_f privzeli vrednost 1. S podobnimi težavami so se srečali tudi raziskovalci v Avstriji (Schmaltz in sodelavci 2020), ki so prav tako za P_f prevzeli vrednost 1. Ta »prisilna skladnost« z avstrijskim erozijskim modelom pa ima tudi pozitivno posledico, saj omogoča primerljivost končnih podatkov – erozijskih procesov med dvema podnebno in reliefno primerljivima sosednjima državama.



Slika 5: Potek izračuna dolžine pobočja (L), nagiba pobočja (S) in izdelave topografskega dejavnika (LS) v modelu RUSLE-SI.

Slika 6: Ocena vodne erozije tal za Slovenijo po metodi RUSLE-SI – območja nagibov < 50 %. ► (str. 67)

Modeliranje vodne erozije tal v Sloveniji



4 Razprava in sklepi

4.1 GIS metodologija, algoritmi in baze podatkov

Erozijo tal za Slovenijo smo ocenili po metodi RUSLE-SI (slika 6), pri čemer smo se naslonili na metodološka izhodišča metode RUSLE2015 po Panagosu in sodelavcih (2015a). Metodo RUSLE smo prilagodili dostopnim prostorskim podatkom Slovenije, ki so bistveno večje prostorske in vsebinske natančnosti, kot so jih uporabili Panagos in sodelavci (2015a).

Postopek izdelave RUSLE-SI modela ločimo na pripravo podatkov, izdelavo podmodelov za vsakega od dejavnikov RUSLE, zagon modela RUSLE in obdelavo rezultatov. Časovno najbolj zahtevna je bila priprava podatkov in izdelava logičnih algoritmov za vsak dejavnik enačbe RUSLE. Vsak izmed njih je namreč zahteval svoje vhodne podatke in specifično pripravo. V primerjavi s sorodnimi modelirani erozije za Slovenijo smo vsebinsko izpopolnili predvsem dejavnika rabe in pokrovnosti tal (*Cf*) ter erodibilnosti tal (*Kf*).

Večinoma smo uporabljali *ArcGIS ArcInfo* programski paket, postopke pa poskusili v veliki meri avtomatizirati s pisanjem skriptnih datotek *ArcPy*. Za izdelavo *LSf* smo uporabili programski paket *SAGA*. Za vsak dejavnik modela RUSLE je nastal prostorski model in geoinformacijski sloj, ki je nato vstopil v model RUSLE. Rezultat je geoinformacijski sloj povprečne letne erozije tal v Sloveniji v rastrskem formatu ločljivosti 10 m v koordinatnem sistemu EPSG: 3912.

4.2 Ocena stopnje erozije po rabah tal

Povprečna stopnja erozije tal v Sloveniji je 3,68 t/ha letno, a močno variira (med 0 in 3,519 t/ha letno). Stopnja erozije je prostorsko izrazito neenakomerno porazdeljena, saj je na 60 % površin Slovenije (okrog 1.200.749 ha) erozija nižja od 0,5 t/ha letno. Najvišjo povprečno erozijo (17,79 t/ha letno) pričakujemo v trajnih nasadih (oljčniki, vinogradi in sadovnjaki). Sledijo njive in vrtovi oziroma obdelovalna zemljišča (povprečna vrednost 7,58 t/ha letno). Nepričakovano izdatno erozijo izkazuje travnjinje (6,82 t/ha letno), zelo nizko erozijo pa izkazujejo gozdovi (0,43 t/ha letno). Ocena erozije tal za celotno območje Slovenije, ki smo jo pridobili z modelom RUSLE-SI (3,68 t/ha letno), je primerljiva z rezultati, ki so jih v preteklosti za Slovenijo izračunali drugi avtorji (glej Komac in Zorn 2007) in je 3,88 t/ha. Povprečna erozija po modelu RUSLE-SI je 50 % nižja od izračuna erozije Panagosa in sodelavcev (2015a) (7,42 t/ha leto), ki je bil sicer izhodišče našega modeliranja.

Model RUSLE-SI smo uporabili na celotnem ozemlju Slovenije, posebej pa smo izločili območja z nagibom večjim od 50 % (slika 6), kar je 345.624 ha (17 % Slovenije). Ob neupoštevanju območij z nagibom večjim od 50 % je povprečna letna izguba tal v Sloveniji za 58 % nižja od ocen Panagosa in sodelavcev (2015a), in sicer 3,13 t/ha letno. Najbolj (za 81 %) so se znižale vrednosti na območjih ostalih nekmetijskih zemljišč (2,08 t/ha letno) ter v gozdovih, kjer smo ocenili 33 % nižje vrednosti, in sicer na 0,29 t/ha letno. Na KZ z upoštevanjem le območij do 50 % nagiba vrednosti erozije niso bistveno nižje. V trajnih nasadih so vrednosti nižje za 2 % (iz 17,79 na 17,36 t/ha letno), pri njivah pa do sprememb ni prišlo. Zlasti na travninju smo pričakovali večji upad, a se je ocena erozije znižala le za 10 % (iz 6,82 na 6,13 t/ha letno).

ZAHVALA: Avtorji se zahvaljujemo Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije za javno naročilo in financiranje študije ocene intenzivnosti erozije tal v Sloveniji. Dr. Boštjanu Petelincu se zahvaljujemo za tvorno sodelovanje pri izvedbi naloge. ARSKTRP se zahvaljujemo za podatke zbirnih vlog. Zahvaljujemo se kolegu Marjanu Šinkovcu za sodelovanje pri izvedbi raziskave in prispevku k poročilu strokovne naloge, ki je služilo tudi za pripravo tega prispevka.

5 Viri in literatura

- ARSKTRP 2015–2019: Prostorski sloji zahtev za leta 2015–2019. Agencija Republike Slovenije za kmetijske trge in razvoj podeželja. Ljubljana.
- Auerswald, K., Schmidt, F. 1986: Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern – Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. GLA Fachberichte 1. München.
- Arnoldus, H. M. J. 1980: An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. Assessment of Erosion. New York.
- Bezák, N., Rusjan, S., Petan, S., Sodnik, J., Mikoš, M. 2015: Estimation of soil loss by the WaTEM/SEDM model using an automatic parameter estimation procedure. *Environmental Earth Sciences* 74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4534-0>
- Desmet, P. J. J., Govers, G. 1996: A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51-5.
- Djoukbal, O., Hasbaia, M., Benselama, O., Mazour, M. 2019: Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria). *Modeling Earth Systems and Environment* 5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0562-6>
- FAO 2019: Soil Erosion: the greatest challenge for sustainable soil management. Rome.
- GURS 2005: Digitalni model višin resolucije 12,5 m. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana. Medmrežje: <https://egp.gu.gov.si/egp/> (10. 10. 2020).
- Komac, M., Pavlič, M. 2017: Nadgradnja ploskovnega erozijskega modela z območji erozije v strugah – primer občine Bohinj. *Geologija* 60-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2017.017>
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Meritve in modeliranje erozije prsti v Sloveniji. Strategija varovanja tal v Sloveniji. Ljubljana.
- Loureiro, N. S., Coutinho, M. A. 2001: A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology* 250, 1-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00387-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00387-0)
- Meden, J. 2018: Modeliranje erozije prsti z modelom RUSLE v katastrski občini Neblo. Magistrsko delo, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete. Ljubljana.
- MKGP 2007a: Digitalna pedološka karta Slovenije 1 : 25.000 (DPK). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.
- MKGP 2007b: Podatki pedoloških profilov (PP). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.
- MKGP 2016–2019: Podatki rabe tal (RABA). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.
- Notebaert, B., Vaes, B., Verstraeten, G., Govers, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A. 2006: WaTEM/SEDEM version 2006 Manual. KU Leuven. Medmrežje: <https://ees.kuleuven.be/eng/geography/modelling/watemedem2006/> (24. 6. 2022).
- NRCS 2014: National Soil Erosion Results Tables. Medmrežje: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/?cid=stelprdb1041678> (12. 10. 2020).
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015a: The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science and Policy* 54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, C., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. 2015b: Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use Policy* 48 C. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Perčec Tadić, M., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. 2015c: Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment* 511. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>

- Panagos, P., Borelli, P., Meusburger, K. 2015: A New European slope length and steepness factor (LS Factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences* 5-2. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>
- Panagos, P., Karydas, C. G., Ballabio, C., Gitas, I. Z. 2014: Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 27B. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.012>
- Petan, S. 2010: Meritve in prostorsko modeliranje erozivnosti padavin kot parametra erozije tal. Doktorsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Petek, M. 2017: Analiza erozivnosti padavin v Sloveniji. Magistrsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Petkovšek, G. 2002: Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., Yoder, D. C. 1997: Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington D.C.
- Renard, K., Freimund, J. R. 1994: Using monthly precipitation data to estimate R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157, 1-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4)
- Richter, G. 1991: The soil erosion measurement station and its program. *Forschungsstelle Bodenerosion* 10.
- Schmaltz, E., Dersch, G., Weinberger, C., Krammer, C., Strauss, P. 2020. Soil erosion in Austria – National calculations using regional data delivering local results for the ÖPUL programme. EGU General Assembly 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-21695>
- Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., Montanarella, L. 2000: Soil Erosion Risk Assessment in Europe. Ispra. Medmrežje: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erosion-risk-assessment-europe> (24. 6. 2022).
- Van Remortel, R. D., Hamilton, M. E., Hickey, R. J. 2001: Estimating the LS Factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within ArcInfo Grid. *Cartography* 30-1. DOI: <https://doi.org/10.1080/00690805.2001.9714133>
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., Govers, G. 2001: Integraal Land – en Waterbeheer in Landelijke Gebieden met het Oog op het Beperken van Bodemverlies en Modderoverlast (Proefproject Gemeente Gingelom). Leuven.
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D. 1965: Predicting Rainfall – Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. *Agriculture Handbook* 282. Washington D.C. Medmrežje: <https://handle.nal.usda.gov/10113/CAT87208342> (24. 6. 2022).
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D. 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Science. Agriculture Handbook* 537. Washington D.C. Medmrežje: <https://handle.nal.usda.gov/10113/CAT79706928> (24. 6. 2022).
- Yin, S., Xie, Y., Liu, B., Nearing, M. A. 2015: Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over a range of temporal resolutions. *Hydrology and Earth System Sciences* 19-10. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-19-4113-2015>
- Zorn, M. 2015: Erozijski prsti – prežrt okoljski problem. *Geografski obzornik* 63, 2-3.

OCENA VEZAVE ORGANSKEGA OGLJIKA V TLA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ SLOVENIJE

Janez Bergant, Peter Kastelic

Kmetijski inštitut Slovenije

peter.kastelic@kis.si

jani.bergant@kis.si

dr. Borut Vrščaj

Kmetijski inštitut Slovenije in Fakulteta za varstvo okolja

borut.vrscaj@kis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7220>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_05

UDK: 546.26:631(497.4)

IZVLEČEK

Ocena vezave organskega ogljika v tla kmetijskih zemljišč Slovenije

V študiji smo izdelali oceno vezave organskega ogljika (OC) za kmetijska tla Slovenije za obdobje 2020–2040. Uporabili smo model Rothamsted carbon (RothC), ki ga za oceno vezave OC uporablja FAO, in ga prilagodili tako, da smo uporabili nacionalne podatke, ki so praviloma večje prostorske in vsebinske natančnosti, kot podatki zbrani na svetovni ravni. Rezultat so prostorski rastrski sloji absolutne povprečne letne stopnje vezave OC, povprečne relativne stopnje vezave OC ter ocene negotovosti za obdobje 20 let (tOC/ha na leto) za štiri scenarije obdelave tal: a) obdelava tal brez sprememb in prilagoditev ter b) za tri stopnje prilagojene trajnostne obdelave tal. Ocene količin vezave OC v tla bodo omogočile vrednotenje bilance OC v kmetijskih zemljiščih (vir/ponori) in predvsem boljše vsebinsko in prostorsko utemeljeno usmerjanje ukrepov trajnostne kmetijske pridelave.

KLJUČNE BESEDE

talni organski ogljik (TOC), ponori ogljika, RothC, obdelava tal, kmetijska zemljišča

ABSTRACT

Assessment of organic carbon sequestration in the soil of agricultural land in Slovenia

In the study we made an estimate of soil organic carbon (SOC) sequestration for agricultural soils of Slovenia for the period 2020–2040. We used the Rothamsted carbon model (RothC) used by FAO and adjusted it by using national data which are more accurate than data collected at the global level. The results are spatial raster layers of absolute average annual SOC sequestration rates, average relative SOC sequestration rates and 20-year uncertainty estimates (t SOC/ha per year) for four tillage scenarios: a) no changes in typical, prevailing practices and b) three levels of sustainable soil management scenarios. Estimates of SOC sequestration will enable the evaluation of SOC balance in agricultural land (resources/sinks) and a better targeting of sustainable agricultural measures.

KEY WORDS

soil organic carbon (SOC), carbon sinks, RothC, tillage, agricultural land

1 Uvod

Tla so pomemben ponor ogljika v kopenskih ekosistemi. Konvencionalno kmetijstvo je po drugi svetovni vojni intenziviralo pridelavo, da je ublažilo velika pomanjkanja hrane. Vendar so potrebe po hrani rastle in še rastejo zaradi povečevanja števila svetovnega prebivalstva pa tudi zaradi (potratnega) načina življenja (na primer količine zavržene hrane). Intenzivnost je v preteklosti temeljila na mineralnem gnojenju in intenzivni obdelavi tal, kar pa je med drugim osiromašilo tla, predvsem se je zmanjšala vsebnost organske snovi (TOS) in zalog organskega ogljika v tleh (TOC) (FAO 2017).

Namen uveljavljana trajnostne kmetijske pridelave je predvsem oskrbeti potrebe prebivalstva po hrani s čim manjšim vplivom na okolje in blaženje klimatskih sprememb. Pri tem je vezava (ponor) organskega ogljika (OC) v tla in povečanje TOC ključni ukrep, ki prispeva k zmanjševanju toplogrednega ogljikovega dioksida v ozračju.

Cilj študije je bil oceniti potencial slovenskih kmetijskih tal za vezavo TOC za obdobje 20 let (2020–2040) glede na različne scenarije:

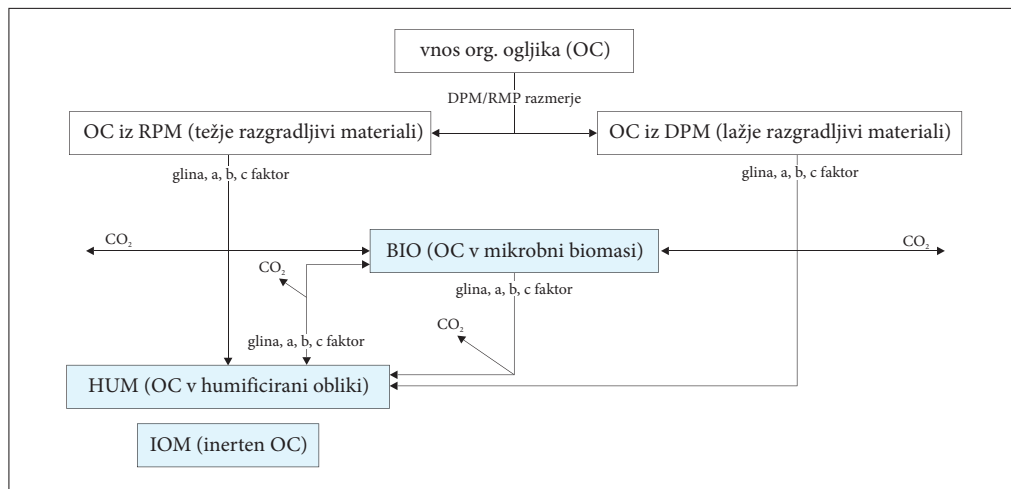
- BAU – scenarij, brez sprememb v kmetijskih praksah (angleško *business as usual*),
- SSM1 – scenarij trajnostnih kmetijskih praks s 5 % povečanjem vnosa OC na kmetijskih zemljiščih glede na BAU (prezimni posevki, zeleno gnojenje in podobno),
- SSM2 – scenarij trajnostnih kmetijskih praks z 10 % povečanjem vnosa OC na KZ glede na BAU,
- SSM3 – scenarij trajnostnih kmetijskih praks z 20 % povečanjem vnosa OC na kmetijskih zemljiščih glede na BAU.

Pomemben cilj študije je bil izdelati karto potenciala vezave TOC za Slovenijo na harmoniziran način in geoinformacijske sloje prispevati Organizaciji Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO) in Globalnemu partnerstvu za tla (GSP), da jih vključijo v svetovno karto potenciala vezave TOC (*Global Soil Sequestration Potential (GSOCseq) Map*). Skladno s tem so marsikateri metodološki postopki, ločljivost (30 kotnih sekund) in koordinatni sistem (WGS 84) prilagojeni specifikacijam FAO in GSP (FAO 2020).

2 Model RothC

RothC (*Rothamsted carbon*) je model za oceno potenciala vezave oziroma skladiščenja TOC (Coleman in Jenkinson 1996) in eden najbolj uporabljenih v zadnjih 20-ih letih (Campbell in Paustian 2015; FAO 2019). FAO organizacija v okviru programa GSP je RothC prilagodila in ga predlagala kot metodo za izdelavo nacionalnih kart vezave TOC, ki jih bodo na FAO združili za oceno potenciala vezave TOC na svetovni ravni (FAO 2020). Poleg RothC obstaja še nekaj podobnih procesno orientiranih modelov napovedovanja zaloga OC v tleh; med drugim sorodni modeli YASSO (Liski s sodelavci 2005), ICBM (Andren in Kätterer 1997), C-TOOL (Taghizadeh-Toosi s sodelavci 2014) in CANDY (Franko s sodelavci 1997).

Model RothC preračuna OC, ki preide v tla v aktivno obliko OC, ter del OC, ki je inerten (IOM). Aktivni del vhodnega OC, ki prihaja v tla preko vnosa rastlinske biomase, se razdeli na OC iz razgradljive rastlinske biomase (angleško *decomposable plant material* – DPM) in na razgradnjo odpornejši OC iz rastlinske biomase (angleško *resistant plant material* – RPM). Razmerje je odvisno od vrste in seveda količine vhodnega rastlinskega materiala oziroma biomase. Večina kmetijskih rastlin ima razmerje 1,44 kar pomeni, da se v DPM pretvori 59 % rastlinskega materiala in 41 % v RPM (FAO 2020). Tako DPM kot RPM nadalje mineralizirata in tvorita ogljikov dioksid, mikrobov biomaso (angleško *microbial biomass* – BIO) in humificiran organski ogljik (angleško *humified organic matter carbon* – HUM). Delež DPM in RPM, ki mineralizira v ogljikov dioksid na eni strani ter v BIO in HUM, je v veliki meri odvisen od vsebnosti gline v tleh. Delež razgradnje na BIO in HUM v modelu je 46 % v BIO in 54 % v HUM. Na dinamiko nastanka HUM vpliva predvsem vsebnost gline, temperatura, vlažnost tal in pokrovnost tal. (Coleman in Jenkinson 1996; 2014; Fallon in Smith 2009).



Slika 1: Struktura modela RothC s ključnimi procesi pretvorbe in dejavniki, ki vplivajo na razgradnjo (a = temperaturni dejavnik, b = vlažnost tal, c = faktor pokrovnosti tal) (povzeto po Coleman in Jenkinson, 1996 in 2014 ter Falloon in Smith 2010).

3 Faze modeliranja in priprave podatkov

Za zagon modela RothC smo potrebovali ustrezno pripravljene prostorske podatke, ki smo jih pridobili iz različnih virov (preglednica 1). Celoten postopek smo poimenovali SloSOCseq in je vključeval pripravo podatkov, harmonizacijo podatkov, uporabo modela RothC, izdelavo prostorskih slojev in obdelavo rezultatov.

Izhodišča pri pripravi podatkov, ki smo jim sledili po specifikaciji FAO, so bile:

- globina modeliranja; 0–30 cm
- koordinatni sistem: WGS84, EPSG: 4326
- ločljivost prostorskih slojev: 30 kotnih sekund
- območje obdelave: kmetijska zemljišča Slovenije (iz baze Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano)

Model RothC poteka v treh fazah modeliranja (preglednica 1, slika 2). Vsaka faza zahteva specifične vhodne podatke:

- faza 1: *spin up* oziroma faza inicializacije
- faza 2: *warm up* oziroma faza ogrevanja
- faza 3: *forward* oziroma faza simulacije

Faza *spin up* simulira zgodovinski letni vnos OC v tla (t/ha) tako, da z njim doseže zalogo TOC v letu, za katerega imamo znan podatek TOC (časovna oznaka t_{20}). V našem primeru smo imeli znan podatek zaloge TOC za leto 2000. Ta faza simulira letni vnos OC od leta 1500 do 2000.

Faza *warm up* uporablja podatke od leta 2000 (t_{20}) do začetnega leta simulacije 2020 (t_0). Postopek kalibrira in prilagodi letni vnos OC v tla iz faze *spin up* na podlagi podatkov neto primarne produkcije (NPP) izdelane z modelom MIAMI (Lieth 1975), ki za vhodne podatke uporablja podatke letne količine padavin in povprečnih letnih temperatur.

Faza *forward* je faza napovedovanja zalog TOC za leto 2040 (t_{+20}). Absolutna vezava OC v tla (t/ha) je razlika med zalogami TOC leta 2040 in TOC leta 2000 glede na 4 scenarije. Iz nje preračunamo povprečno absolutno stopnjo vezave OC na letni ravni (t/ha leto). Relativna vezava OC v tla pa je razlika med napovedanimi zalogami TOC leta 2040 za 3 SSM scenarije v primerjavi z zalogami TOC leta 2040 po scenariju BAU.

Postopek SloSOCseq smo izdelali v programskih okoljih R in QGIS, kartografske izdelke in začetno pripravo podatkov pa s programskim paketom ESRI ArcInfo 10.0. Postopek je bil razdeljen v tri ključne faze (slika 3):

- I. priprava podatkov in harmonizacija (zbiranje podatkov, rasterizacija, prilagoditve ločljivosti, izdelava rastrskih zbirk) in določitev ciljnih točk za zagon modela RothC,
- II. modeliranje z modelom RothC (modeliranje vseh faz: *spin up*, *warm up* in *forward*),
- III. izdelava končnih produktov in kart (priprava končnih rastrskih slojev in kartografija).

Uporabili smo klimatske podatke povprečnih mesečnih temperatur (°C), mesečnih padavin (mm) in evapotranspiracije (mm) za obdobje 1981–2020. Podatke v rastrski obliki z ločljivostjo 1 km smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (Prostorski sloji klimatskih ... 2021). Sloje smo

Preglednica 1: Povzetek faz modeliranja in vhodnih podatkov za SloSOCseq.

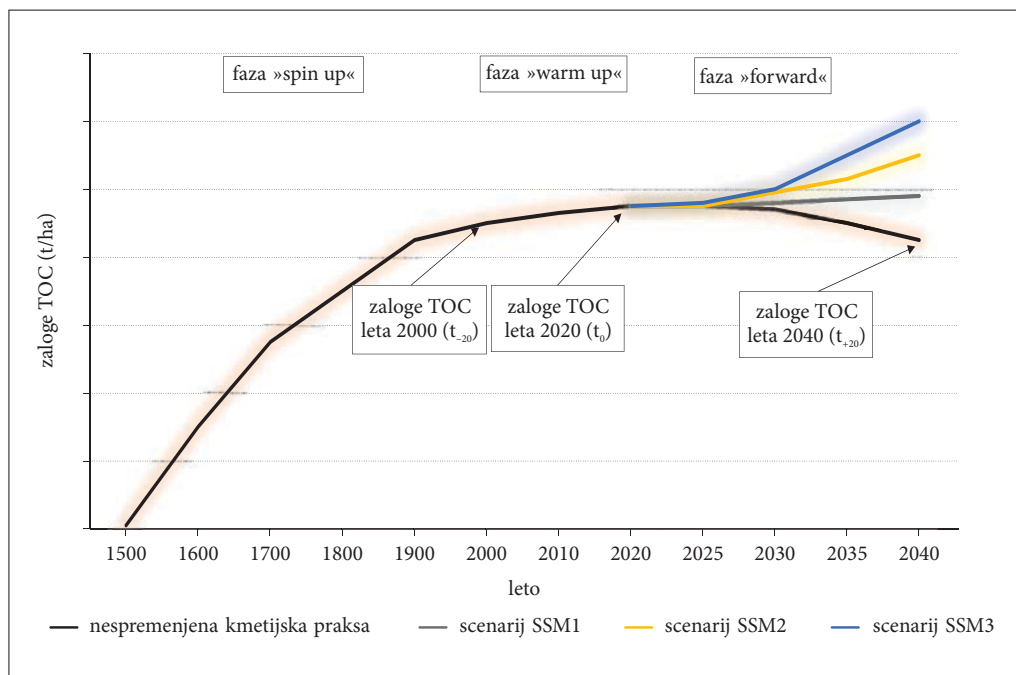
| | faza 1 – <i>spin up</i> | faza 2 – <i>warm up</i> | faza 3 – <i>forward</i> |
|-----------------------|--|--|---|
| obdobje | 500 let | 20 let | 20 let |
| klimatski podatki | mesečna povprečja 1981–2000 (padavine, temperature, evapotranspiracija) | mesečni podatki za obdobje 2001–2020 (padavine, povprečne temperature, evapotranspiracija) | mesečna povprečja 2001–2020 (padavine, temperature, evapotranspiracija) |
| pedološki podatki | delež gline 0–30 cm | delež gline 0–30 cm | delež gline 0–30 cm |
| začetne zaloge TOC | izračunane zaloge OC v IOM; ostali zalogovniki = 0 | izračunane zaloge OC v IOM; ostali zalogovniki iz izračunov v fazi 1 | izračunane zaloge OC v IOM; ostali zalogovniki iz izračunov v fazi 2 |
| Vnosi ogljika (C) | 1 t C ha ⁻¹ | na podlagi NPP prilagojeni vnosi C za vsako leto | na podlagi NPP prilagojeni vnosi C za vsako leto, posebej za BAU; ocenjeni vnosi OC za % povečanja po SSM1, SSM2, SSM3 glede na scenarij BAU |
| pokrovnost | mesečna pokritost z vegetacijo iz NDVI 2001–2020 | mesečna pokritost z vegetacijo iz NDVI 2001–2020 | mesečna pokritost z vegetacijo iz NDVI 2001–2020 |
| raba tal | reprezentativni sloj rabe tal za obdobje 1980–2000 (2002)* | reprezentativni sloji rabe tal za vsako leto 2001–2020 | reprezentativni sloj rabe tal za leto 2020 (2021)* |
| scenariji modeliranja | BAU | BAU | BAU, SSM1, SSM2, SSM3 |
| pričakovani rezultati | skupne zaloge TOC in zaloge TOC po zalogovnikih za leto t_{-20} (2000) | skupne zaloge TOC in zaloge TOC po zalogovnikih za leto t_0 (2020) | skupne zaloge TOC in zaloge TOC po zalogovnikih za leto t_{+20} (2040); absolutne in relativne vezave TOC za scenarije SSM1, SSM2 in SSM3; absolutne in relativne stopnje vezave TOC za scenarije SSM1, SSM2, SSM3. |

* Po besedah MKGP sloj rabe zemljišč za tekoče leto, prikazuje dejansko stanje za preteklo leto. Za leto 2001 podatka ni bilo na voljo, zato je bilo uporabljen podatek leta 2002.

pretvorili v koordinatni sistem WGS84 (EPSG: 4326), pri pretvorbi pa vrednosti preračunali po bilinearni metodi.

Delež gline smo ocenili iz podatkov pedoloških profilov obdobja 1960–1999 (Podatki pedološke karte ... 2007), jih preračunali na globino 0–30 cm ter jih z uporabo obteženega povprečja glede na zastopanost talnih tipov preračunali na talne kartografske enote (TKE) Pedološke karte 1:25.000 (PK25). Vse TKE, kjer podatka o glini nismo imeli zaradi neujemajoče povezave preko talne sistemske enote (TSE), smo izločili iz obdelave. Območjem organskih tal oziroma histosolov iz PK25 smo pripisali povprečno vsebnost gline 45 % ugotovljeno iz 11 lokacij vzorčenih na območju histosolov med leti 2016 in 2021. Pri rasterizaciji smo uporabili bilinearno metodo.

Sloj TOC smo izdelali iz podatkov zbirke 1681 talnih profilov PK25 izkopanih med leti 1960 in 1999. Iz slednjega sledi temeljna predpostavka, da karta TOC za Slovenijo predstavlja stanje zalog v tleh leta 2000. Vsebnosti talne organske snovi (TOS; %), volumske gostote (g/cm^3) in volumskega deleža skeleta (%) v tleh smo preračunali na globino 0–30 cm in izračunali zaloge TOC (t/ha). Izločili smo vse profile, kjer je bila izračunana vrednost nerealna ($> 180 \text{ tOC/ha}$) in na ta način vključili 1267 talnih profilov. Količine zalog TOC smo razširili na prostor z metodo prostorskega ujemanja profilov in predhodno ustvarjenih območij, ki so bila kombinacija vrste rabe zemljišč iz leta 2017 in pedosekvenc (Stritar 1991). Nato smo iz prostorsko ujemajočih talnih profilov za vsako območje izračunali povprečno zalogo TOC v tleh. Od skupno 89 območij, smo zaloge TOC iz profilov lahko pripisali 51 območjem, kar znaša 1.904.386 ha oziroma 94 % površja Slovenije. Za 6 % oziroma 122.929 ha pa ujemajočih profilov nismo imeli in so prejeli vrednost *nodata*. Pri avtomatskem procesu je prišlo do nelogičnosti, saj so bile talnim kartografskim enotam, ki obsegajo pozidana območja, vodne površine in gramoznice, pripisane vrednosti TOC, čeprav dejansko tal tam ni oziroma so le plitva tla in so zaloge TOC minimalne. Zato smo iz pedološke karte izbrali TKE s prevladujočimi talnimi tipi (TSE); urbana območja (991), vodna površina (992), kamnolom (993), gramoznica (994), deponija (995), nerodovitno (996)

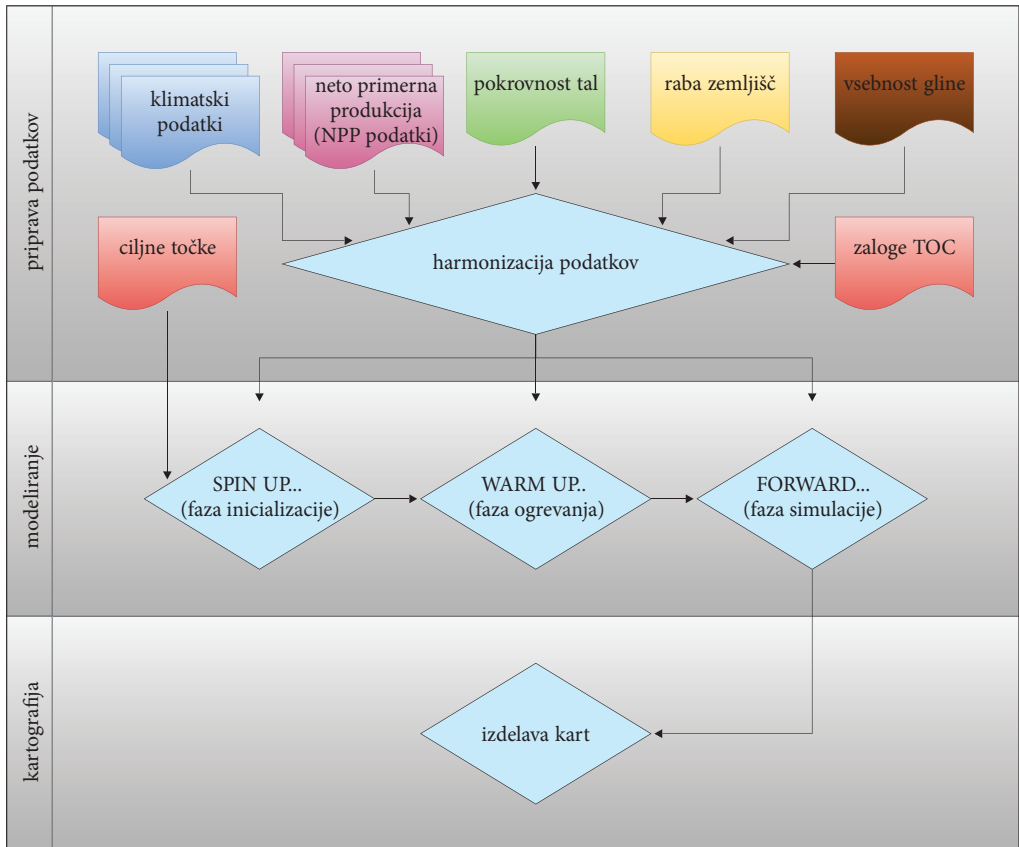


Slika 2: Faze modeliranja zalog TOC v modelu RothC.

ter z njimi izločili območja iz rastrskega sloja zalog OC v tleh. Dodatno smo vsem nerazvitim tlom iz pedološke karte, TSE 1 (litosol, karbonaten na apnencu in dolomitu) in TSE 3 (litosol, karbonaten na pobočnem grušču), pripisali vrednost 0 tOC/ha. Na območju organskih tal oziroma histosolov (šotnih tal in oglejenih šotnih tal) smo privzeli povprečno vrednost 200 tOC/ha izračunanega iz 11 lokacij vzorčenj opravljenih v obdobju 2016–2021.

Mesečno pokritost tal z vegetacijsko odejo, ki jo potrebujemo za oceno dekompozicijskega faktorja, smo pridobili iz indeksa NDVI izračunanega iz satelitskih posnetkov MODIS (Satelitski posnetki ... 2021). Uporabili smo vse produkte časovne vrste posnetkov med leti 2001 in 2020 v ločljivosti 1 km s približno časovno frekvenco posnetka na 16 dni. Rastrske celice z vrednostmi NDVI, ki so bile višje od izbranega praga (NDVI > 0,6), nakazujejo aktivno rast vegetacije (FAO 2020). Rezultat je 12 rastrskih slojev povprečne mesečne verjetnosti pokritosti z vegetacijo za obdobje 2001–2020 v ločljivosti 1 km.

Za **rabo zemljišč** smo uporabili podatke rabe zemljišč Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (Podatki dejanske rabe zemljišč ... 2021) veljavne za obdobje 2000–2020. Sloje smo rasterizirali na ločljivost 1 km, za pripis vrednosti v celico smo uporabili metodo največje površine, sloj pa pretvorili v koordinatni sistem WGS84. Opravili smo prevedbo razredov rabe iz šifer Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano v 11 razredov rabe zemljišč po FAO (FAO *Global Land Cover*).



Slika 3: Shematski prikaz podatkovnega modela SloSOCseq za izdelavo ocene vezave OC v tla za obdobje 2020–2040.

4 Rastrske zbirke in izbira ciljnih točk

Sledila je faza harmonizacije podatkov s tremi osnovnimi nameni: a) prilagoditev izhodiščnih meja vhodnih rastrskih slojev z izhodišči matičnega rastra (angleško *master layer*), v našem primeru slojem zalog TOC, b) usklajitev ločljivosti z matičnim rastrom, c) obrez meja rastrskih slojev z mejo Slovenije.

V koraku harmonizacije smo pripisali tudi razmerja DPM/RPM posameznim rabam zemljišč. DPM/RPM opredeljuje razmerje med lažje in težje razgradljivim rastlinskim materialom.

V okolju R smo izdelali zbirke harmoniziranih rastrskih slojev ločeno za vsako fazo modela.

Rastrska zbirka harmonizacije za fazo *spin up* vključuje:

- harmoniziran sloj zaloge TOC,
- harmoniziran sloj vsebnosti gline,
- harmonizirano zbirko mesečnih povprečnih temperatur 1981–2000,
- harmonizirano zbirko mesečnih povprečnih količin padavin 1981–2000,
- harmonizirano zbirko mesečnih povprečnih evapotranspiracij 1981–2000,
- razmerja DPM/RPM po rabah zemljišč za leto 2000,
- harmoniziran sloj rabe zemljišč po FAO za leto 2000,
- harmonizirano zbirko verjetnosti pokritosti tal z vegetacijo.

Drugi rezultat harmonizacije je rastrska zbirka faze *warm up* in vključuje:

- rastrski sloj zalog TOC,
- harmoniziran rastrski sloj vsebnosti gline,
- rastrsko zbirko verjetnosti pokritosti z vegetacijo,
- harmonizirane rastrske sloje rabe zemljišč po kategorijah FAO za obdobje 2001–2020,
- faktorje razmerij DPM/RPM za obdobje 2001–2020.

Tretji rezultat harmonizacije je rastrska zbirka faze *forward* in vključuje:

- rastrski sloj zalog TOC,
- harmoniziran rastrski sloj vsebnosti gline v tleh,
- harmonizirano rastrsko zbirko mesečnih povprečnih temperatur 2001–2020 ,
- harmonizirano rastrsko zbirko mesečnih povprečnih količin padavin 2001–2020 ,
- harmonizirano rastrsko zbirko mesečnih povprečnih evapotranspiracij 2001–2020 ,
- faktorje razmerij DPM/RPM za leto 2020,

Preglednica 2: Razmerja DPM/RPM pripisana rabam zemljišč po FAO v modelu SloSOCseq.

| šifra | raba | pripisano razmerje DPM/RPM |
|-------|-----------------------|----------------------------|
| 01 | pozidane površine | / |
| 02 | obdelovalna zemljišča | 1,44 |
| 03 | travinje | 0,67 |
| 04 | drevesa/gozd | 0,25 |
| 05 | grmičevje | 0,67 |
| 06 | vegetacija mokrišč | 0,67 |
| 07 | mangrove | / |
| 08 | razpršena vegetacija | 0,67 |
| 09 | gola tla | / |
| 10 | sneg in ledeniki | / |
| 11 | voda | / |
| 12 | trajni nasadi | 1,44 |
| 13 | riževa polja | 1,44 |

- harmoniziran rastrski sloj rabe zemljišč po FAO kategorijah za leto 2020 ,
- harmonizirano rastrsko zbirko verjetnosti pokritosti z vegetacijo.

Za določitev ciljnih točk smo izbrali območja kmetijskih zemljišč Slovenije ter jih v fazi priprave podatkov pretvorili v vektor oziroma atributno tabelo. Modeliranje RothC (II. faza) namreč poteka na tabelarni ravni. V zadnji fazi (III. faza) smo rezultate v vektorski obliki rasterizirali, da smo na ta način izdelali prostorske sloje.

5 Rezultati in razprava

Rezultat SloSOCseq postopka je ocena zalog TOC v globini 0–30 cm za leto 2040 glede na 4 scenarije (BAU, SSM1, SSM2, SSM3) in povprečna letna vezava OC za vsakega od njih za obdobje 20 let (2020–2040) na območju kmetijskih zemljišč Slovenije.

Sloji obsegajo 289.152 ha oziroma 43,1 % kmetijskih zemljiščih, čeprav naj bi model vključeval vsa kmetijska zemljišča, ki jih je v Sloveniji 670.934 ha (Podatki dejanske rabe zemljišč ... 2021). Do popačenja površin pride zaradi uporabe rastrskih slojev v resoluciji 30 kotnih sekund oziroma 0,00833 stopinj (specifikacija FAO), ki je za izražanje površin manj primerna. Zlasti ob dejstvu, da ima Slovenija zelo pestro prostorsko spremenljivost rabe tal.

V primeru nespremenjenih kmetijskih praks (scenarij BAU) do leta 2040 pričakujemo zmanjšanje zalog TOC na kmetijskih zemljiščih in sicer v povprečju vsako leto za 0,08 tOC/ha. To pomeni, da se naj bi se v obdobju 2020 do 2040 na kmetijskih zemljiščih zaloga TOC do globine 30 cm vsako leto zmanjšala za 23,8 kt.

Po scenariju BAU skoraj 75 % površin zajetih v model izkazuje negativen trend in izgube zalog TOC. Razlike seveda obstajajo predvsem med različnimi vrstami kmetijskih zemljiščih a pričakujemo, da se bodo zaloge TOC zmanjšale na vseh rabah.

Po scenariju SSM1 (povečanje vnosa C za 5 %) pričakujemo pozitivne trende in povečevanje zalog TOC ter prehod nekaterih zemljišč iz območij izpustov v območja ponorov. Skupna povprečna letna absolutna vezava OC naj bi bila sicer še vedno negativna, vendar višja kot pri scenariju BAU in sicer –0,003 tOC/ha na leto, kar pomeni skupno izgubo 1 ktOC/leto. V primerjavi s scenarijem BAU (relativno) pričakujemo po scenariju SSM1 letno v povprečju 0,08 tOC/ha višjo vezavo v tla kot po scenariju BAU oziroma skupno 22,8 ktOC več kot po scenariju BAU. Po scenariju SSM1 naj bi približno polovica kmetijskih zemljišč obravnavanih v postopku SloSOCseq beležila povečevanje zalog TOC. Po scenariju SSM1 pričakujemo, da bodo imela obdelovalna zemljišča že pozitivno povprečje (0,012 tOC/ha na leto) kar pomeni večanje zalog TOC glede na leto 2020 za 1,5 ktOC/leto.

Po scenariju SSM2 (povečanje vnosa C za 10 %) naj bi bila tudi skupna povprečna letna absolutna vezava OC že pozitivna in sicer 0,08 tOC/ha na leto, kar pomeni skupno povečanje zalog TOC v primerjavi z letom 2020 za 21,8 ktOC/leto. Po scenariju SSM2 naj bi se v tla vezalo 0,16 tOC/ha na leto oziroma 45,6 ktOC več kot bi se ga po scenariju BAU. Po scenariju SSM2 bo povprečna vezava OC na vseh vrstah kmetijskih zemljišč razen zaraščajočih površinah že pozitivna.

Po scenariju SSM3 (povečanje vnosa C v tla za 20 %) pričakujemo, da bo povprečna absolutna vezava OC glede na stanje zalog TOC leta 2020 na letni ravni 0,23 tOC/ha na leto, kar skupno pomeni vezavo 67,3 ktOC/leto. Relativno naj bi se po scenariju SSM3 v tla vezalo 0,32 tOC/ha na leto več kot po scenariju BAU, kar pomeni skupno 91,1 ktOC/leto. Po scenariju SSM3 pričakujemo, da bo povprečna absolutna vezava OC v tla na vseh rabah kmetijskih zemljišč pozitivna.

FAO je v letu 2022 izdala poročilo z rezultati potenciala za vezavo OC iz 50 nacionalnih poročanj ter obdelala rezultate na različnih prostorskih nivojih. Za zmerno toplo vlažno podnebje po IPCC klasifikaciji, kamor lahko uvrstimo večino območja Slovenije, je povprečna relativna stopnja vezave OC (angleško *relative sequestration rate* – RSR) po scenariju SSM3 za 0,09 tOC/ha nižja (0,23 tOC/ha na leto), kot kaže model SloSOCseq za Slovenijo, in sicer 0,32 tOC/ha na leto (FAO 2022). Primerjava RSR za scenarij SSM3 iz vseh 50-ih vključenih držav z rezultati modela SloSOCseq po rabah zemljišč kaže,

da na vseh rabah zemljišč model SloSOCseq podaja višje povprečne stopnje vezave OC in sicer na obdelovalnih površinah 0,25 tOC/ha (svetovno povprečje RSR po FAO je 0,18 tOC/ha), na travinju 0,37 tOC/ha (svetovno povprečje RSR po FAO je 0,19 tOC/ha) in na grmovnih in zaraščajočih površinah 0,35 tOC/ha (svetovno povprečje RSR po FAO je 0,16 tOC/ha). Nižjo letno stopnjo RSR imajo po modelu SloSOCseq le trajni nasadi in sicer 0,25 tOC/ha (svetovno povprečje RSR po FAO je 0,3 tOC/ha) (FAO 2022).

Po scenariju BAU pričakujemo zmanjševanje zalog TOC na večini kmetijskih zemljišč. Med najbolj vidnimi lahko izpostavimo kmetijska zemljišča celotne Ljubljanske kotline z Ljubljanskim barjem, podolja dinarskega krasa in kraških polj (z izjemo Bele Krajine), Vipavska dolina, KZ širšega Posočja in Zahodnega predalpskega hribovja. Nekoliko manjše izgube TOC lahko pričakujemo na območju doline Mure, doline reke Ščavnice in Pesnice, vzhodni del doline reke Drave, vzhodni del Posavskega hribovja (med Sevnico, Laškim in Šentjurjem), zahodni del Celjske kotline na območju Savinjske doline (Braslovško polje) (slika 4).

6 Sklep

Rezultati modeliranja kažejo, da lahko do leta 2040 pričakujemo postopno letno zmanjševanje zalog TOC v globini 0–30 cm, kar posledično pomeni povečanje izpustov ogljikovega dioksida ter slabšo kakovost kmetijskih tal. Kljub temu, da imamo v Sloveniji v povprečju tla z dokaj visoko vsebnostjo organske snovi, pa zmanjševanje vsebnosti talne organske snovi zmanjšuje kmetijsko in okoljsko kakovost tal.

Po scenariju BAU lahko pričakujemo povprečno stopnjo zmanjševanja $-0,08$ tOC/ha letno. Z razširitvijo rabe trajnostnih kmetijskih praks lahko pričakujemo tudi pozitivne učinke na tla in podnebje ter povečevanje zalog C v tleh. Vendar po scenariju SSM1 pričakujemo v povprečju sicer še vedno negativen trend ($-0,003$ tOC/ha na leto), a na obdelovalnih zemljiščih naj bi se organski C že povečeval z letno stopnjo $0,01$ tOC/ha na leto. Večji kvalitativni preskok bi dosegli s scenarijem SSM2, kjer bi bila tudi skupna povprečna vezava OC v tla že pozitivna ($0,08$ tOC/ha leto). Po scenariju SSM2 bi v povprečju vse vrste rabe, razen zaraščajočih površin, predstavljale ponor ogljika. Po scenariju SSM3 bi bila povprečna letna vezava $0,23$ tOC/ha na leto in vse vrste zemljišč bi predstavljale območja povečevanja zalog TOC.

Rezultati modeliranja potencialov vezave ogljika v kmetijska tla so nazorni in koristni. Jasni so v tem, da ni možno govoriti o trajnostnem kmetijstvu, v kolikor ustrezno ne naslovimo in prilagodimo kmetijske pridelave na način, ki bo povečal vsebnost talne organske snovi (SSM3). Ta povečanja bodo (pričakovano) okrepila pridelavo v smislu kakovosti in stabilnosti. Modeliranje v prostoru je koristno, saj rezultati nakazujejo, kje in deloma v kakšni meri je treba pospeševati agrotehnične ukrepe, ki povečujejo vezavo ogljika v tla.

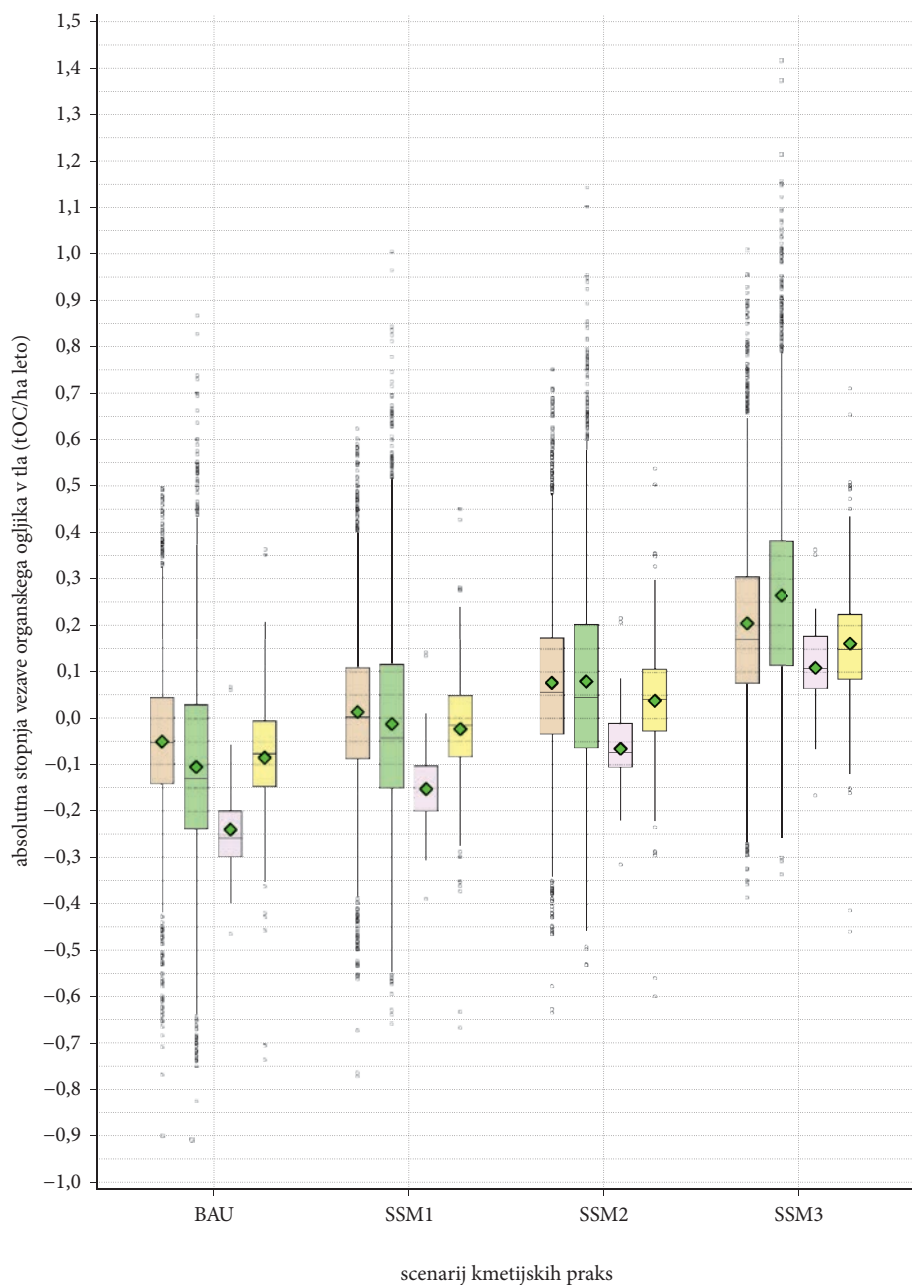
Kljub zadovoljivim in logičnim rezultatom modeliranja v resoluciji 30 kotnih sekund, kar je bilo navodilo FAO, nas v prihodnje zanimajo rezultati TOC s Sloveniji prilagojenimi specifičnimi parametri (na primer drugačna razmerja DPM/RPM) in uporabo boljše prostorske ločljivosti vhodnih podatkov; na primer 12,5 m. Model SloSOCseq želimo v prihodnosti nadalje razvijati in vključiti gozdna zemljišča, za izdelavo karte zalog TOC pa uporabiti novejša podatke vzorčenja zalog TOC ter modeliranje ponoviti v boljši prostorski ločljivosti.

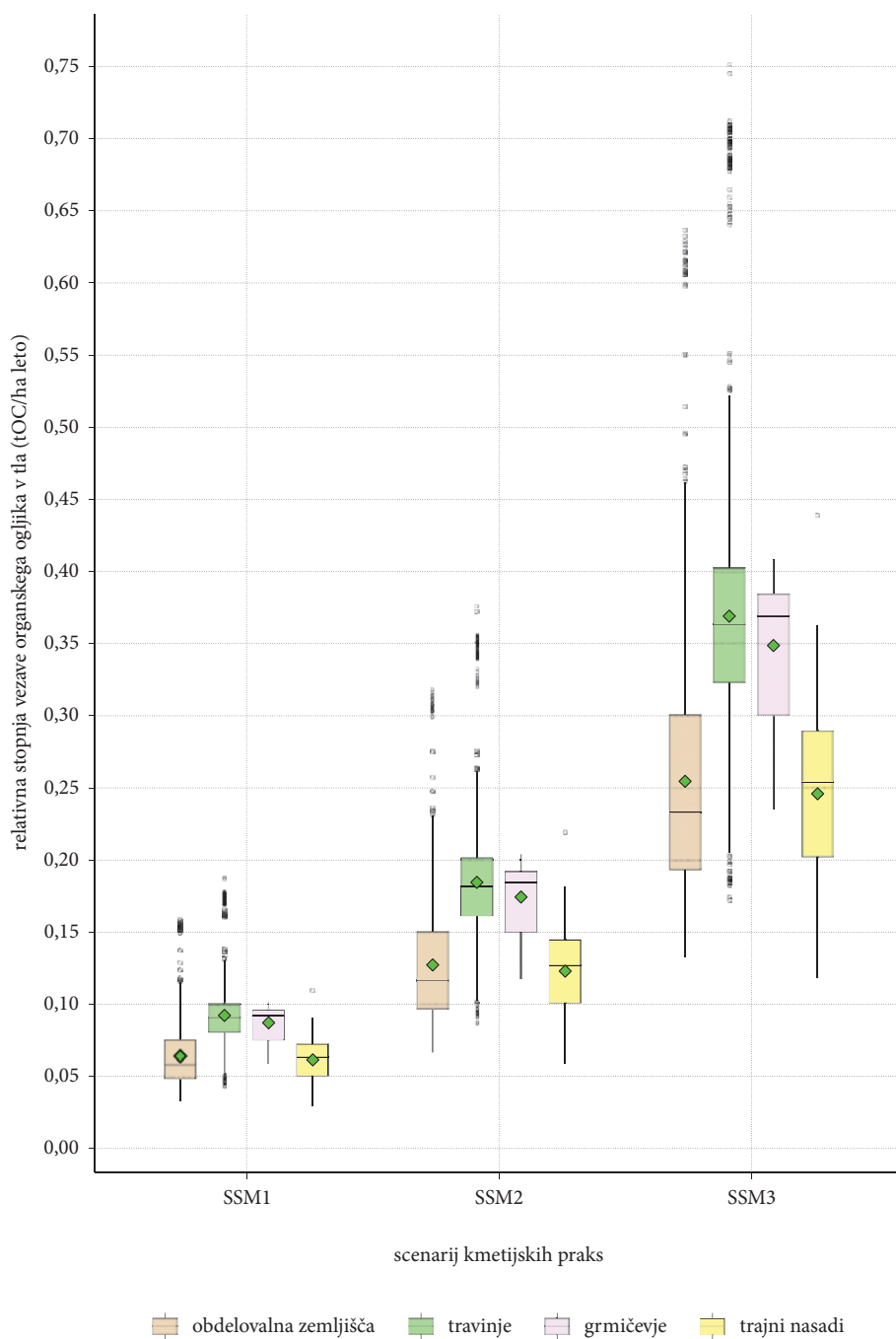
Slika 4: Povprečna absolutna letna vezava OC v tla (tOC/ha na leto) po obravnavanih rabah zemljišč v obdobju 2020–2040 (zeleni simbol na grafu kvartilov označuje povprečje). ► (str. 80)

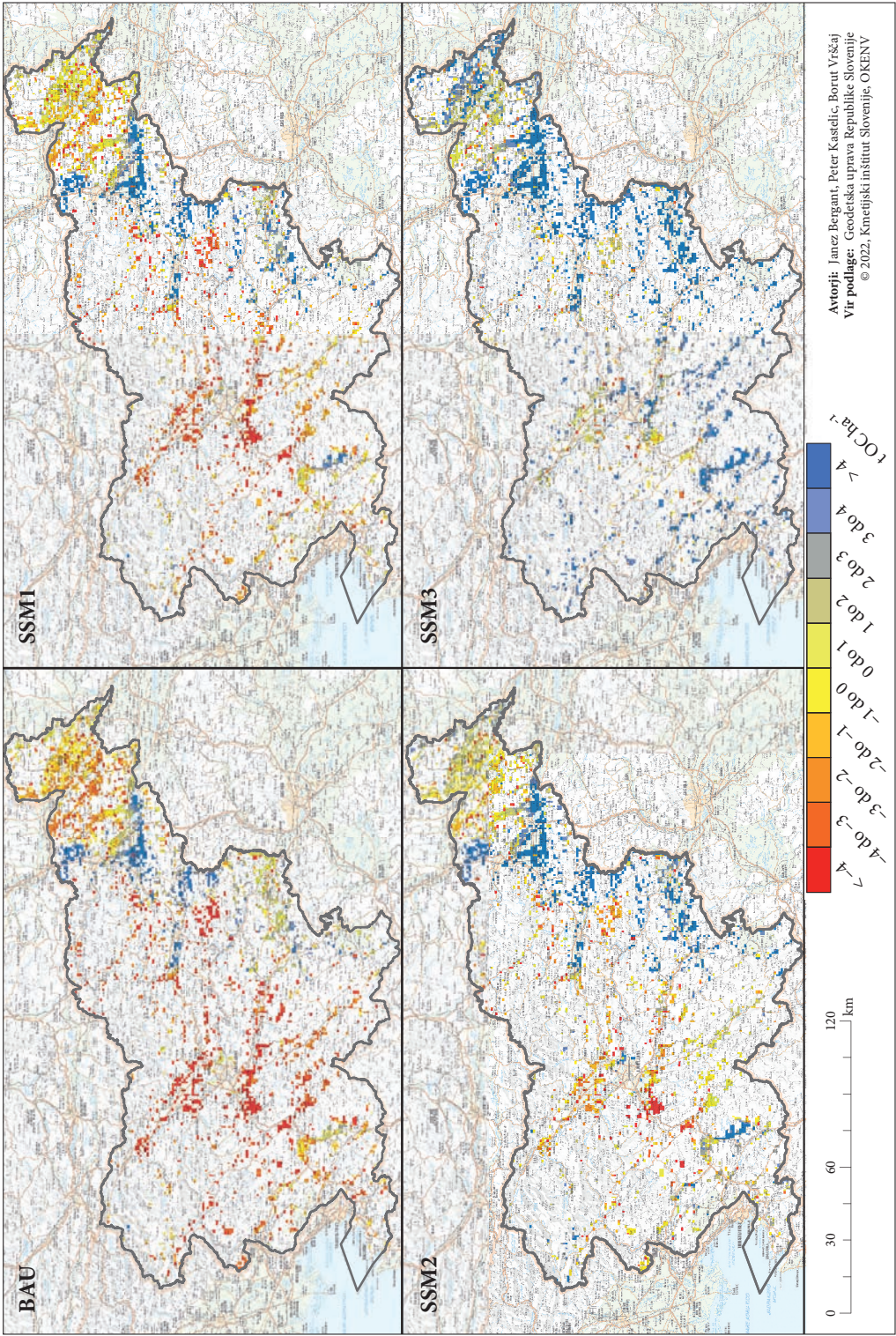
Slika 5: Povprečna relativna letna vezava OC v tla (tOC/ha na leto) po obravnavanih rabah zemljišč (zeleni simbol na grafu kvartilov označuje povprečje). ► (str. 81)

Slika 6: Karta absolutnih razlik zalog OC v tleh (tOC/ha) na kmetijskih zemljiščih med leti 2020 in 2040 po štirih scenarijih. ► (str. 82)

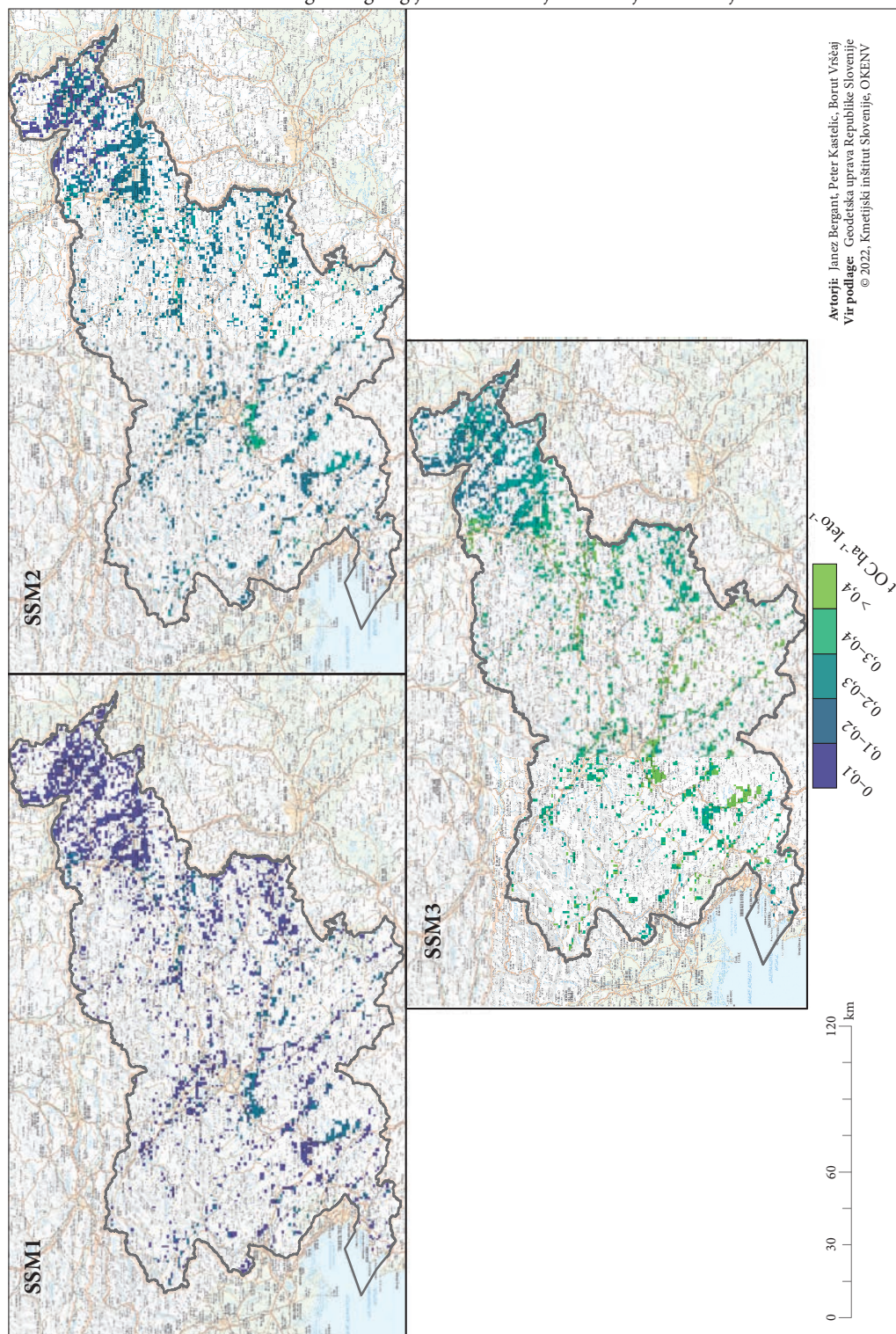
Slika 7: Karta relativne letne vezave OC v tla (tOC/ha na leto) na kmetijskih zemljiščih med leti 2020 in 2040 po štirih scenarijih. ► (str. 83)







Ocena vezave organskega ogljika v tla kmetijskih zemljišč Slovenije



7 Viri in literatura

- Andrén, O., Kätterer, T. 1997: ICBM: the introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. *Ecological Applications* 7. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[1226:ITICBM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[1226:ITICBM]2.0.CO;2)
- Campbell, E. E., Paustian, K. 2015: Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: A review. *Environmental Research Letters* 10-12. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/123004>
- Coleman, K., Jenkinson, D. S. 1996: RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil. IACR – Rothamsted, Harpenden, Herts. AL5 2JQ. U.K.
- Coleman, K., Jenkinson, D. S. 2014: RothC - A Model for the turnover of carbon in soil. Model description and user guide (Windows version), updated June 2014.
- Falloon, P., Smith, P. 2010: Modelling soil carbon dynamics. *Soil Carbon Dynamics*. Cambridge. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511711794.013>
- FAO, 2017. Soil organic carbon: the hidden potential. Rim.
- FAO, 2019: Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems – Guidelines for assessment. Rim.
- FAO, 2020: Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq). Rim.
- FAO, 2022: Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map – GSOCseq v.1.1 - Technical report. Rim. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb9002en>
- Franko, U., Crocker, G. J., Grace, P. R., Klir, J., Körschens, M., Poulton, P. R., Richter, D. D. 1997: Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the CANDY model. *Geoderma* 81. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00084-0)
- Lieth, H., 1975. Modeling the primary productivity of the world. *Primary Productivity of the Biosphere*, Ecological Studies 14. Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-80913-2_12
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R. 2005: Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling* 189, 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.005>
- Podatki pedološke karte 1:25.000 in pedoloških profilov. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2007.
- Podatki dejanske rabe zemljišč 2002–2021. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2021.
- Prostorski sloji klimatskih podatkov 1981–2020. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2021.
- Satelitski posnetki MODIS MOD13A2.006 Terra Vegetation Indices. NASA, 2021.
- Stritar, A. 1991: Pedologija: kompendij. Ljubljana.
- Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B. T., Hutchings, N. J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M., Olesen, J. E. 2014: C-TOOL: A simple model for simulating whole-pro-ple carbon storage in temperate agricultural soils. *Ecological Modelling* 292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.016>

SEZONSKI VPLIV PADAVIN NA POJAV PLAZENJA DO SREDINE 21. STOLETJA

dr. Mateja Jemec Auflič, Gašper Bokal, Špela Kumelj

Geološki zavod Slovenije; mateja.jemec-auflic@geo-zs.si, gasper.bokal@geo-zs.si, spela.kumelj@geo-zs.si

Anže Medved, mag. Mojca Dolinar

Agencija Republike Slovenije za okolje; anze.medved@gov.si, m.dolinar@gov.si

dr. Jernej Jež

Geološki zavod Slovenije; jernej.jez@geo-zs.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_06

UDK: 551.577:551.435.62(497.4)

IZVLEČEK

Sezonski vpliv padavin na pojav plazanja do sredine 21. stoletja

V prispevku prikazujemo sezonski vpliv sprememb padavinskih režimov na pojav plazanja v 29 izbranih občinah v Sloveniji do sredine 21. stoletja. V ta namen smo uporabili scenarij značilnih potekov vsebnosti toplogrednih plinov (RCP4.5) in simulacije šestih podnebnih modelov, ki so se med seboj čim bolj razlikovali, hkrati pa kar najbolj enotno predstavljali izmerjene vrednosti podnebnih spremenljivk v obdobju meritev. Na podlagi referenčnega obdobja (1981–2010) prikazujemo število dni, ko padavine presežejo sprožilne količine padavin in območja, kjer se lahko plazovi v projekcijskem obdobju (2041–2070) pogosteje pojavljajo. Rezultati kažejo, da so vplivi podnebnih sprememb na sezonski ravni (toplo-hladna obdobja) v sredini stoletja bolj izraziti med posameznimi regijami kot na ravni celotne države. V 10-letnih projekcijskih obdobjih se v zahodni Sloveniji kažejo bolj izrazite spremembe v hladnem obdobju, medtem ko se v vzhodnem delu Slovenije pričakujejo večje spremembe v toplem obdobju.

KLJUČNE BESEDE

podnebne spremembe, zemeljski plazovi, sezonski vpliv padavin, Slovenija

ABSTRACT

Seasonal influence of rainfall on landslides until the middle of the 21st century

In the paper, we present the seasonal impact of rainfall on landslides in selected 29 municipalities in the mid-21st century. To do this, we used the Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 climate scenario and simulated future climatology by six climate models that differed from each other as much as possible while reflecting measured values of past climate variables as closely as possible. Based on the baseline period (1981–2010), we plotted the number of days with exceedance of rainfall thresholds in the area where landslides may occur more frequently during the projection period (2041–2070). The results show that climate change impacts are more pronounced at the seasonal level (warm-cold periods) at mid-century between individual regions than at the level of the whole country. In the 10-year projection periods, changes in the cold period are more pronounced in western Slovenia, while greater changes are expected in the warm period in the eastern part of Slovenia.

KEY WORDS

climate change, landslides, seasonal impact of rainfall, Slovenia

1 Uvod

Na pojav zemeljskih plazov vplivajo različni dejavniki, povezani s stabilnostjo pobočij. Med glavnimi sprožitvenimi dejavniki so padavine, ki sodijo med osnovne podnebne spremenljivke. Prvi začetki raziskav vpliva podnebnih sprememb na nestabilnost pobočij in pojav zemeljskih plazov ter modelskih študij scenarijev segajo v konec 20. stoletja, ko je Medvladni forum za podnebne spremembe (IPCC) izdal prvo poročilo o oceni podnebnih sprememb (Houghton in sod. 1990).

Vpliv podnebja in njegovih sprememb na zemeljske plazove je mogoče na splošno opredeliti kot: (a) lokalni ali regionalni (ali globalni), (b) kratkoročni ali dolgoročni ter (c) neposredni ali posredni vplivi. Te vplive je mogoče določiti s pomočjo štirih podnebnih spremenljivk, za katere je znano, da vplivajo na zemeljske plazove: skupne/kumulativne padavine, intenzivnost padavin, temperatura zraka in vremenski sistem. Avtorji so preučevali tako lokalni (Buma in Dehn 1998; Malet in sod. 2005; Coe 2012; Rianna in sod. 2014), kot tudi regionalni (za območja od nekaj 100 km² do nekaj 1000 km²) (Rebetez, Lugon in Baeriswyl 1997; Malet in sod. 2007; Gariano in Guzzetti 2016) in nacionalni vpliv (Sidle in Dhakal 2002; Schmidt in Glade 2003; Winter in sod. 2010; Stoffel, Tiranti in Huggel 2014; Paranunzio in sod. 2016).

Povezava med padavinami in pojavljanjem zemeljskih plazov je opazna tudi v Sloveniji. Komac (2005) je preučil vplive padavin na kamninsko podlago in ugotovil, da so padavine pomemben sprožitveni dejavnik pri prostorskem in časovnem pojavljanju zemeljskih plazov. Jemec Aufličeva in Komac (2013) sta na podlagi padavinskih dogodkov, ob katerih so se prožili zemeljski plazovi v obdobju od 1990 do 2010 ter analiz predhodnih in dnevnih padavin, dokazala pojavljanje plazov v treh različno dolgih padavinskih obdobjih. Raziskave o padavinah in njihovi intenziteti so s statističnim pristopom objavili tudi Rosi in sod. (2016), Jordanova in sod. (2020), medtem ko so empirični pristop vpeljali Bezak in sod. (2018) ter Bezak, Jemec Aufličeva in Mikoš (2019). Jemec Aufličeva in sod. (2021) so objavili prvo oceno vpliva podnebnih sprememb na pojavljanje zemeljskih plazov v sredini 21. stoletja za območje celotne Slovenije. Avtorji ugotavljajo, da se bodo ekstremni padavinski dogodki v prihodnosti pojavljali pogostejše kot danes, kar lahko na nekaterih območjih povzroči pogostejše pojavljanje zemeljskih plazov.

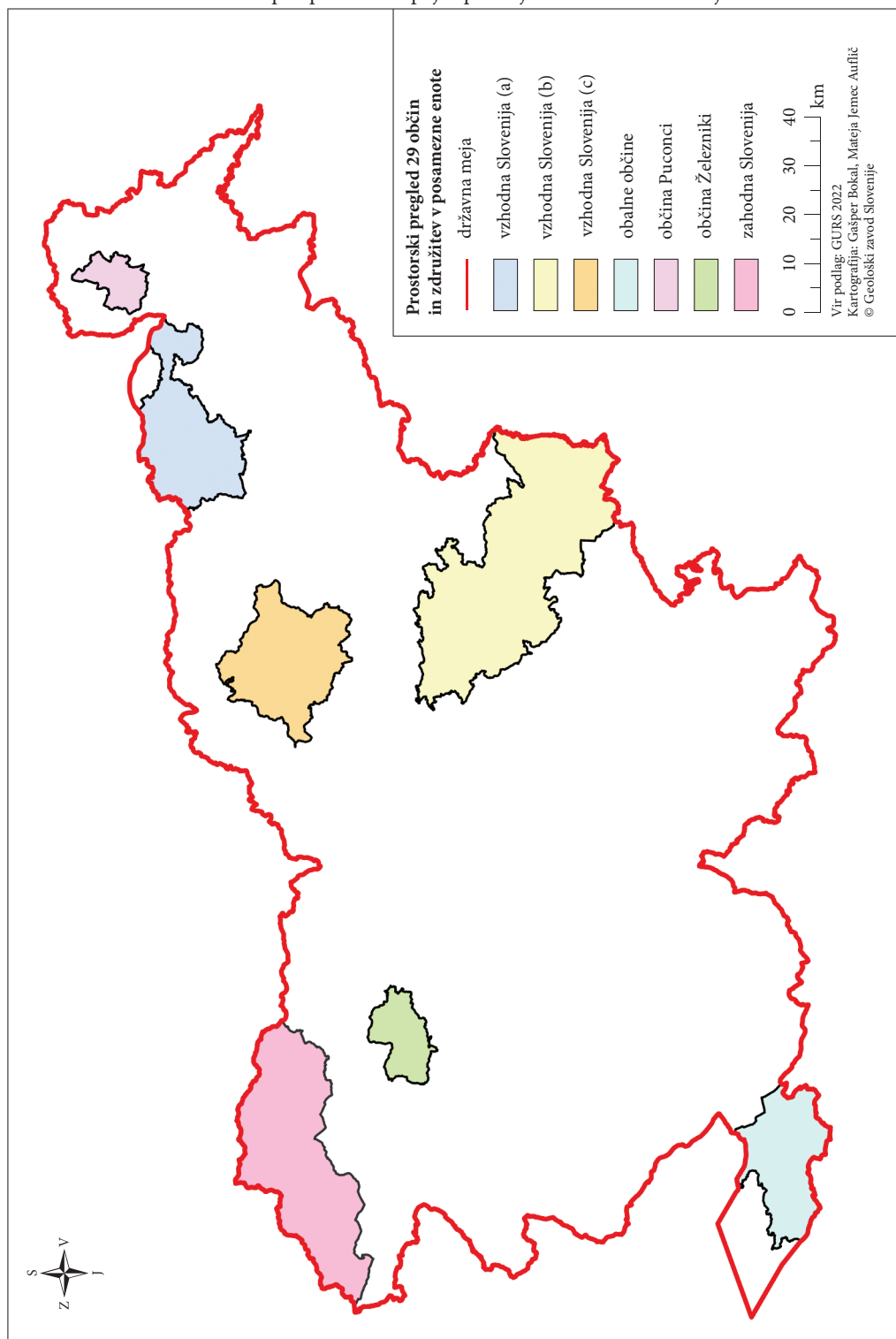
Glavni namen prispevka je prikazati, kakšen je sezonski vpliv padavin na pojavljanje plazov do sredine 21. stoletja v 29 občinah v Sloveniji, kjer je pojavljanje zemeljskih plazov zelo pogosto. Občine smo združili v naslednje enote (slika 1): zahodna Slovenija (Bovec, Gorje, Kranjska Gora, Jesenice, Železniki), vzhodna Slovenija (a) (Gornja Radgona, Kungota, Maribor, Pesnica, Šentilj, Sveta Ana, Sveti Jurij v Slovenskih goricah), vzhodna Slovenija (b) (Brežice, Hrastnik, Krško, Laško, Radeče, Sevnica, Trbovlje), vzhodna Slovenija (c) (Dobrna, Mislinja, Slovenj Gradec, Šoštanj, Velenje), Puconci, obalne občine (Izola, Piran, Koper).

2 Metode

Osnovni vhodni podatki, uporabljeni v raziskavi, so bili pridobljeni v okviru projekta Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja (Bertalanč in sod. 2019). Za oceno podnebnih sprememb uporablja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) rezultate regionalnih podnebnih modelov projekta EURO-CORDEX. Vodoravna ločljivost regionalnih modelov, ki so bili uporabljeni, je okrog 14 km. Obdobje modeliranja je 1961–2100, za nekatere modele 1971–2100. Časovni korak modelskih rezultatov je en dan. Od 14 kombinacij globalnih in regionalnih podnebnih modelov je bilo izbranih šest takšnih, ki so si med seboj čim bolj različni in se obenem čim bolje skladajo z izmerjenimi vrednostmi podnebnih spremenljivk v preteklosti. V nadaljevanju so modeli označeni z oznakami CCLM1, CCLM2, DMI, IPSL, KNMI, SMHI. Globalni podnebni model (GCM) je dal robne pogoje, regionalni podnebni model (RCP) pa je preračunal podatke v manjšo prostorsko ločljivost (okoli 12 km).

Slika 1: Prostorski pregled 29 občin in združitve v posamezne enote. ► (str. 87)

Sezonski vpliv padavin na pojav plazenja do sredine 21. stoletja



Dnevni podatki padavin so bili preračunani iz 12 km ločljivosti v 1 km ločljivost. Podatki so pripravljene za zmerno optimistični scenarij RCP4.5, ki predpostavlja znatne blažilne ukrepe glede izpustov toplogrednih plinov, in sicer za dve obdobji, primerjalno (1981–2010) in projekcijsko obdobje (2041–2070).

Priprava zemljevidov podnebnih scenarijev je v prvi fazi obsegala določitev maksimalne količine padavin za posamezno celico v obdobju enega leta. Nato je bilo na podlagi vseh letnih maksimalnih padavin izračunano povprečje za 10-letne intervale znotraj projekcijskega obdobja, ločeno za hladno (oktober–marec) in toplo obdobje (april–september). Toplo in hladno obdobje sta opredeljena glede na meteorološke letne čase ter na pretekle padavinske dogodke, ob katerih so se prožili zemeljski plazovi. Glede na dolgoletni vzorec pojavljanja zemeljskih plazov je njihova sprožitev tesno povezana z jesensko-zimskim daljšim deževjem in pomladno-poletnimi intenzivnimi padavinami (Jemec Auflič in Komac 2013). Za potrebe ocene vpliva podnebnih sprememb na procese plazenja znotraj 29 občin so bile uporabljene povprečne maksimalne padavine za 10-letna obdobja. Z 10-letnimi obdobji želimo prikazati trend spreminjanja verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov od začetka primerjalnega obdobja do zaključka projekcijskega obdobja.

V prvem koraku smo določili število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin kot ključen vhodni podatek pri določitvi ocene vpliva podnebnih sprememb. Uporabili smo analitično operacijo prekrivanja. V prvi fazi smo posamične padavinske dogodke prekrili s slojem sprožilnih količin padavin (Jemec Auflič in sod. 2021). Rezultat so novi rastrski sloji, ki predstavljajo območja s preseženimi sprožilnimi količinami padavin. Celice, ki predstavljajo območja s preseženimi sprožilnimi količinami padavin, imajo vrednost 1, vsem ostalim območjem pa je bila določena vrednost 0. Nato smo v drugem koraku rastrske sloje med seboj sešteli, glede na časovno uvrstitev v primerjalno ali projekcijsko obdobje. Za vsak posamezen padavinski model sta nastala dva rastrska sloja, prvi za primerjalno obdobje (1981–2010) in drugi sloj za projekcijsko obdobje (2041–2070). V drugi fazi smo s pomočjo aritmetičnega prekrivanja izračunali spremembo števila dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin med primerjalnim in projekcijskim obdobjem.

Glavni namen analize je bil ugotoviti, ali se kažejo pomembne razlike v številu dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin med obema obdobjema.

V tretjem koraku smo za izračun sezonskih vplivov padavin na pojavljanje plazov uporabili model MASPREM, ki izračunava prostorsko časovno pojavljanje zemeljskih plazov za 24 ur vnaprej. Model MASPREM izračunava prostorsko časovno napoved plazov na podlagi treh vhodnih podatkov: karte verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, sprožilnih količin padavin in napovedanih padavin za naslednjih 24 ur (modela ALADIN in INCA). Metodologija za izračun MASPREM napovedi je opisana v Jemec Aufličeva in sod. (2016; 2021). Izračunani 10-letni padavinski trendi (povprečni maksimumi) so predstavljali vhodni podatek za napovedane padavine.

Pri izdelavi projekcij sezonskega vpliva padavin na pojavljanje zemeljskih plazov, pripravi vhodnih podatkov in pripadajoče statistike smo uporabili ESRI programsko okolje (*ArcGIS Pro 2.5.0*, *ArcGIS Server 10.8*). Za vsak posamičen vsebinski sklop so se s programskim jezikom *Python* oblikovale skripte, ki so avtomatizirale in optimizirale celoten proces izdelave verjetnostnih projekcij. Skripte so bile izdelane v okolju *Arcpy*, ki je omogočilo uporabo ESRI programskih orodij izven samega programa.

3 Rezultati

3.1 Število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v primerjalnem in projekcijskem obdobju

Za oceno razlike med številom dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin med primerjalnim (1981–2010) in projekcijskim (2041–2070) obdobjem smo primerjali število dni, kjer je bila presežena vrednost padavin 70 mm (mejna vrednost količine padavin, nad katero se zemeljski plazovi začnejo

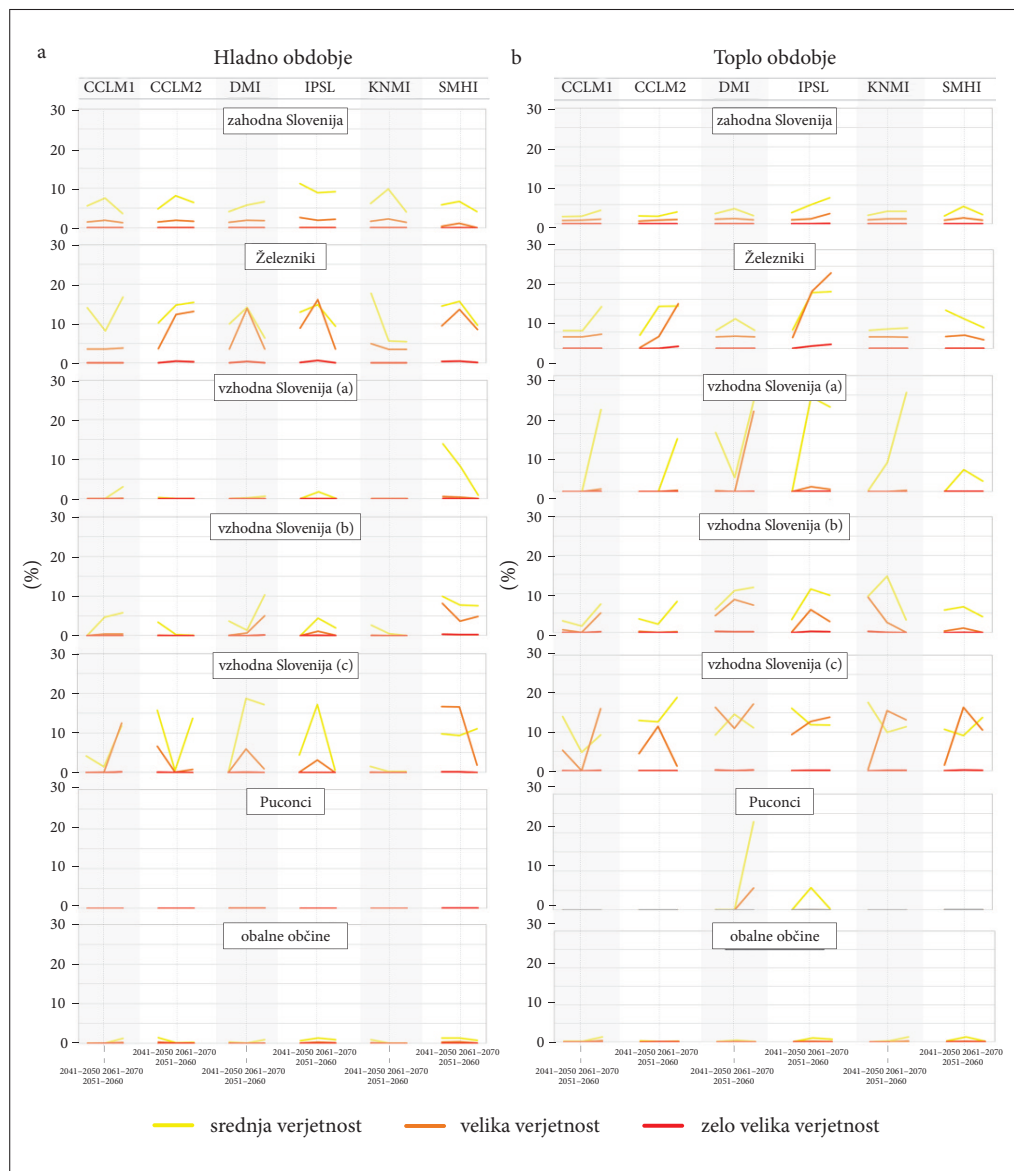
statistično pojavljati). Rezultati so prikazani tabelarično glede na število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v primerjalnem in projekcijskem obdobju za vseh šest modelov (preglednica 1). Pri tem poudarjamo, da so vsi modeli enako zanesljivi ali nezanesljivi. To pomeni, da rezultati ne odražajo, kateri model je izračunal boljše ali slabšo napoved.

*Preglednica 1: Število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v primerjalnem in projekcijskem obdobju za 29 občin – primerjava med šestimi podnebnimi modeli. Seznam podnebnih modelov (okrajšave je pripravil ARSO), ki so kratice meteoroloških centrov, kjer so podatke pripravili (na primer DMI – Meteorološki inštitut Danske, KNMI – Meteorološki inštitut Nizozemske, SMHI – Meteorološki in hidrološki inštitut Švedske, IPSL – Istitut Pierre-Simon Laplace, Francija). Z * sta označena modela, ki ju je pripravilo združenje več numeričnih centrov. Od slednjih smo vzeli dva modela, ki smo jih poimenovali CCLM1 in CCLM2.*

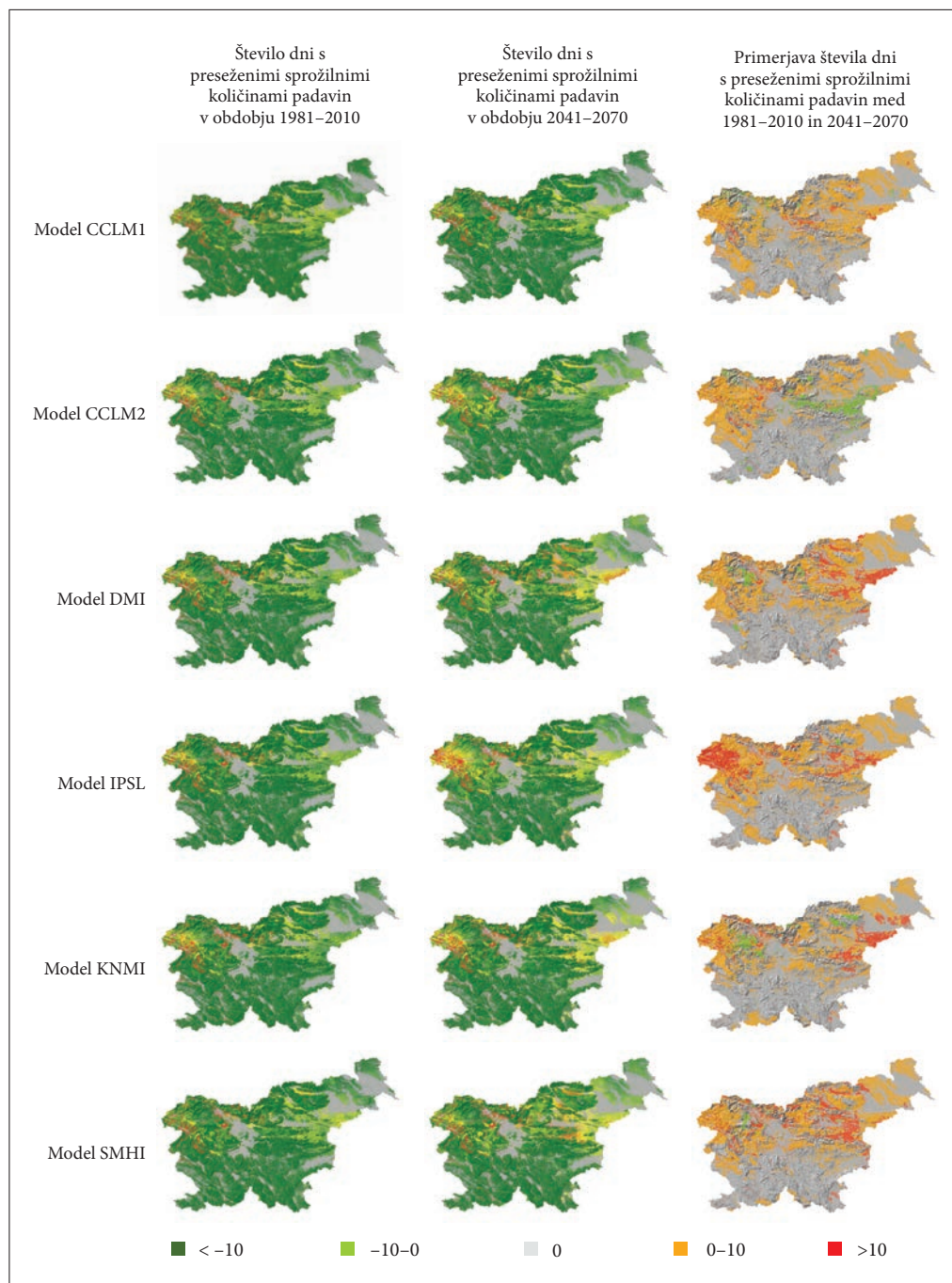
| model | CCLM1* | | CCLM2* | | DMI | | IPSL | | KNMI | | SMHI | |
|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| obdobje | 1981– | 2041– | 1981– | 2041– | 1981– | 2041– | 1981– | 2041– | 1981– | 2041– | 1981– | 2041– |
| občina | 2010 | 2070 | 2010 | 2070 | 2010 | 2070 | 2010 | 2070 | 2010 | 2070 | 2010 | 2070 |
| (število dni) | | | | | | | | | | | | |
| Bovec | 16 | 18 | 18 | 22 | 16 | 21 | 18 | 33 | 18 | 24 | 16 | 23 |
| Brežice | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 10 | 2 | 7 | 2 | 6 | 2 | 10 |
| Dobje | 6 | 12 | 7 | 4 | 6 | 18 | 7 | 14 | 5 | 17 | 6 | 25 |
| Dobrna | 3 | 8 | 4 | 6 | 3 | 12 | 2 | 7 | 3 | 7 | 3 | 11 |
| Gorje | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 | 7 | 4 | 10 | 5 | 7 | 4 | 7 |
| Gornja Radgona | 2 | 4 | 2 | 3 | 0 | 5 | 0 | 3 | 1 | 6 | 1 | 4 |
| Hrastnik | 4 | 6 | 3 | 2 | 3 | 7 | 2 | 6 | 2 | 5 | 2 | 8 |
| Izola | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jesenice | 10 | 10 | 11 | 12 | 10 | 18 | 10 | 16 | 10 | 18 | 11 | 18 |
| Koper | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Kranjska Gora | 6 | 5 | 6 | 7 | 6 | 10 | 6 | 11 | 6 | 10 | 6 | 9 |
| Krško | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 3 | 2 | 7 | 2 | 5 |
| Kungota | 1 | 7 | 2 | 3 | 1 | 10 | 2 | 4 | 1 | 5 | 2 | 11 |
| Laško | 4 | 7 | 4 | 2 | 3 | 10 | 3 | 8 | 3 | 9 | 3 | 13 |
| Maribor | 3 | 8 | 3 | 6 | 2 | 8 | 3 | 7 | 3 | 6 | 2 | 12 |
| Mislinja | 3 | 6 | 4 | 7 | 3 | 11 | 2 | 5 | 4 | 5 | 3 | 11 |
| Pesnica | 2 | 9 | 3 | 5 | 3 | 8 | 2 | 6 | 2 | 5 | 2 | 10 |
| Piran | 2 | 5 | 2 | 3 | 1 | 5 | 2 | 7 | 2 | 5 | 2 | 6 |
| Radeče | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Šentilj | 1 | 5 | 1 | 2 | 0 | 7 | 1 | 3 | 0 | 3 | 1 | 7 |
| Sevnica | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 |
| Slovenj Gradec | 5 | 7 | 4 | 6 | 5 | 12 | 3 | 7 | 5 | 8 | 4 | 12 |
| Šoštanj | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 9 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 8 |
| Sveta Ana | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 4 |
| Sv. Jurij v Slo. goricah | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 5 | 0 | 6 |
| Trbovlje | 3 | 5 | 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| Velenje | 5 | 9 | 6 | 8 | 5 | 15 | 3 | 8 | 6 | 7 | 4 | 13 |
| Puconci | 1 | 7 | 2 | 2 | 1 | 5 | 1 | 6 | 2 | 4 | 2 | 5 |
| Železniki | 6 | 7 | 6 | 11 | 6 | 9 | 5 | 12 | 6 | 8 | 6 | 12 |

3.2 Ocena sezonskega vpliva padavin na pojav plazjenja v 29 občinah

Rezultati ocene sezonskega vpliva padavin za zmerno optimistični scenarij izpustov toplogrednih plinov za pojav plazjenja v 29 občinah so prikazani na sliki 2. Izračuni so bili narejeni na podlagi povprečnih maksimalnih padavin znotraj teh obdobj. Na 10-letne časovne intervale je bilo razdeljeno tako



Slika 2: Primerjava sezonskega vpliva padavin med 10-letnimi obdobji v sredini stoletja za topla in hladna obdobja po razredih verjetnosti pojavljanja plazov, kjer je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov srednja do zelo velika.



Slika 3: Število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v obdobjih 1981–2010 in 2041–2070 ter primerjava (razlika) med njimi.

primerjalno (1981–1990, 1991–2000, 2001–2010) kot projekcijsko (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) obdobje. Znotraj teh so spremembe prikazane po šestmesečnih toplih in hladnih obdobjih. Sprememba sezonskih trendov se opisuje za območja, kjer je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov zmerina do zelo velika.

V 10-letnih projekcijskih obdobjih se v zahodni Sloveniji kažejo bolj izrazite spremembe v hladnem obdobju, medtem ko se v vzhodnem delu Slovenije pričakujejo večje spremembe v toplem obdobju (slika 2). V zahodni Sloveniji se večja verjetnost pojavljanja plazov v hladnih obdobjih (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) kaže v vseh šestih modelskih napovedih. Verjetnost pojavljanja plazov v teh občinah v hladnem obdobju bo večja na okoli 5 % površin. V občini Železniki se na primer kaže trend večje verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov v hladnem obdobju, ki bo večji na vsaj 10 % površin glede na tople obdobje. Odstopa model IPSL, ki kaže večjo verjetnost pojavljanja plazov v toplem obdobju.

V občinah v vzhodnem delu Slovenije (slika 1, enote vzhodne Slovenije a, b in c) je sezonski trend povečanja verjetnosti pojavljanja plazov bolj značilen za topla obdobja. Izjema je le model SMHI, ki kaže nekoliko večjo verjetnost pojavov plazov v hladnem obdobju. Na primer v občini Puconci v hladnem obdobju ni zaznani spremembe v povečanju verjetnosti pojavljanja plazov, medtem ko v toplem obdobju na povečanje verjetnosti pojavljanja plazov kažeta modela DMI in IPSL. Pri obeh modelih gre za povečanje verjetnosti pojavljanja plazov na približno od 5 do 20 % površin v obdobjih 2051–2060 in 2061–2070. Vpliv podnebnih sprememb na sezonski ravni (hladna-topla obdobja) po izračunih ni značilno izražen v primeru obalnih občin, kjer so sezonske spremembe verjetnosti pojavljanja plazov znotraj 10-letnih obdobj minimalne.

Pri zmerno optimističnem scenariju izpustov toplogrednih plinov se vplivi sprememb padavin v sredini stoletja po 10-letnih obdobjih (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) med seboj razlikujejo tako po obdobjih kot tudi med posameznimi regijami. V hladnem in toplem obdobju je glede na izračune pričakovati, da se bo verjetnost plazov povečevala do 2061–2070. Pri modelih DMI, IPSL in SMHI se nakazuje izjema, saj je pričakovati trend naraščanja verjetnosti pojavljanja plazov do obdobja 2051–2060, medtem ko je v obdobju 2061–2070 pričakovati manjši upad (slika 2). Ta trend je značilen predvsem za občine v zahodni Sloveniji (Bovec, Gorje, Jesenice, Kranjska Gora), kjer bo za okoli 5 % več ozemlja podvrženega pojavom plazenja. Podoben trend velja tudi za občino Železniki, le da je tu pričakovati še večje povečanje površin plazljivih območij (do 15 %). Za občine v vzhodni Sloveniji so trendi naraščanja verjetnosti pojavljanja plazov v hladnem obdobju bolj jasno izraženi, medtem ko je po 10-letnih obdobjih v toplem obdobju pričakovati manjše spremembe. Kaže se trend naraščanja verjetnosti pojavljanja plazov do zadnjega obdobja 2060–2071. Izjema so rezultati modelov IPSL, KNMI in SMHI, po katerih se pričakuje, da bo verjetnost nastanka zemeljskih plazov naraščala do obdobja 2051–2060, nato pa bo sledil manjši upad v obdobju 2061–2070. Neznačilen trend spreminjanja verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov po 10-letnih obdobjih je opaziti pri občinah Dobje, Mislinja, Slovenj Gradec, Šoštanj in Velenje. Posebej je treba omeniti tudi občino Puconci, kjer trend sprememb vpliva podnebnih sprememb ni bistveno zaznan, z izjemo pri modelskih napovedih DMI in IPSL. To velja tudi za obalne občine Izola, Koper in Piran, kjer izračuni pokažejo minimalen trend naraščanja nevarnosti do konca sredine stoletja.

4 Sklep

Nastanek zemeljskih plazov je tesno povezan s porazdelitvijo padavin, intenziteto in dolžino trajanja padavinskega dogodka, zato so rezultati ocene sezonskega vpliva padavin na pojav plazenja močno odvisni od pričakovanih trendov sprememb padavin. Pri občinah v zahodni Sloveniji se bo število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin od obdobja 1981–2010 do 2041–2070 povečalo v povprečju od 1 do 8 dni, pri večini modelov od 4 do 8 dni. Pri občinah v vzhodni Sloveniji se bo število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin od obdobja 1981–2010 do 2041–2070 povečalo v povprečju

od 1 do 7 dni, pri večini modelov od 3 do 6 dni. Pri obalnih občinah se bo število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin od obdobja 1981–2010 do 2041–2070 v povprečju povečalo za 1 do 2 dni. Vplivi podnebnih sprememb na sezonski ravni (toplo-hladna obdobja) so v sredini stoletja bolj izraziti med posameznimi regijami kot na ravni celotne države, kot ugotavlja raziskava Jemec Aufličeve in sod. (2021). V 10-letnih projekcijskih obdobjih se v zahodni Sloveniji kažejo bolj izrazite spremembe v hladnem obdobju, medtem ko se v vzhodnem delu Slovenije pričakujejo večje spremembe v toplem obdobju. V občinah zahodne Slovenije bo večja verjetnost pojavljanja plazov v hladnih obdobjih (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) na okoli 5 % površin, v občini Železniki celo na 10 % večji površini kot v toplem obdobju. V občinah vzhodne Slovenije se trend pojavljanja zemeljskih plazov med modeli nekoliko bolj razlikuje, vendar prevladuje trend povečanja verjetnosti plazov v toplem obdobju. Sezonski vpliv po izračunih ni značilno izražen v primeru obalnih občin.

ZAHVALA: Študija je nastala v okviru projekta »Izdelava opozorilnih kart nevarnosti zaradi procesov pobočnega masnega premikanja in erozije za 15 izbranih občin«, ki jo je v letu 2020 financiralo Ministrstvo za okolje in prostor. Zahvala gre tudi ARRS raziskovalnima programoma Dinamična Zemlja (P1-049) in Regionalna geologija (P1-0011).

5 Viri in literatura

- Bertalaní, R., Dolinar, M., Honzak, L., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahović, Ž. 2019: Climate Change Projections for Slovenia Over the 21st Century: Temperature in Precipitation Summary. Ljubljana.
- Bezák, N., Brilly, M., Šraj, M., Mikoš, M. 2018: TXT-tool 2.386-1.1: Intensity-duration-frequency curves for rainfall-induced shallow landslides in debris flows using copula functions. Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools, vol. 2: Testing, Risk Management in Country Practices. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_32
- Bezák, N., Jemec Auflič, M., Mikoš, M. 2019: Application of hydrological modelling for temporal prediction of rainfall-induced shallow landslides. Landslides 16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01169-9>
- Buma, J., Dehn, M. 1998: A method for predicting the impact of climate change on slope stability. Environmental Geology 35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540050305>
- Coe, J. A. 2012: Regional moisture balance control of landslide motion: implications for landslide forecasting in a changing climate. Geology 40-4. DOI: <https://doi.org/10.1130/G32897.1>
- Gariano, S. L., Guzzetti, F. 2016: Landslides in a changing climate. Earth-Science Reviews 162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Houghton, J. T., Jenkins, G. J., Ephraums, J. J. 1990: Climate Change - The IPCC Scientific Assessment. Cambridge.
- Jemec Auflič, M., Komac, M. 2013: Rainfall patterns for shallow landsliding in perialpine Slovenia. Natural Hazards 67-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9882-9>
- Jemec Auflič, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Podboj, M., Peternel, T., Komac, M. 2016: Landslide prediction system for rainfall induced landslides in Slovenia (Masprem). Geologija 59-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2016.016>
- Jemec Auflič, M., Bokal, G., Kumelj, Š., Medved, A., Dolinar, M., Jež, J. 2021: Impact of climate change on landslides in Slovenia in the mid-21st century. Geologija 64-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2021.009>
- Jordanova, G., Gariano, S. L., Melillo, M., Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Jemec Auflič, M. 2020: Determination of empirical rainfall thresholds for shallow landslides in Slovenia using an automatic tool. Water 12-5. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051449>

- Komac, M. 2005: Rainstorms as a landslide-triggering factor in Slovenia. *Geologija* 48-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2005.022>
- Malet, J. P., van Asch, T. H. W. J., van Beek, R., Maquaire, O. 2005: Forecasting the behaviours of complex landslides with a spatially distributed hydrological model. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5-1. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-5-71-2005>
- Malet, J. P., Remaitre, A., Maquaire, O., Durin, Y., Etchevers, P., Guyomarch, G., Déqué, M., van Beek, L. P. H. 2007: Assessing the influence of climate change on the activity of landslides in the Ubaye Valley. *Landslides in Climate Change: Challenges in Solutions*. London. DOI: <https://doi.org/10.1201/noe0415443180.ch24>
- Paranunzio, R., Laio, F., Chiarle, M., Nigrelli, G., Guzzetti, F. 2016: Climate anomalies associated to the occurrence of rockfalls at high-elevation in the Italian Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2085-2016>
- Rebetez, M., Lugon, R., Baeriswyl, P. A. 1997: Climatic change in debris flows in high mountain regions: The case study of the Ritigraben torrent (Swiss Alps). *Climatic Change* 36. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005356130392>
- Rianna, G., Zollo, A. L., Tommasi, P., Paciucci, M., Comegna, L., Mercogliano, P. 2014: Evaluation of the effects of climate changes on landslide activity of Orvieto clayey slope. *Procedia Earth and Planetary Science* 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.06.017>
- Rosi, A., Peternel, T., Jemec Auflič, M., Komac, M., Casagli, N. 2016: Rainfall thresholds for rainfall-induced landslides in Slovenia. *Landslides* 13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0733-3>
- Schmidt, J., Glade, T. 2003: Linking global circulation model outputs to regional geomorphic models: A case study of landslide activity in New Zealand. *Climate Research* 25. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr025135>
- Sidle, R. C., Dhakal, A. S. 2002: Potential effects of environmental change on landslide hazards in forest environments. *Environmental Change in Geomorphic Hazards in Forests*. IUFRO Research Series 9. Wallingford. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851995984.0123>
- Stoffel, M., Tiranti, D., Huggel, C. 2014: Climate change impacts on mass movements – Case studies from the European Alps. *Science of The Total Environment* 493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.102>
- Winter, M. G., Dent, J., Macgregor, F., Dempsey, P., Motion, A., Shackman, L. 2010: Debris flow, rainfall in climate change in Scotlin. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 43-4. DOI: <https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-108>

DOLOČANJE POTENCIALNIH OBMOČIJ PROŽENJA SNEŽNIH PLAZOV Z ANALIZO RELIEFA

dr. Manca Volk Bahun, dr. Mauro Hrvatin, dr. Blaž Komac

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

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

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

blaz.komac@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4205-5790>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_07

UDK: 911.2:551.4:551.578.48(234.323.6)

IZVLEČEK

Določanje potencialnih območij proženja snežnih plazov z analizo reliefa

V članku predstavljamo metodo za določanje območij proženja snežnih plazov. Izračune na plazovnih območjih smo najprej opravili v posoških Julijskih Alpah in na območju Begunjščice v Karavankah, za katere imamo na razpolago zanesljive podatke lavinskega katastra. Pri izračunu smo upoštevali naklon, vektorsko mero hrapavosti površja, indeks vetrne izpostavljenosti, večlestvični topografski pozicijski indeks in višino rastja. Vrednosti smo razvrstili v pet razredov, jih sešteli in izpostavili območja z najvišjimi vrednostmi. Z modelom smo za Kamniško-Savinjske Alpe ocenili, kje se glede na reliefne značilnosti lahko prožijo plazovi. Rezultati omogočajo kasnejše podrobno kartiranje lavinske nevarnosti in pomembno dopolnjujejo poznavanje gorskih pokrajin v Sloveniji.

KLJUČNE BESEDE

geografija, GIS, lavinska nevarnost, modeliranje, relief, Julijske Alpe, Kamniško-Savinjske Alpe, Karavanke

ABSTRACT

Determining potential snow avalanche release areas by relief analysis

The paper presents a method for determining snow avalanche release areas. We performed the calculations of potential avalanche release areas in the Soča Julian Alps and in the Begunjščica (Western Karawanks), for which we have reliable data from the avalanche cadaster. Slope gradient, vector ruggedness measure, wind exposure index, multiscale topographic position index, and vegetation height were considered in the calculations. The values were divided into five classes, summed, and the areas with the highest values were highlighted. We performed the assessment for the Kamnik–Savinja Alps. The results enable subsequent detailed mapping of avalanche hazard and contribute significantly to the knowledge of mountain landscapes in Slovenia.

KEY WORDS

geography, GIS, avalanche hazard, modeling, relief, Julian Alps, Kamnik–Savinja Alps, Karawanks

1 Uvod

Snežni plazovi so značilen, vsakoletni pojav v visokogorju in vršnih delih sredogorja, ob obilnih snežnih padavinah pa tudi nižje. Ponekod lahko občasno povzročijo veliko škodo in so neposredna grožnja obiskovalcem gora (Vrhovec 2002). Čeprav ogrožajo le 0,7 % Slovenije, so problematični zaradi krajevnih in časovnih spremenljivosti, saj spomin nanje hitro zbledi (Komac 2009).

Sprožijo se lahko povesod, kjer je dovolj snega in dovolj strmo (Burkeljca 2021). Čeprav je to pravilo preprosto, je identifikacija območij sproščanja zelo zahtevna. Proženje je namreč odvisno od številnih snežnih, vremenskih in reliefnih dejavnikov ter njihovega težko izmerljivega součinkovanja. Najbolj zanesljiv način identifikacije območij proženja plazov so terenske raziskave ter zgodovinski zapisi.

Z razvojem računalništva se je razvijalo tudi modeliranje potencialnih plazovitih območij. Začetni poskusi so sledili metodologiji preučevanja zemeljskih plazov (Carrara in Guzetti 1995), prvi avtomatizirani pristopi z uporabo GIS-ov pa so nastali pred dvema desetletjema (Maggioni s sodelavci 2002; Maggioni in Gruber 2003; Maggioni 2005). Sprva precej grobe digitalne modele višin so kasneje nadomestili modeli z ločljivostjo med 1 in 10 m, ki omogočajo natančne analize ukrivljenosti in hrapavosti površja (McClung 2001; Schweizer s sodelavci 2003; van Herwijnen in Heierli 2009; Bühler s sodelavci 2013; Veitinger s sodelavci 2016; Bühler s sodelavci 2018; Brožová s sodelavci 2021). V študijah so najpogosteje uporabili naslednje morfometrične kazalnike:

- naklon površja (Voellmy 1955; Maggioni s sodelavci 2002; Ghinoin in Chung 2005; Barbolini s sodelavci 2011; Andres in Chueca Cía 2012; Pistocchi in Notarnicola 2013; Bühler s sodelavci 2013; Chueca Cía s sodelavci 2014; Veitinger s sodelavci 2016),
- vodoravna ukrivljenost površja (Maggioni s sodelavci 2002; Barbolini s sodelavci 2011; Andres in Chueca Cía 2012; Pistocchi in Notarnicola 2013; Bühler s sodelavci 2013; Chueca Cía s sodelavci 2014),
- ekspozicija površja (Maggioni s sodelavci 2002; Ghinoin in Chung 2005; Bühler s sodelavci 2013; Veitinger s sodelavci 2016),
- hrapavost površja (Ghinoin in Chung 2005; Bühler s sodelavci 2013; Veitinger s sodelavci 2016),
- nadmorska višina površja (Ghinoin in Chung 2005; Andres in Chueca Cía 2012; Chueca Cía s sodelavci 2014),
- oddaljenost od slemena oziroma grebena (Maggioni s sodelavci 2002; Ghinoin in Chung 2005; Pistocchi in Notarnicola 2013),
- navpična ukrivljenost površja (Pistocchi in Notarnicola 2013) in
- topografski indeks vlažnosti (Pistocchi in Notarnicola 2013).

Morfometrične kazalnike so kombinirali še s podatki o rastlinski odeji (Ghinoin in Chung 2005; Barbolini s sodelavci 2011; Andres in Chueca Cía 2012; Pistocchi in Notarnicola 2013; Chueca Cía s sodelavci 2014; Veitinger s sodelavci 2016) in vetrnem zavetju (Veitinger s sodelavci 2016).

Izredno pomembna zbirka podatkov o snežnih plazovih je lavinski kataster, ki je začel nastajati na Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije in pozneje v Podjetju za urejanje hudournikov s sodelovanjem Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU. Poudarek je bil na že znanih plazovih, ki ogrožajo človeka, njegove dobrine in druge pokrajinske sestavine, omogoča pa tudi opredelitev potencialno ogroženih območij (Pavšek 2002). V katastru je zabeleženih 1257 plazov, od tega jih je 556 v Julijskih Alpah, 66 v Karavankah in 21 v Kamniško-Savinjskih Alpah. Preostalih 614 plazov leži v alpskem hribovju (Pavšek 2002).

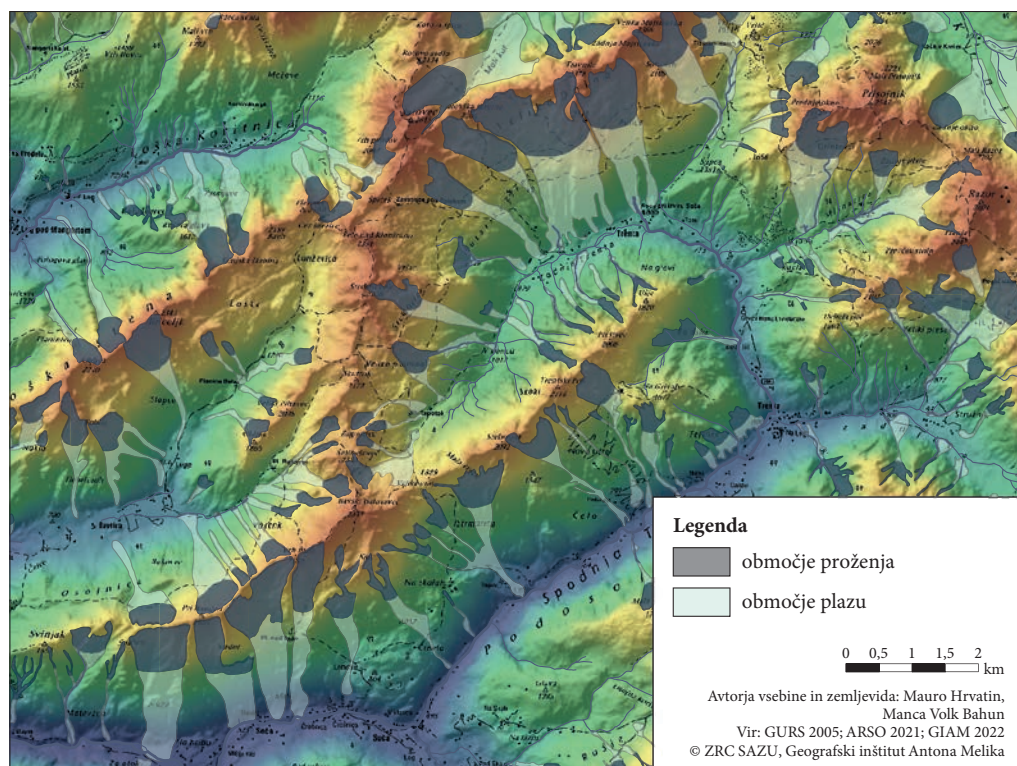
Pri izdelavi katastra so bili upoštevani najbolj problematični snežni plazovi, zato je ostalo neobdelano sorazmerno veliko območje. Zaradi širjenja naselij, gradnje novih komunikacijskih objektov, predvsem pa zaradi povečanega obiska gora pozimi bi bilo treba razmišljati o razširitvi lavinskega katastra tudi na ta območja. Ker njegova dopolnitev kratkoročno ni mogoča, smo poskušali to rešiti v okviru GIS-a.

2 Izbrana območja

V prispevku predstavljamo analizo, ki smo jo opravili na primeru Julijskih Alp, Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp. Spoznanja, ki smo jih pridobili z analizo znanih območij proženja snežnih plazov v Zgornjem Posočju (Komac s sodelavci 2021) in na Begunjski (Volk 2011), kjer so lavinski podatki najbolj kakovostni, smo uporabili za določanje potencialnih območij proženja snežnih plazov v osrednjem delu Kamniško-Savinjskih Alp, kjer je lavinski kataster izredno pomanjkljiv.

Obravnavane gorske pokrajine imajo nad gozdno mejo gorsko podnebje s povprečno julijsko temperaturo pod 12 °C in povprečno januarsko temperaturo pod -4 °C. Prejmejo povprečno 2540 mm padavin. V Julijskih Alpah letno zapade več kot 5 m snega, v Karavankah in Kamniško-Savinjskih Alpah pa 3–5 m. Snežna odeja traja na obrobju alpskih visokogorskih pokrajin od 100 do 150 dni letno, okrog najvišjih vrhov prek 200, na Kredarici (2515 m) pa že prek 250 dni (Kozjek s sodelavci 2017).

Zaradi velikih višinskih razlik in dolgih skladnih pobočij so snežni plazovi največji v Julijskih Alpah, kjer je le tretjina plazov krajših od 500 m, več kot polovica pa meri od 500 do 1300 m (Pavšek 2002). S strmih pobočij in sten sneg plazi sproti in prevladujejo pršni plazovi. Plazovi mokrega snega se prožijo na položnejših odsekih in se v nadaljevanju premikajo po žlebovih in drugih vdolbenih reliefnih oblikah. Plazovina med potjo po grapi kljub zavojem, skokom in zožitvam ohranja ali celo povečuje energijo, zato takšen plaz pogosto doseže dolinsko dno in celo rečno strugo. Široka ploska pobočja plazovni tok razpršijo, kar zmanjša energijo in plaz zaustavi na pobočju. Na meliščih so snežni plazovi poleg skalnih podorov in hudournikov (Gams 1991) z dotokom gradiva in udarno močjo (Corner 1980) pomemben preoblikovalni dejavnik (Jomelli in Bertran 2004; Komac in Zorn 2022). Tu ima precejšnjo protiplazovno vlogo rastje.



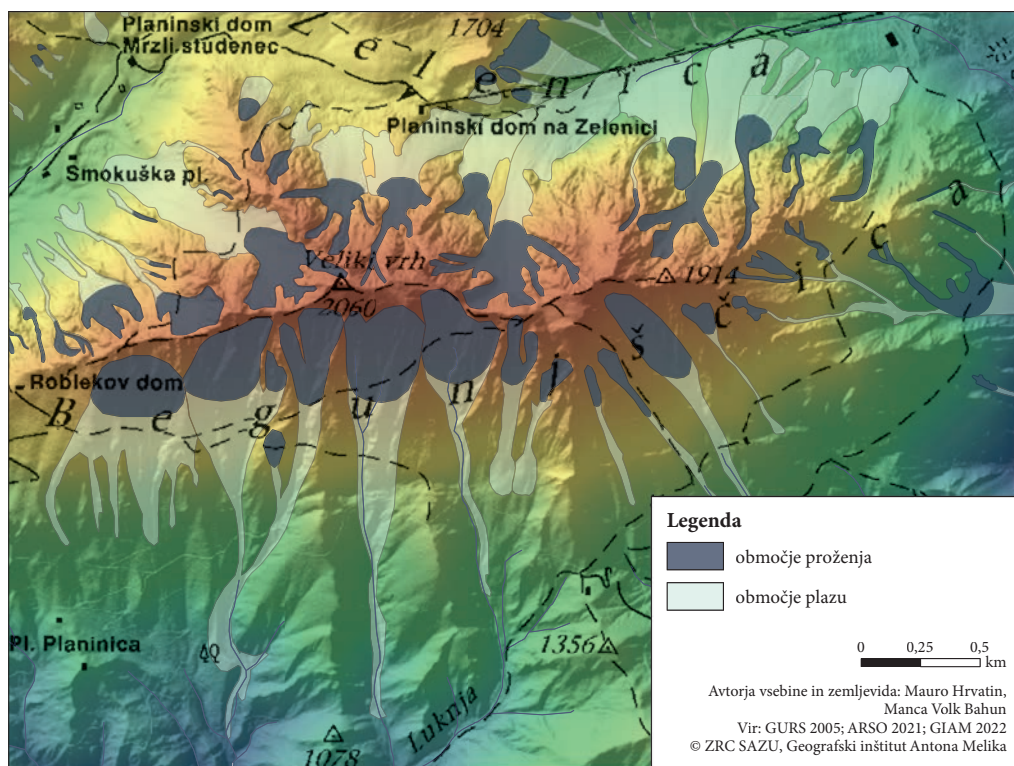
Slika 1: Obravnavano območje Zgornjega Posočja.

V naših Alpah je na apnencu »mnogo več neizglajenih strmin in tudi več prepadnih sten« (Gams 1983), površje visokogorskega krasa pa poleg vzdolžnih grap, grbin in skokov prepredajo tudi manjše reliefne oblike, ki zmanjšujejo možnost plazenja, čeprav bi ga naklon pobočja že omogočal. Sicer pa obilnejša snežna odeja sčasoma tudi na bolj razčlenjenih pobočjih zgledi in izravna hrapavost površja ter zaviralni učinek nizkega rastja. Tako »je na travnem pobočju z izglajeno strmino naklon okoli 15–28° najugodnejši za katastrofalne plazove« (Gams 1983).

Julijske Alpe so s 1542 km² največja gorska pokrajina v Sloveniji. Imajo povprečno nadmorsko višino 1108 m in naklon 25,5°, 59 % površja v nižjih legah prerašča gozd. Povirje Soče in Save zaznamujejo stene na severu in gola travnata skladna južna pobočja, ki segajo do grebenov. Takšna so pobočja pod grebenom od Vrha Krnice prek Briceljka do Plešivca ter od Svinjaka prek Bavškega Grintavca in Trentskega Pelca do Ušja, kjer se prožijo največji plazovi v Sloveniji (Gams 1955; Lipušček 1988; Pavšek 2002). V poglavju obravnavamo 184 km² veliko območje med Sočo (483 m) na jugu do prelaza Vršič (1611 m) na severu ter od Svinjaka (1653 m) na zahodu do Kriških podov (2052 m) na vzhodu (slika 1), kjer je znanih 199 snežnih plazov.

Zahodne Karavanke merijo 331 km² in imajo povprečno nadmorsko višino 1187 m ter naklon 25,5°. Gozd prerašča kar štiri petine površja. So kamninsko pestre in reliefno bolj razgibane od Julijcev. V njih je desetina zabeleženih snežnih plazov v Sloveniji. Na severnih pobočjih Begunjšče (slika 2) so plazovi stalnica, na jugu pa se stekajo po grapah (Pavšek 2002; Pavšek s sodelavci 2010; Volk Bahun 2016). Na 16 km² velikem območju je znanih 63 snežnih plazov.

Kamniško-Savinjske Alpe merijo 889 km², imajo povprečno nadmorsko višino 958 m in naklon 23,2°. Gozd prekriva tri četrtine površja. Najvišje predele zaznamuje visokogorski kras, na jugu in vzhodu



Slika 2: Obravnavano območje Begunjšče.

pa jih obdajajo planote. Deli dolin, ki jih dosežejo plazovi, za razliko od Posočja niso stalno naseljeni in tudi »snežni plazovi v glavnem obstanejo pod pobočji« (Gams 1983). Na območju med dolino Korošice in Mokrico nas na velike plazove opozarjajo ledinska imena: Veliki plaz, Beli plaz, Mihcov plaz, Farjev plaz, Markov plaz in Jerinov plaz. Na obravnavanem območju, ki meri 118 km², je znanih 59 snežnih plazov (slika 4).

3 Metode

V prispevku smo v delu Zgornjega Posočja in na Begunjščici ugotavljali morfometrične značilnosti območij proženja snežnih plazov ter spoznanja prenesli na Kamniško-Savinjske Alpe. Uporabili smo lavinski kataster (Volk Bahun 2020), lidarski digitalni model reliefa ločljivosti 0,5 m (GDİ d.o.o. 2021) in digitalni model krošenj ločljivosti 1 m (Kobler 2016). Podatke smo prevzorčili na ločljivost 2 m ter za izračune uporabili programa ArcMap (različica 10.8.1) in SAGA (različica 8.2.0).

Na plaznicah Zgornjega Posočja in Begunjščice smo določili območja proženja snežnih plazov, tako da smo izločili in za pripravo kazalnikov in analize uporabili zgornjo tretjino plaznic. V naslednjem koraku smo opravili izbor morfometričnih kazalnikov. Naklonu površja, vektorski meri hrapavosti, indeksu vetrne izpostavljenosti in večestvičnemu topografskemu pozicijskemu indeksu, ki temeljijo na digitalnem modelu višin, smo dodali višino rastja, saj tudi odsotnost gozda pomembno vpliva na proženje in potek snežnih plazov (slika 3).

Vsak kazalnik smo razdelili na pet razredov na temelju aritmetične sredine in standardnega odklona, vsakemu razredu pa pripisali oceno lavinske ogroženosti (od 1 do 5), pri čemer pomeni višja ocena večjo možnost proženja plazov. Širina vsakega razreda je bila dvakratna polovična vrednost standardnega odklona. Povprečna vrednost naklona na območjih proženja snežnih plazov je bila na primer 41,5°, standardni odklon pa 12,4°. Najvišjo oceno (5) lavinske ogroženosti smo pripisali naklonom v razponu 41,5° ± 6,2° oziroma od 35,3° do 47,7°. Razred naklona z naslednjo oceno (4) je bil za polovico standardnega odklona nižji od spodnje meje predhodnega razreda (od 29,1° do 35,3°) in hkrati za polovico standardnega odklona višji od zgornje meje predhodnega razreda (od 47,7° do 53,9°) itd.

Podatke o višini rastja smo razdelili na pet razredov po metodologiji snežnih zemljevidov v okviru projekta CROSSRISK (Medmrežje 1).

V nadaljevanju na kratko predstavljamo uporabljene kazalnike in njihovo členitev na razrede.

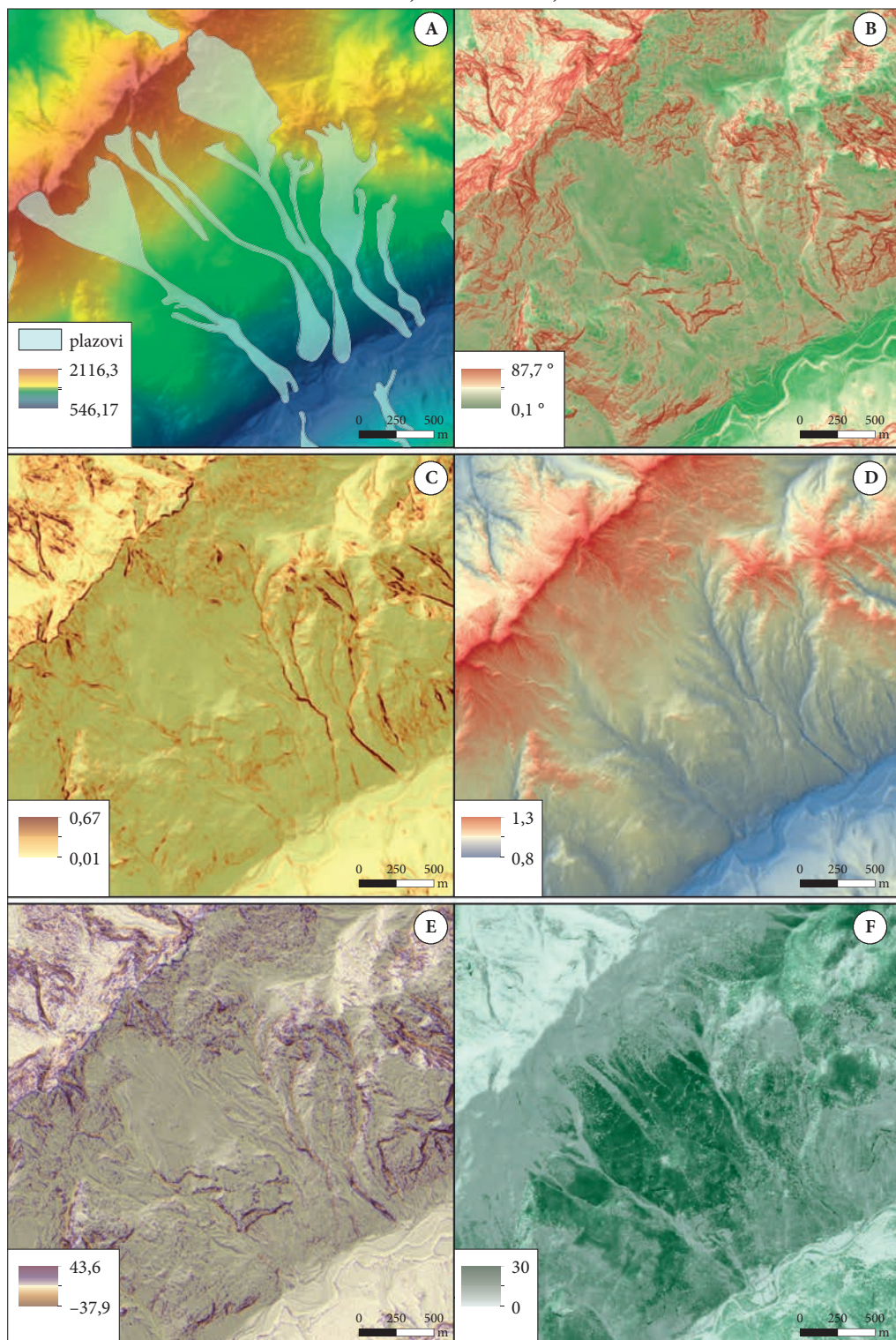
Naklon površja spada med najpomembnejše dejavnike proženja snežnih plazov. Vsaka vrsta snega ima različne meje naklonskih vrednosti statičnega in kinetičnega kota trenja. Svež sneg ima največji statični kot, ki pa se med preobrazbo snega zmanjšuje (Pavšek 2002; Volk Bahun 2020).

Oblikovanost tal vpliva na proženje snežnih plazov na začetku zime, ko hrapavost površja odloča o tem, kolikšna mora biti debelina snežne odeje, da prekrije površje. Razčlenjen teren je manj prikladen za proženje plazov. S skalnimi bloki pokrito površje postane nevarno potem, ko ga snežna odeja povsem prekrije, na travnatih pobočjih, meliščih in predelih z gladkim strmim skalovjem se snežna odeja splazi vse do tal (Šegula 1986).

Hrapavost površja smo določili z vektorsko mero hrapavosti (Sappington s sodelavci 2007), ki učinkovito zajame variabilnost naklona in ekspozicije. Vrednosti se gibljejo od 0 (brez hrapavosti) do 1 (popolna hrapavost) in običajno kolebajo med 0 in 0,4 (preglednica 1).

Veter je glavni gradnik snežnih plazov, saj prelaga sneg ter gradi zamete in klože (Mair in Nairz 2012; Tremper 2015). Privetrna območja imajo praviloma manj snega, a v bolj utrjeni, zbiti snežni odeji nastaja za plazove nevaren globinski srež. Odvetrna območja so prekomerno in neenakomerno

Slika 3: Uporabljeni podatki in izdelani podatkovni sloji: A – lidarski digitalni model višin in lavinski kataster, B – naklon površja, C – vektorska mera hrapavosti površja, D – indeks vetrne izpostavljenosti, E – večestvični topografski pozicijski indeks in E – digitalni model krošenj oziroma višina rastja. ► (str. 100)



obložena z gostim in krhkim snegom, na grebenih in slemenih nastajajo nevarne opasti (Šegula 1986). Kazalnik indeks vetrne izpostavljenosti predstavlja povprečno vrednost indeksa vetrnega učinka (Böhner in Antonić 2009; Gerlitz s sodelavci 2015), ki je izračunan za vse smeri s kotnim presledkom 15°. Vrednosti pod 1 označujejo zavetrna območja, vrednosti nad 1 pa vetru izpostavljena območja (preglednica 1).

Topografski pozicijski indeks (Guisan s sodelavci 1999; Weiss 2001; Hrvatin in Perko 2012) predstavlja razliko med nadmorsko višino površja posamezne celice digitalnega modela višin in aritmetično sredino njenega poljubno obsežnega in poljubno oblikovanega sosedstva. Pozitivne vrednosti so tam, kjer so višine površja središčnih celic višje od povprečnih višin površja njihovega sosedstva ter označujejo vrhove vzpetin in njihove grebene oziroma slemena. Negativne vrednosti označujejo grape, doline in kotanje. Vrednosti blizu ničle označujejo ravnine ali nerazgibana, enakomerno nagnjena pobočja. Uporabili smo večestvični topografski pozicijski indeks izračunan v programu SAGA, pri katerem je v enem samem rastru po Zimmermannovi integracijski shemi (Medmrežje 2) vključenih več izračunov topografskega pozicijskega indeksa v različnih merilih (preglednica 1).

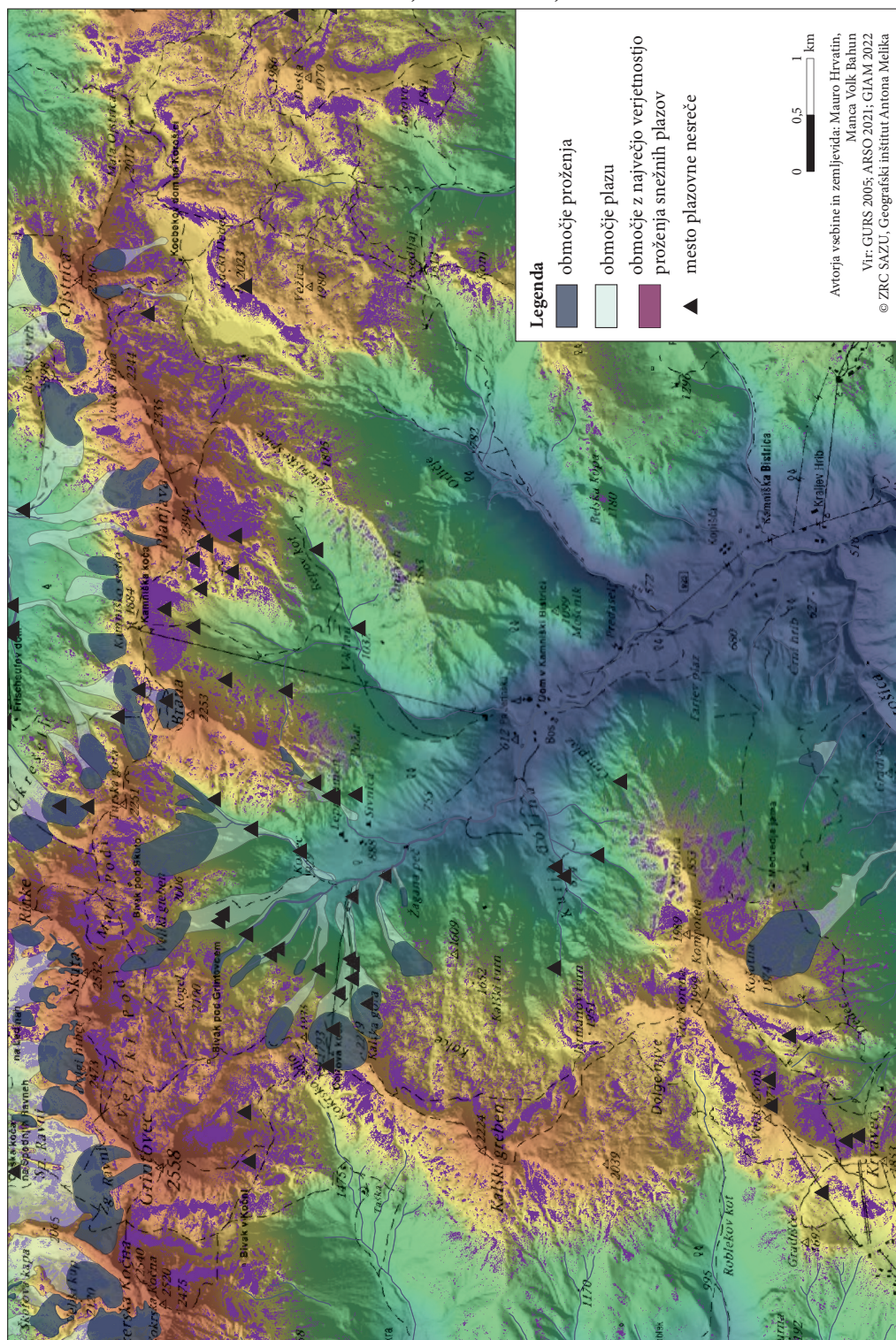
Rastje, še posebej gozd, se pogosto izpostavlja kot pomembna ovira in tudi zaščita pri pojavljanju snežnih plazov. Najbolj nevarna so območja z nizkim in skromnim rastjem, mlad gozd za plazenje že deluje zaviralno. Rastline predstavljajo sidra v snežni odeji in preprečujejo plazenje, ko jih sneg prekrije pa te vloge nimajo več (preglednica 1). Plazovi se večinoma prožijo nad gozdno mejo, v nižje ležečem gozdu pa pogosto povzročijo škodo (Šegula 1986; Pavšek 2002; Volk Bahun 2020), kar je mogoče analizirati z dendrokronološkimi metodami (Stoffel in Bollschweiler 2008; Šilhán in Tichavský 2017).

Nazadnje smo v ocene lavinske ogroženosti reklasificirali kazalnike za Kamniško-Savinjske Alpe in vseh pet slojev sešteli. Rezultat je rastrski sloj z vrednostmi od 5 do 25, kjer višja vrednost pomeni večjo možnost proženja plazov na določeni lokaciji.

Preglednica 1: Pripisane vrednosti ocen lavinske ogroženosti z vrednostmi od 1 do 5 za izbrane podatkovne sloje (prvi stolpec).

| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---------------------------------|--|---|--|
| naklon (°) | 35,3–47,7 | 29,1–35,3 in 47,7–53,9 | 22,9–29,1 in 53,9–60,1 | 16,7–22,9 in 60,1–66,3 | do 16,7 in nad 66,3 |
| vektorska mera hrpavosti površja | 0,00–0,05 | 0,05–0,10 | 0,10–0,15 | 0,15–0,20 | nad 0,20 |
| indeks vetrne izpostavljenosti | 1,045–1,095 | 1,020–1,045 in 1,095–1,120 | 0,995–1,020 in 1,120–1,145 | 0,970–0,995 in 1,145–1,170 | do 0,970 in nad 1,170 |
| večestvični topografski pozicijski indeks | (–1,17)–0,43 | (–1,97)–(–1,17) in 0,43–1,23 | (–2,77)–(–1,97) in 1,23–2,03 | (–3,57)–(–2,77) in 2,03–2,83 | do –3,57 in nad 2,83 |
| digitalni model krošenj (m) | 0–1 m (območje skalnatih površin in travnikov) | 1–3 m (območje ruševja) | 3–5 m (območje mladega gozda) | 5–15 m (območje nizkega gozda) | nad 15 m (območje visokega gozda) |

Slika 4: Območje Kamniško-Savinjskih Alp z izpostavljenimi območji z največjo verjetnostjo proženja snežnih plazov, plazovi lavinskega katastra in lokacijami lavinskih nesreč. ► (str. 102)



4 Rezultati

Kamniško-Savinjske Alpe so obsežne in raznolike, zato predstavljamo rezultate po šestih manjših območjih. Na sliki 4 smo kot območja z največjo verjetnostjo proženja plazov izpostavili razrede od 23 do 25, ki prekrivajo 11,25 % ozemlja.

Na območju med Krvavcem in Mokrico so najbolj plazovita strma vzhodna pobočja Krvavca ter južna in vzhodna, v manjši meri pa tudi severna pobočja Kompotele. Izstopajo tudi vzhodna pobočja Vrh Korena, severna pobočja Velikega Zvoha in južna pobočja pod Košutno. Veliki plazovi dosežejo Roblekov kot, po strmih južnih pobočjih pa celo strugo Bistričice. S severnih pobočij Kompotele se v Kurjo dolino steka več grap, kjer se je že zgodilo več nesreč. Pod Mokrico so zabeležena ledinska imena Črni plaz, Beli plaz, Veliki plaz in Farjev plaz (Gams 1955).

Z obronkov Vrh Korena sega proti severu sprva široko sleme, ki se v **Kalškem Grebenu in Kalški gori** povzpne na dobrih 2200 m. Najbolj plazovita so vzhodna in severna pobočja, ki so razčlenjena s skoki in prepadi (Gams 1955). Izstopa tudi vzhodno ostenje med Kalškim Grebenom in Kalško goro, kjer plazovi pogosto ogrožajo pohodnike, ki se iz Kamniške Bistrice vzpenjajo na Kokrsko sedlo. S plazenjem je povezano ledinsko ime Neškarjev plaz.

Na območju od Kočen do Grintovca po naši analizi najbolj izstopajo okrog 600 m visoka južna pobočja Kočne, od koder se sneg v dolino steka po grapah. Plazovita so tudi južna pobočja Grintovca, začeni s strmino pod Streho nad Suhim dolom, na vzhodu so plazovite Dolge stene. Severna pobočja, ki jih pokriva tudi kataster, so plazovita pod glavnim grebenom in na obrobju krnic, v nižjih legah pa vzdolž grap. Plazovi po Ponovi dolini se običajno končajo na pragu, čezenj pa sežejo veliki plazovi



BLAŽ KOMAC

Slika 5: Toplejšemu podnebnju navkljub snežni plazovi ponekod v slovenskih Alpah ogrožajo prometnice in stavbe v dnu dolin, ponekod pa celo dosežejo rečno strugo in za krajši čas zajezijo reko.

suhega snega. Izpod Malega kupa prihaja plaz v Široki dolini, Zeleni plaz pa ostaja že više v kotanji (Gams 1955). Ledinska imena, povezana s plazovi, so Rjavi plaz, Rdeči plaz, Kratki plaz, Plaze, Dovški plaz in množinsko ime Zeleni plazovi.

Na **območju med Dolgim hrbtom, Skuto in Brano** je naša analiza pokazala, da so lavinsko najbolj ogrožena območja pod vršnim grebenom Dolgega hrbta, severna pobočja pod Skuto, pobočja v okolici Kogla in jugozahodna pobočja Turske gore. Izstopa tudi ostenje na območju Požara južno od Brane. Plazovi izpod Dolgega hrbta se zadržijo na podih in niso zabeleženi v katastru, v doline pa segajo plazovi z roba podov, z višine pod 2000. Konec, zatrep Kamniške Bistrice, dosežejo po grapah, kot so Veliki in Mali hudi graben, Gamsov skret, Žmavcarji in Kotliški graben. Najdaljši plazovi, ki dosežejo dolinsko dno, se prožijo južno od Skute in Turske gore. Tudi na severu plazovi dosežejo dno Ravenske kočne. Na severu zbira plazove z območja med Mrzlo goro, Rinko in Brano Okrešelj, kjer je leta 1907 v zelo plazoviti zimi plaz porušil dve planinski koči (Gams 1955; 1983). Plaz izpod Ledin na jezerski strani doseže postajo tovarne žičnice, kot leta 2006. S plazovi povezana ledinska imena so Bobnarjev, Košen in Kaptanski plaz v ostenju Brane.

Na območju med **Kamniškim sedlom in Ojstrico** so potencialna območja proženja na Planjavskih zelenicah, od koder se plazovi po grapah stekajo v Repov kot. Plazovita so tudi severovzhodna pobočja Zeleniških špic in zatrep med Lučko Babo, Ojstrico in Lučkim Dedcem, zlasti njegovo zahodno ostenje. V Logarski dolini se ob visokem snegu plazovi stekajo v grape in dosežejo dolinsko dno, kjer so leta 2006 povzročili škodo. V Robanovem kotu so s plazovi povezana ledinska imena Dolgi plaz, Škrbinski plaz, Slatinski plaz, Brezovički plaz in Novi plaz. Na tem območju se je zgodilo veliko lavinskih nesreč.

Planote spadajo med plazovno najbolj varna visokogorska območja in so praviloma ogrožene le na stiku z višjimi slemenimi (Gams 1983). Na Dleskovški planoti so območja proženja plazov na zahodnih in južnih pobočjih Lastovca, na planoti pa predvsem strmejša zahodna pobočja ali manjše stene pod grebeni med Dedcem ter Belim, Črnim in Tolstim vrhom, izraziteje pa pod vršnim grebenom med Malo Ostrico, Velikim vrhom in Dleskovcem, ki na severu omejujejo najvišje dele planote. Plazovita so tudi strma vzhodna pobočja Dleskovca. Sicer so na tem območju iz snežno bogatih zim znane tri plaznice, ki se stekajo v Lučko Belo izpod Lastovca in čez strmo ostenje zatrepa (Gams 1955).

5 Sklep

V prispevku smo predstavili metodo za določanje območij proženja snežnih plazov, ki pretežno temelji na uporabi reliefnih kazalnikov. Na proženje snežnih plazov namreč poleg meteoroloških dejavnikov, kot so razporeditev in višina snežne odeje, vetrovnost in temperatura, pomembno vpliva izoblikovanost površja.

Snežni plazovi so povezani z naklonom pobočja, njihovo spremenljivost pa poleg meteoroloških dejavnikov povečujejo ekspozicija, ukrivljenost ter hrapavost površja. Z uporabo digitalnega modela reliefa visoke prostorske ločljivosti in informacij o višini rastja je mogoče pridobiti prostorsko neprekinjene relevantne podatke tudi za najtežje dostopna območja.

Pri analizi potencialnih območij proženja snežnih plazov smo upoštevali naklon, vektorsko mero hrapavosti površja, indeks vetrne izpostavljenosti, večlestitveni topografski pozicijski indeks in višino rastja. Vrednosti za posamezna območja smo na podlagi statističnih značilnosti razvrstili v pet razredov in izpostavili območja z najvišjimi vrednostmi. Model smo izdelali za Kamniško-Savinjske Alpe na temelju podatkov o območjih proženja snežnih plazov v učnih regijah Zgornje Posočje in Begunjsčica.

Prostorska natančnost rezultatov dokazuje pomen reliefa za proženje plazov. Metoda omogoča identifikacijo območij, ki so v določenih meteoroloških okoliščinah občasno, glede na značilnosti reliefa pa stalno potencialno nevarna za proženje plazov. To je pomembno za upravljanje gorskih pokrajin,

kamor segata prometna in energetska infrastruktura, v njih pa se odvijajo različne dejavnosti, kot je na primer turizem (slika 5). Rezultati so tudi dober temelj za podrobne analize območij in validiranje podatkov o plaznicah, pomembno dopolnjujejo poznavanje gorskih pokrajin v Sloveniji in za visokogorske predele slovenskih Alp prinašajo povsem nove prostorske informacije.

ZAHVALA: Delo je nastalo v okviru raziskovalnega programa/projekta Geografija Slovenije (P6-0101) in temeljnega projekta Upravljanje lavinske nevarnosti s pomočjo klasifikacije reliefa (J6-2591), ki ju financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

6 Literatura

- Andres, A. J., Chueca Cía, J. 2012: Mapping of avalanche start zones susceptibility: Arazas basin, Ordesa and Monte Perdido National Park (Spanish Pyrenees). *Journal of Maps* 8. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445647.2012.668414>
- Barbolini, M., Pagliardi, M., Ferro, F., Corradeghini, P. 2011: Avalanche hazard mapping over large undocumented areas. *Natural Hazards* 56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9434-8>
- Böhner, J., AntoniĆ, O. 2009: Land-surface parameters specific to topo-climatology. *Geomorphometry - concepts, software, applications. Developments in Soil Science* 33. Amsterdam.
- Brožová, N., Baggio, T., D'Agostino, V., Bühler, Y., Bebi, P. 2021: Multiscale analysis of surface roughness for the improvement of natural hazard modelling. Preprint 24. 3. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-85>
- Burkeljca, J. 2021: Plazovi. Temeljni vodnik o nevarnosti snežnih plazov. Maribor.
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A., Snehmani, S. 2013: Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13-5. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1321-2013>
- Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L., Christen, M. 2018: Automated snow avalanche release area delineation – validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3235-2018>
- Carrara, A., Guzetti, F. 1995: Geographical information systems in assessing natural hazards. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3>
- Chueca Cía, J., Andrés, A. J., Montañés Magallón, A. 2014: A proposal for avalanche susceptibility mapping in the Pyrenees using GIS: the Formigal-Peyreget area 145-I (scale 1:25.000). *Journal of Maps* 10. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445647.2013.870501>
- Corner, G. D. 1980: Avalanche impact landforms in Troms, north Norway. *Geografiska Annaler A* 62,1–2. DOI: <https://doi.org/10.1080/04353676.1980.11879994>
- Gams, I. 1955: Snežni plazovi v Sloveniji v zimah 1950–1954, *Geografski zbornik* 3.
- Gams, I. 1983: Ogroženost zaradi snežnih plazov. *Naravne nesreče v Sloveniji*. Ljubljana.
- Gams, I. 1991: Dvojno življenje melišč. *Proteus* 53-8.
- GDi d.o.o., Ljubljana: DMR Slovenije za ArcGIS Desktop/PRO, različica 2021.
- Gerlitz, L., Conrad, O., Böhner, J. 2015: Large scale atmospheric forcing and topographic modification of precipitation rates over High Asia – a neural network based approach. *Earth System Dynamics* 6. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-6-61-2015>
- Ghini, A., Chung, C. J. 2005: STARTER: A statistical GIS-based model for the prediction of snow avalanche susceptibility using terrain features – application to Alta Val Badia, Italian Dolomites, *Geomorphology* 66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.018>
- Guisan, A., Weiss, S. B., Weiss, A. D. 1999: GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009841519580>

- Hrvatin, M., Perko, D. 2012: Uporabnost topografskega pozicijskega indeksa za morfološko analizo površja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Kobler, A. 2016: Digitalni model krošenj Slovenije. Gozdarski inštitut Slovenije.
- Komac, B. 2009: Družbenogeografski spomin in naravnogeografski spomin na naravne nesreče. *Acta geographica Slovenica* 49-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS49107>
- Komac, B., Pavšek, M., Volk Bahun, M., Tičar, J. 2021: Snežni plazovi v dolini Soče 22. in 23. januarja 2021. Elaborat. ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika, Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2022: Impact of climate on snowpack and avalanches in Slovenia: The Soča Valley case study. *Geographica Polonica*, v tisku.
- Kozjek, K., Dolinar, M., Skok, G. 2017: Objective climate classification of Slovenia. *International Journal of Climatology* 37-S1. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5042>
- Lipušček, R. 1988: Snežni plazovi in nekatere druge fizičnogeografske značilnosti Bovškega. Pokrajina in ljudje na Bovškem. Ljubljana.
- Maggioni, M. 2005: Avalanche release areas and their influence on uncertainty in avalanche hazard mapping. Zurich.
- Maggioni, M., Gruber, U. 2003: The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology* 37. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(03\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(03)00080-6)
- Maggioni, M., Gruber, U., Stoffel, A. 2002: Definition and characterisation of potential avalanche release areas, ESRI International User Conference. San Diego.
- Mair, R., Nairz, P. 2012: Lawine. Die 10 entscheidenden Gefahrenmuster erhenen. *Praxis-Handbuch*. Innsbruck.
- McClung, D. M. 2001: Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging, *Annals of Glaciology* 32. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756401781819391>
- Medmrežje 1: <https://snowmaps.org/si> (21. 4. 2022).
- Medmrežje 2: https://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/aml4_1.html (13. 4. 2022).
- Pavšek, M. 2002: Snežni plazovi v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 6. Ljubljana.
- Pavšek, M., Komac, B., Zorn, M. 2010: Ugotavljanje lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. GIS v Sloveniji 10. Ljubljana.
- Pistocchi, A., Notarnicola, C. 2013: Data-driven mapping of avalanche release areas: A case study in South Tyrol, Italy. *Natural Hazards* 65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0410-3>
- Sappington, J. M., Longshore, K. M., Thomson, D. B. 2007: Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *Journal of Wildlife Management* 71-5. DOI: <https://doi.org/10.2193/2005-723>
- Schweizer, J., Jamieson, J. B., Schneebeili, M. 2003: Snow avalanche formation. *Reviewe of Geophysics* 41. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002RG000123>
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Hassler, G.-R. 2006: Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 31. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1363>
- Šegula, P. 1986: Sneg, led, plazovi. *Priročnik za planince, smučarje in druge*. Ljubljana.
- Šilhán, K., Tichavský, R. 2017: Snow avalanche and debris flow activity in the High Tatras Mountains: New data from using dendrogeomorphic survey. *Cold Regions Science and Technology* 134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.12.002>
- Tremper, B. 2015: Avalanche essentials. A step-by-step system for safety and survival. Seattle.
- van Herwijnen, A., Heierli, J. 2009: Measurement of crack-face friction in collapsed weak snow layers. *Geophysical Research Letters* 36. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009GL040389>
- Veitinger, J., Purves, R. S., Sovilla, B. 2016: Potential slab avalanche release area identification from estimated winter terrain: a multiscale, fuzzy logic approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2211-2016>

- Voellmy, A. 1955: Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweizerische Bauzeitung 73.
- Volk Bahun, M. 2016: Ocena in prikaz nevarnosti zaradi snežnih plazov. Ujma 30.
- Volk Bahun, M. 2020: Mehanizmi pojavljanja snežnih plazov v slovenskih Alpah. Doktorska disertacija, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Volk, M. 2011: Lavinski kataster in zemljevidi nevarnosti zaradi snežnih plazov s poudarkom na primerih z območja osrednjih Karavank. Naravne nesreče 2. Neodgovorna odgovornost.
- Vrhovec, T. 2002: Snežni plazovi. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana.
- Weiss, A. 2001: Topographic position and landforms analysis. ESRI user conference. San Diego.

UPORABA SATELITSKIH POSNETKOV ZA SPREMLJANJE VODNEGA POTENCIALA V VINOGRADIH

Alen Mangafić

Geodetski inštitut Slovenije

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

dr. Paolo Sivilotti

University of Udine, Department of Agricultural, Food, Environmental and Animal Sciences

paolo.sivilotti@uniud.it, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1405-6358>

dr. Klemen Lisjak

Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in vinarstvo

klemen.lisjak@kis.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_08

UDK: 528.8:634.8:581.11(450.36)

IZVLEČEK

Uporaba satelitskih posnetkov za spremljanje vodnega potenciala v vinogradih

V prispevku predstavljamo povezanost spektralnih vrednosti satelitskega posnetka Sentinel-2 in terenskih meritev vodnega potenciala (Ψ) na trtah. Metoda temelji na korelacijskih analizah med opazovanji, sestavljenimi iz odbojnosti kanalov Sentinel-2 in agregiranih meritev vodnega potenciala pred zoro, vodnega potenciala lista opoldan in vodnega potenciala stebela opoldan. Povezanosti smo ocenili s Pearsonovim in Kendalllovim koeficientom ter linearno regresijo. Študija je ugotovila močno povezanost meritev vodnega potenciala in infrardečih spektrov ter stopnjevanje močne povezanosti od spektra rdečega roba do kratkovalovne infrardeče svetlobe. Študija je izvedena na območju občine Precenico (Furlanija - Julijska krajina).

KLJUČNE BESEDE

Sentinel-2, vodni potencial, vinogradi, vodni stres, suša

ABSTRACT

Use of satellite imagery for monitoring the water potential in vineyards

In this paper, we present the correlation between spectral values of Sentinel-2 image and field measurements of water potential (Ψ) in vines. The method is based on correlation analyses between observations consisting of Sentinel-2 reflectance and aggregated measurements of pre-dawn, midday leaf and midday stem water potential. Correlations were assessed using Pearson's and Kendall's coefficients and linear regression. The study found a strong correlation between the water potential measurements and the infrared spectra, and an intensification of the strong correlation from the red-edge spectrum to the short-wave infrared. The study was carried out in the area of Precenico municipality (Friuli Venezia Giulia).

KEY WORDS

Sentinel-2, water potential, vineyards, water stress, drought

1 Uvod

Sentinel-2 je konstelacija dveh satelitov programa Copernicus, Evropske vesoljske agencije. Satelita Sentinel-2A in Sentinel-2B zajemata multispektralne posnetke z optičnim senzorjem, ki zajema 13 pasov. Posnetki so zajeti na spektralnem območju vidne, bližnje infrardeče in kratkovalovne infrardeče svetlobe. Pasovi vidne in bližnje infrardeče svetlobe so zajeti z 10-metrsko ločljivostjo, medtem ko so ostali zajeti z 20-metrsko, z izjemo pasov, ki ne zajemajo površja, ampak aerosole in ciruse s 60-metrsko ločljivostjo (ESA 2022a). To pomeni, da en piksel zajema površino $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ za prve pasove (100 m^2) in $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ (400 m^2) za preostale. Časovna ločljivost konstelacije je od 2 do 5 dni, odvisno od geografske širine, kar pomeni, da imamo za isto območje na voljo nove podatke vsakih 5 dni (ESA 2022b). Na delu bližnje infrardeče svetlobe imamo več pasov, ki se razlikujejo glede na njihovo spektralno ločljivost, kjer nam vsak od teh lahko poda zanimive informacije pri spremljanju rastlin (Frampton s sodelavci 2013). Prav tako nam kratkovalovni infrardeči pasovi lahko povejo več o vodni in mineralni sestavi različnih materialov (van der Meer s sodelavci 2014). Uporaba daljinskega zaznavanja za monitoring rastlin omogoča hitre ocene njihovega fotosintetičnega delovanja (tj. posredno oceno absorpcije ogljikovega dioksida), ravni dušika in ravni vlage v listih (Ramoelo s sodelavci 2015). Ramoelo s sodelavci (2015) je izvedel študijo povezanosti vodnega potenciala s spektralnimi podpisi, zajetimi s prenosnim spektrometrom ter nato prenesel hipoteze na spektralne pasove, zajete s satelitom RapidEye. Ločljivost originalnih pasov RapidEye modrega, zelenega, rdečega, rdečega roba in bližnje infrardečega spektra je 5 m. Sentinel-2 ponuja posnetke slabše ločljivosti, vendar je njegova spektralna natančnost zanesljivejša (Darvishzadeh s sodelavci 2019) in prav tako zajema še dva dodatna pasova na področju kratkovalovnega infrardečega območja, ki sta zelo uporabna za ocenjevanje ravni vode (Kandylakis s sodelavci 2020).

Vodni potencial (Ψ) listov, merjenih pred zoro (Ψ pred zoro), minimalni vodni potencial (Ψ lista opoldan), kot tudi vodni potencial stebela (Ψ stebela opoldan), predstavljajo zanesljivo in hitro pridobljeno oceno vodnega statusa trt v povezavi z vodo, dostopno rastlinam ter meteorološkimi pogoji. Vodni potencial predstavlja energijo vode v listnem mesofilu. Ob jutranji sončni svetlobi se listne reže odprejo, zaradi česar se vrednost vodnega potenciala v listih zaradi izhlapevanja vode v atmosfero zniža. V nočnem času, od sončnega zahoda do zore, se listne reže skoraj v celoti zaprejo, zato se vrednost vodnega potenciala v rastlini zaradi absorpcije vode iz korenin v poganjke trte poveča. Na splošno vodni potencial in stres vplivata na zmanjšanje teže grozdnih jagod ter posledično na razmerje med jagodnimi kožicami in mesom. Številni avtorji poročajo tudi o večjih koncentracijah sladkorjev (Bucchetti s sodelavci 2011; Calderan s sodelavci 2021). Savoy s sodelavci (2017) so poročali o pozitivnem učinku vodnega stresa na koncentracijo aromatičnih spojin v grozdju sorte Tocai friulano. Z vidika upravljanja pridelka ter optimizacije kakovosti grozджа in vina lahko prilagajanje namakanja vinogradov v smislu vodnega stresa predstavlja učinkovito tehniko. Za merjenje vodnega potenciala trt v namakanih in nenamakanih pogojih številni avtorji predlagajo uporabo tlačne komore (Calderan s sodelavci 2021; Choné s sodelavci 2001; Levin 2019). Namen prispevka je preveriti uporabnost posnetkov Sentinel-2 za hitro oceno vodnega potenciala v vinogradih. Analizirali smo korelacije med izmerjenimi Ψ in različnimi kanali ter indeksi, izpeljanimi iz satelitskih posnetkov.

2 Metode dela

Analizo povezanosti optičnih podatkov posnetkov Sentinel-2 in meritev vodnega potenciala smo izvedli za podatke vinograda na območju Precenico (Furlanija – Julijska krajina; slika 1).

Za povezovanje satelitskih in terenskih meritev je optimalno izvajanje meritev na dan preleta satelita. Meritve Ψ lista in stebela opoldan ter Ψ pred zoro so potekale 8. avgusta 2020, 29. julija 2021 in 26. avgusta 2021. Za datume iz leta 2021 smo pridobili posnetke, ki so zajeti istega dne. Za datum 8. avgust

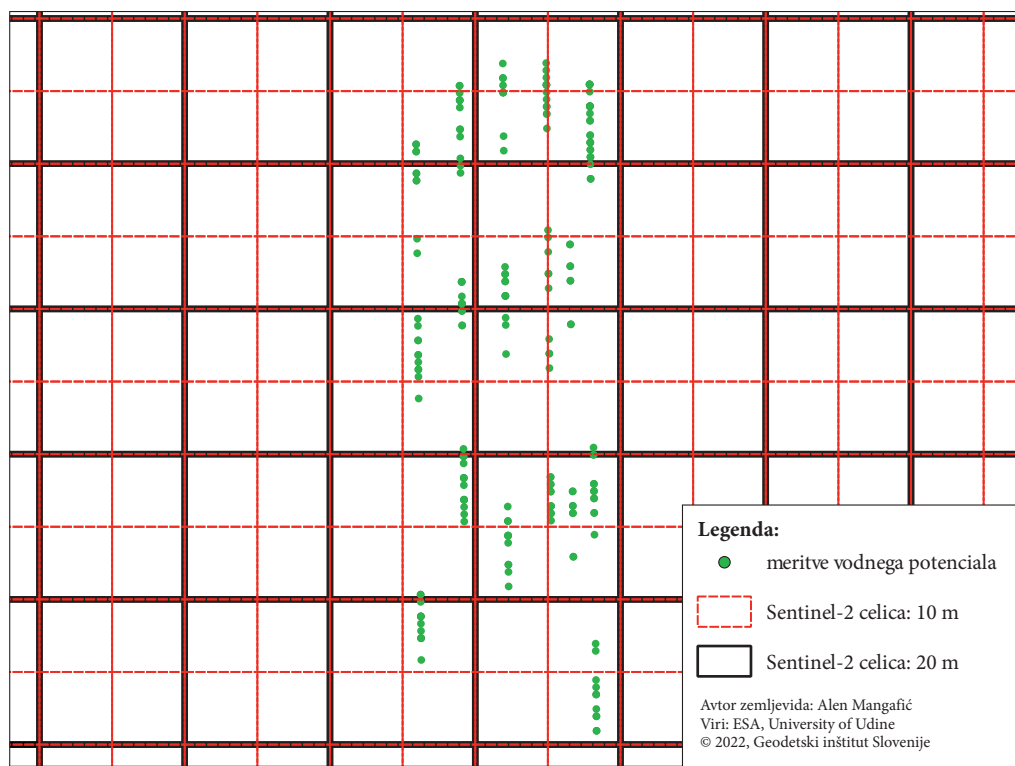
2020 smo pridobili posnetek, ki je najbližji temu datumu; to je posnetek z datumom 10. avgust 2020. V tem obdobju so meteorološke postaje prikazovale podobne meritve, tako da nas je zanimalo, ali lahko kombiniramo podatke in posnetke, ki niso merjeni oz. zajeti na isti datum. Ψ lista merimo med 12.00 in 14.00.



Slika 1: Študijsko območje.



Slika 2: Rastno stanje trt (levo) in Scholanderjeva tlačna komora (desno).



Slika 3: Načrt meritev in agregacije.

Zaradi hkratnega vpliva izhlapevanja vode iz listov v atmosfero in vode dosegljive rastlinam, Ψ lista dosega najbolj negativne vrednosti vodnega potenciala. Meritve Ψ stebela predstavljajo bolj zanesljivo informacijo o vsebnosti vode v trti. Ψ stebela merimo tako, da popolnoma razvite in osončene liste zavijemo v aluminijasto folijo eno uro pred vzorčenjem. Na ta način simuliramo nočne razmere, kar povzroči zapiranje listnih rež in prekinitev izhlapevanja vode. Na ta način vodni potencial lista uravnesimo z vodnim potencialom stebela. Meritve Ψ pred zoro potekajo med 3.30 in 5.30, rezultati meritev pa predstavljajo približek vodnega potenciala v tleh. Manjša vsebnost vode v tleh zmanjša Ψ pred zoro, posledično pa tudi Ψ lista in Ψ stebela. V primeru merjenja vseh treh potencialov list odtrgamo od poganjka in z britvico naredimo raven rez na koncu peclja. List vstavimo v Scholanderjevo tlačno komoro (slika 2) s pecljem, usmerjenim iz komore. V komoro dovedemo dušik, ustvarjeni tlak pa povzroči iztok listnega soka iz peclja. V trenutku pojava listnega soka na površini odrezanega peclja odčitamo vrednost relativnega vodnega potenciala. Vrednosti nad $-0,6$ MPa za trto ne predstavljajo pomanjkanja vode, medtem ko nižje vrednosti predstavljajo blag ($-0,9 < \Psi$ stebela $< -0,6$ MPa), zmeren ($-1,1 < \Psi$ stebela $< -0,9$ MPa) ali močan (Ψ stebela $< -1,4$ MPa) vodni stres (Leeuwen s sodelavci 2009).

Prenesli smo posnetke Sentinel-2 L1C in jih pred-obdelali z algoritmom sen2cor v obliko L2A. Na ta način smo pridobili posnetke, katerih pikselske vrednosti predstavljajo odbojnost. Ker so terenske meritve izvajane tudi na trtah, ki se nahajajo na enakih celicah Sentinel-2, smo meritve agregirali na celično raven. Izvedli smo agregacijo za 10- in 20-metrске celice z upoštevanjem mediane meritev na enoti. Načrt meritev in agregacije je prikazan na sliki 3. Od začetnih 182 meritev Ψ smo pridobili 23 opazovanj za 10-metrске celice in 9 opazovanj za 20-metrске celice.

Vrednosti odbojnosti smo točkovno pripisali iz satelitskih posnetkov in tako pridobili svoja opazovanja. Za vzorec, sestavljen iz Ψ in odbojnosti (indeksa) smo preverili povezanosti z izračunom Pearsonovega in Kendallovega koeficienta korelacije ter stopnje značilnosti (p-vrednost) in nato prikazali premice linearne regresije za odnose, ki so imeli največjo povezanost.

3 Rezultati

Na sliki 4 lahko vidimo korelogram (Pearsonovi koeficienti) vseh agregiranih meritev vodnega potenciala in pasove Sentinel-2. Povezanosti smo najprej preverili za meritve iz leta 2021 (isti dan preleta), potem pa še skupaj z meritvami iz leta 2020. Povezanosti pasov vidne svetlobe, bližnje infrardeče in izpeljanih indeksov so različne za meritve iz let 2021 in 2020. Koeficienti korelacije iz leta 2020 kažejo na zmerno do močno negativno povezanost, medtem ko tisti iz leta 2021, nepovezanost. Domnevamo, da je to zaradi mulčenja površin med trtami in posledičnega padca vegetacijske aktivnosti. Vsi korelogrami (2020, 2021 in vse skupaj) kažejo na močno povezanost Ψ lista opoldan in Ψ pred zoro s kratkovalovnimi infrardečimi pasovi. Opazimo tudi stopnjevanje povezanosti od rdečega roba do kratkovalovne infrardeče svetlobe. Korelacija se obrača iz močne pozitivne do močne negativne.

Da bi dodatno ovrednotili povezanost, smo izvedli še linearne regresijske analize močno koreliranih parov in prikazali 95 % intervale zaupanja (pas modre barve v okolici regresijskih premic) ter stopnje značilnosti (p-vrednost). Grafom smo še pripisali izračunane Pearsonove (r) in Kendallove (τ) korelacijske koeficiente. Na sliki 5 lahko vidimo regresijsko premico med Ψ stebela opoldan in drugo kratkovalovno infrardečo svetlobo. Lahko vidimo, da je negativna povezanost prisotna, in da je 95 % interval zaupanja precej širok. Stopnje značilnosti kažejo na to, da je vzorec še vedno premajhen, da bi lahko prenesli hipoteze z veliko zanesljivostjo na populacijo pikslov vinograda.

Na sliki 6 lahko vidimo regresijsko premico med Ψ pred zoro in drugo kratkovalovno infrardečo svetlobo. Lahko vidimo, da je negativna povezanost prisotna, in da je 95 % interval zaupanja ožji od predhodnega. Stopnja značilnosti, izračunana na osnovi Pearsonove korelacije je statistično značilna, medtem ko je stopnja Kendallove korelacije je nekoliko slabša (gotovost posploševanja iz vzorca na populacijo je 92 %).

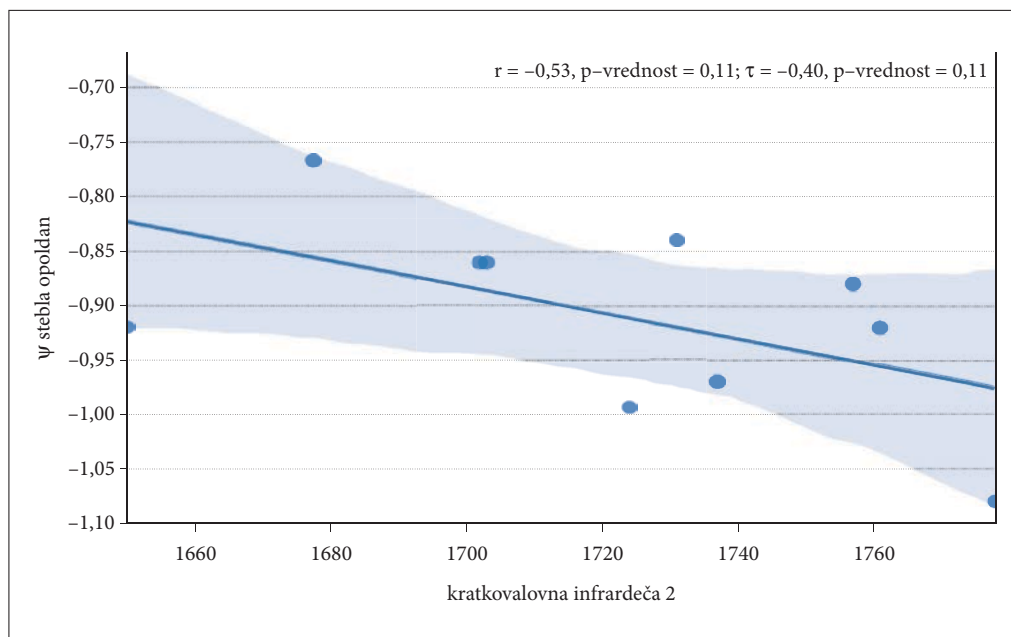
Na sliki 7 lahko vidimo regresijsko premico med Ψ lista opoldan in drugo kratkovalovno infrardečo svetlobo. Lahko vidimo, da je negativna povezanost prisotna, in da je 95 % interval zaupanja širši, saj je prisoten velik vpliv osamelca, ki predstavlja najnižjo vrednost izmerjenega Ψ . Stopnja značilnosti, izračunana na osnovi Kendalllove korelacije je zelo dobra, medtem ko Pearsonova ni zadovoljiva.

4 Sklep

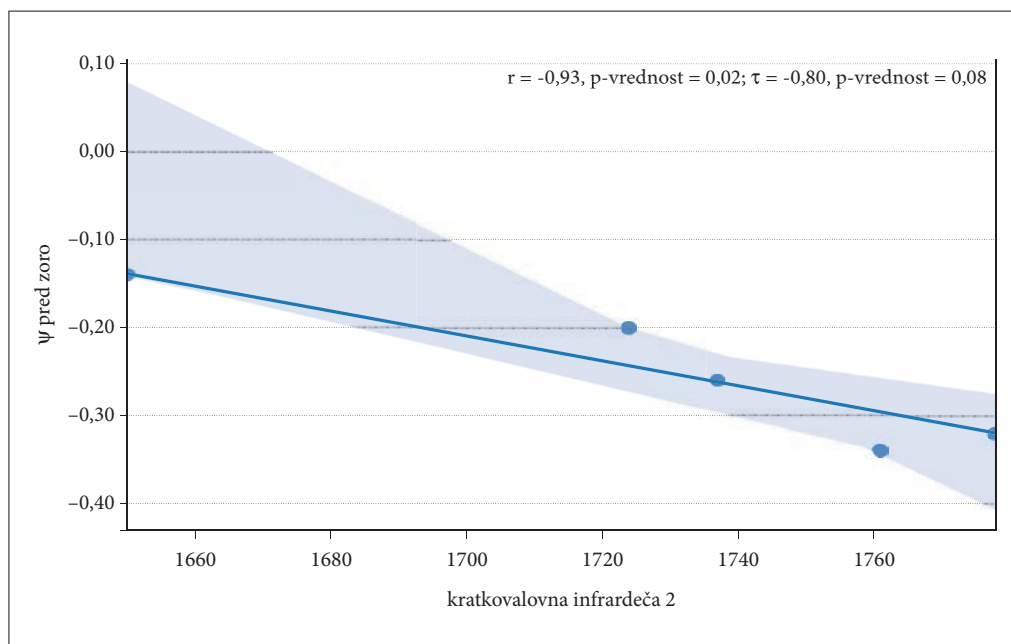
Na osnovi analiziranega in predstavljenega gradiva lahko zaključimo, da sta Ψ lista in Ψ pred zoro močno korelirana z nekaterimi valovnimi dolžinami oziroma spektralnimi vrednostmi satelitskega posnetka Sentinel-2. Opazili smo izrazito povezanost na infrardečih spektrih in stopnjevanje močne povezanosti od rdečega roba do kratkovalovne infrardeče svetlobe, kjer se korelacija obrača iz močno pozitivne do močno negativne. Večina izračunanih stopenj značilnosti je zadovoljiva, vendar pa bi za zanesljivo modeliranje oz. napovedovanje vodnega potenciala le na podlagi posnetkov Sentinel-2 potrebovali več meritev. Zadostna osnova terenskih meritev, kombiniranih s posnetki Sentinel-2 bi nam omogočila, da z boljšo stopnjo zaupanja pridobimo oceno vodnega potenciala lista in vodnega potenciala pred zoro. Na podlagi analiziranega gradiva domnevamo, da bi bilo modeliranje potencialnega vodnega stresa z logistično regresijo (npr. prisotnost-odsotnost stresa) zanesljivo, in da ima veliko uporabno vrednost.



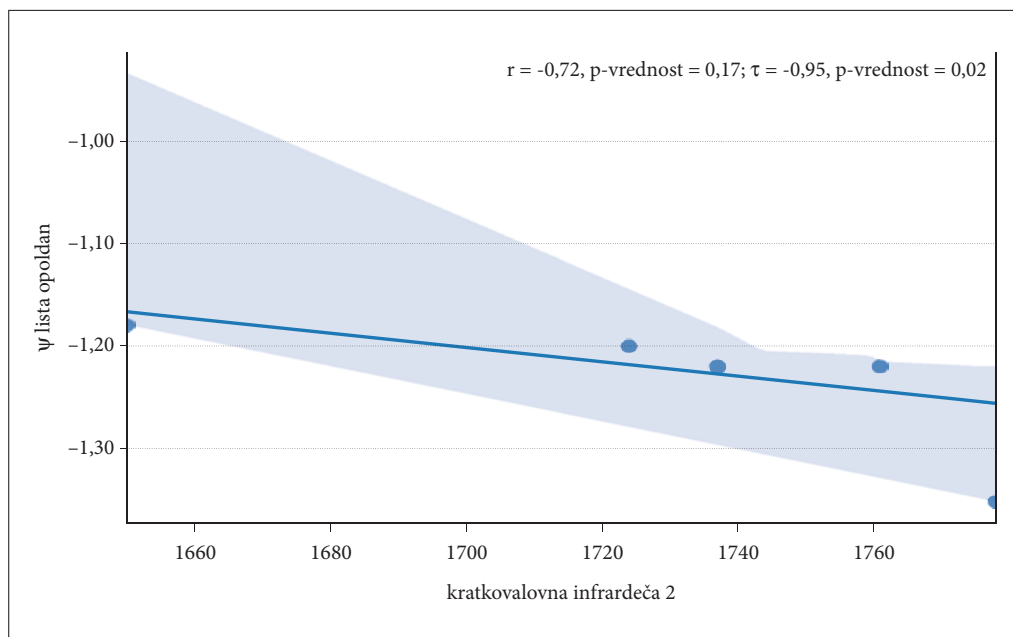
Slika 4: Korelogram: agregirane meritve vodnega potenciala in odboji Sentinel-2.



Slika 5: Linearna regresija: meritve vodnega potenciala stebła opoldan in druga kratkovalovna svetloba infrardečega pasu.



Slika 6: Linearna regresija: meritve vodnega potenciala pred zoro in druga kratkovalovna svetloba infrardečega pasu.



Slika 7: Linearna regresija: meritve vodnega lista opoldan in druga kratkovalovna svetloba infrardečega pasu.

ZAHVALA: Raziskovalno delo je bilo opravljeno v okviru projekta ACQUAVITIS, ki je sofinanciran iz sredstev programa Interreg V-A Italija-Slovenija 2014–2020.

5 Viri in literatura

- Bucchetti, B., Matthews, M.A., Falginella, L., Peterlunger, E., Castellarin, S.D. 2011: Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Scientia Horticulturae* 128, 297–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.003>
- Calderan, A., Sivilotti, P., Braidotti, R., Mihelcic, A., Lisjak, K., Vanzo, A. 2021: Managing moderate water deficit increased anthocyanin concentration and proanthocyanidin galloylation in »Refosk« grapes in Northeast Italy. *Agricultural Water Management* 246, 106684. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106684>
- Darvishzadeh, R., Wang, T., Skidmore, A., Vrieling, A., O'Connor, B., Gara, T.W., Ens, B.J., Paganini, M. 2019: Analysis of Sentinel-2 and RapidEye for Retrieval of Leaf Area Index in a Saltmarsh Using a Radiative Transfer Model. *Remote Sensing* 11(6), 671. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11060671>
- ESA 2022a: MSI Instrument – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online - Sentinel Online. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument> (15. 2. 2022).
- ESA. 2022b: User guides, Sentinel-2 MSI, Revisit and coverage, Sentinel online. Medmrežje: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/revisit-coverage> (15. 2. 2022).
- Frampton, W. J., Dash, J., Watmough, G., Milton, E. J. 2013: Evaluating the Capabilities of Sentinel-2 for Quantitative Estimation of Biophysical Variables in Vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 82, 83–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007>

- Kandylakis, Z., Falagas, A., Karakizi, C., Karantzas, K. 2020: Water Stress Estimation in Vineyards from Aerial SWIR and Multispectral UAV Data. *Remote Sensing* 12 (15), 2499. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12152499>
- Leeuwen, C.V., Tregoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillère, J.P. 2009: VineWater Status Is a Key Factor in Grape Ripening and Vintage Quality for Red Bordeaux Wine. How Can It Be Assessed for Vineyard Management Purposes? *Oeno One* 43,121–134. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>
- Ramoelo, A., Dzikiti, S., van Deventer, H., Maherry, A., Cho, M. A., Gush, M. 2015. Potential to Monitor Plant Stress Using Remote Sensing Tools. *Journal of Arid Environments* 113, 134–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.003>
- van der Meer, F. D., van der Werff, H. M. A., van Ruitenbeek, F. J. A. 2014: Potential of ESA's Sentinel-2 for Geological Applications. *Remote Sensing of Environment*, 148, 124–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.022>

VIŠINSKA RAZLIKA DO NAJBLIŽJEGA VODOTOKA (HAND) – PODATKI ZA SLOVENIJO

dr. Nejc Čož

ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije

nejc.coz@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6050-0929>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_09

UDK: 528.7:556.53(497.4)

IZVLEČEK

Višinska razlika do najbližjega vodotoka (HAND) – podatki za Slovenijo

Pripravili smo normaliziran digitalni model višin (HAND) na območju Slovenije. Model HAND je izračunan iz digitalnega modela višin in hidrografske mreže. Vsaka točka HAND-a predstavlja višinsko razliko med poljubno točko površja in hidrološko najbližjo točko odtoka. Model je bil prvotno razvit za namene kartiranja poplavne ogroženosti, vendar se je izkazal za uporabnega v širšem spektru hidroloških aplikacij, kot so napovedovanje suše, erozija tal in določanje virov podzemnih voda. Za izračun HAND-a smo se poslužili odprtokodnega programa TauDEM in programskega jezika Python. Slovenski HAND smo izračunali za strojno učenje modela za zaznavo suše, kjer je bil uporabljen kot pomožni podatkovni sloj. Testni rezultati so pokazali, da je HAND pripomogel k izboljšanju natančnosti modela.

KLJUČNE BESEDE

HAND, digitalni model višin, relativni model višin, hidrologija, poplave, suša

ABSTRACT

Height Above Nearest Drainage (HAND) – dataset for Slovenia

We have created the Height Above Nearest Drainage (HAND) dataset for Slovenia. HAND is a simple terrain metric calculated from a digital elevation model and a stream network. Each point of a HAND grid represents a vertical distance to the hydrologically nearest drainage point. The metric was initially developed for flood risk mapping purposes, however, it has become a useful indicator for many other water-related studies, including drought analysis, soil erosion, and delineation of groundwater resources. The computations were performed in Python and with open-source software TauDEM. The dataset was created to aid in the training of our drought detection model. The inclusion of HAND has shown promising results during the initial test runs of the drought model.

KEY WORDS

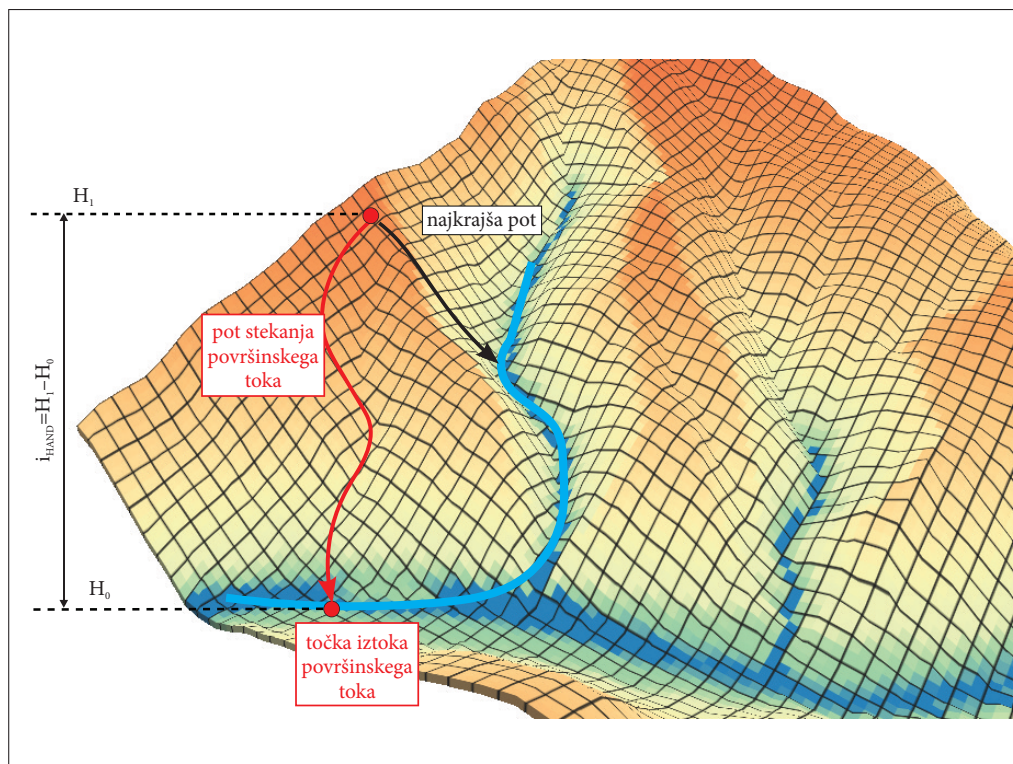
HAND, digital elevations model, relative elevations model, hydrology, floods, drought

1 Uvod

Prostorski podatki so pomemben vir za razumevanje hidroloških pojavov. Kljub temu, da se hidrološki procesi odvijajo na ravni širših geografskih območij, je večina hidroloških meritev opravljena točkovno (meteorološke postaje, vodomerne postaje). V zadnjih desetletjih se je dostopnost in kakovost (prostorska ločljivost posnetka, pogostost zajema, ipd.) podatkov daljinskega zaznavanja močno povečala. Uporaba satelitskih posnetkov, aerolaserskega skeniranja (ALS) in drugih neinvazivnih senzorjev je močno pripomogla k premostitvi tega problema ter omogočila razvoj novih metod za razumevanje prostorsko variabilnih hidroloških procesov (Blöschl s sodelavci 2019).

Eden glavnih hidroloških podatkovnih slojev je digitalni model (nadmorskih) višin (DMV), pridobljen z uporabo ALS. Lastnosti površinskega in podzemnega vodnega toka so neposredno povezane s fizičnimi lastnostmi površja. Smer vodnega toka je odvisna od gradienta potencialne energije, ki se ga določi na podlagi višinskih razlik med vrednostmi sosednjih točk. Na podlagi DMV-ja je tako možno opisati in razložiti dinamiko hidroloških procesov. Za reliefne podatke je značilno, da dobro korelirajo s hidrološkimi lastnostmi tal, kot sta zasičenost zemljin in tok podzemnih voda. Konkavna in nižje ležeča območja, kot je na primer dno rečne doline, so značilno podvržena visoki stopnji zasičenosti zemljine, medtem ko so višje ležeča območja z višanjem nadmorske višine progresivno bolj suha (Nobre s sodelavci 2011).

Rennó s sodelavci (2008) so razvili povsem nov normaliziran model višin, katerega cilj je možnost enoznačne primerjave hidroloških lastnosti različnih reliefnih tipov. Angleško ime modela je *Height Above Nearest Drainage* (HAND), kar lahko prevedemo v digitalni model višinskih razlik od najbližjega



Slika 1: Shematski prikaz izračuna HAND-a.

vodotoka. HAND je relativni model višin, katere so definirane kot višinska razlika med izbrano točko površja in koto gladine vodotoka v točki kamor se izteka njen površinski tok. Točka iztekanja površinskega toka ni nujno enaka geometrijsko najkrajši poti do vodotoka, kar je razvidno iz slike 1.

HAND je izračunan neposredno iz DMV-ja, za boljšo natančnost pa je priporočljivo upoštevati tudi podatke pripadajoče hidrografske mreže. Vrednosti modela tako ne prikazujejo več absolutnih vrednosti nadmorskih višin, temveč relativno vertikalno oddaljenost od hidrološko najbližjega vodotoka (slika 1). Ta lastnost je neposredno povezana s poplavljanjem, saj je ob znani informaciji najvišje kote visokih voda možno hitro in enostavno oceniti obseg poplavljenega območja. Ker so višine pogojene z smerjo površinskega odtoka, je tak način določanja poplavljenosti že a priori bolj natančen od statične metode, kjer je poplavno območje definirano s presekom kote visokih voda z lokalnim reliefom (Nobre in sod., 2016). V kombinaciji s pretočnimi krivuljami lahko hitro in enostavno izdelamo karte poplavne ogroženosti. Takšen pristop sicer ne dosega natančnosti kompleksnejših metod (npr. 2D/3D hidrodinamično modeliranje, 1D Saint-Venantove enačbe), vendar pa predstavlja enostavno in poceni rešitev za kartiranje poplavnih dogodkov v realnem času, kar je vedno v interesu reševalnim službam (Scriven in sod., 2021). Na podlagi evropske poplavne direktive iz leta 2007 (Direktiva, 2007) imamo v Sloveniji izdelan »Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije...« (Pravilnik, 2007), na osnovi katerega je bila leta 2018 izdelana Opozorilna karta poplav, ki podaja oceno poplavne ogroženosti na ravni države in je v lasti Ministrstva za okolje in prostor, Direkcija Republike Slovenije za vode. Pristop z uporabo HAND-a v Sloveniji zato ni toliko zanimiv iz vidika poplav, saj so omenjene karte poplavne ogroženosti natančnejše, ker so pripravljene s kompleksnejšimi metodami.

Kljub temu, da se HAND večinoma uporablja za analizo poplavne ogroženosti, se v literaturi najdejo tudi drugačne aplikacije modela. Med drugim je bil HAND uporabljen v kombinaciji s podatki Landsat 8 za določitev virov podzemne vode na območju gorovja Atlas v Maroku (Hamdani in Baali 2019). HAND je pripomogel k uspešnemu razločevanju med štirimi različnimi površinskimi tipi (ravninska močvirja, visokogorska mokrišča, pobočja in planote) in je bil posledično vključen v večparameterski odločitveni GIS model. Na podlagi HAND-a so izdelali tudi karti prsti in vegetacije za distribuiran hidrološki model (Cuartas s sodelavci 2012). Z modelom so simulirali vsebnost vlage v zemljini, nivo podzemne vode in podzemni pretok v porečju Amazonke. Validacija s terenskimi meritvami je potrdila, da je HAND primeren indikator prostorske porazdelitve hidroloških parametrov, kot so evapotranspiracija, zasičenost zemljine, slabše pa se je izkazal pri napovedi gladine in toka podzemnih voda v mokrih obdobjih. Olorunfemi s sodelavci (2020) so uporabili HAND za določitev območij, ki so potencialno podvržena eroziji zemljine.

V našem primeru smo HAND izračunali za potrebe določanja suše iz satelitskih posnetkov. Naš model za določanje sušnega stanja je v času tega pisanja še v razvoju zato rezultati niso predmet te objave ampak zgolj metode. Temelji na metodah strojnega učenja, kot so odločitveno drevo in nevronske mreže, pri katerih so vključeni trije tipi podatkov – satelitski posnetki Sentinel-2 z več spektralnimi kanali in z izpeljanimi indeksi, meteorološke in talne meritve ter konstantne podatke o terenu, med katere sodi tudi HAND.

2 Metode dela in podatki

HAND indeks smo izračunali za območje celotne Slovenije. Hidrološko je Slovenija razdeljena na šest območij: porečja Save, Drave, Mure in Kolpe ter povodji Soče in jadranskih rek. HAND se lahko izračuna ločeno za vsako porečje posebej, saj je v izbranem območju odvisen zgolj od pripadajoče hidrografske mreže. Zaradi raznolikosti površja – tu je mišljen predvsem kraški svet – izdelava HAND-a ni bila enostavna in je potekala v iterativnih korakih. V kolikor je bila v končnem rezultatu zaznana lokalna anomalija, smo na izbranem območju temeljito pregledali podatke DMV-ja in vektorske hidrografske

sloje. Zaznane napake so bile v večini primerov posledica nenatančne klasifikacije vodotokov hidrografske mreže. Ob izločevanju nepotrebnih elementov je tako prišlo do napak, kot so prekinjena os vodotoka ali prekinjena povezava med vodotokom in točko ponora. Pred vsako novo iteracijo so bili vhodni podatki ročno popravljeni.

Kot vhodni podatek za izračun HAND-a potrebujemo zgolj DMV izbranega območja in pripadajočo hidrografsko mrežo. Proces izračuna, prikazan na Sliki 2a, je v grobem razdeljen na štiri sklope: (i) predpriprava vhodnih podatkov; (ii) hidrološko pogojevanje (ang. *hydrological conditioning*) DMV-ja; (iii) definiranje mreže vodotokov in (iv) izračun HAND-a. Predpriprava vhodnih podatkov je obsegala filtriranje vektorskih slojev in njihovo rasterizacijo ter manjše ročne popravke DMV-ja. Hidrološko pogojevanje DMV-ja je obsegalo polnjenje kotanj in odstranjevanje ovir na vodotokih, s čimer je bilo zagotovljeno koherentno stekanje površinskega toka. Pri tem so bile zapolnjene vse kotanje, ki niso vsebovale ponorov in stalnih vodotokov hidrografske mreže, kar vključuje tudi veliko vrtač na kraških površjih. Določitev HAND-a na kraških površjih je vprašljiva tudi zaradi ponikalnic, saj je HAND določen na podlagi gladin površinskih voda. Natančnost HANDA se močno poveča, če njegov izračun omejimo na manjša zaključena prispevna območja, z enotnimi površinskimi lastnostmi, pri čimer lahko uporabimo modele s še večjo prostorsko ločljivostjo. V našem primeru smo se kljub temu odločili za izdelavo HAND-a na državni ravni, saj nam bo služil predvsem kot pomožni podatek in približni indikator prisotnosti vode na površju, pri čimer se zavedamo omenjenih pomanjkljivosti modela.

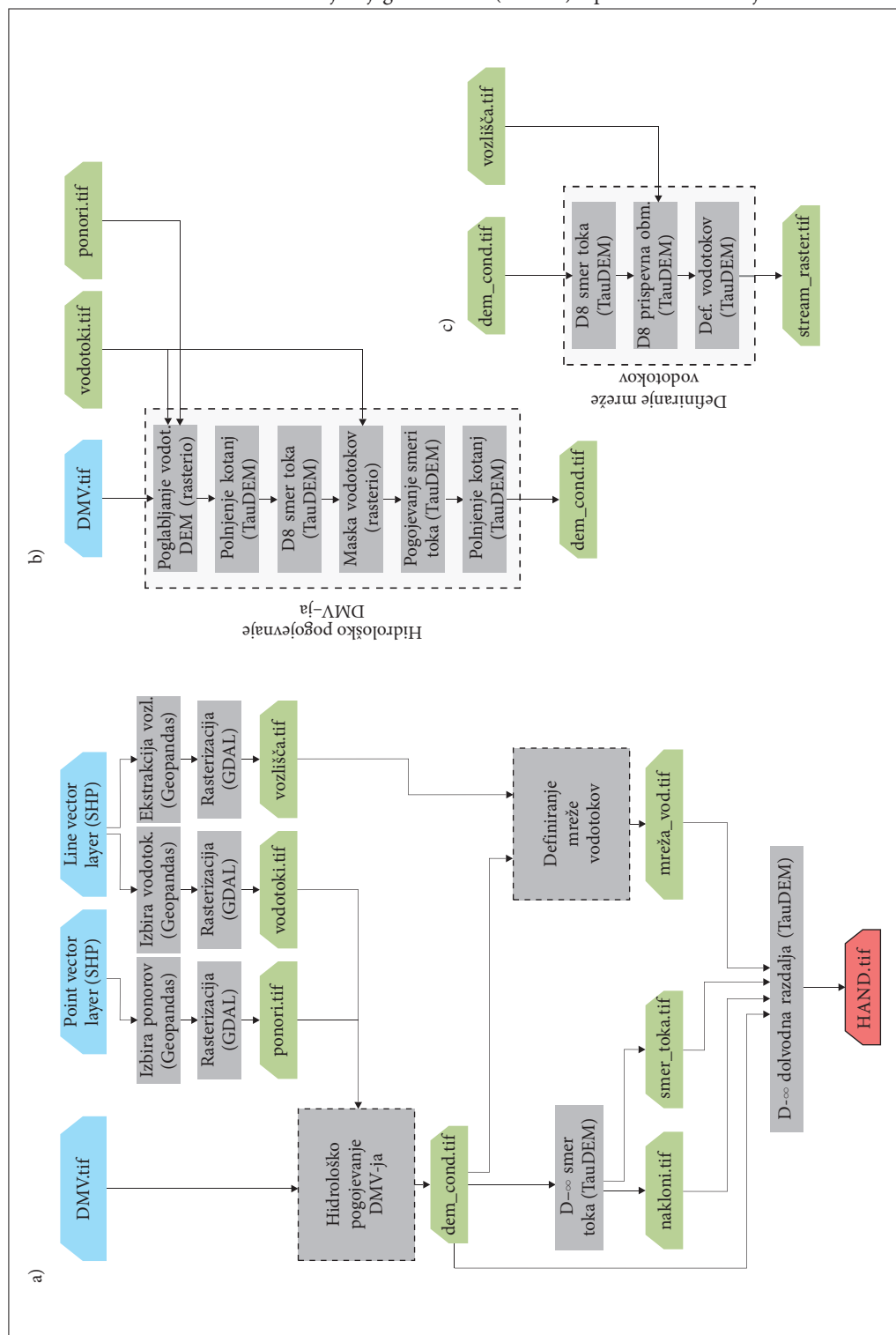
Z uporabo hidrografskih podatkov je bila nato definirana mreža vodotokov, ki je služila kot referenca za izračun normaliziranih višin. Končni rezultat predstavljenega postopka je državni HAND – model višin, normaliziran na slovensko hidrografsko mrežo s koherentnimi smermi površinskega odtoka.

Za pripravo HAND-a na državni ravni smo uporabili 10 m digitalni model reliefa (DMR), kar v našem primeru pomeni DMV pri katerem so bile odstranjene stavbe in vegetacija. DMR je bil izdelan z uporabo orodja LAStools neposredno iz oblaka točk, javno dostopnega preko portala eVode. HAND produkt ima enako ločljivost kot vhodni DMR, s čimer smo dosegli veliko boljšo natančnost kot pri globalnem HAND-u, ki temelji na 30 m SRTM (ang. *Shuttle Radar Topography Mission*) modelu višin (Donchyts s sodelavci 2016). Povprečna višinska natančnost slovenskega DMR-ja se giblje med 50 cm pri splošni topografiji manjše rečne struge, do 5 cm na odprtih, ravnih površinah (Triglav Čekada in Bric 2015).

Mreža vodotokov je lahko razmejena neposredno iz DMR-ja z določitvijo linij stekanja površinskih voda (Nobre s sodelavci 2011). V tem primeru je potrebno določiti točke začetka vodotoka na podlagi največje akumulacije površinskega toka. Ta točka je odvisna tako od hidrogeoloških značilnosti porečja, kot od časovnih variacij padavin (Papageorgaki in Nalbantis 2018), in jo je za reliefno razgibano območje, kot je slovensko, težko enoznačno določiti. Takšna metoda se je izkazala za učinkovito pri izdelavi globalnega HAND-a (Donchyts s sodelavci 2016), v našem primeru pa smo se, za izboljšanje natančnosti, odločili za uporabo vektorskega hidrografskega sloja.

Pri definiranju hidrografske mreže sta bila uporabljena dva vektorska sloja – linijski podatkovni sloj površinskih voda in točkovni sloj hidrografije. Linijski sloj vsebuje površinske vode zajete z linijskimi elementi, ki potekajo po središčni osi različnih tipov površinskih voda, kot so struge vodnega toka, kanali, akumulacijska jezera, melioracijski jarki, itd. in so dostopni na javnem spletnem portalu eVode. Za določitev referenčne mreže vodotokov smo iz linijskega sloja obdržali zgolj elemente klasificirane kot stalen vodotok, izmed teh pa izločili vse vodotoke tipa obcestni jarek, objekt (kanal) za posebno rabo vode in padavinski jarek. S tem smo izločili povirja, suhe struge, umetne kanale in ostale elemente hidrografske mreže, ki za izračun HAND-a niso relevantni. Izdelali smo tudi točkovni sloj, ki je razdelil vodotoke na odseke in je bil kasneje uporabljen za definiranje prispevnih območij.

Slika 2: (a) Potek izračuna modela višin, normaliziranega na hidrografsko mrežo (HAND – Height Above Nearest Drainage). (b) Podrobnejši potek izdelave hidrološko pogojenega DMV-ja. (c) Podrobnejši potek definiranja referenčne mreže vodotokov. ► (str. 123)



Točkovni sloj vsebuje elemente hidrografije, ki so zajeti s točkovno geometrijo, kot so npr. slap, izvir, ponor, jez, zapornica, stopnja, itd.. Iz točkovnega sloja smo uporabili zgolj ponore, ki smo jih še dodatno filtrirali. Obdržali smo samo ponore, ki se nahajajo na skrajno dolvodni točki stalnih vodotokov. Ponori na suhih strugah so namreč povzročali lokalne anomalije v obliki večjih območij z nedefiniranimi HAND vrednostmi. Ponori so še posebej pomembni za natančno določitev odtoka na območjih s kraškim površjem, kjer mreža vodotokov ni zvezna, s čimer je določitev koherentne poti površinskega odtoka otežena.

Izdelava HAND-a v celoti temelji na prosto dostopnih programskih orodjih. Postopek priprave teče v programskem jeziku Python, posamezni vmesni izdelki pa so narejeni s Pythonovimi knjižnicami GDAL, Geopandas in Numpy ter zbirko orodij TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*). Slednja je, kot je razvidno že iz izvirnega imena, zbirka funkcij za pridobivanje in analizo hidroloških informacij iz rastrskih reliefnih podatkov v obliki DMR, kot so izračun smeri površinskega odtoka, akumulacija površinskega toka, razmejitev porečij, določitev mreže vodotokov, odstranitev kotanj, ipd. (TauDEM 2016).

V predpripravo vhodnih podatkov sodi rasterizacija vseh vektorskih slojev v binarne maske, ki so potrebne za obdelavo samega DMR-ja. Temu sledi priprava hidrološko pogojenega modela višin, ki je izvedena v več korakih (Slika 2b). Hidrografski podatki iz vektorskega sloja so »zapečeni« v DMR, s čimer pripomorejo k bolj natančni določitvi poti vodotokov. Temu sledi odstranjevanje kotanj in določitev smeri površinskega odtoka, iz kateri se izbere samo piksle, ki se nahajajo v strugi vodotoka. Tako pridobljena mreža vodotokov (s smermi površinskega odtoka) predstavlja vhodni podatek za funkcijo *Flow Direction Conditioning* (TauDEM), ki zagotovi, da so vrednosti višin v dolvodni smeri vodotoka vedno padajoče. Pri tem so pomembne samo smeri toka in ne dejanske višine zapisane v rastru. Kot rezultat dobimo hidrološko pogojen DMR brez nezaželenih artefaktov (nasipi, mostovi, ipd.), ki so preprečevali zveznost poti vodotokov.

Naslednji korak je priprava referenčne hidrografske mreže, na podlagi katere je možno določiti točke površja, katerih površinski tok odteka v posamezne točke hidrografske mreže (Slika 2c). Hidrološko pogojen DMR je uporabljen za izračun smeri površinskega odtoka (TauDEM - *D8 Flow Direction*), iz katerih so, v kombinaciji s točkami odsekov vodotoka, določena vplivna območja posameznih odsekov (TauDEM - *D8 Contributing Area*). Referenčno hidrografsko mrežo dobimo z uporabo funkcije za določitev vodotokov (TauDEM – *Stream Definition By Threshold*).

Iz hidrološko pogojenega DMR-ja nato pridobimo še naklone površja in raster smeri površinskega odtoka izračunanega po t.i. metodi neskončnih smeri (ang. *direction-infinity* oz. *D-infinity method*). Vsi štirje vmesni produkti (hidrološko pogojen DMR, nakloni, smeri toka, referenčna mreža vodotokov) so vhodni podatki za zadnjo procesno funkcijo *D-infinity Distance Down* (TauDEM), katere rezultat je končni HAND model višin.

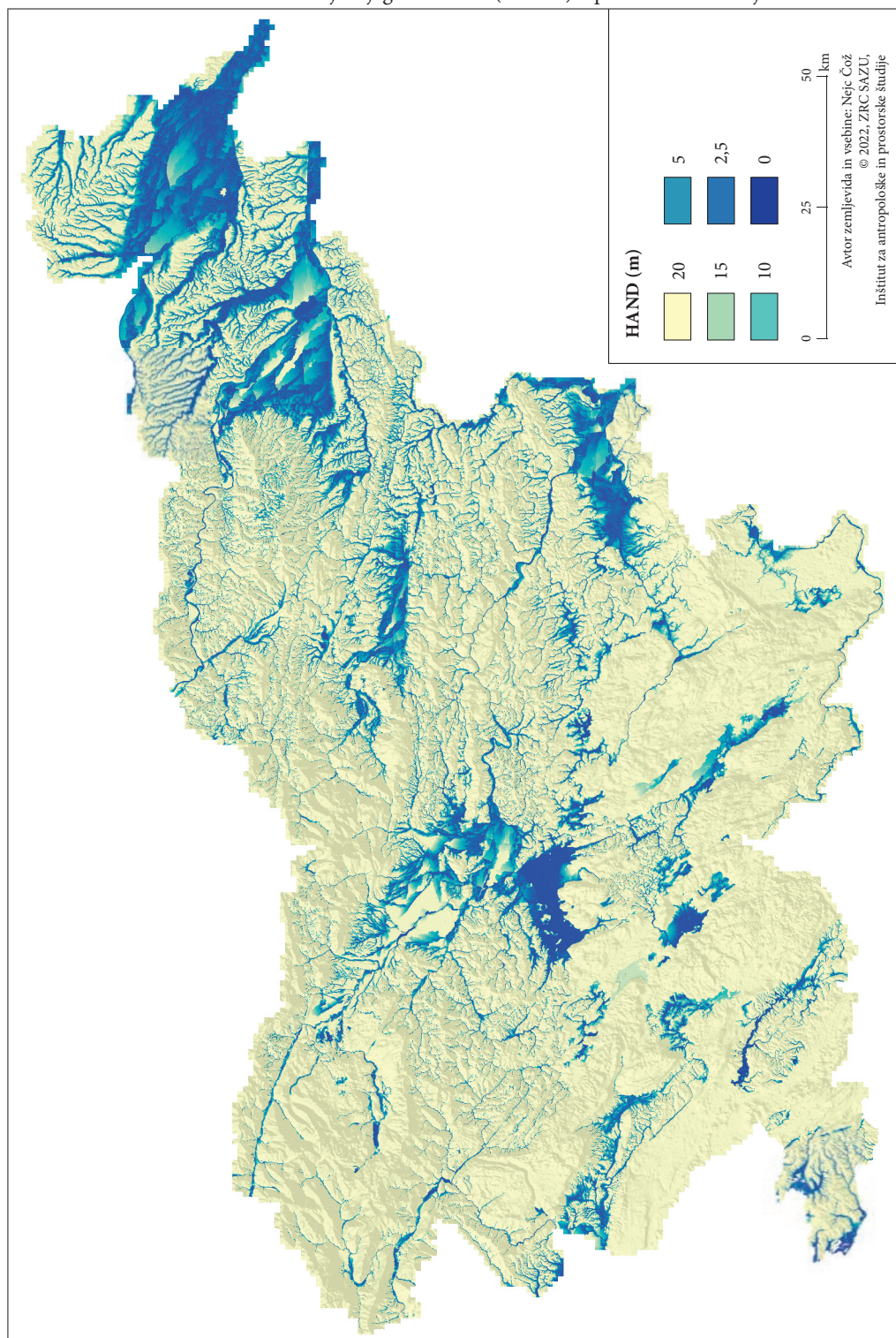
3 Rezultati in razprava

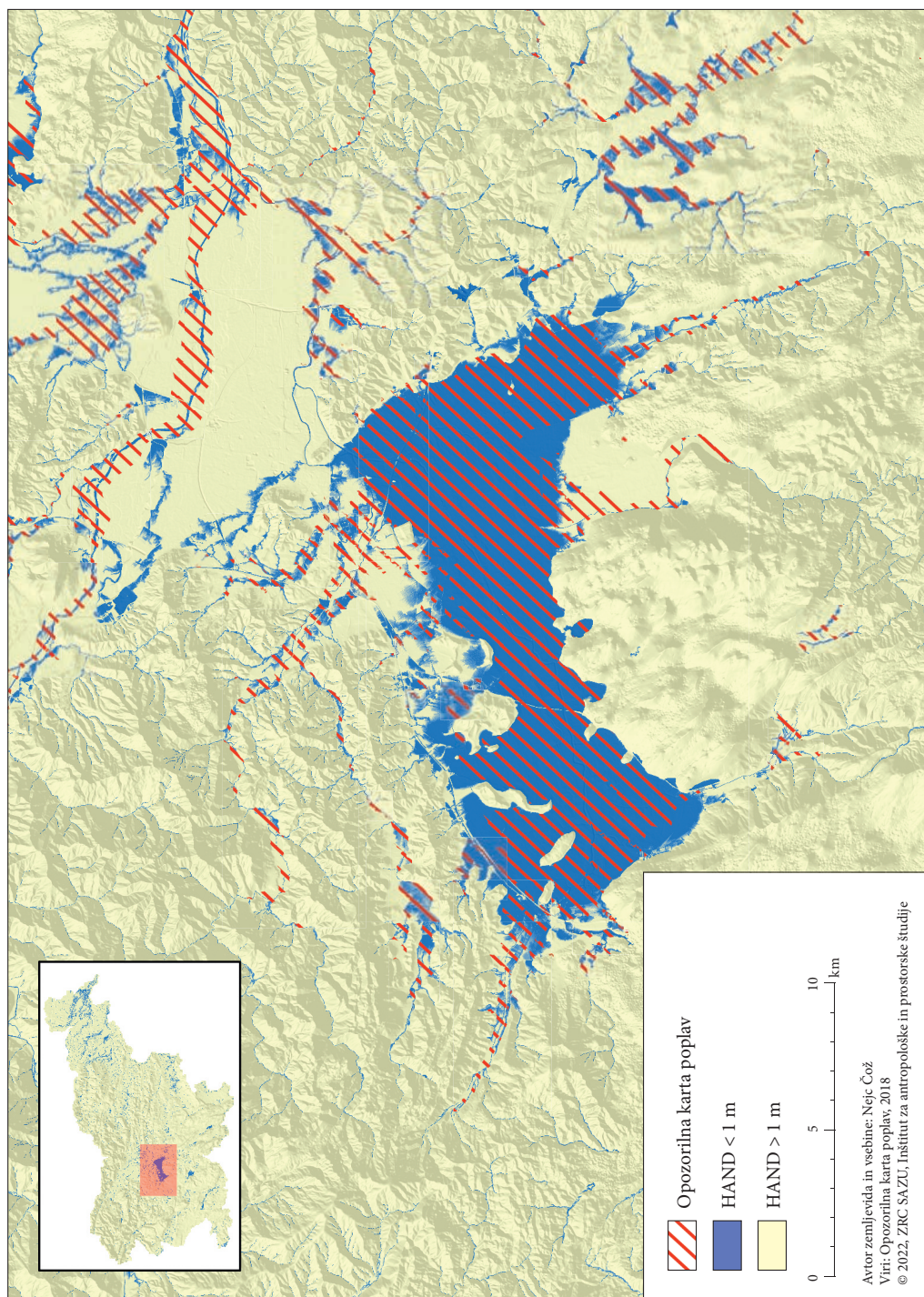
Izdelani HAND na območju Republike Slovenije v 10-metrski prostorski ločljivosti je prikazan na Sliki 3. Vrednosti HAND-a smo združili v 6 razredov, pri čimer je poudarek na nižjih vrednostih, saj so te najbolj zanimive z vidika hidroloških procesov. Velik delež površja Slovenije je visoko nad gladino vodotokov, kar se kaže v visokih vrednostih HAND-a (območja obarvana rumeno). Nižje vrednosti HAND-a pričakovano sledijo strugam glavnih vodotokov in se raztezajo po pretežno ravninskih predelih države. V visokogorjih in kraških pokrajinah so izrazite »rumene lise«, ki nakazujejo obsežnejša

Slika 3: Zemljevid HAND-a na območju Slovenije, prikazan na reliefu. ► (str. 125)

Slika 4: Primerjava HAND-a z opozorilno karto poplav na območju Ljubljanskega barja. Prikazane so HAND vrednosti med 0 in 1 m, ter območje zelo redkih poplav. ► (str. 126)

Višinska razlika do najbližjega vodotoka (HAND) – podatki za Slovenijo





območja z visokimi vrednostmi HAND-a. Za oba omenjena pokrajinska tipa je značilno suho površje – v prvem zaradi strmih naklonov, v drugem zaradi prepustnega površja z veliko ponikalnicami – kar se ujema s predpostavko, da visoke vrednosti HAND-a nakazujejo območja s pretežno suhim površjem.

Več kot 73 % površja Slovenije ima HAND večji od 20 m, kar 85 % pa večjega od 5 m. Ta območja so torej 20 m oz. 5 m nad normalno gladino mreže vodotokov, zato lahko z visoko gotovostjo ocenimo, da so varna pred poplavljanjem v primeru visokih voda. Poplavno bolj ogrožena območja, z vrednostjo HAND-a 1 m ali manj, predstavljajo manj kot 7 % celotnega ozemlja Slovenije. Kljub temu, da je odstotek površja države z nizkimi vrednostmi HAND-a majhen, pa ta območja obsegajo večino urbanih središč in območij z večjo gostoto poselitve. Na Sliki 4 je, na primeru Ljubljanskega barja, predstavljena primerjava rezultatov modela HAND z opozorilno karto poplav (2018). HAND v vrednostih manjših od 1 m zadovoljivo sovпада z območjem zelo redkih poplav iz opozorilne karte, ki vključujejo poplave s povratno dobo 50 ali več let. Kljub dobremu ujemanju je potrebno poudariti, da HAND ne služi natančnemu določanju poplavljenih območij, ampak služi zgolj kot enostaven indikator. DMV je statičen podatek, karte poplavne ogroženosti pa so rezultat kompleksnih hidrodinamičnih modelov, ki poleg samega reliefa upoštevajo tudi tip površja (koeficient hrapavosti) in hidrograme vodotokov.

Izdelani HAND smo preliminarno uporabili tudi pri treniranju modela strojnega učenja za določanje sušnega stanja. Poleg satelitskih posnetkov Sentinel-1 in Sentinel-2 ter meteoroloških meritev, je bil HAND uporabljen kot eden od pomožnih nespremenljivih podatkov o terenu. Ker je model zaznave suše v času priprave prispevka še v razvojni fazi, uvid v končne rezultate še ni mogoč ampak zgolj kratek povzetek v metode in uporabljene podatke. Učne vzorce smo pripravili na ravni kmetijskih zemljišč (GERK-ov), referenčne podatke o suši za leto 2017 pa smo pridobili neposredno iz Agencija RS za kmetijske trge in razvoj podeželja. Prvi rezultati testiranja so bili vzpodbudni, pri čimer smo se na začetku omejili zgolj na koruzna polja, saj je koruza predstavljala poljščino z eno od najštevilčnejših pojavnosti in s tem zagotavlja zadostno število vzorcev.

4 Sklep

Opisali smo postopek za izdelavo relativnega modela višin, normaliziranega na mrežo vodotokov in prikazali rezultat na območju Republike Slovenije. Podrobno smo opisali njegove lastnosti in na podlagi končnega produkta izpostavili njegovo uporabnost za ocenjevanje poplavne ogroženosti in napovedovanje suše. Za uporabo na državnem nivoju je zadostoval DMR z desetmetrsko ločljivostjo. Z drugimi dostopnimi podatki je mogoče izdelati model tudi v višji ločljivosti (npr. 1 m), kar bi bilo še posebej uporabno pri analizah območij manjše površine, na primer na nivoju naselij ali na ravni manjšega porečja. V prihodnosti želimo izkoristiti vsestranskost HAND-a za hidrološke analize in ga uporabiti na relevantnih raziskovalnih področjih.

ZAHVALA: Prispevek je nastal s finančno podporo Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa št. P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika in temeljnega raziskovalnega projekta številka J6-9395 Opazovanje suše v visoki ločljivosti z modeliranjem talnih in satelitskih podatkov. Hvala recenzentom za konstruktivne komentarje.

5 Viri in literatura

Blöschl, G., Bierkens, M. F. P., Chambel, A., Cudennec, C., in sod. 2019: Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. *Hydrological Sciences Journal* 64 (10): 1141–1158. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507>

- Cuartas, L. A., Tomasella, J., Nobre, A. D., Nobre, C. A., Hodnett, M. G., Waterloo, M. J., de Oliveira, S. M., von Randow, R. de C., Trancoso, R. and Ferreira, M. 2012: Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. *Journal of Hydrology* 462–463: 15–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.047>
- Direktiva 2007: Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks). *Official Journal of the European Union*, L 288/27, 27–34. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj> (Pridobljeno 25. 2. 2022).
- Donchyts, G., H., Winsemius, J., Schellekens, T., Erickson, H., Gao, H., Savenije and N. van de Giesen. 2016: Global 30m Height Above the Nearest Drainage. *Eguga* 18 (April): EPSC2016-17445. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3956.8880>
- Hamdani, N. and Baali, A. 2019: Height Above Nearest Drainage (HAND) model coupled with lineament mapping for delineating groundwater potential areas (GPA). *Groundwater for Sustainable Development* 9 (July): 100256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100256>
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., Waterloo, M. and Saleska, S. 2011: Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology* 404 (1–2): 13–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Momo, M. R., Severo, D. L., Pinheiro, A. and Nobre, C. A. 2016. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Processes* 30 (2): 320–333. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.10581>
- Olorunfemi, I. E., Komolafe, A. A., Fasinmirin, J. T., Olufayo, A. A. and Akande, S. O. 2020: A GIS-based assessment of the potential soil erosion and flood hazard zones in Ekiti State, Southwestern Nigeria using integrated RUSLE and HAND models. *CATENA* 194 (May): 104725. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104725>
- Papageorgaki, I. and Nalbantis, I. 2018: On Spatio-Temporal Modelling of Stream Network Initiation. *Environmental Processes* 5 (S1): 239–257. DOI: <http://link.springer.com/10.1007/s40710-018-0338-z>
- Pravilnik 2007: Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Rules on methodology to define flood risk areas and erosion areas connected to floods and classification of plots into risk classes). *Uradni list RS*, št. 60. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV8318> (Pridobljeno 25. 2. 2022).
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J. and Waterloo, M. J. 2008: HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment* 112 (9): 3469–3481. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>
- Scriven, B. W. G., McGrath, H. and Stefanakis, E. 2021: GIS derived synthetic rating curves and HAND model to support on-the-fly flood mapping. *Natural Hazards* 109 (2): 1629–1653. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04892-6>
- TauDEM 2016: Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM) software for hydrologic terrain analysis and channel network extraction: <https://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/> (4. 3. 2021).
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetski vestnik* 59 (3), 586–592.

PLENENJE EVRAZIJSKEGA RISA (*LYNX LYNX*) IN MIKROHABITATNE RELIEFNE ZNAČILNOSTI: PRIMER ANALIZE MORFOMETRIJE IN MORFOLOGIJE VRTAČ KOT LOKACIJ UPLENITEV PARKLJARJEV

Špela Čonč

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

spela.conc@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2110-8542>

Urša Fležar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire in Zavod za gozdove Slovenije

ursa.flezar@bf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5865-948X>

Lan Hočevar, Teresa Oliveira, dr. Miha Krofel

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

lan.hocevar@bf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2346-1390>

nteresaooliveira92@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-5198>

miha.krofel@bf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2010-5219>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_10

UDK: 911.2:551.435.82:591.52(497.4)

599.742.734:591.52(497.4)

IZVLEČEK

Plenjenje evrazijskega risa (*Lynx lynx*) in mikrohabitatne reliefne značilnosti: primer analize morfometrije in morfologije vrtač kot lokacij uplenitev parkljarjev

Plenjenje je temeljna ekološka funkcija plenilcev. Ključnega pomena je razpoložljivost plena, na uspešno uplenitev pa lahko vplivajo tudi značilnosti habitata in mikrolokacije. Namen prispevka je na območju Dinarskega gorstva v Sloveniji uporabiti metodo za zaznavanje vrtač na podlagi digitalnega modela višin (DMV), določiti njihove morfometrične in morfološke značilnosti, ugotoviti delež uplenitev parkljarjev v vrtačah pri evrazijskem risu (*Lynx lynx*) in podrobneje analizirati lastnosti tistih vrtač, kjer smo našli ostanke risovega plena. Kot ostanke plena smo upoštevali le parkljarje, saj uplenitve manjšega plena težko zaznamo. Ugotovili smo, da se 32,2 % ($n = 65$) ostankov plenov nahaja v vrtačah ali v njihovi bližini ter da so vrtače, kjer so risi uplenili svoj plen, glede na morfometrične značilnosti nekoliko večje od povprečja in srednjih vrednosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorstva. Največji naklon pobočij v teh vrtačah je med 20,4 in 56,3°, kar nakazuje na strma pobočja in potencialno izoblikovanost manjših sten, škrapljišč ali večjih kamnitih blokov na površju. Čeprav ima metoda zaznavanja vrtač nekaj pomanjkljivosti, je primerna za prepoznavanje, splošne prostorske analize razporejenosti in računanje morfometričnih ter morfoloških značilnosti vrtač. Prav tako se je metoda izkazala za uspešno pri preučevanju mikrohabitatnih značilnosti lokacij uplenitev. Visok delež uspešnih uplenitev v vrtačah nakazuje, da imajo vrtače lahko vpliv na plenjenje pri risu.

KLJUČNE BESEDE

geomorfologija, kraške kotanje, GIS, LiDAR, evrazijski ris (*Lynx lynx*), lokacije uplenitev, mikrohabitatne značilnosti, Dinarsko gorovje

ABSTRACT

Microhabitat relief characteristics of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*): an example of analysis of morphometry and morphology of dolines as kill sites

Predation is a basic ecological function of predators. Prey abundance is crucial, and successful capture may also be influenced by habitat and microsite characteristics. The main objectives of the research are to: 1) apply doline detection method based on the digital elevation model (DEM) in the Dinaric Mountains, Slovenia, 2) determine their morphometric and morphological characteristics, 3) determine the proportion of ungulate kill sites by Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in dolines and 4) to analyse what characteristic are typical for those dolines where lynx killed ungulates. Only ungulates were considered as prey remains due to difficult detection of prey remains from smaller animals. We found that 32.2% ($n = 65$) of the prey remains were located in or near dolines and that these dolines had larger mean and median values of morphometric characteristics than all dolines in the Dinaric Mountains. The maximum slope in these dolines ranges from 20.4 to 56.3°, which could indicate on steep slopes and potential formation of smaller walls, karren fields and rocky outcrops. Although the doline detection method has some drawbacks, it is suitable for identification, general spatial analysis of distribution, and calculation of morphometric and morphological characteristics of dolines. The results have also proven useful in studying the microhabitat characteristics of kill sites based on LiDAR-DTM. The high proportion of successful prey in dolines suggests that they may have an impact on predation by lynx.

KEY WORDS

geomorphology, karst depressions, GIS, LiDAR, Eurasian lynx (*Lynx lynx*), kill sites, microhabitat characteristics, Dinaric mountains

1 Uvod

Plenjenje je temeljna ekološka funkcija plenilcev, lovna uspešnost pa je dejavnik, ki pomembno vpliva na preživetje in reprodukcijski uspeh oziroma zmožnost preživetja osebkov (Pyke, Pulliam in Charnov 1977; Belotti s sodelavci 2013; Walton s sodelavci 2016). Na plenjenje in uspešno uplenitev vplivajo številni dejavniki. Ključnega pomena je tako razpoložljivost plena (»hipoteza o razpoložljivosti plena«; Hopcraft, Sinclair in Packer 2005), na uspešno uplenitev pa med drugim vplivajo tudi značilnosti habitata in mikrolokacije (»pokrajinska hipoteza«; Hopcraft, Sinclair in Packer 2005). Pri plenjenju je pomembno, da habitat plenilcu zagotavlja tako kritje kot tudi dober pregled nad območjem in plenom (Sunquist in Sunquist 1989; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Podgórski s sodelavci 2008; Belotti s sodelavci 2013).

Evrazijski ris (*Lynx lynx*; v nadaljevanju ris) je, podobno kot ostale mačke, visoko specializiran plenilec, ki večinoma pleni manjše vrste parkljarjev (Krofel, Huber in Kos 2011). Ris in tudi ostale velike zveri potrebujejo velike domače okoliše z dobro poveztivostjo habitata, kar je nujno tudi za disperzijo, ki omogoča pretok genskega materiala med različnimi populacijami (Premier s sodelavci 2021). Posledično se večina ekoloških študij o preučevanju habitatnih značilnosti, modeliranju primernosti prostora ali poveztivosti habitatov živalskih vrst navezuje na prostorsko analizo celotnih držav ali večjih sklenjenih naravnih območij. V analizo so poleg prostorskih podatkov o prisotnosti vrste vključeni tudi različni okoljski in antropogeni dejavniki (na primer pokrovnost tal, fragmentiranost habitata, razdalja do cest). Okoljski dejavniki pa so pogosto omejeni le na splošne značilnosti reliefa, kot so nadmorska višina, razgibanost, naklon pobočij in druge (na primer Zimmermann in Breitenmoser 2007; Filla s sodelavci 2017; Ripari s sodelavci 2022). Pristopi, ki se osredotočajo na študije velikih območij, posledično ne zajemajo tudi vpliva mikrohabitatnih značilnosti, kot so posamezne reliefne oblike, ki pa lahko pomembno vplivajo na ekologijo oziroma specifična vedenja plenilcev, kar je še posebej izrazito pri prostoživečih mačkah (na primer Podgórski s sodelavci 2008; Ironside s sodelavci 2018; Farhadinia s sodelavci 2019). Nekatere pretekle raziskave o ekologiji risa nakazujejo, da je interpretacija mikrohabitatnih značilnosti, kot sta rastlinstvo in izoblikovanost reliefa, pomembna tako za podrobnejše razumevanje njihove ekologije, kot tudi za njihovo ohranjanje in upravljanje (na primer Podgórski s sodelavci 2008; Belotti s sodelavci 2013; Signer s sodelavci 2019; Hočevar, Oliveira in Krofel 2021; Čonč s sodelavci 2022). V prihodnje je zato bistveno, da se pozornost nameni tudi preučevanju podrobnih habitatnih zahtev in značilnosti posameznih vrst.

Ris na območju Evrope naseljuje predvsem območja večjih strnjenih gozdnih zemljišč. Na izbiro habitata vpliva več dejavnikov, najpomembnejši so: razpoložljivost plena, odsotnost človeka in njegovih dejavnosti, gozdnatost in reliefna nedostopnost (Filla s sodelavci 2017; Ripari s sodelavci 2022). Na območju Slovenije mu še posebej ustrezajo obsežni dinarski jelovo-bukovi gozdovi (*Omphalodo-Fagetum*), ki pokrivajo razčlenjen kraški relief, značilen za Dinarsko gorovje. Podatki različnih načinov spremljanja risov (zimsko sledenje, GPS telemetrija, VHF telemetrija, fotopasti) in raziskave z območja Dinarskega gorovja v Sloveniji kažejo določene vzorce, ki nakazujejo povezanost med izbiro lokacij za gibanje, označevanje teritorija, dnevna počivališča in plenjenje ter določenimi kraškimi reliefnimi oblikami, kot so skalni bloki, jame, spodmoli, skalnati previsi, stene, slemena, skalnate police, vrtače (Krofel s sodelavci 2006; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Krofel, Skrbinšek in 2013; Krofel 2010; Allen s sodelavci 2017; Hočevar, Oliveira in Krofel 2021; Čonč s sodelavci 2022).

Na območju Dinarskega gorovja predstavlja srnjad 80 % prehrane risa, s 7 % sledijo polhi, ris pa občasno pleni tudi jelenjad, gamse in druge kopenske vretenčarje (Krofel, Huber in Kos 2011). Ker ris za plenjenje večinoma izbira večji plen, je za uspešno uplenitev potrebna učinkovita tehnika lova in čim hitrejša usmrtnitev. Pri lovu ris uporablja dve tehniki ali kombinacijo obeh: zalezovanje plena ali napad iz zasede, s čimer plen preseneti (Skrbinšek in Potočnik 2005; Krofel, Potočnik in Kos 2007). Na lovno uspešnost vplivajo tudi mikrohabitatne reliefne in vegetacijske značilnosti, ki jo, zaradi možnosti dobrega kritja in zalezovanja plena, lahko celo povečajo (Krofel, Potočnik in Kos 2007; Podgórski

s sodelavci 2008). Zaradi zakraselosti je površje Dinarskega gorovja ponekod izrazito kamnito. Na teh območjih so najpogostejše reliefne oblike škrapljišča in skalni bloki, ki jih pogosto prerašča mah. Na podlagi zimskega sledenja so ugotovili, da ris za gibanje pogosto uporablja prav kamnito površje, kar mu omogoča kritje in tišje gibanje (Krofel, Potočnik in Kos 2007). Pretekle raziskave iz Slovenije kažejo na pogostost plenjena risa v kraških kotanjah ali njihovi bližini (Krofel s sodelavci 2006; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Krofel 2010; Čonč s sodelavci 2022).

Napredek v tehnologiji, tako na področju zajemanja (na primer lasersko skeniranje površja – LiDAR) kot tudi obdelave podatkov (na primer geografski informacijski sistemi – GIS), omogoča vse bolj podrobne analize zemeljskega površja (Tarolli in Mudd 2020). Natančno lasersko skeniranje površja zagotavlja vpogled tudi v 3R fizično strukturo ekosistemov, od reliefa do vegetacijskih struktur (Davis in Asner 2014) in omogoča preučevanje reliefa tudi pod rastlinstvom (Triglav Čekada 2011). Na področju daljinskega zaznavanja se zato razvijajo številne metode in tehnologije za daljinsko ter stroškovno učinkovito kartiranje in zaznavanje ter analize reliefnih značilnosti in oblik. Tako kot za ostale oblike je bilo tudi za zaznavanje in omejevanje kraških kotanj razvitih ter apliciranih že več različnih metod, ki so se izkazale kot uspešne pri prostorskih, morfometričnih in ostalih analizah (na primer Obu 2011; Doctor in Young 2013; Obu in Podobnikar 2013; Grlj in Grigillo 2014; Kobal s sodelavci 2015; Telbisz s sodelavci 2016; Wu, Deng in Chen 2016; Kim, Nam in Youn 2019; Verbovšek in Gabor 2019; Grlj 2020; Mihevc in Mihevc 2021; Čonč s sodelavci 2022). Visoko ločljivostni LiDARski podatki in metode za zaznavanje reliefnih oblik so še posebej uporabne za analizo reliefnih značilnosti na večjih, oddaljenih, z rastlinstvom poraslih in težko dostopnih območjih, kot je Dinarsko gorovje (Davis in Asner 2014; Telbisz s sodelavci 2016; Breg Valjavec s sodelavci 2018).

GIS-ovska orodja ter metode za zaznavanje reliefnih oblik in preučevanje značilnosti površja predstavljajo inovativen, stroškovno ter časovno učinkovit pristop pri preučevanju mikrohabitatskih značilnosti in ekologije prostoživečih živali kot so risi (Čonč s sodelavci 2022). Podrobnejše poznavanje značilnosti (mikro)habitata je pomembno za boljše razumevanje ekologije, prihodnjega upravljanja in tudi ohranjanja te vrste.

Glavni cilji raziskave so: 1) na območju Dinarskega gorstva v Sloveniji uporabiti metodo za zaznavanje vrtač na podlagi digitalnega modela višin (DMV), 2) določiti njihove morfometrične in morfološke lastnosti, 3) ugotoviti delež uplenitev parkljarjev v vrtačah pri evrazijskem risu in 4) podrobneje analizirati lastnosti tistih vrtač, kjer smo našli ostanke risovega plena. Kot ostanke plena smo upoštevali le parkljarje, saj uplenitve manjšega plena težko zaznamo. Poskušali bomo odgovoriti tudi na vprašanje ali risi izbirajo vrtače kot lokacije plenjenja z namenom, da si povečajo možnosti uspešnega lova na večji plen, ki hkrati ponuja največje prednosti v smislu porabe energije pri plenjenju.

2 Metode

Glede na Perkovo (1998) regionalizacijo Slovenije smo kot testno območje izbrali tiste mezoregije Dinarskega gorovja, ki se večinoma ali v celoti nahajajo vzhodno od avtoceste Ljubljana–Koper in hkrati sovpadajo tudi z ekološko pomembnim območjem Osrednje območje življenjskega prostora velikih zveri (Ekološko ... 2022) (slika 1). To območje smo izbrali na podlagi stalne prisotnosti risa (Fležar s sodelavci 2022) in razpoložljivosti podatkov o lokacijah njihovih plenov.

Za zaznavanje vrtač smo uporabili znano metodo, ki temelji na omejevanju kotanj na podlagi navideznega zapolnjevanja DMV (Obu 2011; Obu in Podobnikar 2013; Bauer 2015; Kobal s sodelavci 2015; Telbisz s sodelavci 2016; Čonč s sodelavci 2022). Kot vhodni podatek smo uporabili DMV z ločljivostjo celice 1×1 m, ki smo ga pridobili iz podatkovnega oblaka točk tal. Podatkovni oblaki so na voljo iz zračnih laserskih skeniranj, izvedenih v letih 2011, 2014 in 2015 (Triglav Čekada in Bric 2015; LiDAR 2022). Za uporabo metode, izračun značilnosti in analizo tistih vrtač, kjer so risi uplenili svoj plen, smo uporabili ESRI-jevo programsko opremo *ArcGIS Pro 2.8.1*.

Za zaznavanje vrtač smo uporabili enak postopek, kot so ga uporabili Čončeva in sodelavci (2022) in temelji na treh fazah dela: 1) izračun porečij kraških kotanj, 2) omejevanje kraških kotanj, 3) izračun morfometričnih in morfoloških značilnosti ter izločanje kraških kotanj, ki ne ustrezajo velikostnemu kriteriju (globina večja ali enaka 2 m in premer večji ali enak 10 m).

Ker se na kraškem reliefu v podatkih laserskega skeniranja površja pogosto pojavljajo lokalni šumi oziroma napake, so visoko ločljivostni podatki pri zaznavanju kraških kotanj lahko problematični. Zaradi prevladujočega podzemnega odtoka padavinske vode, se na površju pogosto pojavljajo šumi oziroma ponori (angleško *sink*) v obliki točk in manjših kotanj, kamor se steka voda. Tovrstni šumi se pojavljajo tudi v rečnem reliefu, kjer pa so zaradi sklenjenosti rečne mreže redkejši. Šumi v podatkih so lahko tudi posledica laserskega skeniranja nad območji z gostim rastlinstvom ali nastanejo pri obdelavi oziroma filtriranju podatkov oblaka točk laserskega skeniranja zaradi odstranjevanja rastlinstva. Šum v praksi pomeni napako, ki ovira natančne geomorfometrične analize, zato ga je treba odstraniti (Obu in Podobnikar 2013; Telbisz s sodelavci 2016). Da bi bilo med zaznanimi kotanjami čim manj napačno zaznanih in ker se je pri raziskavi Telbisza in sodelavcev (2016) predobdelava DMV izkazala kot primerna za odpravljanje manjših napak, smo DMV pred analizo obdelali tudi v naši raziskavi. Z orodjem *Focal statistics* smo za vsako celico izračunali povprečno vrednost celic v izbranem lokalnem oknu (radij 5 m). Na ta način smo vhodni sloj povprečili oziroma zgladili in znotraj lokalnega okna zmanjšali variabilnost vrednosti. Nato smo manjše kotanje, ki so verjetno posledica napake v podatkih, z orodjem *Fill* navidezno zapolnili do višine 1 m od dna ter tako iz nadaljnje analize odstranili vse tiste, ki so plitvejšje od 1.

V prvi fazi smo izračunali prispevne površine kraških kotanj (*watershed*) na podlagi smeri odтока (*flow direction*) in ponorov (*sink*). V drugi fazi smo z ukazom *Zonal Fill* omejili kotanje, ki na podlagi prispevnih površin in vhodnega DMV poišče najnižjo robno celico, kjer bi se ob teoretičnem zapolnjevanju voda prelila iz kotanje. Da bi kotanje lahko izdvojili, smo uporabili matematično operacijo odštevanje (*minus*) in od sloja *Zonal Fill* odšteli vhodni DMV. Določili smo, da so kotanje vsa območja, ki imajo vrednost odštevanja večjo kot 0. Pri vektorizaciji končnega sloja smo uporabili možnost *Simplify Polygons*, ki posploši vektorski prikaz poligonov iz prikaza po celicah v zgledeno linijo.

Morfometrične značilnosti vrtač smo izračunali s pomočjo ukazov in funkcij *Calculate Geometry*, *Calculate Field*, *Zonal Statistics as Table* in *Zonal Geometry as Table*. Izračunali smo površino, obseg, premer, globino, podolgovatost, dolžino, širino in nadmorsko višino roba. Za vse značilnosti smo podali njihove najnižje in najvišje vrednosti ter povprečno in srednjo vrednost s standardnim odklonom (SO) (preglednica 1). Glede na vrednosti podolgovatosti so vrtače razdeljene v štiri skupine: okroglaste ali subokroglaste ($Re \leq 1,21$), elipsaste ($1,21 < Re \leq 1,65$), subelipsaste ($1,65 < Re \leq 1,8$) ali podolgovate ($Re > 1,8$) (Kobal s sodelavci 2015).

Na podlagi literature, ki določa, da so vrtače tiste kotanje, ki imajo globino večjo ali enako 2 m in premer večji ali enak 10 m (Gams 2004; Obu 2011; Obu in Podobnikar 2013; Kobal s sodelavci 2015), smo izločili preplitve in premajhne vrtače.

Morfografske značilnosti vrtač smo opredelili z izračunom razgibanosti površja (*vector ruggedness measurment*; Sappington, Longshore in Thompson 2007) in naklonom pobočij (*slope*). Vrednosti razgibanost površja smo glede na Jenksove naravne razrede razvrstili v tri razrede, ki prikazujejo območja z nizko, srednjo in visoko razgibanostjo površja. Vrednosti naklona pobočij vrtač pa smo razdelili v štiri naklonske razrede, ki predstavljajo določene morfološke značilnosti vrtač. Za naše potrebe smo glede na literaturo prilagodili meje naklonskih razredov, ki predstavljajo ločnice med geomorfološkiimi oblikami, ki jih definira aktivnost pobočnih procesov (Obu 2011; Stepišnik 2010). Prvi naklonski razred smo opredelili med 0 in 3° (ravnine), drugega med 3,1 in 10° (blaga pobočja), tretjega med 10,1 in 25° (uravnotežena pobočja) in četrtega med 25,1 in 60° (aktivna pobočja).

Pri odkrivanju lokacij uplenitev smo uporabili podatke s telemetričnih ovratnic 13 risov z območja Dinarskega gorovja. Potencialne lokacije uplenitev smo najprej zaznali z analizo gruč GPS lokacij (*GPS location clusters*). Metoda se je v preteklih raziskavah že izkazala za primerno pri prepoznavanju lokacij uplenitev parkljarjev (Krofel, Skrbinšek in Kos 2013). Pri določanju potencialnih lokacij uplenitev

se zanaša na vedénje risov, ki po uplenitvi večjega plena za več dni omejijo svoje gibanje na bližnjo okolico plena, kar je iz podatkov razvidno kot gruča GPS lokacij (Krofel, Skrbinšek in Kos 2013). Natančne lokacije uplenitev so bile naknadno na terenu potrjene in zabeležene z ročno GPS napravo. Upoštevali smo tudi lokacije uplenitev, ki so bile najdene s sledenjem risov v snegu. Za lokacije, kjer smo našli ostanke plena domnevamo, da je bil plen uplenjen v neposredni bližini in ga ris ni preveč premikal. Poleg popisa lokacije, se je na terenu zabeležilo tudi nekatere ostale informacije o lokaciji, med drugim tudi ali se je plen nahajal v vrtači oziroma v njeni neposredni bližini. Zaradi potencialne napake GPS naprave pri zajemu lokacije plena (GPS accuracy 2021), smo okoli točke lokacij plenov ustvarili 15-metrski radij (*buffer*). S funkcijo *Select by Location* smo ugotovili, katere vrtače in 15-metrski radiji se prekrivajo in jih podrobneje analizirali glede na izračunane morfometrične ter morfološke značilnosti. Za vse lokacije plena smo določili število vrtač v 50-metrskem radiju od lokacije plena. Vrednost 50 m smo izbrali na podlagi dejstva, ki ga navajata Skrbinšek in Potočnik (2005), in sicer da, v kolikor napad risu ne uspe v približno 20–50 m, odneha.

3 Rezultati

Z metodo zaznavanja smo na celotnem območju Dinarskega gorovja (4507,2 km²) prepoznali 151.398 vrtač s povprečno gostoto 33,6 vrtač/km². Gostota (46,6 vrtač/km²) in delež (79,0 %, n = 119.581) sovpadata s kamninsko zgradbo (slika 1), saj se vrtače najpogosteje pojavljajo na območju apnencev (2568,2 km²), na dolomitu (1173,9 km²) pa sta delež (17,8 %, n = 27.007) in gostota (23,0 vrtač/km²) občutno nižja. Najnižji delež (3,2 %, n = 4810) in gostota (6,3 vrtač/km²) sta na območjih, ki jih gradijo ostale kamnine (765,1 km²).

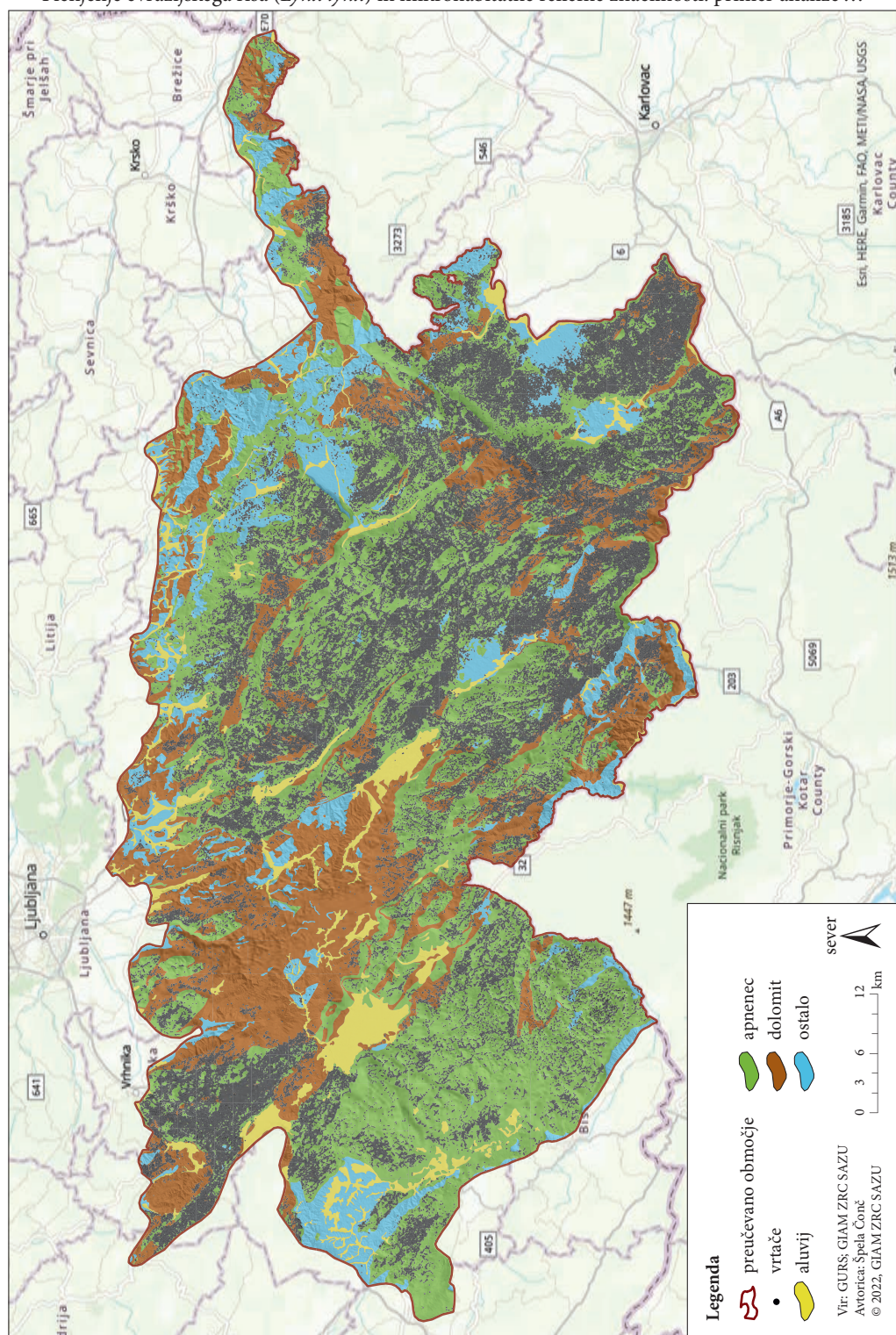
Na preučevanem območju smo našli 202 lokaciji risovih uplenitev, med katerimi je bilo med teren-skim pregledom za 32,2 % (n = 65) lokacij potrjeno, da se nahajajo v ali neposredni bližini vrtače (slika 2). V primerjavi z vrtačami, ki so bile zaznane z metodo na podlagi navideznega zapolnjevanja DMV, je bilo 67,7 % (n = 44) lokacij neposredno v vrtačah, od tega jih je bilo 41,5 % (n = 27) v vrtačah, ki so ustrezale velikostnemu kriteriju (premer ≥ 10 m in globina ≥ 2 m), 26,2 % (n = 17) pa jih je bilo v vrtačah, ki so bile izločene na podlagi velikostnega kriterija. Z metodo zaznavanja vrtač ni bilo prepoznanih 32,3 % (n = 24) vrtač, čeprav so bile na terenu te lokacije uplenitev opredeljene kot vrtača. Visok delež neprepoznanih vrtač z metodo zaznavanja lahko pripišemo dejstvu, da je bila na terenu zavedena informacija o tem ali se je ostanek plena nahajal v oziroma v bližini vrtače, zato smo za vse lokacije uplenitev izračunali srednjo vrednost s standardnim odklonom oddaljenosti do vrtač. Srednja vrednost s standardnim odklonom oddaljenosti lokacij vseh uplenitev do vrtače je 81,4 ± 392,6 m, tistih lokacij, ki pa so bile na terenu prepoznane kot vrtače, pa je 18,4 ± 195,3 m. V 50-metrskem radiju okoli vseh lokacij uplenitev (n = 202) je 147 vrtač, ki ustrezajo velikostnemu kriteriju, ob upoštevanju tudi tistih vrtač,

Preglednica 1: Najnižje, najvišje, povprečne in srednje vrednosti s standardnim odklonom (SO) nekaterih morfometričnih značilnosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorovja.

| | površina (m ²) | premer (m) | globina (m) |
|-----------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| najnižja vrednost | 78,8 | 10,0 | 2,0 |
| najvišja vrednost | 89.733,3 | 338,0 | 84,6 |
| povprečna vrednost | 1221,1 | 36,7 | 4,3 |
| srednja vrednost ± SO | 895,4 ± 1318,6 | 33,8 ± 14,3 | 3,6 ± 2,6 |

Slika 1: Zemljevid pojavljanja vrtač in kamninska zgradba preučevanega območja. ► (str. 135)

Plenjenje evrazijskega risa (*Lynx lynx*) in mikrohabitatne reliefne značilnosti: primer analize ...



ki smo jih izločili, pa je v okolici lokacij uplenitev 251 vrtač. V radiju 50 m od vrtač je 39,6% ($n = 80$) lokacij uplenitev.

Podrobnejšo analizo morfometričnih in morfoloških značilnosti vrtač (preglednici 2 in 3) smo naredili za tiste vrtače ($n=27$), ki so bile v 15-metrskem radiju od lokacije uplenitve in so ustrezale velikostnemu kriteriju. Glede na povprečne in srednje vrednosti (preglednica 2) so te vrtače po površini nekoliko večje od povprečja in srednjih vrednosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorovja, prav tako sta večja tudi povprečje in srednja vrednost premera in globine (preglednica 1). Srednja vrednost površine vrtače, kjer je ris uplenil svoj plen je $1141,4 \pm 703,2 \text{ m}^2$, ima premer $38,8 \pm 11,3 \text{ m}$ in je globoka $5,2 \pm 1,9 \text{ m}$.

Najnižja nadmorska višina roba vrtače, kjer je ris uplenil svoj plen, je 498,1 m (območje Logaško-begunjskega ravnika), najvišja pa 1082,0 m (območje Snežnika).

Delež okroglastih ali subokroglastih vrtač, kjer je ris uplenil svoj plen, je 40,7 % ($n = 11$), elipsaste oblike pa je 59,3 % ($n = 16$) vrtač. Nobena vrtača, kjer je ris uplenil svoj plen ni subelipsaste ali podolgovate oblike.

Največji delež, 71,2 %, med naklonskimi razredi pobočij v vrtačah, kjer je bil plen, predstavljajo uravnatežena pobočja. S 13,9 % jim sledijo aktivna pobočja in s 13,8 % blaga pobočja. Najmanjši delež predstavljajo ravnine v vrtačah, ki jih je le 1,1 %. Pri razgibanosti površja z 89,9 % prevladuje razred z nizko razgibanostjo, sledi srednja razgibanost z 9,9 %, najmanjši delež, 0,2 %, pa obsegajo območja z visoko razgibanostjo.

Razpon med najnižjimi in najvišjimi vrednostmi vseh morfometričnih značilnosti močno variira (preglednica 3).

4 Razprava

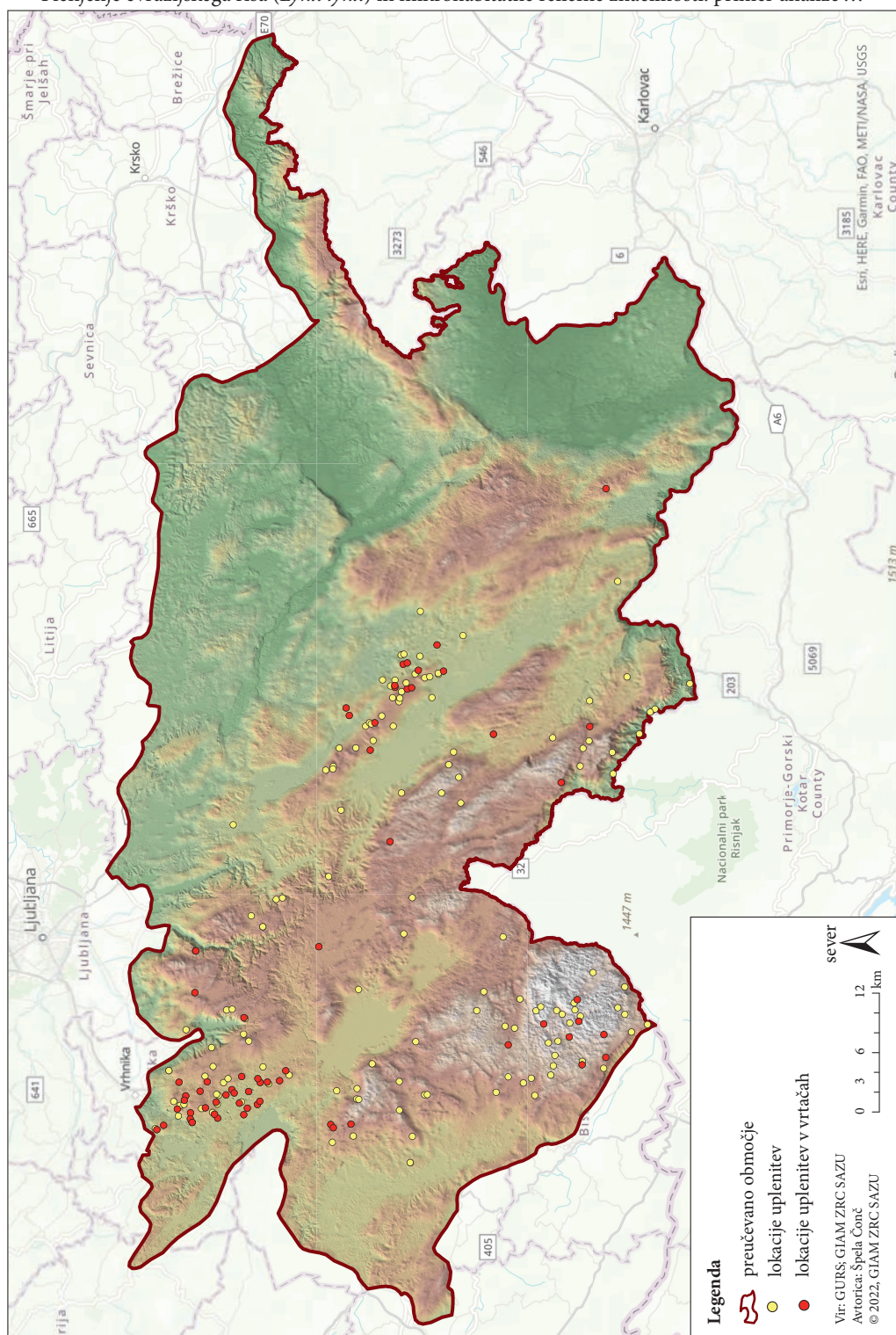
Uporaba metode za zaznavanje vrtač na podlagi LiDAR-DMR nam je omogočila učinkovito prepoznavanje in računanje značilnosti zelo velikega števila (približno 150.000) reliefnih oblik na razgibanem kraškem območju Dinarskega gorovja. To poudarja potencial tovrstne metodologije za obsežne ekološke raziskave, kot je analiza mikrohabitatnih značilnosti prostora, ki ga uporabljajo prostoživeče živali. Kljub temu ima metoda tudi nekaj pomanjkljivosti. Z metodo ni bilo prepoznanih 32,3 % ($n = 24$) vrtač, ki so bile na terenu opredeljene kot vrtača. Visok delež neprepoznanih vrtač lahko pripišemo dejstvu, da je bila na terenu zavedena informacija o tem ali se je plen nahajal v oziroma v bližini vrtače, zato ne moremo z gotovostjo trditi ali gre za neuspešno prepoznavanje ali na terenu napačno zaveden podatek. Čončeva in sodelavci (2022) so namreč ugotovili, da je uspešnost metode pri prepoznavanju vrtač 83,5 %. Problem metode je tudi, da rob vrtače pripiše celicam na tisti nadmorski višini, kjer bi se

Preglednica 2: Povprečne in srednje vrednosti s standardnim odklonom (SO) morfometričnih značilnosti tistih vrtač, ki so bile prepoznane tako z metodo zaznavanja kot tudi s terensko potrditvijo prisotnosti plena v vrtačah.

| | površina (m^2) | obseg (m) | premer (m) | globina (m) | najvišja nadmorska višina (m) | dolžina (m) | širina (m) |
|---------------------------|------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
| povprečje | 1276,7 | 128,4 | 38,8 | 5,2 | 653,9 | 21,7 | 17,4 |
| srednja vrednost \pm SO | $1141,4 \pm 703,2$ | $126,7 \pm 37,7$ | $38,1 \pm 11,3$ | $5,2 \pm 1,9$ | $598,1 \pm 156,3$ | $21,7 \pm 6,7$ | $16,8 \pm 5,0$ |

Slika 2: Zemljevid lokacij uplenitev in lokacij uplenitev v vrtačah. ► (str. 137)

Plenjenje evrazijskega risa (*Lynx lynx*) in mikrohabitatne reliefne značilnosti: primer analize ...



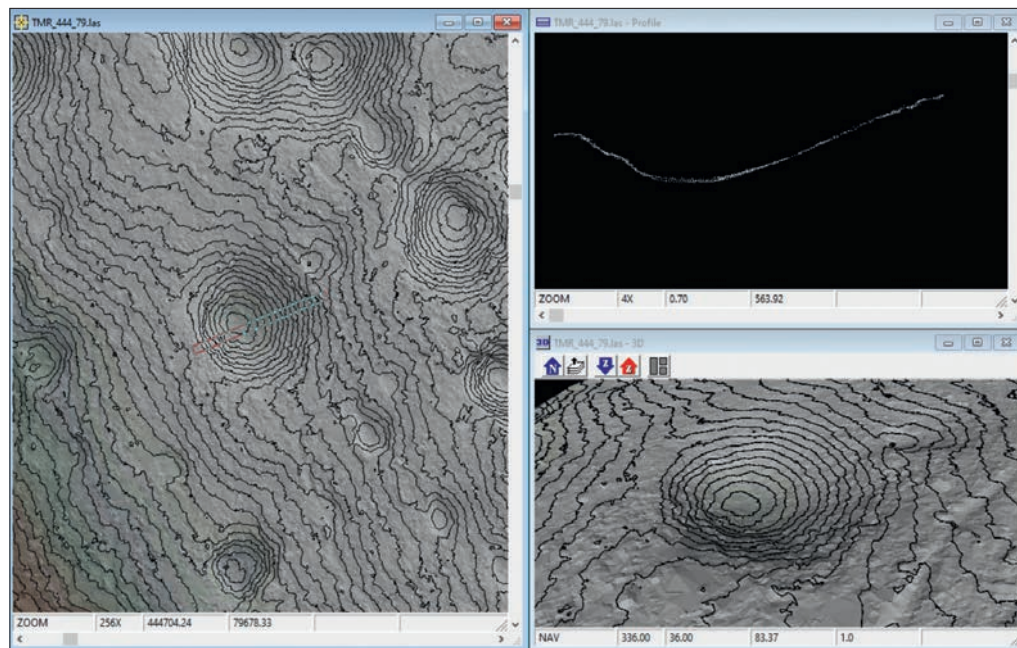
Preglednica 3: Vrednosti morfolometričnih značilnosti tistih vrtač (n = 27), ki so bile prepoznane tako z metodo zaznavanja kot tudi s terensko potrditvijo prisotnosti plena v vrtačah.

| vrtača | površina (m ²) | obseg (m) | premer (m) | globina (m) | najnižja nadmorska višina (m) | najvišja nadmorska višina (m) | podolgovatost | dolžina (m) | širina (m) | najmanjši naklon (°) | največji naklon (°) |
|--------|-------------------------------|--------------|---------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------|---------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | 239,6 | 58,4 | 17,5 | 2,4 | 539,4 | 541,7 | elipsasta | 9,9 | 7,8 | 0,5 | 35,4 |
| 2 | 826,5 | 105,2 | 32,4 | 6,2 | 556,7 | 562,9 | okroglasta ali subokroglasta | 17,7 | 14,9 | 1,2 | 32,2 |
| 3 | 1338,9 | 132,2 | 41,3 | 5,0 | 585,6 | 590,7 | okroglasta ali subokroglasta | 20,9 | 20,4 | 0,3 | 22,6 |
| 4 | 819,7 | 105,6 | 32,3 | 4,5 | 610,5 | 615,0 | elipsasta | 18,4 | 14,2 | 0,0 | 22,0 |
| 5 | 830,7 | 105,8 | 32,5 | 4,1 | 494,0 | 498,1 | elipsasta | 18,5 | 14,4 | 1,7 | 28,2 |
| 6 | 2701,2 | 195,8 | 58,6 | 5,5 | 703,2 | 708,7 | elipsasta | 34,9 | 24,6 | 0,2 | 31,0 |
| 7 | 486,1 | 81,6 | 24,9 | 3,7 | 658,7 | 662,4 | okroglasta ali subokroglasta | 13,3 | 11,6 | 0,4 | 24,5 |
| 8 | 674,3 | 95,7 | 29,3 | 3,6 | 700,7 | 704,4 | okroglasta ali subokroglasta | 15,0 | 14,4 | 2,4 | 34,7 |
| 9 | 1392,6 | 135,3 | 42,1 | 6,1 | 511,8 | 517,9 | okroglasta ali subokroglasta | 21,7 | 20,5 | 1,6 | 29,6 |
| 10 | 2414,0 | 180,3 | 55,4 | 8,2 | 531,4 | 539,6 | elipsasta | 30,9 | 24,9 | 0,9 | 29,0 |
| 11 | 1141,4 | 161,8 | 38,1 | 2,7 | 616,4 | 619,1 | elipsasta | 23,3 | 15,6 | 0,3 | 23,9 |
| 12 | 911,7 | 109,6 | 34,1 | 3,3 | 539,9 | 543,2 | okroglasta ali subokroglasta | 17,2 | 16,8 | 0,3 | 42,6 |
| 13 | 1732,6 | 149,5 | 47,0 | 7,4 | 565,8 | 573,2 | okroglasta ali subokroglasta | 24,7 | 22,4 | 0,1 | 20,4 |
| 14 | 2562,4 | 183,3 | 57,1 | 8,3 | 551,5 | 559,8 | okroglasta ali subokroglasta | 31,0 | 26,4 | 0,3 | 27,5 |
| 15 | 711,8 | 100,0 | 30,1 | 2,7 | 634,9 | 637,7 | elipsasta | 16,9 | 13,4 | 0,1 | 56,3 |
| 16 | 1923,1 | 160,9 | 49,5 | 6,7 | 660,7 | 667,4 | okroglasta ali subokroglasta | 26,4 | 23,2 | 0,1 | 37,8 |
| 17 | 1192,4 | 126,7 | 39,0 | 5,2 | 533,1 | 538,3 | elipsasta | 22,2 | 17,2 | 0,4 | 30,4 |
| 18 | 1426,0 | 141,4 | 42,6 | 4,6 | 545,7 | 550,4 | elipsasta | 25,1 | 18,1 | 0,3 | 24,2 |
| 19 | 1779,3 | 154,2 | 47,6 | 6,9 | 564,5 | 571,4 | elipsasta | 27,5 | 20,6 | 0,1 | 21,7 |
| 20 | 1856,4 | 161,3 | 48,6 | 5,2 | 593,0 | 598,1 | elipsasta | 28,5 | 20,7 | 0,1 | 37,0 |
| 21 | 441,6 | 77,3 | 23,7 | 3,5 | 528,4 | 531,9 | okroglasta ali subokroglasta | 12,7 | 11,2 | 0,2 | 25,0 |
| 22 | 711,7 | 97,0 | 30,1 | 6,1 | 749,9 | 756,0 | okroglasta ali subokroglasta | 15,8 | 14,3 | 0,3 | 21,8 |
| 23 | 480,5 | 86,1 | 24,7 | 3,8 | 952,9 | 956,6 | elipsasta | 15,8 | 9,7 | 0,4 | 31,3 |
| 24 | 2160,9 | 177,0 | 52,5 | 10,3 | 1048,9 | 1059,2 | elipsasta | 30,0 | 22,9 | 0,9 | 29,8 |
| 25 | 2008,9 | 170,5 | 50,6 | 6,5 | 1075,5 | 1082,0 | elipsasta | 31,0 | 20,6 | 0,3 | 37,9 |
| 26 | 580,3 | 87,9 | 27,2 | 3,1 | 788,2 | 791,3 | elipsasta | 15,0 | 12,3 | 0,1 | 30,5 |
| 27 | 1126,5 | 125,4 | 37,9 | 5,5 | 671,7 | 677,3 | elipsasta | 22,2 | 16,2 | 0,2 | 20,4 |

ob teoretičnem zapolnjevanju voda prelila preko roba. Posledično so lahko območja vrtač izpuščena, kar je še posebej vidno pri tistih vrtačah, ki imajo izrazit rob (na primer udorne vrtače). Ta problem je bil prepoznan že prej in je povezan tudi s pomanjkanjem jasnega soglasja v krasoslovni in geomorfološki literaturi o tem, kaj predstavlja rob vrtače, zlasti če je ta na pobočju (Šegina s sodelavci 2018). Dokler se to vprašanje ne razreši, se bo z metodami za avtomatsko ali polavtomatsko zaznavanje težko bolje približati stanju v naravi. Kljub temu se je metoda izkazala za uspešno pri prepoznavanju in računanju morfometričnih ter morfoloških značilnosti, pridobivanju podatkov o gostoti vrtač in njihovi prostorski razporeditvi. Z metodo zaznavanja smo na celotnem območju Dinarskega gorovja prepoznali 151.398 vrtač s povprečno gostoto 33,6 vrtač/km². Gostota in število sovpadata kamninsko zgradbo, saj se vrtače najpogosteje pojavljajo na območju apnencev. Na dolomitu sta število in gostota občutno nižja.

Ugotovili smo, da se je med vsemi najdenimi ostanki parkljarjev, ki so jih uplenili risi ($n = 202$), 32,2 % ($n = 65$) plenov nahajalo v vrtačah ali njihovi neposredni bližini. Že v preteklih raziskavah na območju Dinarskega gorovja so ugotovili, da je 39 % (Krofel, Potočnik in Kos 2007) oziroma 58 % (Čonč s sodelavci 2022) lokacij uplenitev v vrtačah oziroma njihovi bližini. Mogoče je, da enake značilnosti reliefa privlačijo plen zaradi kritja in iskanja hrane, risi pa posledično izbirajo te lokacije zaradi večjih možnosti srečanja s plenom in na takšnih lokacijah plen čakajo v zasedi (Haglund 1966; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Belotti s sodelavci 2013).

Ugotovili smo, da so vrtače, kjer so risi uplenili svoj plen, glede na povprečje in srednje vrednosti površine, globine ter premera nekoliko večje od povprečja in srednjih vrednosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorovja. Večina vrtač ($n = 24$), kjer so risi uplenili plen, ima globino manjšo od 8 m.



Slika 3: Primer ptičje perspektive (levo), prečnega prereza (zgoraj desno) in 3R pogleda (spodaj desno) ene od vrtač, kjer je ris uplenil plen. Na sliki prečnega prereza lahko vidimo, da je na levi strani vrtače pobočje bolj strmo, z manjšim skokom v naklonu, kar lahko kaže na škrapljišče, manjšo steno oziroma prisotnosti večjih kamnitih blokov. Neenakomeren, razgiban teren lahko negativno vpliva na plen pri razvoju najvišje hitrosti pri pobegu in pozitivno na risa, saj na takšnem terenu lahko izkoristi svojo agilnost in plen lažje naskoči.

Predvidevamo, da risi za plenjenje raje izbirajo plitvejshe vrtače (do 10 m), saj lahko globina vrtače vpliva na uspešen naskok plena. V številnih vrtačah so izoblikovana tudi škrapljišča in manjše stene, kar vpliva na njihov naklon in razgibanost površja. Naklon vrtač lahko vpliva na to, da plen na takšnem terenu ne uspe razviti najvišje hitrosti, ris pa izkoristi svojo agilnost (Krofel, Potočnik in Kos 2007).

Pri analiziranju mikrohabitatnih reliefnih značilnosti lokacij uplenitve si lahko pomagamo tudi z različnimi 2R ali 3R vizualizacijami DMV. Eno takšnih programskih orodij je *Fugro Viewer 3.4*, ki omogoča izdelavo prereзов in 3R pogledov. Pregledovalniki DMV nam lahko dodatno pomagajo pri interpretaciji morfoloških značilnosti vrtač. Pozimi se na dnu vrtač nabira sneg, kar še dodatno upočasni plen. Ris plena ne preganja dlje od 20–50 m (Skrbinšek in Potočnik 2005), zato lahko na uspešnost lova vpliva tudi število vrtač v okolici lokacije uplenitve.

Poleg mikrohabitatnih značilnosti na lovni uspeh vpliva tudi razpoložljivost plena. Pretekle raziskave o lovni uspešnosti na Švedskem (Haglund 1966) kažejo, da je lovna uspešnost na srnjad 65 %. Lovna uspešnost pri manjšem plenu je med 29 % (zajci) in 35 % (ptice). Na območju Dinarskega gorovja nimamo podatkov o lovni uspešnosti, vendar lahko glede na prehranske analize sklepamo, da ris tudi v Sloveniji raje pleni večji plen (Krofel, Huber in Kos 2011), kar mu omogoča največje ugodnosti glede na energetsko porabo, vloženo pri plenjenju. Pretekle raziskave iz Nemčije dodatno nakazujejo na to, da ris izbira plen glede na velikost, medtem ko vedenje plena vpliva na pogostost srečanja z risom in na uspešnost pri zalezovanju (Haglund 1966; Krofel s sodelavci 2011; Heurich s sodelavci 2016). Za celostno razumevanje plenjenja (izbire plena, zalezovanja, uplenitve) in lovne uspešnosti bi potrebovali natančne podatke o razpoložljivosti plena ter podatke o neuspešnih poskusih plenjenja (Haglund 1966; Heurich s sodelavci 2016), kar pa za naše raziskovalno območje ni na voljo. Zaradi pomanjkanja podatkov o lovni uspešnosti je tudi težko trditi, da vrtače vplivajo na večji lovni uspeh. Pri interpretaciji rezultatov moramo upoštevati, da je za nekatere dele preučevanega območja značilna zelo visoka gostota vrtač (ponekod preko 45 vrtač/km²), kar bi lahko zmanjšalo njihovo privlačnost za rise glede na razpoložljivost. V prihodnje bi bilo zato zanimivo ločeno obravnavati lokacije uplenitev glede na ozemlje posameznih risov, kjer so ponekod gostote vrtač manjše, da bi preizkusili potencialni funkcionalni odziv (tj. razlike v izbiri habitata kot funkcija razpoložljivosti habitata) (Mysterud in Ims 1998).

Pretekle raziskave kažejo, da rise privlači razgiban relief, kamnito površje in izrazitejše reliefne oblike, na primer za počitek, markiranje in plenjenje (Krofel 2010; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Allen s sodelavci 2017; Signer s sodelavci 2019; Hočevar, Oliveira in Krofel 2021), vendar je pomanjkanje rezultatov podrobnih GIS analiz in slojev na večjih območjih preprečevalo naprednejše študije. Količina podatkov je bila pogosto omejena z logističnimi in stroškovnimi omejitvami za izvajanje terenskega dela.

Naša študija dokazuje prednost združevanja daljinskega zaznavanja, orodij GIS, metod za zaznavanje reliefnih oblik, računanje reliefnih značilnosti s podatki lokacij o prisotnosti vrst za raziskave mikrohabitatnih značilnosti pri prostoživečih živalih. Poleg preučevanja mikrohabitatnih reliefnih značilnosti pa so LiDAR podatki primerni tudi za ugotavljanje vpliva mikrovegetacijskih značilnosti (Lone s sodelavci 2014). Ugotovitve izboljšujejo naše razumevanje značilnosti risovega mikrohabitata in njihove ekologije s poudarkom na plenjenju. Rezultati lahko prispevajo k izboljšanju upravljanja in ohranjanja vrste, na primer pri izvajanju monitoringa. Vrtače in robovi vrtač bi bili lahko še posebej primerni za nameščanje fotopasti pri ocenjevanju gostote populacije ali pasti za odlov risov za namen telemetrije (Fležar s sodelavci 2022).

5 Sklep

Metoda za zaznavanje vrtač, ki temelji na omejevanju kotanj na podlagi navideznega zapolnjevanja DMV, je primerna za prepoznavanje, splošne prostorske analize ter izračun morfometričnih in morfoloških lastnosti vrtač. Postopek je delno avtomatiziran in omogoča preprosto uporabo na drugih

območjih. Metoda ima več prednosti pred ročnim kartiranjem, zlasti če upoštevamo časovne napore in stroške terenskega dela. Še posebej pa je uporabna na obsežnih, z rastlinstvom poraslih, težko prehodnih in dostopnih območjih. Kljub težavam pri določevanju roba vrtač menimo, da ima metoda precejšen potencial za uporabo v obsežnih analizah na številnih področjih geomorfologije in krasoslovja, vključno z geologijo, botaniko, zoologijo, turizmom, prostorskim načrtovanjem, ohranjanjem narave, ustvarjanjem novih geoparkov ter razvojem nacionalnih ali lokalnih akcijskih načrtov za varstvo geodiverzitete. Naš primer o analizi mikrohabitatnih značilnosti na primeru vrtač kot lokacij uplenitve parkljarjev pri risu dokazuje takšno potencialno uporabnost. Rezultati kažejo, da risi pogosto ujamejo svoj plen znotraj vrtač ali v njihovi bližini, kar kaže, da je poznavanje mikrohabitatnih reliefnih značilnosti pomembno za boljše poznavanje rabe habitata in ekologije risov.

ZAHVALA: Študija je bila finančno podprta s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (raziskovalni program Geografija Slovenije (P6-0101), raziskovalni program Gozd, gozdarstvo in obnovljivi gozdni viri (P4-0059), financiranje mlade raziskovalke (MR-54767) ter raziskovalni projekt InterMuc (N1-0163)), Evropske komisije (projekt LIFE Lynx LIFE16NAT/SL/000634), Evropske unije (Program pobude skupnosti Sosedskega programa Slovenija–Madžarska–Hrvaška 2004–2006, projekt INTERREG IIIA DinaRis) ter Portugalske fundacije za znanost in tehnologijo (SFRH/BD/144110/2019). Za pomoč pri terenskem delu se zahvaljujemo mnogim študentom in sodelavcem Univerze v Ljubljani ter Zavoda za gozdove, veterinarjem in upravljavcem lovišč.

6 Viri in literatura

- Allen, M. L., Hočevar, L., de Groot, M., Krofel, M. 2017: Where to leave a message? The selection and adaptive significance of scent-marking sites for Eurasian Lynx. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-017-2366-5>
- 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>
- Belotti, E., Červený, J., Šustr, P., Kreisinger, J., Gaibani, G., Bufka, L. 2013: Foraging sites of Eurasian lynx *Lynx Lynx*: Relative importance of microhabitat and prey occurrence. *Wildlife Biology* 19-2. DOI: <https://doi.org/10.2981/12-077>
- Breg Valjavec, M., Ciglič, R., Oštir, K., Ribeiro, D. 2018: Modelling habitats in karst landscape by integrating remote sensing and topography data. *Open Geosciences* 10-1. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0011>
- Čonč, Š., Oliveira, T., Portas, R., Černe, R., Breg Valjavec, M., Krofel, M. 2022: Dolines and cats: Remote detection of karst depressions and their application to study wild felid ecology. *Remote Sensing* 14-3. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14030656>
- Davis, B. A., Asner, P. G. 2014: Advances in animal ecology from 3d-LiDAR ecosystem mapping. *Trends in Ecology and Evolution* 29-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.005>
- Doctor, D., Young, J. 2013: An evaluation of automated GIS tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter lidar-derived digital elevation data. *Proceedings of the Thirteenth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*. Carlsbad. DOI: <https://doi.org/10.5038/9780979542275.1156>
- Ekološko pomembna območja. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2022. Medmrežje: https://podatki.gov.si/dataset/ekolosko-pomembna-obmocja?resource_id=9f4efa8a-7ec6-45ca-b6ec-3b98cd04c2db (16. 2. 2022).
- Farhadinia, M. S., Heit, D. R., Montgomery, R. A., Johnson, P. J., Hobeali, K., Hunter, L. T., Macdonald, D. W. 2019: Vertical relief facilitates spatial segregation of a high density large carnivore population. *Oikos* 129-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.06724>

- Filla, M., Premier, J., Magg, N., Dupke, C., Khorozyan, I., Waltert, M., Bufka, L., Heurich, M. 2017: Habitat selection by Eurasian Lynx (*Lynx Lynx*) is primarily driven by avoidance of human activity during day and prey availability during night. Ecology and Evolution 7-16. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3204>
- Fležar, U., Hočevar, L., Sindičić, M., Gomerčić, T., Konec, M., Slijepčević, V., Bartol, M., Hočevar, Š., Črtalič, J., Jelenčić, M., Kljun, F., Molinari-Jobin, A., Pičulin, A., Gotar, T., Javornik, J., Portas Perez, R., Potočnik, H., Rot, A., Skrbinšek, T., Topličanec, I., Blašković, S., Molinari, P., Černe, R., Krofel, M. 2022: Surveillance of the reinforcement process of the Dinaric - SE Alpine lynx population in the lynx-monitoring year 2020-2021. Tehnično poročilo, LIFE Lynx. Ljubljana.
- Gams, I. 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana.
- GPS accuracy. Garmin. Medmrežje: <https://support.garmin.com/en-US/?faq=aZc8RezeAb9LjCDpJplTY7> (6. 12. 2021).
- Grlj, A. 2020: Omejevanje kraških kotanj z analizo polrezov. Dela 53. DOI: <https://doi.org/10.4321/dela.53.5-22>
- Grlj, A., Grigillo, D. 2014: Uporaba digitalnega modela višin in satelitskega posnetka RapidEye za zaznavanje kraških kotanj in brezstropih jam Podgorskega krasa. Dela 42. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.42.129-147>
- Haglund, B. 1966: Winter habits of the Lynx (*Lynx lynx* L.) and Wolverine (*Gulo gulo* L.) as revealed by tracking in snow. Viltrevy 4-3.
- Heurich, M., Zeis, K., Küchenhoff, H., Müller, J., Belotti, E., Bufka, L., Woelfing, B. 2016: Selective predation of a stalking predator on ungulate prey. PLoS ONE 11-8. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158449>
- Hočevar, L., Oliveira, T., Krofel, M. 2021: Felid bedrooms with a panoramic view: Selection of resting sites by Eurasian Lynx (*Lynx Lynx*) in a karstic landscape. Behavioral Ecology and Sociobiology 75-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-021-02977-7>
- Hopcraft, J. G. C., Sinclair, A. R. E., Packer, G. 2005: Planning for success: Serengeti lions seek prey accessibility rather than abundance. Journal of Animal Ecology 74-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.00955.x>
- Ironside, K. E., Mattson, D. J., Arundel, T., Theimer, T., Holton, B., Peters, M., Edwards, Jr., C. T., Hansen, J. 2018: Geomorphometry in landscape ecology: Issues of scale, physiography, and application. Environment and Ecology Research 6-5. DOI: <https://doi.org/10.13189/eer.2018.060501>
- Kim, Y. J., Nam, B. H., Youn, H. 2019: Sinkhole detection and characterization using LiDAR-derived DEM with logistic regression. Remote Sensing 11-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11131592>
- Kobal, M., Bertonec, I., Pirrotti, F., Dakskobler, I., Kutnar, L. 2015: Using lidar data to analyse sinkhole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover—case study of a high karst area in the Dinaric Mountains. PLoS ONE 10-3. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122070>
- Krofel, M. 2010: Winter observations of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) inspecting karst caves and dolines in the Northern Dinaric Mountains, Slovenia. Natura Sloveniae 12-2.
- Krofel, M., Huber, D., Kos, I. 2011: Diet of Eurasian lynx *Lynx lynx* in the northern Dinaric Mountains (Slovenia and Croatia). Acta Theriologica 56-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13364-011-0032-2>
- Krofel, M., Potočnik, H., Kos, I. 2007: Topographical and vegetational characteristics of lynx kill sites in Slovenian Dinaric mountains. Natura Sloveniae 9-1.
- Krofel, M., Potočnik, H., Skrbinšek, T., Kos, I. 2006: Spremljanje gibanja in predacije risa (*Lynx lynx*) na območju Menišije in Logaške planote. Veterinarske novice 32-1.
- Krofel, M., Skrbinšek, T., Kos, I. 2013: Use of GPS location clusters analysis to study predation, feeding, and maternal behavior of the Eurasian Lynx. Ecological Research 28-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-012-1005-x>
- LiDAR. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2015. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (1. 2. 2022).

- Lone, K., Loe, L. E., Gobakken, T., Linell, J. D. C., Odden, J., Remmen, J., Mysterud, A. 2014: Living and dying in a multi-predator landscape of fear: roe deer are squeezed by contrasting pattern of predation risk imposed by lynx and humans. *Oikos* 123-6. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00938.x>
- Mihevc, A., Mihevc, R. 2021: Morphological characteristics and distribution of dolines in Slovenia, a study of a lidar-based doline map of Slovenia. *Acta Carsologica* 50-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v50i1.9462>
- Mysterud, A., Ims, R. A. 1998: Functional responses in habitat use: Availability influences relative use in trade-off situations. *Ecology* 79-4.
- Obu, J. 2011: Prepoznavanje kraških kotanj na podlagi digitalnega modela višin. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Obu, J., Podobnikar, T. 2013: Algorithm for karst depression recognition using digital terrain models. *Geodetski vestnik* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.02.260-270>
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38.
- Podgórski, T., Schmidt, K., Kowalczyk, R., Gulczyńska, A. 2008: Microhabitat selection by Eurasian lynx and its implications for species conservation. *Acta Theriologica* 53-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03194243>
- Premier, J., Kramer-Schadt, S., Fickel, J., Heurich, M. 2021: Effects of fragmentation and connectivity of lynx habitats on population genetics in continental Europe. *CATnews Special Issue* 14.
- Pyke, G. H., Pulliam, H. R., Charnov, E. L. 1977: Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *Quarterly Review of Biology* 52-2.
- Ripari, L., Premier, J., Belotti, E., Bluhm, H., Breitenmoser-Würsten, C., Bufka, L., Červený, J., Drouet-Hoguet, N., Fuxjäger, C., Jędrzejewski, W., Kont, R., Koubek, R., Kowalczyk, R., Krofel, M., Krojerová-Prokešová, J., Molinari-Jobin, A., Okarma, H., Oliveira, T., Remm, J., Schmidt, K., Zimmermann, F., Kramer-Schadt, S., Heurich, M. 2022: Human disturbance is the most limiting factor driving habitat selection of a large carnivore throughout Continental Europe. *Biological Conservation* 266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109446>
- Sappington, J. M., Longshore, K. M., Thompson, D. B. 2007: Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *Journal of Wildlife Management* 71-5. DOI: <https://doi.org/10.2193/2005-723>
- Signer, J., Filla, M., Schoneberg, S., Kneib, T., Bufka, L., Belotti, E., Heurich, M. 2019: Rocks rock: The importance of rock formations as resting sites of the Eurasian lynx *Lynx lynx*. *Wildlife Biology* 1. DOI: <https://doi.org/10.2981/wlb.00489>
- Skrbinšek, T., Potočnik, H. 2005: Morfološke, fiziološke in etološke značilnosti risa. Ris v Sloveniji: Strokovna izhodišča za varstvo in upravljanje. Ljubljana.
- Stepišnik, U. 2010: Udornice v Sloveniji. E-GeograFF 1. Ljubljana.
- Sunquist, M. E., Sunquist, F. C. 1989: Ecological constraints on predation by large felids. *Carnivore Behaviour, Ecology, and Evolution*. New York.
- 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: <https://doi.org/10.3986/ac.v47i1.4941>
- Tarolli, P., Mudd, S. M. 2020: Introduction to remote sensing of geomorphology. *Remote Sensing of Geomorphology*. Amsterdam. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.09992-6>
- Telbisz, T., Látos, T., Deák, M., Székely, B., Koma, Z., Standovár, T. 2016: The advantage of lidar digital terrain models in doline morphometry compared to topographic map based datasets – Aggtelek karst (Hungary) as an example. *Acta Carsologica* 45-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v45i1.4138>
- Triglav Čekada, M. 2011: Možnost uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfološke študije. *Geografski vestnik* 83-2.
- Triglav Čekada, M., Bric V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetski vestnik* 59-3.

- Verbovšek, T., Gabor, L. 2019: Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences* 78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8398-6>
- Walton, Z., Mattisson, J., Linell, J. D. C., Stien, A., Odden, J. 2016: The cost of migratory prey: seasonal changes in semi-domestic reindeer distribution influences breeding success of Eurasian lynx in northern Norway. *Oikos* 126-5. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.03374>
- Wu, Q., Deng, C., Chen, Z. 2016: Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models. *Geomorphology* 266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.006>
- Zimmermann, F., Breitenmoser, U. 2007: Potential distribution and population size of the Eurasian lynx *Lynx lynx* in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology* 13-4. DOI: [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2007\)13\[406:PDAPSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[406:PDAPSO]2.0.CO;2)

FUNKCIONALNE REGIJE SREDNJEŠOLSKEGA IZOBRAŽEVANJA V SLOVENIJI

dr. Urška Drešček

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
urska.drescek@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6450-9821>

Jan Jež

jjez07@gmail.com

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/10.3986/9789610506683_11

UDK: 913(497.4):331.556-057.87

IZVLEČEK

Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji

V prispevku predstavimo funkcionalne regije srednješolske mobilnosti kot območja posplošitve tokov mobilnosti srednješolcev med občinami stalnega prebivališča ter srednješolskega izobraževanja. Modeliranje regij smo izvedli s pomočjo podatkov srednješolske mobilnosti za šolsko leto 2019/2020 ter po dveh pristopih: z metodo večstopenjskega združevanja CURDS in s hierarhično metodo Intramax. Rezultate modeliranja na treh izbranih prostorskih ravneh smo prikazali grafično, jih primerjali in analizirali. Dodatno smo funkcionalne regije srednješolske mobilnosti primerjali z uveljavljenimi statističnimi regijami in strokovno predlaganimi (makro)regijami v Slovenije. Rezultati kažejo, da je metoda CURDS primerna za modeliranje regij srednješolske mobilnosti na vseh prostorskih ravneh, medtem ko je treba rezultate modeliranja z metodo Intramax kritično obravnavati z drugimi pristopi členjenja prostora na regije.

KLJUČNE BESEDE

funkcionalne regije, CURDS, Intramax, srednješolsko izobraževanje, Slovenija

ABSTRACT

Functional regions of upper secondary education in Slovenia

In this paper, we present functional regions of secondary school mobility as areas of generalisation of secondary school students' mobility flows between municipalities of residence and secondary schools. We model the regions using secondary school mobility data for the 2019/2020 school year and two approaches: a multilevel clustering method, CURDS, and a hierarchical method, Intramax. The modelling results at the three selected spatial levels were plotted, compared and analysed. In addition, the functional regions of secondary school mobility were compared with established statistical and professionally proposed (macro)regions in Slovenia. The results show that the method CURDS is suitable for modelling regions of secondary school mobility at all spatial levels, while the results of the Intramax modelling need to be critically discussed with other approaches spatial disaggregation in regions.

KEY WORDS

functional regions, CURDS, Intramax, upper secondary education, Slovenia

1 Uvod

V prispevku predstavljamo postopek določitve funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (FRSŠM), ki so geografska območja, znotraj katerih živi in se izobražuje večina srednješolsko aktivnega prebivalstva, hkrati pa ta območja homogeno (brez vrzeli in/ali prekrivanja) zapolnijo obravnavano ozemlje. FRSŠM nastanejo z združevanjem osnovnih prostorskih enot (OPE), v našem primeru občin, na temelju tokov srednješolske mobilnosti, v katero uvrščamo tako dnevne vožnje dijakov za potrebe srednješolskega izobraževanja kot tudi dijake, ki med tednom bivajo v dijaških domovih (Jež 2021). Formalno izobraževanje v Sloveniji temelji na treh sklopih: na (i) osnovnošolskem, (ii) srednješolskem in (iii) terciarnem izobraževanju. Osnovnošolsko izobraževanje je v Sloveniji obvezno za vse otroke, srednješolsko izobraževanje pa ne, zato pomeni prvo pomembno odločitev v življenju mladostnikov. Za to stopnjo formalnega izobraževanja so pristojne srednje šole, ki izvajajo eno ali več vrst srednješolskih programov. Srednješolsko izobraževanje se deli na tri vrste (MIZŠ 2021):

- splošno izobraževanje, kamor sem sodijo različni tipi gimnazijskih programov ter maturitetni tečaj in je usmerjeno, da dijaki nadaljujejo z izobraževanjem na univerzah,
- poklicno izobraževanje, katerega namen je pridobitev poklica, ki omogoča dijakom vstop na trg dela, in
- strokovno izobraževanje, kamor uvrščamo programe, v katerih se dijaki izobražujejo na izbranem strokovnem področju za nadaljevanje izobraževanja v programih terciarnega izobraževanja.

Sistem srednješolskega izobraževanja v Sloveniji je centraliziran, saj se odločitve o ustanavljanju, financiranju, spremljanju in prostorski razporeditvi programov sprejemajo na državni ravni. To se kaže tudi v usmeritvah iz Strategije prostorskega razvoja Slovenije, ki določa razporeditev šolskih programov glede na potrebe in razvoj gospodarstva v lokalnem okolju. Pri tem je cilj razvoj policentričnega urbanega sistema z več urbanimi središči, da je v teh na voljo zadostno število delovnih mest in stanovanjskih možnosti, ustrezne dejavnosti socialnega varstva ter izobraževanja za doseganje kakovostnega urbanega življenja (MOP 2004).

Kot navaja Drobne (2016; 2017), se za modeliranje funkcionalnih regij najpogosteje uporablja analiza trga dela, predvsem delovna mobilnost. Če pa upoštevamo še druge tokove v prostoru, lahko bolje razumemo in spremljamo interakcije v prostoru z vidika funkcionalnih regij (FR). V naši raziskavi smo se zato osredotočili na analizo tokov srednješolskega izobraževanja v Sloveniji.

2 Metode dela

V raziskavi funkcionalnih regij srednješolskega izobraževanja v Sloveniji smo uporabili podatke o številu dijakov v šolskem letu 2019/2020, ki so prehajali iz občine stalnega prebivališča v občino izobraževanja, kot jih vodi Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije (MIZŠ 2020). Pri modeliranju regij smo uporabili tudi grafične in opisne podatke občin v Republiki Sloveniji (GURS 2021). Pred postopkom modeliranja smo podatke uredili v ustrezno obliko za nadaljnjo obdelavo, tako da smo opredelili tok med občino izvora ter občino ponora.

Funkcionalne regije srednješolske mobilnosti smo modelirali z dvema metodama, in sicer z metodo CURDS in metodo Intramax.

CURDS je večstopenjska metoda združevanja OPE v FR. Ime je dobila po Središču za urbane in regionalne razvojne študije (angl. *Centre for Urban and Regional Development Studies*, CURDS), Univerze v Newcastleu, kjer so Coombes, Green in Openshaw (1986) to metodo razvili za spremljanje območij delovne mobilnosti. Kasneje je bila metoda CURDS večkrat nadgrajena. V naši študiji smo uporabili tretjo različico algoritma CURDS, kot sta jo predstavila Coombes in Bond (2008). Modeliranje FR z metodo CURDS smo izvedli v programskem okolju RStudio, z uporabo knjižnice *LabourMarketAreas*. Iterativni postopek uporabe metode CURDS, kot smo ga izvedli v naši raziskavi, je podrobneje predstavljen v prispevkih avtorjev Drobne, Borovnik in Lakner (2016) ter Drobne (2020).

V postopku modeliranja FR po metodi CURDS, so le-te pretežno opredeljene s samozadostnostjo regije. Pri tem ločimo samozadostnost na strani ponudbe (angl. supply-side self-containment, SSSC) in samozadostnost na strani povpraševanja (angl. demand-side self-containment, DSSC):

$$SSSC = \frac{RW_i}{W_i} \dots \text{samozadostno na strani ponudbe oz. obseg možnosti šolanja v lokalnem okolju,} \quad (1)$$

$$DSSC = \frac{RW_i}{W_i} \dots \text{samozadostno na strani povpraševanja oz. obseg možnosti bivanja dijakov v FR.} \quad (2)$$

V izračunu obeh vrednosti samozadostnosti upoštevamo tok srednješolske mobilnosti iz OPE/FR h v OPE/FR k oziroma vrednost f_{hk} je število dijakov, ki živijo v izvoru h in se šolajo v ponoru k , kar pomeni:

$$R_i = \sum_k f_i \dots \text{število dijakov, ki živijo v FRŠM } i \quad (3)$$

$$W_i = \sum_h f_{ih} \dots \text{število dijakov, ki se šolajo v FRŠM } i \quad (4)$$

$$RW_i = f_{ii} \dots \text{število dijakov, ki živijo in se šolajo v FRŠM } i \quad (5)$$

Pred izvedbo iterativnega postopka metode CURDS moramo opredeliti štiri parametre, s katerimi modeliramo FR, in sicer minimalno število dijakov v FR ($minWP$), ciljno število dijakov v FR ($tarWP$), minimalno samozadostnost FR ($minSC$) in ciljno samozadostnost FR ($tarSC$); pri tem obravnavamo samozadostnost kot manjšo od obeh obravnavanih samozadostnosti:

$$SC = \min(SSSC, DSSC) \quad (6)$$

Algoritem postopoma združuje OPE, v našem primeru občine, v FR, pri čemer vsako OPE obravnava kot FR. Pri združevanju preverja veljavnost FR glede na podane parametre ($minWP$, $tarWP$, $minSC$, $tarSC$), ki določajo kriterijsko funkcijo f_v :

$$f_v(WP, SC) = \left(1 - \left(1 - \frac{minSC}{tarSC}\right) \max\left(\frac{tarWP - WP}{tarWP - minWP}, 0\right)\right) \frac{\min(SC, tarSC)}{tarSC} \quad (7)$$

Skupina OPE postane FR, če velja:

$$f_v(WP, SC) \geq \frac{minSC}{tarSC} \quad (8)$$

Ta pogoj se preveri po vsakem koraku združevanja, saj algoritem postopoma združuje OPE/FR, med katerimi obstaja najmočnejša vez L_{hk} , ki je opredeljena s tokovi srednješolske mobilnosti:

$$L_{hk} = \frac{f_{hk}^2}{R_h W_k} + \frac{f_{kh}^2}{R_k W_h} \quad (9)$$

kjer je f_{hk} število dijakov, ki prebivajo v OPE/FR h in se šolajo v OPE/FR k , f_{kh} število dijakov, ki prebivajo v OPE/FR k ter se šolajo v OPE/FR h , R_h število dijakov v OPE/FR h in W_k število šolskih mest v izobraževalnih ustanovah v OPE/FR k .

Z algoritmom CURDS smo torej sproti, v postopku združevanja občin v FRŠM, preverjali veljavnost regij. Posamezno občino smo dodelili FR le v primeru, če se je s tem izboljšal pogoj veljavnosti regije. V nasprotnem primeru je bila občina uvrščena na rezervni seznam. Na rezervni seznam so uvrščene tudi vse občine edinke.

Algoritem CURDS je izvajal postopek združevanja in razdruževanja, dokler ni bil izpolnjen pogoj veljavnosti za vse FRSSM. V tem postopku smo preverjali tudi pogoj sosedstva, to pomeni, da smo v FRSSM združevali le sosednje občine.

Zaradi omejitev metode CURDS, ki ni dajala rezultatov ob uporabi osnovnih podatkov z zelo velikim številom praznih tokov, smo podatke o jakosti tokov med občinami dopolnili na način, da smo vrednosti 0 nadomestili z 1 ter vrednosti večje od 0 pomnožili s 100. Tovrstna sprememba ni bistveno vplivala na razmerje v vrednostih podatkov (manjše-večje) ter na kriterije izražene v relativnih vrednostih (SSSC, DSSC), hkrati pa je omogočila uporabo metode CURDS za modeliranje FRSSM.

FRSSM smo modelirali tudi z metodo Intramax. Ta metoda predstavlja hierarhični postopek razvrščanja OPE v skupine oz. FR. Metodo sta razvila Masser in Brown (1975; 1977), da bi preučila strukturo tokov z uporabo kvadratne matrike. To matriko sestavljajo tokovi interakcij znotraj in med OPE. Cilj metode je v postopku združevanja OPE maksimirati delež interakcij, ki oblikujejo diagonalne elemente matrike, kar zmanjša delež čezmejnih tokov v celotnem sistemu (Masser in Brown 1975). Za modeliranje FRSSM z metodo Intramax smo uporabili programsko kodo v okolju za tehnično računanje Wolfram Mathematica 12.0 (Drobne 2016; Drobne in Lakner 2016). Algoritem uporabe metode je podrobno predstavljen v prispevku avtorja Drobne (2016; 2020). V posameznem koraku postopka hierarhičnega združevanja občin v regije smo združili dve občini, katerih relativna interakcija je imela najvišjo vrednost ciljne funkcije:

$$Z_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_{ji}} + \frac{f_{ji}}{f_{ji}}, \quad \max_{i \neq j} Z_{ij} \quad (10)$$

kjer f_{ij} predstavlja dejanski obseg mobilnosti dijakov med dvema občinama, f_{ij}^* predstavlja pričakovani obseg mobilnosti dijakov, ki je izračunan na podlagi vsote vsote i -te vrstice (o_i), vsote j -tega stolpca (d_j) in skupnega obsega vseh tokov opazovanih tokov na obravnavnem časovnem intervalu f :

$$f_{ij}^* = \frac{o_i d_j}{f} \quad (11)$$

V postopku hierarhičnega združevanja občin so se najprej združile manjše občine z relativno močnimi vezmi (visoke vrednosti f_{ij} v primerjavi z nizkimi vrednostmi f_{ij}^* oziroma z nizkimi o_i in nizkimi d_j). V nadaljnjih korakih so se združile manjše regije v večje regije. Nekatere občine so ostajale dolgo časa samostojne oz. občine edinke; to so bile občine, katerih vez s sosednjimi občinami/regijami ni bila največja v posameznem koraku združevanja. V končnih korakih hierarhičnega združevanja smo združili večje regije z drugimi večjimi regijami.

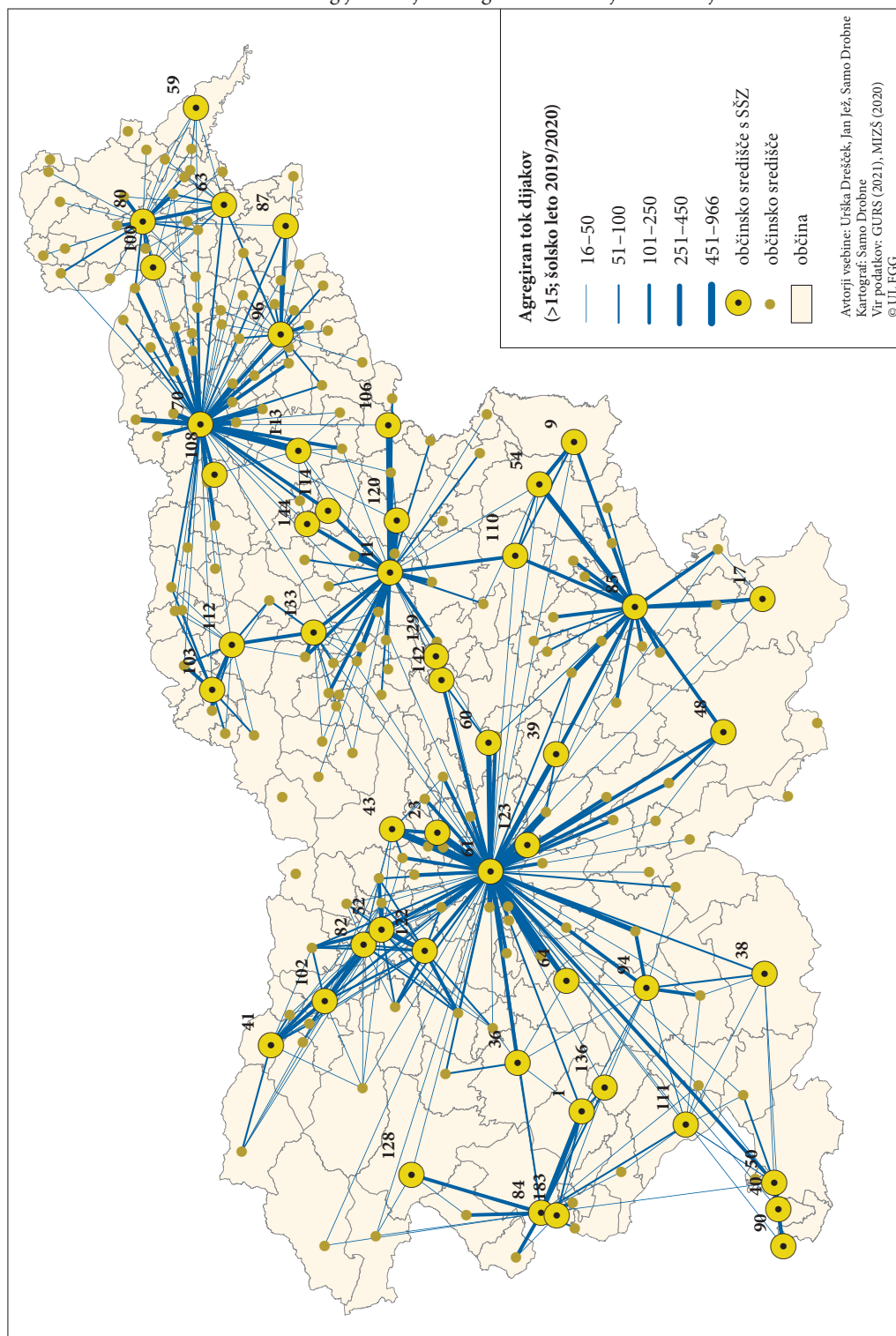
3 Rezultati

Iz podatkov je razvidno (MIZŠ 2020), da je bilo v šolskem letu 2019/2020 v Sloveniji 185 srednješolskih zavodov (SŠZ), nameščenih v 49 občinah. Največ srednješolskih zavodov je v občinah Ljubljani (40 SŠZ) in Maribor (23 SŠZ). Občine, ki imajo vsaj pet SŠZ, so še Celje s štirinajstimi SŠZ, Novo mesto z enajstimi SŠZ, Nova Gorica, Murska Sobota, šest jih ima Kranj, Velenje in Ptuj pa pet SŠZ. V ostalih 40 občinah je nameščenih 69 SŠZ. Slika 1 prikazuje (dnevne ali tedenske) interakcije srednješolske mobilnosti med občinami Slovenije v šolskem letu 2019/2020; zaradi boljše preglednosti so prikazane samo interakcije med občinami s skupnim številom večjim od 15 dijakov).

V nadaljevanju predstavljamo rezultate posploševanja tokov srednješolske mobilnosti (SSM) v Sloveniji v šolskem letu 2019/2020. Tokove dnevne in tedenske vožnje med občinami stalnega

Slika 1: Interakcije srednješolske mobilnosti med občinami Slovenije (šolsko leto 2019/2020; opomba: samo interakcije srednješolske mobilnosti > 15). ► (str. 149)

Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji



prebivališča ter srednješolskega izobraževanja smo posploševali z dvema uveljavljenima pristopoma za analizo funkcionalno povezanih regij, tj. z metodama CURDS in Intramax. Zaradi prostorske omejitve predstavljamo v tem prispevku le rezultate za tri izbrane prostorske ravni, to je za raven osmih, dvanajstih in petindvajsetih regij. Ostale rezultate modeliranja in analize funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (FRSSM) na ravneh od dveh do 25-tih regij pa najde zainteresiran bralec v delu avtorja Ježa (2021). FRSSM, ki jih predstavljamo v nadaljevanju, smo dodatno primerjali z osmimi makroregijami, kot jih je predlagal Plut (1999), ter z dvanajstimi statističnimi regijami v Sloveniji. Tovrstno primerjavo smo izvedli v poglavju Razprava.

Na ravni osmih FRSSM uporabljeni metodi generirata delno podobne, toda vseeno različne rezultate (primerjaj karti na slikah 2a in 2b). Obe metodi sta prepoznali FR Maribora (70), Celja (11), Novega mesta (85), Ljubljane (61), Nove Gorice (84) in Kopra (50). Na severovzhodu države je metoda CURDS prepoznala tudi FR Murske Sobote (80) ter posledično manjšo FR Maribora (70), medtem metoda Intramax posplošuje tokove srednješolske mobilnosti zgolj v eno FR, tj. FR Maribora (70). Na območju Koroške regije metoda CURDS generira FR Raven na Koroškem (103), medtem Intramax pripoji to območje k FR Velenja (113). V osrednjem delu Slovenije je metoda CURDS zamejila zelo veliko FR Ljubljane (61), ki vključuje tudi celotno gorenjsko regijo, medtem ko je metoda Intramax v hierarhičnem postopku združevanja občin na severozahodu države generirala FR Kranja (54) ter posledično dosti manjšo FR Ljubljane (61), ki svoj vpliv širi samo na jug države. FR Nove Gorice (84) in Kopra (50) sta podobno zasnovani. Opazna je značilnost FRSSM Kopra (50), ki nakazuje relativno majhen vpliv v notranjost države. V primeru modeliranja FR z metodo CURDS obsega FR Kopra (50) namreč zgolj štiri obalne občine, tj. občine Ankaran (213), Koper (50), Izola (40) in Piran (90), ter občino Hrpelje - Kozina (35). V primeru prepoznavanja FR po metodi Intramax pa je FRSSM Kopra (50) še manjša, saj vključuje samo štiri obalne občine.

Pregled in primerjava dvanajstih FRSSM, modeliranih z obema metodama (glej slike 3a in 3b), najprej izpostavlja veliko razdrobljenost FR, modeliranih z metodo Intramax, v osrednjem delu Slovenije, tj. okoli FR Ljubljane (61), ki je v primeru modeliranja z metodo Intramax zelo majhna, medtem ko je FR Ljubljane (61), modelirana z metodo CURDS, pričakovano velika glede na relativno veliko število srednješolskih središč ter dijakov v Ljubljani. Metoda Intramax členi osrednji prostor države na več FRSSM, na FR Ljubljane (61), Kranja (52), Domžal (23) ter celo na FR Celja (11), Novega mesta (85) in Kočevja (48). Zaradi posebnosti metode Intramax, da v okolici večjega in pomembnega središča Ljubljane (61) »nepričakovano« členi prostor na manjše FR, je pri izbranem številu FR, v ostalih delih države manj FR.

FRSSM, ki jih na ravni dvanajstih FR prepoznata obe metodi, so regije Murske Sobote (80), Maribora (70), Celja (11), Velenja (133), Novega mesta (85), Ljubljane (61), Kranja (54), Nove Gorice (84) ter Kopra (50). Medtem ko so FR zahodno od Ljubljane (61) podobno oblikovane pri obeh metodah, pa so v osrednjem, severnem, južnem in vzhodnem delu države (precej) različne. Metoda CURDS generira FR Ptuja (96), Raven na Koroškem (103) ter Krškega (54), ki jih metoda Intramax ne prepozna. Na drugi strani pa metoda Intramax zamejuje FR Slovenskih Konjic (114) ter že omenjeni FR Domžal (23) in Kočevja (48), ki jih pri členitvi prostora po metodi CURDS ne najdemo.

Podobno kot pri dvanajstih regijah tudi v primeru 25 FR najprej opazimo veliko razdrobljenost regij, modeliranih po metodi Intramax (primerjaj slike 4a in 4b). Močna členjenost je še posebej izrazita v osrednjem delu Slovenije, okoli Mestne občine Ljubljana (61), ter v vzhodnem delu države, kjer metoda generira nekatere zelo razvejane regije; npr. FRSSM Slovenskih Konjic (114), Slovenske Bistrice (113) in Ptuja (96). Še posebej slabo kompaktno zasnovana ter močno členjena je FR Brežic (9), ki oblika FR Novega mesta (85) in se močno zajeda do FR Ljubljane (61). Na tej prostorski ravni generira metoda Intramax torej močno členjene, slabo kompaktne ter po površini precej različne FR. Tako nekatere FR vključujejo relativno veliko število občin, kot je to vidno na primeru FR Kranja (52), Brežic (9), Zagorja ob Savi (142) ter Murske Sobote (80). Na drugi strani metoda Intramax prepozna kar nekaj FR edink, to so regije z zgolj eno občino, kamor spadajo FR Celja (11), Črnomlja (17), Ivančne Gorice (39), Novega mesta (85) in Ruš (108).

25 FR, modeliranih z metodo CURDS, je glede na rezultate modeliranja z metodo Intramax bolj kompaktnih, njihova členjenost je manjša, so bolj primerljive po površini, hkrati pa se skladajo z zaznavanjem členjenosti slovenskega prostora. Prepoznamo lahko členjenost prostora okoli regionalnih središč in nekaterih središč regionalnega pomena, kot so opredeljena v Strategiji prostorskega razvoja Slovenije (MOP 2004). Z izjemo zgolj ene FR edinke, FR Pirana (90), metoda CURDS modelira FRŠŠM z združitvijo dveh ali več občin.

4 Razprava

V tem poglavju razpravljamo o uporabljenih metodah ter rezultatih modeliranja funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (FRŠŠM), izvedemo pa tudi primerjavo FRŠŠM na makro ravni s strokovno utemeljenimi makroregijami (Plut 1999) ter s statističnimi regijami na ravni NUTS 3 v Sloveniji.

Metoda CURDS je na vseh obravnavanih prostorskih ravneh kot največjo FR prepoznala FR Ljubljane (61). To je skladno s podatki, saj se v Mestni občini Ljubljana po podatkih MIZŠ (2020; 2021) izobražuje največ dijakov, hkrati pa je možnost izbire izobraževalnega programa tudi največja. Tako se je v šolskem letu 2019/2020 v občini Ljubljana izobraževalo 19.596 oz. 28 % vseh dijakov v Sloveniji; izobraževali so se v 40 SŠZ, kar predstavlja 22 % vseh SŠZ v Sloveniji. Ugotavljamo, da metoda CURDS generira manj členjene oz. kompaktne FR podobnih velikosti, medtem ko metoda Intramax oblikuje tudi močno členjene FR različnih velikosti. To še posebej velja v okolici večjih ponorov tokov, kot je primer občina Ljubljana (61) na vseh obravnavanih prostorskih ravneh, ali pa občine Maribor (70), Celje (11) in Novo mesto (80) na ravni 25 FRŠŠM. Naši rezultati so skladni z ugotovitvami drugih avtorjev, ki so prav tako ugotavljali veliko razdrobljenost in členjenost FR delovne mobilnosti modeliranih z metodo Intramax okoli večjih metropol (npr. Mitchell in Watts 2010; Landré in Håkansson 2013; Drobne 2020). Ugotavljamo tudi, da metoda CURDS na vseh obravnavanih ravneh smiselno prepozna ter modelira FR okoli večjih in manjših urbanih središč v Sloveniji, kjer so nameščeni SŠZ. Na makro ravni so to predvsem Ljubljana, Maribor, Celje, Koper, Novo mesto, Nova Gorica, Murska Sobota ter Slovenj Gradec oz. Ravne na Koroškem.

Poleg omenjene pomanjkljivosti metode Intramax, da močno členi FR okoli večjih ponorov tokov, pa ima ta metoda še eno posebnost: v postopku hierarhičnega združevanja občin v FR nekatere občine zelo pozno vključi v oblikovane FR. Občine, ki ostajajo same, ne vključene v FR, imenujemo regije edinke. V primeru členitve ozemlja Slovenije na 25 FR, je takšnih kar 5 FR. Na drugi strani je metoda CURDS na tej ravni obravnave FR oblikovala zgolj 1 FR, tj. FR Pirana (90). Poleg regij edink metoda Intramax oblikuje tudi FR z zelo majhnim številom vključenih občin, čeprav gre za pomembna srednješolska središča; takšna primera sta FR Maribora (70) in Ljubljane (61).

Slika 2a: Osem funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (metoda CURDS, šolsko leto 2019/2020) ter makroregije. ► (str. 152)

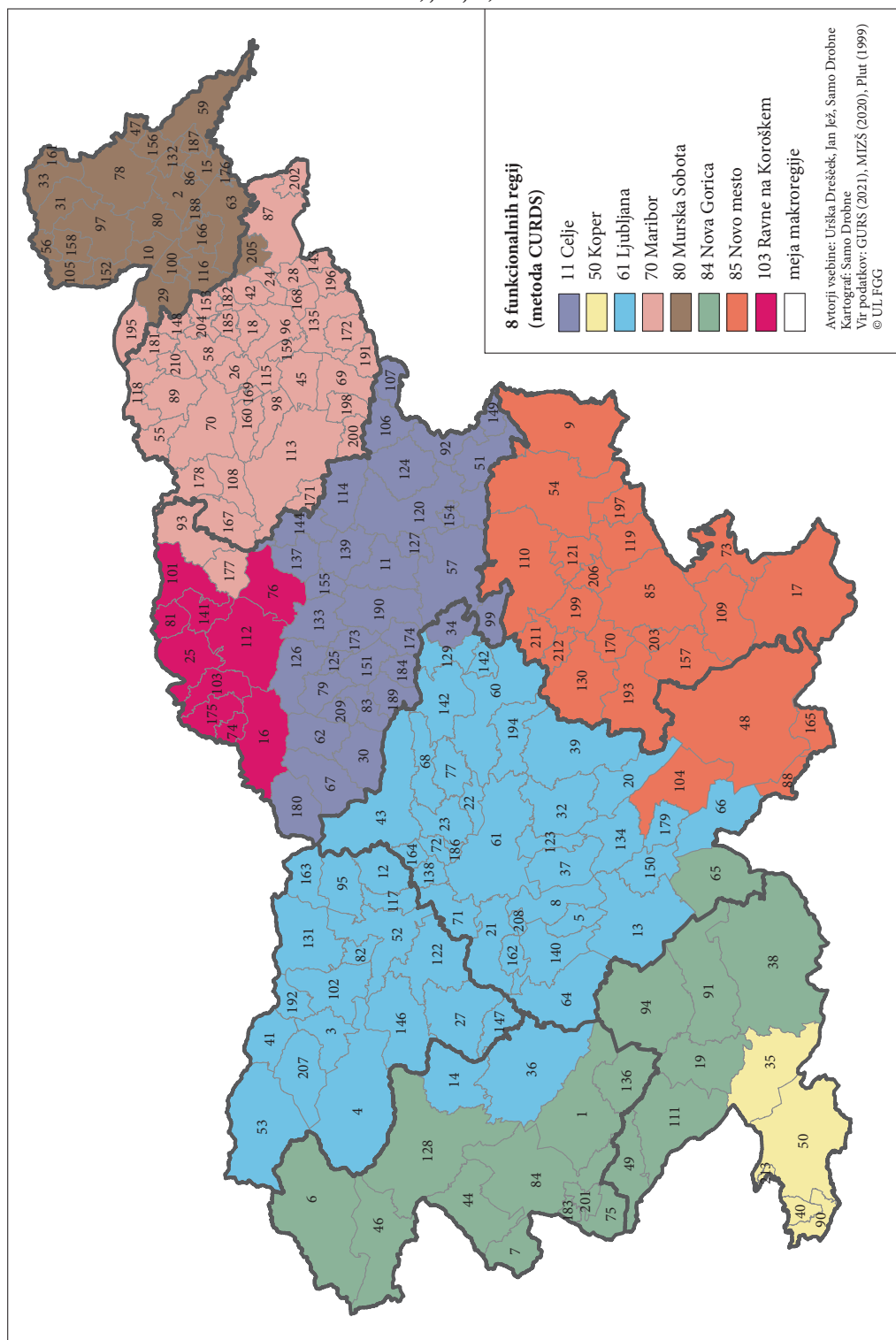
Slika 2b: Osem funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (metoda Intramax, šolsko leto 2019/2020) ter makroregije. ► (str. 153)

Slika 3a: Dvanajst funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (metoda CURDS, šolsko leto 2019/2020) ter statistične regije. ► (str. 154)

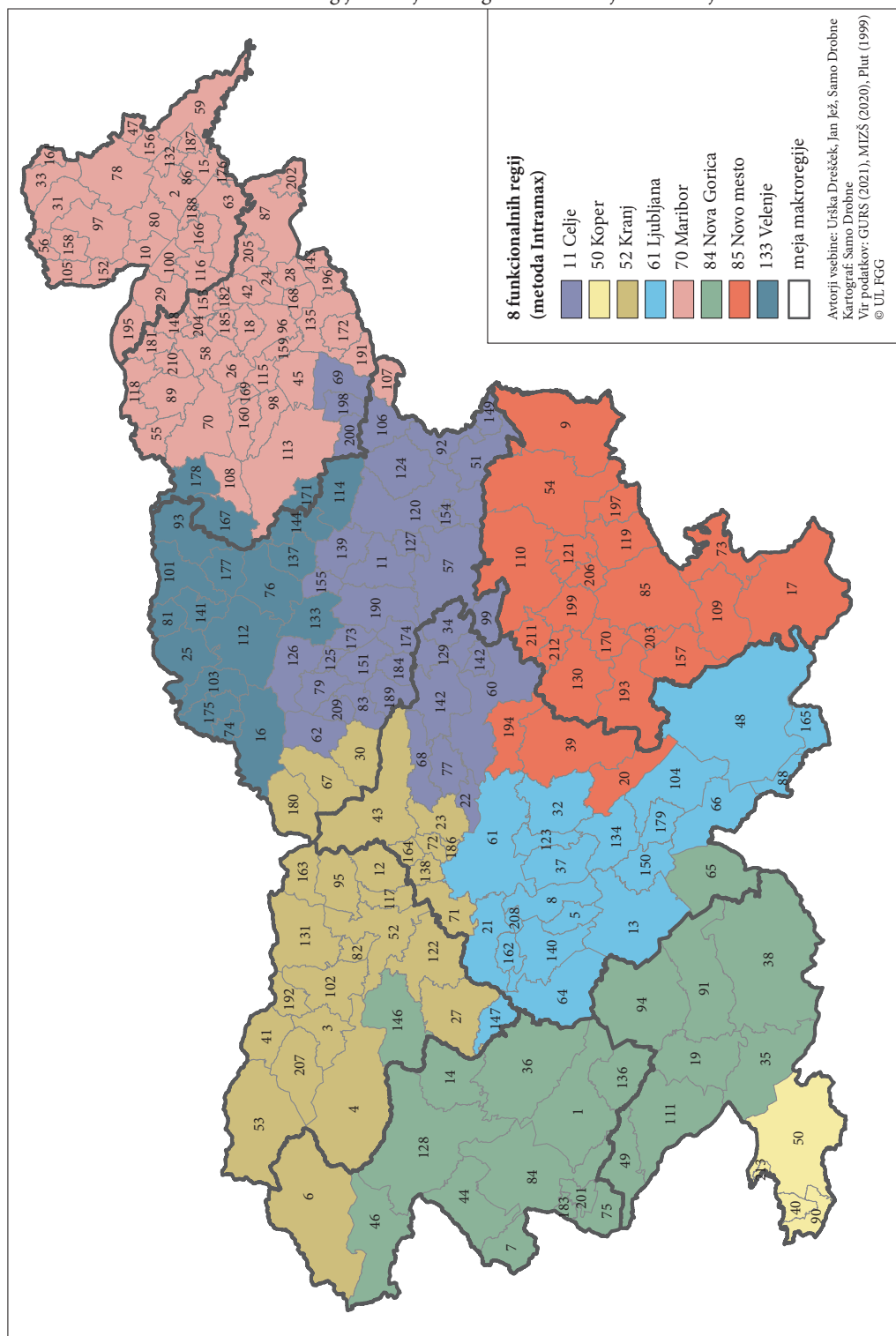
Slika 3b: Dvanajst funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (metoda Intramax, šolsko leto 2019/2020) ter statistične regije. ► (str. 155)

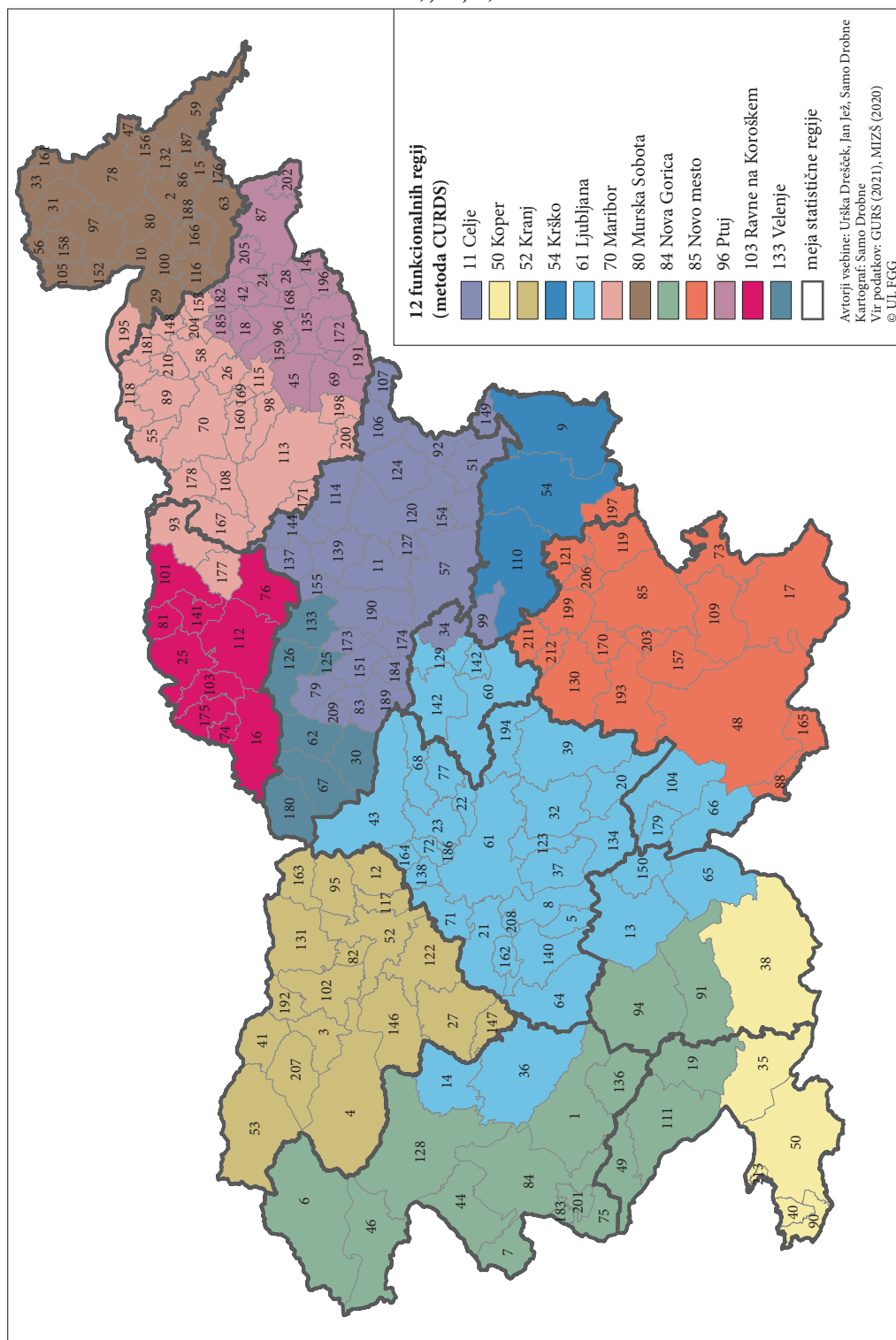
Slika 4a: Petindvajset funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (metoda CURDS, šolsko leto 2019/2020). ► (str. 156)

Slika 4b: Petindvajset funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (metoda Intramax, šolsko leto 2019/2020). ► (str. 157)

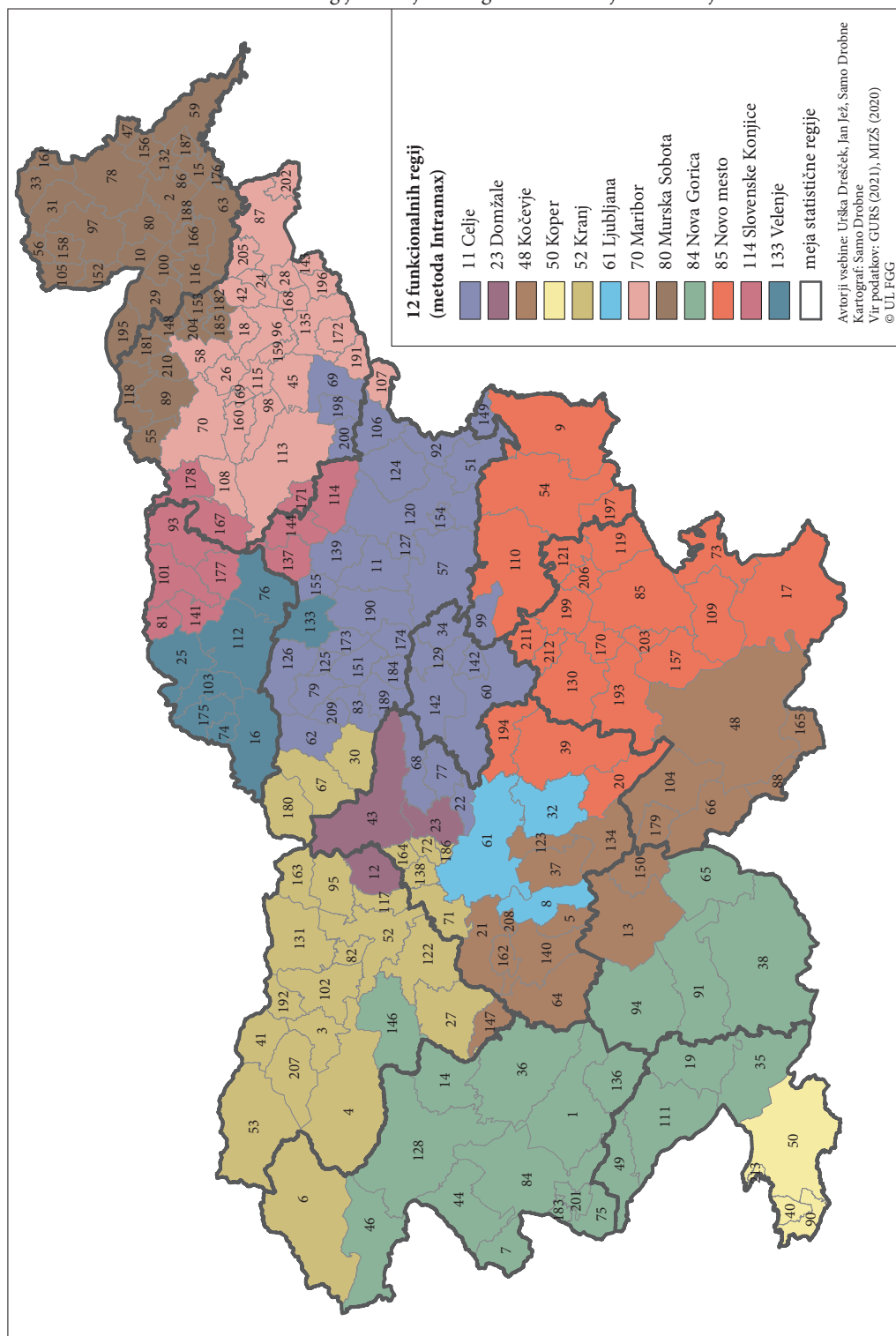


Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji

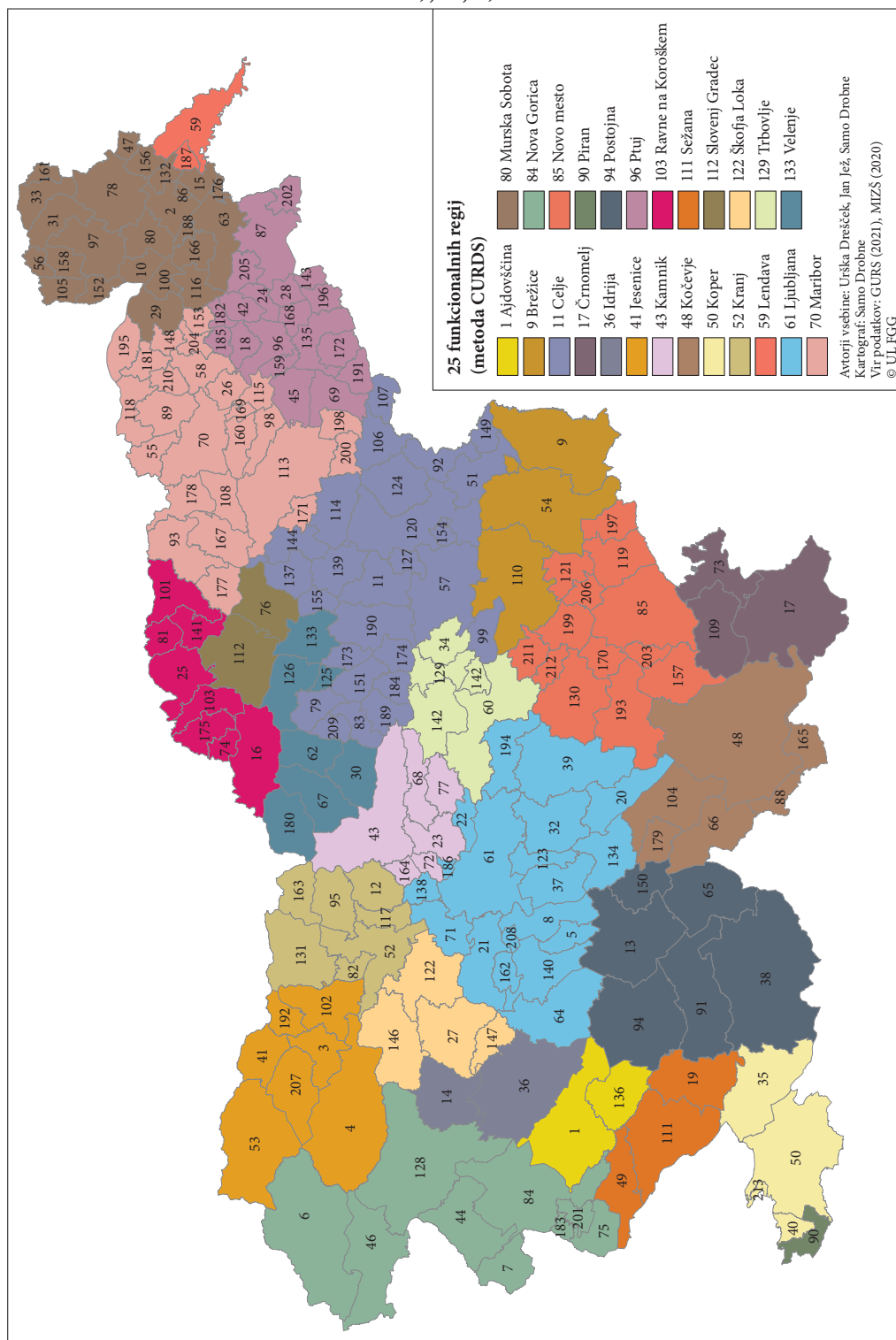




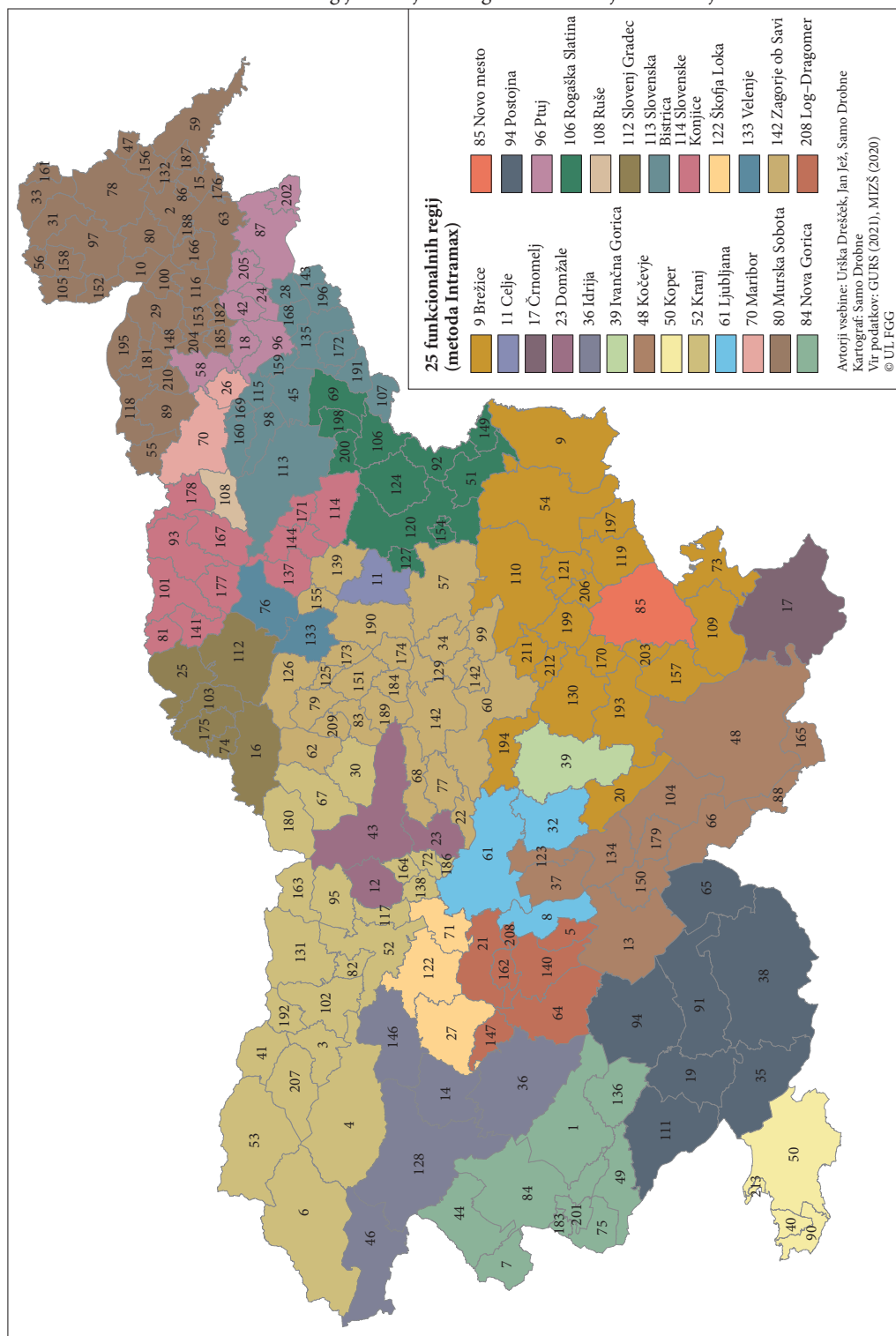
Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji



Urška Drešček, Jan Jež, Samo Drobne



Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji



Rezultate modeliranja osmih FRSSM primerjamo z regionalizacijo Slovenije, kot jo je predlagal Plut (1999; 2004). Avtor je predlagal osem makroregij, ki jih dobimo z upoštevanjem hidro-geografskega kriterija (razdelitev na porečja) in ekonomsko-geografskega kriterija (vplivna območja središčnih naselij). Iz grafičnega prikaza obeh razdelitev lahko vidimo kar nekaj razlik (sliki 2a in 2b). Predlagani členitvi države na makroregije se bolje prilaga osem FRSSM modeliranih z metodo CURDS, kot pa FR, modelirane s hierarhično metodo Intramax. V obeh primerih zaradi dodatne FR Raven na Koroškem (103) oz. Velenja (133), ki ju oblikujeta obe metodi, ena FR prekriva dve makroregiji; v primeru metode CURDS je to FR Ljubljane (61), katere ozemlje sega krepko na severozahod države, v primeru metode Intramax pa je FR Maribora (70), ki pokrije celotno ozemlje severovzhodnega dela Slovenije. Primerjava makroregij in FR na zahodu države izkaže dosti večji vpliv FR Nove Gorice (84) ter dosti manjši vpliv FR Kopra (50), kot sta členjeni ustrezni makroregiji. V primeru FR, modeliranih z metodo CURDS, opazimo največje ujemanje FR Novega mesta (85) in FR Murske Sobote (80) z ustreznimi makroregijami.

Na ravni dvanajstih regij se je v Sloveniji močno uveljavila členjenost države na dvanajst statističnih regij oz. regij na ravni NUTS 3. Podatki na ravni statističnih regij se uporabljajo za podporo regionalnemu razvoju, pri strokovnem načrtovanju in merjenju učinkov regionalne politike ter za družbenogospodarske analize. Primerjava dvanajstih FR in statističnih regij kaže nekaj zanimivih lastnosti. Podobno kot na ravni osmih regij se tudi na ravni dvanajstih regij FR, prepoznane z metodo CURDS, bolje prilagajajo statistični členitvi prostora. Pri tem ena FR regija, tj. FR Kranj (52), popolnoma sovpada z gorenjsko statistično regijo. Zelo dobro ujemanje s statističnimi regijami pa izkazujejo tudi FR Murske Sobote (80), Krškega (54) in Raven na Koroškem (103), pogojno lahko sem štejemo tudi FR Novega mesta (85). Na območju podravske statistične regije sta izoblikovani dve FR, to sta FR Maribora (70) ter Ptuja (96). Presenetljivo pa je, da dve statistični regiji nimata ustreznih FR; to sta Primorsko-notranjska ter zasavska statistična regija. Pri oblikovanju FR so se kot pomembnejši izkazali tokovi dijakov na območju FR Ptuja (96) in Velenja (133).

5 Sklep

V prispevku smo predstavili študijo tokov mobilnosti srednješolcev v Sloveniji v šolskem letu 2019/2020. Na podlagi podatkov o občini bivanja in občini šolanja dijakov smo z metodama CURDS in Intramax analizirali funkcionalne regije na ravneh dveh do 25 regij. Zaradi prostorske omejitve smo v tem prispevku predstavili le tri izbrane ravni; in sicer ravni osmih, dvanajstih ter 25 funkcionalnih regij srednješolske mobilnosti (FRSSM).

Ugotavljamo, da so podatki o mobilnosti dijakov primerni za modeliranje funkcionalnih regij, preko katerih lahko spremljamo družbene tokove mobilnosti prebivalstva. Ugotavljamo tudi, da je metoda CURDS bolj primerna za analizo FR kot metoda Intramax. Metoda CURDS generira bolj kompaktne regije podobnih velikosti na vseh obravnavanih prostorskih ravneh, medtem ko metoda Intramax na številnih prostorskih ravneh oblikuje močno členjene, nekompaktne, različno velike FR, hkrati pa pušča v postopku hierarhičnega združevanja dolgo časa tudi regije edinke (samostojne osnovne prostorske enote). Prednost metode CURDS je tudi v prepoznavanju pomembnejših ponorov tokov na različnih hierarhičnih ravneh in s tem smiselnemu oblikovanju funkcionalnih regij okoli regionalnih in drugih pomembnejših središč.

Primerjava FRSSM s strokovno utemeljenimi osmimi makroregijami (Plut 1999; Plut 2004) ter z uveljavljenimi dvanajstimi statističnimi regijami Slovenije je ponovno potrdila večjo primernost metode CURDS, v primerjavi z metodo Intramax, za analizo funkcionalnih tokov v prostoru. Regije modelirane z metodo CURDS se bolje prilagajajo omenjenima sistemoma osmih oz. dvanajstih regij. Pri tem pa ne gre prezreti dejstva, da dve statistični regiji – primorsko-notranjska ter zasavska statistična regija – nimata na tej prostorski ravni »funkcionalnega odseva« v družbenih tokovih v slovenskem prostoru. To dejstvo je potrdil tudi Drobne (2020) v analizi tokov delovne mobilnosti za Slovenijo.

Funkcionalne regije, določene za tokove srednješolske mobilnosti, lahko skupaj z drugimi vzorci tokov ali odnosov v prostoru, predvsem v povezavi z delovno mobilnostjo, smiselno uporabimo za preučevanje družbenega dogajanja v prostoru. Kot priložnost za nadaljnje raziskave na tem področju vidimo v analizi vrste izobraževanj v povezavi s sestavo funkcionalnih regij ter v podrobnejši analizi območij/regij srednješolske mobilnosti z območji/regijami delovne mobilnosti.

ZAHVALA: Urška Drešček in Samo Drobne se zahvaljujeva Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za sofinanciranje študije iz državnega proračuna v okviru raziskovalnega programa Opazovanje Zemlje in geoinformatika (P2-0406).

6 Viri in literatura

- Coombes, M. G., Bond, S. 2008: Travel-to-Work Areas: the 2007 review. Office for National Statistics, London, Medmrežje: http://www.istat.it/it/files/2014/12/final_TTWA_report.doc (12. 2. 2022).
- Coombes, M. G., Green, A. E., Openshaw, S. 1986: An efficient algorithm to generate official statistical reporting areas: The case of the 1984 travel-to-work-areas revision in Britain. *Journal of the Operational Research Society* 37-10. DOI: <https://doi.org/10.2307/2582282>
- Drobne, S. 2016: Model vrednotenja števila in območij funkcionalnih regij. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Drobne, S. 2017: Funkcionalne regije in območja: Pregled literature po področjih uporabe. *Geodetski vestnik* 61-1. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2017.01.35-57>
- Drobne, S. 2019: Funkcionalne regije kot podlaga za ustanovitev pokrajin v Sloveniji. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana. Medmrežje: <http://www.pokrajine.si/wp-content/uploads/2019/10/DROBNE-2019-10-05-FR-kot-podlaga-za-ustanovitev-pokrajin-v-Sloveniji-1.pdf> (16. 2. 2022)
- Drobne, S. 2020: Kakovost funkcionalne regionalizacije po metodah CURDS in Intramax na makro ravni: študija primera za Slovenijo. *Geodetski vestnik* 64-1. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.13-32>
- Drobne, S., Borovnik, L., Lakner, M. 2016: Lokalna območja delovne mobilnosti v Sloveniji. *Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji* 14. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610501138>
- Drobne, S., Lakner, M. 2016: Use of Constraints in the Hierarchical Aggregation Procedure Intramax. *Business systems research journal* 7-2. DOI: <https://doi.org/10.1515/bsrj-2016-0009>
- GURS 2021: Grafični in atributni podatki občin v Republiki Sloveniji. Geodetska uprava Republike Slovenije. Jež, J. 2021: Funkcionalne regije srednješolskega izobraževanja v Sloveniji. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Koo, H. 2012. Improved hierarchical aggregation methods for functional regionalization in the Seul metropolitan area. *Journal of the Korean Cartographic Association* 12-2.
- Landré, M., Håkansson, J. 2013: Rule versus Interaction function: evaluating regional aggregations of commuting flows in Sweden. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 13-1.
- Masser, I., Brown, P. J. B. 1975: Hierarchical aggregation procedures for interaction data. *Environment and Planning A* 7-5. DOI: <https://doi.org/10.1068/a070509>
- Masser, I., Brown, P. J. B. 1977: Spatial representation and spatial interaction. *Papers of the Regional Science Association* 38-1. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1977.tb00992.x>
- Mitchell, W., Watts, M. 2010: Identifying functional regions in Australia using hierarchical aggregation techniques. *Geographical Research*, 48-1. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2009.00631.x>
- MIZŠ 2021: Splošno srednješolsko izobraževanje. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/splosno-sred-njesolsko-izobrazevanje> (16. 2. 2022)

- MIZŠ 2020: Agregirani podatki o medobčinskih tokovih dijakov v srednješolskem izobraževanju Slovenije v šolskem letu 2019/2020. Interni podatki. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana.
- MOP, 2004: Strategija prostorskega razvoja Slovenije. Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. Ljubljana. Medmrežje: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/0e22a8ed69/sprs_slo.pdf (16. 2. 2022)
- Plut, D. 1999: Zasnova členitve Slovenije na pokrajine s pomočjo trajnostno sonaravnih izhodišč. Pokrajine v Sloveniji. Ljubljana.
- Plut, D. 2004: Zasnova členitve Slovenije na pokrajine s pomočjo trajnostno sonaravnih izhodišč. Pokrajina: druga raven lokalne samouprave. Ljubljana.

APLIKACIJA ZA VODENJE EVIDENCE PROMETNE SIGNALIZACIJE DRŽAVNIH CEST – WEPS

Ajda Katarina Degan

Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji

ajda-katarina.degan@dars.si

Anton Švigelj, Bernarda Zrimšek

Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo

anton.svigelj@gov.si

bernarda.zrimsek@gov.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_12

UDK: 656.1.05:004.9(497.4)

IZVLEČEK

Aplikacija za vodenje evidence prometne signalizacije državnih cest – WEPS

Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo in Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji upravljata in vzdržujeta cestno infrastrukturo na državnih cestah. Del cestne infrastrukture je prometna signalizacija, ki mora biti postavljena tako, da uporabnikom cest zagotovi pomensko pravilno in pravočasno informacijo prometne ureditve ter zagotovi prometno varnost za vse udeležence v prometu.

Na državnih cestah skupne dolžine 6541 km je postavljenih 219.120 prometnih znakov in 235.584 talnih označb. Spreminjanje prometne ureditve in zamenjave prometne signalizacije je dinamično, zato je treba te spremembe dosledno evidentirati. Za ta namen je bila razvita spletna GIS aplikacija za vodenje evidence prometne signalizacije državnih cest – WEPS (Web Evidenca Prometne Signalizacije), ki omogoča uspešno in učinkovito upravljanje s prometno signalizacijo in dogodki, vezanimi na podatke o prometni signalizaciji.

V prispevku predstavljamo delovanja spletne GIS aplikacije WEPS in način evidentiranja ter spremljanja stanja prometne signalizacije na državnih cestah. Z razvojem inteligentnih transportnih sistemov, pametnih cest in avtonomnih vozil je danes ključno, da lahko v vsakem trenutku zagotovimo ažurne podatke prometne signalizacije in jih posredujemo v druge informacijske sisteme, kar z aplikacijo WEPS lahko zagotovimo.

KLJUČNE BESEDE

WEPS, spletna GIS aplikacija, evidenca prometne signalizacije, prometna ureditev, DRSI, DARS

ABSTRACT

Web-based traffic signalisation databank application of traffic signalisation on Slovene national roads – WEPS

The Slovenian Infrastructure Agency and the Motorway Company in the Republic of Slovenia operate and maintain road infrastructure on Slovene national roads network. Part of the road infrastructure is traffic signalisation, which must be set up in a manner providing road users with essential traffic informations to ensure traffic safety.

There are 219,120 traffic signs and 235,584 road markings set up on the Slovene national roads with a total length of 6,541 kilometres. Traffic regulation changes hereby traffic sign replacements are dynamic and must be persistently recorded. Web-based GIS traffic signalisation databank application – WEPS (Web Traffic Signalisation databank) was developed, which enables the successful and effective management of traffic signs, road markings and events related to traffic signalisation database.

The paper represents the web-based GIS databank application WEPS and the method of recording and monitoring the state of condition of traffic signs and road markings on Slovene national roads. The development of intelligent transport systems, smart roads and autonomous vehicles has made it essential providing up-to-date traffic signalisation data at any moment accessible to other information systems, which can be provided with the WEPS application.

KEY WORDS

WEPS, online GIS application, traffic sign records, traffic regulation, DRSI, DARS

1 Uvod

Zakon o cestah iz leta 2010 za načrtovanje, spremljanje stanja, upravljanje, vzdrževanje in statistične namene predpisuje evidenco o javnih cestah kot banko cestnih podatkov (v nadaljevanju BCP), ki obsega opisne, numerične, grafične in druge podatke o javnih cestah in objektih na njih in predstavlja enotno zbirko podatkov.

BCP sestavljajo tehnični podatki o državnih in občinskih cestah ter podatki o objektih in kolesarskih povezavah na njih. Podatki morajo biti izkazani tako, da je razvidna umestitev posameznih sestavnih delov ceste v prostoru.

Zakon o cestah deli državne ceste na štiri glavne kategorije, in sicer na avtoceste, hitre ceste, glavne ceste in regionalne ceste. Avtoceste in hitre ceste v skupni dolžini 616 km (<https://www.gov.si teme/cestna-infrastruktura/>) upravlja in vzdržuje Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (v nadaljevanju DARS). Glavne in regionalne ceste v skupni dolžini 5925 km (<https://www.gov.si teme/cestna-infrastruktura>) pa upravlja in vzdržuje Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo (v nadaljevanju DRSI). Za državne ceste BCP vodi in vzdržuje DRSI, podatke za evidenco o avtocestah in hitrih cestah pa zagotavlja DARS.

Po Pravilniku o prometni signalizaciji in prometni opremi na cestah iz leta 2015 (v nadaljevanju Pravilnik) je del BCP evidenca prometne signalizacije, ki jo sestavljajo prometni znaki za nevarnost, izrecne odredbe, obvestila, dopolnilne table, svetlobni znaki, turistična in druga obvestilna signalizacija ter talne označbe. Zaradi različnega načina vodenja in vzdrževanja prometne signalizacije ločeno obravnavamo vertikalno prometno signalizacijo (prometni znaki) in horizontalno prometno signalizacijo (talne označbe).

Za učinkovito in uspešno upravljanje in vzdrževanje velike količine podatkov in dogodkov, vezanih na prometno signalizacijo na državnih cestah, je DRSI leta 2010 razvila spletno GIS aplikacijo za vodenje evidence prometne signalizacije državnih cest – Web Evidenca Prometne Signalizacije (v nadaljevanju WEPS). Aplikacija WEPS je v lasti DRSI ter jo uporablja za upravljanje in vzdrževanje prometne signalizacije na glavnih in regionalnih cestah. Za upravljanje in vzdrževanje prometne signalizacije na območju avtocest in hitrih cest pa ima DARS aplikacijo WEPS v souporabi. DRSI in DARS evidenco prometne signalizacije vodita vsaka v svoji bazi, vendar je omogočen skupni vpogled v veljavno bazo podatkov. Zaradi varstva osebnih podatkov je aplikacija WEPS namenjena interni uporabi pooblaščenim uporabnikom. Osnovni podatki o prometni signalizaciji se prenašajo v povezljive evidence in spletne GIS pregledovalnike obeh upravljavcev.

Spletna GIS aplikacija WEPS je kakovostna in učinkovita informacijska in prostorska podpora upravljanju in vzdrževanju evidence prometne signalizacije. Z aplikacijo WEPS so digitalizirani delovni procesi planiranja in evidentiranja vseh izvedenih sprememb na terenu. Hkrati se skrajša postopek priprave in izvedbe analiz stanja prometne ureditve, na osnovi katerih se izboljšuje prometna varnost udeležencev v prometu. Aplikacija WEPS je namenjena tudi evidentiranju in analiziranju podatkov meritev svetlobno odbojnih in kromatičnih lastnosti prometne signalizacije, ki se izvajajo v sklopu spremljanja stanja prometne signalizacije na državnih cestah. Na podlagi poizvedb uradnih organov (inšpekcijske službe, Policija, sodišče, zavarovalnice) se podatki iz aplikacije WEPS uporabljajo za dokazovanje stanja prometne ureditve na določen dan.

2 Zasnova spletne GIS aplikacije WEPS

Spletna GIS aplikacija WEPS je bila razvita za vodenje evidence o prometni signalizaciji na državnih cestah. Vodita se evidenci o vertikalni signalizaciji (prometni znaki) in horizontalni signalizaciji (talne označbe). Do aplikacije dostopajo pooblašчени uporabniki z uporabniškim imenom in geslom prek spletnega brskalnika (MS Edge, Google Chrome, Firefox) na osebnih računalnikih ali na mobilnih napravah (tablice in pametni telefoni), ki imajo nameščen operacijski sistem Android.

Pooblašчени uporabniki za dostop in uporabo aplikacije WEPS na svojih računalnikih ali mobilnih napravah z operacijskim sistemom Android ne potrebujejo dodatne strojne ali programske opreme in licenc. Iz preglednice 1 je razvidno število pooblaščenih uporabnikov DRSI in DARS, ki dnevno sodelujejo pri pregledovanju, evidentiranju, analiziranju in urejanju podatkov.

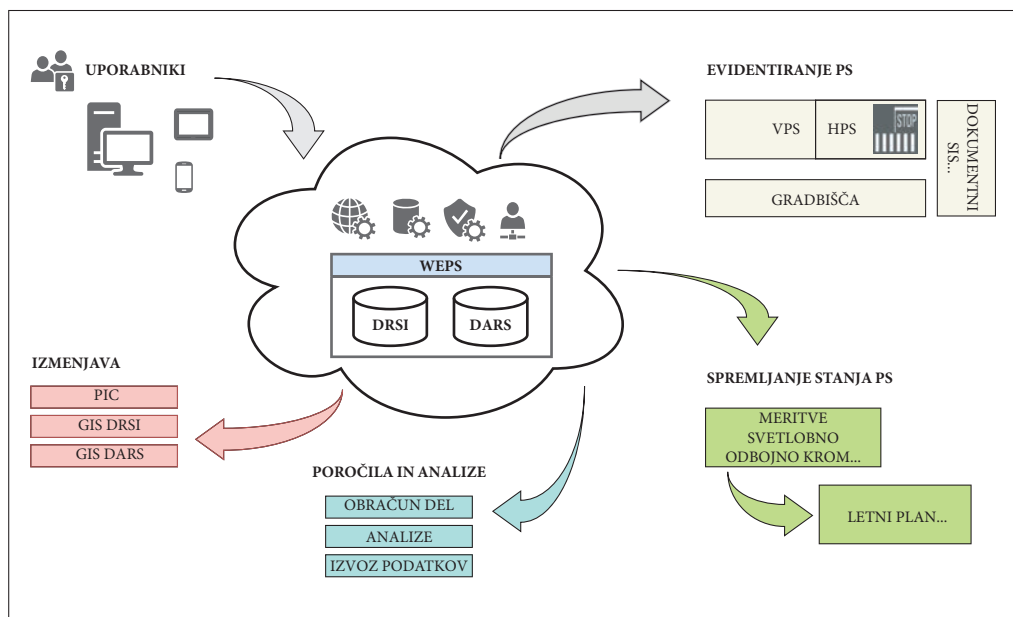
Pooblašчени uporabniki imajo, odvisno od področja dela, omogočen dostop do različnih modulov z različnimi ravni pravic urejanja. Modula za vertikalno in horizontalno signalizacijo sta namenjena vodenju podatkov o prometnih znakih oziroma o talnih označbah. V dokumentnem sistemu se vodi vsi dokumenti, povezani z urejanjem in spreminjanjem prometne ureditve. V modulu Gradbišča administratorji aplikacije WEPS dodeljujejo, urejajo in nadzorujejo pravice usposobljenim popisovalcem do modulov in urejanja podatkov o prometni signalizaciji.

Baza podatkov je centralizirana, dostopna prek medmrežja, kar pooblaščenim uporabnikom v vsakem trenutku omogoča dostop do evidence in s tem vzdrževanja in urejanja podatkov prometne signalizacije ter upravljanja s podatki in izvedbo analiz.

Za učinkovito delovanje aplikacije WEPS je najbolj pomembno nemoteno delovanje informacijskega sistema in administracija podatkovnih baz ter zagotovljena stalna podpora uporabnikom, ki jo zagotavlja razvijalec aplikacije, Ljubljanski urbanistični zavod d.d.

Preglednica 1: Število pooblaščenih uporabnikov aplikacije WEPS.

| tip uporabnika | DRSI | DARS |
|------------------------------|------|------|
| pregledovanje podatkov | 148 | 29 |
| urejanje podatkov | 63 | 37 |
| usposobljeni popisovalci BCP | 56 | 21 |
| Skupaj | 267 | 87 |



Slika 1: Shema zasnov GIS WEPS.

Arhitektura aplikacije WEPS je trinivojska:

- **prezentacijski nivo:** sestavljen je iz uporabniškega vmesnika, ki deluje znotraj najbolj razširjenih spletnih brskalnikov (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge), in temelji na tehnologijah HTML5, CSS3, JavaScript in JSON;
- **nivo poslovne logike:** na tem nivoju je zbrana vsa poslovna logika delovanja, vključno s sistemom za avtentikacijo in avtorizacijo uporabnikov ter komunikacijo s strežnikom prostorskih podatkov (ArcGIS Server);
- **podatkovni nivo:** temelji na relacijski podatkovni bazi Oracle v kateri so shranjeni vsi atributni in prostorski podatki.

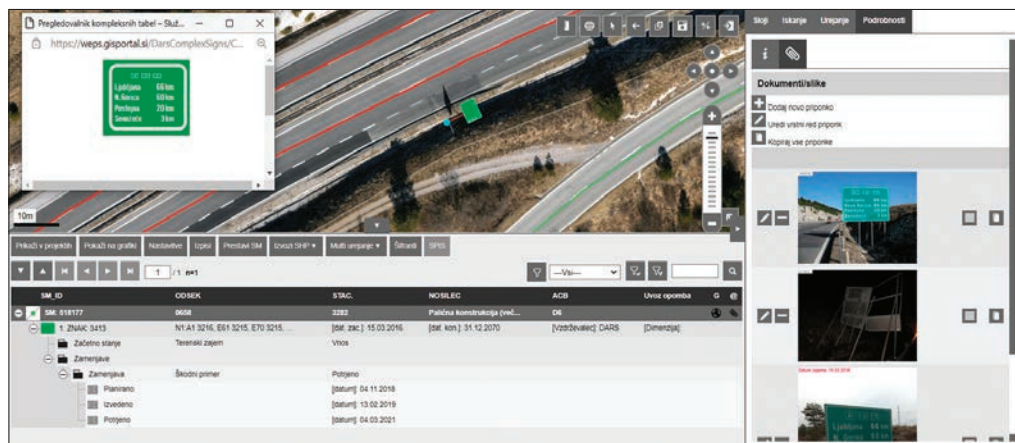
Razvoj aplikacije in implementacija novih funkcionalnosti se izvaja po potrebi glede na zahteve optimizacije in podpore poslovnega procesa skladno s potrebami DRSI in DARS. Osnovne funkcionalnosti (na primer podatkovni model, urejanje podatkov, način evidentiranja sprememb prometne signalizacije) razvijata DRSI in DARS vzajemno. Ostale funkcionalnosti (na primer evidentiranje posegov, statusov, spremenljive prometne signalizacije) se zaradi različnega načina upravljanja in vzdrževanja podatkov prometne signalizacije razvijajo ločeno, vendar skladno s podatkovnim modelom aplikacije WEPS (slika 1).

3 Podatkovni model aplikacije WEPS

Podatkovni model aplikacije WEPS ločuje vertikalno in horizontalno prometno signalizacijo. Osnovo obeh je lokacija v prostoru, ki je določena v državnem koordinatnem sistemu D96/TM. Lokacija v prostoru je hkrati vezana na lokacijo na digitalni osi državnih cest. Digitalna os državnih cest vsebuje podatke o oznakah in dolžinah odsekov cest ter poteku v prostoru in je za orientacijo na terenu uporabnikom bolj priročen podatek.

3.1 Vertikalna prometna signalizacija

Vertikalno prometno signalizacijo po Pravilniku predstavljajo prometni znaki za nevarnost, izrecne odredbe, obvestila, dopolnilne table, svetlobno prometni znaki, spremenljiva prometno informativna signalizacija ter turistična in druga obvestilna signalizacija.



Slika 2: Primer izrisa in prikaza vsebine prometnega znaka (Aplikacija WEPS – modul Vertikalna prometna signalizacija).

Baza podatkov vertikalne prometne signalizacije je zasnovana kot točkovni objektni tip, z lokacijo stojnega mesta (E in N koordinati v D96/TM), nosilcem in prometnimi znaki. Nosilec je na stojnem mestu določen z dvema atributoma, to sta tip nosilca (enojni nosilec, dvojni nosilec, semafori bič, drog cestne razsvetljave, palična konstrukcija, polportal, portal ...) in smer. Smer je podana z azimutom (v stopinjah) in opisuje smer, za katero veljajo prometni znaki na stojnem mestu. Prometni znaki so na stojnem mestu evidentirani glede na vertikalni in horizontalni položaj ter zasuk. Vertikalni položaj se določa od zgoraj navzdol na nosilcu, horizontalni položaj pa je odvisen od postavitve prometnega znaka glede na nosilec: levo, desno ali v centru nosilca stojnega mesta. Zasuk prometnega znaka je relativni zasuk (v stopinjah) okoli glavne smeri nosilca. Prometni znaki so šifrirani skladno s Pravilnikom, ki določa tudi velikost in tip postavitve ter osvetlitve. Šifrant prometnih znakov se dopolnjuje skladno s spremembami Pravilnika. Na podlagi vseh atributnih podatkov se v grafičnem (kartografskem) delu aplikacije izrišejo prometni znaki.

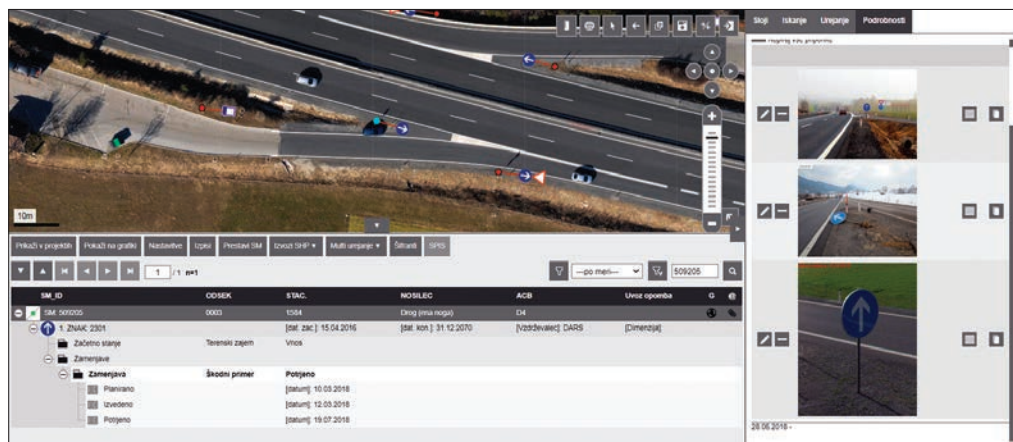
Pri prometnih znakih za vođenje prometa je vsebina kompleksnejša. Gre za vsebine, ki so sestavljene iz prometnih ciljev (napisov), simbolov (piktogramov) in ostalih prometnih znakov. Z naprednimi funkcijami aplikacije WEPS lahko te vsebine brez težav evidentiramo, kar je razvidno iz slike 2.

Slikovno gradivo z datumom posnetka stanja terena je obvezen element na posameznem stojnem mestu, saj na podlagi fotografij dokazujemo izvedeno stanje na določen dan. Vsaka sprememba prometnega znaka mora biti evidentirana z najmanj eno fotografijo stojnega mesta. Iz fotografije morajo biti razvidni vsi prometni znaki na istem drogu z enako smerjo in z delom cestišča s pogleda voznika (slika 3). Kadar je na istem nosilcu prometni znak različnega zasuka, je potrebna dodatna fotografija, iz katere je razviden tudi tak prometni znak. Fotografija je obvezna tudi v primeru odstranitve prometnega znaka.

3.2 Horizontalna prometna signalizacija

Horizontalno prometno signalizacijo po Pravilniku predstavljajo označbe na prometnih površinah, ki so razdeljene na vzdolžne označbe, prečne označbe, druge linijske in plosčinske označbe, puščice za označevanje smeri vožnje in napisi ter simboli na prometnih površinah.

Podatkovni model horizontalne prometne signalizacije in baza podatkov sta zasnovani na osnovi treh prostorsko opredeljenih grafičnih gradnikov: točke (simboli in napisi na vozišču), linije (vzdolžne in prečne označbe) in ploskve (plosčinske označbe). Vsak prostorski element (označba na prometni



Slika 3: Primer evidentiranega poškodovanega in na novo postavljenega prometnega znaka (Aplikacija WEPS - modul Vertikalna prometna signalizacija).

površini) ima svojo grafično upodobljeno entiteto. Predstavlja jo nosilka elementa z ustreznimi atributi (tip, oblika, dimenzija, material, barva in način postavitve), ki natančno določa element horizontalne prometne signalizacije. Na podlagi grafično upodobljene entitete in pravičnih atributnih podatkov se v aplikaciji WEPS prikaže shematičen prikaz dejanskega stanja s predpisano simbologijo. Nekateri prostorski elementi v aplikaciji niso evidentirani po dejanskem poteku v naravi, saj se zaradi lažjega vodenja podatkov s pridom izkorišča informacijski sistem, ki omogoča prikaz na osnovi grafično upodobljene entitete in atributnih podatkov. Na primer: puščica za označevanje smeri je v bazi evidentirana kot točkovni objektni tip v nogi označbe; iz atributnih podatkov tip označbe, smer, velikost in barve, pa se ta izriše na zemljevidu aplikacije v dejanski obliki, barvi in velikosti. Na tak način se v prostorskem (kartografskem) delu aplikacije izriše vsa horizontalna prometna signalizacija (slika 4).

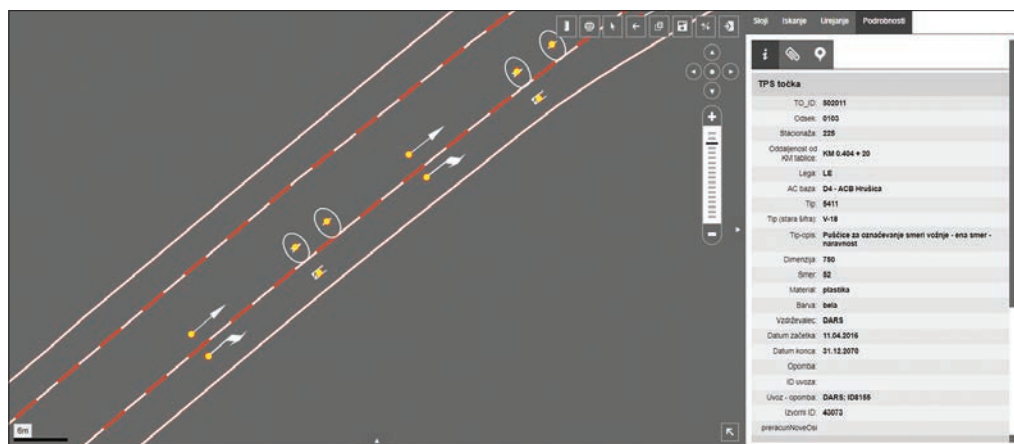
Za vsak posamezen element horizontalne prometne signalizacije je slikovno gradivo z datumom posnetka stanja terena obvezen element v evidenci. Iz fotografije mora biti razvidna umestitev v prostoru z delom cestišča s pogleda voznika. Pri vzdolžnih označbah mora biti iz fotografije razviden začetek nosilke linije, pri ostalih talnih označbah pa celotna označba, umeščena v prostor.

4 Način evidentiranja prometne signalizacije

Aplikacija WEPS omogoča pooblaščenim uporabnikom, ki aktivno sodelujejo pri spremembah prometne signalizacije, da evidentirajo vse spremembe z različnimi, vnaprej predpisanimi ukrepi in posegi. S tem je omogočen transparenten in sproten vpogled v celotni poslovni proces, od pobude za urejanje, naročila za izvedbo, izvedbo, obračuna izvedenih del, pregleda s strani nadzora in potrjenega stanja.

Vse evidentirane spremembe v aplikaciji so vidne takoj in vsem uporabnikom. Vsaka sprememba je vidna na zemljevidu s shematskim izrisom prometnih znakov in talnih označb na ortofoto prikazu, kot tudi vsi pripadajoči atributni podatki, fotografije ter ukrepi, posegi in statusi posegov. Vsaka sprememba se v aplikaciji WEPS beleži, kar omogoča sledenje vsem evidentiranim spremembam.

Začetna evidenca prometne signalizacije je bila vzpostavljena v aplikaciji WEPS na osnovi video posnetkov državnih cest. Leta 2010 je bila vzpostavljena za območje glavnih in regionalnih cest, leta 2016 pa za avtoceste in hitre ceste. Video posnetki cest, geolocirani v državnem koordinatnem sistemu D48/GK so bili vezani na posamezne odseke državnih cest. Predstavljali so osnovo za fotogrametrični zajem lokacij stojnih mest vertikalne prometne signalizacije in nosilk horizontalne



Slika 4: Primer izrisa talnih označb (Aplikacija WEPS – modul Horizontalna prometna signalizacija).

prometne signalizacije ter identifikacijo atributnih podatkov in fotografij k pripadajočim elementom.

Baza podatkov se od začetne vzpostavitve redno in ažurno vzdržuje. Zaradi različnih delovnih procesov se način vzdrževanja podatkov DRSI delno razlikuje od načina DARS. Pri vzdrževanju in upravljanju glavnih in regionalnih cestah poleg DRSI kot deležniki sodelujejo še koncesionarji in nadzor, ločeno po posameznih koncesijskih območjih. DARS dela upravljanja in vzdrževanja kot koncesionar avtocestnega omrežja izvaja sam. Zaradi manj deležnikov je temu primerno tudi način vodenja in vzdrževanja podatkov avtocestnega omrežja enostavnejše, vendar sledi podatkovnemu modelu in predpisanemu načinu vodenja evidence. Način evidentiranja sprememb po izvedenih investicijskih vzdrževalnih delih ali vzdrževalnih delih v javno korist na državnih cestah pa se pri obeh upravljavcih izvaja enako.

4.1 Delovni nalogi za spremembo prometne ureditve

Spremembe prometne ureditve so posledica urejanja prometne ureditve z delovnimi nalogi za postavitev, prestavitev, spremembo vsebine ali odstranitev prometnih znakov, ali za postavitev, spremembo tipa, obnovo ali odstranitev talnih označb. Beležijo se vsi statusi, ki so vezani na posamezen poseg, s čemer je možna sledljivost izvedbe posamezne spremembe. Najbolj pomemben je datum statusa izvedene spremembe, saj je nanj vezana veljavnost prometne signalizacije in vse poizvedbe po bazi podatkov. V bazi podatkov je treba obvezno kot dokaz o izvedeni spremembi evidentirati tudi fotografijo izvedene spremembe, tudi v primeru odstranitve. Za pripravo delovnega naloga je delovni proces priprave delno avtomatiziran neposredno prek aplikacije WEPS.

4.2 Redno vzdrževanje podatkov prometne signalizacije

DRSI in DARS kot koncesionarja rednega vzdrževanja v sklopu rednih dnevnih pregledov cest spremljata stanje cest in ugotavljata spremembe v cestnem in obcestnem prostoru. V primeru ugotovljenih sprememb prometne signalizacije zaradi poškodb prometne signalizacije, odtujitve ali vandalizma sami izvedeta zamenjave v sklopu svojih rednih delovnih nalog. Pri zamenjavah je pomembno, da pregledniki s fotografijo evidentirajo stanje ob ugotovitvi in po izvedenem ukrepu. V sklopu rednega vzdrževanja, se na podlagi letnih planov obnov, izvajajo obnove talnih označb, kar je potrebno po izvedbi evidentirati v aplikaciji WEPS.

4.3 Investicijsko vzdrževanje

Največje spremembe prometne ureditve so največkrat posledica izvedbe investicijskih vzdrževalnih del ali vzdrževalnih del v javno korist na državnih cestah. Skladno s Pravilnikom o načinu označevanja javnih cest in o evidencah o javnih cestah in objektih na njih iz leta 1997 je treba za vsa izvedena dela predati poročilo o izvedenih delih, t. i. BCP poročilo, kjer morajo biti vse spremembe navedene na predpisanih obrazcih. BCP poročilo mora pripraviti v skladu z navodili za predajo podatkov s strani DRSI certificiran usposobljen popisovalec BCP.

Spremembe prometne ureditve evidentirajo usposobljeni popisovalci BCP direktno v aplikacijo WEPS prek posebnih modulov, ki so prilagojeni tem delovnim procesom. Usposobljeni popisovalci BCP na podlagi vloge pridobijo dostop do posameznih območij obdelav (t. i. gradbišča), kjer pridobijo pravice urejanja podatkov. Na območju urejanja podatkov se do zaključka urejanja podatkov popisovalca BCP ostalim pooblaščenim uporabnikom omogoča le vpogled, zato je pomembno, da je urejanje podatkov zaključeno v najkrajšem možnem času in takoj po zaključku gradbenih del.

V bazi podatkov je možno izvajati poizvedbe po vseh evidentiranih podatkih, generiranje različnih poročil in izdelava analiz, omogočena sta delno avtomatizirana priprava delovnih nalogov in sistem

6 Obseg evidentiranih podatkov v aplikaciji WEPS

V Sloveniji je trenutno uradno kategoriziranih 6541 km državnih cest, od tega 5925 km v upravljanju DRSI in 616 km v upravljanju DARS (<https://www.gov.si/teme/cestna-infrastruktura/>). Za zagotavljanje natančne in pravočasne informacije udeležencem v prometu morata oba upravljavca državnih cest skrbeti za pravilno prometno ureditev. Informacije, ki jih uporabniki cest dobijo iz prometne signalizacije, so ključnega pomena za varno odvijanje prometa. Prometno ureditev je potrebno dnevno spremljati na terenu in se pravočasno odzvati na potrebe po spremembi prometne ureditve.

Prometna signalizacija, ki je evidentirana v bazi podatkov aplikacije WEPS, je ločena na vertikalno (preglednica 2) in horizontalno (preglednica 3) prometno signalizacijo. Prikazani so podatki iz baze podatkov obeh upravljavcev državnih cest za leto 2021.

Iz preglednic 2 in 3 je razvidno, da je na vsakem kilometru avtocestnega omrežja povprečno 63 prometnih znakov (38 stojnih mest) in 29 talnih označb ter na glavnih in regionalnih cestah 31 prometnih znakov (22 stojnih mest) in 37 talnih označb na kilometer. Vsako leto se na slovenskem avtocestnem omrežju spremeni ali zamenja približno 10 % prometnih znakov in 3 % talnih označb, na glavnih in regionalnih cestah pa približno 13 % prometnih znakov 8 % talnih označb. V naslednjih letih bo treba stremeti k racionalizaciji količin prometne signalizacije na državnih cestah, saj preveč podanih informacij v cestnem prometu negativno vpliva na vozne sposobnosti udeleženca v prometu. Upravljanje in vzdrževanje prometne signalizacije je dinamično na celotnem omrežju državnih cest in obsega usklajevanje različnih služb, saj mora biti vsaka sprememba na terenu izvedena pod prometno zaporo in s čim manj prometnimi zastoji, torej prijazno uporabnikom cest.

Avtocestno omrežje predstavlja približno 10 % obsega glavnih in regionalnih cest, vendar je iz preglednic 2 in 3 razvidno, da je dinamika sprememb in zamenjav na avtocestnem omrežju nad pričakovanji.

Preglednica 2: Število evidentiranih podatkov v bazi vertikalne prometne signalizacije.

| podatki | DRSI | DARS |
|------------------------------|---------|--------|
| stojna mesta | 131.244 | 23.433 |
| prometni znaki | 180.882 | 38.238 |
| izdani delovni nalogi | 510 | 87 |
| območja gradbišč | 305 | 44 |
| postavitve prometnih znakov | 10.323 | 2337 |
| odstranitev prometnih znakov | 6.300 | 1494 |
| zamenjava prometnih znakov | 6.080 | 159 |
| skupaj | 335.644 | 65.792 |

Preglednica 3: Število evidentiranih podatkov v bazi horizontalne prometne signalizacije.

| podatki | DRSI | | | DARS | | |
|---------------------------|--------|---------|----------|-------|--------|----------|
| | točke | linije | poligoni | točke | linije | poligoni |
| število elementov | 31.676 | 164.710 | 21.880 | 4.075 | 11.155 | 2.093 |
| postavitve talnih označb | 1.114 | 9.134 | 880 | 44 | 196 | 43 |
| odstranitev talnih označb | 325 | 4.786 | 254 | 45 | 179 | 41 |
| obnova talnih označb | 9.341 | 90.123 | 6.747 | 19 | 128 | 1 |
| skupaj | 42.456 | 268.753 | 29.761 | 4.183 | 4.183 | 2.178 |

Vozne hitrosti so na avtocestnem omrežju visoke, zato je ključen pravočasen odziv upravljavca ceste. Dinamiko urejanja narekuje predvsem stalno zagotavljanje prometne varnosti in pretočnosti na vedno bolj obremenjenem avtocestnem omrežju, še posebno na delu omrežja, ki je sestavni del mednarodnega cestnega koridorja (TEN-T omrežje).

7 Sklep

Aplikacija WEPS se zadnjih 12 let neprestano razvija in nadgrajuje zaradi infrastrukturnega tehnološkega razvoja in digitalne transformacije delovnih procesov. Pri upravljanju in vzdrževanju prometne signalizacije predstavlja obvezno delovno orodje in nepogrešljiv geografski informacijski sistem. Na podlagi pridobljenih izkušenj pri uporabi v obdobju uporabe se ocenjuje, da je spletna GIS aplikacija WEPS presegla vsa pričakovanja, zastavljena v začetnem obdobju razvoja sistema. Z aplikacijo WEPS koncesionarji uspešno in učinkovito upravljajo s prometno signalizacijo in prometno opremo, kar pri delu prinaša pozitivne učinke. Ti se odražajo predvsem v učinkovitejšem delovnem procesu. Odziv na neustrezno prometno ureditev je lahko takojšen, planiranje in naročilo sprememb hitrejše, podatki za pripravo zahtevke sodišč na enem mestu. Cestna infrastruktura mora zagotavljati varno odvijanje prometa in je zelo pomembna za razvoj ostalih panog gospodarstva. Z razvojem inteligentnih transportnih in navigacijskih sistemov, pametnih vozil in prometnic je nujno potrebno, da se še naprej zagotavlja inovativen pristop k razvoju aplikacije WEPS, predvsem z zagotavljanjem neposredne komunikacije z ostalimi informacijskimi sistemi.

8 Viri in literatura

- Degan, A. K., Švigelj A. 2012: Učinkovito upravljanje s prometno signalizacijo – uporaba prostorskega informacijskega sistema WEPS. Zbornik 11. slovenskega kongresa o cestah in prometu. Portorož.
- Degan, R., Švigelj, A. 2008: Nov podatkovni model za vodenje katastra prometnih znakov. Zbornik 9. slovenskega kongresa o cestah in prometu. Portorož.
- Metodologija spremljanja stanja prometne signalizacije. 2021: Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji. Ljubljana.
- Navodilo za izpolnjevanje in predajo BCP obrazcev za vpis podatkov v evidence tehničnih podatkov o javnih cestah in objektih na njih. Medmrežje: <https://www.gov.si/zbirke/storitve/predaja-izvedenih-del-podatki-za-banko-cestnih-podatkov-bcp/> (15.2.2022).
- Pravilnik o načinu označevanja javnih cest in o evidencah o javnih cestah in objektih na njih (Uradni list Republike Slovenije, št. 49/97, 2/04 in 109/10 – ZCes-1). Ljubljana.
- Pravilnik o prometni signalizaciji in prometni opremi na cestah. Uradni list Republike Slovenije 99/2015, 4620/17, 59/2018, 63/2019 in 150/2021. Ljubljana.
- Podatki iz podatkovne baze aplikacije WEPS. Medmrežje: <https://weps.gisportal.si> (15.2.2022).
- Švigelj A., 2010: Prostorski informacijski sistem za učinkovito upravljanje s prometno signalizacijo. Zbornik 10. slovenskega kongresa o cestah in prometu. Portorož.
- Zakon o cestah. Uradni list Republike Slovenije 109/2010, 48/2012, 36/2014 – odl. US, 46/2015, 10/2018 in 123/2021 – ZPrCP. Ljubljana.

VPLIV IZBORA METODE NA IZRAČUN DOSTOPNOSTI POSTAJALIŠČ JAVNEGA POTNIŠKEGA PROMETA

Simon Koblar

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

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

dr. Jernej Tiran, dr. Nika Razpotnik Visković, dr. Matej Gabrovec

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

jerne.j.tiran@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9839-720X>

nika.razpotnik@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3584-8426>

matej.gabrovec@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4018-3070>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_13

UDK: 911.3:656.025.2(497.4)

IZVLEČEK

Vpliv izbora metode na izračun dostopnosti postajališč javnega potniškega prometa

V prispevku primerjamo dostopnost postajališč javnega potniškega prometa, izračunano z metodo zračne razdalje ter z metodo na podlagi prometnega omrežja. Analiza je narejena za poseljene hišne naslove za območje celotne Slovenije z upoštevanjem vseh vrst javnega potniškega prometa. Oddaljenost po omrežju poti smo modelirali s podatki OpenStreetMap, ki so se izkazali za dovolj kakovostne za izdelavo tovrstnih analiz. Izbor metode ima velik vpliv na končne rezultate analize, saj izračun na podlagi zračne oddaljenosti močno preceni dejansko dostopnost postajališč. V prihodnje zato predlagamo uporabo izračuna na podlagi prometnega omrežja.

KLJUČNE BESEDE

prometna geografija, dostopnost, hoja, razdalja, zračna razdalja, razdalja po omrežju, javni potniški promet, OpenStreetMap

ABSTRACT

Influence of method selection on the calculation of public transport stops accessibility

The article compares the accessibility of public transport stops calculated by the Euclidean distance method and the network distance method. The analysis is performed for inhabited house addresses in Slovenia, taking into account all types of public transport. The calculation of network distance was modelled using OpenStreetMap data, which proved to be of sufficient quality to perform such analysis. The choice of method has a significant impact on the final results of the analysis, as the calculation based on Euclidean distance greatly overestimates the actual accessibility of public transport stops. Therefore, we propose the use of a calculation based on network distance.

KEY WORDS

transport geography, accessibility, walking, distance, Euclidean distance, network distance, public transport, OpenStreetMap

1 Uvod

Javni potniški promet (JPP) v primerjavi z osebnimi avtomobili poleg manjših okoljskih vplivov zagotavlja tudi univerzalno dostopnost do različnih ciljev za vse prebivalce, tudi tiste, ki avtomobila iz različnih razlogov ne uporabljajo. Ker se vsako potovanje začne s prihodom na postajališče, je bližina postajališč ena od pomembnejših dejavnikov, ki odloča o uporabi JPP. Oddaljenost postajališč je zaradi enostavnosti tudi pogosto uporabljen kazalnik dostopnosti, nekateri kompleksnejši modeli pa upoštevajo še potovalno hitrost, ceno ter število možnih ciljev, ki jih lahko dosežemo s posameznega postajališča (Malekzadeh in Chung 2020).

V Sloveniji je bilo na področju dostopnosti postajališč JPP izdelanih več raziskav. Te lahko razdelimo na dve skupini glede na to, na kakšen način so merili razdaljo. Raziskave, ki upoštevajo zračno razdaljo (Gabrovec s sodelavci 2019; 2021; Gabrovec in Bole 2006; Gabrovec in Razpotnik Visković 2018) so izdelane za večje regije ali pa za celotno Slovenijo, med tem ko so raziskave, ki upoštevajo razdaljo po omrežju, v večini primerov omejene na modeliranje dostopnosti na manjših območjih (Paliska, Drobne in Fabjan 2004; Kozina 2010; Tiran, Mladenovič in Koblar 2014; 2015; Tiran, Lakner in Drobne 2019). Ključno težavo za izdelavo analiz z upoštevanjem razdalje po omrežju predstavlja razpoložljivost ustreznih prostorskih podatkov. Dobro alternativo uradnim podatkovnim virom ali lastnemu zbiranju podatkov predstavlja sodelovalna platforma OpenStreetMap, kjer prostovoljci vnašajo prostorske podatke, ti pa so nato na voljo kot prosto dostopna podatkovna baza. Popolnost podatkov OpenStreetMap se zelo razlikuje glede na angažiranost prostovoljcev, vendar na svetovni ravni pokriva preko 80 % cestnega omrežja (Barrington-Leigh in Millard-Ball 2017). V Sloveniji je pokritost še boljša, saj baza OpenStreetMap vključuje vse kategorizirane državne ceste (več kot 99 %), pri kategoriziranih občinskih cestah manjka 128 km lokalnih cest (1,1 %) in 1670 km javnih poti (8,9 %). Večje odstopanje je le pri gozdnih in nekategoriziranih cestah (Pajk Koblar 2021).

Ker iz drugih raziskav vemo, da je razdalja po omrežju daljša od zračne (Zhao s sodelavci 2003; Kozina 2010), se poraja vprašanje, za koliko se spremenijo rezultati analize dostopnosti, če namesto zračne uporabimo razdaljo po omrežju poti. Edini kazalnik dostopnosti postajališč JPP, ki je izdelan za celotno Slovenijo za različna časovna obdobja, namreč upošteva zračno razdaljo (Gabrovec in Bole 2006; Gabrovec s sodelavci 2019). Raziskave kažejo, da je dostopnost postajališč pomemben dejavnik uporabe JPP, pripravljenost za hojo do postajališč pa s povečevanjem razdalje ne upada linearno (Tiran, Lakner in Drobne 2019). Preverjanje rezultatov tega kazalnika je še toliko pomembnejše, saj se kazalnik uporablja tudi za vrednotenje regionalnega razvoja (Pečar 2020).

Namen prispevka je analiza razlik med zračno in dejansko razdaljo med postajališči JPP in hišnimi naslovi v Sloveniji. Pri tem smo si zastavili naslednja cilja:

- oceno ustreznosti podatkovne baze OpenStreetMap za merjenje peš dostopnosti do postajališč JPP;
- izračun dostopnosti postajališč JPP na podlagi zračne razdalje in na podlagi prometnega omrežja ter primerjavo rezultatov, pridobljenih z obema metodama.

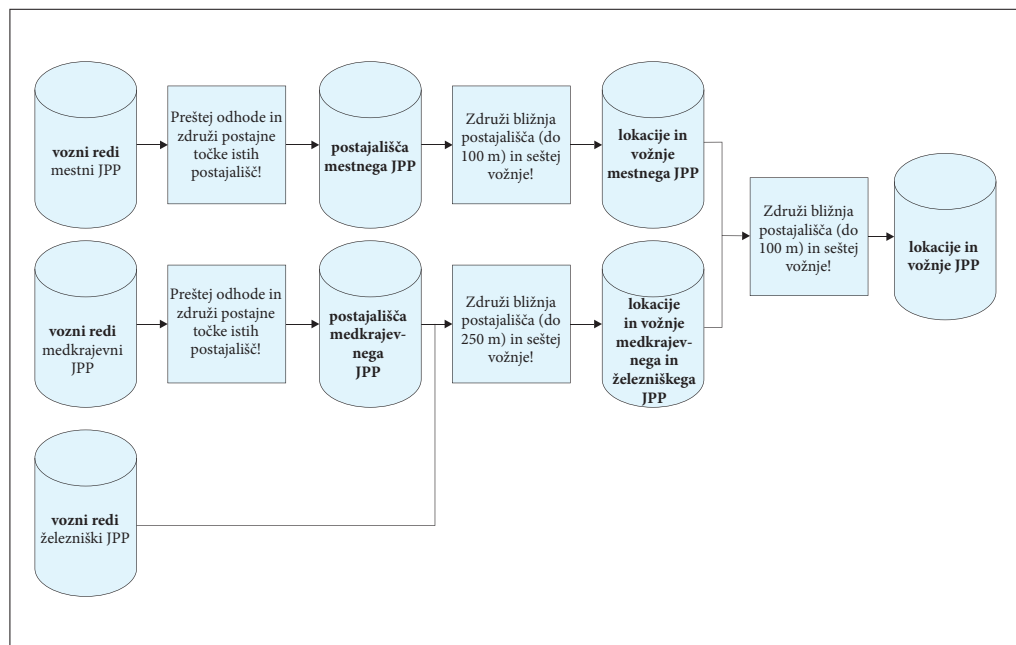
2 Metode dela

V analizi smo uporabili podatke o postajališčih in voznihih redih JPP za leto 2021 ter hišnih naslovih s številom prebivalcev na dan 31. 12. 2020. Lokacije postajališč smo združili iz različnih virov. Podatke o postajališčih in voznihih redih za medkrajevni in železniški promet ter mestni promet v Novem mestu in Murski Soboti smo pridobili na Ministrstvu za infrastrukturo, za ostale mestne promete pa pri prevoznikih. Podatek o številu prebivalcev na hišnih naslovih smo pridobili iz centralnega registra prebivalstva. Kot lokacijo bivališča smo upoštevali običajno prebivališče – v primeru začasnega in stalnega bivališča smo za posamezno osebo upoštevaličasno bivališče (Metodološko pojasnilo ... 2021). Za realnejši podatek o pogostnosti voženj na določenem območju smo bližnja postajališča medkra-

jevnega, mestnega in železniškega prometa združili v eno postajališče, določeno z geometrično središčno vseh združenih postajališč. Za potnika je namreč pomembno skupno število vseh povezav vseh ponudnikov JPP na njegovi lokaciji, ne pa število povezav posameznega ponudnika. V prvem koraku smo združili postajne točke istih postajališč, nato pa medkrajevna in železniška postajališča v oddaljenosti do 250 m ter postajališča mestnega JPP v oddaljenosti do 100 m. V zadnjem koraku smo združili lokacije mestnega JPP s predhodno združenimi lokacijami medkrajevnega in železniškega JPP in sicer v oddaljenosti do 100 m. Uporabljene mejne vrednosti smo določili na podlagi ekspertne ocene. Ob vsaki združitvi smo sešteli vožnje vseh postajališč. Postopek združevanja je podrobneje prikazan na sliki 1. Združena postajališča smo po vzoru Gabrovca in Boleta (2006) razdelili v tri razrede glede na skupno število voženj na značilen delovni dan v času šolskega pouka: primerna dostopnost – 46 voženj ali več; zadovoljiva dostopnost – od 16 do 45 voženj ter nezadovoljiva dostopnost – od 1 do 15 voženj.

Z združevanjem postajališč in določanjem novega centroida se seveda nekoliko popači podatek o razdalji med hišnimi naslovi in postajališči. Ker pa je v večini primerov šlo za združevanje postajnih točk istih postajališč, je ta podatek bolj relevanten za preučevanje potovanja v obe smeri, saj odraža povprečno razdaljo, ki jo mora premagati potencialni potnik.

Oddaljenost od bivališč (poseljenih hišnih števil) do postajališč smo računali na dva načina – z računanjem zračne razdalje ter na podlagi dejanskega poteka cest in pešpoti. Zračno razdaljo smo izračunali v programu QGIS z orodjem matrika razdalj (angleško *distance matrix*), kjer smo za vsako hišno številko poiskali najbližjih 20 postajališč. Večje število postajališč je bilo potrebno zato, ker najbližje postajališče nima nujno tudi najboljše frekvence. Za 20 postajališč smo se odločili zato, da smo tudi na območju največje zgoščenosti postajališč JPP lahko zajeli vsa postajališča, ki so v razdalji do 1000 m do hišnih naslovov. Iz pridobljenega seznama razdalj med hišnimi naslovi in postajališči smo nato s programsko opremo PostgreSQL za vsako hišno številko izbrali najbližje postajališče, ločeno za vsak razred pogostnosti voženj (primerna dostopnost – 46 voženj ali več; zadovoljiva dostopnost – od 16 do 45 voženj ter nezadovoljiva dostopnost – od 1 do 15 voženj). V primerjavi z izrisom vplivnega



Slika 1: Postopek združevanja postajališč različnih vrst JPP.

območja, ki se pogosto uporablja za tovrstne analize, smo s to metodo pridobili tudi podatek o dejanski zračni razdalji.

Izračun razdalje do postajališč na podlagi cestnega omrežja smo izvedli s podatki OpenStreetMap z dne 20. 8. 2021, pridobljenimi s spletne strani Geofabrik (medmrežje 1). Izračun razdalje po omrežju poti smo naredili z odprtokodno programsko opremo OpenTripPlanner, različica 1.5 (medmrežje 2). Pri tem smo uporabili skripto (Pereira in Grégoire 2019), ki iz seznama izvorov potovanj (postajališč) za vsak cilj (hišni naslovi) pošlje poizvedbo v OpenTripPlanner, ter zapiše rezultat v preglednico. Pri izračunu razdalje pride sicer do manjše poenostavitve, saj se računanje razdalje začne na prometnem omrežju, ki pa v večini primerov ne sega čisto do hišnih naslovov. Pridobljene razdalje so tako lahko do nekaj deset metrov krajše od dejanskih. Rezultate analize smo analizirali s programsko opremo PostgreSQL.

Pred primerjavo rezultatov analize prometne dostopnosti z različnimi metodami smo še preverili, ali omrežje poti v bazi OpenStreetMap odraža dejansko stanje oziroma so odstopanja dovolj majhna, da na končni izračun nimajo bistvenega vpliva. Zato smo analizirali, do koliko hišnih naslovov ni bilo najdene poti po omrežju poti, do česar pride v primeru, da poti v OpenStreetMap manjkajo, ali pa so prisotne topološke napake v omrežju (nepovezani odseki). Iz števila hiš, do katerih ni bilo najdene povezave, smo ocenili vpliv pomanjkljivosti v omrežju na končne rezultate.

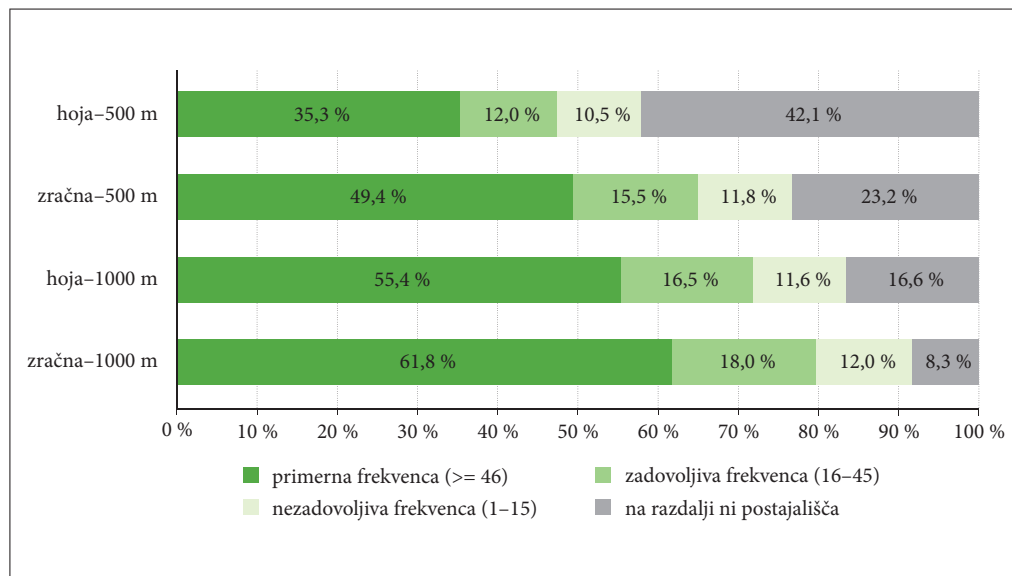
Dobljene rezultate smo primerjali za dva polmera oddaljenosti do postajališč: 500 in 1000 m, ki se pogosto uporabljata za vrednotenje dostopnosti JPP – manjša razdalja ustreza tisti, ki so jo prebivalci pripravljeni prehoditi dnevno in se praviloma uporablja za vrednotenje dostopnosti na gosteje poseljenih, urbanih območjih, večja razdalja pa za občasno uporabo, na podežlju ali za dostopnost postajališč hitrejšega tirnega prometa z večjo pogostnostjo voženj (El-Geneidy, Tétreault in Surprenant-Legault 2009; Gabrovec in Razpotnik Visković 2012; Saghapour, Moridpour in Thompson 2016).

Pri izračunu povprečne razdalje do postajališč (preglednica 1) smo glede na razred pogostnosti voženj (trije razredi) poiskali najbližje postajališče po zračni razdalji, nato pa smo za isto relacijo izračunali še razdaljo po omrežju poti. Izračun povprečne razdalje smo naredili za hišne naslove, ki so po zračni razdalji do postajališč oddaljeni do 500 oziroma do 1000 m. Povprečne razdalje smo prikazali z enakovrednim upoštevanjem vseh poseljenih hišnih naslovov ter z obteževanjem s številom prebivalcev na hišnih naslovih.

3 Rezultati in razprava

Analiza kakovosti omrežja OpenStreetMap je pokazala, da napake v njem bistveno ne vplivajo na končni rezultat. Največje napake smo ugotovili pri 1000 m zračni razdalji in postajališčih z vsaj eno dnevno vožnjo – gre za podeželska območja, kjer omrežje OpenStreetMap ni tako dobro izdelano kot drugje. V tem razredu po omrežju pešpoti ni bilo najdene poti za 4964 hišnih števil, kjer prebiva 17.515 prebivalcev oziroma 0,9 % vseh prebivalcev, ki živijo do 1000 m zračne razdalje od postajališč z vsaj eno vožnjo na dan. Pri 500 m razdalji in pogostnostjo voženj 46 ali več je manjkalo le 229 hišnih naslovov, v katerih je prebivalo 0,1 % prebivalcev, ki živijo znotraj 500 m zračne razdalje od teh postajališč. Iz tega sklepamo, da je omrežje OpenStreetMap v Sloveniji ustrezno za izdelavo analiz prometne dostopnosti do postajališč JPP. Druga vrsta napake, ki je sicer nismo sistematično preverili, pa se lahko pojavi zaradi manjkajočih poti, ki bi predstavljale krajšo pot. V tem primeru je izračunana daljša pot. Iz vizualnega pregleda sicer sklepamo, da te napake nimajo bistvenega vpliva na končni izračun, vendar bi bilo za manjša območja preučevanja smiselno omrežje OpenStreetMap pred izdelavo analize preveriti in po potrebi dopolniti.

Na sliki 2 je prikazan delež prebivalstva, ki prebivajo v 500 in 1000 m razdalji od postajališč, glede na pogostnost voženj in način izračuna razdalje. Izbira metode izračuna ima pri 500 m razdalji največji vpliv na območju postajališč s primerno frekvenco – pri zračni razdalji je delež prebivalstva večji



Slika 2: Dostopnost postajališč JPP, prikazana z deležem prebivalcev, ki prebivajo v 500 in 1000 m razdalji do postajališč, glede na pogostnost voženj in način izračuna razdalje.

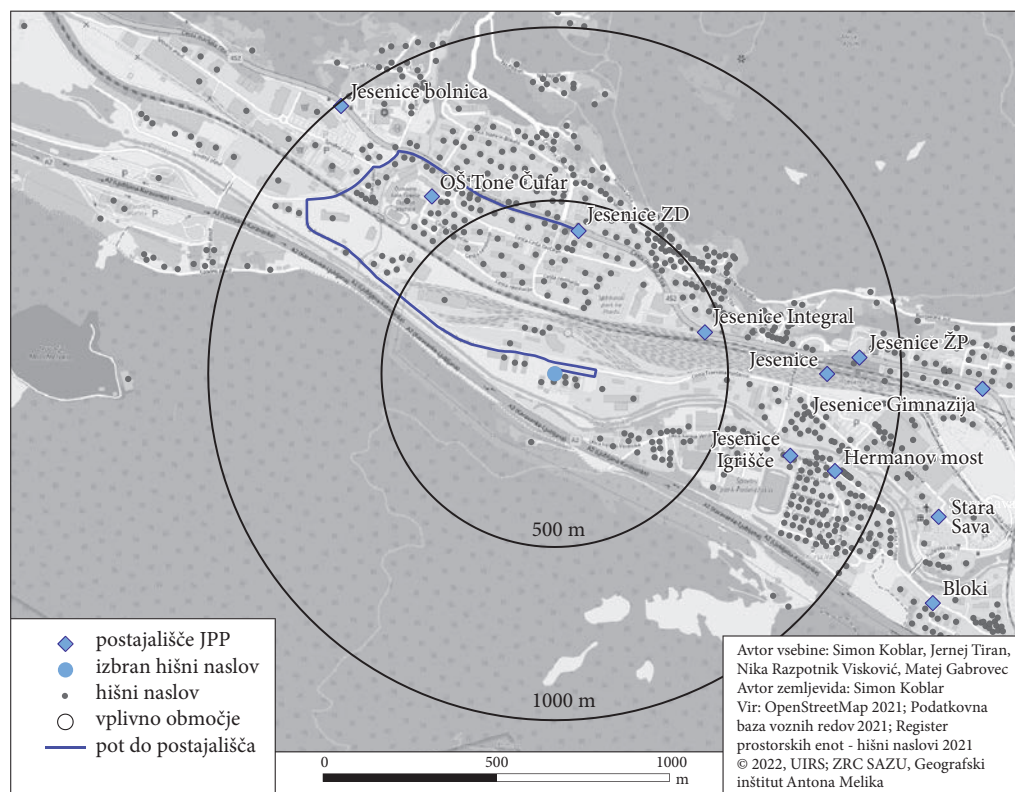
Preglednica 1: Povprečne razdalje do postajališč z uporabo različnih metod.

| razred zračne razdalje | število dnevni voženj | povprečna razdalja | | | | omrežje daljše od zračne | omrežje daljše od zračne – obteženo |
|------------------------------|--|--------------------|----------------------|---------|-----------------------|--------------------------------|--|
| | | zračna | zračna – obteženo | omrežje | omrežje – obteženo | | |
| do 500 m | primerna frekvenca (≥ 46) | 255 | 230 | 418 | 376 | 63,9 % | 63,5 % |
| | vsaj zadovoljiva frekvenca (≥ 16) | 246 | 224 | 403 | 367 | 63,8 % | 63,8 % |
| | vsaj ena vožnja (≥ 1) | 236 | 217 | 385 | 353 | 63,1 % | 62,7 % |
| do 1000 m | primerna frekvenca (≥ 46) | 387 | 325 | 615 | 514 | 58,9 % | 58,2 % |
| | vsaj zadovoljiva frekvenca (≥ 16) | 366 | 313 | 593 | 504 | 62,0 % | 61,0 % |
| | vsaj ena vožnja (≥ 1) | 338 | 294 | 560 | 480 | 63,9 % | 63,5 % |

za 14,1 odstotno točko. Za 18,9 odstotnih točk pa se zmanjša delež prebivalstva, ki v tej razdalji nima-
jo na voljo postajališča z vsaj eno dnevno vožnjo. Pri 1000 m razdalji so razlike manjše, kar lahko pripišemo
nižji gostoti poselitve v večji razdalji od postajališč, posledično pa je manjši tudi vpliv na število pre-
bivalcev. Največja razlika je zopet pri dostopnosti do postajališč s primerno frekvenco, kjer ob
upoštevanju zračne razdalje zajamemo za 6,4 odstotnih točk več prebivalcev. Delež prebivalstva brez
postajališča z vsaj eno vožnjo pa pade za 8,3 odstotnih točk na 8,3 %.

Rezultate na sliki 2 lahko po vzoru Kozine (2010) predstavimo kot deleže prebivalcev, ki po izra-
čunu zračne razdalje prebivajo v 500 ali 1000 m oddaljenosti do postajališč, vendar so po omrežju poti
oddaljeni več, kot je zgornja meja razreda. V tej analizi smo upoštevali vsa postajališča, ki imajo vsaj
eno dnevno vožnjo – torej postajališč nismo delili glede na pogostnost voženj. Od prebivalcev, ki živi-
jo v 500 m zračni razdalji, jih ima 24,6 % po omrežju poti razdaljo, daljšo od 500 m, Kozina pa je za Ljubljano
izračunal 9 % razliko (Kozina 2010). Pri 1000 m razdalji se razlika zmanjša na 9,0 %, kar je posledica
nižje gostote poselitve. Na te rezultate vplivajo predvsem prebivalci, ki prebivajo blizu meje razreda –
znotraj zračne razdalje, ne pa znotraj razdalje po omrežju poti. Poleg razvejanosti omrežja poti torej
na razlike vpliva tudi razporeditev poselitve.

Podatki združeni po razredih nam nič ne povedo o tem, za koliko se dejansko razlikujejo razdalje
do postajališč, izmerjene z različnimi metodami. Povprečne razdalje do postajališč z uporabo različnih
metod so prikazane v preglednici 1. Povprečna razdalja do postajališč se razlikuje glede na to, katera
postajališča upoštevamo glede na frekvenco voženj. Ob upoštevanju postajališč z višjo frekvenco so pov-



Slika 3: Razlike med dostopnostjo postajališč z upoštevanjem zračne razdalje in razdalje po omrežju na primeru Jesenic.

prečne razdalje nekoliko večje, saj v določenih primerih najbližje postajališče nima ustrezne frekven-
ce in je potrebna daljša pot do postajališča z ustrežno frekvenco – če je to še znotraj določene največje
razdalje. Z vidika dostopnosti postajališč so bolj relevantni podatki, ki so obteženi s številom prebi-
valcev. Povprečna obtežena razdalja je krajša, kar je posledica večjega števila večstanovanjskih stavb
v bližini postajališč.

Pri hišnih naslovih, ki so do postajališč oddaljeni do 500 m zračne razdalje, je na podlagi omrežja poti
povprečna razdalja daljša za 137 do 163 m, pri 1000 m razdalji pa za 186 do 228 m. Torej je dejanska pot
do postajališča v povprečju daljša za dve do tri minute. Glede na to, kako hitro upade pripravljenost za
hojo do postajališč s povečevanjem razdalje (Tiran, Lakner in Drobne 2019), je razlika med izračunoma
pomembna. Po drugi strani pa je povprečna razdalja bistveno krajša od zgornje meje razreda. Pri zra-
čni razdalji do 1000 m in upoštevanju postajališč z vsaj eno vožnjo je povprečna razdalja po omrežju
poti, obtežena s številom prebivalcev, le 480 m, kar znaša pet minut hoje.

V posameznih primerih lahko pride do še večjih odstopanj. Ta so večja v primeru naravnih ali gra-
jenih ovir, kot so reke, jezera, železnice, ceste višjih kategorij ter večja območja, čez katera ni mogoč
prehod, kot na primer tovarne ali vojašnice. Eden od takih primerov je na Jesenicah na Cesti Franceta
Prešerna, kjer stanovanja od postajališč JPP ločuje železniška proga. Zračna razdalja od naslova Cesta
Franceta Prešerna 3 do najbližjega postajališča (Jesenice ZD) je 417 m, razdalja po omrežju poti pa 2057 m,
kar je več kot 25 minut hoje (slika 3). Pot po omrežju je tako skoraj petkrat daljša od zračne razdalje,
obenem pa je takšna dolžina neprimerna že za občasno, kaj šele za vsakodnevno uporabo. Ker gre za
najemniška stanovanja Stanovanjskega sklada Republike Slovenije, je dostopnost JPP še toliko pomemb-
nejša za socialno vključenost prebivalcev in bi morala biti upoštevana že v fazi načrtovanja.

Dodatna posebnost tega primera je dejstvo, da postajališče Jesenice ZD, ki je po zračni razdalji naj-
bližje, ob upoštevanju razdalje po omrežju ni najbližje. Bližje so postajališča Jesenice ŽP, Jesenice Bolnica,
Jesenice Integral, Hermanov most in Jes. Igrišče, vendar so tudi ta postajališča oddaljena več kot en
kilometer.

4 Sklep

Ugotavljamo, da so podatki OpenStreetMap za preučevanje dostopnosti do postajališč JPP ustrezni.
Na nekaterih podeželskih območjih je omrežje še vedno pomanjkljivo, vendar na skupen rezultat to nima
večjega vpliva. Večjo pozornost bi morali nameniti kakovosti podatkov v primeru, da bi analizo izvajali
za manjše območje, kjer bi morebitne napake bistveno bolj vplivale na končne rezultate. Obenem pa
bi bilo dopolnjevanje omrežja za manjša območja časovno lažje izvedljivo. Poleg tega bi bilo iz poda-
tkovne baze smiselno izključiti poti, ki niso primerne za prihod na postajališče JPP – neutrjene ali prestrme
poti, poti preko zasebnih zemljišč in podobno. Uporabljena metoda izračuna peš dostopnosti s programsko
opremo OpenTripPlanner se je izkazala za dovolj hitro in natančno. Pomemben dejavnik je tudi dej-
stvo, da gre za brezplačno in odprtokodno programsko opremo, kar bistveno razširi krog potencialnih
uporabnikov v primerjavi s komercialnimi rešitvami. Na podlagi dobljenih rezultatov ugotavljamo, da
uporaba zračne razdalje pomembno preceni dostopnost postajališč, zlasti pri merjenju dostopnosti v manj-
šem, 500 m polmeru, kjer je večja za 14,1 odstotne točke. Povprečne razdalje do postajališč so med obema
metodama daljše med 137 in 228 m oziroma med 58,2 in 63,9 %, kar ustreza dvema do trem minutam
hoje.

Slabost merjenja dostopnosti postajališč po omrežju pešpoti pa je dejstvo, da v analizo vnašamo
novo spremenljivko, kar otežuje interpretacijo in primerjavo rezultatov iz različnih let. Ob ponovitvi
analize se namreč lahko omrežje v podatkovni bazi OpenStreetMap spremeni in s tem vpliva na rezul-
tate. Ob natančnejšem merjenju razdalje do postajališč pa je še toliko pomembnejše, da znamo ustrezno
določiti največjo razdaljo, ki so jo potencialni potniki še pripravljeni prehoditi do postajališča JPP. V Ljubljani
je, na primer, dokaj majhna (Tiran, Lakner in Drobne 2019), vendar iz nje ne moremo sklepati, kakšna

je pripravljenost za hojo do postajališč v ostalih delih Slovenije, kar bi bilo smiselno podrobneje raziskati. Poleg tega se za dostop do postajališč JPP lahko uporablja tudi druge potovalne načine – kolo, skiro, avtomobil (predpogoj za to so ustrezna parkirišča), kar bistveno poveča območje dostopnosti postajališč.

Razlike v dostopnosti med obema metodama pa niso nujno povsem prenosljive na druge prostorske pojave, kot je na primer dostop do šol, knjižnic in zdravstvenih domov, saj so povprečne razdalje poleg razvejanosti omrežja odvisne tudi od razporejenosti prostorskih pojavov. Pri umeščanju postajališč JPP in poselitve prihaja do določenega usklajevanja, saj je poselitev bolj zgoščena v bližini postajališč. Za druge prostorske pojave bi tako bila potrebna posebna raziskava. Glede na zanesljivost in dostopnost uporabljene metode ter razmeroma velike napake, ki jo naredimo z merjenjem zračne razdalje, menimo, da je smiselno v prihodnjih raziskavah dostopnosti postajališč JPP upoštevati razdaljo po omrežju.

ZAHVALA: Prispevek temelji na raziskovalnem programu Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in projektu LIFE IP CARE4CLIMATE (LIFE17 IPC/SI/000007), ki je sofinanciran s sredstvi evropskega programa LIFE in sredstvi Sklada za podnebne spremembe.

5 Viri in literatura

- Barrington-Leigh, C., Millard-Ball, A. 2017: The world's user-generated road map is more than 80% complete. PLoS ONE 12. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180698>
- El-Geneidy, A., Tétreault, P., Surprenant-Legault, J., 2009: Pedestrian Access to Transit: Identifying Redundancies and Gaps Using a Variable Service Area Analysis.
- Gabrovec, M., Bole, D. 2006: Dostopnost do avtobusnih postajališč. Geografski vestnik 78.
- Gabrovec, M., Bole, D., Hrvatin, M., Razpotnik Visković, N., Tiran, J. 2021: Smernice za organizacijo javnega potniškega prometa na podeželju: LIFE IP CARE4CLIMATE (LIFE17 IPC/SI/000007). Medmrežje: <https://www.care4climate.si/sl/knjiznica?pidPagerArticles=1> (12. 9. 2021)
- Gabrovec, M., Razpotnik Visković, N. 2012: Ustreznost omrežja javnega potniškega prometa v Ljubljanski urbani regiji z vidika razpršenosti poselitve. Geografski vestnik 84.
- Gabrovec, M., Razpotnik Visković, N. 2018: Dostopnost do javnega potniškega prometa kot pogoj za socialno vključenost dijakov. Geografski vestnik 90-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV90206>
- Gabrovec, M., Razpotnik Visković, N., Bole, D., Hrvatin, M., Repolusk, P., Tiran, J., Volk Bahun, M. 2019: Analiza dostopnosti javnega potniškega prometa s prepoznavanjem glavnih vrzeli v njegovi ponudbi. Ljubljana. Medmrežje: https://www.care4climate.si/_files/196/Izrocek-ZRC-SAZU.pdf
- Kozina, J. 2010: Modeliranje prostorske dostopnosti do postajališč javnega potniškega prometa v Ljubljani. Geografski vestnik 82-1.
- Malekzadeh, A., Chung, E., 2020: A review of transit accessibility models: Challenges in developing transit accessibility models. International Journal of Sustainable Transportation 14. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1625087>
- Medmrežje 1: <http://download.geofabrik.de/europe/slovenia-latest.osm.pbf>
- Medmrežje 2: <https://www.opentripplanner.org/> (5. 8. 2019).
- Metodološko pojasnilo – prebivalstvo, 2021. Statistični urad Republike Slovenije. Medmrežje: <https://www.stat.si/statweb/File/DocSysFile/7808> (10. 12. 2021).
- OpenStreetMap, spletna karta. Medmrežje: <https://www.openstreetmap.org/copyright> (10. 5. 2022).
- Pajk Koblar, V. 2021: Uporaba podatkovne baze OpenStreetMap za proučevanje dostopnosti. Magistrsko delo, Filozofska fakulteta univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&cid=132334> (1. 2. 2021)

- Paliska, D., Drobne, S., Fabjan, D. 2004: Uporaba GIS-a za proučevanje prostorske dostopnosti v analizi povpraševanja po storitvi JPP. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004, GIS v Sloveniji 7. Ljubljana.
- Pečar, J. 2020: Cilji regionalne politike Slovenije v obdobju 2021–2027. Urad RS za makroekonomske analize in razvoj. Ljubljana. Medmrežje: https://www.umar.gov.si/fileadmin/user_upload/publikacije/dz/2020/DZ3_2020.pdf (28. 5. 2021)
- Pereira, R.H.M., Grégoire, L. 2019: Tutorial with reproducible example to estimate a travel time matrix using OpenTripPlanner and Python. DOI: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3242134>
- Podatkovna baza voznih redov. Ministrstvo za infrastrukturo. Ljubljana, 2021.
- Register prostorskih enot - hišni naslovi, 2021. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2021.
- Saghapour, T., Moridpour, S., Thompson, R.G. 2016: Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density. *Journal of Transport Geography* 54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.06.019>
- Tiran, J., Lakner, M., Drobne, S., 2019: Modelling walking accessibility: A case study of Ljubljana, Slovenia. *Moravian Geographical Reports* 27. 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>
- Zhao, F., Chow, L.-F., Li, M.-T., Ubaka, I., Gan, A. 2003: Forecasting transit walk accessibility: regression model alternative to buffer method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1835-1. DOI: <https://doi.org/10.3141/1835-05>

GIS KOT ORODJE ZA ANALIZO POKRITOSTI SLOVENIJE S POLNILNIMI POSTAJAMI ZA ELEKTRIČNE AVTOMOBILE

dr. Klemen Prah, dr. Matjaž Knez

Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko

klemen.prah@um.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2610-3863>

matjaz.knez@um.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_14

UDK: 621.354:659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

GIS kot orodje za analizo pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile

Za spodbujanje uporabe električnih avtomobilov je pomembno racionalno načrtovati lokacije polnilnih postaj. V tem smislu je bilo analizirano stanje pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile (v nadaljevanju polnilnimi postajami). Z uporabo diskretnih in omrežnih modelov geografskih informacijskih sistemov ter s programsko opremo ArcGIS so bile opravljene analize gostote polnilnih postaj, bližine vzdolž cestnega omrežja ter gručenja. Ugotovljeno je bilo, da ima razporeditev polnilnih postaj prevladujoč smerni trend vzdolž avtoceste A1 Slovenika. Le 10,4% polnilnih postaj je dostopnih z najbližje avtoceste na razdalji 400 m ali manj. Ob danih nastavitvah je bilo ugotovljenih 10 skupin polnilnih postaj, od katerih najbolj izstopa skupina na območju Ljubljane. Prostorske analize v komplementarnosti dajejo neko celovito sliko pokritosti izbrane regije s polnilnimi postajami. Raziskava je pomembna kot preliminarna raziskava pri prostorskem načrtovanju polnilnih postaj.

KLJUČNE BESEDE

GIS, polnilne postaje za električne avtomobile, prostorska analiza, Slovenija

ABSTRACT

GIS as a tool for coverage analysis of electric vehicles charging stations in Slovenia

To encourage the use of electric cars, it is important to rationally plan the locations of charging stations. In this sense, the state of coverage of Slovenia with electric vehicles charging stations (EVCS) was analyzed. Using discrete and network models of geographic information systems and ArcGIS software, analyzes of charging station density, proximity along the road network and clustering were performed. It was found that the distribution of EVCS has a predominant directional trend along the A1 Slovenika motorway. Only 10.4% of EVCS are accessible from the nearest motorway at a distance of 400 meters or less. At the given settings, 10 clusters of charging stations were identified of which the cluster in the Ljubljana area stands out the most. Spatial analyzes in complementarity give some comprehensive picture of EVCS coverage. The survey is important as a preliminary survey in EVCS spatial planning.

KEY WORDS

GIS, electric vehicles charging stations, spatial analysis, Slovenia

1 Uvod

Električna vozila predstavljajo hitro razvijajočo se tehnologijo, ki terja od uporabnikov hitro prilagajanje. Električni avtomobili so ekonomična in ekološka vozila, ki pridobivajo moč iz polnilnih baterij v avtomobilu (Erbaš s sodelavci 2018). Ena glavnih pomanjkljivosti so težave s polnjenjem (Erbaš s sodelavci 2018). Zaradi tega morajo proizvajalci avtomobilov predvideti ne le poslovne priložnosti, ampak tudi razpoložljive vire, kot so polnilne postaje za električne avtomobile (Elliott 2018). Če pogledamo znani primer EV1, prvega množično proizvajanega in namensko zasnovanega električnega avtomobila moderne dobe, naj bi njegov propad domnevno povzročila med drugim nezadostna električna infrastruktura (Keeping Electric Vehicles Alive 2013). Ena ključnih rešitev za učinkovito in obsežnejšo uporabo električnih avtomobilov je torej ustrezna prostorska razporeditev polnilnih postaj za električne avtomobile (v nadaljevanju polnilne postaje).

S hitrim pojavom novih, inovativnih oblik potniškega prometa je lokacijska inteligenca geografskih informacijskih sistemov (GIS) pomembnejša kot kdaj koli prej (Elliott 2018). Glavni cilj te raziskave je s pomočjo GIS tehnik in metodologije ugotoviti pokritost Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile. Prav tako je cilj predstaviti najnovejše trende števila polnilnih postaj v Sloveniji. Izraz »pokritost« razumemo kot prostorske značilnosti polnilnih postaj, kot prispevek k razumevanju, kje in zakaj so nameščene.

Namen raziskave je prispevati k lažjemu odločanju o nadaljnjih ukrepih za uvajanje in izboljšanje infrastrukture polnilnih postaj.

Celovita raziskava je bila prvotno objavljena v reviji *Technical Gazette* (Prah, Kmetec in Knez 2022) in temelji primarno na podatkih spletnega portala Polni.si (Polni.si: Iskalnik polnilnih mest), pridobljenih leta 2019. V želji, da bi podatke posodobili s stanjem za leto 2022, je bilo ugotovljeno, da omenjena spletna stran ni ažurna in da sta prikaza stanja za 2019 in 2022 skoraj identična. Iz prakse pa vemo, da se je število polnilnih mest do leta 2022 bistveno povečalo. Zato analize GIS, ki bi temeljile na novejših prostorskih podatkih, niso bile izvedene, je pa raziskava opisno obogatena z najnovejšimi trendi števila polnilnih mest v Sloveniji.

2 Dosedanje raziskave

Prostorsko umeščanje (t. j. lociranje) objektov je pomembno raziskovalno področje (Church 2002). Raziskave, osredotočene na umščanje polnilnih postaj, so bile v zadnjih letih deležne veliko pozornosti. Številne študije so potrdile, da je izbira lokacije polnilnih postaj problem vrednotenja več kriterijev (Erbaš s sodelavci 2018; Zhou s sodelavci 2020). Številni članki opisujejo raziskave, namenjene preučevanju in optimizaciji umestitve polnilnih postaj. Avtorji so uporabili različne vrste metod odločanja, kot so na primer genetski algoritem (Pan s sodelavci 2020), optimizacija z roji delcev (Zhang s sodelavci 2019), problem maksimalne pokritosti (Dong s sodelavci 2019), analitični hierarhični proces (AHP) (Guler in Yomralioglu 2020) in drugo.

Splošna analiza lociranja (angl. *siting*) z GIS se je začela v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, na primer z Dobsonom (Dobson 1979). Na področju transporta se je raziskovalni GIS pojavil relativno pozno, in sicer šele v poznih osemdesetih. (Thill 2000). Natančneje, transportni sektor je postal zelo multidisciplinaren, GIS-i pa so bili postavljeni kot vrhunska tehnologija za integracijo informacij (Thill 2000). Postopek združevanja podatkovnih slojev, od katerih je vsak tehtan z določenim faktorjem, je danes mogoče enostavno izvesti v večini GIS-ov (Church 2002).

Tehnike multikriterijske analize odločanja (angl. *multi-criteria decision analysis*, MCDA), ki temeljijo na GIS-ih, se običajno uporabljajo za reševanje različnih problemov prostorskega odločanja, kot so izbor lokacij za vetrne elektrarne, občinska odlagališča odpadkov itd. Še vedno pa obstaja vrzel glede izbire lokacij polnilnih postaj (Erbaš s sodelavci 2018). Eden od nedavnih primerov izbire njihovih lokacij s pomočjo GIS-ov predstavlja delo Erbaša s sodelavci (2018).

Geografske informacijske sisteme so za določanje lokacij polnilnih postaj uporabljali tudi drugi avtorji, kot na primer Guler in Yomralioglu (2020), Zhou s sodelavci (2020) ter Pagany, Marquardt in Zink (2019). Shepero in Munkhammar (2018) sta razvila prostorski model markovske verige za modeliranje polnilne obremenitve električnih vozil v mestih. Nasprotno pa so bila orodja GIS v nekaterih študijah uporabljena bolj v obrobem smislu, na primer samo za predstavitev lokacij kandidatnih in optimalnih polnilnih postaj (Xu s sodelavci 2018).

V Sloveniji ostaja vrzel v raziskavah o pokritosti s polnilnimi postajami. Vemo, da ima v raziskavi Kneza s sodelavci (2014) kar 38 % ljudi iz preučenega vzorca zelo pozitiven odnos do nakupa vozil z nizkimi emisijami in nakup v bližnji prihodnosti tudi načrtujejo. Zato bi znanje o pokritosti s polnilnimi postajami v Sloveniji omogočilo nadaljnje raziskovalno delo za določitev optimalne razporeditve polnilnih postaj. Pri tem ima lahko geografska znanost pomembno vlogo, saj je dobro opremljena za poglobljeno razumevanje možnosti za alternativna goriva (Kuby 2006).

3 Metode dela

Preprost zemljevid polnilnih postaj za Slovenijo je na voljo na spletni strani Polni.si (Polni.si: Iskalnik polnilnih mest). V raziskavi se lotevamo analize in predstavitve pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami, pri čemer je glavni poudarek na uporabi GIS tehnologije. GIS-i so računalniško podprti sistemi za zajemanje, shranjevanje, upravljanje, prikaz in analizo geografskih informacij. Njihova osnovna sposobnost je integracija informacij. Velika verjetnost je, da se bo zaradi integracije ustvaril nek nov vpogled v informacije (Fotheringham 2000), kar bo imelo pomembno vlogo pri odločanju.

V naši raziskavi sta pomembni dve vrsti GIS modelov. Prvič, diskretni modeli, pri katerih diskretne entitete, kot so na primer polnilne postaje, naseljujejo prostor. Drugič, omrežni model, ki predstavlja topološko povezane linijske entitete, to je ceste, ki vplivajo na polnilne postaje. Nedvomno pa je učinkovitost GIS analize odvisna od kakovosti prostorskih podatkov.

Pri GIS analizi pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami smo dali velik poudarek tehnikam prostorske analize in GIS orodjem. Prostorska analiza (ali geoprostorska analiza ali analiza prostorskih podatkov) se nanaša na problemski vidik uporabe GIS-ov (Allen 2009) in predstavlja samo en kontekst znotraj širšega koncepta analize geografskih informacij. Slednji se pojavlja tudi z drugimi konteksti, kot so upravljanje prostorskih podatkov, prostorska statistična analiza in prostorsko modeliranje (O'Sullivan in Unwin 2010). Analiza geografskih informacij se ukvarja z raziskovanjem vzorcev, ki nastanejo kot posledica procesov v prostoru (O'Sullivan in Unwin 2010); geovizualizacija ima pri takšni analizi ključno mesto (de Smith, Goodchild in Longley 2018).

Za analizo smo vse prostorske podatkovne sloje pripravili v obliki vektorskih slojev formata shapefile. Vse GIS analize so bile izvedene s programsko opremo ArcGIS for Desktop, različica 10.8.1, in ArcGIS Pro, različica 2.4. Da bi ugotovili zvezo med številom polnilnih postaj v občinah in gostoto prebivalstva občin, smo izračunali Pearsonov korelacijski koeficient (Pearson 1895) in polinomsko regresijo (Gergonne 1974). Slednja pomeni nelinearno zvezo med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami.

V nadaljevanju smo se osredotočili na Slovenijo kot celoto. Ocenili smo značilnosti gostote polnilnih postaj in v ta namen ustvarili neprekinjen prikaz gostote (angl. *continuous density surface*), ki temelji na variaciji osnovne ocene jedrne gostote (angl. *kernel density*) (O'Sullivan in Unwin 2010). Drugič, za določitev geografske porazdelitve smo izračunali standardno deviacijsko elipso polnilnih postaj.

Ker so zgornje analize namigovala na očitno zvezo med polnilnimi postajami in avtocestami, smo to razmerje podrobneje preučili. Ker vsebuje analiza razdalje ravnih linij inherentno pomanjkljivost pri obravnavi cestnih omrežij, smo modelirali cestno prometno omrežje in analizirali bližino polnilnih mest ob avtocestah. Uporabljeni algoritem analize stroškovne matrike izvora-destinacije (angl. *OD cost matrix*) temelji na Dijkstrovem algoritmu drevesa najkrajše poti (Dijkstra 1959).

Za vzpostavitev statistične utemeljitve in ravni statistične zanesljivosti analize prostorskih vzorcev polnilnih postaj smo študijo nadgradili z dvema vrstama analize. Prvi je izračun indeksa povprečnega najbližjega sosesa (angl. *average nearest neighbour index*), drugi pa je t. i. *ordering points to identify the clustering structure* ali na kratko OPTICS (Ankerst s sodelavci 1999). S prvim smo ugotavljali, ali obstaja statistično pomemben nivo gručenja polnilnih postaj. Drugega smo uporabili za odkrivanje območij, kjer so skoncentrirane polnilne postaje in za raziskovanje notranje strukture skupin.

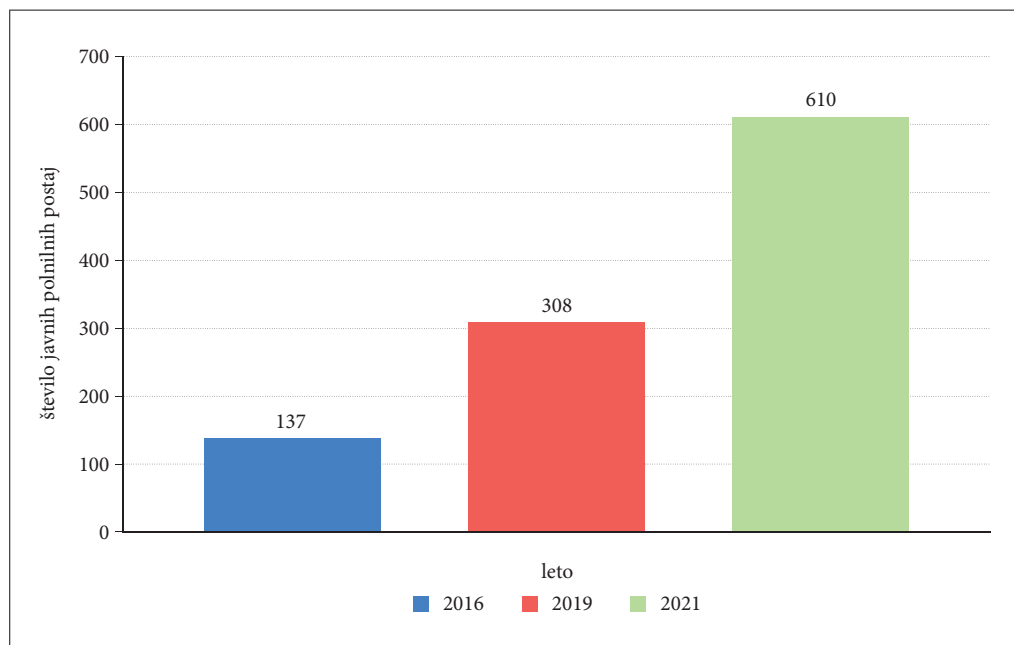
4 Rezultati

Za leto 2019 je bilo na osnovi zemljevida Polni.si (Polni.si: Iskalnik polnilnih mest) ugotovljeno, da je imela Slovenija 308 javnih polnilnih postaj s skupno 637 polnilnimi priključki (Prah, Kmetec in Knez 2022). Pomožne polnilne postaje (t. j. tiste za avtodome in zasebne) niso bile vštete. Med omejenimi 308 javnimi polnilnimi postajami so bile le tri superpolnilne postaje podjetja Tesla, in sicer na lokacijah počivališča v Dogošah pri Mariboru, pri Hotelu Mons na Brdu in na počivališču Ravne na Primorskem (Supercharger | Tesla Europe).

Tri leta poprej, torej konec leta 2016, je bilo v Sloveniji le 137 javnih polnilnih postaj (Pavšič 2017).

Za konec leta 2021 ugotavljamo, da ima Slovenija po podatkih *European Automobile Manufacturers Association* 129 hitrih in 481 klasičnih polnilnic, kar je skupno 610 polnilnic. Delež hitrih je 21 %, kar je precej nad evropskim povprečjem, ki je 11 % (Pavšič 2021). Slika 1 prikazuje rast števila javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji med letoma 2016 in 2021.

Slovenija je razdeljena na 212 občin, od katerih jih ima 12 mestni status. Leta 2019 je bilo kar 68 od 308 polnilnih postaj skoncentriranih v Mestni občini Ljubljana. Mestna občina Maribor v severovzhodnem delu Slovenije je bila na drugem mestu s 24 polnilnimi postajami. Nato sledi 14 občin, ki



Slika 1: Gibanje števila javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji med letoma 2016 in 2021 (Vir: Pavšič 2017; Polni.si: Iskalnik polnilnih mest; Pavšič 2021).

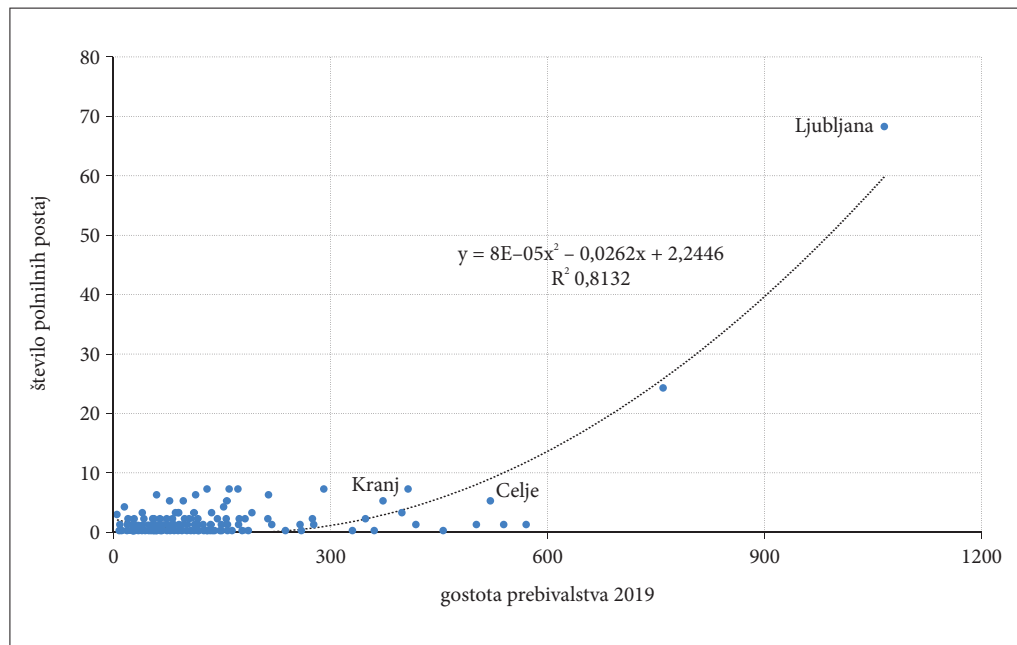
so imele od 5 do 7 polnilnih postaj, 35 občin z 2 do 4 polnilnimi postajami, 49 občin z 1 polnilno postajo in 113 občin brez polnilnih postaj.

Jakost korelacije med številom polnilnih postaj v občini in gostoto prebivalstva v občini za leto 2019 je 0,65. Pri izračunu polinomske regresije je vrednost za R^2 0,81, kar kaže na povezavo med spremenljivkama, oziroma 81 % sprememb v številu polnilnih postaj pripisujemo spremembam v gostoti prebivalstva (slika 2).

4.1 Gostota polnilnih postaj v Sloveniji

Da bi ugotovili, kako so polnilne postaje razporejene na celotnem območju Slovenije, smo ugotavljali njihovo gostoto. Na podlagi podatkov o lokacijah polnilnih postaj smo ustvarili rastrski podatkovni sloj gostote. Izračun temelji na sofisticirani različici osnovne metode ugotavljanja jedrne gostote, pri čemer je rezultat neprekinjeno površje gostote (O'Sullivan in Unwin 2010). Izbrali smo velikost celice 1 km², kar je ustvarilo še sprejemljivo ločljivost, in polmer iskanja, tako imenovano pasovno širino jedra, 20 km. Izhodne vrednosti za jedrno gostoto so prikazane na sliki 3. Izstopata dve žarišči. Še posebej izstopajoče je tisto v osrednji Sloveniji na območju Ljubljane, kjer se najvišje vrednosti gibljejo med 0,167 in 0,149 polnilnih postaj na km². Drugo žarišče, nekoliko manj izrazito, pa je v severovzhodnem delu Slovenije na območju Maribora, kjer se najvišje vrednosti giblje med 0,093 in 0,074 polnilnih postaj na km². V obeh primerih gre za območja z največjo gostoto prebivalstva.

Oblika nakazuje na diagonalni potek večje gostote polnilnih postaj, in sicer od severovzhodnega dela Slovenije do obalnega jugozahodnega dela. Tukaj imajo jedra, kot so Murska Sobota, Celje in Koper–Portorož le nekoliko povečano jedrno gostoto, in sicer med 0,037 in 0,019 polnilnih postaj na km². Vidna je tudi diagonala, ki poteka od severozahoda proti jugovzhodu, od Bleda čez Kranj do Ljubljane. Pri vrednosti 30 km za polmer iskanja pri ugotavljanju jedrne gostote opazimo da se ta diagonala podaljša do Novega mesta (slika 4) (Prah, Kmetec in Knez 2022).



Slika 2: Polinomske regresijske model 2. stopnje med spremenljivkama gostote prebivalstva in števila javnih polnilnih postaj za električne avtomobile po občinah za leto 2019.

Prva omenjena diagonala primarno sovпада s krakom A1 »Slovenika« slovenskega avtocestnega križa, vključno z nekaterimi večjimi mesti, kot so Murska Sobota (ob avtocesti A5), Celje in obalna mesta. Avtocesta A1 v večjem delu sovпада z zelo prometnim 5. panevropskim prometnim koridorjem, kakor tudi s sredozemskim koridorjem panevropskega prometnega omrežja (TEN-T).

Druga omenjena diagonala sovпада s krakom A2 »Ilirika« slovenskega avtocestnega križa, z izstopajočim severozahodnim krakom, kjer ima Kranj že nekoliko višje vrednosti, in sicer med 0,056 in 0,037 polnilne postaje na km².

4.2 Analiza bližine polnilnih postaj vzdolž prometnega omrežja

Analiza, ki upošteva evklidsko razdaljo, ima pri obravnavi ulic ali drugih vrst omrežij inherentno napako (Allen 2009). Namreč meritve evklidske razdalje lahko prečkajo območja, do katerih omrežje ne dostopa. Da bi to napako presegli, smo izvedli omrežno analizo bližine (angl. *nearness*) vzdolž transportnega omrežja. Konkretno nas je zanimala bližina polnilnih postaj ob cestah najvišjega nivoja, torej avtocestah. Z naravovarstvenega vidika imajo avtoceste zaradi izpustov negativen vpliv na okolje, zaradi česar so ugodni pogoji glede uporabe baterijskih električnih avtomobilov toliko pomembnejši. Philipsen s sodelavci (2016) ugotavlja, da je pri voznikih malo pripravljenosti za dolge obvoze v smislu zapuščanja avtoceste za polnjenje baterij.

Na osnovi podatkovnega sloja cest (Navteq 2008) smo z razširitvijo Network Analyst programske opreme ArcGIS for Desktop 10.8.1 ustvarili model cestnega omrežja, t. i. *network dataset*. Nato smo izvedli omrežno analizo tipa stroškovna matrika izvor–destinacija (angl. *origin–destination cost matrix*). Ta uporablja algoritem več izvorov in več destinacij, ki temelji na Dijkstrovem algoritmu drevesa najkrajše poti (Dijkstra 1959).

Rezultati (preglednica 1, slika 5) kažejo, da je le 32 ali 10,4 % polnilnih postaj dostopnih z najbližje avtoceste na razdalji 400 m ali manj. Nadalje je 41 ali 13,3 % polnilnih postaj dostopnih na razdalji od 400 do 1000 m. Ostalih 235 76,3 % polnilnih postaj je je dostopnih na razdalji, večji od 1 km, od tega 100 polnilnih postaj na razdalji, večji od 4 km.

Polnilne postaje je mogoče opaziti vzdolž vseh slovenskih avtocest (slika 5). Glede na to, da postajajo električni avtomobili čedalje zmogljivejši, se bo njihova uporaba na avtocestah povečala. Zaradi tega bo v prihodnje potrebno analizirati, kje ob avtocestah namestiti nove polnilne postaje.

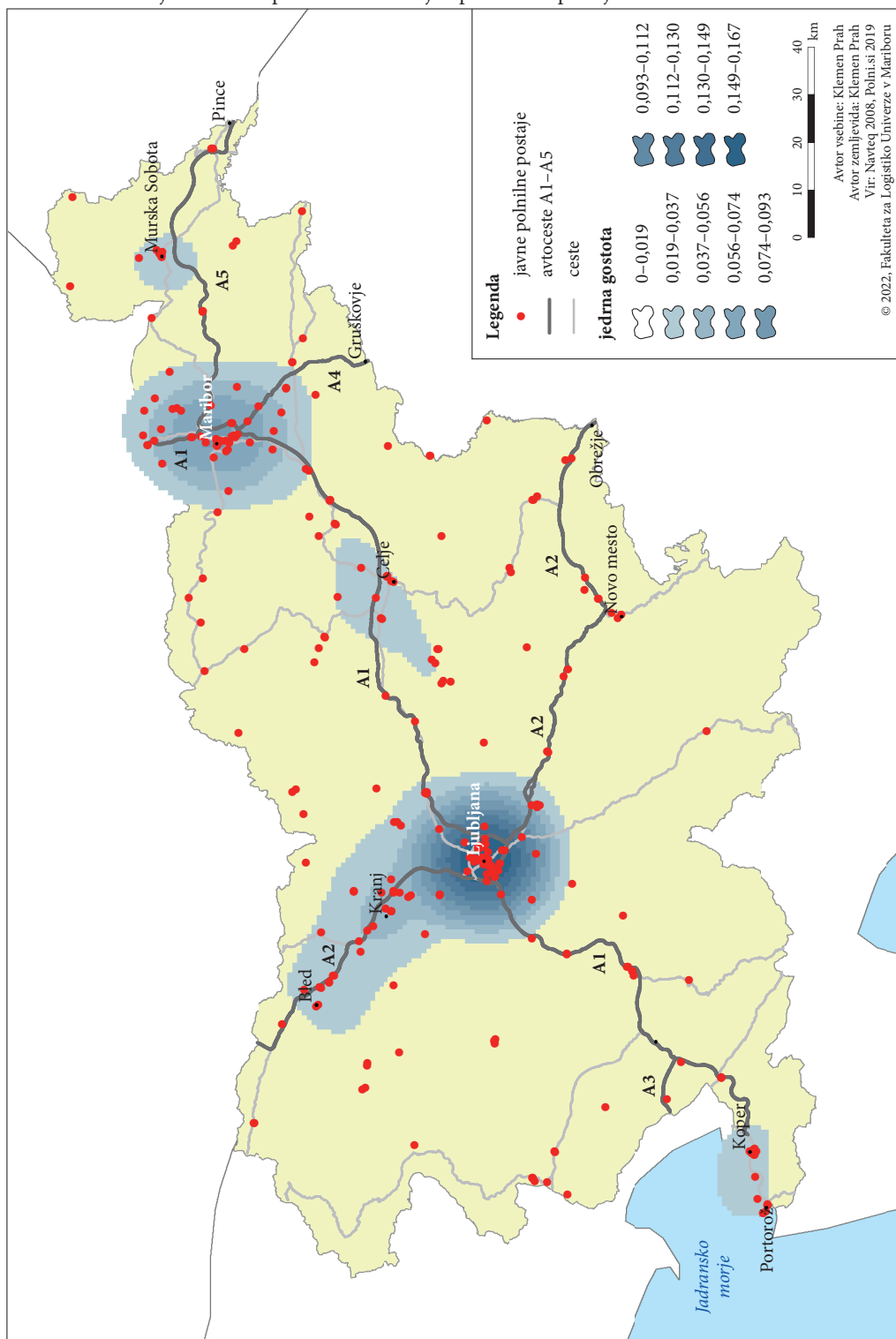
Preglednica 1: Bližina polnilnih postaj za električne avtomobile najbližji avtocesti.

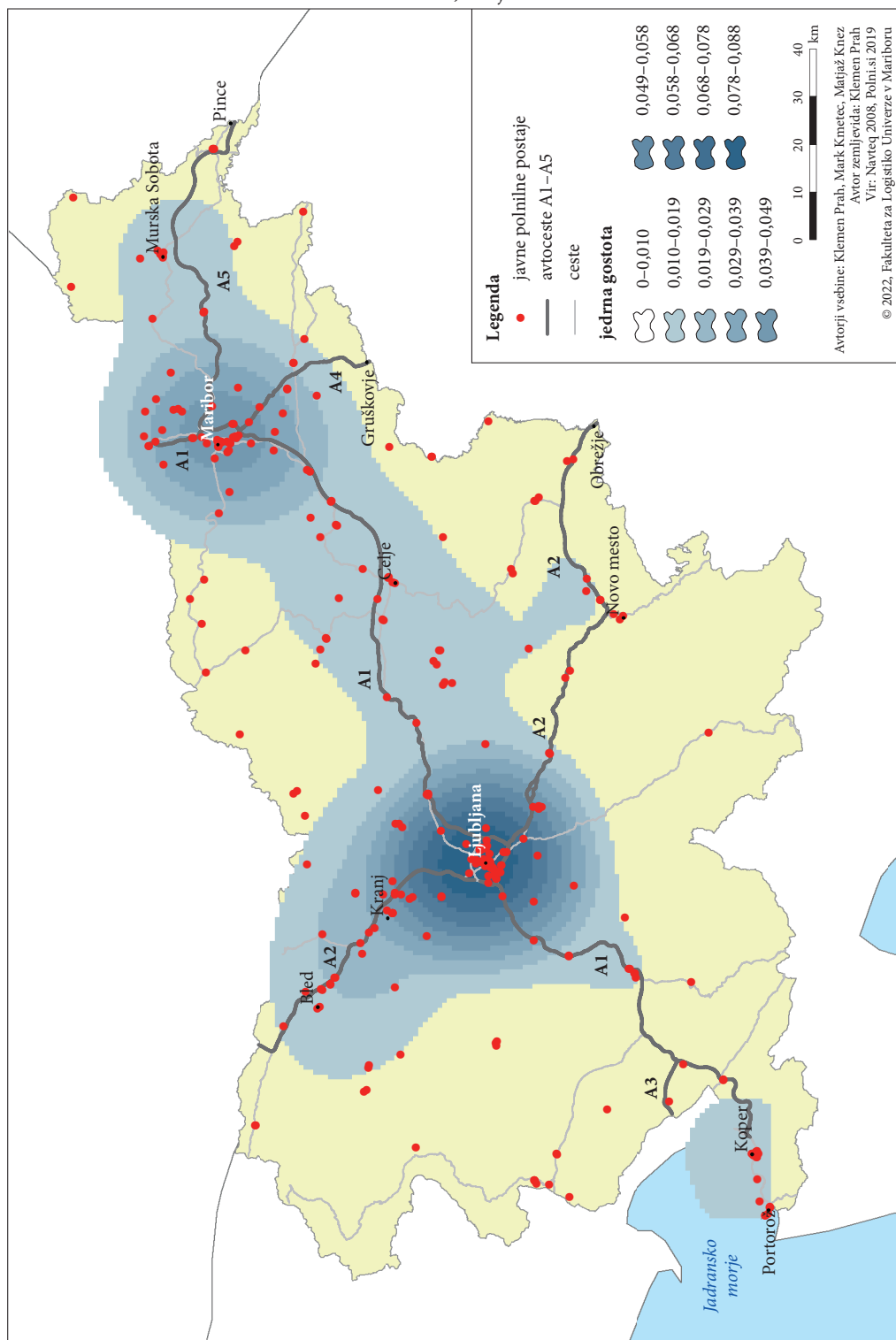
| omrežna razdalja v metrih | število polnilnih postaj |
|---------------------------|--------------------------|
| do 200 | 8 |
| 201 do 400 | 24 |
| 401 do 1000 | 41 |
| 1001 do 2000 | 56 |
| 2001 do 4000 | 79 |
| nađ 4000 | 100 |
| skupaj | 308 |

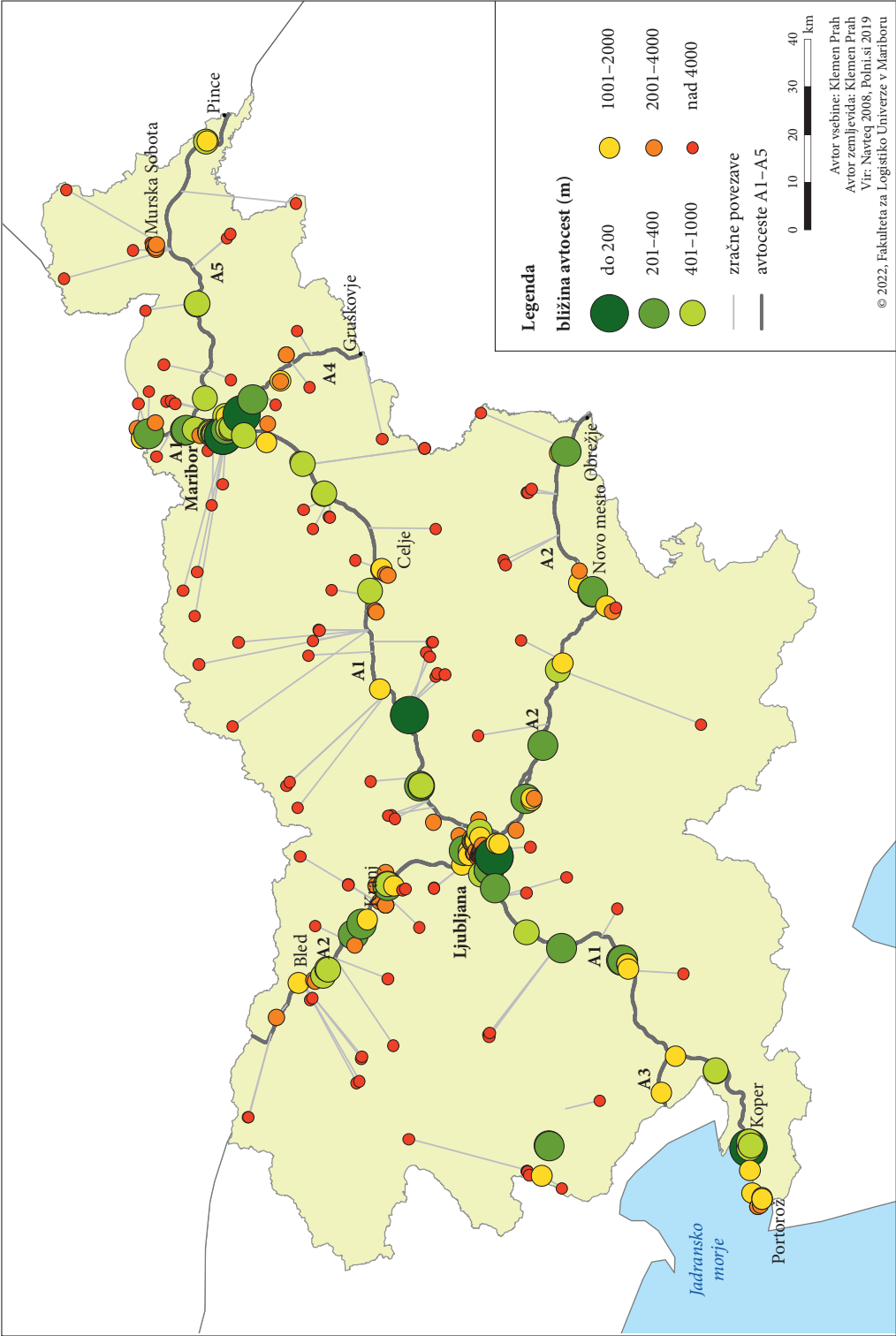
Slika 3: Jedrna gostota javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji leta 2019 pri velikosti celice 1 km² in polmeru iskanja 20 km. ► (str. 189)

Slika 4: Jedrna gostota javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji leta 2019 pri velikosti celice 1 km² in polmeru iskanja 30 km. ► (str. 190)

Slika 5: Bližina polnilnih postaj za električne avtomobile najbližji avtocesti. ► (str. 191)







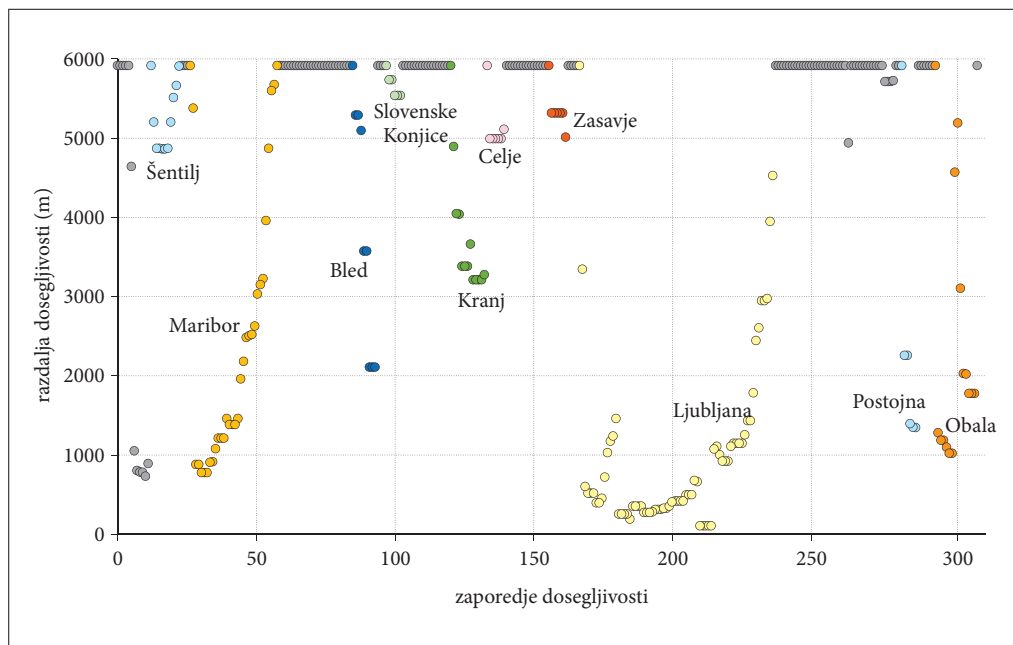
4.3 Analiza vzorcev razporeditve polnilnih postaj

Analize so nakazale prostorske vzorce razmestitve polnilnih postaj v Sloveniji. Da bi te prostorske vzorce podrobneje preučili, smo izvedli dve vrsti analize. Prva je izračun indeksa povprečne oddaljenosti najbližjega sosedu (angl. *average nearest neighbour index*), druga pa je združevanje v skupine na podlagi gostote (angl. *density-based clustering*). Pri slednji smo izbrali metodo *ordering points to identify the clustering structure* (OPTICS) (Ankerst s sodelavci 1999).

Da bi ugotovili, ali so lokacije polnilnih postaj bližje skupaj, kot bi pričakovali z naključno porazdelitvijo, smo torej izračunali indeks povprečne oddaljenosti najbližjega sosedu. Indeks izraža razmerje med opazovano razdaljo, deljeno z razdaljo hipotetičnih podatkov (Allen 2009). Pri tem imamo opravka s 308 postajami, razporejenimi po Sloveniji. Rezultat kaže, da je opazovana povprečna razdalja med vsako polnilno postajo in njenim najbližjim sosedom 2082 m, povprečna razdalja za hipotetično porazdelitev je 4666 m, indeks najbližjega sosedu kot razmerje pa je 0,45. Kadar je slednji manjši od 1, kaže vzorec na združevanje v skupine, kadar pa je indeks večji od 1, kaže vzorec na razpršenost. Ker je v našem primeru indeks manjši od 1, to pomeni gručasto porazdelitev polnilnih postaj. Vrednost z znaša -18,6, kar pomeni, da lahko z 99-odstotno verjetnostjo trdimo, da gručasta porazdelitev polnilnih postaj ni naključna. Tega ne bi mogli trditi, če bi se vrednost z gibala med -2,58 in +2,58.

Prednost metode OPTICS je v tem, da izračuna obogateno razvrščanje v skupine. Takšno razvrščanje vsebuje informacije, ki so enakovredne razvrščanju v skupine na osnovi gostote in ustreza dokaj obsežnemu naboru nastavitvev parametrov. Razvrščanje v skupine je mogoče predstaviti tudi grafično, kar omogoča interaktivno raziskovanje njihove notranje strukture (Ankerst s sodelavci 1999).

Pri analizi OPTICS smo uporabili sledeče nastavitve: minimalno število objektov v skupini je 6, iskalna razdalja je 6 km, senzitivnost skupin je 2. Parameter senzitivnosti skupin določa, kako se oblika (naklon in višina) vrhov znotraj grafa dosegljivosti (slika 6) uporablja za ločevanje skupin. Vrednost 2 za senzitivnost skupin spada med nizke vrednosti, saj je razpon možnih vrednosti celih števil med 0 in 100.



Slika 6: Dosegljivost in skupine polnilnih postaj za električne avtomobile.

Izbira nizke vrednosti za parameter senzitivnosti skupin obravnava le strme, visoke vrhove za ločevanje med skupinami, kar ima za posledico manjše število skupin (how density-based clustering works). Kot rezultat je bilo zaznanih 10 skupin, ki skupaj zajemajo 176 polnilnih postaj (slika 6). Preostalih 132 polnilnih postaj predstavlja šum. Najbolj izrazita je skupina na območju Ljubljane z značilno dolino na grafu dosegljivosti, kar pomeni, da je potrebno od ene polnilne postaje do druge prepotovati le kratko razdaljo. Povedano drugače, majhne razdalje dosegljivosti in nizka dolina na grafu kažejo na gosto skupino polnilnih postaj na območju Ljubljane. Skupini z razmeroma velikim razponom zaporedja dosegljivosti in precej majhnimi razdaljami dosegljivosti opazimo tudi na območjih Maribora in Obale, kar je mogoče razložiti s precej velikim številom polnilnih postaj in precej gostimi skupinami. Ugotovljene so bili tudi druge, manj izrazite skupine. Z razmeroma majhno razdaljo dosegljivosti je opazna skupina polnilnih postaj na območju Postojne. Skupini na območju Kranja in Bleda sovpadata s severozahodnim krakom avtoceste A2 Ilirika.

Ob povečevanju razdalje dosegljivosti se pojavijo še sledeče skupine: Šentilj, Celje, Zasavje in Slovenske Konjice. Šentilj leži ob meji z Avstrijo. Skozenj potekata avtocesta A1 Slovenika in X. panevropski prometni koridor. Med drugim je kraj znan po igralniškem turizmu. Celje je četrto največje mesto v Sloveniji. Mimo poteka avtocesta Maribor–Ljubljana (A1). Skupino na območju Celja sestavlja sedem polnilnih postaj in se nahaja v zgornjem delu grafa, kar pomeni večje razdalje dosegljivosti in zato manj gosto skupino.

V predhodni raziskavi (Prah, Kmetec in Knez 2022) so bile uporabljene druga

ne nastavitve parametrov za analizo OPTICS, in sicer minimalno atevilo objektov v skupini je bilo 5, iskalna razdalja je bila 5 km, senzitivnost skupin pa je bila 1. V primerjavi z omenjeno predhodno raziskavo, ki je opredelila 11 skupin, na sedanjem grafu nista opredeljeni skupini na območju Nove Gorice in Grosupljega, medtem ko je opredeljena skupina na območju Slovenskih Konjic. Nastavitve parametrov za analizo pomembno vplivajo na rezultate, še posebej na opredelitev manj izrazitih skupin.

5 Sklep

V prispevku smo uporabili nekaj metod za preučevanje pokritosti s polnilnimi postajami na primeru Slovenije. Pri tem pokritost pomeni prostorske značilnosti polnilnih postaj, da bi razumeli, kje in zakaj so te razporejene. Glavna prednost pristopa je kombinacija uporabe GIS tehnologije in prostorske analize.

Demonstrirali smo pristop, ki zajame sledeče analize v smiselnem zaporedju. Na začetku smo se osredotočili na občine ter izračunali Pearsonov korelacijski koeficient in polinomsko regresijo med spremenljivkama polnilnih postaj in gostote prebivalstva. Nadaljevali smo s Slovenijo kot celoto. Ustvarili smo rastrski podatkovni sloj, ki prikaže gostoto polnilnih postaj kot neprekinjeno površje. Da bi presegli inherentno pomanjkljivost zračne razdalje, smo ustvarili model cestnega omrežja in izvedli analizo stroškovne matrike izvor–destinacija. Za vzpostavitev statistične podlage in ravni statistične zanesljivosti analize vzorcev smo izračunali indeks povprečne razdalje najbližjega sosa ter izvedli analizo OPTICS. Pri slednji je bilo zaznanih 10 skupin, od katerih najbolj izstopa skupina na območju Ljubljane.

V raziskavi je kombinacija več vrst analiz smiselna. Tako na primer analiza jedrne gostote daje rezultat o lokaciji žarišč in območij z večjo gostoto polnilnih postaj, kar je koristno za vizualizacijo točkovnega vzorca. Toda za opredelitev skupin polnilnih postaj po smiselnih kriterijih in za raziskovanje notranje strukture skupin je bila potrebna analiza OPTICS.

Dejavniki, ki vplivajo na pokritost s polnilnimi postajami, kot so gostota prebivalstva, bližina avtoceste itd., bi bili potrebni nadaljnje poglobljene analize, da bi natančneje ugotovili njihov vpliv. V ta namen bi lahko bila ustrezna na primer geografsko tehtana regresijska analiza.

Pristop lahko služi kot ideja za podobne raziskave v regijah različnih ravni. V nadaljnje raziskave bi bilo smiselno vključiti tudi druge dejavnike, ki vplivajo na pokritost s polnilnimi postajami, zlasti družbene.

6 Viri in literatura

- Allen, D. 2009: GIS tutorial II, Spatial analysis workbook. Redlands.
- Ankerst, M., Breunig, M. M., Kriegel, H.-P., Sander, J. 1999: OPTICS: Ordering points to identify the clustering structure. ACM SIGMOD Record 28-2. DOI: <https://doi.org/10.1145/304181.304187>
- Church, R. L. 2002: Geographical information systems and location science. Computers & Operations Research, 29-6. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00104-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00104-5)
- de Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. 2018: Geospatial Analysis, A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Medmrežje: <https://www.spatialanalysisonline.com/extractv6.pdf> (1.3.2019).
- Dijkstra, E. W. 1959: A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01386390>
- Dobson, J. E. 1979: A regional screening procedure for land use suitability analysis. Geographical Review 69-2. DOI: <https://doi.org/10.2307/214965>
- Dong, G., Ma, J., Wei, R., Haycox, J. 2019: Electric vehicle charging point placement optimisation by exploiting spatial statistics and maximal coverage location models. Transportation Research Part D: Transport and Environment 67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.005>
- Elliott, C. 2018: As Personal Car Ownership Falls, Automaker Innovation Rises. Medmrežje: <https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/twilight-of-car-ownership/> (29.3.2022)
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., Çetinkaya, C. 2018: Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. Energy 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.140>
- Fotheringham, A. S. 2000: GIS-based Spatial Modelling: A Step Forwards or a Step Backwards? Spatial Models and GIS, New and Potential Models, GISDATA 7. Philadelphia.
- Gergonne, J. D. 1974: The application of the method of least squares to the interpolation of sequences. Historia Mathematica 1-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/0315-0860\(74\)90034-2](https://doi.org/10.1016/0315-0860(74)90034-2)
- Guler, D., Yomralioglu, T. 2020: Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS. Annals of GIS 26-2. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1737226>
- How Density-based Clustering works. Medmrežje: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/how-density-based-clustering-works.htm> (15.4.2020).
- Keeping Electric Vehicles Alive, 2013. Medmrežje: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/keeping-electric-vehicles-alive/> (29.3.2022)
- Knez, M., Jereb, B., Obrecht, M. 2014: Factors influencing the purchasing decisions of low emission cars: A study of Slovenia. Transportation Research Part D: Transport and Environment 30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.007>
- Kuby, M. 2006: Prospects for geographical research on alternative-fuel vehicles. Journal of Transport Geography 14-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.02.008>
- Navteq NAVSTREETS Street Data 2008. NAVTEQ.
- O'Sullivan, D., Unwin, D. 2010: Geographic Information Analysis, Second edition. New Jersey.
- Pagany, R., Marquardt, A., Zink, R. 2019: Electric Charging Demand Location Model – A User- and Destination-Based Locating Approach for Electric Vehicle Charging Stations. Sustainability 11-8. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11082301>
- Pan, L., Yao, E., Yang, Y., Zhang, R. 2020: A location model for electric vehicle (EV) public charging stations based on drivers' existing activities. Sustainable Cities and Society 59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102192>

- Pavšič, G. 2017: Grožnja iz Bruslja: Sloveniji na pomoč le avtomobilski »salto«? Medmrežje: <https://siol.net/avtomoto/zgodbe/elektricni-avti-v-sloveniji-koliko-jih-potrebuje-mo-leta-2030-da-drzava-uide-penalom-iz-bruslja-449808> (1.4.2019).
- Pavšič, G. 2021: Je stanje še slabše? Opozorilo iz Evrope, ki pa ne pove vsega. Medmrežje: <https://siol.net/avtomoto/novice/je-stanje-se-slabse-opozorilo-iz-evrope-ki-pa-ne-pove-vsega-565054> (1.2.2022)
- Pearson, K. 1895: Note on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London* 58. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspl.1895.0041>
- Philipsen, R., Schmidt, T., van Heek, J., Ziefle, M. 2016: Fast-charging station here, please! User criteria for electric vehicle fast-charging locations. *Transportation Research Part F, Traffic Psychology and Behaviour* 40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.04.013>
- Polni.si: Iskalnik polnilnih mest. Medmrežje: <http://polni.si/index.php> (1.2.2019)
- Prah, K., Kmetec, M., Knez, M. 2022: Electric Vehicle Charging Stations Coverage: A Study of Slovenia. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette* 29-1. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20200518121739>
- Shepero, M., Munkhammar, J. 2018: Spatial Markov chain model for electric vehicle charging in cities using geographical information system (GIS) data. *Applied Energy* 231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.175>
- Supercharger | Tesla Europe. Medmrežje: https://www.tesla.com/en_EU/supercharger (5.4.2019)
- Thill, J.-C. 2000: Geographic information systems for transportation in perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 8-1. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0968-090X\(00\)00029-2](https://doi.org/10.1016/S0968-090X(00)00029-2)
- Xu, J., Zhong, L., Yao, L., Wu, Z. 2018: An interval type-2 fuzzy analysis towards electric vehicle charging station allocation from a sustainable perspective. *Sustainable Cities and Society* 40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.010>
- Zhang, Y., Zhang, Q., Farnoosh, A., Chen, S., Li, Y. 2019: GIS-Based Multi-Objective Particle Swarm Optimization of charging stations for electric vehicles. *Energy* 169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.062>
- Zhou, J., Wu, Y., Wu, C., He, F., Zhang, B., Liu, F. 2020: A geographical information system based multi-criteria decision-making approach for location analysis and evaluation of urban photovoltaic charging station: A case study in Beijing. *Energy Conversion and Management* 205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112340>

KVANTITATIVNA KATEGORIZACIJA PLANINSKIH POTI NA IZBRANIH OBMOČJIH KAMNIŠKO-SAVINJSKIH ALP

Tinkara Mazej, dr. Blaž Repe, dr. Marko Krevs

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo

tmazej@gmail.com

blaz.repe@ff.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5530-4840>

marko.krevs@ff.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3239-554>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_15

UDK: 796.52(234.323.63)

659.2:004.91(234.323.63)

IZVLEČEK

Kvantitativna kategorizacija planinskih poti na izbranih območjih Kamniško-Savinjskih Alp

V prispevku je predstavljena zasnova, izvedba in ovrednotenje geoinformacijsko podprte kvantitativne kategorizacije planinskih poti na izbranem območju. Kategorizacija temelji na kombinaciji kriterijev, opredeljenih glede na naklone 100-metrskih in 5-metrskih odsekov poti ter izpostavljenostjo odsekov poti, opredeljenih na podlagi kombinacije naklona površja in pokrovnosti tal. Poleg kategorizacije smo poiskali tudi nevarne 5-metrške odseke, kjer bi bilo za večjo varnost pohodnikov morda smiselno postaviti varovala. Metodologijo smo preizkusili na dveh območjih v Kamniško-Savinjskih Alpah. V visokogorju se je 12 poti uvrstilo med zelo zahtevne, dve med zahtevne, lahkkih poti pa ni bilo. V nižje ležečem delu preučevanega območja je bila ena pot kategorizirana kot lahka pot, tri poti kot zahtevne poti, zelo zahtevnih poti pa ni bilo. V visokogorskem delu preučevanega območja smo prepoznali 189 nevarnih 5-metrskih odsekov planinskih poti.

KLJUČNE BESEDE

GIS, planinarjenje, digitalni model višin, analiza reliefa, geoinformacijska podpora vrednotenju, kategorizacija planinskih poti

ABSTRACT

Quantitative categorisation of mountain trails in selected areas in the Kamink–Savinja Alps

This paper presents the design, implementation, and evaluation of a geoinformation-based quantitative categorization of mountain trails in study area. The categorization is based on a combination of criteria defined in terms of the slopes of 100 m and 5 m trail segments and the exposure of trail segments defined based on a combination of surface slope and land cover. In addition to categorization, we also looked for dangerous 5-m sections where it might be appropriate to install protective devices to increase hiker safety. The methodology was tested in two areas in the Kamnik–Savinja Alps. In the high mountain area, 12 trails were classified as very difficult, two as difficult and none as easy. In the lower altitude part of the study area, one trail was classified as easy, three trails as difficult and none as very difficult. In the high mountain part of the study area, 189 dangerous 5-m sections of mountain trails were discovered.

KEY WORDS

GIS, mountaineering, DEM, relief analysis, GIS-based evaluation support, categorisation of mountain trails

1 Uvod

Pohodništvo predstavlja enega izmed najbolj priljubljenih načinov rekreacije v Sloveniji. Za pohodnika je ključna izbira poti, ki ustreza njegovim kondicijskim sposobnostim in izkušnjam z gibanjem v zahtevnejših pogojih. Kategorizacija planinskih poti je torej ključna za pohodnikovo izbiro sebi primerne poti (Gradič Oset 2021). Kategorizacije planinskih poti (tudi slovenska) so praviloma opisne in izkustvene, kar pomeni, da so v precejšnji meri subjektivne (Zakon ... 2007). Posledično uporabniki neredko naležijo na kategorizacijo, ki se razlikuje od dejanskih razmer na poti. Takšna neskladja med informacijo, njenim razumevanjem ter tudi dejanskim stanjem so na poti ponekod tudi pričakovana (Gradič Oset 2020). Objektivna, kvantitativna klasifikacija bi lahko odpravila vsaj del tovrstnih neskladij.

Namen prispevka je priprava, izvedba in ovrednotenje geoinformacijsko podprte kvantitativne kategorizacije planinskih poti na izbranih poteh v Kamniško-Savinjskih Alpah. Med cilji, ki smo si jih zastavili, so:

- izbira kriterijev za kategorizacijo,
- zasnova metode kvantitativne kategorizacije planinskih poti,
- izvedba geoinformacijsko podprte kvantitativne kategorizacije planinskih poti na izbranih poteh,
- prepoznavanje nevarnih odsekov poti, na katerih bi bilo smiselno postaviti varovala,
- ocena skladnosti rezultatov kvantitativne kategorizacije z obstoječo kvalitativno klasifikacijo planinskih poti.

Kategorizacijo planinskih poti v Sloveniji urejata Pravilnik o kategorizaciji planinskih poti (2008) in Zakon o planinskih poteh (2007). Poti so, glede na tehnično zahtevnost, razvrščene v tri kategorije, kategorizacija pa je opisna. Lahka planinska pot je pot, po kateri se gibamo z običajno planinsko opremo. Kadar lahka planinska pot preči strmo pobočje, mora biti dovolj široka, da omogoča varno hojo tudi manj izurjenim pohodnikom. Od njih se zahteva le pazljivost, telesna pripravljenost in primerna obutev. Zahtevna planinska pot je pot, kjer si na posameznih težjih mestih pomagamo z rokami. Varovalne naprave ima vgrajene z namenom ohranjanja boljšega ravnotežja pohodnika. Od pohodnikov se zahteva pazljivost, telesna pripravljenost in primerna oprema. Zelo zahtevna planinska pot je pot, kjer je uporaba rok nujna, ima vgrajene kline in jeklenice, ki nam omogočijo varen prehod na območjih, ki bi bila sicer za običajne pohodnike neprehodna. Priporočljiva je uporaba samovarovalnega kompleta, čelade, plezalnega pasu, s čimer se pohodnik dodatno zavaruje. Odseke planinskih poti so vrednotili strokovnjaki: urednik kartografije Planinske zveze Slovenije, markacisti, inštruktorji planinske vzgoje, urednik katastra planinskih poti, recenzenti planinskih zemljevidov, avtorji planinskih vodnikov (Rotovnik 2016).

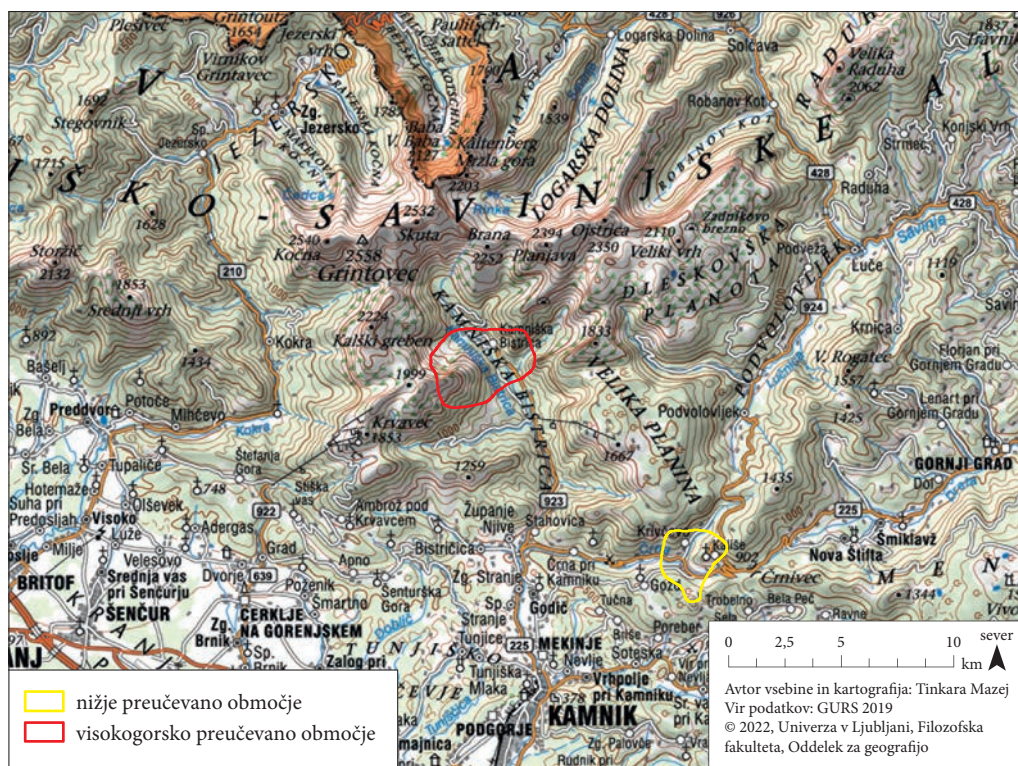
Po pregledu domače in tujih kategorizacij lahko ugotovimo, da so le-te večinoma opisne. Praviloma ni splošno veljavnih in sprejetih kvantitativnih kriterijev, ki bi omogočili objektivnejšo kategorizacijo. Švicarska kategorizacija planinskih poti (SAC) je opisna in temelji na zahtevnosti orientacije, označenosti poti, strmosti poti, zavarovanosti s klini in jeklenicami, ali si je pri hoji treba pomagati z rokami, tipu podlage (na primer kot zahtevnejša se štejejo travnata območja, snežišča, odseki ledenikov), izpostavljenosti, torej odseki, kjer obstaja možnost padca (Pogachnik 2022). V kategorizaciji poti na Tirolskem so poti razdeljene v tri kategorije: pohodniške, gorske in alpske. Kategorizacija temelji na potrebnih opreми, naklonu poti, izpostavljenosti, veščinah orientacije (Stay ... 2022). Italijanska planinska organizacija (CAI) ima opredeljeno štiristopenjsko opisno lestvico kategorizacije planinskih poti. Kategorizacija temelji na kriterijih utrjenosti poti, nadmorski višini, označenosti, orientacijskih veščinah, opremljenosti z varovali, podlagi za hojo (Alptrekking ... 2022).

Obstoječe kategorizacije v več državah kot tudi strokovna literatura kot enega najvplivnejših kriterijev izpostavljajo naklon poti. Ljudje hitrost hoje prilagajamo na način, da porabimo čim manj energije na določeno enoto razdalje. S povečanim naklonom se poraba energije pri hoji ali teku poveča (McNeill 2002). Pri premagovanju višinskih razlik v povezavi s porabo energije je naklon ključen. Določen vzpon bomo pri večjem naklonu teoretično sicer premagali hitreje, a bomo za to potrebovali več energije. Ključno je zato določiti naklon, pri katerem bo poraba energije najbolj ekonomična, kljub temu pa bo omogočil

doseg cilja v primernem času. Pri večjih naklonih je oteženo tudi ravnotežje, pri hoji si je večkrat treba pomagati z rokami (Giovannelli s sodelavci 2015).

2 Območje preučevanja

V raziskavi smo izdelali metodo kvantitativne kategorizacije planinskih poti ter jo preizkusili v južnem in osrednjem delu Kamniško-Savinjskih Alp (slika 1), ki se razlikujeta z vidika reliefnih značilnosti, nadmorske višine in rabe tal. Za predstavitev značilnosti preučenih območij smo geoinformacijsko analizirali podatke digitalnega modela višin (DMV) z ločljivostjo 1 m, izdelanega iz lidarskega oblaka točk (ARSO 2015) in dejansko rabo tal (MKGP 2022). Planinske poti Kranjski Rak–Sončna griča–Gojska planina, Krivčevo–Podkrajnik–Gojska planina–Domžalski dom na Mali planini, Planina Kisovec–Mala Planina so v južnem, nižjem delu Kamniško-Savinjskih Alp (maPZS 2020). Povprečna nadmorska višina območja poti je 1116 m, z najvišjo točko 1569 m in najnižjo točko 593 m. Povprečni naklon območja je okoli 26° (ARSO 2015). Večino območja prekriva gozd, 21 % območja je travnatega, odprtih zemljišč z nič ali malo rastja je zgolj 1 % (MKGP 2022). Na drugem, visokogorskem delu preučevanega območja v osrednjem delu Kamniško-Savinjskih Alp so planinske poti: Frischaufova pot, Kokrska Kočna–Jezerska Kočna, Kokrsko sedlo–Mala vratca–Veliki podi–Skuta, Kokrško sedlo–Dolci–Dolška škrbina, Kokrško sedlo–Kalski greben, Kremžarjeva pot, Mlinarsko sedlo–Skuta, Slovenska pot, Šrempova pot, Suhadolnikova planina–Kokrska Kočna, Turska gora–vrh Turskega žleba–Skuta, Veliki podi–Mlinarsko sedlo, Veliki podi–Sleme–Mali podi–Turska gora, Vrh Turskega žleba–Rinke (maPZS 2020). Povprečna nadmorska



Slika 1: Preučevani območji na Državni pregledni karti merila 1 : 250 000.

višina območja je 1927 m, najvišja točka pa 2557 m. Povprečen naklon območja je okoli 42° (ARSO 2015). Skoraj 80 % zemljišč predstavljajo odprta zemljišča in odprta zemljišča z nekaj rastja, sledi gozd s 15 %, travnatih zemljišč pa je okoli 5 % (MKGP 2022).

3 Metode

Za izvedbo kategorizacije smo potrebovali podatke o naklonih na posameznih 100- in 5-metrskih odsekih planinskih poti. Pri tem smo uporabili sloj izbranih planinskih poti iz portala maPZS (2020), za izračun nadmorskih višin pa digitalni model višin (DMV) v ločljivosti 1 m, izdelan iz lidarskega oblaka točk (ARSO 2015). Iz nadmorskih višin smo izračunali naklon odsekov. Za iskanje izpostavljenih območij, opredeljenih v nadaljevanju, smo uporabili sloj dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (MKGP 2022) in sloj naklonov pridobljenih iz DMV (ARSO 2015). Iz zbirnega katastra gospodarske in javne infrastrukture (GJI) (GURS 2005) smo pridobili sloj varovanih odsekov planinskih poti.

V nadaljevanju predstavimo opis postopkov priprave podatkov in kategorizacije bolj podrobno, kot bi bilo potrebno za samo razumevanje postopkov, a z razlogom, da bi bilo postopek mogoče v prihodnosti ponoviti ali nadgraditi.

Za razrez poti na enako dolge odseke smo v geoinformacijskem programu *QGis 3.16.4 with GRASS 7.8.5* uporabili orodje *v.split*. S tem smo dobili dva nova vektorska sloja – planinske poti razdeljene na 5- in 100-metrške odseke. V geoinformacijskem programu *ArcMap 10.8.1* smo z orodjem *Vertices to Points* ustvarili točke na koncu in začetku posameznega 5- in 100-metrškega odseka. Z orodjem *Delete Identicals* smo zbrisali podvojene točke. Na posamezni planinski poti smo tako dobili sloj točk na vsakih 5 oziroma 100 m. Sledilo je določanje nadmorske višine točk. Z orodjem *Extract Values to Points* smo na podlagi DMV za vse točke določili nadmorsko višino. Pridobljene podatke nadmorskih višin smo v nadaljevanju analizirali z orodjem *MS Excel*. Za vsako točko smo izračunali relativno nadmorsko višino med izbrano točko in naslednjo točko na poti. Na podlagi relativne nadmorske višine smo po naslednjih formulah za vsako točko, ki se nahaja na 5- (oziroma 100-) metriških odsekih, izračunali absolutni naklon do sosednje točke:

$$\text{naklon na 5 m odseku} = \left| \tan^{-1} \frac{a}{5} \right|$$

in

$$\text{naklon na 100 m odseku} = \left| \tan^{-1} \frac{a}{100} \right|,$$

pri čemer je a relativna nadmorska višina med sosednjima točkama. Izračunane naklone smo z orodjem *Join Field* ponovno združili z vektorskima slojema 5- in 100-metrških odsekov.

V zasnovani kvantitativni kategorizaciji smo uporabili naslednje kriterije za uvrstitev planinskih poti v kategorije. Prva omejitev je naklon do 16° na 100-metrških odsekih planinskih poti. Naklon 16° namreč predstavlja mejno vrednost za idealen naklon za planinske poti. Do tega naklona je poraba energije še dovolj ekonomična, da za hojo ne potrebujemo veliko kondicijske pripravljenosti (Giovaneli s sodelavci 2015). Drugo omejitev predstavljajo nakloni nad 45° na 5-metrških odsekih na ne izpostavljenih območjih. Pri naklonu nad 45° je ravnotežje pri hoji že močno oteženo, večkrat si je treba pomagati s rokami. Posledično je hoja otežena, zahtevnejša, obstaja večja verjetnost padca pohodnika (Minetti s sodelavci 2002). Tretji kriterij predstavljajo nakloni nad 45° na 5-metrških odsekih na izpostavljenih območjih. Kot izpostavljena območja smo opredelili travnike, odprta zemljišča z malo ali nič rastja, kjer je obenem naklon pobočja nad 35°. Pri tem imamo v mislih naklon okoliškega reliefa in ne naklon poti. Izpostavljena območja predstavljajo območja, kjer bi se v primeru padca, pohodnik težje ustavil oziroma bi lahko utrpel težje poškodbe (na primer udarec z glavo ob skalo, drseča trava, melišča kot zelo nestabilna podlaga). Kriterij opredeljuje odseke, kjer zaradi večjega naklona poti obstaja večja ver-

jetnost izgube ravnotežja in padca izven poti, padec izven poti pa zaradi značilnosti okoliškega reliefa in rabe tal za pohodnika predstavlja večjo nevarnost. Z določanjem naklonov 5-metrskih odsekov smo iskali krajše zelo nevarne odseke, ki bi se v daljših odsekih izgubili. Z določanjem naklona na 100-metrskih odsekih pa smo želeli vpeljati kriterij kondicijske pripravljenosti pohodnika.

Lahke planinske poti smo opredelili kot poti, kjer naklon na 100-metrskih odsekih ne preseže 16° , planinska pot pa je brez 5-metrskih odsekov z naklonom nad 45° . Zahtevne planinske poti smo opredelili kot poti, kjer se na 100-metrskih odsekih lahko pojavljajo nakloni nad 16° , na 5-metrskih odsekih pa se lahko pojavljajo nakloni nad 45° na ne izpostavljenih območjih. Za uvrstitev v to kategorijo zadoštuje, da pot ustreza le enemu izmed pogojev. Kot zelo zahtevne planinske poti smo opredelili poti, kjer se na 5-metrskih odsekih pojavljajo nakloni nad 45° . Kategorijo, v katero bo pot uvrščena, opredeljuje najstrožji kriterij. Torej, tudi če bo na poti le en 5-metrski odsek, kjer naklon preseže 45° , bo pot uvrščena med zelo zahtevne. Odseke, kjer bi bilo smiselno vzpostaviti varovala, smo opredelili na podlagi kriterija, da se na 5-metrskem odseku pojavi naklon nad 45° na izpostavljenih območjih.

Za izvedbo kategorizacije smo potrebovali pet slojev: naklon pod 16° na 100-metrskih odsekih, naklon nad 16° na 100-metrskih odsekih, naklon nad 45° na 5-metrskih odsekih, naklon nad 45° na 5-metrskih odsekih na izpostavljenih območjih, naklon nad 45° na 5-metrskih odsekih na ne izpostavljenih območjih. Uporabili smo geoinformacijski program *ArcMap 10.8.1*. Sloj izpostavljenih območij smo pridobili s prekrivanjem sloja izbrane rabe tal (MKGP 2022) in območij z naklonom nad 35° (ARSO 2015). Sloje odsekov z želenimi nakloni smo dobili z orodjem *Select by Attributes* in *Select by Location*. Izbrane sloje smo z orodjem *Export* izvozili kot nove sloje.

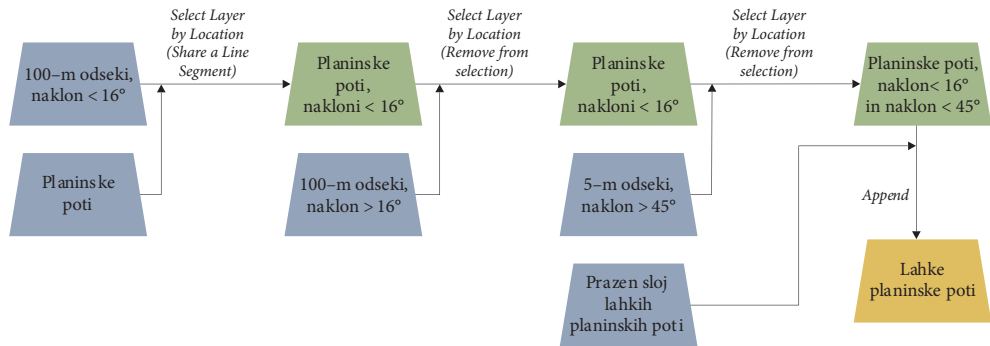
Kategorizacijo planinskih poti smo izdelali v geoinformacijskem programu *ArcMap 10.8.1* kot zaporedje ukazov v orodju *Model Builder*. Postopek (slika 2A) deluje po naslednjih korakih. Z orodjem *Select Layer by Location* smo izmed vseh poti izbrali tiste, kjer se na 100-metrskih odsekih pojavlja naklon pod 16° . Da je bila planinska pot izbrana, je morala s slojem naklonov pod 16° na 100-metrskih odsekih deliti del linije. Nato smo izmed izbranih poti izbrali tiste, kjer se pojavljajo 100-metrski odseki z naklonom nad 16° in ponovili postopek. Izbrane planinske poti smo odstranili iz izbora, saj ne ustrezajo kriteriju za lahke planinske poti. Isto orodje smo uporabili tudi za izločitev poti, kjer se na 5-metrskih odsekih pojavljajo nakloni nad 45° . Na koncu smo uporabili še orodje *Append*, s katerim smo izbrane poti pripisali novemu sloju lahkih planinskih poti.

Kategorizacijo zahtevnih planinskih poti smo razdelili na dva dela (slika 2B). V prvem delu smo izbrali poti, kjer se na 100-metrskih odsekih pojavlja naklon nad 16° . Z orodjem *Select Layer by Location* smo izbrali poti, kjer se na 100-metrskih odsekih pojavlja naklon nad 16° . Da je bila planinska pot izbrana, je morala s slojem naklonov nad 16° na 100-metrskih odsekih deliti del linije. Sledila je uporaba istega orodja s slojem naklonov nad 45° na izpostavljenih območjih. Poti, kjer se pojavljajo nakloni nad 45° na izpostavljenih območjih, smo odstranili iz izbora. Ob koncu prvega dela so bile tako izbrane poti, ki ustrezajo prvemu kriteriju zahtevnih planinskih poti – na poti se pojavljajo odseki z naklonom nad 16° . V drugem delu smo izbrali poti, kjer se na 5-metrskih odsekih pojavljajo nakloni nad 45° na ne izpostavljenih območjih. Tudi tokrat smo uporabili orodje *Select Layer by Location*, postopek pa ponovili še s slojem naklonov nad 45° na izpostavljenih območjih. Izbrane planinske poti smo odstranili iz izbora. Ob koncu drugega dela dobimo izbrane poti, ki ustrezajo drugemu kriteriju zahtevnih planinskih poti – na poti se lahko pojavljajo 5-metrski odseki z naklonom nad 45° na ne izpostavljenih območjih. Izbrane poti iz obeh delov smo z orodjem *Append* pripisali novemu sloju zahtevnih planinskih poti, z orodjem *Delete Identical* pa zbrisali možne podvojene poti (če so bile izbrane tako v prvem kot drugem delu postopka). Ob koncu celotnega postopka smo dobili sloj zahtevnih planinskih poti.

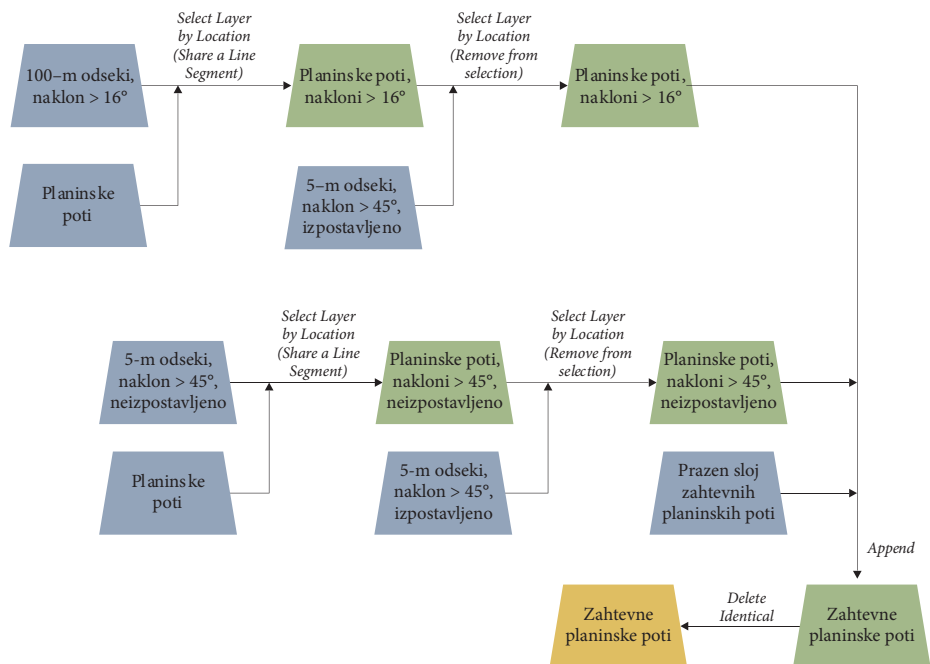
Pri kategorizaciji zelo zahtevnih planinskih poti (slika 2C) smo z orodjem *Select Layer by Location* izbrali poti, kjer se na 5-metrskih odsekih pojavlja naklon nad 45° na izpostavljenih območjih. Izbrane poti smo z orodjem *Append* pripisali novemu sloju zelo zahtevnih planinskih poti.

Slika 2: Shematski prikaz kvantitativne kategorizacije planinskih poti. ► (str. 202)

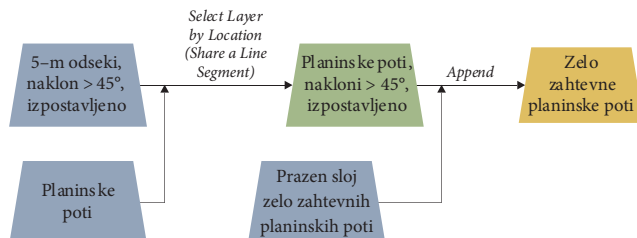
Kategorizacija zahtevnih planinskih poti



Kategorizacija zelo zahtevnih planinskih poti



Kategorizacija zelo zahtevnih planinskih poti



Iskanje doslej nevarovanih odsekov planinskih poti, ki so na zelo strmih in izpostavljenih območjih, smo izvedli v dveh korakih. Najprej smo z orodjem *Select by Location* poiskali 5-metrške odseke z naklonom nad 45° na izpostavljenih območjih, ki se ujemajo s slojem varovanih odsekov planinskih poti po podatkih GJI (GURS 2005). Ker se linije planinskih poti s portala maPZS (2020) in linije planinskih poti po GJI (2005) ne ujemajo popolnoma, smo določili iskalno razdaljo (toleranco pri iskanju) 2 m. Z orodjem *Export* smo izdelali sloj varovanih odsekov. V drugem koraku smo v atributivni tabeli sloja 5-metrskih odsekov z naklonom nad 45° na izpostavljenih območjih zamenjali izbor podatkov, s čimer smo označili nevarovane 5-metrške odseke z naklonom nad 45° in z orodjem *Export* izdelali sloj nevarovanih strmih in izpostavljenih odsekov planinskih poti.

4 Rezultati in diskusija

Na območju južnega dela Kamniško-Savinjskih Alp (slika 3) smo s kvantitativno kategorizacijo eno pot uvrstili med lahke planinske poti, tri poti pa med zahtevne planinske poti. Vse poti, ki so po kvantitativni kategorizaciji zahtevne, so po opisni kategorizaciji lahke, torej so se po naši metodi uvrstile za eno kategorijo zahtevnosti višje (preglednica 1). Razlog za višjo kategorizacijo je, da se na vseh treh

Preglednica 1: Primerjava opisne in kvantitativne kategorizacije na območju nižjega dela Kamniško-Savinjskih Alp.

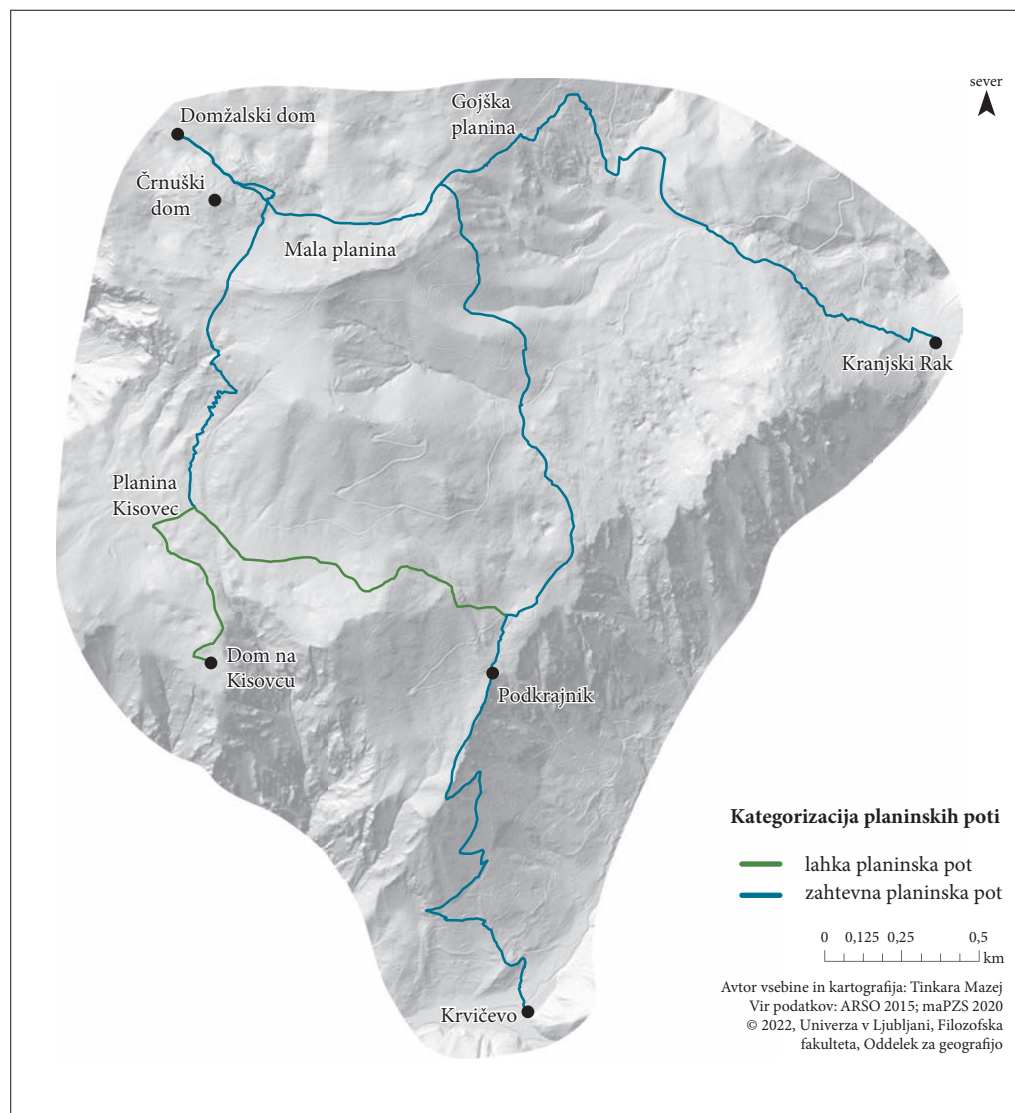
| planinska pot | opisna kategorizacija | kvantitativna kategorizacija |
|--|-----------------------|------------------------------|
| Kranjski Rak–Sončna grča–Gojška planina | lahka | zahtevna |
| Krivčevo–Podkrajnik–Gojška planina–Domžalski dom | lahka | zahtevna |
| Planina Kisovec–Mala Planina | lahka | zahtevna |
| Podkrajnik–Kisovec | lahka | lahka |

Preglednica 2: Primerjava opisne in kvantitativne kategorizacije na območju visokogorja Kamniško-Savinjskih Alp.

| planinska pot | opisna kategorizacija | kvantitativna kategorizacija |
|---|-----------------------|------------------------------|
| Frischaufova pot | zahtevna | zelo zahtevna |
| Kokrska kočna–Jezerška Kočna | zelo zahtevna | zelo zahtevna |
| Kokrško sedlo–Mala vratca–Veliki podi–Skuta | zahtevna | zelo zahtevna |
| Kokrško sedlo–Dolci–Dolska škrbina | zahtevna | zahtevna |
| Kokrško sedlo–Kalški Greben | zelo zahtevna | zelo zahtevna |
| Kremžarjeva pot | zelo zahtevna | zelo zahtevna |
| Mlinarsko sedlo–Skuta | zahtevna | zelo zahtevna |
| Slovenska pot | zelo zahtevna | zelo zahtevna |
| Šrempova pot | zelo zahtevna | zelo zahtevna |
| Suhadolnikova planina–Kokrska Kočna | zahtevna | zelo zahtevna |
| Turska gora–vrh Turskega žleba–Skuta | zelo zahtevna | zelo zahtevna |
| Veliki podi–Mlinarsko sedlo | lahka | zahtevna |
| Veliki podi–Sleme–Mali podi–Turska gora | zahtevna | zelo zahtevna |
| Vrh turskega žleba–Rinke | lahka | zelo zahtevna |

planinskih poteh pojavljajo 100-metrski odseki z naklonom nad 16° ; 5-metrskih odsekov nad 45° na območju ni, torej ta kriterij ni vplival na kategorizacijo.

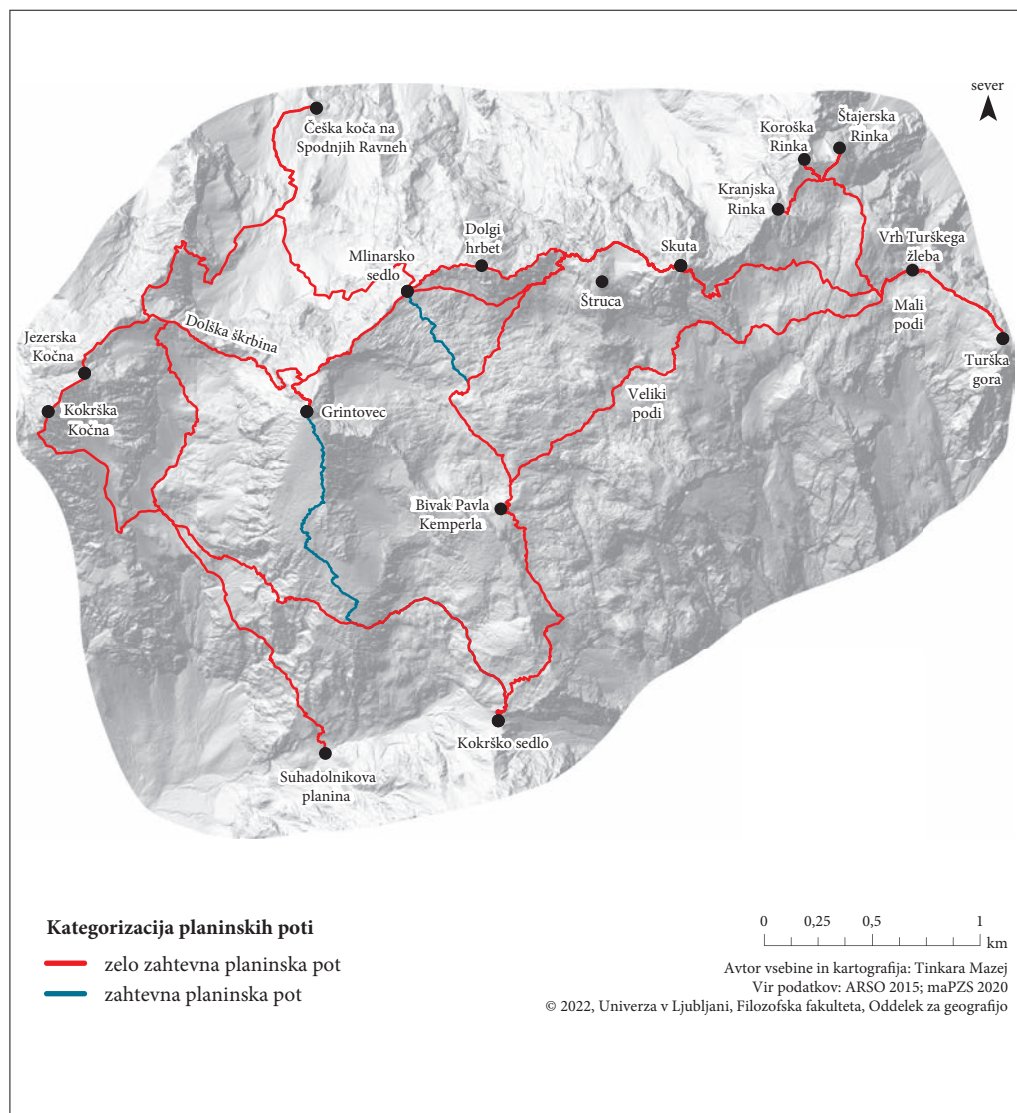
V visokogorskem delu Kamniško-Savinjskih Alp (slika 4) sta se po kvantitativni kategorizaciji v kategorijo zahtevnih planinskih poti uvrstili dve poti, v kategorijo zelo zahtevnih planinskih poti pa 12. Nobena izmed poti se ni uvrstila v kategorijo lahkih planinskih poti. Zgolj ena pot (Veliki podi–Mlinarsko sedlo) nima 100-metrskih odsekov z nakloni nad 16° , ima pa 5-metrške odseke z nakloni nad 45° na izpostavljenih območjih, kar jo avtomatično uvrsti med zelo zahtevne planinske poti. Sedem poti se je uvrstilo v isto kategorijo kot po opisni kategorizaciji, šest poti se je uvrstilo za eno zahtevnostno kategorijo višje, ena pot pa v dve kategoriji zahtevnosti višje (preglednica 2). Glede na to, da gre za visokogorsko območje,



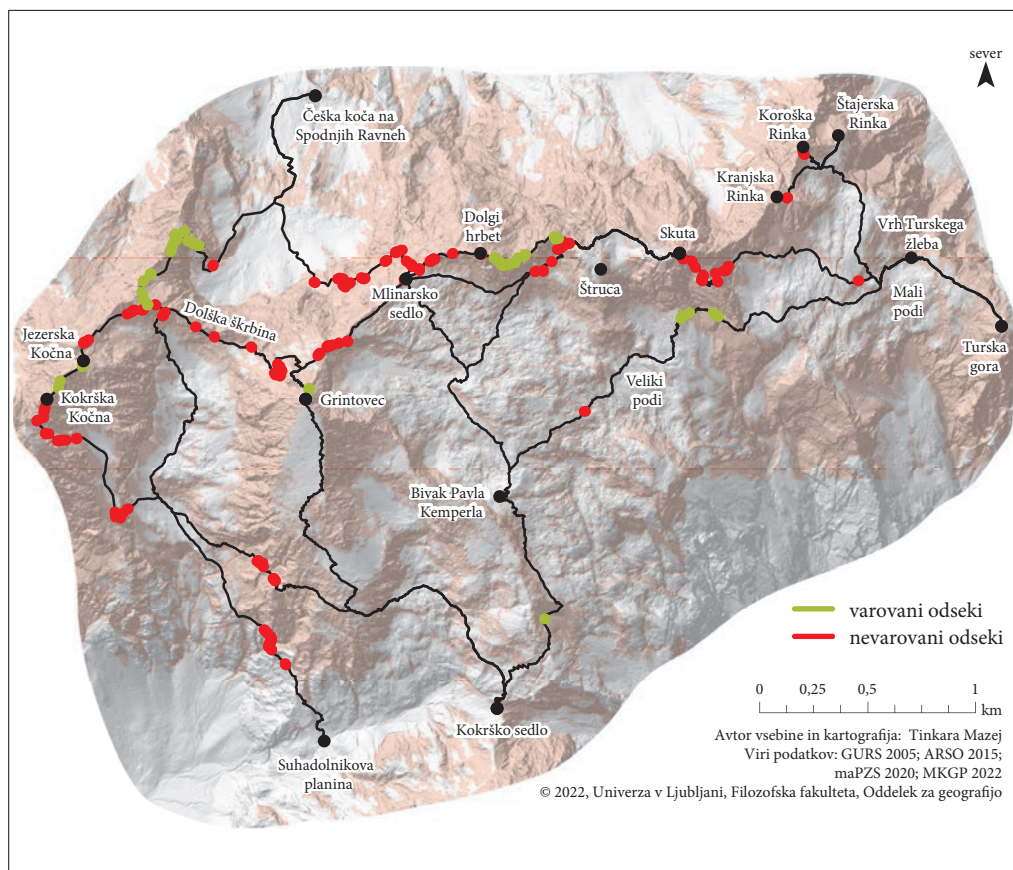
Slika 3: Kvantitativna kategorizacija planinskih poti na nižjem, južnem delu Kamniško-Savinjskih Alp.

je, za katero so značilni večji nakloni in skalnato površje, kar predstavlja zahtevnejše pogoje za gibanje, je dobljena kategorizacija planinskih poti smiselna.

Analiza zavarovanosti zelo strmih in izpostavljenih odsekov planinskih poti (slika 5) pokaže, da se 44 od 189 5-metrskih odsekov z naklonom nad 45° na izpostavljenih območjih ujema z varovanimi odseki v sloju planinskih poti GJI (GURS 2005), kar predstavlja okoli 23 % odsekov, ki smo jih prepoznali kot nevarne. Ob tem opozarjamo, da ne poznamo točnih lokacij dejanskih varoval, saj se podatek nanaša le na odsek planinske poti v sloju planinskih poti zbirnega katastra GJI (GURS 2005) in ne na točno lokacijo varoval. Posledično lahko domnevamo, da je nezavarovanih odsekov, ki so potencialno nevarni, še več.



Slika 4: Kvantitativna kategorizacija planinskih poti v visokogorju Kamniško-Savinjskih Alp.



Slika 5: Zavarovanost nevarnih 5-metrskih odsekov z naklonom nad 45° na izpostavljenih območjih.

5 Sklep

Izdelali smo kvantitativno kategorizacijo planinskih poti, ki temelji na merilih o naklonu in izpostavljenosti odsekov planinskih poti. Rezultati se le deloma ujemajo z obstoječo opisno kategorizacijo planinskih poti, kar ne preseneča, saj so bili pri kategorizacijah uporabljeni različni kriteriji. Uporabljena metoda je osredotočena na razmeroma preprosto zaznavo izbranih značilnosti površja in pokrovnosti tal, ki so povezane z zahtevnostjo planinskih poti. Menimo, da kvantitativna kategorizacija predstavlja pomemben korak v smeri objektivnejše kategorizacije, s tem pa lahko pripomore tudi k zmanjšanju neskladij med tem, kako kategorizacijo razumejo planinci in dejansko zahtevnostjo planinskih poti. Ustreznejše razumevanje zahtevnosti poti pa lahko prispeva tudi k zmanjšanju nesreč v gorah. Pri uporabljeni metodi je še posebej obetavna sistematična, avtomatizirana zaznava kratkih, a potencialno nevarnih odsekov planinskih poti. Terensko preverjanje takšnih analitično določenih odsekov bi omogočilo izpopolnitev metodologije, a to ostaja izziv za nadaljnje raziskave.

Za bolj realistično kategorizacijo bi bilo treba soočiti zahteve, zmogljivosti in želje skupin (ali posameznih) planincev s podrobneje ovrednotenimi razmerami vzdolž planinske poti. Opredeljevanje prve

skupine kriterijev bi terjalo podrobnejše poznavanje (merljivih) kinezioloških, tudi zdravstvenih omejitev in osebnostnih nagnjenj, želja skupin (ali posameznih) planincev. Opredeljevanje druge skupine kriterijev pa bi na primer pomenilo bolj realistično ovrednotenje trenutnih vremenskih okoliščin, povezanih z različnimi težavami na sami poti, kot so nevarnost zdrsa zaradi mokre trave, blata, ledu, krušljivost kamnite poti, nevarnost udara strele, padanja kamenja, snežnih plazov. Marsikaj od navedenega bi bilo mogoče vključiti v vrednotenje že danes. Poleg tega bi veljalo razmisliti o vzpostavitvi javnega in prosto dostopnega sistema (množično sodelovanje, angleško *crowdsourcing*) označevanja in opredelitve zahtevnejših delov poti. S tem bi dobili dejanske lokacije in opis težavnih odsekov, ki se jih lahko vključi v nadaljnje analize. Sistem bi lahko služil tudi za opozarjanje na poškodbe na poti in poškodbe varoval. Do nadgradnje takšnega enkratnega, statičnega pristopa v bolj dinamičnega, vključenega v mobilni planinski navigacijski sistem, ki bi upošteval tudi dostopne trenutne biometrične podatke uporabnika, pa morda tudi ni tako daleč, kot se morda zdi na prvi pogled.

6 Viri in literatura

- Alpitrekking Difficulty ratings relative to the trips. Medmrežje: <https://www.alpitrekking.it/en/regolamento-e-tariffe/scala-difficolta/> (31. 1. 2022).
- ARSO 2015: Podatki lidarskega snemanja. Agencija Republike Slovenije za okolje. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar%40Arso&initialExtent=402591.76%2C39904.09%2C2.64583 (10. 1. 2022).
- Giovanelli, N., Ryan Ortiz, A. L., Henninger, K., Kram, R. 2015: Energetics of vertical kilometer foot races; is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology* 120-3. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00546.2015>
- Gradič Oset, B. 2020: Varneje v gore – preverim stanje poti in imam primerno opremljen nahrbtnik. Medmrežje: <https://www.pzs.si/novice.php?pid=14436> (27. 2. 2022).
- Gradič Oset, B. 2021: Varno v gore s pomočjo zemljevida in aplikacije. Medmrežje: <https://www.pzs.si/novice.php?pid=15103> (27. 2. 2022).
- GURS 2005: Zbirni kataster gospodarske in javne infrastrukture. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- GURS 2019: Državna pregledna karta merila 1 : 250 000. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- maPZS 2020. Planinska zveza Slovenije. Ljubljana. Medmrežje: <https://mapzs.pzs.si/home/trails> (10. 1. 2022).
- McNeill, A. 2002: Energetics and optimization of human walking and running: The 2000 Raymond Pearl memorial lecture. *American Journal of Human Biology* 14-5. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.10067>
- Minetti, A., Moia, C., Giulio, R., Susta, D., Ferretti, G. 2002: Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology* 93-3. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01177.2001>
- MKGP 2022: Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. Ministrstvo za kmetijstvo gozdarstvo in prehrano. Ljubljana. Medmrežje: <https://rkg.gov.si/vstop/> (10. 1. 2022).
- Pogachnik, V. 2022: Grading Hiking Routes (SAC Hiking Scale). Medmrežje: <https://www.summitpost.org/grading-hiking-routes-sac-hiking-scale/187254> (31. 1. 2022).
- Pravilnik o kategorizaciji planinskih poti. Uradni list Republike Slovenije 80/2008. Ljubljana.
- Rotovnik, B. 2016: Kategorizacija planinskih poti – javna obravnava. Medmrežje: <https://www.pzs.si/novice.php?pid=10730> (31. 1. 2022).
- Stay Safe While Hiking in Austria. Medmrežje: <https://www.tyrol.com/things-to-do/sports/hiking/safe-mountain-hiking> (31. 1. 2022).
- Zakon o planinskih poteh. Uradni list Republike Slovenije 61/2007. Ljubljana.

PROSTORSKA ANALIZA MOBILNOSTI ŠTIPENDISTOV PROGRAMA MARIE SKŁODOWSKA-CURIE ACTION V EVROPI

dr. Rok Ciglič, dr. Katarina Polajnar Horvat, dr. Matija Zorn

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

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

katarina.polajnar@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8872-529X>

matija.zorn@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5788-018X>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_16

UDK: 913:314.15-057.87(4)

IZVLEČEK

Prostorska analiza mobilnosti štipendistov programa Marie Skłodowska-Curie Action v Evropi

V prispevku smo za območje celotne Evrope preučili povezanost med državami z vidika mobilnosti štipendistov programa Marie Skłodowska-Curie Action (MSCA), ki so bila zabeležena med letoma 2014 in 2020. Z orodji v programih ESRI ArcGIS Pro in MS Office Excel smo za posamezno državo izračunali razmerje med številom sprejetih štipendistov in številom lastnih štipendistov. Ugotovili smo, da so države z razmerjem v korist sprejetih štipendistov predvsem na zahodu in severu Evrope, na drugi strani pa imajo države na jugu in vzhodu obratno razmerje, kar pomeni, da je število sprejetih štipendistov v posamezni državi nižje od števila štipendistov, ki iz te države prihajajo. Posebna pozornost je bila namenjena tudi potovanjem slovenskih štipendistov MSCA.

KLJUČNE BESEDE

geografija, mednarodne migracije, izobraževanje, analiza omrežja, štipendija, raziskava

ABSTRACT

The spatial analysis of mobility flows of Marie Skłodowska-Curie Action Fellowship Program fellows in Europe

In this paper, we analysed the pan European connections between countries in relation to the mobility of Marie Skłodowska-Curie Action (MSCA) fellows conducted between 2014 and 2020. Using ESRI ArcGIS Pro and MS Office Excel tools, we calculated the numerical ratio of visits and the number of fellows by country and found that the countries with a surplus of visits are mainly in the west and north of Europe, while the countries in the south and east have a negative ratio, meaning that the number of fellows received is less than the number of their own fellows. Special attention was dedicated to Slovenian characteristics of MSCA fellows' travels.

KEY WORDS

geography, international migration, education, network analysis, scholarship, research

1 Uvod

Evropska unija (EU) in njene države članice se zavzemajo za spodbujanje razvoja visoko kvalificiranih človeških virov. Eden izmed pomembnih mehanizmov za doseg tega cilja je krepitev mobilnosti, ki omogoča interdisciplinarno in mednarodno raziskovanje ter obenem razširjanje znanstvenih ugotovitev različnim deležnikom (oblikovalcem politik, nevladnim organizacijam, širši javnosti) (Horizon Europe 2021). Mobilnost raziskovalcev omogoča izmenjavo idej ter širjenje različnih znanstvenih zasnov in tehnik, poleg tega pa tudi učinkovitejše sodelovanje, prenos znanja in učenje novih veščin (Marie Curie ... 2010).

Eden izmed mehanizmov mobilnosti ljudi, še posebej raziskovalcev, so mednarodne štipendije. Opredeljene so kot finančne donacije, ki pokrivajo večino stroškov, povezanih z visokošolskim študijem zunaj prejemnikove matične države (Campbell 2017). Kandidati so običajno izbrani na podlagi razpisa, izmenjave pa temeljijo na tako imenovani teoriji spremembe (Brest 2010; Clark in Taplin 2012; Stein in Valters 2012), ki posameznikom omogoča, da strokovno znanje ter razvite veščine, pridobljene na vodilnih raziskovalnih in izobraževalnih ustanovah v tujini, prenesejo v domače okolje (Campbell 2017).

Na ta način si EU prizadeva povečati privlačnost raziskovalnega poklica in s tem spodbuditi mlade, da ostajajo v znanosti. Poleg tega si želi spodbuditi nadarjene posameznike s celega sveta, da se odločijo za študij in delo v evropskih raziskovalnih ustanovah, hkrati pa pod svojim okriljem obdržati lastne raziskovalce ter pritegniti tiste, ki študirajo izven EU, da se po študiju ali praksi v tujini vrnejo nazaj (Horizon Europe 2021).

Eden izmed evropskih programov, katerega cilj je spodbujati znanstveno odličnost, mobilnost in raziskovalno sodelovanje v evropskem raziskovalnem prostoru, je program *Marie Skłodowska-Curie Action* (MSCA). Pod okriljem programa Obzorje 2020, ki je potekal med letoma 2014 in 2020, je MSCA podprl 65.000 raziskovalcev v Evropi in zunaj nje. Med njimi so bili predvsem doktorski študenti, pa tudi izkušenejši raziskovalci (Horizon Europe 2021). Proračun MSCA je bil 6,2 milijarde evrov, pri čemer so bila sredstva namenjena več različnim ukrepom. Najobsežnejši podprogram MSCA so individualne štipendije, katere je v obravnavanem obdobju prejelo prek 43.000 raziskovalcev (Pina s sodelavci 2021).

V literaturi (na primer van den Besselaar s sodelavci 2012; Flanagan 2015; Auriol 2016) je mednarodna mobilnost raziskovalcev razumljena na več načinov – kot začasna mobilnost v obliki nekaj tednov, začasna mobilnost do obdobja treh mesecev ali večletna začasna mobilnost. V naši raziskavi smo se osredotočili na slednjo. Preučili smo individualne štipendije MSCA, ki so namenjene predvsem obliki začasne (večletne) zaposlitve na ustanovi v tujini, z možnostjo vrnitve v matično državo (Flanagan 2015).

Čeprav je mobilnost raziskovalcev v literaturi (Flanagan 2015; Auriol, Misu in Galindo-Rueda 2016; Jonkers s sodelavci 2018) prepoznana kot priložnost za izvajanje odličnih mednarodnih raziskav, za spodbujanje novih delovnih mest, za zagotavljanje novih znanj in veščin ter mednarodne in medsektorske prepoznavnosti, je bilo do zdaj opravljenih malo raziskav na temo individualnega štipendiranja MSCA. Nekaj raziskav je bilo posvečenih primerjalni analizi objavljanja štipendistov MSCA (na primer Jonkers s sodelavci 2018). Analizirano je bilo tudi več kot 75.000 predlogov štipendij med letoma 2007 in 2018 (Pina s sodelavci 2021), preučevali pa so tudi gostiteljski potencial evropskih univerz štipendistom (Falk in Hagsten 2021). Kljub temu pa v času trajanja Obzorja 2020 do zdaj za območje Evrope ni bilo izvedene nobene celovite raziskave, ki bi preučila povezave med državami, ki gostijo in pošiljajo raziskovalce MSCA.

Namen prispevka je predstaviti analizo osnovnih prostorskih značilnosti gostovanj štipendistov MSCA na območju Evrope med letoma 2014 in 2020. Glavni cilj raziskave je bil s pomočjo geoinformacijskih orodij ugotoviti, katere države sprejmejo več štipendistov, kot jih imajo same. Del prispevka je namenjen tudi predstavi povezav gostovanj, v katerih so udeleženci slovenski državljani, ter povezav, kjer Slovenija nastopa kot gostiteljica. V raziskavi smo namreč želeli izvedeti tudi, s katerimi državami ima Slovenijo pozitivno oziroma negativno razmerje izmenjave štipendistov.

2 Območje preučevanja, podatki in terminologija

Območje preučevanja je obsegalo države članice Sveta Evrope. Območju smo dodali tudi Belorusijo, Kosovo in Vatikan, da na območju ni bilo prostorskih praznin (slika 1). V podatkovni zbirki smo povezave, v katerih sodelujejo Ferski otoki (1 štipendija za potovanje v tujino, 3 gostovanja) in Grenlandija (2 štipendiji za potovanje v tujino, 1 gostovanje), vključili znotraj Danske. Ostala odvisna ozemlja na območju preučevanja niso imela odobrenih štipendij za odhode ali gostovanja štipendistov.

Podatke o mobilnosti štipendistov MSCA smo pridobili s strani Direktorata za izobraževanje, mladino, šport in kulturo Evropske komisije, natančneje Direktorata C – Inovacije, mednarodno sodelovanje in šport, Enota C.2 – MSCA (Mobilnost ... 2021). Kodirani podatki (brez osebnih imen ali imen ustanov) so za posamezno podeljeno štipendijo vključevali informacije o državljanstvu štipendista in o državi gostiteljici ter so bili zbrani za obdobje 2014–2020. Podatki so bili urejeni kot seznam štipendijskih povezav (državljanstvo štipendista–država gostiteljica).

Prostorske podatke o državnih mejah, ki smo jih uporabili predvsem za izdelavo zemljevidov in izračun centroidov držav, smo pridobili s spletne strani *Natural Earth*. Ti podatki so bili pripravljeni v merilu 1 : 50.000.000 ter na voljo v zapisu *shapefile* (Natural Earth ... 2021).

Osnovna opazovalna enota v raziskavi je bila '**povezava**'. Povezava je v naši raziskavi predstavljala vsako posamezno povezavo med državo državljanstva štipendista (izvorno državo) in državo gostiteljico, torej državo, v katero je štipendist pripotoval. To pomeni, da povezava v tej študiji ni zrcalila nujno dejansko opravljene poti, saj se je država dejanskega odhoda lahko razlikovala od države, katere državljanstvo je štipendist imel. Tak primer je lahko nastal, če se je na primer slovenski državljan, ki je deloval ali študiral v Avstriji, tam prijavil za štipendijo MSCA v Nemčiji. Taka povezava se je v zbirki podatkov zapisala kot povezava med Slovenijo in Nemčijo, čeprav je dejansko šlo za opravljeno pot med Avstrijo in Nemčijo. V pridobljeni podatkovni zbirki sta bili zgolj informacija o štipendistovem državljanstvu in informacija o državi gostiteljici; informacija o državi, kjer je bila vloga za štipendijo oddana, pa ni bila na voljo.

V prispevku smo uporabili naslednjo **terminologijo**:

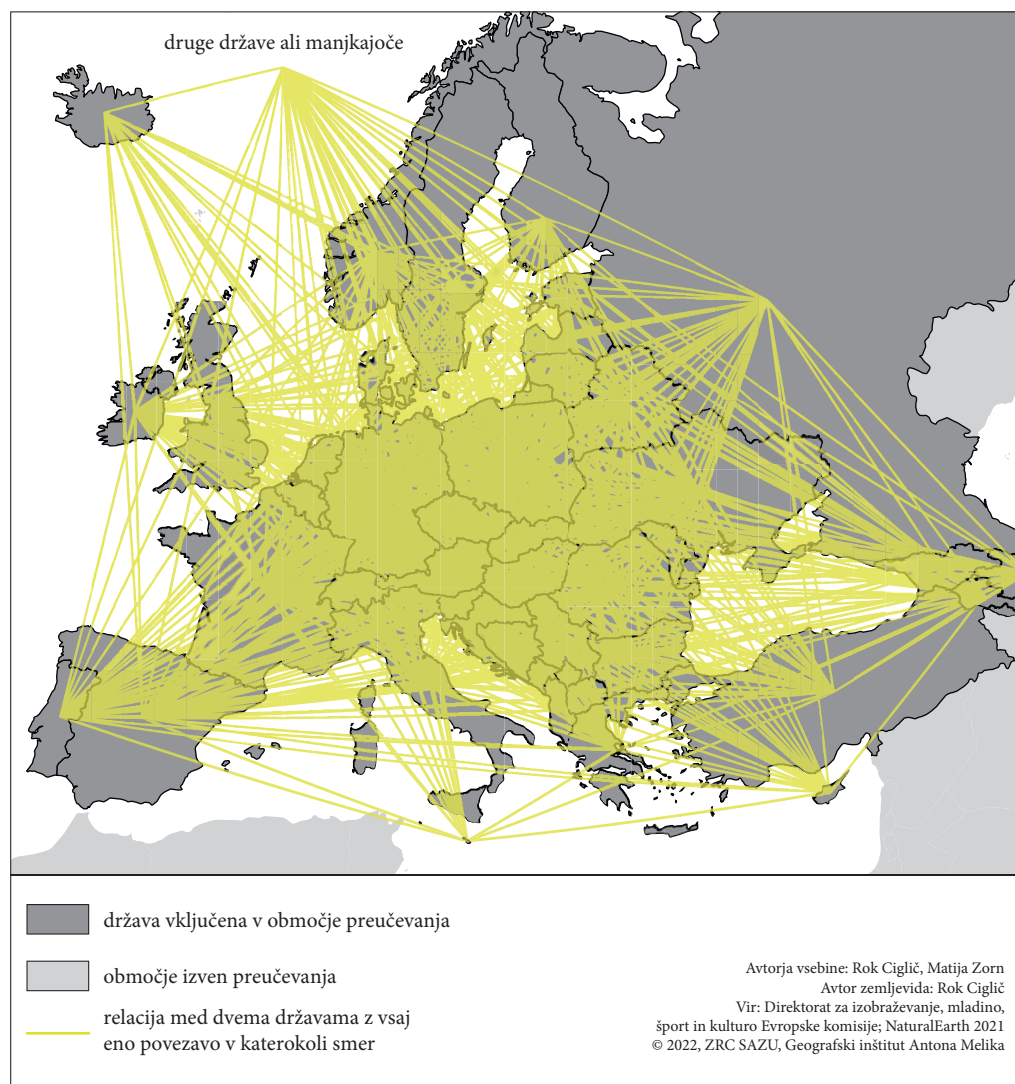
- **izvorna država** – država, kjer ima štipendist urejeno državljanstvo;
- **država gostiteljica** – država, kamor je štipendist potoval na delo oziroma izobraževanje;
- **povezava** – posamezna štipendija, ki pomeni štipendistovo vez med izvorno državo in državo gostiteljico;
- **zveza** – relacija med dvema poljubno izbranimi državama, ki poteka v določeni smeri (torej, dve medsebojno povezani državi imata dve zvezi, v vsako smer po eno).

Zaradi odsotnosti podatka o dejanski državi odhoda so bile mogoče tudi **navidezne povezave** znotraj posamezne države. To lahko prikažemo s primerom štipendista s slovenskim državljanstvom, ki je bil v času prijave zaposlen oziroma se je izobraževal v Avstriji. Slovenski državljan je v Avstriji oddal prijavo pri avstrijski ustanovi ter za gostovanje izbral ustanovo v Sloveniji. Takšna povezava se je v podatkovni zbirki zapisala kot Slovenija–Slovenija. Ker je država prijave neznana, o le-tej ne moremo sklepati. Tovrstno navidezno povezavo lahko razumemo kot vrnitev raziskovalca v domovino, kar lahko kaže na to, koliko štipendistov je shemo MSCA uporabilo za vračanje v domače raziskovalno okolje po tem, ko so del svoje kariere preživel v tujini. V raziskavo smo v izračun razmerij izmenjave štipendistov vključili tudi te povezave.

Poleg navideznih povezav so bile v podatkovni zbirki lahko prisotne tudi **podvojene povezave**. Takšna povezava je nastala, če je štipendist obiskal dve ustanovi znotraj ene gostujoče države ali pa, če je štipendist svoj obisk razdelil na dve obdobji. Po informacijah, ki smo jih prejeli ob prevzemu podatkovne zbirke pri Evropski komisiji (Mobilnost ... 2021), so bili takšni primeri zelo redki in zato niso imeli bistvenega vpliva na raziskavo.

V podatkovni zbirki je bilo nekaj **manjkajočih podatkov**. Pri nekaterih povezavah je manjkal podatek o državi gostiteljici, ob tem, da je bilo državljanstvo štipendista poznano. Po informacijah s strani

skrbnika podatkov so se manjkajoči zapisi pojavili zaradi več vzrokov: država gostiteljica v času zabeleženja štipendije ni bila znana, projekt je bil ustavljen ali pa štipendije v okviru projekta še niso bile vnesene v seznam. Povezave z manjkajočim podatkom o državi gostiteljici so bile pripisane kategoriji povezav, ki vključujejo države gostiteljice izven držav preučevanega območja. To kategorijo smo zato poimenovali 'druge države ali manjkajoče'.



Slika 1: Območje preučevanja je obsegalo države članice Sveta Evrope (stanje leta 2020) ter Belorusijo, Kosovo in Vatikan. V okviru programa MSCA je bilo med letoma 2014 in 2020 izvedenih prek 49.000 potovanj. Na zemljevidu je prikaz vseh zvez med državami po Evropi, ki so imele vsaj eno zabeleženo povezavo.

3 Metodologija

V raziskavi smo uporabili različno **programsko opremo**. Podatkovne preglednice so bile za analizo pripravljene s pomočjo programa *MS Office Excel*. Prostorske in mrežne analize ter vsi kartografski izrisi so bili izvedeni s kombinacijo *ESRI-jeve* geoinformacijske programske opreme *ArcGIS Desktop* in *Pro*, skript v programskem jeziku *Python* ter programa *MS Office Excel*. Pri slednjem smo uporabili ukaze, kot so izračun vrednosti posameznih celic in vrtilne tabele. V programu *ArcGIS Pro* pa smo uporabili ukaze, kot so združevanje tabel, ustvarjanje povezav, izris linij in izračun vrednosti (angleško *Add Join*, *Generate Near Table*, *XY to Line* in *Calculate Field*). S kombinacijo omenjenih orodij smo sešteli število povezav v obeh smereh za vse možne kombinacije držav (slika 1), hkrati pa smo tudi sešteli skupne vsote gostovanj in odhodov (oziroma števila državljanstev izvirne države) po posameznih državah.

V nadaljevanju podajamo nekoliko bolj podroben opis uporabljenih metod. V podatkovni preglednici, kjer so bili zapisani podatki o posamezni povezavi in kodne oznake v povezavo vključenih držav, smo najprej izbrali povezave, ki so delno ali v celoti vezane na območje preučevanja. V naslednjem koraku smo uporabili orodje vrtilnih tabel v programu *MS Office Excel*, kjer smo za posamezne države sešteli število gostujočih štipendistov ter število lastnih štipendistov (torej štipendistov, ki imajo v državi urejeno državljanstvo). Oba podatka smo prek kodnih oznak držav pripisali podatkovnemu sloju poligonov držav ter izračunali razmerje med gostujočimi in poslanimi štipendisti.

Z zgoraj opisanimi koraki smo izračunali preproste vsote po državah, za izračun razmerij posameznih zvez med državami pa smo opravili dodatne analitične korake. Najprej smo izračunali centroide obravnavanih držav na podlagi poligonov držav. Z orodjem *Generate Near Table* smo ustvarili nabor vseh možnih zvez med centriidi ter jim s pomočjo informacij o koordinatah centroidov pripisali še kodne zapise držav. Slednje smo storili v dveh korakih, saj smo v preglednico možnih zvez dodali kode za vsako izvirno državo in vsako državo gostiteljico. Na ta način smo pridobili seznam vseh možnih zvez v obliki preglednice, v kateri smo imeli zapise o kodah in koordinatah centroida za vsako možno kombinacijo izvirne države in države gostiteljice. Nato smo z orodjem *XY to Line* ustvarili linije zvez med vsemi možnimi centriidi. Hkrati smo v programu *MS Office Excel* z vrtilnimi tabelami pripravili podatke o posameznih zvezah; za vsako zvezo smo izračunali, koliko štipendistov je potovalo v določeno smer med dvema državama. S pomočjo kodnih oznak smo vsako posamezno zvezo ustrezno identificirali (na primer *SI_AT* je pomenila zvezo, ki označuje pot iz Slovenije v Avstrijo), prav tako smo za vsako državo pripisali podatek o vsotah sprejetih štipendistov in vsotah štipendistov, ki so odšli iz države. Tako pripravljene podatke smo lahko povezali s slojem linij.

V celotnem postopku smo večkrat uporabili ukaze za združevanje preglednic in izračunavanje novih kolon (spremenljivk). Končna podatkovna zbirka je bila sestavljena iz dveh podatkovnih slojev:

- vektorskega linijskega sloja v zapisu *shapefile* z linearnimi zvezami med državami, kjer je 2550 vnosov (seznam spremenljivk je v preglednici 1),
- vektorskega poligonskega sloja v zapisu *shapefile* s poligoni držav, kjer je 50 vnosov (seznam spremenljivk je v preglednici 2).

Sloj linij ima 2550 vnosov (zvez), pri čemer je poleg 50 držav upoštevana tudi kategorija 'druge ali manjkajoče države', kar pomeni: $51 \times 51 - 51 = 2550$ kombinacij. Sloj vsebuje podatke za potovanja v obeh smereh, na primer iz Slovenije v Avstrijo in iz Avstrije v Slovenijo.

4 Rezultati na ravni Evrope

Med letoma 2014 in 2020 sta bili zabeleženi 49.202 povezavi. Med dvema država znotraj preučevanega območja ali pa državo znotraj preučevanega območja in katerokoli drugo državo je bilo zabeleženih 47.106 povezav. Omenjena tipa povezav sta predstavljala 95,7 % vseh zabeleženih povezav. Izključno med državami izven preučevanega območja je bilo zabeleženih 2096 povezav (4,3 %).

Povezav, kjer imajo štipendisti državljanstvo ene izmed držav preučevanega območja in tudi pozna-
no državo gostiteljico, je bilo 33.424. Nekaj povezav ni imelo znane države gostiteljice; 1081 štipendistov
z državljanstvom ene izmed držav preučevanega območja ni imelo znane države gostiteljice, kar pred-
stavlja 3,1 % štipendistov z državljanstvom ene izmed držav preučevanega območja. V podatkovni zbirki
je bilo skupaj 1670 povezav z manjkajočim podatkom o državi gostiteljici.

Glavni rezultat analize je bilo **razmerje med številom gostovanj in številom štipendistov po posa-
meznih državah**. Na zemljevidu razmerij (slika 2) lahko opredelimo države, ki so gostile več štipendistov,
kot imajo same štipendistov, in države, za katere velja ravno obratno.

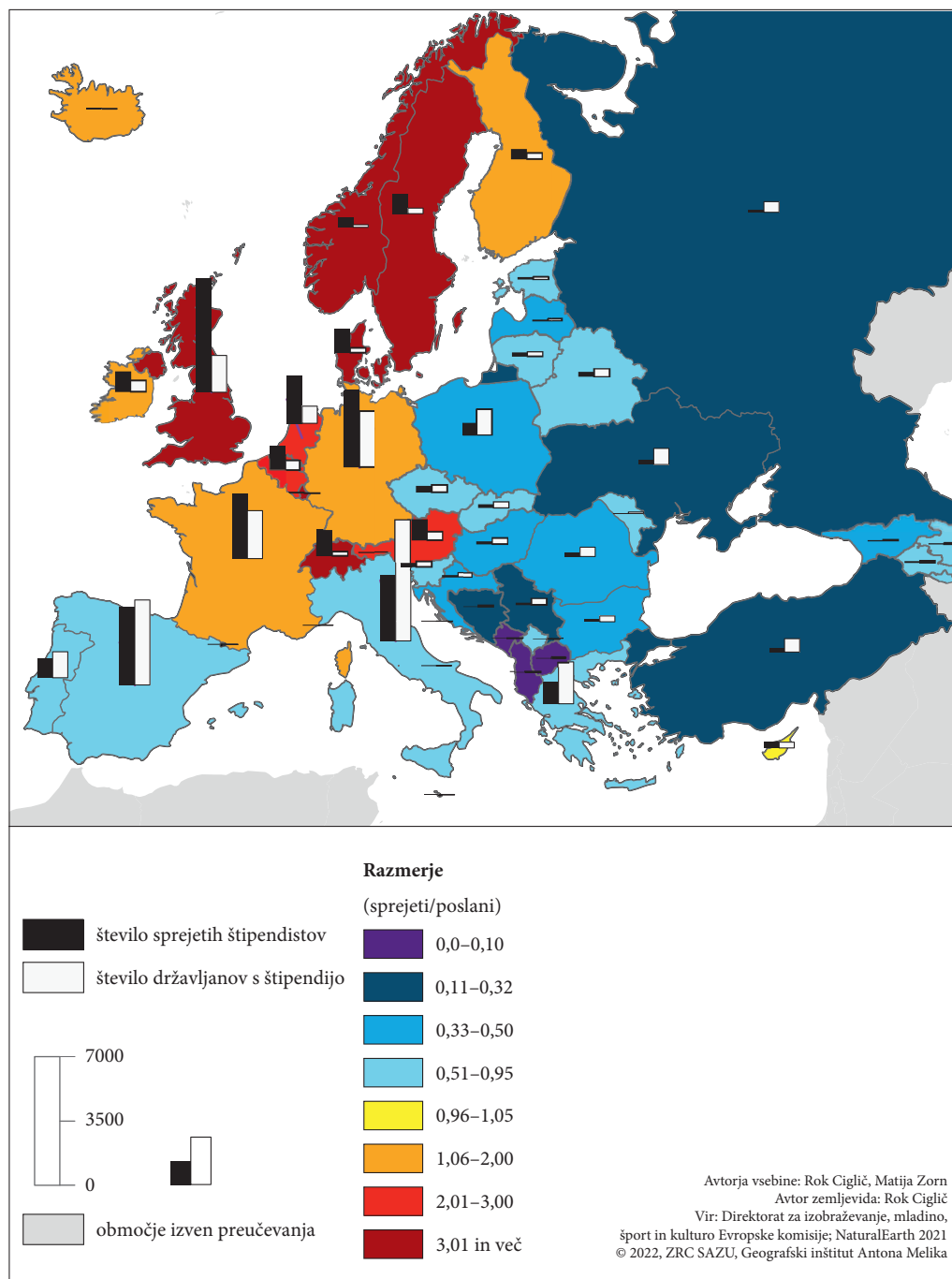
Države s 'presežkom' gostujočih štipendistov so predvsem na zahodu in severu Evrope ter vključu-
jejo Avstrijo, Belgijo, Ciper, Dansko, Finsko, Francijo, Nemčijo, Islandijo, Irsko, Lihtenštajn, Luksemburg,

*Preglednica 1: Seznam spremenljivk sloja zvez med državami. Podatkovna zbirka vključuje zveze
v obeh smereh (na primer iz Slovenije v Avstrijo ter iz Avstrije v Slovenijo).*

| spremenljivka | primer vnosa |
|--|--------------|
| zemljepisna dolžina centroida izvirne države | 14,8044° |
| zemljepisna širina centroida izvirne države | 46,1155° |
| zemljepisna dolžina centroida države gostiteljice | 14,1265° |
| zemljepisna širina centroida države gostiteljice | 47,5855° |
| oznaka zveze, ki povezuje dve državi v določeno (eno) smer | SI_AT |
| PRIHODI – država gostiteljica | SI |
| PRIHODI – izvirna država | AT |
| seštevek prihodov v državo gostiteljico iz izvirne države | 1 |
| kombinacija v–iz | SI_AT |
| PRIHODI – seštevek vseh prihodov v državo gostiteljico | 212 |
| PRIHODI – seštevek vseh štipendistov iz izvirne države | 472 |
| ODHODI – izvirna država | SI |
| ODHODI – država gostiteljica | AT |
| seštevek odhodov iz izvirne države v državo gostiteljico | 18 |
| kombinacija iz–v | SI_AT |
| ODHODI – seštevek vseh štipendistov iz izvirne države | 302 |
| ODHODI – seštevek vseh prihodov v državo gostiteljico | 1132 |

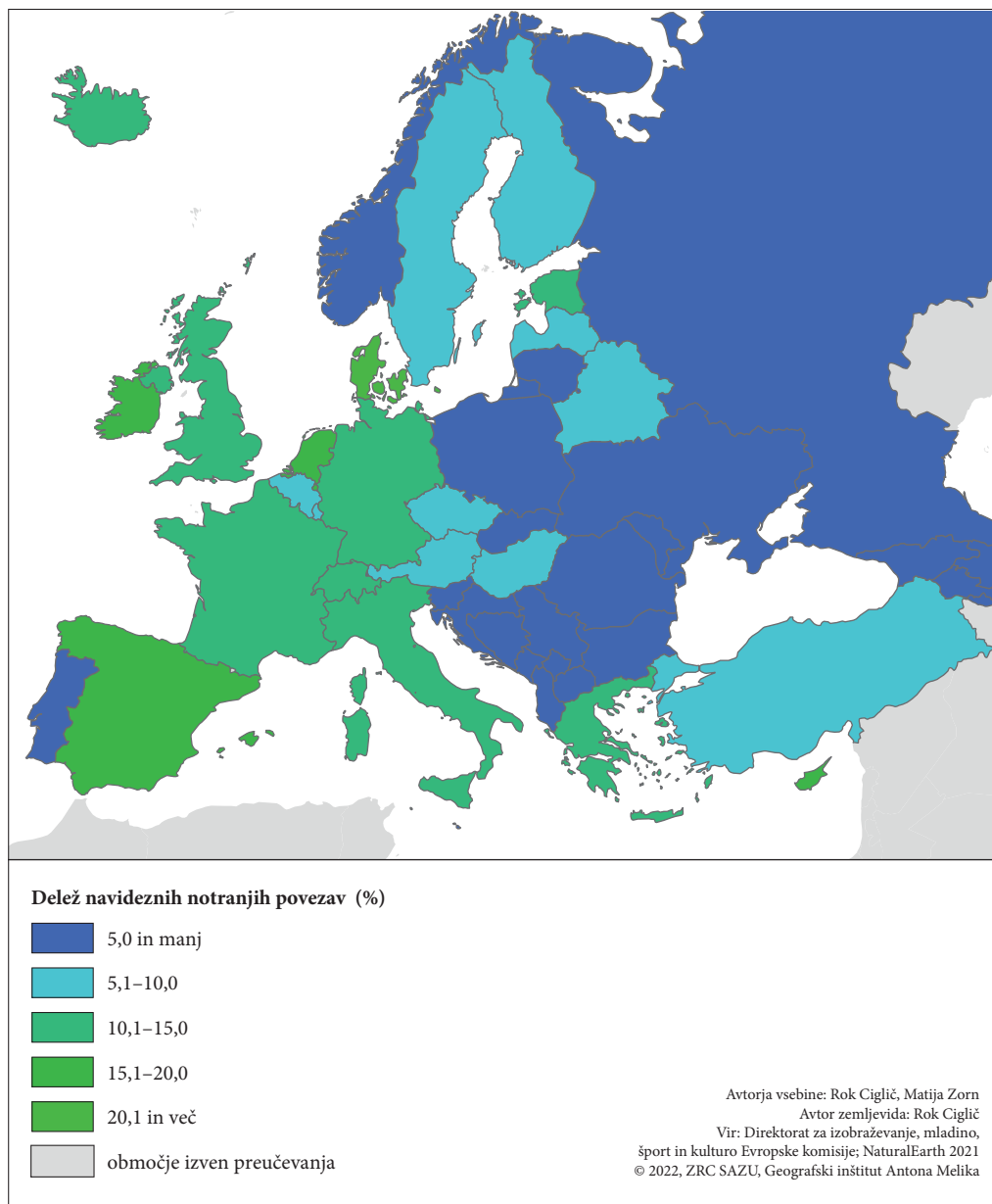
Preglednica 2: Seznam spremenljivk sloja držav s sumarnimi podatki po državah.

| spremenljivka | primer vnosa |
|--|-------------------|
| oznaka države | DK |
| uradno ime | Kraljevina Danska |
| ime (krajše) | Danska |
| zemljepisna dolžina centroida | 10,0280° |
| zemljepisna širina centroida | 55,9812° |
| število štipendistov z državljanstvom države (N_NUM) | 257 |
| število gostovanj v državi (prihodi) (H_NUM) | 1334 |
| razmerje med N_NUM in H_NUM | 5,19 |
| število navideznih notranjih povezav | 57 |



Slika 2: Razmerje med številom sprejetih štipendistov in številom (poslanih) državljanov s štipendijo v obdobju 2014–2020.

Malto, Nizozemsko, Norveško, Švedsko, Švico, Združeno kraljestvo in Vatikan. Države, ki so imele največje relativne presežke, so Švica, Danska in Lihtenštajn. Te so sprejele po petkrat več študentov, kot so jih v tujino poslale. Vsaj trikrat več so jih sprejeli Luksemburg (3,7), Norveška (3,7), Švedska (3,6) in Združeno kraljestvo (3,1), vsaj dvakrat več pa Nizozemska (2,8), Belgija (2,5) in Avstrija (2,4). Vatikan je sprejel enega študenta, noben študent pa ni imel vatikanskega državljanstva.



Slika 3: Delež navideznih notranjih povezav glede na število vseh državljanov s študentsko državljanstvom.

Države na jugu in vzhodu Evrope so v veliki večini imele negativno razmerje, kar pomeni, da je bilo število sprejetih štipendistov nižje od števila štipendistov, ki so njihovi državljani. Najnižje razmerje so imele države na jugozahodu Balkanskega polotoka: Črna gora (0,0), Severna Makedonija ($< 0,1$) in Albanija ($< 0,1$). Razmerje, ki je manjše od 0,2, sta imeli Bosna in Hercegovina ter Rusija, razmerje, ki je manjše od 0,3, pa Srbija in Ukrajina. Blizu uravnoteženosti oziroma vrednosti 1 sta bili le Španija in Estonija (0,9).

Če upoštevamo **absolutne vrednosti**, opazimo, da je največ štipendistov potovalo v Združeno kraljestvo (6186), Španijo (4246), Nemčijo (4177), Italijo (3568) in Francijo (3555). Preostale države so sprejele manj kot 3000 štipendistov. Največje gostiteljice štipendistov so bile v vrhu tudi po številu svojih štipendistov (štipendistov, ki imajo njihova državljanstva). Največje število štipendistov je imela Italija (6589), sledijo Španija (4629), Nemčija (3034), Francija (2603), Grčija (2272) in Združeno kraljestvo (2008). Preostale države so imele po manj kot 1500 štipendistov.

Najmočnejša posamezna zveza glede na absolutne vrednosti je bila med Združenim kraljestvom in kategorijo 'druge države ali manjkajoče' (Združeno kraljestvo je v tej zvezi nastopalo kot izvirna država), ki je imela kar 2160 povezav. Pet najbolj številčnih zvez med državami, ki so se pojavile izključno znotraj preučevanega območja, je bilo:

- iz Italije v Združeno kraljestvo (756),
- iz Italije v Španijo (626),
- iz Španije v Združeno kraljestvo (541),
- iz Italije v Francijo (492),
- iz Italije v Nemčijo (474).

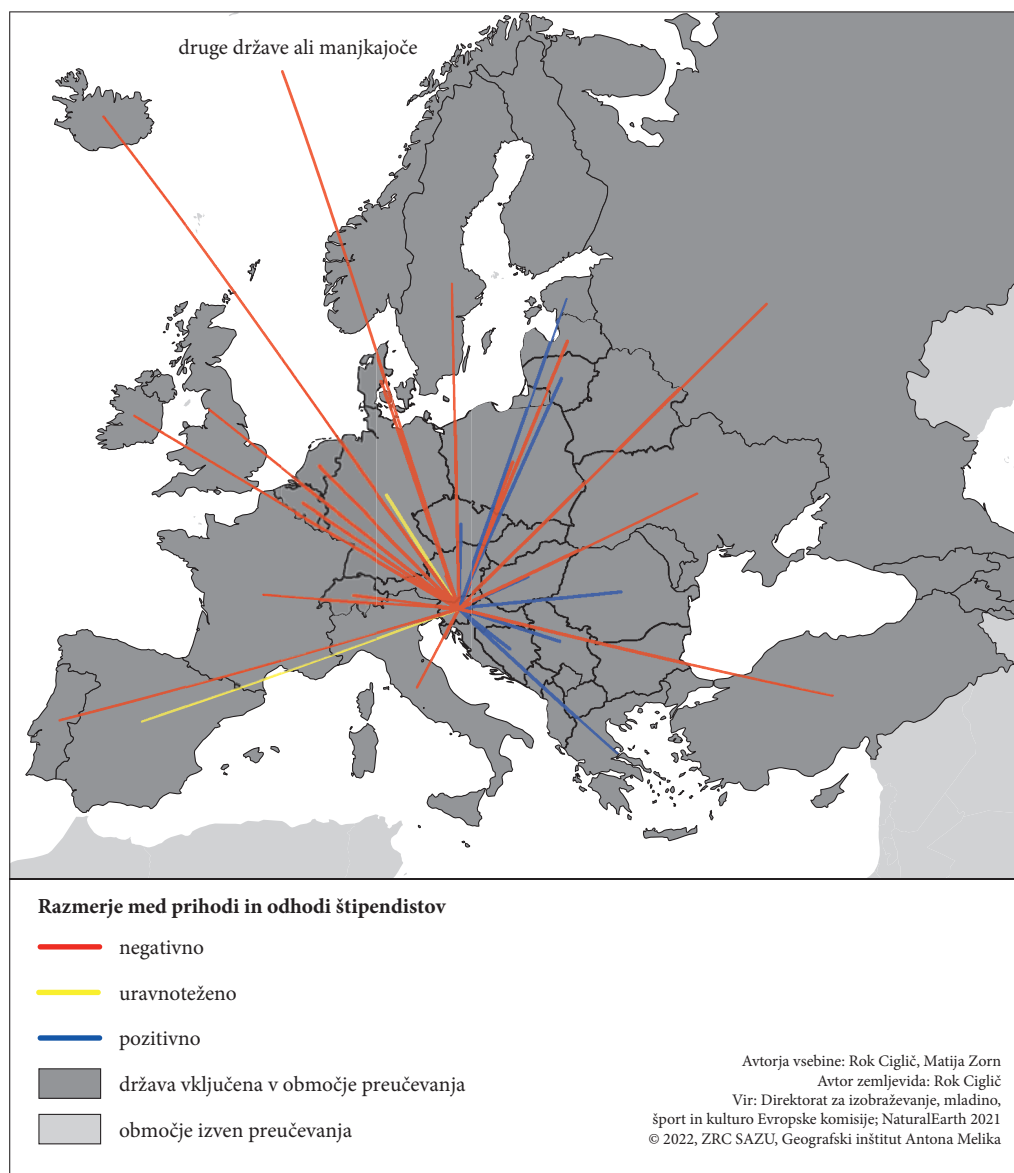
Podatkovna zbirka povezav nam je omogočila tudi dodatne analize, na primer izračun **koncentracije odhodov štipendistov iz posameznih izvornih držav**. Kot primer lahko izpostavimo, da je šla približno tretjina finskih, čeških in britanskih štipendistov v kategorijo držav 'druge države ali manjkajoče'. Če upoštevamo zgolj povezave znotraj preučevanega območja, opazimo dve močni koncentraciji povezav: z Norveške je v Združeno kraljestvo odšlo 31 % štipendistov, z Malte v Združeno kraljestvo pa 29 %. Več kot 20 % sta dosegli zvezi s Cipra v Grčijo (22 %) in iz Luksemburga v Francijo (21 %). Lihtenštajn (ki je imel sicer le 4 štipendiste) je imel uravnotežene (25 %) odhode v Avstrijo, Švico, Združeno kraljestvo in na Nizozemsko.

Podobno lahko izpostavimo **koncentracijo povezav z vidika držav gostiteljic**. Če podrobneje analiziramo povezave znotraj preučevanega območja, opazimo več zgostitev. Večina štipendistov (80 % od 20), ki jih je gostil Lihtenštajn, je bilo državljanov Nemčije. Štipendisti, ki jih je gostilo Kosovo, so bili večinoma državljani Turčije (75 % od štirih), štipendisti, ki jih je gostila Severna Makedonija, pa so bili večinoma državljani Poljske (50 % od štirih). Večina štipendistov, ki so prišli v Albanijo, je bila državljanov Avstrije in Turčije (po 40 % od petih gostujočih štipendistov). Omeniti velja tudi močno zvezo med Grčijo in Ciprom – kar 39 % štipendistov, ki jih je gostila Grčija, je imelo ciprsko državljanstvo. Bosna in Hercegovina je gostila 33 % (od 12) štipendistov, ki so bili državljani Slovenije.

V raziskavi smo preučili tudi **število navideznih povezav**, ki kažejo, koliko štipendistov se je iz tujine vrnilo v državo, kjer so imeli urejeno državljanstvo (slika 3). Kot primer navajamo Dansko, kjer se je več kot 22 % štipendistov z danskim državljanstvom odločilo za gostovanje na danski ustanovi. Sklepamo, da so svojo vlogo oddali na ustanovi izven Danske in so se na ta način vrnili v izvorno državo. Danska je imela najvišji tovrsten delež med preučevanimi državami. Najvišji deleži so bili sicer prisotni v državah na zahodu Evrope in v Sredozemlju. Držav z več kot 10 % deležem je bilo 13: Ciper, Danska, Estonija, Francija, Grčija, Irska, Islandija, Italija, Nemčija, Nizozemska, Španija, Švica in Združeno kraljestvo. Turčija je imela delež, ki je nekoliko nižji od 10 %. Na drugi strani pa so države, ki takšnih povezav sploh niso imele (Albanija, Azerbajdžan, Lihtenštajn, Črna gora, Severna Makedonija in Kosovo) ali pa so imele delež zelo nizek, na primer nižjega od 2 % so imele Armenija, Bosna in Hercegovina, Gruzija ter Hrvaška.

5 Štipendisti in Slovenija

V obdobju 2014–2020 sta bila v štipendiranje vključena 302 štipendista s slovenskim državljanstvom. Slovenija je imela 3,6 % navideznih notranjih povezav. Največ štipendistov s slovenskim državljanstvom (skupaj 78) je odšlo v države izven preučevanega območja (v tej številki so vštete tudi neznane destinacije, ki predstavljajo približno 8 %). Na Poljsko je odšlo 32 štipendistov, 31 v Italijo, 26 v Združeno kraljestvo, 18 v Avstrijo, 13 v Španijo, 12 v Grčijo in 10 v Francijo. V druge države je odšlo po manj kot



Slika 4: Razmerje med prihodi in odhodi štipendistov na primeru Slovenije.

10 štipendistov. Kot zanimivost naj omenimo, da v sosednjo Madžarsko ni odšel noben slovenski državljan s štipendijo MSCA.

Slovenija je v tem obdobju gostila 212 štipendistov. Glavnina gostujočih štipendistov je bila državljanov držav zunaj preučevanega območja, skupaj 57. Več kot 10 štipendistov je prišlo iz petih držav: 27 iz Poljske, 17 iz Italije, 16 iz Grčije, 15 iz Združenega kraljestva in 13 iz Španije.

Slovenija je v obravnavanem obdobju imela pozitivno razmerje (prihodi proti odhodom) z nekaterimi državami iz neposredne sosesčine (Hrvaška, Madžarska) in še nekaterimi drugimi državami (Bosna in Hercegovina, Češka, Estonija, Latvija, Grčija, Srbija, Romunija). Uravnoteženo razmerje je imela z Nemčijo in Španijo, s preostalimi državami pa je Slovenija imela v tem pogledu negativno razmerje (slika 4).

6 Sklep

Analiza podeljenih štipendij MSCA v letih 2014–2020 za države Sveta Evrope ter Belorusijo, Kosovo in Vatikan je pokazala, da so bile na preučevanem območju opazne razlike glede na razmerje prihodov in odhodov štipendistov. Ugotovili smo, da so države zahodne in severne Evrope sprejele več štipendistov, kot je bilo podeljenih štipendij njihovim državljanom. Na drugi strani pa je v državah južne in vzhodne Evrope število štipendistov, ki prihajajo iz posamezne države, preseglo število sprejetih štipendistov. Pri slednjih sta edini izjemi Malta, ki je imela razmerje med prihodi in odhodi 1,5, ter Ciper, ki je imel prihode in odhode štipendistov praktično uravnotežene. Največ štipendistov je sicer prišlo iz Italije (6589), največ pa jih je sprejelo Združeno kraljestvo (6186).

Naši izsledki se ujemajo z raziskavo, ki so jo opravili Jonkers s sodelavci (2018), v kateri so prav tako ugotovili, da v države severne in zahodne Evrope prihaja več štipendistov, kot jih od tam odide v tujino, obratno pa velja za države južne in vzhodne Evrope.

Slovenija je bila v obravnavanem obdobju aktivna članica štipendijske sheme, saj sta 302 slovenska državljana pridobila štipendijo MSCA, 212 štipendistov pa je Slovenija gostila. Izmed držav na preučevanem območju je imela Slovenija najmočnejšo vez oziroma izmenjavo štipendistov s Poljsko.

V pričujoči raziskavi, ki je vključevala tudi obsežna dela s preglednicami, je bila vključitev prostorskega vidika izjemnega pomena, saj so kartografski prikazi nazorno prikazali razmere v mobilnosti štipendistov MSCA med državami in evropskimi makroregijami.

ZAHVALA: Raziskava temelji na rezultatih projekta Preliminary study on the mobility of MSCA fellows for the needs of the conference MSCA Fostering Balanced Mobility Flows in Europe (Priprava predštudije o mobilnosti štipendistov MSCA za konferenco z naslovom MSCA Spodbujanje uravnoteženih tokov mobilnosti v Evropi), ki ga je financiralo Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije. Pisanje prispevka je bilo finančno podprto tudi s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101).

7 Viri in literatura

- Auriol, L., Misu, T., Galindo-Rueda, F. 2016: Doctorate holders' labor market and mobility: The academic career as the first choice. The Science and Technology Labour Force – The Value of Doctorate Holders and Development of Professional Careers. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27210-8_4
- Brest, P. 2010: The power of theories of change .
- Campbell, A. C. 2017: How international scholarship recipients perceive their contributions to the development of their home countries: Findings from a comparative study of Georgia and Moldova. International Journal of Educational Development 55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijeducdev.2017.05.004>

- Clark, H., Taplin, D. 2012: Theory of change basics: A primer on theory of change. New York.
- Falk, M. T., Hagsten, E. 2021: Potential of European universities as Marie Curie grantee hosts. *High Education* 81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10734-020-00540-3>
- Flanagan, K. 2015: International mobility of scientists. *The Handbook of Global Science, Technology, and Innovation*. Chichester. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118739044.ch17>
- Horizon Europe - Work Programme 2021-2022: 2. Marie Skłodowska-Curie Actions, 2021. Medmrežje: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-2-msca-actions_horizon-2021-2022_en.pdf (3. 3. 2022).
- Jonkers, K., Fako, P., Isella, L., Zacharewicz, T., Del Rio, J. C., Sandstrom, U., van den Besselaar, P. A. 2018: A comparative analysis of the publication behaviour of MSCA fellows. Joint Research Center Publications JRC109688. Brussels.
- Marie Curie actions: Inspiring researchers. Luxembourg, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2777/85517>
- Mobilnost štipendistov MSCA, 2014–2020. Direktorat za izobraževanje, mladino, šport in kulturo Evropske komisije (Direktorat C – Inovacije, mednarodno sodelovanje in šport, Enota C.2 – MSCA). Bruselj, 2021.
- Natural Earth, 2021. 1 : 50.000.000 Cultural Vectors. Medmrežje: <https://www.naturalearthdata.com/downloads/50m-cultural-vectors/> (1. 9. 2021).
- Pina, D. G., Buljan, I., Hren, D., Marušić, A. 2021: A retrospective analysis of the peer review of more than 75.000 Marie Curie proposals between 2007 and 2018. *eLife* 10. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.59338>
- Stein, D., Valters, C. 2012: Understanding theory of change in international development. London.
- van den Besselaar, P., Inzelt, A., Reale, E., de Turckheim, E., Vercesi, V. 2012: Indicators for internationalization of research institutions: A new approach. Strasbourg.

ATLAS KAKOVOSTI ŽIVLJENJA V SLOVENIJI KOT PODPORA ODLOČEVALCEM PRI REGIONALNEM IN LOKALNEM RAZVOJU

dr. Janez Nared

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

janez.nared@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0376-3973>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_17

UDK: 913:330.59(497.4)

IZVLEČEK

Atlas kakovosti življenja v Sloveniji kot podpora odločevalcem pri regionalnem in lokalnem razvoju
Prispevek predstavlja model kakovosti življenja kot bolj celovito alternativo dosedanjemu ugotavljanju razvitosti območij, ki sloni zlasti na ekonomskih vidikih razvoja. Poleg predstavitve koncepta smo predstavili rezultate za Slovenijo, jih primerjali z rezultati sorodnih študij, ocenili pa smo tudi postopek, ki smo ga uporabili pri pripravi atlasa kakovosti življenja v Sloveniji. Na podlagi analize lahko potrdimo že dlje časa prisotno delitev na zahodno Slovenijo z višjo teritorialno kakovostjo življenja in vzhodno Slovenijo z nižjo teritorialno kakovostjo življenja. Opozorimo na večplastnost koncepta kakovosti življenja, na njegov pomen pri analizi razvojnih smernic ter pri usmerjanju nadaljnjega razvoja.

KLJUČNE BESEDE

kakovost življenja, regija, občina, Slovenija, ESPON

ABSTRACT

Atlas on Quality of Life in Slovenia as a tool for supporting decision-makers in regional and local development

The paper presents a quality of life model as a more comprehensive alternative to the current assessment of regional development, based in particular on the economic aspects of development. In addition to the model, the results for Slovenia were presented and compared with the results of related studies. The process of creation of the Atlas on Quality of Life in Slovenia was evaluated. Based on the analysis, we can confirm the long-standing division into Western Slovenia with a higher territorial quality of life and Eastern Slovenia with a lower territorial quality of life. We point out the complexity of the concept of quality of life and its importance for the analysis of development trends and the direction of further development.

KEY WORDS

quality of life, region, municipality, Slovenia, ESPON

1 Uvod

V vse bolj kompleksnem svetu in ob zavedanju potrebe po integralnem, celovitem razvoju, ki upošteva različne vidike (ekonomski, socialni in okoljski/prostorski) in cilje trajnostnega razvoja (The 17 Goals 2022), je vse pomembnejše spoznanje, da je treba pri spremljanju razvoja sicer zelo priročnemu ekonomskemu kazalniku bruto domači proizvod (BDP) dodati še socialne in okoljske kazalnike (Hoegen 2009; Compendium ... 2011). Temu je sledilo več mednarodnih organizacij (Compendium ... 2011), ki so si prizadevale celostno ovrednotiti razvoj z vidika blaginje prebivalcev ali kakovosti življenja.

Organizacija za ekonomsko sodelovanje in razvoj (OECD) je razvila kazalnike blaginje, ki jih deli na sklopa *materialne razmere* in *kakovost življenja*. Pri *materialnih razmerah* vrednotijo dohodek in bogastvo, delovna mesta in zaslužek ter bivanjske razmere. Pri *kakovosti življenja* vrednotijo zdravstveni status, delo in življenje, izobraževanje in usposobljenost, socialne povezave, družbeno angažiranost in upravljanje, kakovost okolja, osebno varnost in subjektivno dožemanje blaginje (Compendium ... 2011). Poleg OECD so nove pristope integralnega vrednotenja razvoja in blaginje med drugim pripravljali še Evropska komisija, Organizacija združenih narodov in posamezne države. Evropska komisija je v publikaciji GDP & Beyond (2009) opredelila osnovne aktivnosti za izboljšanje obstoječe metrike razvoja in oblikovala kazalnike za usmerjanje politik v okviru dokumenta Evropa 2020 (2010), pri tem pa sta sodelovala tudi Ekonomska komisija za Evropo pri Organizaciji združenih narodov in OECD. V zadnjem obdobju se je v razpravo vključil še program ESPON, v okviru katerega so v projektu ESPON QoL oblikovali koncept teritorialne kakovosti življenja (*Territorial Quality of Life*; Sessa s sodelavci 2020). Za implementacijo koncepta so pripravili excelovo orodje za primerjavo podatkov (Territorial Quality ... 2020), ki omogoča primerjavo NUTS 3 regij na evropski in nacionalni ravni ter primerjavo med urbanimi in podeželskimi regijami. Pripravili so tudi orodje za odločevalce, ki omogoča primerjavo kakovosti življenja tudi na nižjih teritorialnih ravneh (za vse rezultate projekta glej ESPON QoL 2020).

Ob predsedovanju Slovenije Evropskemu svetu leta 2021 je na pobudo Ministrstva za okolje in prostor in ob sofinanciranju programa ESPON nastal Atlas kakovosti življenja v Sloveniji (Atlas on Quality of Life in Slovenia 2021). V njem so sodelavci ZRC SAZU, Geografskega inštituta Antona Melika in Janja Pečar z Urada za makroekonomske analize in razvoj koncept kakovosti življenja prilagodili razpoložljivim kazalnikom na regionalni in lokalni ravni v Sloveniji, pripravili ustrezno bazo podatkov, izvedli izračune indeksov ter na koncu pripravili zemljevide in interpretacijo na ravni posamezne subdomene (za razlago glej poglavje 2).

V luči priprave omenjenega atlasa je namen prispevka predstaviti:

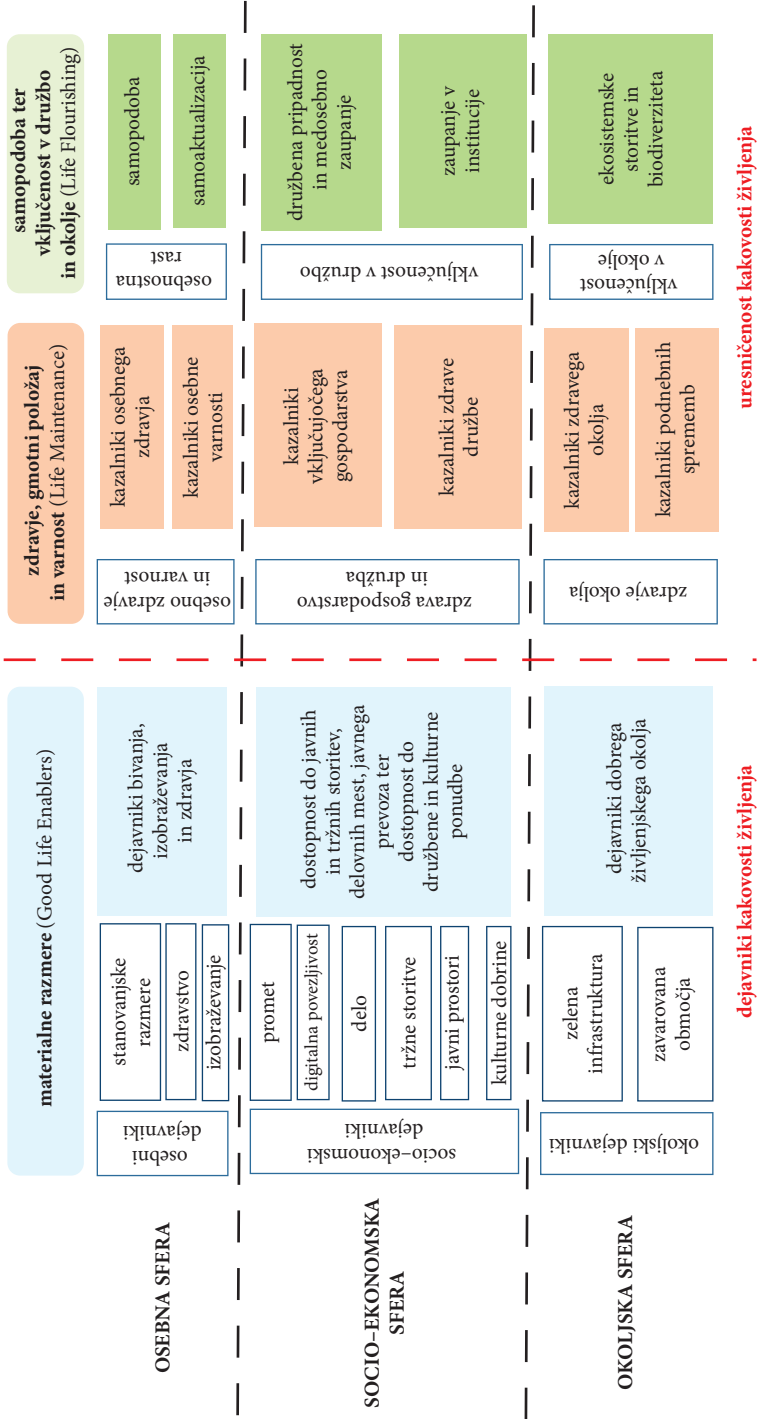
- koncept teritorialne kakovosti življenja, razpoložljive kazalnike, bazo podatkov, excelovo orodje za odločevalce ter proces priprave atlasa (teoretsko-metodološki del; poglavje 2);
- rezultate analize kakovosti življenja v Sloveniji na ravni regij in na ravni občin (empirični del; poglavje 3);
- oceno procesa priprave atlasa in dobljenih rezultatov (diskusija; poglavje 3).

Na koncu so dodani še sklepi ter viri in literatura.

2 Koncept kakovosti življenja v projektu ESPON QoL

Na kakovost življenja vpliva veliko dejavnikov, med njimi posameznikove materialne življenjske razmere, služba, zdravje, izobraževanje, prosti čas, socialni stiki, ekonomska in fizična varnost, način upravljanja družbe in temeljne pravice, naravno in življenjsko okolje ter splošne življenjske izkušnje (Quality of life indicators 2021). Zato merjenje kakovosti življenja ni zapleteno zgolj zaradi številnih dejavnikov, ki nanjo vplivajo, temveč še zlasti zato, ker je vsak dejavnik močno odvisen od posameznikovega statusa, njegovih potreb in želja (Atlas ... 2021). Še težavnejše je merjenje kakovosti življenja

Slika 1: Konceptualni okvir merjenja teritorialne kakovosti življenja (Sessa s sodelavci 2020, 10). ► (str. 223)



na določenem ozemlju/teritoriju, a je z vidika ocenjevanja trajnostnega razvoja nujno. Treba se je dvigniti nad posameznika ter preseči merjenje razvoja zgolj z bruto domačim proizvodom. Območja, v katerem živimo, namreč ni možno opisati zgolj z njegovo ekonomsko uspešnostjo ali z vidika percepcije posameznika, zlasti če želimo območja primerjati med sabo (Atlas ... 2021). Velik korak v smeri ocenjevanja teritorialne kakovosti življenja je bil dosežen v projektu *ESPON QoL – Quality of Life Measurements and Methodology* (Sessa s sodelavci 2020). V njem so teritorialno kakovost življenja opredelili kot »*zmožnost preživetja in uspevanja živih bitij v teritorialnem kontekstu*« ter razvili konceptualni model za merjenje teritorialne kakovosti življenja. Ta vključuje tri sfere (*osebno, socio-ekonomsko in ekološko sfero*) in tri dimenzije kakovosti življenja (*materialne razmere – good life enablers, zdravje, gmotni položaj in varnost – life survival or maintenance ter samopodoba ter vključenost v družbo in okolje – life flourishing*) (slika 1).

Nadalje je bil konceptualni model razdeljen v devet domen kakovosti življenja in 22 subdomen, ki so jim pripisali odgovarjajoče in dobro utemeljene kazalnike, za katere je bila statistično ugotovljena povezanost s posameznim vidikom kakovosti življenja. *Materialne razmere* (kljub istemu poimenovanju ni primerljivo z materialnimi razmerami v metodologiji OECD) predstavljajo steber *dejavniki kakovosti življenja* (*Quality of Life Enablers Pillar*) (leva stran slike 1), desna stran slike 1 pa predstavlja steber *uresničenost kakovosti življenja* (*Quality of Life Outcomes Pillar*), ki kaže na to, kako uspešno lahko posameznik v določenem območju deluje (Sessa s sodelavci 2020).

Kot že rečeno, so konceptualni okvir nadgradili z excelovim orodjem, ki omogoča primerjavo NUTS 3 regij na evropski in nacionalni ravni ter orodje za odločevalce, ki ga je mogoče uporabiti v različnih teritorialnih kontekstih in na različnih teritorialnih ravneh, ob predhodni prilagoditvi vključenih kazalnikov.

2.1 Izbor kazalnikov, oblikovanje baze podatkov, izračun sestavljenih indeksov in priprava atlasa

Model teritorialne kakovosti življenja predvideva en do dva kazalnika za vsako subdomeno. Izbor kazalnikov za raven Evrope je bil izveden s strani projektne skupine ESPON QoL in je vključeval različne baze podatkov (ESPONova baza podatkov, Eurostat, podatki agencij), večinoma pa so bili ti dosegljivi do ravni NUTS 3, na nižjih ravneh pa ne. Pogosto so bili podatki tudi starejšega datuma.

Za pripravo Atlasa kakovosti življenja v Sloveniji (Atlas ... 2021) smo v prvi fazi naredili širši nabor 84 kazalnikov ter jih preračunali na raven države (NUTS 1), kohezijskih regij (NUTS 2), statističnih regij (NUTS 3) in občin (LAU 2). Poglavitni viri podatkov so bili Statistični urad Republike Slovenije (SURS) – 21 kazalnikov, Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) – 13 kazalnikov, Eurostat – 7 kazalnikov, Eurobarometer in Zavod za gozdove (ZGS) – vsak po pet kazalnikov, Ministrstvo za javno upravo (MJU) – 4 kazalniki, Ministrstvo za notranje zadeve (Policija) – 3 kazalniki ter Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP), Ministrstvo za kulturo in Agencija za komunikacijska omrežja in storitve (AKOS) – vsak po dva kazalnika. Nadaljnjih 12 institucij je zagotovilo en kazalnik, osem pa smo jih pridobili iz lastnih virov oziroma smo jih izračunali. Pri izračunu dostopnosti do storitev smo kot podlago uporabili gradivo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.

Upošteva je osnovni namen posamezne subdomene smo iz nabora razpoložljivih kazalnikov pripravili bazo 40 kazalnikov (Atlas ... 2021).

Izbrane kazalnike smo vstavili v excelovo orodje, ki smo ga predhodno prilagodili številu slovenskih občin (212). Z orodjem smo nadalje izračunali 34 sestavljenih indeksov na ravni subdomen, domen in skupne teritorialne kakovosti življenja, in sicer za vsako teritorialno raven posebej (Territorial Quality ... 2021a; Territorial Quality ... 2021b).

Pri izdelavi atlasa smo zasledovali večnivojski pristop, in sicer so sodelavci z Univerze v Gentu pripravili izbrane evropske zemljevide in zemljevide Slovenije z okoliškimi NUTS 2 regijami, sami pa smo potem pripravili še zemljevide na regionalni in občinski ravni. Na koncu smo predstavili skupne rezultate in razlago na ravni posamezne subdomene.

3 Kakovost življenja v Sloveniji

3.1 Kakovost življenja v Sloveniji z evropske perspektive

Upošteva je kazalnike (ti se od našega nabora razlikujejo) in izračune iz projekta ESPON QoL (Sessa s sodelavci 2020) lahko zaključimo, da imajo z evropske perspektive NUTS 3 regije v zahodni Sloveniji nadpovprečno kakovost življenja, pri čemer ima obalno-kraška statistična regija najvišji indeks teritorialne kakovosti življenja, sledi pa ji osrednjeslovenska statistična regija, regije vzhodne Slovenije pa so rahlo pod evropskim povprečjem, s savinjsko statistično regijo z najnižjim indeksom teritorialne kakovosti življenja v Sloveniji.

Na področju *materialnih razmer* (*good life enablers*), ki vključujejo stanovanjsko problematiko, infrastrukturo, javne in zasebne storitve, mobilnost, poveztljivost, potrošniško izbiro, družbeno in kulturno življenje ter zeleno okolje, je celotna Slovenija nad evropskim povprečjem, zlasti na račun kakovostnega okolja in socioekonomskih dejavnikov, slabše pa so razmere na področju osebnih dejavnikov.

Na področju *zdravja, gmotnega položaja in varnosti* (*life maintenance*), ki se osredinja na osebno zdravje, varnost, vključujoče gospodarstvo, zdravo družbo, zdravo okolje in podnebne spremembe, so savinjska, zasavska, posavska, podravska in pomurska statistična regija pod evropskim povprečjem, ostale pa le to presegajo.

Tudi na področju *samopodobe ter vključenosti v družbo in okolje* (*life flourishing*), ki zajema samopodobo, samouresničevanje, družbeno pripadnost, zaupanje v ustanove, ekosistemske storitve in biodiverziteti, je z evropskega vidika stanje rahlo nadpovprečno v zahodni Sloveniji in podpovprečno v vzhodnem delu države, zlasti v podravske in pomurske statistični regiji. Tudi tu stanje izboljšujejo okoljski kazalniki (*okoljska sfera*), sicer pa je na področju *osebne in socio-ekonomske sfere* stanje v Sloveniji zaskrbljujoče, saj so vse slovenske regije močno pod evropskim povprečjem.

3.2 Kakovost življenja v Sloveniji na ravni regij

Rezultati analize kakovosti življenja (slika 2) z najnovejšimi podatki in s slovenskim razmeram prilagojenimi kazalniki potrjuje višjo kakovost življenja v zahodni Sloveniji in nižjo v vzhodni, je pa v primerjavi z rezultati študije ESPON QoL zaznati določene spremembe v vrstnem redu regij. Tako imata najvišjo teritorialno kakovost življenja gorenjska in osrednjeslovenska statistična regija ter najnižjo zasavska in pomurska statistična regija.

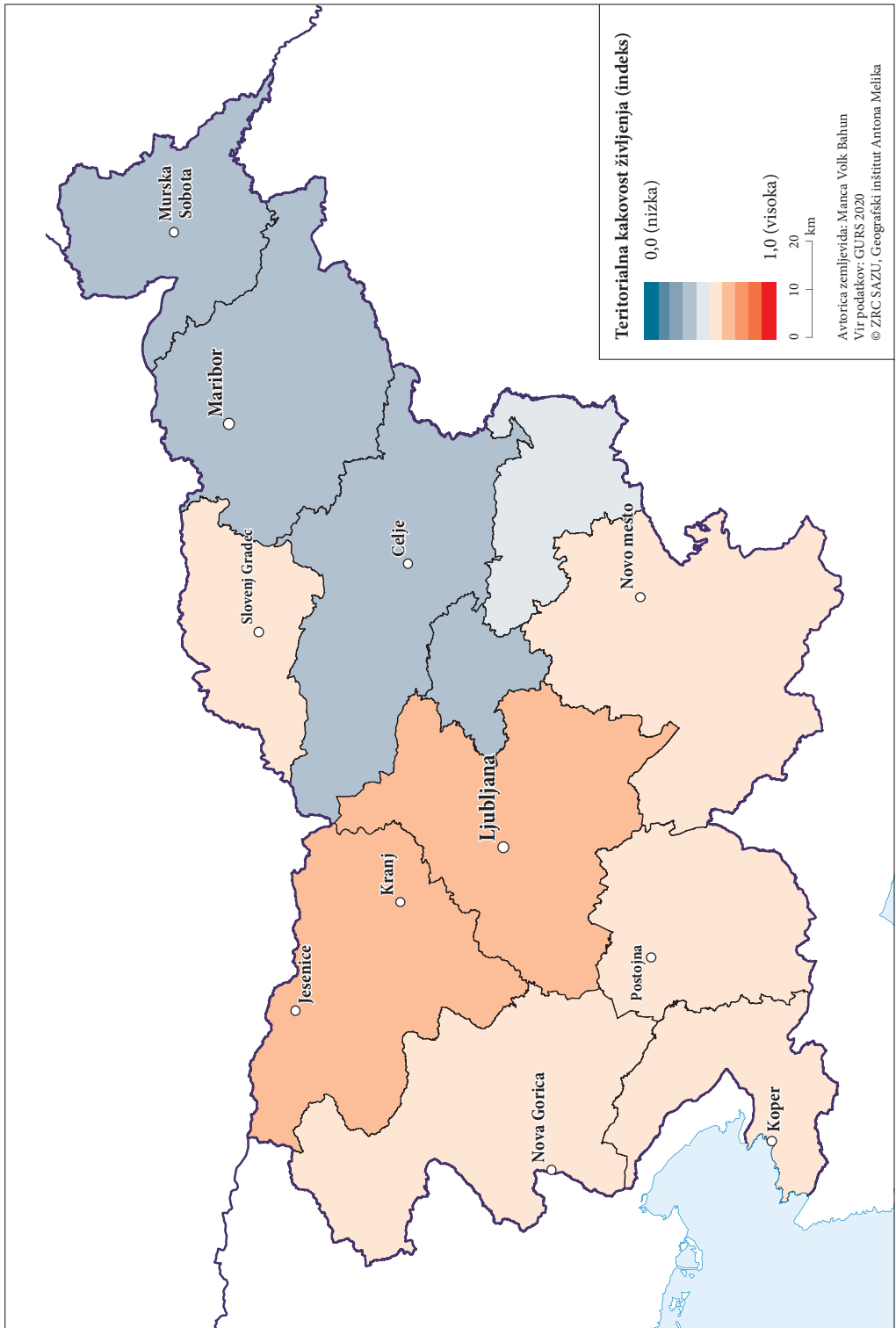
Najugodnejše *materialne razmere* ima osrednjeslovenska regija, kjer so v ospredju osebni in socio-ekonomski dejavniki, medtem ko so okoljski na ravni povprečja države. Najslabše *materialne razmere* ima zasavska statistična regija.

Na področju *zdravja, gmotnega položaja in varnosti* v pozitivno smer izstopajo gorenjska, osrednjeslovenska in obalno-kraška statistična regija, nadpovprečni sta še goriška in regija jugovzhodna Slovenija, ostale statistične regije so podpovprečne, z najslabšim stanjem v zasavski in savinjski statistični regiji.

Na področju *osebne sfere* izstopajo statistične regije z večjimi mesti (Ljubljana, Maribor in Koper), ostale statistične regije, z izjemo podpovprečnih zasavske in posavske statistične regije, so razmeroma homogene. Pri *socio-ekonomski sferi* preseneča obalno-kraška statistična regija, ki zaostaja za ostalimi regijami zahodne Slovenije. Najslabše razmere v tej sferi so v pomurski statistični regiji. Nekoliko drugačna je slika v *okoljski sferi*, kjer je boljše stanje v pomurski, posavski in koroški statistični regiji, medtem ko imata najslabše okoljske razmere savinjska in osrednjeslovenska statistična regija.

Na področju *samopodobe ter vključenosti v družbo in okolje* je presenečenje primorsko-notranjska statistična regija z izjemno dobrimi razmerami. Sledita ji goriška in gorenjska statistična regija. Podravska, pomurska in savinjska statistična regija imajo najnižje vrednosti sestavljenega indeksa na področju

Slika 2: Teritorialna kakovost življenja na regionalni ravni (NUTS 3). ► (str. 226)



samopodobe ter vključenosti v družbo in okolje. Na področju *osebne rasti* se kaže delitev Slovenije na vzhod in zahod, kjer ima zahodni del občutno višje vrednosti kot vzhodni del.

Manj izrazita je ta delitev na področju vključenosti v družbo in okolje. V obeh primerih izstopa primorsko-notranjska statistična regija, ki ji na primeru *vključenosti v družbo* sledi osrednjeslovenska, na primeru *vključenosti v okolje* pa koroška statistična regija. Najslabše stanje na področju *vključenosti v družbo* je v obalno-kraški statistični regiji in regiji jugovzhodna Slovenija, pri *vključenosti v okolje* pa v pomurski, podravski in osrednjeslovenski statistični regiji.

3.3 Kakovost življenja v Sloveniji na ravni občin

Delitev Slovenije na vzhodni in zahodni del je razvidna tudi iz analize kakovosti življenja na ravni občin (slika 3). Zahodna Slovenija je homogenejša in ima višji indeks teritorialne kakovosti življenja. Šest od desetih občin z najvišjo teritorialno kakovostjo življenja je v gorenjski statistični regiji, tri v osrednjeslovenski statistični regiji in ena v goriški statistični regiji. Med desetimi občinami z najnižjo kakovostjo življenja jih je sedem v podravski statistični regiji, po dve pa v pomurski in savinjski statistični regiji.

Na področju *materialnih razmer* so občine zelo heterogene. *Osebn*i in *socio-ekonomski dejavniki* kažejo na vlogo posameznih urbanih območij, *okoljski* pa na gorska in zelena območja. Ker se ta območja po navadi ne prekrivajo, je posledično heterogenost zelo velika.

Velike razlike so na področju *zdravja, gmotnega položaja in varnosti*, kjer so z najvišjimi sestavljenimi indeksi v ospredju posamezne suburbane občine. Področje *osebne rasti in varnosti* nakazuje na pomen mestnih območij, najuspešnejše občine na področju *zdravih gospodarstva in družbe* pa so na osi severozahod-jugovzhod, ki povezuje občine gorenjske in osrednjeslovenske statistične regije ter statistične regije jugovzhodna Slovenija.

V domeni *samopodobe ter vključenosti v družbo in okolje* je močnejša koncentracija uspešnejših občin v gorenjski statistični regiji, najslabše stoječe občine v tej domeni pa so zgoščene v podravski in pomurski statistični regiji.

Med vsemi tremi sferami kakovosti življenja so velike razlike. V *osebni sferi* je indeks najvišji v večini občin osrednjeslovenske, gorenjske, goriške in obalno-kraške statistične regije, deloma tudi v regiji jugovzhodna Slovenija, v vzhodni Sloveniji pa je ta indeks precej nižji.

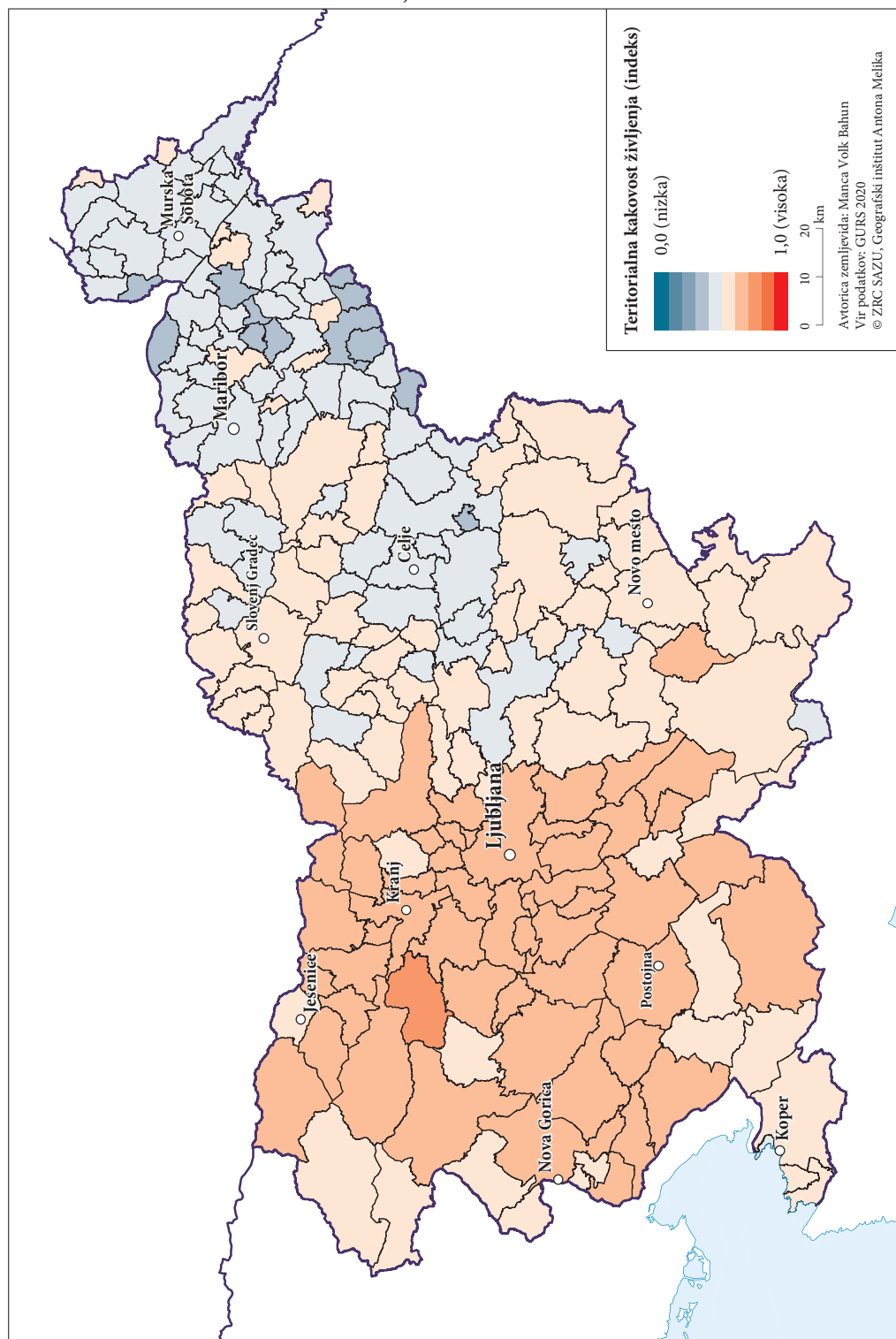
Na področju *vključenosti v družbo* so v ospredju občine v okolici Ljubljane, veliko manj pa občine v pomurski, posavski, primorsko-notranjski in gorenjski statistični regiji. Tudi v tem primeru *vključenost v okolje* izpostavlja vlogo hribovitih in gozdnatih območij z nadpovprečnimi vrednostmi sestavljenega indeksa in ravnine z urbaniimi naselji ter intenzivnim kmetijstvom, ki izkazujejo nižje vrednosti sestavljenega indeksa.

4 Vrednotenje procesa in dobljenih rezultatov

Na podlagi večnivojskega vrednotenja kakovosti življenja v Sloveniji lahko naredimo naslednje splošne zaključke:

- Z evropske perspektive sodi Slovenija med območja z razmeroma visoko kakovostjo življenja, predvsem njene zahodne regije. To lahko zlasti pripišemo kakovostnemu okolju (*okoljska sfera*), *osebna* in *socio-ekonomska sfera* pa imata še veliko možnosti za napredek. Šest regij na vzhodu države je rahlo pod evropskim povprečjem.
- Na državni ravni prihaja do izrazite delitve na zahodno Slovenijo z višjo teritorialno kakovostjo življenja in vzhodno Slovenijo z nižjo teritorialno kakovostjo življenja. Na ravni posameznih dimenzij je stanje podobno, z manjšimi odstopanji v eno ali drugo smer (na primer koroška in primorsko-notranjska

Slika 3: Teritorialna kakovost življenja na ravni občin (LAU 2). ► (str. 228)



statistična regija). To je zlasti posledica razlik v razporeditvi ekonomskih, socialnih in okoljskih dobrobiti, ki se praviloma ne prekrivajo (na primer, ekonomska moč se zgošča v mestih, naravno okolje pa je značilno za posamezna podeželska območja).

- Podrobne analize na občinski ravni ali ravni subdomen so ključne za razumevanje raznolikosti in posebnosti slovenskega ozemlja, kar je pomembno zlasti za odločevalce, saj le z dobrim poznavanjem območja lahko oblikujejo ustrezne politike in ukrepe.

Rezultati na ta način potrjujejo izsledke predhodnih študij (na primer Rován, Malešič in Bregar 2009; Šprah, Novak in Fridl 2014; Pečar 2017). Rován, Malešič in Bregar (2009) so vrednotenje blaginje prebivalcev izvedli na ravni 193 občin, saj želijo opozoriti na regionalne razlike v blaginji prebivalcev. Pri tem so uporabili metodo glavnih komponent. Podobno kot mi so izpostavili delitev na vzhodno Slovenijo z nižjo blaginjo in zahodno Slovenijo z višjo, prav tako so opazili dvojno naravo blaginje - številni ekonomski in socialni kazalniki so boljši v mestnih naseljih, da pa velikokrat dobre rezultate dosegajo tudi gospodarsko sicer šibkejšje občine, ki pa imajo ugodnejše življenjske in okoljske razmere.

Blaginjo prebivalcev po regijah so proučevale tudi Šprah, Novak in Fridl (2014), ki so uporabile metodologijo OECD, osredinile pa so se zlasti na zdravstveni vidik. Podobno kot mi so na podlagi sestavljenih indeksov ugotovile razlike med zahodno Slovenijo z višjo ravno blaginje in vzhodno z nižjo, pri čemer pa je blaginja tesno povezana tudi z zdravstvenim stanjem prebivalcev določenega območja. Opozarjajo tudi na pomen medregionalnih in medobčinskih razlik, čeprav slednjih v prispevku niso podrobneje proučevale.

Metodologijo OECD je na ravni statističnih regij uporabila tudi Janja Pečar (2017). V njej zmanjša število vključenih kazalnikov in jo predlaga kot model spremljanja regionalnega razvoja v Sloveniji. Na podlagi sestavljenega kazalnika je oblikovala štiri skupine regij, z osrednjeslovensko, gorenjsko in goriško statistično regijo v skupini z najvišjo regionalno blaginjo in pomursko ter posavsko statistično regijo v skupino z najnižjo regionalno blaginjo. Ob tem je opozorila na pomemben vidik, da kazalnik regionalne blaginje kaže drugačno sliko kot indeks razvojne ogroženosti, ki se za ocenjevanje razvoja uporablja v slovenski regionalni politiki. Pomembnejše spremembe so zlasti pri statistični regiji jugovzhodna Slovenija, kjer je blaginja nižja od pričakovane glede na ekonomske kazalnike, in primorsko-notranjski statistični regiji, kjer pa blaginja presega pričakovano raven glede na ekonomsko sliko.

Omenjene študije v primerjavi z našo uporabljajo različne kazalnike, prav tako različna področja, za katera so bili pripravljene sestavljeni indeksi (v našem primeru raven dimenzij, domen in subdomen). Navkljub temu lahko izpostavimo primerljive skupne zaključke, na primer izpostavljanje tradicionalne razvojne ločnice na vzhodno in zahodno Slovenijo, prav tako pomen spremljanja kakovosti življenja na nižjih teritorialnih ravneh, saj le tako zajamemo vso regionalno pestrost Slovenije. Prednost uporabljene metodologije projekta ESPON QoL je v večplastni zasnovi koncepta, vsaj delni primerljivosti na evropski ravni, zlasti pa v orodju za izračun kakovosti življenja za odločevalce, s katerim lahko koncept kakovosti življenja postane orodje na področju razvojnega načrtovanja. Kljub vsemu pa je pri uporabi orodja potrebna previdnost. Poiskati je namreč treba primerne kazalnike, njihova razpoložljivost pa se z nižanjem teritorialne ravni močno znižuje. Veliko relevantnih podatkov namreč ni dostopnih na ravni občin in regij ter jih je treba predhodno obdelati in preračunati. Primer so analize dostopnosti do storitev (uporabili smo preračune Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani) in javnega prometa (Gabrovec s sodelavci 2019), kjer smo poligone dostopnosti prekrivali s centralnim registrom prebivalstva, ali pa volilna udeležba po občinah na primeru državnoborskih volitev leta 2018, kjer je bilo treba križati podatke Državne volilne komisije in Geodetske uprave Republike Slovenije, prav tako tudi podatke o invazivnih rastlinah in prometnih nesrečah, kjer smo z uporabo geografskih informacijskih sistemov posamezne primere agregirali na raven občin in regij. Previdnost je potrebna tudi pri interpretaciji, saj sestavljeni indeksi lahko zabrišejo nekatere skrajne vrednosti na ravni posameznega kazalnika, kjer bi področje sicer zahtevalo nujno ukrepanje. Dejstvo, da imata dve prostorski enoti z vidika sinteznega indeksa (teritorialna kakovost življenja) isto vrednost, ne pomeni, da

sta primerljivi z vidika razvojnih možnosti, saj ima na primer eno območje lahko odlične ekonomske kazalnike in na drugi strani šibke okoljske kazalnike, drugo pa ravno obratno.

Poleg analitičnih korakov so geografski informacijski sistemi (program ArcGIS) služili tudi za pripravo zemljevidov.

5 Sklep

Namen prispevka je predstaviti model kakovosti življenja kot bolj celovito alternativo dosedanjemu ugotavljanju razvitosti območij, ki je s prevladujočim kazalnikom bruto domači proizvod slonelo zlasti na ekonomskih vidikih razvoja. Poleg predstavitve koncepta smo predstavili rezultate za Slovenijo, jih primerjali z rezultati sorodnih študij, ocenili pa smo tudi postopek, ki smo ga uporabili pri pripravi Atlasa kakovosti življenja v Sloveniji, začeniši z izborom kazalnikov, oblikovanjem baze podatkov, preračuni sestavljenih indeksov, do končne priprave zemljevidov in opisov na ravni Slovenije, regij, občin in na ravni posamezne subdomene.

Med ključnimi ugotovitvami lahko potrdimo že dlje časa prisotno delitev na zahodno Slovenijo z višjo teritorialno kakovostjo življenja in vzhodno Slovenijo z nižjo teritorialno kakovostjo življenja. Poleg tega je moč razbrati veliko regionalno raznolikost ter večdimenzionalnost koncepta kakovosti življenja, ki razen ekonomsko močnim območjem daje pomemben poudarek tudi osebnemu, socialnemu in okoljskemu vidiku ter s tem območjem, ki smo jih doslej pojmovali kot razvojno manj zanimiva. Na ta način si lahko lažje razlagamo vztrajanje prebivalcev na teh območjih in njihovo razmeroma veliko zadovoljstvo s kakovostjo življenja (primer Černe s sodelavci 2021), čeprav jih dosedanja merila razvitosti uvrščajo med slabše razvita in problemska območja.

Iz prispevka izhaja, da je celovit pogled na vse vidike razvoja nujen ter da je kot tak indeks teritorialne kakovosti življenja obetaven instrument za vrednotenje (regionalnega) razvoja. Indeks teritorialne kakovosti življenja s svojimi subdomenami kaže na potrebo po celovitem, integralnem razvoju, orodje, predstavljeno v projektu ESPON QoL ter uporabljeno za izračun sestavljenih indeksov pri pripravi Atlasa kakovosti življenja v Sloveniji, pa pomemben pripomoček za usmerjanje razvoja.

ZAHVALA: Prispevek je nastal v okviru programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Agencija Republike Slovenije za raziskovalno dejavnost ter projekta Atlas on Quality of Life in Slovenia, ki ga prek programa ESPON sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj.

6 Viri in literatura

Atlas on Quality of Life in Slovenia. Luxembourg, 2021.

Compendium of OECD well-being indicators, 2011. Medmrežje: <https://www.oecd.org/sdd/47917288.pdf> (9. 5. 2022).

Černe, N., Kenda, L., Mahnič, E., Mlinar, Ž., Nose, N., Osredkar, K., Paljk, U., Udovič, H., Nared, J. 2021: Prednosti in pomanjkljivosti življenja v obmejnih območjih Slovenije z vidika tam živčih prebivalcev. Regionalni razvoj včeraj, danes, jutri. Ljubljana.

ESPON QoL – Quality of Life Measurements and Methodology, 2020. Medmrežje: <https://www.espon.eu/programme/projects/espon-2020/applied-research/quality-of-life> (9. 5. 2022).

Evropa 2020: Strategija za pametno, trajnostno in vključujočo rast, 2010. Bruselj. Medmrežje: https://ec.europa.eu/eu2020/pdf/1_SL_ACT_part1_v1.pdf (9. 5. 2022).

Gabrovec, M., Razpotnik Visković, N., Bole, D., Hrvatina, M., Repolusk, P., Tiran, J., Volk Bahun, M. 2019: Analiza dostopnosti javnega potniškega prometa s prepoznavanjem glavnih vrzeli v njegovi ponudbi. Medmrežje: https://www.care4climate.si/_files/196/Izrocek-ZRC-SAZU.pdf (22. 8. 2021).

- GDP & Beyond, 2009. Medmrežje: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5726917/KS-BU-10-002-EN.PDF/07e0c52e-39c2-4e09-a9ac-cc8ac99071c6?version=1.0> (9. 5. 2022).
- Hoegen, M. 2009: Statistics and the quality of life: Measuring progress – a world beyond GDP. Bonn.
- Pečar, J. 2017: Spremljanje regionalnega razvoja. Prostor, regija, razvoj. Ljubljana.
- Quality of life indicators, 2021. Medmrežje: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quality_of_life_indicators (25. 10. 2021).
- Rovan, J., Malešič, K., Bregar, L. 2009: Blaginja občin v Sloveniji. Geodetski vestnik 53-1.
- Sessa, C., Galvini, G., Biosca, O., del Castillo, H., Uljed, A., Tödtling-Schönhofer, H., Haider, J., Schönhofer, A., Rauhut, D., Makkonen, T., Kroesen, M. 2020: ESPON QoL – Quality of Life Measurements and Methodology. Medmrežje: <https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ESPON%20QoL%20-%20Final%20Report%20-%2001292021-FINAL.pdf> (9. 8. 2021).
- Šprah, L., Novak, T., Fridl, J. 2014: Blaginja prebivalcev Slovenije po regijah: primerjava kazalnikov s poudarkom na zdravju. Acta geographica Slovenica 54-1.
- Territorial Quality of Life EUROPEAN DASHBOARD, 2020. Medmrežje: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ESPON_QoL_DASHBOARD_EU.xlsx (9. 5. 2022).
- Territorial Quality of Life EUROPEAN DASHBOARD, 2021a. Medmrežje: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ESPON_QoL_DASHBOARD_Slovenia_NUTS3_ZRC-SAZU_2021.xlsx (26. 5. 2022).
- Territorial Quality of Life EUROPEAN DASHBOARD, 2021b. Medmrežje: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ESPON_QoL_DASHBOARD_Slovenia_municipal%20level%20LAU2_ZRC-SAZU_2021.xlsx (26. 5. 2022).
- The 17 Goals, 2022. Medmrežje: <https://sdgs.un.org/goals> (9. 5. 2022).

TERENSKÉ MERITVE MOBILNIH OMREŽIJ 4G

dr. Tomaž Šturm, Niko Gaberc

Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije

tomaz.sturm@akos-rs.si

niko.gaberc@akos-rs.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_18

UDK: 621.39:528.4(497.4)

IZVLEČEK

Terenske meritve mobilnih omrežij 4G

Operaterji mobilne telefonije s tehnologijo 4G zagotavljajo visoke pretočne hitrosti prenosa podatkov od bazne postaje do uporabnika in obratno ter omogočajo mobilne širokopasovne povezave skoraj povsod v Sloveniji. Podatki baznih postaj omogočajo izdelavo kart pokritosti mobilnega omrežja 4G, ki prikazujejo pokritost Slovenije z mobilnim signalom posameznega operaterja. Merilna kampanja, ki smo jo izvedli leta 2020, je omogočila kontrolo kart pokritosti mobilnega omrežja in pokazala na glavne značilnosti mobilnega omrežja 4G v Sloveniji. Primerjava med izmerjenimi vrednostmi točk in kartami pokritosti mobilnega omrežja je pokazala zelo dobro ujemanje med merjenimi in modeliranimi podatki. Razlike med mobilnim omrežjem 4G posameznih mobilnih operaterjev pa so odvisne od prostorske razporeditve baznih postaj, uporabljenih frekvenčnih območij ter razdalje med merjenimi lokacijami in baznimi postajami.

KLJUČNE BESEDE

mobilna tehnologija, operaterji mobilnih omrežij, 4G, merilna kampanja, bazne postaje, karte pokritosti mobilnega omrežja

ABSTRACT

Field measurements of 4G mobile networks

Mobile telephony operators with 4G technology provide fast data throughput to and from the user and provide conditions for normal work almost everywhere in Slovenia. Base stations data enable the production of 4G mobile technology coverage maps, which show the coverage of the mobile signal of an individual operator in Slovenia. The measurement campaign enabled the control of mobile coverage maps and pointed out the main features of the 4G mobile network in Slovenia. A comparison between the measured points and the mobile coverage maps showed very good matching. The differences between the 4G mobile network of individual mobile operators depend on the spatial distribution of base stations, used frequency bands and the distance between the measured locations and base stations.

KEY WORDS

mobile technology, mobile network operators, 4G, measurement campaign, base stations, mobile coverage maps

1 Uvod

Mobilna tehnologija četrte generacije (4G/LTE) doživlja razcvet (The state ... 2021), ker omogoča visoke pritočne hitrosti in posledično zagotavlja dovolj kakovostno internetno povezavo, tudi v primeru, ko nimamo nobene druge povezave s spletom. Zato je največji izziv za operaterje javnih mobilnih omrežij, ki imajo lastno infrastrukturo (v nadaljevanju operaterji), zagotavljanje širokopasovnih storitev z visoko zmogljivostjo. S tem namenom operaterji postavljajo bazne postaje ne samo v urbanih središčih, ampak tudi na ruralnih območjih, s čimer se trudijo pokriti kar največji del Slovenije in omogočiti prebivalcem in obiskovalcem v vsakem trenutku dovolj hiter in zanesljiv internetni dostop. Za spremljanje in optimizacijo delovanja mobilnega omrežja za zagotavljanje visokokakovostnih storitev in boljše izkoriščenost virov so potrebni ključni kazalniki, ki so bili standardizirani s projektom *Third Generation Partnership Project* (Universal ... 2020) in jih je mogoče razvrstiti v naslednje podkategorije: dostopnost, vzdržljivost, mobilnost, celovitost in razpoložljivost. Nekateri od teh kazalnikov se merijo na ravni omrežja, drugi pa na ravni celične skupine, ki je določena s pokritostjo posameznih baznih postaj znotraj omrežja. Ob uvedbi tehnologije 4G, leta 2014, so operaterji pridobili potreben spekter radijskih frekvenc za zagotavljanje storitev mobilnega dostopa 4G. Pogoji uporabe in zaveze operaterjev so zapisani v Odločbah o dodelitvi radijskih frekvenc (v nadaljevanju ODRF; Zakon o ... 2012), Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije (v nadaljevanju agencija) pa je pristojna za preverjanje izpolnjevanja teh pogojev. Pri podeljevanju radijskih frekvenc za mobilna omrežja tehnologije 4G je tako bila določena vrednost hitrosti prenosa podatkov k uporabniku (angleško *download*) 10 Mbit/s (Metodologija ... 2016). Neko področje je tako deklarirano kot pokrito, če so hitrosti od omrežja k uporabniku nad to vrednostjo. Na prenosne hitrosti vpliva veliko različnih parametrov, zato so bili z mnogimi meritvami določeni trije razredi, glede na jakosti sprejetih referenčnih signalov (angleško *Reference Signal Received Power – RSRP*), kjer lahko uporabniki pričakujejo različne uporabniške izkušnje (ECE Report ... 2016). V razredu *zelo dobro* so pričakovane visoke prenosne hitrosti v obe smeri in to znotraj in zunaj objektov, v razredu *dobro* so prav tako pričakovane visoke prenosne hitrosti v obe smeri, vendar zunaj objektov, v razredu *mejno* pa so pričakovane zadovoljive prenosne hitrosti v smeri k uporabniku. Ti razredi določajo verjetnost, s katero bo uporabnik podatke pretočil na ali iz svoje naprave z določeno hitrostjo. Pri preverjanju izpolnjevanja zahtev iz ODRF si agencija pomaga z namenskim orodjem za simuliranje in izračunavanje pokrivanja s signalom mobilnih tehnologij. Karte pokritosti mobilnih omrežij se izdelujejo na podlagi podatkov operaterjev, ki so skladno z Zakonom o elektronskih komunikacijah (2012) zavezani, da agenciji sporočajo parametre svojih omrežij. Z uporabo ustrezne programske opreme se izdelajo grafični sloji, ki prikazujejo pokritosti z mobilnim signalom 4G. Do sedaj agencija še ni izvedla preverbe točnosti izdelave teh kart, kar pa se je spremenilo z merilno kampanjo leta 2020, ki je obsegala meritve mobilnih signalov 3G in 4G. Povod za merilno kampanjo je bila tehnologija 4G, saj je poteklo obdobje, v katerem so operaterji morali izpolniti določene pogoje, ki so jih pridobili pri podeljevanju frekvenčnih pasov za tehnologije 4G (Gaberc 2019). Cilj analize je preveriti, ali se izračunane in izmerjene vrednosti mobilnih signalov v Sloveniji ujemajo, ter nato še podrobneje analizirati moč signala izmerjenih točk in njihovo oddaljenost od baznih postaj.

2 Bazne postaje

Bazna postaja je sestavni del omrežja mobilne telefonije, ki je komunikacijski sistem za zagotavljanje mobilne storitve. Naloga bazne postaje je zagotoviti povezavo med mobilnim telefonom in omrežjem. Vsaka bazna postaja ima pogosto več anten, ki so usmerjene v različne smeri in pokrivajo različne sektorje oziroma področja okoli bazne postaje. Glavno vodilo načrtovanja omrežij je, kako postaviti ekonomsko vzdržno omrežje, ki bo zagotavljalo optimalno pokrivanje, imelo dovolj zmogljivih kapacitet za prenos podatkov med jedrom omrežja in uporabnikom ter bo dovolj kakovostno (Mishra 2004).

Največkrat se išče ravnovesje med temi tremi kriteriji, ki je odvisno od politike posameznega operaterja. Podatki o baznih postajah vsebujejo naslednje informacije:

- datum zajema podatkov o baznih postajah,
- lokacija bazne postaje (f_i , λ),
- tehnologija (4G),
- enolična oznaka operaterja,
- enolični identifikator bazne postaje in ime bazne postaje,
- usmerjenost antene (azimut),
- skupna oddajna moč,
- unikatna številka celice,
- enolična oznaka celice v 4G,
- številka radiofrekvenčnega kanala v 4G.

Operaterji imajo na terenu različne bazne postaje, različno število le-teh in tudi nameščene so na različnih lokacijah (slika 1).

V merilni kampanji so bile izvedene meritve štirih mobilnih omrežij, vendar so imeli z lastnimi baznimi postajami celotno Slovenijo pokrito le trije operaterji (Gaberc 2020). V analizi smo zato obravnavali podatke samo treh operaterjev.

3 Karte pokritosti javnih mobilnih omrežij 4G

Pokrivanje določenega območja z mobilnimi signali je najbolj nazorno prikazano s pomočjo geografskih prikazov (karta). S tem namenom je Združenje evropskih regulatorjev elektronskih komunikacij (BEREC) v svojem priporočilu podalo nekaj smernic, na kakšen način naj nacionalni regulatorji pripravijo in prikazujejo karte pokritosti mobilnih omrežij (BEREC ... 2017). Za pravičen izračun pokrivanja s signalom določene tehnologije je treba poznati tudi, kaj vse vpliva na to, da signal iz ene bazne postaje toliko oslabi in postane prešibak za prenos podatkov do uporabnika. Razširjanje radijskih valov lahko opišemo z različnimi modeli, katerih uporaba je nujna za izračune pokrivanja v telekomunikacijah. Modeli morajo biti dovolj natančni, da predstavijo dejansko stanje v naravi.

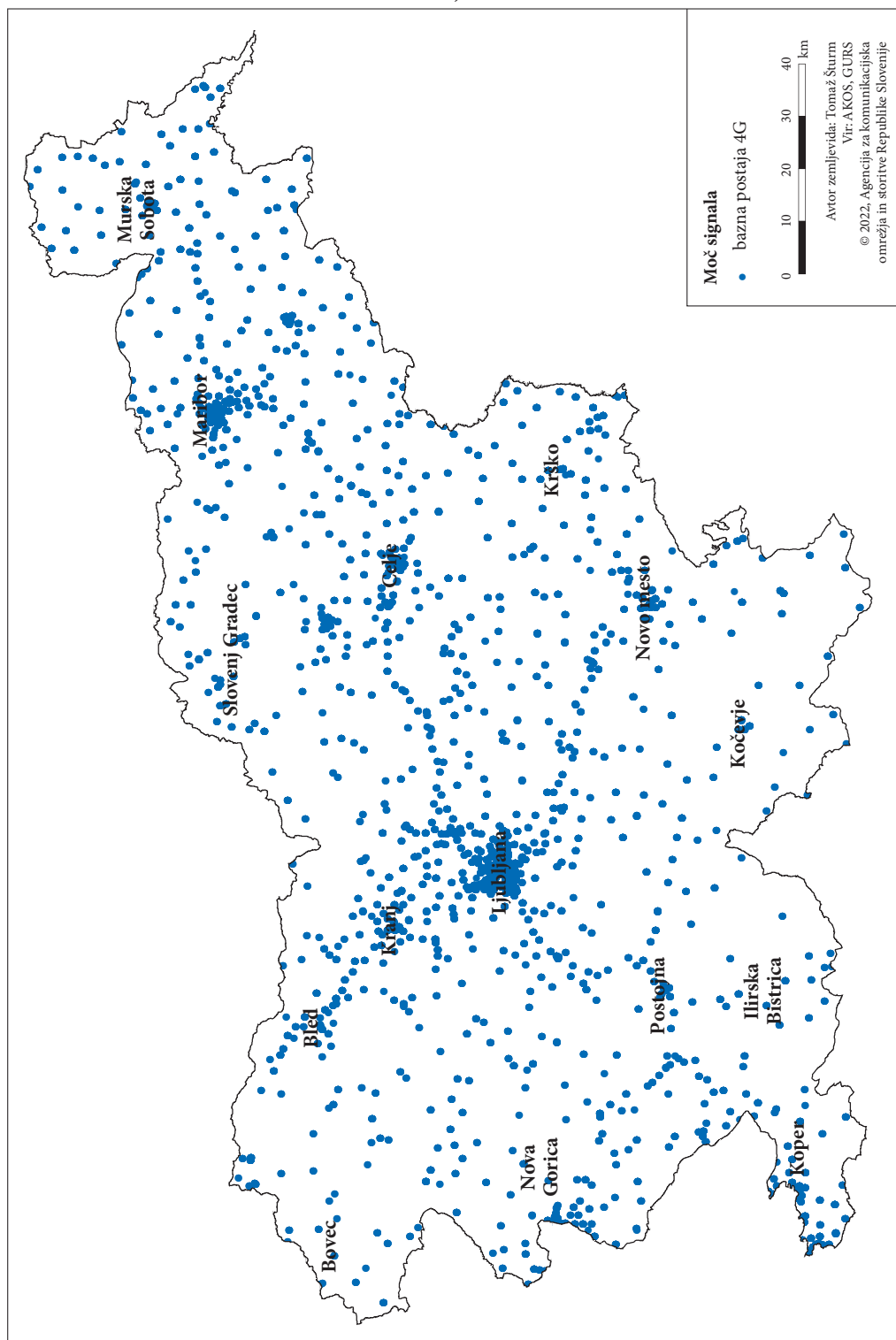
Za izračune pokrivanja javnih mobilnih omrežij agencija v Sloveniji uporablja model po priporočilu Mednarodne zveze za telekomunikacije (ITU; angleško *International Telecommunication Union*), in sicer *ITU-R P.1812-4* (A path-specific ... 2015). Bolj podroben opis izračuna mobilnega pokrivanja, za katerega se uporabljajo tudi podatki baznih postaj, je predstavil Gaberc (2019). Za razumevanje kompleksnosti prikazovanja mobilne pokritosti se uporabljajo karte. Takšen prikaz omogoča večjo stopnjo preglednosti in informira uporabnike o razpoložljivosti mobilnih signalov ali storitev na določenem območju ali lokacijah, ki so zanje pomembne (domači naslov, lokacija zaposlitve, nakupovalna in turistična središča ...). Poleg informiranja glede pokritosti na določenih območjih pa objava takih kart dviguje ozaveščenost uporabnikov, saj lahko primerjajo razpoložljivost mobilnih omrežij in izberejo operaterja, ki najbolj ustreza njihovim potrebam.

Karte pokritosti mobilnih omrežij z velikostjo celice 25 m za celo državo izdeluje agencija. Te karte so izdelane za vsakega operaterja mobilnega signala 4G z uporabo podatkov o baznih postajah. Kakovost pokrivanja mobilnega signala je razdeljena na tri razrede (*zelo dobro*, *dobro* in *mejno*) glede na moč signala (slika 2). Na vsaki karti obstajajo tudi območja, za katere je izračun teoretičnega pokrivanja mobilnega signala pokazal, da signala 4G ni (Geoportal AKOS 2022).

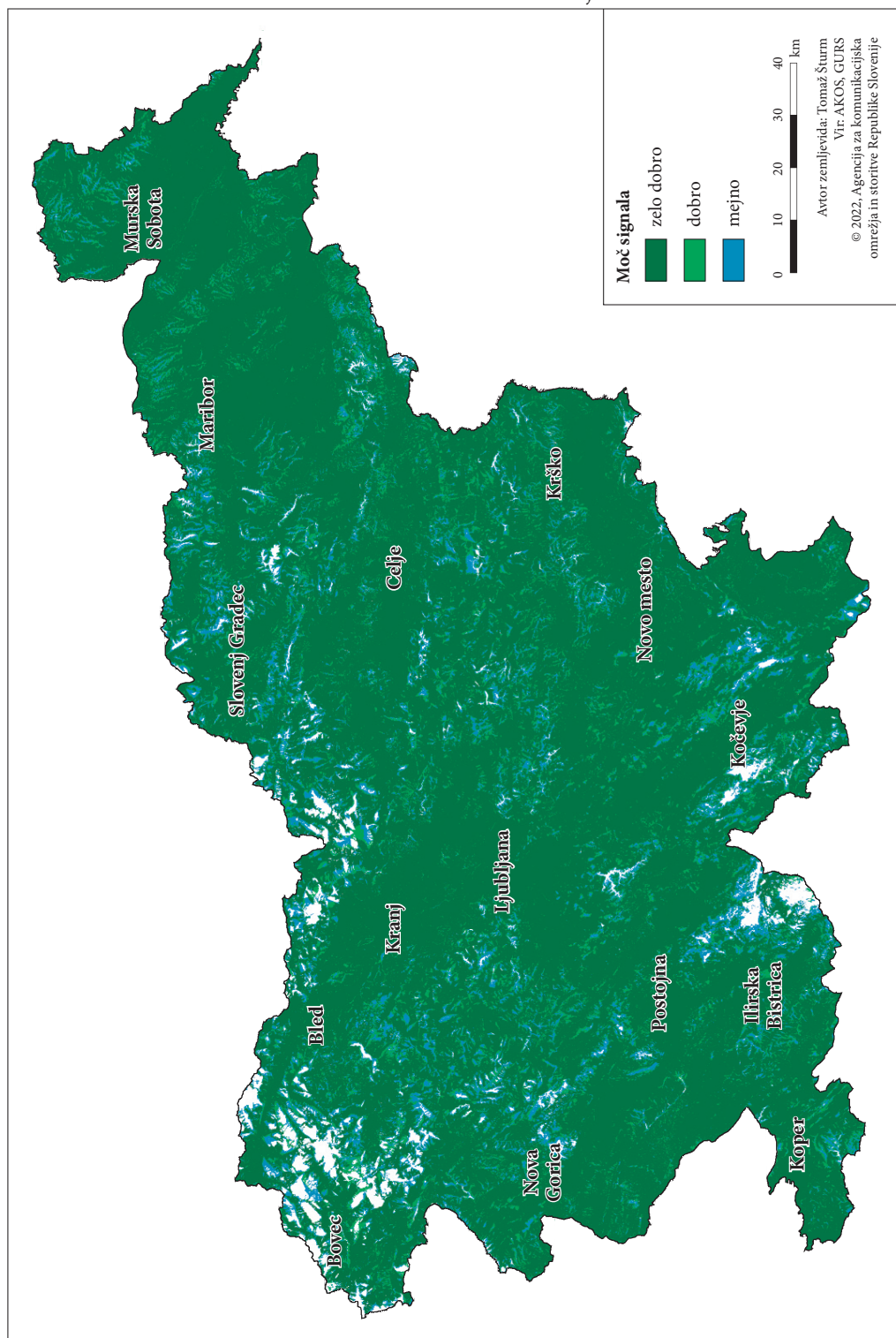
Vsak izmer treh analiziranih operaterjev ima veliko pokritost območja Slovenije z *zelo dobrim* signalom (več kot 67 %), na drugi strani pa je zelo malo območij, ki z mobilnim signalom 4G niso pokrita

Slika 1: Lokacije baznih postaj 4G enega operaterja. ► (str. 236)

Slika 2: Karta pokritosti mobilnega omrežja 4G enega izmed operaterjev. ► (str. 237)



Terenske meritve mobilnih omrežij 4G



(manj kot 10 %). Z upoštevanjem zelo dobrega in dobrega signala skupaj, je pokritega več kot 80 % celotnega ozemlja Slovenije pri vsakem od treh operaterjih (preglednica 1).

Preglednica 1: Deleži pokrivanja posamezne moči signala po operaterjih (%).

| moč signala | operater 1 | operater 2 | operater 3 |
|-------------|------------|------------|------------|
| zelo dober | 67,7 | 79,7 | 72,1 |
| dober | 13,0 | 10,6 | 12,2 |
| mejno | 10,0 | 6,6 | 8,8 |
| ni signala | 9,2 | 3,2 | 6,9 |

Podatki kažejo na zelo veliko pokritost z vsaj *dobrim* signalom v večjem delu države, predvsem v urbanih središčih (Geoportal AKOS 2022). Območja brez mobilnega signala v Sloveniji obsegajo dele Julijskih Alp, Karavank, Kamniško-Savinjskih Alp, Pohorja, Kozjaka, Kočevskega Roga ter v okolici Goteniške gore, Snežnika in Trnovskega gozda.

4 Meritve signala javnih mobilnih omrežij 4G

Merjenje in ocenjevanje pokritosti, zmogljivosti in kakovosti storitve (angleško *Quality of Service – QoS*) mobilnega radijskega omrežja je sestavljeno iz uporabe motornega vozila, ki vsebuje opremo za merjenje mobilnega omrežja, ki lahko zazna in zabeleži široko paleto fizičnih in virtualnih parametrov mobilne storitve na določenem geografskem območju. Z merjenjem brezžičnega omrežja na katerem koli določenem območju lahko operaterji izvajajo usmerjene spremembe v svojih omrežjih ter tako zagotavljajo boljšo pokritost in storitve za svoje stranke. Za testiranje je potrebno mobilno vozilo, ki je opremljeno z merilno opremo za testiranje. Opremo običajno sestavljajo visoko specializirane elektronske naprave, kot so širokopasovni merilni sprejemniki, ki so namenjeni zajemanju parametrov mobilnega omrežja (jakost referenčnih signalov, identifikacija celic) ter specialni mobilni terminali, kateri pa služijo meritvam ključnih parametrov, ki nam dajo informacije o kakovosti posameznih omrežij (QoS). To zagotavlja, da so meritve realistične in primerljive z dejanskimi uporabniškimi izkušnjami. Mobilne meritve se izvajajo med vožnjo z merilnim vozilom po celi državi (Fratel 2020).

Na agenciji se za ta namen uporablja prilagojeno specialno merilno vozilo, ki je namenjeno meritvam pokrivanj različnih tehnologij na različnih frekvenčnih področjih zunaj objektov, vozilo pa je prirejeno na način, da je vsa merilna in ostala oprema nameščena v njegovi notranjosti, antene pa so preko povezovalnih radiofrekvenčnih kablov nameščene na strehi vozila. Za mobilne meritve najrazličnejših tehnologij in storitev agencija uporablja merilno opremo proizvajalca *Rohde & Schwarz*. Sistem za merjenje mobilnega signala je sestavljen iz sprejemnika signala GPS, računalnika s programsko opremo, širokopasovnega merilnega sprejemnika, mobilnih terminalov in sistema za brezprekinitveno napajanje (slika 3). Napajanje je zagotovljeno iz merilnega vozila.

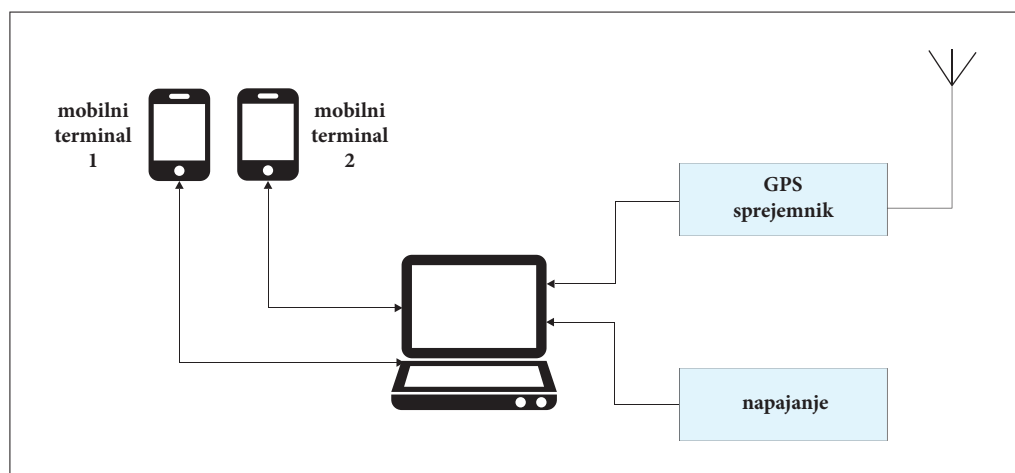
Agencija je izvedla mobilne meritve signalov tehnologij 3G in 4G med vožnjo z merilnim vozilom po slovenskih cestah 1. in 2. kategorije (slika 4). Mobilne meritve so se izvedle v 21 merilnih dneh (od aprila do septembra 2020) oziroma v 78,5 urah, mobilni signali so bili izmerjeni na 4200 km cest (Gaberc 2020).

Vseh izmerjenih točk z vsemi parametri je skupaj 1.733.868, za vsako točko je bilo na voljo 19 različnih parametrov (preglednica 2).

Za analizo so se uporabile vse izmerjene točke tehnologije 4G, razen tistih, ki imajo nepravilno zapisano zemljepisno širino in dolžino. Tako je ostalo več kot 99,9 % vseh točk posameznega operaterja, s katerimi je bila narejena analiza.

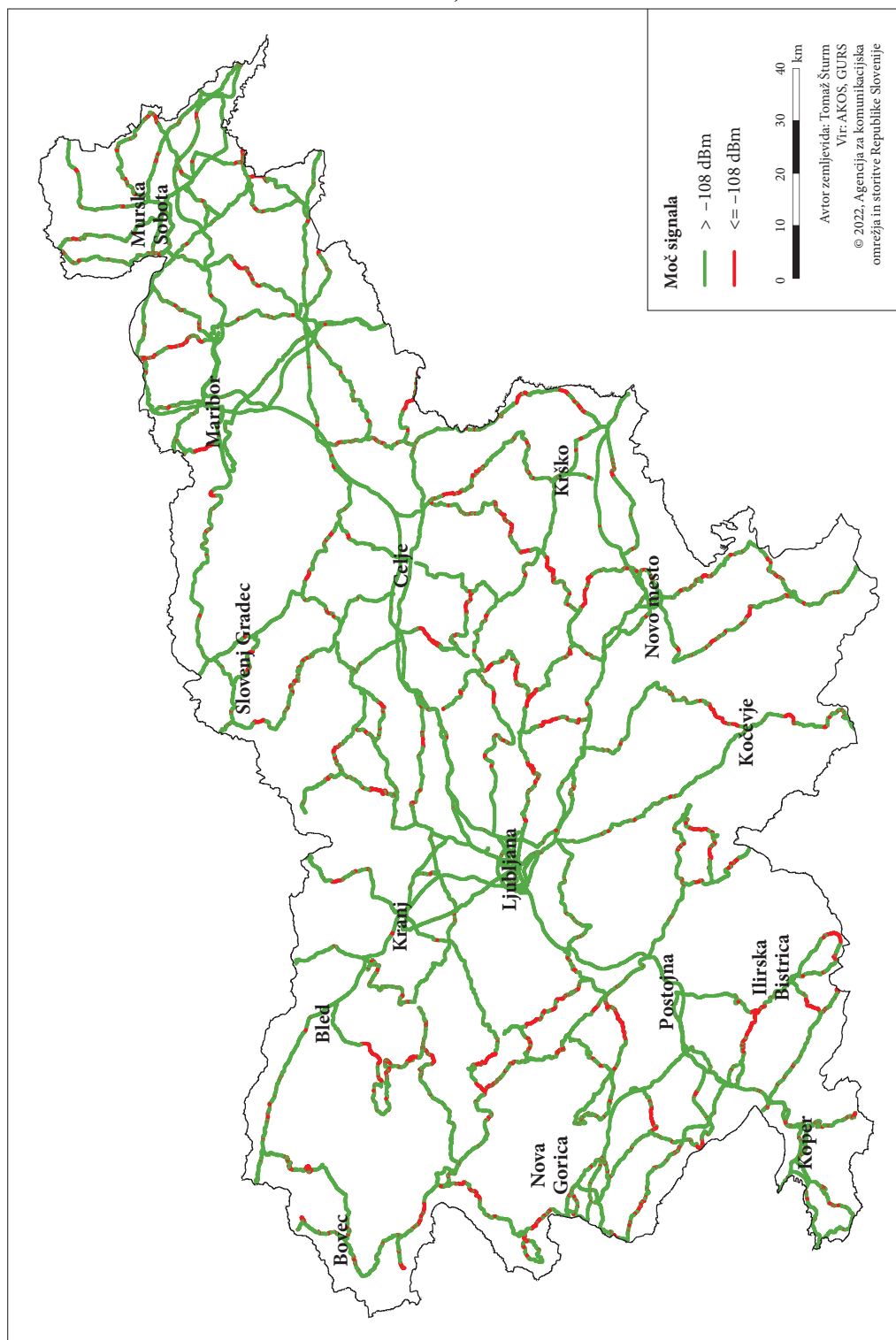
Preglednica 2: Seznam merjenih parametrov izmerjenih točk.

| oznaka stolpca | opis |
|------------------|---|
| <i>datum</i> | datum meritve |
| <i>cas</i> | čas meritve |
| <i>latitude</i> | zemljepisna širina |
| <i>longitude</i> | zemljepisna dolžina |
| <i>speed</i> | hitrost merilnega vozila v času zajema vzorca |
| <i>heading</i> | smer merilnega vozila v času zajema vzorca |
| <i>tech</i> | tehnologija (2G, 3G, 4G) |
| <i>mcc</i> | koda države (SLO: 293) |
| <i>mnc</i> | koda mobilnega operaterja |
| <i>rsrp</i> | moč sprejetih referenčnih signalov |
| <i>rsrq</i> | kvaliteta sprejetih referenčnih signalov |
| <i>sinr</i> | razmerje med signalom ter motnjami in šumom |
| <i>power</i> | skupna sprejeta moč |
| <i>eci</i> | 28-bitna enolična oznaka celice v 4G |
| <i>enodeb</i> | ime bazne postaje |
| <i>cellid</i> | unikatna številka celice |
| <i>pci</i> | oznaka celice v 4G |
| <i>frequency</i> | centralna frekvenca kanala |
| <i>earfcn</i> | številka radiofrekvenčnega kanala v 4G |



Slika 3: Sistem za merjenje mobilnega signala (MohaSyed 2013).

Slika 4: Prevožena pot merilne kampanje. ► (str. 240)



5 Primerjava kart pokritosti mobilnih omrežij z izmerjenimi vrednostmi

Primerjava med vrednostmi karte pokritosti mobilnega omrežja 4G (slika 2) in izmerjenimi vrednostmi mobilnega signala (slika 4) je bila narejena zaradi ugotavljanja razlik med simuliranimi podatki in stanjem na terenu. Torej, ali je področje, ki ga je simulacija izračunala za »pokritega«, dejansko pokrito tudi na terenu oziroma obratno, ali je področje, ki ga je simulacija izračunala za »nepokritega«, dejansko nepokrito. Za izračun ujemanja so bile določene tri vrste odstopanj (Gaberc 2019):

- ni odstopanja*: karta pokritosti mobilnega omrežja prikazuje območja enako kot so pokazale tudi meritve,
- odstopanje meritev*: karta pokritosti mobilnega omrežja prikazuje, da področje ni pokrito, meritve pa so pokazale ravno obratno, torej da je področje pokrito z zelo *dobrim*, *dobrim* ali *mejnim* signalom,
- odstopanje simulacije*: karta pokritosti mobilnega omrežja prikazuje, da bi področje moralo biti pokrito z zelo *dobrim*, *dobrim* ali *mejnim* signalom, meritve pa kažejo, da ni pokrito.

Najpomembnejši podatek za oceno kakovosti karte pokritosti mobilnega omrežja predstavlja delež kategorije *ni odstopanja*, ki pomeni ujemanje med vrednostmi karte pokritosti mobilnega omrežja in izmerjenimi vrednostmi. Ujemanje je pri vseh treh operaterjih vsaj 89,5 % (preglednica 3).

Preglednica 3: Delež odstopanja (v %) med izmerjenimi vrednostmi in simuliranimi vrednostmi mobilnega signala.

| vrsta odstopanja | operator 1 | operator 2 | operator 3 |
|-----------------------|------------|------------|------------|
| ni odstopanja | 91,0 | 89,5 | 92,3 |
| odstopanje meritev | 2,6 | 0,8 | 2,1 |
| odstopanje simulacije | 6,4 | 9,7 | 5,6 |

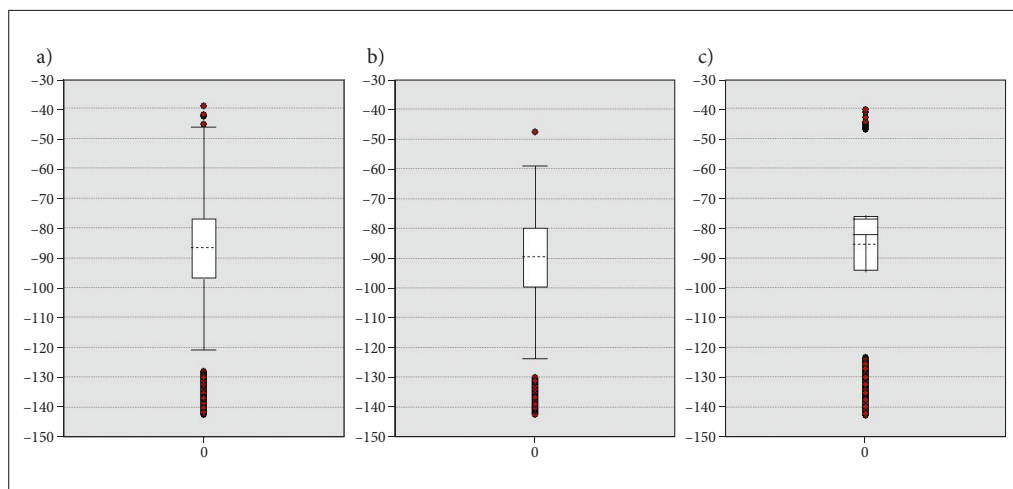
6 Analiza moči oddanega signala in frekvenčnih področij

Analize pokritosti s signali javnih mobilnih omrežij so osredotočene predvsem na moč (jakost) sprejetih referenčnih signalov (RSRP) posamezne bazne postaje, saj se ta parameter lahko najbolj natančno izmeri. Za vsako izmerjeno točko je zapisana vrednost izmerjene moči signala v dBm (decibeli na milivat) in razvrstitev v različne razrede (preglednica 4). Največ izmerjenih točk z zelo *dobrim* signalom ima operator 3, sledi operator 1. Oba imata več kot polovico izmerjenih točk v razredu zelo *dobro*. Operator 2 ima manj kot polovico vseh točk v razredu zelo *dobro*.

Preglednica 4: Primerjava deležev (%) izmerjenih vrednosti točk po razredih.

| moč signala | vrednost signala [dBm] | operator 1 | operator 2 | operator 3 |
|-------------|------------------------|------------|------------|------------|
| zelo dobro | ≥ -88 | 53,36 | 45,98 | 57,14 |
| dobro | < -88 in ≥ -98 | 23,00 | 24,94 | 22,95 |
| mejno | < -98 in ≥ -108 | 14,30 | 17,84 | 12,07 |
| ni signala | < -108 | 9,34 | 11,24 | 7,84 |
| | | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Statistična razpršenost vrednosti izmerjenih točk glede na moč oddanega signala je prikazana z grafikoni kvartilov (slika 5). Značilni statistični prameter mediana se med operaterji razlikuje, čeprav so vrednosti dokaj blizu skupaj. Operator 1 (slika 5a) in operator 3 (slika 5c) imata mediano v razredu zelo *dobro*, operator 2 (slika 5b) pa v razredu *dobro*.



Slika 5: Grafikoni kvartilov moči signala (dBm) za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c). Črtna črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

Podatki o izmerjenih točkah vsebujejo tudi podatke, s katero tehnologijo oziroma v katerem frekvenčnem področju so bile zajete. Operaterji v Sloveniji uporabljajo različna frekvenčna področja in sicer LTE800, LTE900, LTE1800, LTE2100 IN LTE2600. Uporaba različnih frekvenčnih področij se med operaterji razlikuje, vsem pa je skupna uporaba tehnologij LTE800 in LTE1800, katerih značilnosti izmerjenih vrednosti točk so prikazane na sliki 6.

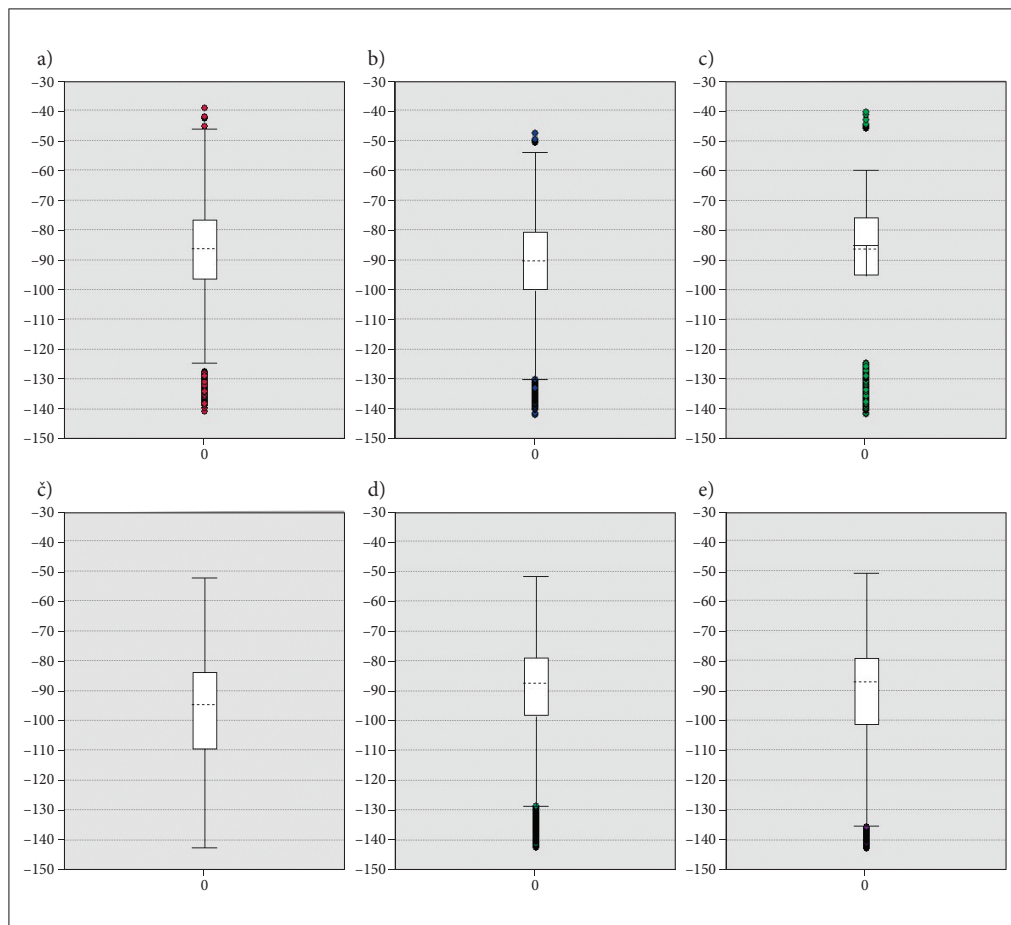
Operater 1 (slika 6a) ima mediano v razredu *zelo dobro* za tehnologijo LTE800, medtem ko je za tehnologijo LTE1800 v razredu *dobro* (slika 6č). Operater 2 ima za tehnologijo LTE800 mediano v razredu *dobro* (slika 6b), za tehnologijo LTE1800 pa v razredu *zelo dobro* (slika 6d). Najboljšo mediano v razredu *zelo dobro* ima v obeh tehnologijah operater 3 (slika 6c, slika 6e).

7 Analiza moči oddanega signala, frekvenčnih področij in oddaljenosti od bazne postaje

Za potrebe analize povprečnih razdalj do baznih postaj po posameznih razredih moči sprejetih referenčnih signalov, se je izmerjenim točkam pripisalo še podatke o lokaciji bazne postaje, iz katere je bil sprejet mobilni signal. Povezava med lokacijami izmerjenih točk in baznimi postajami je pokazala, da v merilni kampanji 2020 niso bile zajete vse bazne postaje vseh operaterjev (Gaberc 2020). Razlike v številu izmerjenih baznih postaj med operaterji se razlikujejo zaradi različnih razpršenosti baznih postaj in uporabe različnih frekvenčnih področjih. Prav tako se merijo že delujoča omrežja, katera pa operaterji nenehno dograjujejo in spreminjajo, zato se lahko zgodi, da katera bazna postaja ni izmerjena kljub bližini trase, ker jo je operater med trajanjem merilne kampanje spremenil. Moč signala je povezana z oddaljenostjo od bazne postaje. Iz preglednice 5 je razvidno, da se močnejši signal pojavlja pri manjši oddaljenosti od bazne postaje.

Operaterja 1 in 3 imata povprečne razdalje v vseh razredih nekaj višje kot operater 2. To spet lahko pripišemo temu, da operater 2 uporablja več baznih postaj na višjih frekvenčnih področjih, kar posledično pomeni manjši domet.

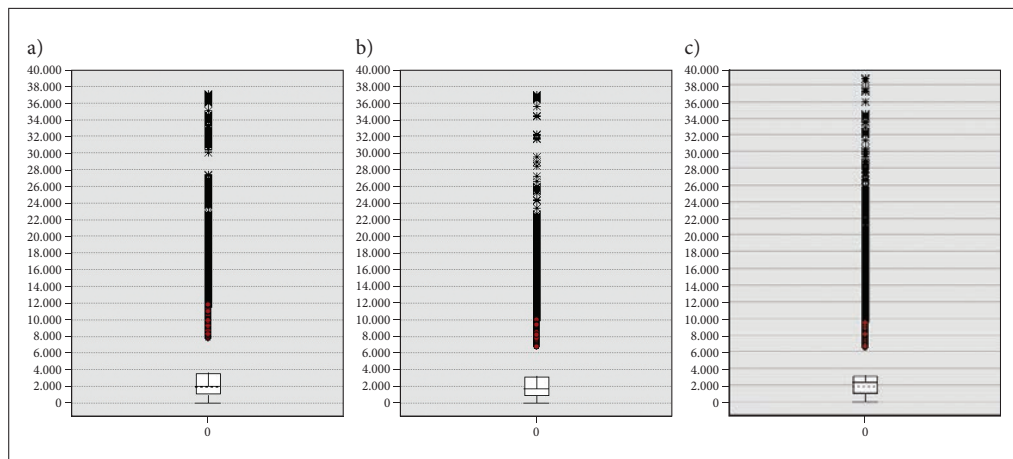
Statistična razporeditev vrednosti izmerjenih točk glede na razdaljo do bazne postaje je predstavljena z grafikonom kvartilov na sliki 7. Operaterja 2 (slika 7b) in 3 (slika 7c) imata krajšo razdaljo med



Slika 6: Grafikoni kvartilov moči referenčnih signalov (dBm) glede na tehnologijo LTE 800 za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c) ter tehnologijo LTE1800 za operaterja 1 (č), operaterja 2 (d) in operaterja 3 (e). Črtna črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

Preglednica 5: Moč signala in povprečna razdalja (m).

| moč signala | operater 1 | operater 2 | operater 3 |
|-------------|------------|------------|------------|
| zelo dobro | 1643 | 1304 | 1563 |
| dobro | 3205 | 2676 | 2898 |
| mejno | 4457 | 3666 | 4026 |
| ni signala | 7555 | 5159 | 5974 |



Slika 7: Grafikoni kvartilov razdalje (m) med bazno postajo in izmerjenimi točkami za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c). Črčkana črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstojajoče vrednosti.

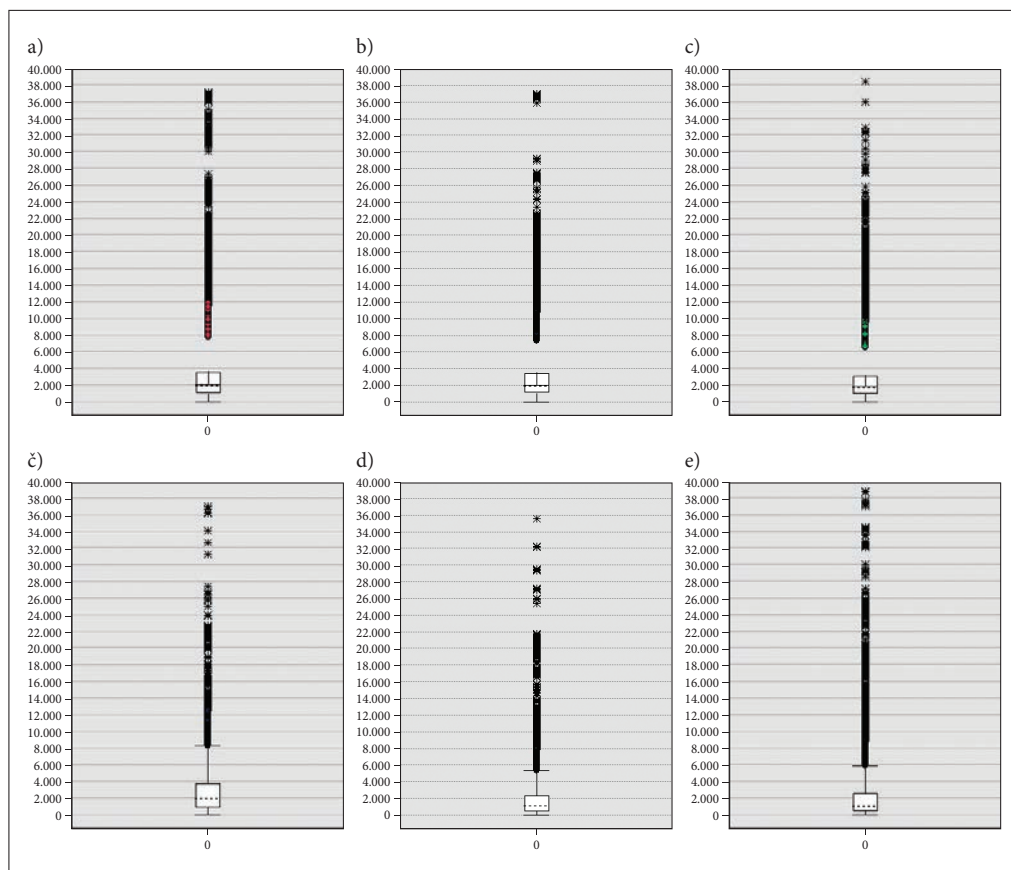
bazno postajo in izmerjeno točko, medtem, ko ima operater 1 (slika 7a) daljšo razdaljo. Število baznih postaj vpliva na razdaljo med izmerjeno točko in bazno postajo (slika 7) (Gaberc 2020).

Izmerjene točke imajo tudi podatek o frekvenčnem področju. Primerjava mediane razdalje med bazno postajo in lokacijo izmerjene točke med posameznimi tehnologijami in operaterji je prikazana na sliki 8.

Vsi trije operaterji imajo vrednosti mediane razdalje pri tehnologiji LTE800 približno enake, se pa pojavljajo večje razlike pri tehnologiji LTE1800. Razdalje pri operaterju 1 (sliki 8a, 8č) so občutno višje, kot pri operaterjih 2 (sliki 8b, 8d) in 3 (sliki 8c, 8e), kar lahko povežemo tudi s številom baznih postaj s tehnologijo LTE1800. Prav tako lahko ugotovimo, da se mediana razdalj zmanjšuje glede na frekvenco omrežja.

8 Razprava

Ocenjevanje kakovosti izkušnje (angleško *Quality of Experience* – QoE) mobilnih omrežij na določenem območju je izjemnega pomena za zagotavljanje visokokakovostne uporabniške izkušnje v omrežju. Uporabniška izkušnja se razlikuje od osebe do osebe, zato je tudi težko določiti objektivne vrednosti, ki bi na karti prikazovale, kakšno izkušnjo lahko uporabnik na določenem mestu pričakuje. Tudi sama uporabniška izkušnja je težko merljiva, vendar pa v veliki meri uporabniki najbolj občutijo, kako hitro dobimo želene podatke, torej koliko časa mine od trenutka, ko podatek zahtevamo, do trenutka, ko imamo podatek na naši napravi. Na prenosne hitrosti vpliva veliko različnih dejavnikov in parametrov omrežja, vendar je mogoče najlažje in najbolj točno izmeriti nivo sprejetih referenčnih signalov posamezne bazne postaje (Al-Shamisi s sodelavci 2018). Sodobne tehnike simulacije omrežja so omrežnim inženirjem omogočile, da iz podatkov baznih postaj ustvarijo matematični model za oceno učinkovitosti omrežja (Sizun 2005). Rezultati meritev so pokazali, da so karte pokritosti mobilnih omrežij izdelane z zelo veliko natančnostjo (najmanj 89,5 %), sploh če upoštevamo, da tako na merilne rezultate kot tudi na karte pokritosti mobilnih omrežij vpliva veliko dejavnikov. Med najpomembnejšimi dejavniki je časovno obdobje merilne kampanje (5 mesecev), v katerem so operaterji dograjevali in spreminjali svoja omrežja, zato bi ta rezultat lahko bil boljši le v primeru, če bi bili dejansko stanje na terenu



Slika 8: Grafikoni kvartilov oddaljenosti izmerjenih točk od bazne postaje (m) za tehnologijo LTE800 za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c) ter tehnologijo LTE1800 za operaterja 1 (č), operaterja 2 (d) in operaterja 3 (e). Črtkana črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

in podatki za izvedbo simulacij identični. Uporabniki lahko že samo z uporabo teh kart predvidijo, kakšno izkušnjo lahko pričakujejo na določenem območju. Na podlagi kart pokritosti mobilnih omrežij agencija lahko izdeluje analize in ocene kakovosti omrežij ter računsko ugotavlja uporabniško izkušnjo. To je do neke mere pravilno, vendar je za ocenjevanje uporabniške izkušnje še vedno najboljše orodje merilna kampanja.

Pri preverjanju izpolnjevanja zahtev operaterjev se preverja, ali podatki, posredovani od operaterjev, na podlagi katerih se izvajajo simulacije pokritosti, dejansko odgovarjajo stanju na terenu. Ker so bazne postaje posameznih mobilnih omrežij razpršene po celotnem ozemlju Slovenije, meritve pa se izvajajo le po določenih trasah, se izmeri signal le dela baznih postaj. Operaterji svojih baznih postaj nimajo na istih lokacijah oziroma pokrivajo različna območja – eden pokriva bolj prometne ceste in ne toliko ruralnih območij, drugi bolj urbana območja, zato lahko prihaja do razlik med njimi. Vendar lahko kljub temu sklepamo, da tudi neizmerjene bazne postaje ustrezajo posredovanim podatkom, če pri izmerjenih ne najdemo odstopanj (Gaberc 2019). Podatki, zbrani v merilni kampanji, so pokazali na razlike v srednji vrednosti moči signala in razdalje med lokacijami izmerjenih točk in baznih postaj med operaterji. Razlike

so povezane s številom izmerjenih postaj in frekvenčnim območjem, dodaten pa je tudi vpliv izbire merilnih poti. Tehnologiji LTE800 in LTE1800, ki jih uporabljajo vsi trije operaterji, prav tako pokažeta na razlike v moči prejetih signalov in razdalji. Še dodatno prihaja do razlik med medianami moči signala (slika 5) in razdaljami (slika 7) vseh tehnologij posameznega operaterja in samo tehnologij LTE800 in LTE1800 (slika 6, slika 8). Pomembno se je zavedati, da operaterji pri tehnologiji 4G uporabljajo različne frekvence, kar pa lahko pomeni, da ima neki operater nižje moči signalov, vendar pa kljub temu lahko dosega večje prenosne hitrosti podatkov zaradi večjih pasovnih širin.

9 Sklep

Preverjanje izpolnjevanja zahtev, ki jih agencija predpiše pri podeljevanju frekvenc, ki so omejena javna dobrina, je zelo kompleksen postopek, na katerega vpliva veliko število dejavnikov in parametrov. Zavedati se je tudi treba, da se v času razvijanja in gradnje omrežij spreminja tudi zasedenost in obremenjenost le-teh, zato je pomembno, da je postopek preverjanja neodvisen od tega. Postopek, ki ga agencija uporablja, je skupek dobrih praks iz tujine, priporočil strokovnjakov in lastnih izkušenj. Ker pa pri izvajanju tovrstnih meritev nastane velika količina podatkov, je najlažji in najbolj človeku prijazen prikaz na kartah. Z uporabo tehnologije geografskih informacijskih sistemov se lahko izdelata veliko različnih analiz, v tem primeru primerjava med modeliranimi in izmerjenimi vrednostmi mobilnega signala, ki je pokazala na veliko ujemanje med vrednostmi. Iz merjenih podatkov smo pridobili tudi informacije o razlikah v konfiguracijah omrežij različnih operaterjev, ki na prvi pogled niso tako izrazite. Pričujoča analiza je tako prvi korak v nadaljnje bolj poglobljene raziskave nad zbranimi podatki merilne kampanje.

10 Literatura

- A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands, 2015. Medmrežje: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-4-201507-I!!PDF-E.pdf (18. 2. 2022).
- Al-Shamisi H., Al-Shamsi H., Kostanic I., Zec J. 2018: Verifying measurements of reference signal received power (RSRP) on LTE network using an app on Android smartphones. IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). Vancouver. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614748>
- BEREC Preliminary report in view of a common position on monitoring mobile coverage, 2017. Medmrežje: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/7300-draft-berec-preliminary-report-in-view-o_0.pdf (18. 2. 2022).
- ECC Report 256 on LTE coverage measurement, 2016. Medmrežje: <https://docdb.cept.org/download/1280> (18. 2. 2022).
- Sorian, S. (ur.) 2020: Measuring mobile network performance: coverage, quality of service and maps. Medmrežje: www.fratel.org/documents/2020/05/document-Fratel-ENG-web.pdf (5. 5. 2022).
- Gaberc, N. 2019: Analiza rezultatov meritev pokrivanja javnih mobilnih omrežij. Magistrsko delo, Fakulteta za komercialne in poslovne vede. Celje.
- Gaberc, N. 2020: Rezultati meritev QoS 2020. Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije. Ljubljana, 2020.
- Geoportal AKOS. Medmrežje: <https://gis.akos-rs.si/> (18. 2. 2022).
- Metodologija za preverjanje izpolnjevanja obveznosti ob rokih, ki so določeni v izdanih odločbah o dodelitvi radijskih frekvenc za mobilne storitve, 2016. Medmrežje: https://www.akos-rs.si/fileadmin/user_upload/Spremenjena-METODOLOGIJA-ZA-PREVERJANJE-IZPOLNJEVANJA-OBVEZ-NOSTI-SLO-11.3.2016.pdf (5. 5. 2022).

- Mishra, A. R. 2004: Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G. West Sussex. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470862696>
- MohaSyed, 2013: Drive testing basics. <https://www.slideshare.net/MohaSyed/tele-rf-basic-of-drive-test> (18. 2. 2022).
- Sizun, H. 2005: Radio wave propagation for telecommunication applications. Berlin, Heidelberg. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): Definitions (3GPP TS 32.450 version 16.0.0 Release 16), 2020. Medmrežje: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/132400_132499/132450/16.00.00_60/ts_132450v160000p.pdf (18. 2. 2022).
- The state of mobile internet connectivity, 2021. Medmrežje: www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2021/09/The-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2021.pdf (5. 5. 2022).
- Zakon o elektronskih komunikacijah. Uradni list Republike Slovenije 109/12, 110/13, 40/14, 54/14, 81/15, 40/17 in 189/21. Ljubljana.

UPORABA TELEMATIKE IN GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV V ZAVAROVALNIŠTVU – PRIMER MOBILNE APLIKACIJE DRAJV

Boštjan Kop, Nataša Golobič, Eva Kolbl, Špela Jereb Planinšek, Jaka Klement, mag. Sebastijan Nograšek

Zavarovalnica Triglav, d. d.

bostjan.kop@triglav.si

natasa.golobic@triglav.si

eva.kolbl@triglav.si

spela.jereb-planinsek@triglav.si

jaka.klement@triglav.si

sebastijan.nograsek@triglav.si

Jakub Adamec, dr. Michal Polgár

Sygic a. s.

jadamec@sygic.com

mpolgar@sygic.com

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_19

UDK: 368:659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Uporaba telematike in geografskih informacijskih sistemov v zavarovalništvu – primer mobilne aplikacije DRAJV

V prispevku predstavljamo aplikativen primer uporabe telematike in GIS-ov v zavarovalništvu na primeru mobilne aplikacije DRAJV, ki temelji na oceni tveganja voznih navad posameznika. Aplikacija s pomočjo senzorjev, vgrajenih v mobilne naprave, zbira in analizira podatke o načinu zavarovančeve vožnje, ki se uporabijo za izračune prilagojene premije avtomobilskega zavarovanja. Rezultati analiz obenem služijo kot povratna informacija za izboljšanje posameznikovih voznih navad.

KLJUČNE BESEDE

telematika, zavarovalništvo, avtomobilsko zavarovanje, mobilne aplikacije

ABSTRACT

DRAJV mobile application as an example of telematics and GIS usage in insurance

In this paper, an applied example of the use of telematics and GIS in insurance is presented, as used in the case of the mobile application DRAJV, which is based on the risk assessment of an individual's driving habits. The application uses mobile devices and their built-in sensors to collect and analyse data on the insurer's driving style, which are used to calculate adjusted car insurance premiums. The results of analyses also serve as feedback for an individual's driving style improvements.

KEY WORDS

telematics, insurance, car insurance, mobile applications

1 Uvod

Telematika v avtomobilski industriji je tehnologija, ki za prenos podatkov, zbranih iz senzorskih naprav, uporablja tehnologije telekomunikacij. Vključuje integracijo senzorjev, računalniških sistemov in komunikacij za zbiranje informacij o delovanju vozila. V zavarovalništvu se telematika aplikativno uporablja v zavarovalniških modelih, ki izhajajo iz ocene tveganja na podlagi voznih navad posameznika (Siami, Naderpour, Lu 2021; Wahlstrom s sodelavci 2017; Tian s sodelavci 2020).

Zavarovalnice po svetu že več kot desetletje ponujajo voznikom možnost, da delijo svoje podatke o vožnji, ki se uporabljajo za izračun prilagojene zavarovalniške premije, če se način zavarovančeve vožnje na podlagi analiz izkaže kot varen oz. manj tvegan z vidika zavarovalnice. Najpogostejši modeli zavarovanj, ki izhajajo iz telematike in se uvrščajo v koncept UBI (Usage Based Insurance), so:

- Pay how you drive (plačaj, kako voziš),
- Pay as you drive (plačaj glede na prevoženo razdaljo),
- Pay where you drive (plačaj, kjer voziš) (Adacta 2021).

Koncept UBI zahteva spremljanje prevoženih kilometrov in načina uporabnikove vožnje s pomočjo telematike, torej z analizo podatkov, pridobljenih iz senzorskih naprav v vozilu ali pametnem telefonu. Množica zbranih podatkov, kot so hitrost, razdalja, lokacija, uporaba telefona, čas vožnje, zaznane sile med vožnjo in ostali, se uporablja za bolj personalizirano in ustreznejšo določitev premije avtomobilskega zavarovanja. Zavarovalnica lahko tako dodeli nižjo premijo za vožnjo na krajše razdalje oz. glede na odgovornejšo in varnejšo vožnjo ali celo na lokacijo ter čas opravljene vožnje. V okviru omenjenih modelov se pogosto omogoča tudi dostop do dodatnih varnostnih in asistenčnih storitev vozila, kot so oddeljena diagnostika, pomoč v sili, pomoč v primeru kraje vozila ... (Sliwinski in Kurylowicz 2021).

UBI telematične rešitve za zbiranje podatkov uporabljajo bodisi samostojno strojno opremo bodisi pametne telefone. Uporaba sestavnih delov pametnih telefonov oz. vgrajenih senzorjev za zbiranje podatkov ima več prednosti: ni stroškov nakupa in namestitve strojne opreme, senzorji sledijo vozniku in ne vozilu, uporabnik lahko aplikacijo preprosto prenese in spremlja svoje vožnje ter izboljšuje svoje vozne navade (Tong s sodelavci, 2015). Pametni telefoni z vgrajenimi senzorji omogočajo zbiranje potrebnih podatkov in njihov prenos preko brezžičnega omrežja, poleg tega pa omogočajo od vozila neodvisne telematične rešitve, osredotočene na končnega uporabnika (Wahlstrom s sodelavci 2017).

Marca leta 2018 je bilo v svetu aktivnih 69 zavarovalniško-telematičnih programov, kjer je bila uporaba vezana na pametni telefon (Wahlstrom s sodelavci 2020). Industrija lahko v bližnji prihodnosti pričakuje nadaljnjo rast (Wahlstrom in sodelavci 2020). Rezultati ankete (Infographic: How Ready are Consumers for Connected Cars and Usage-Based Car Insurance?) iz 2017 so namreč pokazali, da je mlajša populacija zelo naklonjena deljenju podatkov svojih voženj v zameno za personalizirano ponudbo premije zavarovanja.

Po podatkih Statiste (2022) je v letu 2022 pametni telefon uporabljalo 78 % svetovne populacije. V Sloveniji je v letu 2020 pametni telefon uporabljalo 81 % vseh uporabnikov mobilnih telefonov, starih med 14 in 74 let (SURs 2021). Aplikacije na pametnih telefonih je uporabljalo 89 % uporabnikov, kar nakazuje na vseprisotnost aplikacij v posameznikovem vsakdanu (SURs 2021).

2 Mobilna aplikacija DRAJV

Zavarovalnica Triglav uporablja UBI model »Pay how you drive« že od leta 2015, in sicer v okviru mobilne aplikacije DRAJV, s katero se je usmerila v dostopnejšo različico telematičnih rešitev, ki podatke, potrebne za analiziranje zavarovančeve vožnje, zbira s pomočjo senzorjev, vgrajenih v mobilne naprave.

Mobilna aplikacija DRAJV je na voljo za pametne telefone z operacijskim sistemom Android (različica 6.0 in novejša) ali iOS (različica 12 in novejša) z vgrajenim sprejemnikom signala GNSS. Uporaba

aplikacije je brezplačna in je na voljo v trgovinah Google Play, App Store in AppGallery. Trenutna aplikacija DRAJV je rezultat sodelovanja Zavarovalnice Triglav in slovaškega podjetja Sygic.

Aplikacija omogoča uporabniku snemanje vožnje in povratno informacijo, kako varna je njegova vožnja. Varni vozniki, ki v ocenjevalnem obdobju dosegajo vsaj 90 od 100 možnih točk ter mesečno posnamejo določeno razdaljo voženj, so nagrajeni z do 25 % popustom na premijo izbranih avtomobilskih zavarovanj. Dodatne vzpodbude so uporabniki deležni tudi skozi nagradne igre in drugih metod igrifikacij. Glavne funkcionalnosti aplikacije so podrobneje opisane v poglavju 5.

3 Tehnična infrastruktura

Tehnična vzpostavitev telematike v Zavarovalnici Triglav oz. UBI koncepta zajema mobilno aplikacijo in oblaki del, imenovan DRAJV ekosistem. Ta obsega strežniški del, spletno aplikacijo za potrebe administracije uporabnikov ter podatkovno bazo. Mobilno aplikacijo uporabniki namestijo na pametne telefone z operacijskima sistemoma iOS ali Android. Funkcionalnosti aplikacije so kombinacija primarno razvitih funkcionalnosti za namen aplikacije DRAJV in integriranih knjižnic SDK (ang. *software development kit*) podjetja Sygic, ki so del lastne telematične rešitve (Sygic 2022), prilagojene za uporabo v zavarovalništvu in služijo namenu zbiranja podatkov s pomočjo gibalnih senzorjev, vgrajenih v mobilne naprave, ter analizi in izračunu ocen voženj. DRAJV pridobiva podatke iz pospeškometra, žiroskopa ter GNSS sprejemnika, ki jih pri svojem delovanju uporabljajo tudi druge aplikacije za množično uporabo (Strava, Samsung Health).

Komunikacija med mobilno aplikacijo in strežniškim delom poteka po protokolu REST. Na strežniškem delu se podatki zbirajo in analizirajo za namen ocenjevanja voženj, kar je podrobneje opisano



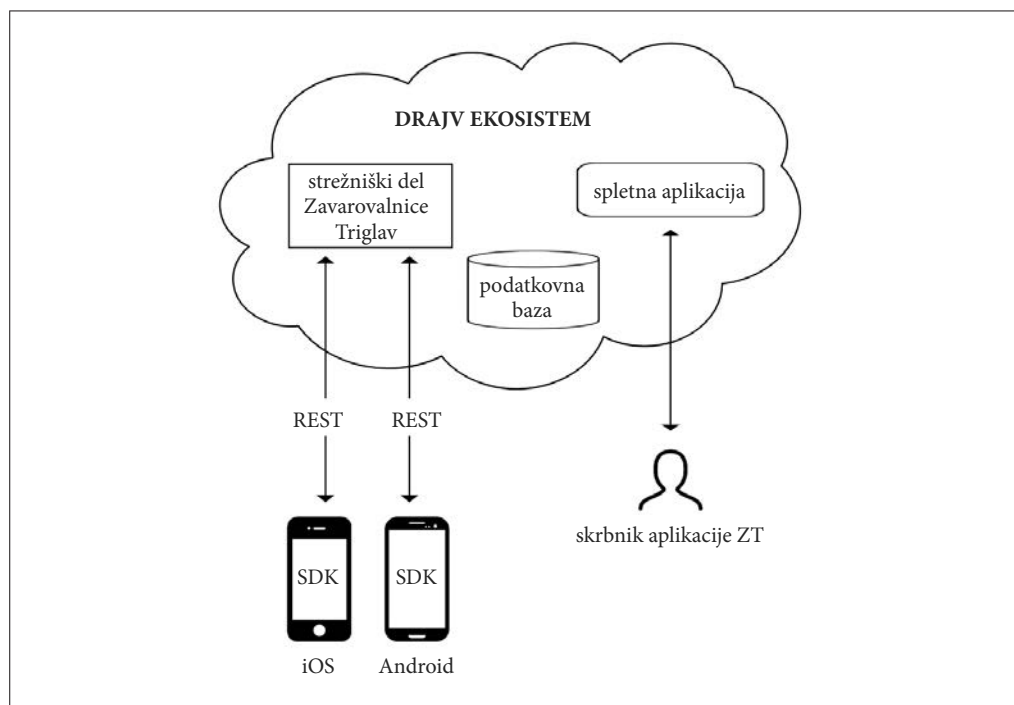
Slika 1: Začetni zaslon aplikacije DRAJV ter zaslon s prikazano oceno posamezne vožnje (97 točk od 100 možnih).

v naslednjem poglavju. Ocenjevanje poteka na strežniški strani po zaključku vožnje in prenosu podatkov na strežniški del. Aplikacija ne omogoča spremljanja lokacije uporabnikov v realnem času. Spletna aplikacija zagotavlja funkcionalnosti pregleda uporabnikov, pregleda zbranih popustov, prevoženih poti in njihovih analiz ter je dostopna skrbnikom aplikacije v Zavarovalnici Triglav.

4 Ocenjevanje voženj

Ocena posamezne vožnje je rezultat analize surovih podatkov, ki jih v obliki »telemetričnih točk« v sekundnih intervalih zbira mobilna naprava s pomočjo vgrajenega sprejemnika signala GNSS omrežja, pospeškometa (ang. *accelerometer*) in žiroskopa (ang. *gyroscope*). Zbiranje podatkov se začne z začetkom snemanja vožnje na uporabnikov poziv ali avtomatično ob vsaki vožnji. Telemetrične točke so posamezni posnetki oz. izseki vožnje v obliki tekstovne datoteke, za katere aplikacija zabeleži natančne koordinate, podatke o hitrosti in času ter izmerjene ekvivalente gravitacijske sile pri pospeševanju, zaviranju ter vožnji v ovinek. V podatkih se prav tako zabeležijo spremembe v orientaciji naprave za namen določanja uporabe telefona med vožnjo. Uporaba prostoročnega načina telefoniranja med vožnjo ne vpliva negativno na oceno vožnje.

Ob zaključku vožnje se zbrani podatki vseh telemetričnih točk prenesejo na strežnik, kjer se izvede analiza vožnje z ocenjevanjem. Najprej se ocenjujejo posamezni segmenti oz. kriteriji varne vožnje: uporaba oz. premiki telefona ter zaznane sile pri pospeševanju, zaviranju in vožnji v ovinek. V nadaljevanju se izračuna ocena vožnje z vidika hitrosti, pri čemer se lokacijski podatki posameznih telemetričnih točk locirajo na vektorski podatkovni sloj (ang. *map matching*), ki vsebuje informacije o omejitvah hitrosti na posameznem cestnem odseku.



Slika 2: Shema delovanja aplikacije DRAJV.

S primerjanjem zaporednih izmerjenih vrednosti hitrosti ter podatkov o omejitvi hitrosti na pripadajočem odseku cest aplikacija izračuna morebitno prekoračitev hitrosti ter njeno intenzivnost v odvisnosti od stopnje prekoračitve. Aplikacija upošteva določena odstopanja in tolerira prekoračitve hitrosti do 5 km/h pri hitrosti do 100 km/h oziroma do 7 km/h pri hitrosti nad 100 km/h. Te nimajo negativnega vpliva na končno oceno vožnje. Pri določitvi tolerance smo se opirali na Pravilnik o meroslovnih zahtevah za merilnike hitrosti v cestnem prometu (2015).

Sledi izračun končne ocene vožnje, ki je rezultat obteženega povprečja ocene voženj posameznih ocenjevalnih kriterijev – **hitrost, uporaba telefona ter sile pri pospeševanju, zaviranju in vožnji v ovinkih**, pri čemer ima vsak zaznan dogodek znotraj ocenjevalnih kriterijev svojo stopnjo intenzivnosti (ang. *severity*). Največji vpliv na skupno oceno vožnje ima upoštevanje hitrostnih omejitev in uporaba oz. premiki telefona med vožnjo. Občasni dogodki, kot so pospeševanje, zaviranje in zaznane sile v ovinkih imajo manjši vpliv na končno oceno. Pri izračunu ocene se upošteva tudi razdalja posamezne vožnje. Ocena je podana s številčno vrednostjo med 0 in 100.

Skupna ocena voženj je rezultat posebnega izračuna oz. obteženega povprečja ocen posameznih voženj v odvisnosti od njihove razdalje. Skupna ocena je prav tako podana s številčno vrednostjo med 0 in 100. Voznik oz. uporabnik aplikacije je obravnavan kot varen in s tem upravičen do popusta pri avtomobilskem zavarovanju, če skupna ocena voženj znaša 90 točk ali več.

Način ocenjevanja posameznih parametrov voženj je Zavarovalnica Triglav določila z razvojnim oddelkom podjetja Sygic, v sodelovanju s strokovnjaki s področja zavarovalništva ter s strokovnjaki s področja varnosti v cestnem prometu. Ocenjevanje smo oblikovali na podlagi testiranja na poligonu varne vožnje ter v običajnem prometu v različnih situacijah. Ocene posameznih voženj in skupna ocena voženj so uporabniku vidne v aplikaciji, hkrati pa se hranijo v spletni aplikaciji, do katere ima dostop skrbnik aplikacije v Zavarovalnici Triglav.



Slika 3: Prikaz seznama voženj z ocenami ter ocene posamezne vožnje po posameznih ocenjevalnih kriterijih.

5 Glavne funkcionalnosti aplikacije

Glavne funkcionalnosti aplikacije DRAJV so:

- Snemanje vožnje: uporabnik pritisne gumb za snemanje vožnje pred začetkom vožnje – hitrost vožnje mora biti manjša od 30 km/h, sicer gumb za začetek snemanja ne deluje iz varnostnih razlogov. Uporabnik lahko izbere tudi možnost avtomatičnega snemanja voženj. Aplikacija samodejno spremlja gibanje naprave ter v primeru, ko premiki z zadostno stopnjo zaupanja ustrezajo gibanju v vozilu, samodejno začne in konča s snemanjem vožnje.
- Prikaz trenutne hitrosti vožnje: aplikacija omogoča prikaz hitrosti med vožnjo, ki temelji na prejetem signalu iz GNSS omrežja. Ob prekoračitvi hitrosti se vrednost hitrosti vožnje obarva rumeno (prekoračitev znotraj dovoljenega odstopanja) ali rdeče (prekoračitev hitrosti nad dovoljenim odstopanjem, ki negativno vpliva na oceno vožnje). Uporabnik lahko v nastavitvah izbere tudi možnost zvočnih opozoril o prekoračitvi hitrosti.
- Prikaz zaznanih sil v ovinku v realnem času: aplikacija omogoča prikaz zaznanih sil med vožnjo pri pospeševanju, zaviranju in vožnji v ovinek, če te presegajo prednastavljene mejne vrednosti. Aplikacija prav tako prikaže premike oz. uporabo telefona, če je zaznana sprememba orientacije naprave. Meritev sil merita v mobilne naprave vgrajena pospeškometer ter žiroskop, ki merita premike telefona na ravni ter zaznavata položaj naprave v prostoru.
- Prikaz omejitve hitrosti v realnem času: aplikacija na podlagi lokacije naprave v realnem času iz prednaloženih digitalnih zemljevidov na strežniku uporabniku sporoča, kakšna je omejitev hitrosti na posameznem odseku ceste. Informacije o omejitvah hitrosti so informativne narave in v nobenem primeru ne nadomeščajo uradnih omejitev hitrosti na posameznih odsekih cest.
- Novice: uporabnik lahko na začetni strani aplikacije spremlja obvestila in aktualne novice o aplikaciji, popustih, nagradnih igrah in novostih.
- Seznam voženj: uporabnik lahko dostopa do vseh posnetih voženj; z izbiro posamezne vožnje s seznama si lahko ogleda tudi podrobnosti in zemljevid posamezne vožnje, v primeru napačno upoštevanje prekoračitve hitrosti pa napako tudi sporoči Zavarovalnici Triglav, ki prijavo preuči ter v primeru, ko se izkaže, da gre za napako v podatkih o omejitvah hitrosti na posameznem odseku ceste, zabeleženo napako najprej odpravi, podatek pa uporabi za morebitno posodobitev podatkov o omejitvah hitrosti na obravnavanem cestnem odseku.
- Mesečne statistike: aplikacija omogoča interaktiven vpogled v statistiko posameznih voženj, ob koncu meseca pa primerjavo ocene voženj s preteklim mesecem. V primeru poslabšanja ocene voženj ali posameznih parametrov voženj aplikacija uporabniku ponudi napotke za izboljšanje voznih navad.
- Popusti: uporabnik lahko spremlja napredek pri zbiranju mesečnih popustov, poišče zbrane kodo za popust in zahteva kodo za popust, ki jo lahko unovči pri sklenitvi avtomobilskega zavarovanja.
- Nagradne igre in značke: uporabnik lahko sodeluje v različnih izzivih in nagradnih igrah, ki so v danem trenutku na voljo, ter se poteguje za različne nagrade, prav tako je lahko nagrajen z dodelitvijo značk. Značke so namenjene motivaciji uporabnikov za varno vožnjo in uporabo aplikacije.
- Dashcam (avto kamera): z vklopom Dashcam avto kamere lahko uporabnik snema video svoje vožnje, pri čemer se mu v primeru snemanja vožnje z DRAJV-om hkrati prikazujejo njegova hitrost, omejitve hitrosti v realnem času in prevožena razdalja. Uporabnik si lahko v nastavitvah nastavi kakovost videa, trajanje posnetka, snemanje zvoka med vožnjo in možnost nastavitve samodejnega shranjevanja videa ob prometni nesreči. Video vožnje se po zaključku trajanja, ki ga je uporabnik nastavljal v nastavitvah, shrani na telefon uporabnika. Video vožnje se ne shranjuje na strežnike aplikacije DRAJV, lahko pa se, odvisno od izbora uporabnikovih nastavitvev v napravi, shranjuje na iCloud, Google Drive ali v podobne oblačne shrambe.
- Asistenca in deljenje lokacije: hitri klic na 112 in 113 ali asistenčna pomoč za zavarovance Zavarovalnice Triglav, ki imajo sklenjeno avtomobilsko asistenčno. Uporabnik prav tako lahko deli svojo lokacijo z izbrano osebo.



Slika 4: Prikaz glavnih funkcionalnosti med snemanjem vožnje (npr. pospeševanje).



Slika 5: Prikaz glavnih funkcionalnosti med snemanjem vožnje (npr. zaviranje in sile na potnike).

- Zavarovanja: uporabnik lahko enostavno obnovi zavarovalno polico ali sklene novo avtomobilsko zavarovanje ali zavarovanje potovanj v tujino neposredno iz aplikacije.

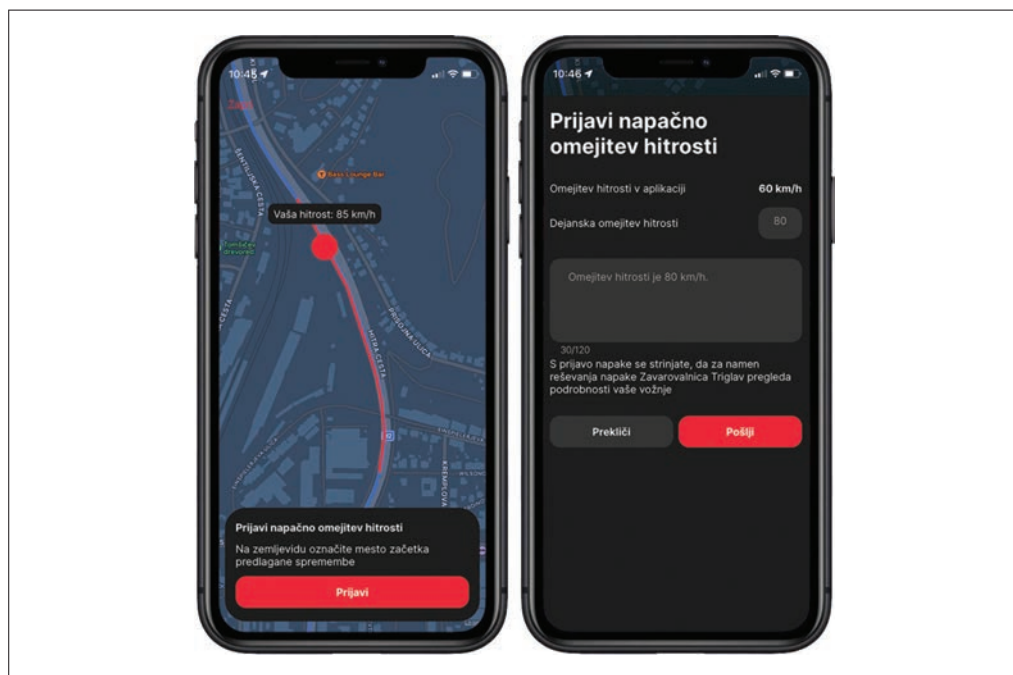
6 Uporaba prostorskih podatkov

Aplikacija za izračun ocene hitrosti posameznih voženj ter zaznavanje prekoračitev hitrosti na posameznih cestnih odsekih uporablja vektorsko bazo prostorskih podatkov, znotraj katere za vsak odsek primerja vrednost atributa o omejitvi hitrosti z izmerjeno vrednostjo sprejemnika GNSS signala, vgrajenega v mobilno napravo. Za območje Slovenije aplikacija uporablja vektorsko bazo podatkov podjetja Monolit. Za območja izven Slovenije aplikacija uporablja odprtokodno vektorsko bazo podatkov OpenStreetMap. Obe podatkovni bazi se redno ažurirata, tudi na podlagi pripomb, ki jih Zavarovalnici Triglav sporočajo uporabniki aplikacije.

Uporabniki imajo možnost, da za vsako zaznano prekoračitev hitrosti sporočijo svoje nestrinjanje z uporabo možnosti »Prijavi napačno omejitev hitrosti«, pri čemer pripišejo dejansko omejitev hitrosti z obrazložitvijo, na zemljevidu pa označijo mesto predlagane spremembe. Prijavljene napačne omejitve se zbirajo in analizirajo ter v primeru upravičenih pripomb upoštevajo v naslednjih posodobitvah digitalnih zemljevidov na strežniku.

7 Sklep

Od začetka uporabe aplikacije so z njo uporabniki prevozili več kot 16 milijonov voženj v skupni dolžini več kot 1 milijarde kilometrov. Uporabniki aplikacije, ki so hkrati tudi zavarovanci Zavarovalnice



Slika 6: Prikaz sporočanja napačnih omejitev hitrosti, ki jih zaznajo uporabniki aplikacije.

Triglav, se izkazujejo kot bolj varni vozniki tudi na podlagi rezultatov poslovnih analiz, saj v tem segmentu strank beležimo za od 15 do 20 % nižjo škodno pogostost ter s tem povezane manjše stroške na račun izplačila prijavljenih škod. Aplikacija DRAJV obenem predstavlja tudi pomembno marketinško oz. trženjsko orodje, ki vpliva na pridobivanje novih ter ohranjanje obstoječih zavarovancev.

Telematika oz. z njo povezane tehnologije omogočajo uporabo podobnega zavarovalniškega modela tudi za ostale oblike mobilnosti, prav tako pa omogočajo povezovanje in integracijo sistemov različnih partnerjev s področja prometa in prometne varnosti. V sklopu prometne preventive in ozaveščanja se visok potencial nakazuje pri tehnologijah in funkcionalnostih, ki omogočajo zaznavanje in opozarjanje na nevarne prometne situacije, npr. prometne nesreče, vožnjo drugih vozil v napačno smer, nevarnost naleta, nevarne vremenske razmere, bližino območij umirjenega prometa, avtomatično zaznavanje udeležnosti v prometni nesreči ipd.

8 Viri in literatura

- Adacta. Telematics in Insurance: From Hard to Install Boxes to Transformed Customer Engagement. 2021. Medmrežje: <https://blog.adacta-fintech.com/telematics/a-new-era-in-insurance/> (13. 2. 2022).
- Infographic: How Ready are Consumers for Connected Cars and Usage-Based Car Insurance? 2017. Medmrežje: <file:///C:/Users/ngolobic/Downloads/infographic-how-ready-are-consumers-for-connected-cars-and-usage-based-car-insurance.pdf> (13. 2. 2022).
- Pravilnik o meroslovnih zahtevah za merilnike hitrosti v cestnem prometu. Uradni list Republike Slovenije 91/2015. Ljubljana.
- Siami, M., Naderpour, M., Lu, J., 2021: A Mobile Telematics Pattern Recognition Framework for Driving Behavior Extraction 22-3. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2971214>
- Sliwinski, A., Kuryłowicz, L., 2021: Usage-based insurance and its acceptance: An empirical approach. Risk management and insurance review 24-1. DOI: <https://doi.org/10.1111/rmir.12165>
- Statista. Number of smartphones sold to end users worldwide from 2007 to 2021. 2022. Medmrežje: <https://www.statista.com/statistics/263437/global-smartphone-sales-to-end-users-since-2007/> (13. 2. 2022).
- SURS. Svetovni dnevi brez pametnega telefona. 2020. Medmrežje: <https://www.stat.si/StatWeb/File/DocSysFile/11233/sl-brez-pametnega-telefona.pdf> (13. 2. 2022).
- Sygic. Driver Scoring White Paper. 2022. White paper, Sygic HQ. Bratislava.
- Tian, X., Prybutok, V., Mirzaei, F., Dinulescu, C. C. 2020. Millennials Acceptance of Insurance Telematics: An Integrative Empirical Study 32-1. DOI: <https://doi.org/10.37625/abr.23.1.156-181>
- Tong, S., Lloyd, L., Durrell, L., McRae-McKee, K., Husband, P., Delmonte, E., Parry, I., Buttress, S. 2015: Provision of telematics research. Published project report 755. Medmrežje: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/479202/provision-telematics-research-report.pdf (13. 2. 2022).
- Wahlstrom, J., Skog, I., Handel, P. 2017. Smartphone-Based Vehicle Telematics: A Ten Year Anniversary 18-10. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2680468>
- Wahlstrom, J., Skog, I., Handel, P., Bradley, B., Madden, S., Balakrishnan, H. 2020: Smartphone Placement Within Vehicles. IEEE transactions on intelligent transportation systems 21-2. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2896708>

GEODETSKA IZMERA RAPALSKE MEJE, NJENA DIGITALIZACIJA IN PRESEK S HISTORIČNIM IN AKTUALNIM STANJEM ZEMLJIŠKEGA KATASTRA

Grega Žorž

Ministrstvo za kulturo Republike Slovenije in Zgodovinsko društvo Rapalska meja
grega.zorz@gov.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_20

UDK: 528.44:341.222(497.1:450)»1920/1947«

IZVLEČEK

Geodetska izmera rapalske meje, njena digitalizacija in presek s historičnim in aktualnim stanjem zemljiškega katastra

V prispevku predstavljamo relevantne zgodovinske zbirke, ki nudijo vpogled v stanje prostora v času rapalskega obdobja ter s prostorskimi poizvedbami in preseki obrisov omogočajo odgovor na vprašanje medsebojne povezanosti rapalske meje in zemljiškega katastra. Proces določitve nove državne meje med Kraljevino Italijo in Kraljevino Srbov, Hrvatov in Slovencev ni bil ne preprost in ne hiter. Italijanska zasedba dela slovenskega ozemlja ob koncu prve svetovne vojne je nakazovala prihajajoče spremembe tudi v upravni delitvi prej enotnega ozemlja. V kolikšni meri je zgodovinsko stanje vplivalo na mejo ter koliko je slednja prispevala k spremembam v naslednjih letih, je osrednja tema razprave.

KLJUČNE BESEDE

zgodovinska kartografija, zemljiški kataster, odprti podatki, rapalska meja, Kraljevina Jugoslavija, Kraljevina Italija

ABSTRACT

Geodetic determination of the Rapallo border, its digitisation and intersection with the historical and current state of the land cadastre

We present the relevant historical collections that provide insight into the spatial characteristic of the Rapallo border. The process of defining the new state border between the Kingdom of Italy and the Kingdom of Serbs, Croats and Slovenes was neither simple nor quick. The Italian occupation of western part of Slovenian territory at the end of the First World War signalled the changes about to come, including the new administrative division of the formerly unified territory. To what extent the historical situation of the Land Cadastre influenced the border and to what extent the new border contributed to the changes in the upcoming quarter of a century, is the central topic of the discussion.

KEY WORDS

historical cartography, land cadastre, open data, Rapallo border, Kingdom of Yugoslavia, Kingdom of Italy

1 Uvod

Rapalska meja je neuradno pojmovanje nekdanje državne meje med Kraljevino Italijo in Kraljevino Srbov, Hrvatov in Slovencev (SHS oziroma po letu 1929 Kraljevine Jugoslavije), določene s podpisom pogodbe v kraju Rapallo 12. novembra 1920. Obstajala je do zaključka pariške mirovne konference leta 1947 (Pariška ... 1997). S pogodbo je Italija dosegla mednarodno priznano priključitev ozemlja, ki ga je, v skladu z določili premirja v Villi Giusti, zasedla novembra 1918 (Žorž 2016; 2017). Dvanajst in pol kilometrov dolg odsek rapalske meje, natančneje med Pečjo, mednarodnim mejnim preходом Rateče in mejnikom številka 3/XII (od 1947 glavni mejnik številka 4) je še danes del slovensko-italijanske meje (Rilievo ... 1926a, list 3).

V zadnjih desetletjih se je s preučevanjem rapalske meje ukvarjalo več avtorjev (Kacin-Wohinz 1965; Pavšič 1999; Jarc 2002; Di Bartolomeo in Sancimino 2010; Mohorič 2013; Vouk 2016; Žorž 2017; Mikša in Zorn 2018; Sossou 2021). Medsebojna povezanost rapalske razmejitve in upravne ureditve je potrjena na ravni občinske ureditve (Mohorič 2013). Zaradi dostopnosti zgodovinskih podatkov zemljiškega katastra je njegova povezanost z rapalsko mejo ostajala manj raziskano področje.

V prispevku predstavljamo potek in tehnične značilnosti geodetske izmere rapalske meje ter želimo odgovoriti na vprašanja o vplivu zgodovinske upravne delitve na določanje rapalske meje in njenem vplivu na današnje stanje. Predpogoj sta bila izdelava slojev zgodovinskega stanja zemljiškega katastra in rapalske meje, kar smo opravili z georeferenciranjem 268 listov zgodovinskega prikaza zemljiškega katastra in grafičnega prikaza rapalske meje. Sledilo je digitaliziranje meja katastrskih občin ter linijskega in točkovnega zajema rapalske meje. Njuno primerjavo smo opravili z uporabo analitičnih orodij *Dissolve* in *Clip*. Preučevano območje smo zaradi dostopnosti zgodovinskih stanj zemljiškega katastra razdelili na dva dela. Prvi je namenjen celotni rapalski meji med Pečjo in Jadranskim morjem. Drugi del, namenjen analizi vpliva, pa obsega ozemlje Slovenije, to je med Pečjo in mejnikom številka 61/LXXIX (Rilievo ... 1926c, list 75).

2 Določitev in sprememba rapalske meje 1921–1926

V prvem členu Rapalske pogodbe sta državi določili okvirni potek kopenske meje, v petem členu pa sta se zavezali k ustanovitvi Komisije za razmejitev (Italy ... 1923; Mohorič 2013; Žorž 2017). Zaradi

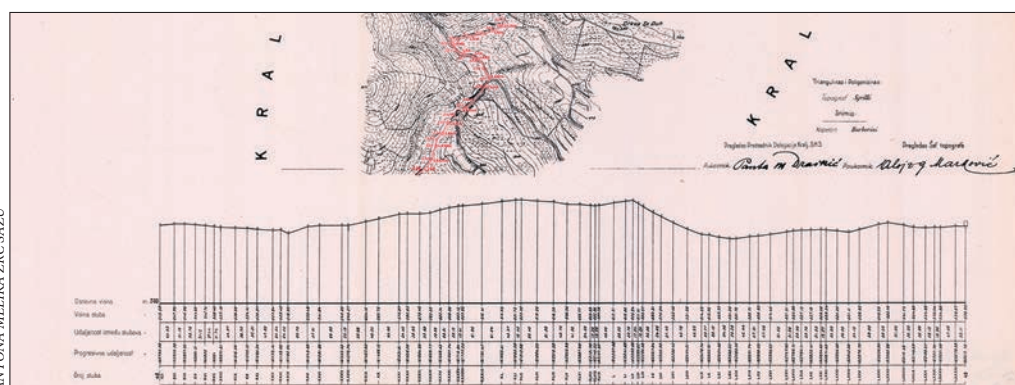


Slika 1: Levo: razglednica mejnega zidu med Rječino in Mrtvim kanalom na Reki okoli leta 1925. Na obrežju Rječine stojita kamnita mejnika številka 31/VIII in 33/VIII. Narisana meja prekriva marmorni plošči mejnikov številka 34/VIII in 35/VIII. Desno: vklesan mejnik številka 41/VIII na kamnitem obrežju Mrtvega kanala sodi med navadne mejnike z železnim centrom.

posebnosti določanja so komisijo sestavljale enakopravne komisije za določitev: kopenske meje, meje Svobodne države Reka (SDR) in Dalmacije (Opis ... 1935). Kopenska meja je potekala od vrha Peči (1509 m) na tromeji z Avstrijo do tromejnega mejnika številka 70 s SDR pri Kastavu na Hrvaškem (Opis ... 1935). Komisiji za razmejitev SDR je konec leta 1924, po štirih letih dela, manjkalo le odsek južno od železniškega mostu preko vodotoka Rječina (Reka, Hrvaška). Tu je bilo za obe strani pomembno industrijsko območje Delte in pristanišča Baroš (Rilievo ... 1926d, list 12). Zaradi podpisa Rimskega sporazuma januarja 1925 in ukinitve SDR je morala omenjena komisija do decembra istega leta opraviti novo razmejitev, s katero je Italija dobila Reko (slika 1), Jugoslavija pa območje Delte in severni del SDR (Opis ... 1935; Kacin-Wohinz 1965).

3 Izmera in kartografski prikaz rapalske meje

Komisijo so poleg skupnih služb sestavljale tri delovne skupine, v okviru katerih se je izmenjevalo sedem terenskih ekip. Vsaka je imela geodeta, pomočnika in dva nosilca trasirk. Med jugoslovanski geodeti je bil tudi Alfonz pl. Gspan (Slak 2019). Preostanek moštva skupin so sestavljali še vodja, kamnosek, gradbeniki, vozniki vozov in kuhar. Skupno je komisija zaposlovala 293 oseb in je imela sedež v tržaški palači Artelli (danes na naslovu *Via dell'Università* 5). Italijanski del komisije je imel izpostave v Kobaridu, Gorici, Pivki in Opatiji, jugoslovanski pa v Ljubljani (Commisione ... 1921). Komisija je prvič zasedala 21. februarja 1921 v ljubljanskem hotelu Union (Commisione ... 1921). Na svojem drugem zasedanju aprila v Benetkah in tretjem zasedanju maja 1921 ponovno v Ljubljani, so člani dorekli tehnične podrobnosti in se dogovorili za končni kartografski prikaz meje v merilu 1:5000 (Norme ... 1921). Da bi zadostili temu merilu, je list prikazoval okoli 3400 m mejne črte. Prikaz nosi naslov »Relief mejne črte in njen profil v merilu 1:5000« in ga je po izmerjenih podatkih komisije, v dveh jezikovnih izvodih med letoma 1921 in 1926 izdelal italijanski vojnogeografski inštitut (IGM) (Gariboldi 1931). Zbirko so izdelali: topograf Sgrilli, poročnika Carasso in Monegatti ter stotniki di Grezia, Catardi, Latini, Covacovich, Maracci, Gallino, Lavizzari, Barbero, Barberini in Festa (Rilievo ... 1926a; 1926c). Osnova geodetske izmere je bila avstrijska triangulacijska mreža z izhodiščem pri otoku Ferro (Norme ... 1921). Komisija je od IGM prejela tri teodolite Starke z natančnostjo dveh stopinj, sedem taheometrov Salmoiraghi in sedem pretorskih merskih miz. Jugoslovanski geodeti sprva niso imeli lastne opreme. Pri delu sta se dnevno izmenjevala italijanski in jugoslovanski geodet, oba sta vodila svoj dnevnik



Slika 2: List številka 55 prikazuje območje Planine pri Rakeku. Mejna črta in mejniki so označeni z rdečo barvo. Pod zemljevidom je višinski prerez mejne črte s podatki o nadmorski višini mejnika in medsebojni zračni razdalji. Jugoslovansko različico sta potrdila polkovnik Drašković in podpolkovnik Aljov Marković.

(Norme ... 1921). Priloga zbirke vključuje razdaljo od mejnika do mejnika, način izmere in tip določitve mejne črte. Kljub prvotni odločitvi, da bo vseh 69 glavnih mejnikov kopenske meje izmerjenih kot trigonometrične točke, so izvzeli mejnike številka 2, 8, 14, 22, 24, 25, 28, 30, 36, 38, 41, 51, 52, 57, 58 in 62 (Rilievo ... 1926b; Medmrežje 1). Kopensko mejo do mejnika številka 70 je označevalo 4615 mejnikov, od tega jih je 2257 postavil jugoslovanski del komisije (Opis ... 1935). Skupno je bilo z geodetsko metodo izmerjenih 268 mejnikov (Rilievo ... 1926b). Položaj ostalih mejnikov so določili s tahimetrično metodo zajema topografskih podatkov, ki je usmerjena v hkratno pridobitev planimetričnega in altimetričnega položaja točke, to je treh prostorskih koordinat brez neposredne meritve razdalj (Medmrežje 2). Dodatno so izmerili 68 trigonometričnih točk na ozemlju, ki je pripadlo Italiji in 50 točk na ozemlju, ki je pripadlo Jugoslaviji (Rilievo 1926b). Trigonometrične točke izven mejnega pasu je lahko izmeril le geodet države, kjer je točka bila (Norme ... 1921). Za preverjanje dela je vsaka stran imela vodjo topografov, podpisal obeh pa sta potrdila veljavnost izmere. Enrico Grupelli, ki je med drugim leta 1910 sodeloval pri razmejitvi z Etiopijo ter bil za to leta 1914 odlikovan z viteškim redom za zasluge, je zastopal Italijo. Slovenski podpolkovnik Alojz Markovič, ki je prisostvoval tudi italijanski zasedbi novembra 1918, pa je zastopal Jugoslavijo (Gazzetta ... 1915; Commissione ... 1921; Kranjc 2011; Medmrežje 3).

Izdelan prikaz kopenske meje v merilu 1 : 5000 ima 84 listov, od tega jih 71, kolikor jih obsega ozemlje Slovenije, hrani Zemljepisni muzej Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU. Zapisi na listih, ki jih hrani omejeni muzej, so v srbskem jeziku (v latiničnem zapisu) (slika 2).

4 Zemljiški kataster nekoč in danes

Za začetek sodobnega evidentiranja nepremičnin na našem ozemlju velja cesarski patent, s katerim je 23. decembra 1817 Franc I. izdal ukaz za izvedbo stabilnega katastra v avstrijskih deželah (Slak 2019). V Republiki Sloveniji zemljiški kataster vzdržuje Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS; Medmrežje 4) in zagotavlja sloje katastrskih občin (KO), zemljiškokatastrskega prikaza (ZKP), zemljiškokatastrskih načrtov (ZKN) in urejenih meja (Medmrežje 5). Digitalna sloja ZKP in KO sta nastala z digitalizacijo analognih katastrskih načrtov leta 1990 ter sta še danes informativnega značaja (Slak 2019). Sloj ZKN nastaja z modernimi terenskimi meritvami, ki so pogoj za geodetski elaborat in evidentiranje parcele (Slak 2019). Do leta 2020 je bil sloj ZKN nezvezen ter ni prikazoval vseh parcel. Vse to so razlogi, zakaj smo med letoma 2014 in 2021 pri preučevanju in določanju rapalske meje uporabljali sloja KO in ZKP.

Analogni katastrski načrti (AKN) so papirnati zemljevidi različnih velikosti in meril (Slak 2019). Z izdelavo aplikacije eZKN, ki je namenjena vpogledu digitalnih slik arhivskih analognih katastrskih načrtov ter indikacijskih katastrskih map franciscejskega in reambulančnega katastra, je dostop do fonda preprost in dostopen vsakomur (Medmrežje 6). V aplikaciji pregledujemo arhivske katastrske načrte, ki so jih skozi desetletja vzdrževali geodeti Avstro-Ogrske, Italije, Jugoslavije in Slovenije.

Na posameznih AKN je dodana linija rapalske meje in posamezni mejniki (slika 3). Le-ti nosijo enake oznake, na primer številka mejnika in nadmorska višina, kot v zbirki IGM. Še več, mejna črta je tu prikazana v merilu 1 : 2880. Prav tako lahko spremljamo spremembe parcelne ureditve ter odstopanja rapalske meje od nekdanjih deželnih meja.

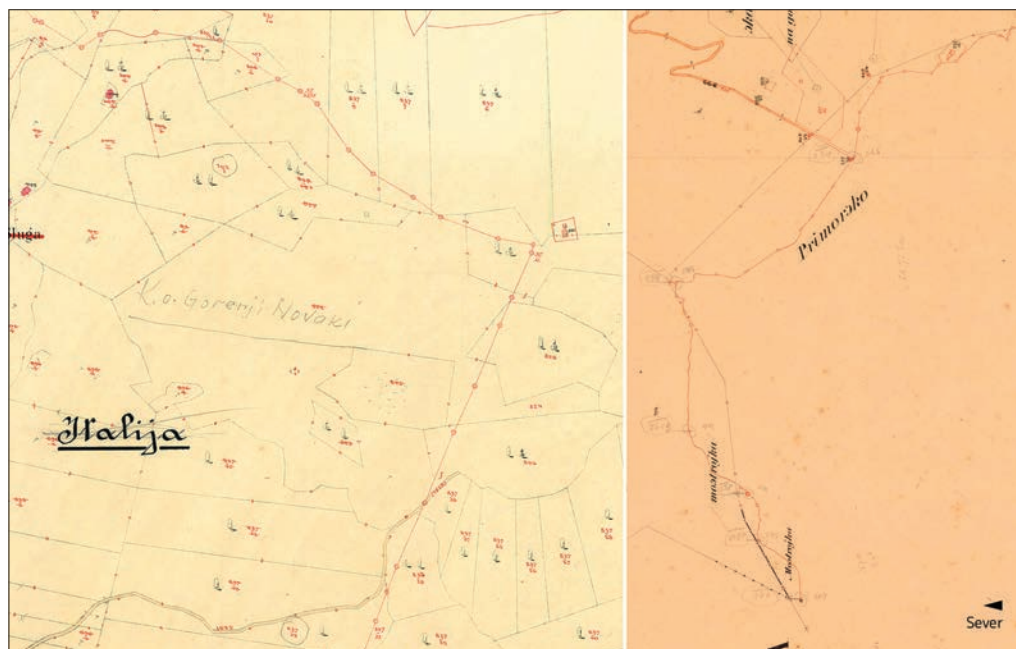
Vsebinsko aplikacija eZKN je dostopna kot slikovno gradivo in ni umeščena v prostor, zato smo za pregledovanje franciscejskega katastra dodatno uporabljali spletni pregledovalnik Registra kulturne dediščine Ministrstva za kulturo (Medmrežje 7). Z njima je mogoč javni vpogled v zgodovinske zbirke podatkov, ki jih hranijo Arhiv Republike Slovenije, Narodna in univerzitetna knjižnica, Zemljepisni muzej Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU in kartografska zbirka Oddelka za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Kovačec Naglič in Žorž 2020).

5 Digitalizacija rapalske meje

Liste zbirke, ki jih hrani Zemljepisni muzej Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU, smo prvič georeferencirali leta 2014. Uporabljen je bil takratni slovenski koordinatni sistem z epsg kodo 3912. Istega leta smo na portalu *Geopedia.si* objavili izdelan sloj mejne črte in mejnikov. Z ustanovitvijo Zgodovinskega društva Rapalska meja in vzpostavitvijo spletnega mesta leta 2016 zagotavljamo lastni spletni GIS pregledovalnik (Medmrežje 1), ki je dostopen tudi prek mobilne aplikacije *ArcGIS Explorer* (Medmrežje 8). Leta 2019 smo liste zbirke ponovno georeferencirali. Pri tem smo si pomagali z zbirkama Temeljni topografski načrt (TTN) in AKN. Uporabili smo polinomialno metodo transformiranja listov (Cajthaml 2013). Leta 2019 smo na spletnem zemljevidu namesto ravne črte med posameznimi mejniki uvedli dejanski potek mejne črte. Podatkovna struktura sloja mejnikov omogoča pripenjanje fotografij ter spremljanje njihove ohranjenosti. Trenutno imamo zbranih nekaj več kot tisoč fotografij in ocen stanja. Leta 2021 smo prikaz mejne črte razdelili glede na legendo IGM (zračna linija, posek gozda, cesta, kolovoz, pot, steza in vodotok). Uvedli smo 3R spletni pregledovalnik ter digitalizirali mejno črto italijanske enklave Zadar. S tem zagotavljamo javni prikaz kopenske meje v merilu 1 : 5000 oziroma 1 : 2880 m ter morske meje.

6 Metode

Predpogoj raziskave je bila izdelava dveh slojev primerljivih meril – linijskega sloja rapalske meje in zgodovinskega stanja katastrskih občin leta 1918. Slednji je bil povzet iz dostopnega gradiva v aplikaciji eZKN. Prvi korak je bila izbira AKN z vrisano deželno, rapalsko in mejo katastrske občine, drugi



Slika 3: Levo: AKN območja KO Leskovic. Rapalska meja (rdeča črta z rdečimi krogi–mejniki) je tu popolnoma ignorirala celo parcelno ureditev. Med obema vojnama je bilo območje razdeljeno med Gorenje Novake in Leskovic, po drugi svetovni vojni pa je zopet pripadlo Leskovic. Desno: AKN območja prelaza Vršič z vrisano deželno (črno) in rapalsko mejo (rdeče) (vir: Medmrežje 5).

pretvorba iz formata Djvu v TIF in tretji korak georeferenciranje v slovenskem državnem koordinatnem sistemu D96 (epsg 3794). Ves postopek smo izvedli v programu *ESRI ArcGIS Pro*. Skupno smo uporabili 184 listov AKN. Rapalsko mejo smo v linijski in točkovni obliki digitalizirali na podlagi že omejenjane zbirke IGM ter jo z orodjem *3tra* pretvorili v državni koordinatni sistem D96 (Medmrežje 9). Sloj ZKP, s katerim smo želeli ugotovljati primerjavo z današnjim stanjem, pa se mestoma slabše ujema s TTN.

S presekom slojev smo ugotovili, da je rapalska meja potekala prek 45 zgodovinskih KO s skupno površino 1366,49 km². Pri tem je zajeta tudi površina katastrske občine Rateče, ki danes je tako v Italiji kot Sloveniji. Sloj rapalske meje smo z orodjem *Buffer* pretvorili v poligonski obris linije. Za širino obrisa linije smo uporabili testne vrednosti 5, 20 in 50 m ter se na podlagi preliminarne rezultate enega lista odločili za vrednost 20 m. Liste zbirke IGM smo namreč georeferencirali na podlagi TTN.

Z orodjem *Clip* smo obrezali obris poligona rapalske meje z mejo KO. Pri tem smo zanemarili sosednje meje KO, ki so se dotikale mejne črte. Pridobljeni rezultat je presek linij zgodovinskih KO in rapalske meje.

7 Primerjava dolžin kopenske meje

Dolžina kopenske meje, kot so jo določili leta 1926 (do mejnika številka 70), je 244,52 km (Rilievo ... 1926a; 1926; Opis ... 1935), sloj »naše« meje pa ima skupno dolžino 245,09 km. Razlika med podatkom je 570 m oziroma 0,2 %. Z ukinitvijo SDR se je meja podaljšala za 19,36 km (Opis ... 1935). Zaradi manjkajočih zemljevidov območja Delte pri Reki na Hrvaškem smo mejo digitalizirali na podlagi tekstualnega opisa razdalj med mejniki. Naš sloj v dolžino meri 19,46 km. V primerjavi z italijanskim izračunom je napaka 0,5 %.

Izdelana sloja rapalske in Avstro-Ogrske meje smo uporabili za izračun površine nekdanjega ozemlja Avstro-Ogrske, ki je danes del Slovenije, Italije ali Hrvaške. V odstotkih je ozemlje razdeljeno tako, da Sloveniji pripada 46,9 %, Hrvaški 39,4 % in Italiji 13,7 %. Slovenski del meri okoli 4440 km² in predstavlja 21,9 % ozemlja Slovenije, Hrvaški (brez Zadra in otokov Dalmacije) okoli 3736 km² oziroma 6,6 % ozemlja Hrvaške ter italijanski okoli 1300 km² ali 0,4 % ozemlja Italije.

8 Vpliv zgodovinske deželne ureditve in zemljiškega katastra na določanje rapalske meje

Italijanska zasedba med letoma 1918 in 1921 je poleg Avstrijskega primorja obsegala tudi dele Kranjske in Koroške ter je s tem presegla nekdanjo deželno ureditev (Žorž 2016). Rapalska meja se, na podlagi zgoraj navedenih parametrov, z mejami zgodovinskih KO ujema v dolžini 25,1 km. To predstavlja 11,6 % od 215,78 km mejne črte na ozemlju Slovenije. Preden se opredelimo do teze, da rapalska meja ni sledila zemljiškemu katastru, moramo pojasniti vpliv natančnosti določanja meja zgodovinskih KO v naravi. Obstojeca literatura te razlike namreč zanemarja (Mohorič 2013; Žorž 2017). Dolžina Kranjsko-Goriške meje po razvodnem grebenu Julijskih Alp med Vevnico (2316 m) in sedlom Vrh Bače (1273 m) je 57,3 km, dolžina rapalske meje pa 67,2 km. Razlika 9,9 km oziroma 17,3 % je posledica natančnejšega določanja v naravi, kar je razvidno tudi na AKN. S tem so se spremenile meje vseh katastrskih občin na tem območju. Rapalska meja je, z manjšimi izjemami, prva razmejitev v Julijskih Alpah, ki natančno sledi reliefu.

9 Primerjava rapalske meje z današnjim stanjem zemljiškega katastra

Danes je ob nekdanji rapalski meji 66 KO oziroma enajst več kot leta 1918. Višje število je posledica razdelitve KO med obe državi zaradi poteka rapalske meje. Po letu 1947 so ta deljena območja ali

ostala nespremenjena ali so iz njih nastajale nove KO oziroma so bila vrnjena prvotni KO. Kot primer nastanka novih navajamo dele KO Urec in Dolenja vas, ki so pripadli Italiji. Le-ta jih je priključila obstoječima KO Kačja vas in Trnje. Po drugi svetovni vojni je iz nekdanjega italijanskega dela KO Urec in Dolenja vas nastala nova KO Rakov Škocjan.

Nekdanja mejna črta danes obsega 2834 parcel sloja ZKP. Primerjavo ujemanja rapalske meje z mejami KO smo opravili na enak način kot v prejšnjem poglavju. Ujemanje z današnjimi mejami KO je 196,8 km oziroma 91,2 %. Rapalska meja in meje KO se, razen manjših izjem, ne ujemajo pri Soriški planini, Gorenjih Novakih, pri Žireh in Zavrtaču. V vseh primerih gre za celovito ali delno povrnitev stanja KO, kot je bila pred rapalsko mejo.

Na območjih, kjer se rapalska meja ne ujema z mejo KO, smo preverili ujemanje z mejami parcel ZKP. Med sedlom Vrh Bače in Petrovim Brdom se potek rapalske meje ujema s parcelnimi. Med mejnikoma številka 31/LVII in 34/XVIII v KO Davča, Leskovica in Gorenji Novaki se rapalska meja ne ujema v okoli 360 m od skupno 7731 m. Med mejnikoma številka 38/VI in 39/XL v KO Koprivnik, Ledine in Žiri se rapalska meja ne ujema v okoli 355 m od skupno 3787 m. Do največjega odstopanja prihaja med mejnikoma številka 41/XIX in 42/X oziroma v KO Vrsnik I, Vrsnik II, Dole, Rovte in Medvedje Brdo, kjer se rapalska meja ne ujema v okoli 1700 m od skupno 3387 m. Od 215,78 km mejne črte na ozemlju Slovenije jo okoli 2,4 km oziroma 1,1 % ne poteka v skladu s parcelnimi mejami.

Ugotovitev odpira vprašanje ali lahko mejnike rapalske meje obravnavamo zgolj kot nepremično kulturno dediščino nekdanje meje ali tudi kot stoletje stare oznake, ki tudi danes označujejo parcelne meje v naravi? V slednjem primeru je namreč njihovo ohranjanje ne zgolj skrb za lastno dediščino, temveč tudi stvar interpretacije drugega odstavka 285. člena Kazenskega zakonika (2012).

10 Sklep

V prispevku predstavljen tehnični vidik delovanja komisije za razmejitve med Kraljevino Italijo in Kraljevino SHS nudi nov vpogled v podrobnosti izmere rapalske meje in razloži nekatere značilnosti kartografske zbirke njenega prikaza v merilu 1 : 5000. Z vključitvijo imen in priimkov želimo predstaviti delo vsaj tristo vojaških in civilnih oseb, ki so pol desetletja sodelovale pri projektu razmejitve. Njena ukinitve in ponovno določanje slovenske zahodne meje sta doživela zgolj dva prvotna člana komisije za kopensko mejo (Medmrežje 10).

Javno pregledovanje digitalnih slojev rapalske meje in opis preko 4500 mejnikov predstavljamo v društvenem spletnem GIS pregledovalniku (Medmrežje 1). Ugotovitve analize ujemanja zgodovinskega stanja zemljiškega katastra z rapalsko mejo potrjujejo prvo hipotezo o prevladi različnih političnih in vojaških dejavnikov pri določanju meje. Posledično je v medvojnem obdobju prihajalo do precejšnjih sprememb zemljiškega katastra. Z drugim delom raziskave pa potrjujemo neposreden vpliv rapalske meje na obstoječo zemljiško ureditev na ozemlju Slovenije ter se dotikamo vprašanja pravnega položaja ohranjanja mejnikov. S spodbujanjem razprav na temo povezanosti rapalske meje in zemljiškega katastra želimo prispevati k ohranjanju mejnikov ter predstaviti vzrok številnih sprememb upravne in zemljiške delitve v zahodnem delu Slovenije.

11 Viri in literatura

Cajthaml, J. 2013: Polynomial georeferencing method for old map series. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 1. Download citation of Polynomial georeferencing method for old map series (researchgate.net) (12.5.2022)

- Commissione per la demimitazione dei Confini. Commissariato Generale Civile – Atti Generali. Archivio di Stato di Trieste. Trieste, 1921.
- Di Bartolomeo, M., Sancimino, F. 2010: Dal primo colpo all'ultima frontiera: la guardia di finanza a Gorizia e provincia: una storia lunga un secolo. Gorizia.
- Gariboldi, I. 1931: Lungo i confini della patria, La frontiera Italo – Jugoslava. Ministero della guerra. Roma.
- Gazzetta ufficiale del Regno d'Italia, št. 142, 5. 6. 1915.
- Italy and Kingdom of the Serbs, Croats and Slovenes: Treaty signed at Rapallo, November 12, 1920. League of Nations: Treaty Series 18, 1-4. London, 1923. Medmrežje: <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/LON/Volume%2018/v18.pdf> (23. 2. 2022).
- Jarc, R. 2002: Rapalska meja: primer reliktnih meja in njeni vplivi na družbeno prostorsko strukturo Zahodne Slovenije. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kacin-Wohinz, M. 1965: Parlamentarne volitve in politične razmere v Julijski krajini 1921–1924. Prispevki za zgodovino delavskega gibanja 5, 1-2.
- Kazenski zakonik. Uradni list Republike Slovenije 50/2012. Ljubljana.
- Kovačec Naglič, K., Žorž, G. 2020: Prostorski podatki varstva kulturne dediščine. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_18
- Kranjc, M. 2011: Legendarni slovenski obveščevalci: slovenski vojaški obveščevalci in protiobveščevalci: 1919–1991. Maribor.
- Medmrežje 1: <https://www.rapalskameja.si/zemljevid-in-podatki> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 2: <https://www.teknoring.com/wikitecnica/rappresentazione-e-media/celerimensura-tac-heometria/> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 3: <https://italiacoloniale.com/2021/03/31/somalia-etiopia-il-confine-che-non-ce/> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 4: <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/nepremicnine/zemljiski-kataster/> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 5: <https://egp.gu.gov.si/egp/> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 6: <https://gis.gov.si/ezkn/> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 7: <https://gisportal.gov.si/rkd> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 8: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-explorer/resources> (12. 1. 2022).
- Medmrežje 9: <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/drzavni-prostorski-koordinatni-sistem/transformacija-v-novi-koordinatni-sistem/aplikacije-za-izvedbo-transformacije/> (4. 5. 2022).
- Medmrežje 10: <https://www.rapalskameja.si/komisija-za-razmejitev/> (23. 2. 2022).
- Mikša, P., Zorn, M. 2018: Rapalska meja: četrto stoletje obstoja in stoletje dediščine. Nečakov zbornik: procesi, teme in dogodki iz 19. in 20. stoletja, Historia 25. Ljubljana.
- Mohorič, J. 2013: Zgodovinska utemeljitev teritorialno-upravne razdelitve na območju nekdanje rapalske meje. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Mariboru. Maribor.
- Norme per la costituzione e funzionamento della Commissione di delimitazione del confine 8. maja 1921. Commissariato Generale Civile – Atti Generali. Archivio di Stato di Trieste. Trieste, 1921.
- Opis granične linije između Kraljevine Jugoslavije i Kraljevine Italije. Ministarstvo inostranih poslova, Biro za razgraničenje. Beograd, 1935.
- Pariška mirovna pogodba: integralno prevodno besedilo Mirovne pogodbe z Italijo, podpisane v Parizu 10. februarja 1947 in faksimilni kartografski prikaz pogodbeno določenih mej med Italijo, FLRJ in STO. Ministarstvo za zunanje zadeve. Ljubljana, 1997. Medmrežje: https://www.pf.uni-lj.si/media/skrk_pariška_mirovna_pogodba.pdf (12. 1. 2022).
- Pavšič, T. 1999: Ob stari meji: pričevanja in spomini. Idrija.
- Rilievo della linea di confine e suo profilo, listi 1–71. Zemljepisni muzej GIAM ZRC SAZU. Ljubljana, 1921–1926a.
- Rilievo della linea di confine e suo profilo. Istituto Geografico Militare. Firenze, 1921–1926b.
- Rilievo della linea di confine e suo profilo, listi 72–84. Istituto Geografico Militare. Firenze, 1921–1926c.

- Rilievo della linea di confine e suo profilo del Regno d'Italia e del Regno SHS verso lo Stato di Fiume, listi 1–12. Istituto Geografico Militare. Firenze, 1921–1926d.
- Slak, J. 2019: Dediščina katastrov na Slovenskem. Ljubljana.
- Sossou, V. 2021: Rapalska meja in razmejitvena komisija: odmevi v slovenskem in italijanskem časopisu. Magistrsko delo, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Vouk, M. 2016: Zahodna fronta: oblikovanje in utrjevanje rapalske meje. Diplomsko delo, Fakulteta za družbene vede Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Žorž, G. 2016: Italijanska zasedba slovenskih krajev v novembru 1918. Zgodovinski časopis 21, 2-3.
- Žorž, G. 2017: Varovanje rapalske meje in vojaška navzočnost na območju XI. Armadnega zbora. Magistrsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

RAZVOJ IN UPORABA GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMOV NA GEODETSKI UPRAVI REPUBLIKE SLOVENIJE

dr. Andreja Švab Lenarčič

Geodetska uprava Republike Slovenije

andreja.svab-lenarcic@gov.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6311-5911>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_21

UDK: 528.659.2:004.91(497.4)

IZVLEČEK

Razvoj in uporaba geografskih informacijskih sistemov na Geodetski upravi Republike Slovenije

Na Geodetski upravi Republike Slovenije upravljamo z zbirkami podatkov osnovnih geodetskih evidenc. Velika večina teh so medresorske digitalne baze, v katerih vzdržujemo in povezujemo preko sto milijonov lokacijskih podatkov in še več opisnih podatkov ter arhivskih dokumentov evidentiranih postopkov. Pri upravljanju baze, ki je uvrščena med največje digitalne baze v Sloveniji, je kakovostno vzpostavljen in voden geografski informacijski sistem velikega pomena. Zato je ob 30-letnici simpozija namen prispevka predstaviti pregled in razvoj geografskih informacijskih sistemov na Geodetski upravi Republike Slovenije, od njegovih začetkov, preko uporabe v sedanjosti do planirane uporabe v prihodnosti.

KLJUČNE BESEDE

Geodetska uprava Republike Slovenije, geografski informacijski sistemi, prostorski podatki, geodetske evidence

ABSTRACT

Development and use of geographic information systems at the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia

The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia manages databases of basic geodetic records. The vast majority of these are interdepartmental digital databases, in which we maintain and connect over one hundred million location data and even more descriptive data and archival documents of recorded procedures. In the management of the database, which is ranked among the largest digital databases in Slovenia, a well-established and managed geographic information system is of great importance. Therefore, on the occasion of the 30th anniversary of the symposium, the purpose of this paper is to present an overview and development of geographic information systems at the Surveying and Mapping Authority, from its beginnings, through current and planned future use.

KEY WORDS

Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, geographic information systems, spatial data, geodetic data records

1 Uvod

Geografski informacijski sistem (GIS) je računalniško podprt podatkovno procesni sistem za učinkovito zajemanje, shranjevanje, vzdrževanje, obdelavo, analiziranje in prikazovanje prostorskih (geografskih) podatkov (Šumrada 2005). Ena osnovnih delovnih nalog Geodetske uprave Republike Slovenije (v nadaljevanju GURS) je zajem, shranjevanje, vzdrževanje, vodenje in posredovanje osnovnih podatkov o prostoru in nepremičninah. Primerjava osnovnih delovnih nalog GURS-a in definicije GIS-a nedvoumno nakazuje na to, da je uporaba GIS-a na GURS-u nujna. Ker z GIS-om upravljamo zbirke podatkov osnovnih geodetskih evidenc, je kakovostno vzpostavljen in voden GIS še toliko večjega pomena.

Dejstvo je, da je večina podatkov iz najrazličnejših tematskih področij tako ali drugače povezanih z lokacijo. Zato veliko uporabnikov danes uporablja GIS. Programska oprema je cenovno dostopna, tudi tehnologija zajema podatkov postaja vse enostavnejša, vse tja do zajema podatkov s telefonom ali uro. S tem si različni tematski strokovnjaki prostorske podatke pridobivajo sami. Podatkov je zato ogromno in se tematsko nanašajo na mnoga področja.

Nadgrajene informacije dobimo, ko različne podatke med seboj združujemo in analiziramo. Tudi pri tem imamo na voljo množico naprednih metod za analizo in interpretacijo podatkov. Vendar pa v primeru, ko so podatki neurejeni, netočni, nepravilni ali nepopolni, praviloma nastane kaos. Moč kaosa je odvisna od pomembnosti podatkov. In za najpomembnejše oziroma najbolj osnovne prostorske podatke je odgovoren GURS (slika 1).



PCH VECTOR, FREEPIK; HERMANTHOS, SHUTTERSTOCK

Slika 1: Danes smo priča zbiranju ogromne količine prostorskih podatkov različnih tematik. Združevanje, analiza in interpretacija podatkov ima v primeru neustreznih podatkov kaotičen rezultat. Ena od nalog GURS-a je ureditev, povezava in vzdrževanje podatkov osnovnih geodetskih evidenc.

Med osnovnimi prostorskimi podatki prednjači zemljiška parcela, ki je ključ za identifikacijo zemljiških pravic ter upravljanje omejitev in odgovornosti pri uporabi zemljišč. Pojem zemljiškega upravljanja je v sodobnem času nadgrajen v širši pojem prostorskega upravljanja. Zemljiška parcela povezuje sistem prostorskega upravljanja z ljudmi (Williamson s sodelavci 2010; Triglav 2010), motor sistema prostorskega upravljanja pa so kakovosten kataster in drugi temeljni podatki GURS-a. Na njih temelji prostorska podatkovna infrastruktura, sistem prostorskega upravljanja, prostorsko urejanje in nenazadnje prostorska politika. Zato mora biti njihova dostopnost, struktura in prikaz v skladu z naj-novejšimi standardi in tehnologijo. Posledično je zajem in vzdrževanje teh podatkov daleč od »zajema s telefonom«. Poleg tehnično zahtevnega postopka zajema je vzdrževanje podatkov pretežno povezano s strankami, dosledno je treba upoštevati tudi vsa določila o posebnem upravnem postopku iz ustreznih zakonov. Izpostaviti je treba dejstvo, da je količina podatkov ogromna.

Predvsem iz navedenih razlogov je ob 30-letnici simpozija namen prispevka predstaviti pregled in razvoj GIS-a na GURS-u, od njegovih začetkov, preko uporabe v sedanosti in planirani uporabi v prihodnosti. Upamo, da bomo bralcem orisali občutek, kako so bili pridobljeni in urejeni podatki geodetske službe, brez katerih bi marsikatera prostorska analiza različnih uporabnikov bila nemogoča.

2 Začetki uporabe GIS-a

GIS postane uporaben, ko so v njem podatki. Ti morajo biti digitalni in vezani na prostor. Pred pojavom osebnih računalnikov je seveda GURS vse svoje podatke vodil v analogni obliki bodisi v opisnih evidencah bodisi na grafičnih načrtih in zemljevidih. Te podatke je bilo zato potrebno najprej digitalizirati, pri čemer je bilo obvezno treba ohraniti kakovost podatkov. Začetki uporabe GIS-a na GURS-u so torej vezani na digitalizacijo podatkov. V poglavju povzemamo opis prehoda na računalniško vzdrževanje različnih geodetskih evidenc.

Zemljiški kataster. Zemljiški kataster se od vsega začetka deli na opisni in na grafični del. Evidenci sta se do začetka uporabe informacijskega sistema kataster v letošnjem letu vodili ločeno, zato je tudi digitalizacija obeh delov zemljiškega katastra potekala ločeno.

Opisni del zemljiškega katastra je bil že v začetku 60-ih let prejšnjega stoletja deležen uvajanja samodejne obdelave. Razvoj je bil sprva decentraliziran z različnimi sistemi samodejne obdelave in s tem omejeno uporaben, zato je bila leta 1995 vzpostavljena centralna baza opisnega dela zemljiškega katastra za celo Slovenijo. To je bil velik korak pri modernizaciji pisnega dela zemljiškega katastra, ki je s tem postal dostopen tudi drugim uporabnikom v državi. Naslednji nujni korak v posodobitvi zemljiškega katastra je predstavljal informatizacijo postopkov in operata grafičnega dela zemljiškega katastra, kajti le-ta je bil z nekaj izjemami vse do sredine 90-ih let prejšnjega stoletja še večinoma v papirni obliki. Postopki prevedbe podatkov grafičnega dela zemljiškega katastra v digitalno vektorsko obliko so bili izredno strokovno zahtevni in obsežni. V celoti je grafični del evidence zemljiškega katastra v digitalni obliki dostopen od leta 2002. Projekt posodobitve evidentiranja nepremičnin na področju zemljiškega katastra je bil za celo Slovenijo zaključen leta 2009 (Slak s sodelavci 2021).

Opisni in lokacijski podatki zemljiškega katastra za območje celotne Slovenije so zbrani in redno vzdrževani v Centralni bazi zemljiškega katastra. Glavna značilnost te baze je, da je medresorska, kar pomeni, da vsebuje poleg podatkov zemljiškega katastra tudi podatke, ki so v pristojnosti drugih državnih organov. Iz te baze teče izdaja podatkov za vse večje uporabnike. V Sloveniji je več kot pet milijonov parcel, ki vsebujejo približno šest milijonov poligonov v lokacijski bazi, preko 35 milijonov zemljiškokatastrskih točk in približno 25 milijonov arhivskih dokumentov evidentiranih postopkov, kar uvršča digitalno bazo zemljiškega katastra med največje digitalne baze v Sloveniji.

Register prostorskih enot (RPE). Register prostorskih enot je nastal z nadgradnjo Registra območij teritorialnih enot (ROTE) in evidence hišnih števil (EHIŠ), ki sta ju vzpostavila Statistični urad Republike Slovenije in geodetska služba na začetku 80-ih let prejšnjega stoletja. Osnova Registra prostorskih enot

je integrirana podatkovna baza z lokacijskimi in opisnimi podatki, ki je bila vzpostavljena leta 1995. Ob vzpostavitvi se je začelo tudi njeno vzdrževanje. Načini uporabe teh podatkov so številni. Najširša je uporabnost v navigacijskih sistemih, ključno in nenadomestljivo vlogo ima RPE tudi pri izvedbi vsakokratnih volitev.

Kataster stavb. Po letu 2000 je začela nastajati poleg zemljiškega katastra še druga osnovna evidenca – kataster stavb. Grafični del katastra stavb je nastal na osnovi zajema obrisov streh iz stereofotogrametrije. Podatki o stavbah in delih stavb se od samega začetka vodijo digitalno v centralni bazi katastra stavb, ki je povezana z drugimi evidencami. V katastru stavb se vodi približno dva milijona poligonov z mnogimi opisnimi podatki.

Register evidence nepremičnin (REN). Register evidence nepremičnin je nastal na podlagi popisa nepremičnin v letih 2006 in 2007 in je v popolni izvedbi začel poslovati v letu 2008. V njem so prevzeti dejanski podatki popisa, podatki zemljiškega katastra, katastra stavb, zemljiške knjige in nekaterih drugih javnih evidenc ter podatki, ki jih dnevno posredujejo lastniki nepremičnin. Evidenca vsebuje več deset milijonov podatkov o nepremičninah in služi kot osnovna podatkovna baza za izvedbo množičnega vrednotenja nepremičnin.

Aerofotografije, ortofoto in digitalni model višin. Letalska snemanja so se na območju Slovenije začela izvajati leta 1953, od leta 1970 celo pod okvirom aerosnemanne službe Geodetskega zavoda Slovenije. Leta 1975 se je v Sloveniji začel projekt Ciklično aerosnemanje Slovenije (CAS), ki se je s poznejšimi posodobitvami ohranil do danes. Digitalno snemanje optičnih posnetkov je bilo uvedeno leta 2006. Leta 2015 je bilo končano prvo lasersko skeniranje Slovenije (LSS), s čimer smo dobili izboljššan digitalni model višin in s tem možnost bolj kakovostne izdelave ortofotov (Triglav Čekada in Bric 2015). Posnetki CAS-a in LSS-ja so osnovni fotogrametrični vir za zajem topografskih podatkov za potrebe države in so javno dostopni.

Topografski podatki in karte. Topografski podatki so bili v letih po osamosvojitvi Slovenije dopolnjeni in medsebojno usklajeni, postali so tudi splošno dostopni (Petrovič s sodelavci 2011). Digitalizirane



Slika 2: GURS vodi veliko število prostorskih podatkov različnih geodetskih evidenc. Veliko podatkov je med seboj povezanih in javno dostopnih preko različnih aplikacij (e-Geodetski podatki 2022; Geoportal 2022).

so bile različne topografske karte. V začetku tretjega tisočletja se je vlaganje v topografske podatke zaradi visokih stroškov zelo omejilo, s čimer se je njihovo stanje v naslednjem desetletju močno poslabšalo. Finančni mehanizem Evropskega gospodarskega prostora 2009-2014 je omogočil, da je GURS leta 2013 začel izvajati projekt, v katerem so poskrbeli za skladnost topografskih podatkov s predpisi po direktivi INSPIRE (angleško *Infrastructure of Spatial Information in Europe*; infrastruktura za prostorske informacije v Evropi) in za njihov pospešen zajem (Duhovnik s sodelavci 2016). Leta 2015 je bil vzpostavljen državni topografski model (DTM), katerega del so tudi zemljepisna imena in digitalni model višin. Od leta 2017 so nekatere karte na voljo tudi v obliki zvezne vektorske kartografske zbirke podatkov.

Podatki ostalih geodetskih evidenc. Poleg navedenih je GURS digitaliziral in vzpostavljal evidence še za druge podatke: podatke državnega prostorskega koordinatnega sistema, register zemljepisnih imen, zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture, evidenco državne meje, evidenco modelov vrednotenja nepremičnin, evidenco trga nepremičnin in druge (slika 2).

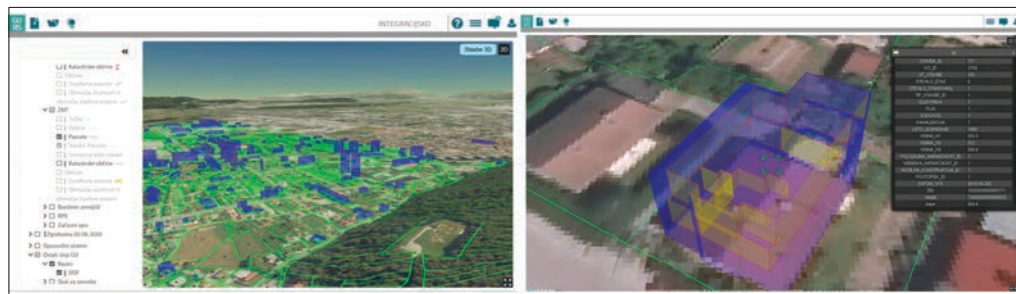
Podatki geodetskih evidenc so javno dostopni preko portala Geodetske uprave Republike Slovenije eProstor ter različnih drugih aplikacij. Vse izdelane omrežne storitve in metapodatki so vključeni tudi v Slovenski geoportal INSPIRE. Zbir vseh teh digitalnih prostorskih podatkov danes omogoča uporabo orodij GIS-a za različne namene, opisane v naslednjem poglavju.

3 Trenutna uporaba GIS-a

Z digitalizacijo in geolokacijo množice podatkov različnih geodetskih evidenc je delo na GURS-u mnogo bolj sistematizirano, urejeno, hitrejše, omogočena je uporaba orodij GIS-a. Enostavno lahko iščemo nepremičnine, arhivske karte, izvajamo analize prostorske povezanosti različnih podatkov, najdemo geodetske postopke, izvajamo množično vrednotenje nepremičnin, izvajamo delno avtomatizirane postopke za evidentiranje in drugo.

Večja povezava podatkov različnih geodetskih evidenc je razkrila veliko napak, tako v posameznih evidencah, še posebej pa v povezavi med njimi. Vedno bolj je postajalo jasno, da je tudi obstoječa zakonodaja z različnih področij, ki urejajo evidentiranje prostorsko orientiranih podatkov, medsebojno slabo usklajena. Poleg tega obstoječe informacijske rešitve, ki jih trenutno za vodenje nepremičninskih evidenc uporablja GURS, ne omogočajo učinkovitega vodenja in povezovanja podatkov. Zaradi zastarelosti in parcialnih nadgradenj so tudi nestabilne.

Zato je GURS skupaj s partnerji za potrebe usklajenega in kakovostnega upravljanja s prostorom ter učinkovitega gospodarjenja z nepremičninami v finančni perspektivi 2014–2020 pripravil Program projektov eProstor pod sloganom »En prostor za vse«. Dolgoročni cilj slednjega je pospešiti in izboljšati procese na področju prostorskega načrtovanja, graditve objektov in upravljanja z nepremičninami, kar je možno doseči s povezljivimi, prosto dostopnimi in zanesljivimi zbirkami prostorskih podatkov.



Slika 3: Primer 3D-prikaza grafičnih podatkov v novem informacijskem sistemu kataster (Ravnihar in Pogorelnik 2019).

Pred povezavo zbirk posameznih akterjev pa je vsak od njih moral vzpostaviti svoje popolne in kakovostne nepremičninske evidence. GURS je v okviru programa projektov eProstor do sredine leta 2022 vzpostavil enotno sodobno informacijsko evidenco, imenovano »kataster nepremičnin«, ki omogoča sodobno delovanje nepremičninskega sistema in predstavlja enotno osnovno državno prostorsko infrastrukturo (slika 3). S tem je vzpostavljena enotna platforma, enotna vstopna točka, preko katere poteka komunikacija med GURS-om in gospodarstvom oziroma izvajalci geodetskih storitev. Zagotovljena je povezava z drugimi sistemi v državi preko identifikatorjev nepremičnin, omogočen je elektronski način poslovanja ter odpravljene številne administrativne ovire. Pravno podlago za informatizacijo zagotavlja Zakon o katastru nepremičnin.

Pred dokončno implementacijo informacijske prenove je bilo na GURS-u treba opraviti veliko aktivnosti. Najobsežnejši med njimi sta bili transformacija vseh podatkov v nov koordinatni sistem in izboljšava lokacijske natančnosti grafičnih podatkov zemljiškega katastra. Druge aktivnosti so bile: celovito skeniranje arhiva, ureditev območja enakih bonitet, vzpostavitev skupne dejanske rabe zemljišč, prevedba nekdanjih stavbnih vrst rabe v zemljišča pod stavbami, pilotna vektorizacija etažnih načrtov, izvedba migracije posameznih podatkov. Naj nazadnje omenimo urejanje in usklajevanje podatkov različnih evidenc, kjer brez orodij GIS-a ne bi bili uspešni. Analizirali smo zelo veliko kategorij možnih neskladij med podatki, napake vpisali in vodili v posebni aplikaciji ter jih v zadnjih letih sistematično odpravljali.

GIS nam je lahko v veliko pomoč, ugotavljamo pa, da vse prevečkrat zgolj zaupamo tej tehnologiji, ne da bi se konkretno posvetili temu, kakšne podatke primerjamo in kakšne so lahko (tudi) pravne posledice kombinacij neustreznih podatkov. Na parcele, kot osnovni nepremičninski enoti, se na osnovi t. i. grafičnih presekov veže vse več tematsko različnih podatkov, pridobljenih z različnimi tehnologijami in brez ustreznega upoštevanja temeljne vloge katastra v sistemu prostorskega upravljanja. Ob dejstvu, da smo v zadnjih tridesetih letih digitalizirali milijone prostorskih podatkov, jih medsebojno in z več drugimi evidencami povezali ter praktično ročno in z upoštevanjem upravnih postopkov večinoma uredili, si ne želimo, da bi v osnovne geodetske evidence vnašali neustrezne in nepravilne podatke različnih tematskih evidenc. Ves čas sledimo tehnologiji, jo spoštujemo in jo skušamo v čim večji meri tudi vpeti v svoje procese. Določene podatke lahko dobimo na osnovi strojnega učenja in s povsem samodejnim postopkom. Vendar pa se moramo zavedati, da na primer 98 lahko to pomeni tudi poprave podatkov nad 100.000 parcelam. In vsaka od njih terja upravne postopke! Zato v prihodnosti, kot je opisano v naslednjem poglavju, še več pozornosti polagamo na povezovanje med različnimi sektorji javne uprave.

4 Kaj si obetamo od GIS v prihodnosti?

V tem času smo priča izjemno hitremu tehnološkemu razvoju družbe, tudi (ali predvsem) na področju prostorskih podatkov. Zlahka zasledimo termine, kot so: BIM, umetna inteligenca, navidezna in obogatena resničnost, 3D mrežni model, digitalni dvojčki, pametna mesta, 5G ... Današnje napredne tehnologije in programska oprema omogočajo neomejene možnosti razvoja za digitalno preobrazbo. Razvoj je podprt tudi s pobudami, kot sta DestinE in Green Deal. Toda zavedati se moramo odgovornosti pomena popolnih, kakovostnih in povezanih podatkov o prostorskih, okoljskih in zemljiških evidencah. V digitalnem prostoru ni prostora za slabe podatke, ki ne omogočajo trajnostnih in celovitih odločitev v prostoru.

Zato si na GURS-u želimo več povezovanja in obojestranskega razumevanja podatkov. V letu 2021 smo skupaj s partnerji začeli z izvajanjem projekta Digitalne preobrazbe javnega sektorja in javne uprave, ki poteka v okviru Nacionalnega načrta za okrevanje in odpornost in bo predvidoma zaključen leta 2026. Do konca leta 2025 bo vzpostavljena digitalna podatkovna infrastruktura, ki bo zagotovila povezovanje procesov, podatkov in storitev ter dostop do digitalnih podatkov in storitev na področju prostora, okolja, vode in narave. Služila bo kot podlaga za razvoj povezanih digitalnih storitev (slika 4).



Slika 4: GURS se bo v prihodnjih letih še bolj digitaliziral in povezal s ključnimi procesi in zbirkami podatkov s področja prostora, okolja, vode in narave.

Vsak nosilec projekta je zadolžen za svoje naloge. Naloge GURS-a so:

- državni koordinatni sistem: vzpostavitev četrte (časovne) razsežnosti v državnem koordinatnem sistemu kot osnove za digitalizacijo; vzpostavitev sistema za kakovost državnega koordinatnega sistema in svetovanje,
- državni topografski sistem: izvedba cikličnega laserskega skeniranja Slovenije; zajem topografskih podatkov, nadgradnja informacijskega sistema topografije ter povezava spremljanja sprememb in topografije,
- 3D kataster: vektorizacija etažnih načrtov; gradbeno inženirski objekti (analiza stanja in potreb, zajem, modeliranje in informatizacija procesov, povezava z informacijskim sistemom kataster); BIM v katastru (kakovost nepremičninskih evidenc, uporaba BIM standarda); izgradnja sodobnega sistema za modeliranje in analitiko vrednosti nepremičnin,
- vzpostavitev infrastrukture za prostorske informacije, posodobitev računalniške, komunikacijske in predstavitvene opreme, razvoj sistema za kakovost podatkov in storitev, inovativne e-storitve za uporabnike ter uvajanje novih tehnologij, pilotne naloge v 4D.

Naloge so ambiciozne, a realne. Geodetska stroka je sicer vedno bila v vrhu znanstvenega in tehnološkega napredka. Vendar pa so digitalizacija, ureditev in povezava tako obsežne količine zelo občutljivih podatkov tehnološkemu napredku predstavljale veliko oviro. Vzpostavitev in čiščenje geodetskih evidenc je zato ponovno omogočilo vpeljavo in uporabo najsodobnejših tehnologij prostorske obdelave podatkov.

5 Sklep

Geodezija je iz znanosti o merjenju prešla v znanost o prostorskih podatkih (slika 5). Prostorskih podatkov je nepredstavljivo veliko, njihovih tematskih uporabnikov prav tako. V družbi in tudi v pretežnem delu strokovne javnosti je še vedno trdno zasidrano mnenje, da so zemljemerci dobri le za zbiranje podatkov, uporabljajo jih pa GIS-ovci. Če vodenja in povezave prostorskih podatkov ter izdelave raznih modelov vrednotenja za prostorsko upravljanje ne štejemo med uporabo GIS tehnologij, ker morda



HEIN NOUWENS, SHUTTERSTOCK; METAMORWORKS, SHUTTERSTOCK

Slika 5: Geodezija je iz znanosti o merjenju prešla v znanost o prostorskih podatkih.

takšna uporaba ni tako atraktivna, imajo delno prav. Naša naloga ni biti atraktiven. Naša naloga je biti dobra osnova čim večjemu in raznolikemu obsegu »GIS-ovcem«. In ravno to si najbolj ometamo od GIS v prihodnosti. Ustrezno predstavitev in posredovanje kakovostnih podatkov končnim uporabnikom, v upanju, da bodo le-ti podatke cenili ter pri izdelavi svojih rezultatov tudi ustrezno upoštevali njihovo kakovost in pravni pomen, če je to potrebno. Želimo si tudi čim več obojestranske komunikacije in povratnih informacij, da lahko podatke naredimo še bolj učinkovite. In nenazadnje, kljub veliki kompleksnosti podatkov osnovnih geodetskih evidenc želimo kombinacije naših podatkov predstaviti dovolj enostavno, da spodbudimo druge uporabnike k uporabi, s čimer se raven skupne koristi samo dviga.

6 Viri in literatura

- Duhovnik, M., Kete, P., Boldin, D., Režek, J. 2016: Novi državni topografski podatkovni model kot podlaga za načrtovanje. 27. Sedlarjevo srečanje. Urbani izziv, posebna izdaja, 2016.
- e-Geodetski podatki, Portal prostor. Geodetska uprava Republike Slovenije. Medmrežje: <https://egp.gu.gov.si/egp/> (15. 1. 2022).
- Geoportal: Slovenski geoportal. Geodetska uprava Republike Slovenije. Medmrežje: <http://www.geoportal.gov.si/> (15. 1. 2022).
- Petrovič, D., Podobnikar, T., Grigillo, D., Kozmus Trajkovski, K., Vrečko, A., Urbančič, T., Kosmatin Fras, M. 2011: Kaj pa topografija? Stanje in kakovost topografskih podatkov v Sloveniji. Geodetski vestnik 55-2.
- Ravnihar, F., Pogorelčnik, E. 2019: Zakon o katastru nepremičnin in informacijska prenova nepremičninskih evidenc. 47. Geodetski dan: Geodezija – stroka priložnosti!?. Medmrežje: <https://www.projekt.e-prostor.gov.si> (28. 1. 2022).
- Slak, J., Kogovšek, T., Tibaut, D., Požanel, I., Pirc, B., Pogorelčnik, E. 2021: Od gosjega peresa do računalniškega oblaka. Ljubljana.
- Šumrada, R. 2005: Strukture podatkov in prostorske analize. Ljubljana.
- Triglav, J. 2010: Kakovostni prostorski podatki kot podlaga za razvoj podeželja. Podeželje na preizkušnji. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., in Rajabifard, A. 2010: Land administration systems for sustainable development. ESRI Press, New York, ZDA.

ZBIRKA TOPOGRAFSKIH PODATKOV (DTM)

Marija Brnot, Marjana Duhovnik

Geodetska uprava Republike Slovenije

marija.brnot@gov.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0449-9553>

marjana.duhovnik@gov.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4025-2064>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_22

UDK: 528.4:004.65(497.4)

IZVLEČEK

Zbirka topografskih podatkov (DTM)

Zbirka topografskih podatkov se vodi v obliki državnega topografskega modela (DTM) in vsebuje grafične in atributne podatke o topografskih objektih, ki ustrezajo natančnosti merila 1:5000. Za zajem geometričnih parametrov topografskih podatkov je uporabljen kombiniran fotogrametrični zajem na osnovi izdelkov cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) in laserskega skeniranja Slovenije (LSS). Tematski atributi topografskih podatkov so interpretirani iz stereoparov CAS, podatkov LSS, privzeti iz drugih baz in evidenc oziroma interpretirani iz drugih virov. Topografski podatki so skladni s smernicami direktive INSPIRE. Vsebinsko so podatki zbirke topografskih podatkov razdeljeni v sedem objektnih področij: zgradbe, prometna omrežja, komunalne in javne storitve, hidrografija, pokritost tal, raba prostora in relief. S topografskimi podatki je pokrito območje celotne Slovenije.

KLJUČNE BESEDE

topografski podatki, podatkovni model, spletne storitve, osnovna karta

ABSTRACT

Topographic database (DTM)

The topographic data are kept in the form of a national topographic model (DTM) and contains graphic and attribute data on topographic objects that correspond to an accuracy of 1:5,000. To capture the geometric parameters of topographic data, a combined photogrammetric capture based on the products of cyclic aerial photography of Slovenia (CAS) and laser scanning of Slovenia (LSS) was used. Thematic attributes of topographic data are interpreted from CAS stereo pairs, LSS data, taken from other databases or interpreted from other sources. Topographic data comply with the INSPIRE Directive. The data of the topographic database are divided into seven object types: buildings, transport networks, communal and public services, hydrography, land cover, land use and relief. Topographic data cover the entire territory of Slovenia.

KEY WORDS

topographic data, data model, web services, base map

1 Uvod

Topografski podatki, ki ustrezajo natančnosti merila 1 : 5000, se v Sloveniji zajemajo od leta 2002. Istega leta je bil osnovan tudi prvi državni topografski podatkovni model, ki ga je bilo treba kasneje uskladiti z novimi predpisi in prilagoditi novim zahtevam uporabnikov. Zato je Geodetska uprava Republike Slovenije (v nadaljevanju Geodetska uprava) leta 2015 vzpostavila novi državni topografski model ter zagotovila skladnost topografskih podatkov s predpisi po direktivi INSPIRE, tudi že prej zajetih podatkov. V kasnejših letih se je z zajemom topografskih podatkov nadaljevalo. V letu 2021 so bili topografski podatki zajeti za še zadnja ne zajeta območja, s čimer smo dosegli popolnost podatkovne zbirke za območje celotne Slovenije in s tem zagotovili topografske podatke kot referenčno osnovo za zajem in prikaz ostalih vsebin širokemu krogu uporabnikov. Uporabnost podatkovnega niza se je namreč močno povečala z razpoložljivostjo vseh slojev topografskih podatkov za območje celotne države. Z letom 2022 se pričinja sistematično vzdrževanje zajetih vsebin, prioriteno najstarejših, s čimer bo poleg večje ažurnosti podatkov odpravljena tudi vsebinska nehomogenost podatkov zaradi pred leti spremenjene metode zajema, objektnega kataloga in pravil za zajem.

Ker je vsebina zbirke topografskih podatkov v celoti vključena in se vodi v obliki državnega topografskega modela (DTM), v prispevku večinoma navajava slednjega.

V prispevku so opisani državni topografski podatkovni model, upravljanje s topografskimi podatki, zajem in vzdrževanje topografskih podatkov ter uporaba podatkov.

2 Državni topografski model (DTM)

Geodetska uprava je izvedla vzpostavitev novega državnega topografskega modela v okviru projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, ki je potekal ob podpori finančnega mehanizma EGP 2009-2014 v obdobju 2013-2016.

Osnovni cilj zasnove državnega topografskega modela je bila zagotovitev skladnosti državnih topografskih podatkov z zahtevami direktive INSPIRE in predpisov na njeni podlagi. Direktiva INSPIRE je direktiva Evropskega parlamenta in sveta o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti in ureja izhodišča za vzpostavitev evropske infrastrukture za podatke o prostoru in okolju v državah članicah. Določila direktive INSPIRE so v slovenski pravni red prenesena z Zakonom o infrastrukturi za prostorske informacije (Uradni list RS, št. 08/10, 84/15).

Ostali cilji zasnove državnega topografskega modela (DTM) so bili:

- zagotoviti povezanost podatkov v funkcionalno celoto,
- omogočiti povezljivost z zunanjimi podatkovnimi zbirkami,
- omogočiti nadgradljivost z dodatnimi vsebinami.

Zasnova podatkovnega modela je temeljila na naslednjih konceptualnih izhodiščih:

- Prevzem strukture in vsebine INSPIRE podatkovnih modelov relevantnih tem.
- Uporaba osnovnega ali razširjenega podatkovnega modela po INSPIRE, z dodanimi nacionalnimi posebnostmi.
- Izločitev sestavin, opredeljenih kot (trenutno) ne relevantnih za nov državni topografski podatkovni model iz izvornih INSPIRE modelov.
- Ohranitev poimenovanj sestavin podatkovnega modela (logični in fizični model) v izvornem jeziku (angleščina). Nacionalne razširitve so poimenovane v slovenskem jeziku upoštevajoč predpisan način poimenovanja.
- Vključitev v model izbranih sestavin, ki trenutno niso del državnih topografskih podatkovnih zbirk, so pa topografsko relevantne (npr. plastnice).
- Vključitev v model tudi izbranih sestavin, ki presegajo topografske okvire, četudi bodo na začetku brez vsebine (Duhovnik, Kete, Boldin, Režek 2016).

V državni topografski model so bile ob njegovi vzpostavitvi vključene že prej obstoječe državne zbirke topografskih podatkov: topografski podatki DTK5 (stavba, visok objekt, cesta, železniška proga, os žičnice, vegetacija, zemljišče v posebni rabi), osi elektrovodov iz zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture ter zemljepisna imena iz registra zemljepisnih imen. Hidrografske podatke so bili prevzeti od Ministrstva za okolje in prostor.

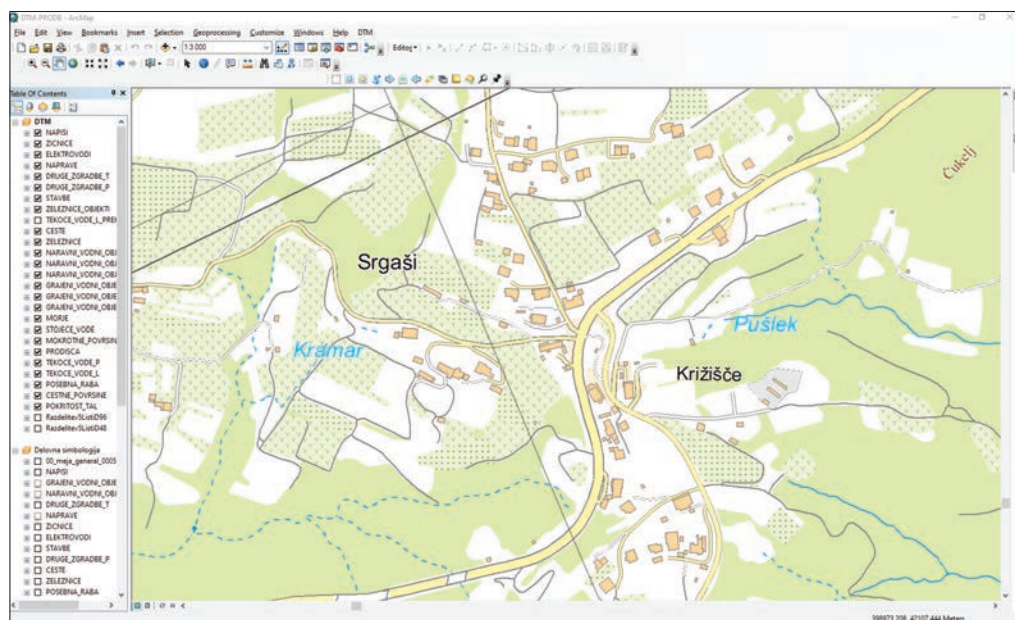
Podatki obstoječih državnih topografskih zbirk so bili v DTM preneseni s postopkom migracije, ki je vključeval tudi analizo in odpravo napak vhodnih podatkov, načine določitve odnosov med stari in novimi atributi ter transformacijo podatkov v nov državni prostorski koordinatni referenčni sistem (D96TM). Vsebina zbirk se je pomensko uvrstila v naslednje teme direktive INSPIRE: stavbe (zgradbe), komunalne in javne storitve, prometna omrežja, pokritost tal (pokrovnost), raba prostora, hidrografija, zemljepisna imena in višine.

Državni topografski model je v fizični obliki realiziran kot objektno-relacijska podatkovna baza. Produkcijska podatkovna baza je bila vzpostavljena kot ArcGIS ArcSDE Geodatabase znotraj podatkovne baze Oracle, razširjene s tehnologijo Oracle Spatial. Z uporabo geometrije Oracle Spatial (SDO_GEOMETRY) je v podatkovni bazi zapisana geometrija entitet.

Za potrebe upravljanja s podatki je bila izdelana aplikacija za ESRI ArcGIS ArcMap v programskem jeziku Java - Java Runtime Environment (slika 1). V obliki dodatka za ESRI ArcGIS ArcMap je bil razvit tudi programski modul DTM, ki je namenjen pregledovanju topografskih podatkov v 2D- in 3D-pogledu, uvozu in izvozu podatkov iz zbirke topografskih podatkov ter avtomatski kontroli napak pri uvozu novih podatkov.

Programski modul DTM je narejen v obliki menija z možnostjo prikaza orodne vrstice DTM, v kateri je enajst orodij:

- izbor območja za izvoz po listih,
- izvoz po listih,
- izvoz poljubnega območja,
- priprava izrisa iz izvenokvirno vsebino,



Slika 1: Aplikacija z uporabniškim menijem in orodno vrstico DTM.

- izvoz za reambulacijo,
- pretvornik hidrografskega podatkov,
- uvoz in kontrola reambuliranih podatkov,
- sinhronizacija reambuliranih podatkov,
- pomnjenje geografskega območja okna (kopiraj pogled),
- sprememba geografskega območja okna na predhodno zapomnjeno območje (prilepi pogled),
- priprava 3D-pogleda.

Za namen upravljanja s podatki registra zemljepisnih imen sta bili pripravljeni še dve dodatni orodji:

- REZI – iskanje po danosti, imenu, napisu,
- REZI – kontrole.




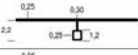



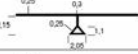

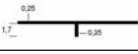
Izvoz podatkov je ločen na izvoz za izdajanje podatkov in izvoz za potrebe reambulacije oziroma vzdrževanja podatkov. Podatki za izdajanje se lahko izvozijo po razdelitvi na liste v merilu 1 : 5000 ali pa po poljubnem območju. Za vzdrževanje topografskih podatkov se podatki vedno izvozijo po listih s poljubno širokim pasom, ki omogoča ureditev stikov s sosednjimi listi. Topografski objekti se ob izvozu iz baze obrežejo na robu pasu, izvožena vsebina pa se za čas vzdrževanja zaklene za kakršnekoli druge spremembe in popravke.

Podatki po listih se tako za izdajanje kot za reambulacijo izvozijo po novi razdelitvi na liste v merilu 1 : 5000. Omogočen je izvoz vseh ali samo določenih podatkovnih slojev. Oblika izvoza vektorskih podatkov je v formatu .shp, izvoz izrisa v rastrski obliki pa v formatu .tif.

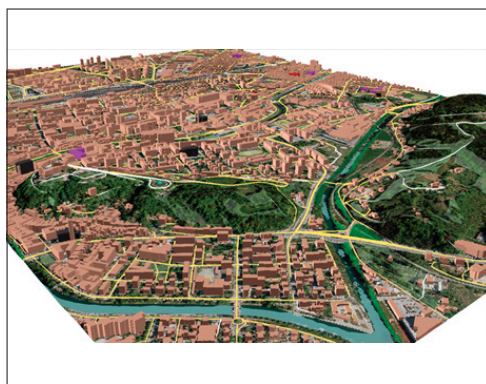
Uvoz novo zajetih in vzdrževanih podatkov v bazo DTM poteka s pomočjo prilagojenega orodja za uvoz. Med postopkom uvoza se po atributu DTM ID avtomatsko izvede združitev (*dissolve*) razrezanih objektov na robu območja, novim objektom se generira enolični identifikator objekta DTM ID.

Ob uvozu podatkov v bazo DTM se avtomatsko preveri vsebinska, topološka in položajna pravilnost. Ob odkritju napake se kreira informativni sloj, ki vključuje informacijo o lokaciji in opis najdene napake. Uvoz podatkov v državni topografski model je možen le ob predhodno izvedeni kontroli podatkov. Kontrolira se:

- položaj topografskega objekta (obvezno mora biti znotraj območja reambulacije),
- atribut DTM ID (preverjanje podvajanja in veljavnosti),
- nespremenjenost koordinat lomnih točk objektov na robu območja,
- višina (višina mora biti med 0 m in 2864 m, zaporedne lomne točke linijskih in ploskovnih objektov ne smejo biti na isti lokaciji),
- pravilnost smeri toka linijskih tekočih voda,
- topološko usklajenost znotraj enega sloja in topološko usklajenost relacijsko povezanih slojev,
- vrednosti atributov (prisotnost in pravilnost vrednosti atributov glede na pripadajoče šifrante).

| ident. številka | objektno področje objektni tip kartografski znak | kartografski znak v merilu karte | dimenzije kartografskega znaka |
|-----------------|--|---|---|
| 204 | ŽIČNICA | | |
| 204,001 | kabinska žičnica |  |  |
| 204,002 | nihalka |  |  |
| 204,003 | sedežnica |  |  |
| 204,004 | tovarna žičnica |  |  |
| 204,005 | vlečnica |  |  |

Slika 2: Kartografski ključ za objektni tip žičnica.



Slika 3: Trirazsežni prikaz topografskih podatkov.

Topografski objekti so v državnem topografskem modelu prikazani na dva načina: po uradnem kartografskem ključu in po delavnem ključu s preprostejšim prikazom, ki omogoča predvsem hitrejše delo z aplikacijo (slika 2).

Aplikacija DTM dodatno omogoča tudi trirazsežni prikaz topografskih podatkov enega lista razdelitve 1 : 5000 v perspektivnem pogledu v ArcScene okolju, z enako simbologijo kot v 2D-pogledu (slika 3). Za trirazsežni prikaz podatkov se poleg topografskih podatkov uporablja še digitalni model reliefa in ortofoto.

3 Zajem in vzdrževanje podatkov zbirke topografskih podatkov (DTM)

Zaradi velikih stroškov pri vzdrževanju temeljnih topografskih načrtov (TTN 5/10) in posledično sprejete odločitve za prenehanje njihovega vzdrževanja, je Geodetska uprava leta 2000 pričela z zajemom topografskih podatkov podrobnosti in natančnosti ravni merila 1 : 5000. Topografski podatki so se do leta 2009 zajemali v starem prostorskem koordinatnem sistemu D48/GK, kasneje pa v državnem koordinatnem referenčnem sistemu D96/TM. Zajem topografskih podatkov se je skozi leta večkrat nadgrajeval,

Preglednica 1: Objektna področja s pripadajočimi objektnimi tipi topografskih podatkov.

| objektno področje | objektni tip |
|-----------------------------|---|
| ZGRADBE | stavba (ploskovni sloj) |
| | druga zgradba (ploskovni in točkovni sloj) |
| | naprava (točkovni sloj) |
| PROMETNA OMREŽJA | cesta (linijski sloj) |
| | prometna površina (ploskovni sloj) |
| | železnica (linijski sloj) |
| | žičnica (linijski sloj) |
| KOMUNALNE IN JAVNE STORITVE | elektrovod (linijski sloj) |
| HIDROGRAFIJA | tekoča voda (linijski in ploskovni sloj) |
| | stoječa voda (ploskovni sloj) |
| | grajeni vodni objekt (linijski, ploskovni in točkovni sloj) |
| | naravni vodni objekt (linijski, ploskovni in točkovni sloj) |
| | mokrotna površina (ploskovni sloj) |
| | prodišče (ploskovni sloj) |
| | morje (ploskovni sloj) |
| | |
| POKRITOST TAL | pokritost tal (ploskovni sloj) |
| RABA PROSTORA | površina v posebni rabi (ploskovni sloj) |
| RELIEF | plastnica (linijski sloj) |
| | višinska točka (točkovni sloj) |
| ZEMLJEPISNA IMENA | zemljepisna danost (ploskovni in točkovni sloj) |
| | napisi (linijski sloj) |
| | imena (tabelarični sloj) |

tako vsebinsko kot tudi metodološko. Večja prenova pravil pri zajemu topografskih podatkov je bila izvedena leta 2015 v okviru projekta Posodobitev prostorske podatkovne infrastrukture za zmanjšanje tveganj in posledic poplav, ki je potekal ob podpori finančnega mehanizma EGP 2009-2014. Istega leta je bila izvedena tudi transformacija vseh pred letom 2009 zajetih podatkov v nov državni koordinatni referenčni sistem D96/TM. V kasnejših letih sta bila vpeljana dodatna podatkovna sloja (pokritost tal in relief) z atributi in razširjene zaloge vrednosti nekaterih šifrantov.

Osnovni vir za zajem geometričnih parametrov topografskih podatkov so stereopari cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) in podatki laserskega skeniranja Slovenije (LSS) - digitalni model reliefa z velikostjo celice $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (DMR1) ter georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), klasifikacijski razred tla. Običajno se na odprtem terenu zaradi lažje fotointerpretacije zajema na osnovi stereoparov CAS, na olistanem pa se geometrijo pripenja ali interpolira med točke DMR1 ali GKOT.

Za zajem topografskih podatkov se poleg zgoraj opisanih osnovnih virov uporabljajo še:

- dopolnilni viri:
 - skenogrami državnih topografskih kart,
 - podoba analitičnega senčenja z velikostjo celice $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (PAS 1),
 - ortofoto z velikostjo celice $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$;
- pomožni viri:
 - podatki katastra stavb in registra nepremičnin,
 - podatki zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture,
 - podatki banke cestnih podatkov,
 - podatki evidence stavbnih zemljišč,
 - podatki registra kulturne dediščine,
 - podatki Lovske zveze Slovenije.

Tematski atributi topografskih podatkov so interpretirani iz stereoparov cikličnega aerofotografiranja Slovenije in podatkov laserskega skeniranja Slovenije ali so privzeti iz drugih baz in evidenc (pomožni viri) oz. interpretirani iz državnih topografskih kart.

V okviru zajema in vzdrževanja topografskih podatkov je predviden tudi terenski pregled, ki obsega poleg kontrole vseh zajetih podatkov tudi identifikacijo objektov, ki je iz virov ni mogoče izvesti.

Preglednica 2: Elementi preverjanja kakovosti topografskih podatkov (Geodetski inštitut Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije 2021).

| element kakovosti | pod-element kakovosti | mera vrednotenja | dovoljena vrednost |
|---------------------|------------------------------------|------------------|------------------------------|
| popolnost | presežek | delež napak | 0% glede na vire za zajem |
| | izostanek | delež napak | 0% glede na vire za zajem |
| logična usklajenost | pomenska skladnost | delež napak | 0% |
| | domenska skladnost | delež napak | 0% |
| | topološka skladnost | delež napak | 0% |
| | formatna skladnost | delež napak | 0% |
| položajna točnost | absolutna | RMSE | +/- 1 m |
| tematska točnost | pravilnost kvalitativnih atributov | delež napak | 5% |
| | točnost kvantitativnih atributov | delež napak | 5% |
| | pravilnost klasifikacije objektov | delež napak | 5% |

Model kakovosti topografskih podatkov je povzet po modelu kakovosti iz direktive INSPIRE, ki temelji na standardu ISO/DIS 19157 Geographic information – Data quality. Predmet kakovostnega preverjanja je posamezni objektni tip topografskih podatkov v relaciji do virov za zajem.

Vsebinsko so podatki Zbirke topografskih podatkov razdeljeni v sedem objektnih področij oziroma devetnajst objektnih tipov. Zajem topografskih podatkov se izvaja od leta 2002, konec leta 2021 so bili zajeti vsi podatkovni sloji za območje celotne Slovenije. Letna količina zajetih oziroma vzdrževanih podatkov je v veliki meri odvisna od vsebinske polnosti listov. Geodetska uprava v okviru rednega vsakoletnega zajema, od letošnjega leta vzdrževanja topografskih podatkov, zajema in vzdržuje topografske podatke objektnih področij zgradbe, prometna omrežja in raba prostora.

V objektno področje zgradbe se uvrščajo objektni tipi stavba, druga zgradba in naprava. Za zajem stavb se prevzamejo podatki iz katastra stavb, ki se ustrezno popravijo in dopolnijo s fotogrametričnim zajemom. Leta 2015 je bila vpeljana večja sprememba pri zajemu stavb - delitev stavb v dele stavb. Del stavbe (part) je podrobnejša delitev stavbe, ki ima samostojno streho in se lahko samostojno obravnava kot stavba. Delitev stavb v dele stavb se izvaja zaradi izboljšanja trirazsežnega prikaza stavb.

Druge zgradbe so prostostoječe kovinske, betonske, lesene ali po materialu kombinirane konstrukcije s prevladujočo višino glede na tloris. Naprave so konstrukcije pritrjene na konstrukcijo stavbe in služijo kot pomožni objekt (antenski stolp, dimnik, vetrnica).

Objektno področje prometna omrežja predstavljajo objektni tipi cesta, prometna površina, železnica in žičnica. Vsi objektni tipi so fotogrametrično zajeti iz osnovnih virov, ceste pa so še dodatno identificirane s pomočjo podatkov zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture. Med prometne površine spadajo utrjene in urejene površine ob prometnicah, ki so namenjene različnim aktivnostim in storitvam v okviru različnih vrst prometa (avtobusna postaja, cestninska postaja, parkirišče, itd.).

V DTM se v objektnem področju raba prostora vodijo površine v posebni rabi, ki se uporabljajo za določene človekove aktivnosti in dejavnost v prostoru (park, športno igrišče, odlagališče odpadkov, itd.).

Bistveno za objektna področja zgradbe, prometna omrežja in raba prostora je, da so vsi podatki v DTM fotogrametrično zajeti iz osnovnih virov (podatki cikličnega arefotografiranja Slovenije in laserskega skeniranja Slovenije), za dodatno identifikacijo in klasifikacijo pa se uporablja tudi druge vire in evidence:

- zgradbe – kataster stavb, register nepremičnin, register kulturne dediščine, podatki Lovske zveze Slovenije, zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture, evidenca stavbnih zemljišč;

Preglednica 3: Vrste objektnega tipa druga zgradba.

| | |
|---------------------|--|
| vrsta druge zgradbe | <ul style="list-style-type: none">• antenski stolp• dimnik• razgledni stolp• stolp za druge namene• stolpni vodohran• vetrnica• versko znamenje• spomenik• kozolec• lovska opazovalnica• solarni panel• svetilnik• ograja• žična ograja• obzidje |
|---------------------|--|

- prometna omrežja – zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture, banka cestnih podatkov;
- raba prostora – evidenca stavbnih zemljišč, zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture.

V letu 2021 je bilo s topografskimi podatki pokrito območje celotne Slovenije, z letošnjim letom pa pričenjamo s sistematičnim vzdrževanjem zajetih vsebin. Zajem topografskih podatkov po letih je prikazan na sliki 4. Vzdrževanje podatkov DTM se izvaja po dveh načelih:

- vzdrževanje po prednostnih območjih in
- vzdrževanje po prednostnih vsebinah.

Vzdrževanje po prednostnih območjih je vzdrževanje točno določenih listov razdelitve 1 : 5000, ki jih izbere Geodetska uprava. Pri določitvi listov se v največji meri upošteva starost topografskih vsebin posameznih listov in razpoložljivost najnovejših podatkov cikličnega aerofotografiranja Slovenije. Prednostno se tako vzdržuje večja zaključena območja listov z najstarejšimi podatki DTM. Glede na to, da so bile v začetku zajema podatkov prioritete na gostejše poseljenih območjih, so ravno podatki na teh območjih najbolj neažurni in zato je njihovo vzdrževanje najbolj nujno. Pri vzdrževanju podatkov je na splošno treba upoštevati, da so se od začetka zajema spremenili kakovost osnovnega vira za zajem (izdelki cikličnega aerofotografiranja Slovenije), metoda zajema, objektni katalog in tudi pravila za zajem.

Vzdrževanje po prednostnih vsebinah pomeni vzdrževanje določenih vrst topografskih vsebin (npr. posameznega objektnega tipa ali posamezne vrste objektov), običajno hkratno za območje celotne Slovenije.

Podatki preostalih objektnih področij se prevzemajo iz drugih evidenc ali pa se zajemajo ločeno. Podatki o elektrovodih se kot edini objektni tip objektnega področja komunalne in javne storitve v zbirko topografskih podatkov prevzemajo iz zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture. V DTM se prikazujejo elektrovi vodi srednje in visoke napetosti.

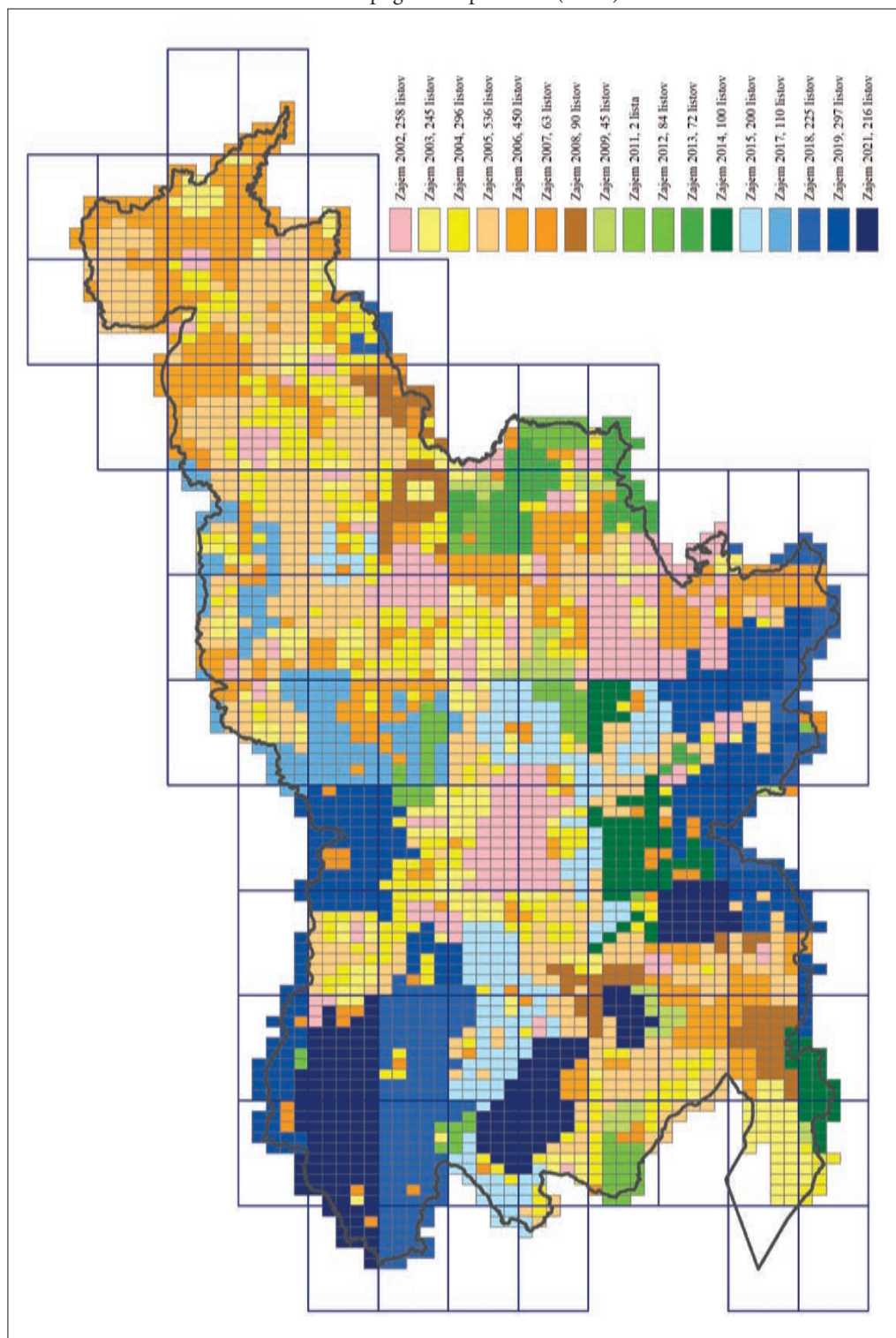
Vsi objektni tipi objektnega področja hidrografije se v zbirko topografskih podatkov prevzemajo iz evidence hidrografije in vodnih zemljišč, ki jo vodi Direkcija Republike Slovenije za vode. Podatki so bili v DTM prevzeti s postopkom migracije. Prepis podatkov iz strukture evidence hidrografije in vodnih zemljišč v strukturo DTM omogoča posebno orodje v aplikaciji in bazi DTM, ki izvede pretvorbo petih podatkovnih slojev Direkcije Republike Slovenije za vode v 12 podatkovnih slojev DTM. Za v bodoče se načrtuje spletna procedura prevzema podatkov od Direkcije Republike Slovenije za vode in sicer po postopku, s katerim bi se staro stanje hidrografije v DTM v celoti zamenjalo z novimi hidrografskimi podatki, ki se jih bo nato prepisalo v strukturo DTM. Perioda prevzema podatkov še ni določena.

Podatke objektnega področja pokritost tal (fizično in biološko pokritje zemeljskega površja) zajema Geodetska uprava ločeno od ostalih vsebin DTM. Namen sloja pokritosti tal je uporaba v kartografskih prikazih DTM. Predmet zajema so tiste vrste pokritosti tal, ki niso evidentirane v drugih slojih DTM in ki imajo trajnejši značaj (niso pod vplivom sezonskih sprememb). Trenutno imamo v DTM začasn sloj pokritosti tal z generaliziranimi podatki iz evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč za vrste gozd, sadovnjak, vinograd, oljčnik in hmeljišče. Do konca leta 2023 bo vzpostavljen podrobnejši sloj pokritosti tal, ki bo prav tako generaliziran iz podatkov evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, vendar s širšim naborom vrst. V okviru zajema pokritosti tal za DTM se nato na podlagi pomožnih in dopolnilnih virov izvedejo geometrični in atributni popravki. Objektno področje pokritost tal je edini sloj v DTM, ki se vodi samo v 2D-razsežnosti, kar je posledica zajema v 2D-razsežnosti izvirne evidence.

Najnovejši podatkovni sloj v DTM je relief, ki je bil v zbirko topografskih podatkov dodan leta 2020. Zajem obeh objektnih tipov (plastnice in višinske točke) je potekal ločeno od ostalih vsebin DTM in sicer z avtomatizirani postopki iz virov in z upoštevanjem stopnje generalizacije po temeljnih topografskih načrtih (TTN 5/10). Vir za zajem plastnic in višinskih točk je bil digitalni model reliefa z velikostjo celice 1 m × 1 m (višinski sistem SVS2010), za višinske točke so bili viri še baza geodetskih točk, višinske točke generalizirane baze podatkov (GKB25), kote in sedla državne topografske karte (DTK50) in podatki katastra jam Jamarske zveze Slovenije.

Slika 4: Zajem topografskih podatkov po letih. ► (str. 285)

Zbirka topografskih podatkov (DTM)



Del državnega topografskega modela so prav tako zemljepisna imena, vendar pa poteka upravljanje in vzdrževanje podatkov o zemljepisnih imenih popolnoma ločeno od ostalih vsebin DTM. Zemljepisna imena so bila v DTM prepisana iz izvirnega registra zemljepisnih imen. Za zemljepisna imena se vodijo grafični sloji napisov in zemljepisnih danosti ter samostojn tabela imen.

4 Dostopnost in uporaba podatkov

Z vzpostavitvijo novega državnega topografskega modela in pripravo izdelkov v sodobnih tehnoloških oblikah želi Geodetska uprava spodbuditi in povečati uporabo državnih topografskih podatkov. Glavni problem ob tem je neažurnost velikega dela zajetih podatkov, do letošnjega leta pa tudi nepopolna pokritost celotne Slovenije.

Eden od ključnih namenov topografskih podatkov velikega merila je, da zagotavljajo položaj in razsežnost prostorskih danosti. Natančnost topografske baze DTM omogoča razvoj različnih storitev na osnovi lokacije npr. iskanja oz. poizvedovanja o objektu ali pojavu, ki nas zanima, ali možnost določanja položaja v povezavi s sistemi GPS. Podatki, ki se vodijo v topografski bazi DTM so zelo primerni za podporo procesom prostorskega planiranja in urbanističnega načrtovanja. Različni planski dokumenti so tesno povezani s kartografskimi podlagami. Prostorski podatki se uporabljajo tako za analizo in prikaz stanja v prostoru (npr. kako so razporejeni objekti in pojavi v prostoru in kakšne so povezave med njimi), kakor tudi pri prikazu in načrtovanju novih posegov v prostor na državni in občinski ravni. Predvsem na občinski ravni se topografski podatki velikega merila lahko uporabljajo pri strateškem prostorskem načrtovanju, nadaljnjem prostorskem razvoju občine in tudi pri podrobnejšem načrtovanju razvoja naselij. Geodetska uprava pričakuje, da bodo postali podatki baze DTM ena od osnovnih sestavin prostorskih informacijskih sistemov občin (Duhovnik, Kete, Boldin, Režek 2016).

Geodetska uprava je z namenom spodbuditve širše uporabe topografskih podatkov pripravila različne izdelke iz zbirke topografskih podatkov v obliki vektorskih slojev, rastrskih kart in spletnih storitev.

Osnovni izdelek zbirke topografskih podatkov so vektorski sloji topografskih podatkov. Podatki so organizirani v ločenih datotekah po posameznih objektnih tipih (preglednica 1) in so na voljo v formatu .shp.

Aplikacija DTM omogoča tudi pripravo rastrske oblike topografskih podatkov v geolokacijskem formatu .tif, ki pa niso vključeni v sistem izdajanja geodetskih podatkov Geodetske uprave.

Razvite so tudi rastrske spletne kartografske storitve tipa WMS in WMTS, ki poleg ostalih kartografskih izdelkov Geodetske uprave vključujejo tudi topografske vsebine DTM. Ločeno je za prikazovanje samo topografskih podatkov DTM pripravljena samostojna WMTS DTK5 spletna kartografska storitev, ki prikazuje pred pripravljene kartografske prikaze z v naprej določenimi stili. Za ta namen so bile izdelane vizualizacijske datoteke formata .sld, ki opisujejo način kartografskega oblikovanja za vse topografske vsebine, na osnovi kartografske ključa za merilo 1 : 5000 in so na voljo tudi uporabnikom.

Najnovejši izdelek Geodetske uprave je digitalna (rastrska) osnovna karta, to je sistem kart različnih meril, ki se prikazujejo glede na podrobnost (merilo) z uporabo spletne storitve WMTS. Sistem osnovne karte sestavljajo:

- državna topografska karta merila 1 : 5000 (vizualizirani topografski podatki DTM),
- državna topografska karta merila 1 : 50.000,
- državna pregledna karta merila 1 : 250.000,
- državna pregledna karta merila 1 : 500.000,
- državna pregledna karta merila 1 : 750.000,
- državna pregledna karta merila 1 : 1.000.000,
- državna pregledna karta merila 1 : 2.500.000.

Uporabnikom sta na voljo barvna in modro-siva osnovna karta. Vsebinsko in oblikovno se obe različici osnovne karte izdelujeta iz sistemske različice posamezne karte, za merilo 1 : 5000 pa se izdelujeta na osnovi vizualizacijskih datotek .sld, neposredno iz baze DTM.



Slika 5: Izsek iz barvne različice osnovne karte.

Barvna osnovna karta je namenjena kot samostojni izdelek ali kot podlaga za tematske prikaze (slika 5). Barve se prilagajene za spletno uporabo, kar pomeni posvetlitev za 50% glede na sistemsko različico posamezne karte. Barvne vrednosti in kartografski zanki vseh prikazanih vsebin so določeni v kartografskem ključu. Na barvni osnovni karti so glede na posamezne sistemske karte izpuščene določene vsebine (npr. omeji se prikaz manjših naselij na kartah malih meril), spremenjeni so nekateri kartografski znaki in dodane nekatere nove vsebine (prikaz višinskih pasov).

Namen modro-sive osnovne karte je kot podlaga za tematske prikaze. Vse vsebine na karti so prikazane v sivih barvah, razen hidrografije, ki je v modrih. Na kartah malih in srednjih meril niso prikazani višinski pasovi in senčenje.

Geodetska uprava načrtuje še izdelavo osnovne karte z aksonometričnim (prostorskim) prikazom stavb iz zbirke topografskih podatkov. Aksonometrična projekcija prikaže objekt v treh dimenzijah. Dvorazsežno zajet objekt se z ustrezno tehnološko rešitvijo projicira v dodatno dimenzijo in tako doseže 3D učinek. V primeru tlorisno zajetih objektov se tloris projicira v višino in tako doseže 2,5D prikaz. Pri projiciranju se tloris objekta zamakne za željeno vrednost (Geodetski inštitut Slovenije 2021).

Aksonometrična vizualizacija se bo izvajala hkrati z vizualizacijo ostalih vsebin DTM ob vsakokratni osvežitvi spletne storitve WMTS za DTK5.

5 Sklep

Z vzpostavitvijo državnega topografskega modela, pokritjem območja celotne Slovenije s topografskimi podatki in pripravo palete tehnološko naprednih izdelkov, zagotavlja Geodetska uprava topografske podatke kot referenčno osnovo za zajem in prikaz ostalih vsebin širokemu krogu uporabnikov.

Ker so nekateri topografski podatki, kar še posebej velja za gosteje poseljena območja, neažurni, je za izboljšanje uporabniške izkušnje treba zagotoviti večjo ažurnost podatkov. Z rednim vzdrževanjem bo odpravljena tudi vsebinska nehomogenost podatkov zaradi pred leti spremenjenih metode zajema, objektnega kataloga in pravil za zajem.

6 Viri in literatura

Duhovnik M., Kete P., Boldin D., Režek J. 2016: Novi državni topografski podatkovni model kot podlaga za načrtovanje, 27. Sedlarjevo srečanje. Ljubljana.

Geodetski inštitut Slovenije, Geodetski zavod Celje 2014: Sprememba obstoječega topografskega podatkovnega modela glede na podatkovna pravila INSPIRE. Elaborat. Ljubljana.

Geodetski inštitut Slovenije 2021: Metodologija sistema osnovnih kart, Ljubljana.

Geodetski inštitut Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije 2021: Državni topografski model, Navodila za zajem in vzdrževanje topografskih podatkov, različica 1.5., Ljubljana.

FLAI.AI – SPLETNA APLIKACIJA ZA SAMODEJNO KLASIFIKACIJO OBLAKA TOČK

dr. Klemen Čotar, Jernej Nejc Dougan

Flai d.o.o.

klemen.cotar@flai.ai, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3439-0858>

nejc.dougan@flai.ai

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_23

UDK: 528.8.044.6:004.9

IZVLEČEK

Flai.ai – spletna aplikacija za samodejno klasifikacijo oblaka točk

Izdelali smo spletno aplikacijo za delo z lidarskimi podatki, katerega osredni del je postopek samodejne klasifikacije oblaka točk. Aplikacija uporabniku omogoča uvoz lastnih podatkov, njihov pregled ter poganjanje algoritmov, kot so klasifikacija, filtriranje in izdelava poljubnih modelov površja. Rezultate klasifikacij je možno tudi popraviti, uporabiti za ponovno učenje modelov klasifikacije in prenesti v izvorni obliki.

KLJUČNE BESEDE

lidarski podatki, klasifikacija, globoko učenje, oblaki točk, spletna aplikacija

ABSTRACT

Flai.ai – web application for automatic classification of point clouds

We have created a web application designed to work with lidar data, whose core functionality is the procedure for the automatic classification of point clouds. The application allows the user to import their own data, review them and apply algorithms such as classification, filtering and creation of custom terrain models. Classified results can be manually corrected, used to re-learn classification models and downloaded in the original format.

KEY WORDS

lidar data, classification, deep learning, point clouds, web application

1 Uvod

Čedalje obširnejša in pogostejša lidarska snemanja površja povečujejo tudi potrebo po zanesljivih samodejnih orodjih za samodejno klasifikacijo surovih oblakov točk. Ponudniki snemanj oziroma njihovi naročniki velikokrat uporabljajo polsamodejna orodja, ki za izdelavo končni izdelkov potrebujejo veliko prilagajanja in številne nadaljnje ročne popravke. Ti popravki so odvisni od zahtevnosti snemanega območja ter lastnosti objektov, ki jih želimo razpoznati iz podatkov med procesom klasifikacije. Najpogostejša razreda, ki jih na tak način ločujemo v podatkih, sta teren in stavbe, preostali objekti pa ostanejo v razredu vegetacije.

Za poenostavitev celotnega procesa smo razvili samodejni sistem, ki pohitri in poenostavi postopek klasifikacije, uporabniku sistema pa na enostaven način omogoča dodajanje novih klasifikacijskih razredov, ki jih želi označiti v podatkih. Algoritem klasifikacije temelji na principu konvolucijskih nevronskih mrež (LeCun s sodelavci 1989; Krizhevsky, Sutskever in Hinton 2012) z uporabo globokega učenja na podlagi množice ročno klasificiranih podatkov.

Sistem smo do zdaj uspešno prilagodili in uporabili za klasifikacijo obsežnejših preglednih skeniranj z malim številom zahtevanih razredov, podrobna snemanja koridorjev z večjim številom razredov ter snemanja z visoko gostoto točk za popis gozdnih sestojev. Celoten sistem klasifikacije je možno pogajati v oblaku preko spletne aplikacije ali na lastni strojni opremi.

2 Metode globokega učenja za oblake točk

Področje raziskovanja globokega učenja za klasifikacije in identifikacije objektov se je prvotno osredotočalo na slikovne podatkovne zbirke. V zadnjih nekaj letih pa se vedno več prispevkov tudi v domači literaturi ukvarja s samodejno obravnavo oblakov točk (Mongus, Triglav Čekada in Žalik 2013; Mongus in Horvat 2015; Mlekuž 2018; Kranjec, Triglav Čekada in Kobal 2021). Ti so lahko pridobljeni z detektorji, pritrjenimi na zračne (letalo, helikopter, letalniki), mobilne (avto, vlak) ali stacionarne platforme. Ne glede na način zajema se ti podatki razlikujejo od slikovnih formatov. Oblaki točk so množice podatkov, kjer prostorski odnosi med elementi niso določeni s podatkovno strukturo, ampak jih je treba izračunati. Obenem je njihova površinska gostota močno odvisna od načina zajema, oddaljenosti od objekta in prekrivanja med zajemi.

Lastnosti lidarskih podatkov so vodile v več različnih postopkov predpriprave samih vhodnih podatkov za lažjo uporabo znotraj modelov globokega učenja. Poznamo modele, ki oblak točk iz različnih perspektiv pogleda preslikajo v slikovni format (Qi s sodelavci 2017a; Zhao s sodelavci 2019), uporabijo točke za zapolnitev diskretnega trirazsežnostnega prostora (Graham, Engelcke in Van Der Maaten 2018; Meng s sodelavci 2019), izvedejo postopke primerjav med koordinatami in značilkami točk (Thomas s sodelavci 2019) ali pa uporabijo kombinacijo teh prijemov.

Med vsemi postopki predpriprave podatkov za strojno učenje v zadnjem času prevladujejo postopki, ki delujejo na izvirnih neobdelanih oblakih točk. Ti dajejo najboljše rezultate, vendar obenem zahtevajo največjo dodatno računsko moč za izračun prostorskih relacij med podatki. Glede na način uporabe vhodnih podatkov ločimo sklope: uporaba točk brez njihovih medsebojnih povezav (Qi s sodelavci 2017a; Qi s sodelavci 2017b), konvolucijski postopki (Li s sodelavci 2018; Thomas s sodelavci 2019), pogled na točke kot povezane točke modela grafa (Chen s sodelavci 2019; Wang s sodelavci 2019) ali pogled na točke z vidika hierarhične drevesne strukture (Zeng in Gevers 2018).

Jedro naše implementirane procesne verige globokega učenja temelji na konvolucijskih nevronskih mrežah za oblake točk (Qi s sodelavci 2017b; Thomas s sodelavci 2019; Zhao s sodelavci 2021), ki posnemajo delovanje operatorjev konvolucije za slikovne podatke. Konvolucijski operator je tako, namesto dvo-dimenzionalne pravokotne oblike, tri-dimenzionalna krogla. V njej so točke konvolucijskega jedra razporejene v dve koncentrični sferi, ki jima je dodana središčna točka. Vpliv vsake točke jedra upada z evklidsko oddaljenostjo, uteženo z izbrano funkcijo, ponavadi linearno, katere vpliv se izniči na izbra-

ni razdalji proč od njene lokacije. Efektivno obliko konvolucijskega operatorja tako določajo individualne uteži točk jedra, ki se določijo med postopkom učenja nevronske mreže. Na vsaki ravni nevronske mreže imamo več naborov uteži, katerih število se podvoji s prehodom na globljo raven.

Uporabljena nevronska mreža temelji na arhitekturi U-Net (Ronneberger, Fischer in Brox 2015) in jo sestavlja 6 vhodnih, 1 sredinski in 6 izhodnih ravni, ki delujejo po principu kodirnika in dekodirnika. Prostorska razdalja med točkami se povečuje proti sredini ter zmanjšuje proti izhodu, katerega točke so enake vhodu. Za vmesne ravni mreže ključne točke ustvarimo iz prvotnih, pri čemer med njimi želimo obdržati čim večjo medsebojno razdaljo. Tekom postopka konvolucije se konvolucijska jedra zasidrajo na ključne točke višjega nivoja, kamor se vpišejo tudi konvolucijski rezultati kot nove značilke, operacija konvolucije pa se izvede na značilkah nižjega nivoja. Prehodi iz sredinskega nivoja proti izhodu modela ne uporabljajo konvolucijskega operatorja, vendar le prenos in združevanje vrednosti značilk najbližjim točkam višje prostorske ločljivosti.

3 Postopek semantične klasifikacije

3.1 Predpriprava podatkov

Ne glede na način uporabe podatkovne zbirke, je le-tega potrebno pravilno pripraviti in iz njega izračunati podporne informacije za delovanje modela nevronske mreže. Prvi korak uvoza podatkov je izenačitev prostorske gostote podatkov po celotni zbirki, saj se le-ta lahko razlikuje zaradi različnih lastnosti opazovanih objektov ali prekrivanja več vzporednih zajemov. Z izenačitvijo gostot želimo različne zajeme medsebojno uravnotežiti in preprečiti, da bi se model naučil tudi gostote točk posameznega razreda ali podatkovne zbirke, saj ima vsaka edinstvene zahteve in lastnosti snemanja. Za izenačitev prostorskih gostot izvedemo podvzorčenje vhodnih podatkov tako, da celoten prostor razdelimo na enako velike kocke. Znotraj vsake kocke dopustimo največ eno točko, ki je v primeru večjega števila izbrana naključno. Prostornina kocke je prilagojena glede na velikost opazovanih objektov, najpogostejše gostote zračnih snemanj ter omejitve največjega števila točk, ki jih hkrati lahko uporabimo med učenjem nevronske mreže na grafični kartici. V primeru iskanja manjših objektov in podrobnejših skeniranj je ta parameter nastavljen na manjše vrednosti.

Tako podvzorčene podatkovne zbirke so večinoma še vedno občutno prevelike za hkratno obdelavo na grafični kartici, zato iz njih izrežemo pokončne valje podatkov (število valjev, ki jih obdelamo hkrati, je odvisno od tega, ali gre za postopek učenja ali projekcijo) s polmerom nekaj 10 metrov. V primeru skeniranja površja so podatki razporejeni ravninsko, kar zagotavlja predvidljive količine podatkov znotraj posameznega izreza. Takšno izrezovanje podatkov ima za posledico izgubo konteksta z okoliškimi izpuščenimi podatki. Tako je ravna betonska streha stavbe, ki je večja od izreza, skoraj nerazpoznavna v primerjavi z ravno betonsko površino na tleh. Objekta bi se potencialno razlikovala le v dodatkih, ki bi lahko stali nad njima.

Pred samo uporabo v nevronske mreži je iz vhodnih podatkov potrebno določiti še ključne točke, kamor se bodo zapisali rezultati operacij konvolucije. Njihovo število upada z naraščajočo globino znotraj modela. Optimalna medsebojna razdalja obenem narašča in je izračunana kot četrtnina polmera krogle konvolucijskega jedra. Največja velikost krogle je določena glede na velikost objektov, ki jih želimo razpoznati. Minimalna velikost krogle skupaj s podvzorčenjem na vhodnem nivoju določata kakšne detajle lahko zaznamo.

3.2 Učna zbirka in učenje modela

Trenutno uporabljamo učno zbirko 650 izsekov velikosti 120 krat 120 m (delček prikazuje slika 1), ki so bili pridobljeni iz različnih podatkovnih zbirk. Te so bile posnete na različnih geografskih območjih,

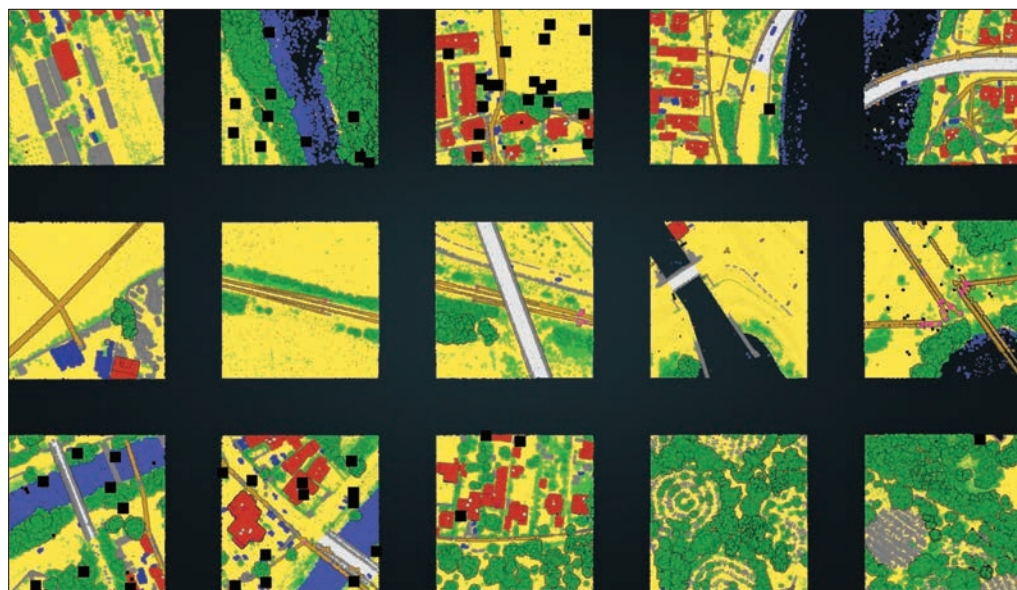
zajete z različnimi senzorji in tehnikami snemanja ter klasificirane za različne končne namene. Med njihovim izenačevanjem smo na enovito pripravljenih zbirkah naučili modele, jih prenesli na vse ostale ter razrede združili. Tako pridobljen skupek klasifikacij posameznih razredov še ni bil popoln in uporaben za nadaljnje učenje, kar smo rešili z natančnimi ročnimi popravki in dopolnitvami. Učno zbirko smo pripravili za razpoznavo 13 razredov: teren, vegetacija, strehe stavb, stene stavb, objekti na strehah, točke pod terenom, vodne površine, daljnovodi, daljnovodni stolpi, mostovi, šum visoko nad terenom in vozila.

Učenje globokega modela se izvaja v korakih, kjer med vsakim korakom algoritmu posamezen učni izsek pokažemo le enkrat, njihovo zaporedje pa vsakokrat naključno spremenimo. Sami izseki so namer- no večji od polmera izrezanega valja podatkov, saj s tem zagotovimo dodatno spremenljivost vhodnih podatkov s premikanjem središča valja znotraj meja, ki zagotavljajo popolno ploskovno pokritost valja s podatki. Dodatno spremenljivost zagotavljamo z naključnim vrtenjem valja okrog svoje osi, dodaj- njem šuma koordinatam točk, napihovanjem in krčenjem izseka ter spreminjanjem lidarskih značilk. Med učenjem uporabljamo informacije o številu odbojev in njihovo intenziteto, ki jo z enakomerno porazdelitvijo spreminjamo za 30 %, saj je le-ta zelo odvisna od lastnosti snemanj.

Posamezen model pred uporabo učimo v 200 korakih, ki se izvedejo približno v enem dnevu. Ocenjevanje natančnosti naučenih modelov se v literaturi pogosto ocenjuje z metriko F1, ki je za posa- mezen razred definirana kot

$$F_1 = \frac{TP}{TP + 0,5 (FP + FN)},$$

kjer TP označuje število pravilno klasificiranih točk, seštevek vrednosti FP in FN pa podaja število nepra- vilno označenih in neoznačenih točk opazovanega razreda. Naučeni model na nevideni testni zbirki doseže povprečno vrednost metrike $F1 = 0,87$ čez vse razrede. Za najbolj zastopane razrede, kot so vege- tacija, teren in stavbe, znaša vrednost metrike več kot 0,95.



Slika 1: Pogled na izreze učne zbirke. Različno obarvane točke oblaka so vegetacija (zelena), stavbe (rdeča), objekti na strehah (svetlo modra), mostovi (bela), vozila (temno modra), teren (rumena), vodne površine (modra), daljnovodi (oker), nerazporejeno (siva) in šum (črna).

3.3 Aktivno učenje in grajenje učne zbirke

Trenutna učna zbirka je nastajala postopoma z združevanjem različnih zbirk v več korakih. Ob prejetju novega podatkovnega seta smo najprej izvedli učenje na takratni učni zbirki, naučeni model uporabili na novih podatkih in iz rezultatov projekcije določili tipe objektov, ki naučenemu modelu povzročajo probleme pri razpoznavi. To določanje je bilo izvedeno na dva načina: samodejno določanje ter ročno pregledovanje. Med samodejnim določanjem smo na podlagi rezultatov projekcij pregledali vse rezultate in določil območja, kjer je imelo samodejno določanje največjo nedoločenost odločitev, torej kjer je projekcija kot izhod vrnila zelo podobni oziroma enaki verjetnosti za pripis točke v dva ali več različnih razredov. Takih območij se s samodejnim iskanjem najde veliko in so si lahko zelo podobna, zato smo vse predloge še pregledali, izbrali le najbolj reprezentativne in unikatne izseke ter jih dodali k učni zbirki.

Takšen ponavljajoč proces, imenovan aktivno učenje, je predvsem zelo uporaben za dodajanje novih razredov v obstoječo učno zbirko. Uporabnik lahko preko spletne aplikacije tako v le nekaj učnih izsekih ročno označi točke novega razreda, izvede novo učenje modela ter uporabi naučen model na učni zbirki. Na podlagi rezultatov in verjetnosti projekcij sistem uporabniku prikaže rezultate klasifikacij novega razreda, za katere je najmanj prepričan in uporabnika pozove k ročnim popravkom. Tako lahko v več ponovitvah procesa dodamo nov željeni klasifikacijski razred in izboljšamo natančnost njegove projekcije.

3.4 Uporaba modela na neznanih podatkih

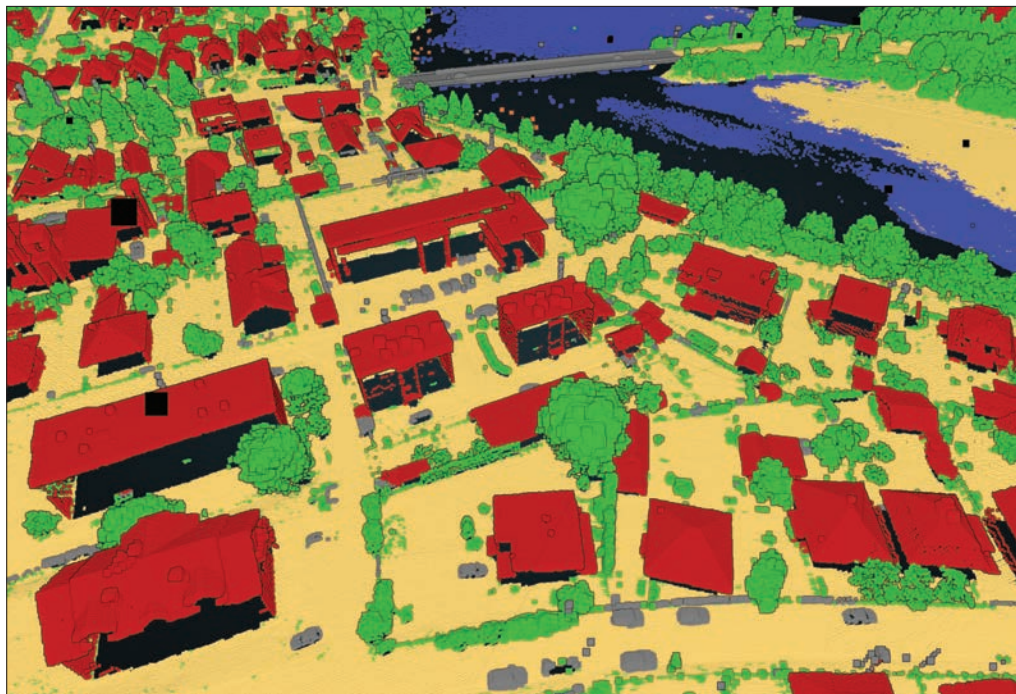
Cilj uporabe naučenega modela na izbrani podatkovni zbirki je klasifikacija vseh njegovih točk, kar pomeni, da moramo s čim ugodnejšim izrezovanjem prostorskih valjev vse podatke oblaka točk obdelati z naučenim modelom. V našem primeru smo centre valjev postavili v kvadratno mrežo, kjer je najdaljša dovoljena diagonala kvadrata mreže enaka dvakratniku polmera valja. Z manjšanjem razdalje med točkami podaljšamo čas procesiranja, vendar obenem povečamo prekrivanje med valji, s čimer dosežemo, da je vsaka točka klasificirana večkrat. V primeru več klasifikacijskih rezultatov na posamezno točko vzamemo tistega, ki mu je model pripisal večjo verjetnost klasifikacije. Z večkratnim pogledom na podatke tako rešujemo morebitne probleme izgube prostorskega konteksta na robovih valjev in na sredini prostorsko razsežnejših objektov. Med klasifikacijo zato uporabljamo razdaljo med točami mreže, ki je za četrtno manjša od največje vrednosti.

4 Rezultati in primerjava z ročnim delom

Do zdaj najizčrpnejši preizkus delovanja je bila klasifikacija nove neklasificirane zbirke, katere vzorci še niso bili vključeni v učno zbirko. Ročno dopolnjeni končni rezultati so bili kasneje dostavljeni naročniku snemanja. Celoten nabor podatkov je pokrival območje približno 3500 km² in bil za lažje delo razrezan v kvadratne izseke s površino 0,25 km². Naloga Flai je bila izvedba samodejne klasifikacije 8 razredov (stavbe, teren, mostovi, vodne površine, vegetacija, nerazzvrščeno, visok šum in točke pod terenom, slika 2), ki bi čim boljše posnemala rezultate ročne klasifikacije. Dodatne razrede, ki jih naš model še prepozna, smo priključili najprimernejšemu od zahtevanih razredov.

Cilj samodejnega pristopa je pospešitev celotnega procesa od zajema podatkov do izdelave končnih izdelkov. Da bi preverili uporabnost samodejnega pristopa in zagotovili zahtevano kakovost končnega izdelka, je bil vsak samodejno obdelan izsek naknadno ročno pregledan in po potrebi popravljen.

Tako velika zbirka zaseda približno 9 TB diskovnega prostora, in še enkrat toliko za klasificirane podatke, saj med izvajanjem projekta ne želimo ničesar prepisovati. Zaradi velike količine podatkov ter razpolaganja z lastno strojno opremo smo vso obdelavo izvedli lokalno in ne na vzpostavljeno infrastrukturi v oblaku Amazon Web Service (AWS). Vse projekcije modelov so bile izvedene lokalno na dveh delovnih postajah, ki za pohitritev računanja uporabljata zmogljivejšo grafično kartico.



Slika 2: Rezultat samodejne klasifikacije s Flai, na katerem je zaznati manjše pomakljivosti. To sta pravilno razpoznavanje popolnoma ravnih površin (ločitev med vodo in terenom) ter neodločenost na stičišču objektov dveh ali več razredov.

4.1 Čas izvedbe

V nasprotju z ročno izvedbo klasifikacije čas obdelave s Flai ni odvisen od zahtevnosti površja ali števila razredov, temveč le od skupnega števila podatkovnih vnosov oblaka točk. Trenutna izvedba modela potrebuje približno 2 minuti za obdelavo $0,25 \text{ km}^2$ površja, kar skupaj zneso približno 20 dni računskega časa na delovni postaji z eno grafično kartico za površino 3500 km^2 .

Po končani samodejni obdelavi je bil vsak izsek ročno pregledan in urejen. Ta operacija je zelo odvisna od pokritosti in rabe površine in je nanese približno 2 minuti za podeželske izseke, 20 minut za urbane izseke in 10 minut za mešane izseke. V obdelanem območju pripada večina izsekov podeželskim območjem, kar je skrajšalo čas nadzora kakovosti klasifikacije.

Za določitev pohitritve s samodejnim pristopom in primerjavo časovne zahtevnosti nadzora so bili iz vsakega tipa izseka popolnoma ročno klasificirani štirje izseki. Ročno delo seveda ne pomeni ročnega določevanja čisto vsake točke oblaka, saj so operatorju v uporabljenem programskem okolju na voljo številna vnaprej pripravljena preprosta orodja, ki podobno kot Flai delež dela opravijo samodejno. Ročni postopek je trajal približno 15 minut za podeželske izseke, 45 minut za mešane izseke in 90 minut za urbane izseke, kar predstavlja precejšno pohitritev procesa z našo izvedbo samodejne klasifikacije.

4.2 Natančnost klasifikacij

Natančnost ali podobnost med dvema naboroma podatkov je mogoče izračunati z uporabo množice metrik, ki se vse osredotočajo na poseben način primerjave dveh nizov. Izbira je odvisna od

informacije, ki jo želimo pridobiti z metriko. V našem primeru si želimo čim manj ročnega prerazporejanja točk med razredi za dosego želene končne natančnosti. Uporabljena metrika relativne zanesljivost oziroma Jaccardov koeficient (Jaccard 1912) je izračunana kot

$$R_{\text{razred}} = 100 \frac{N_{\text{zac}} - N_{\text{odst}}}{N_{\text{zac}} + N_{\text{dod}}},$$

kjer R_{razred} označuje zanesljivost preiskovanega razreda, ki je odvisna od števila lidarskih točk tega razreda pred popravkom N_{zac} , števila točk, ki so bile dodane razredu N_{dod} , in števila točk, ki so bile odstranjene iz razreda N_{odst} . Tipične zelene vrednosti metrike so nad 90 % za vse razrede, razen za razreda teren in nerazvrščeno, ki se običajno ne preverja, saj vsebuje vse neprepoznave oziroma nerelevantne objekte. Zaželeno zanesljivost razpoznavne terena je nad 99 %, saj je to primarni izdelek tako obsežnih skeniranja. Za našo interno kontrolo kakovosti izdelka Flai smo v začetnih implementacijah želeli doseči zanesljivost nad 90 % za najbolj zastopane razrede, kot so teren, vegetacija in stavbe.

Da bi ocenili natančnost samodejne klasifikacije, smo iz celotne zbirke izbrali šest območij s površino 1 km² z različnimi konfiguracijami in tipi terena, kjer prevladujejo urbane regije, ki običajno zahtevajo največ ročnega dela in vsebujejo večino razredov. Rezultati, predstavljeni v preglednici 1, vsebujejo primerjavo med samodejno klasifikacijo Flai ter končnimi oddanimi klasificiranimi izdelki istega območja. Pri pregledu rezultatov je treba upoštevati tudi število točk v posameznem razredu, ki tu ni podano, saj le nekaj napačno razporejenih točk potencialno maloštevilčnih razredov, kot so šum nad terenom, točke pod terenom in mostovi, močno spremeni številsko oceno zanesljivosti.

Preglednica 1: Zanesljivost samodejne klasifikacije Flai za posamezni preiskovani razred v primerjavi s končnimi, ročno popravljenimi izdelki.

| razredi | območje 1 | območje 2 | območje 3 | območje 4 | območje 5 | območje 6 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| nerazvrščeno | 46 % | 44 % | 33 % | 40 % | 38 % | 55 % |
| teren | 96 % | 92 % | 95 % | 94 % | 95 % | 96 % |
| vegetacija | 92 % | 87 % | 95 % | 86 % | 86 % | 90 % |
| stavbe | 93 % | 95 % | 92 % | 93 % | 95 % | 94 % |
| točke pod terenom | 90 % | 15 % | 57 % | 15 % | 28 % | 43 % |
| vodne površine | / | 78 % | / | 23 % | / | / |
| mostovi | 45 % | 67 % | 7 % | 54 % | 23 % | / |
| šum nad terenom | 69 % | 67 % | 12 % | 45 % | 33 % | 12 % |

5 Spletna aplikacija

5.1 Uvoz in nadzor podatkov

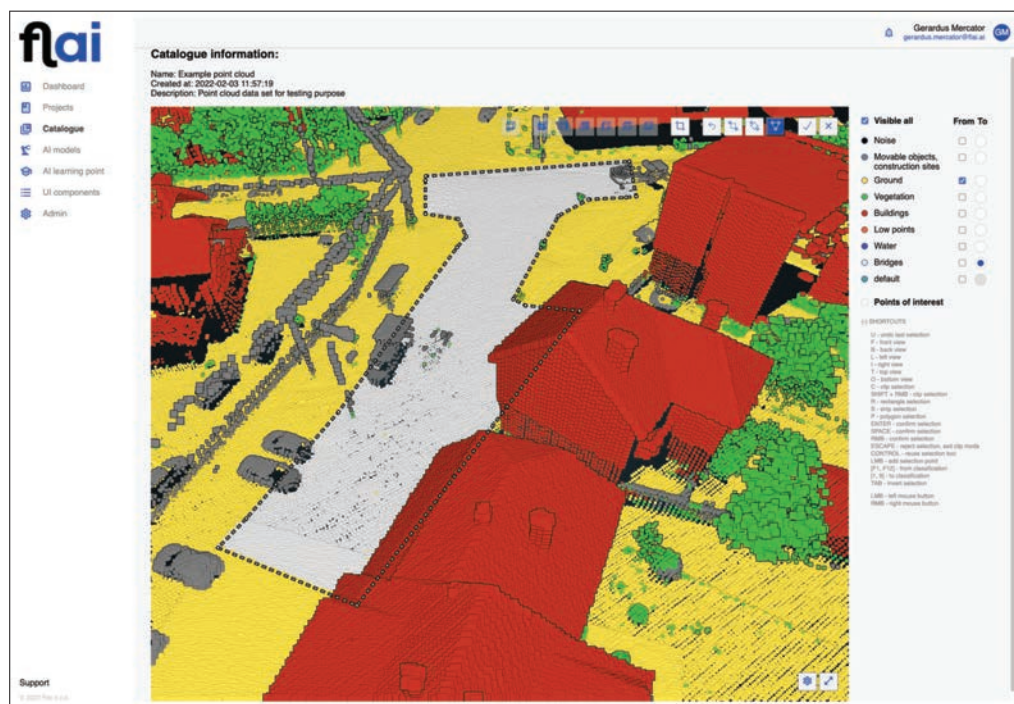
Prvi korak v uporabi spletne aplikacije je uvoz podatkov. Oblak točk je možno naložiti v obliki ene same LAS datoteke s hkratnim uvozom več datotek, ki so združene v arhivskem formatu, ali direktno preko podane povezave do podatkov na AWS oblaki storitvi Amazon Simple Storage Service (S3). Ob uvozu podatkov se ti prenesejo na strežnik in pripravijo za prikaz in nadaljnjo obdelavo. Uporabniki, ki so del iste organizacije, si med sabo lahko izmenjujejo uvožene podatkovne zbirke in podeljujejo pravice za nadzor nad njihovim dostopom.

5.2 Prikaz podatkovne zbirke

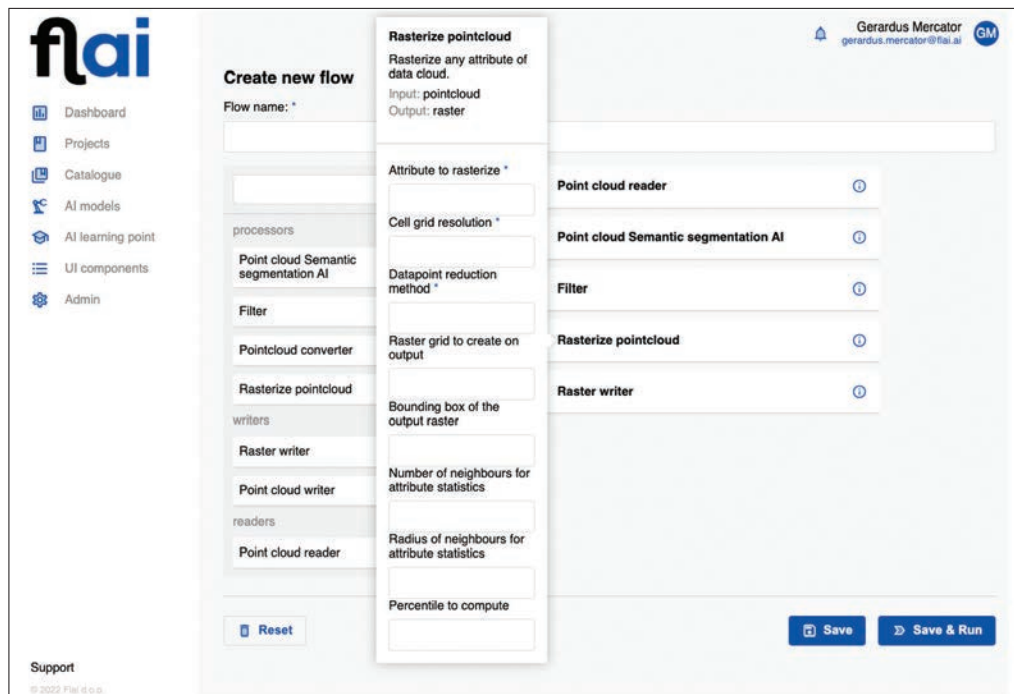
Eden pomembnejših orodij spletne aplikacije je prikazovalnik uvoženih podatkov, v katerem lahko poleg prikaza podatke tudi urejamo. S posebnimi namenski orodji lahko poljubno število razredov klasifikacij spremenimo v nov izbran razred. Točke, na katerih želimo izvesti preklasifikacijo, izberemo z orodji risanja pravokotnika, traku ali poljubnega n-kotnika (slika 3). Zahtevnejša opravila lahko izvedemo tudi v več korakih. Najprej s poljubno obliko izrežemo iz zbirke le delček podatkov in v naslednjem koraku s poljubno obliko določimo točke na katerih se bo popravek izvedel. Tako popravljene podatke lahko po končanem delu prenesemo z aplikacije v enaki obliki, kot so bili uvoženi.

5.3 Izvedba procesne verige

Ob uvozu podatkov se nam odklene možnost njihove obdelave z orodji, ki so na razpolago v aplikaciji. Uporabniku sta omogočeni poljubna izbira in razvrstitev orodij za izvedbo željene naloge. Slika 4 prikazuje, kako bi z dodajanjem posameznih orodij na naši zbirki pognali klasifikacijo, kjer bi iz rezultatov izvzeli le želene točke, recimo teren, iz njih izdelali slikovni model terena in ga izvozili kot novo slikovno podatkovno zbirko. S klikom na posamezno orodje se nam odprejo dodatne nastavitve, s katerimi pridemo do želenega rezultata. Izdelano procesno verigo je moč shraniti za kasnejšo ponovno uporabo na isti ali drugi podatkovni zbirki.



Slika 3: Ponazoritev uporabe prikazovalnika oblakov točk, vzpostavljen kot del spletne aplikacije, kjer z uporabo orodja za risanje poligonov (prekinjena črta) želimo spremeniti le točke terena v razred mostu označen s svetlo sivo barvo.



Slika 4: Gradniki procesne verige, potrebni za izvedbo klasifikacije terena in izdelavo slikovnega modela terena. Vsakemu izmed uporabljenih orodij lahko spremenimo nastavitve.

6 Sklep in nadaljnje delo

Samodejni postopki omogočajo hitro obdelavo velikih količin podatkov in razvrščanje v večje število kategorij, kot bi bilo ekonomično z ročnim označevanjem. To odpira tudi povsem nove možnosti uporabe podatkov, ki pred tem niso bile možne oziroma so bile stroškovno neupravičene. Prav tako na primeru izvedbe vsedravnih zajemov podatkov, kjer so končni uporabniki iz najrazličnejših strok, ki imajo različne zahteve in opredelitve klasifikacije istih razredov, lahko s samodejnimi metodami obdelave omogočimo, da uporabniki izberejo najprimernejši končni način klasifikacije.

Od samega namena klasifikacije je odvisna tudi potreba po doseženi pravilnosti klasifikacije. Za nekatere aplikacije trenutni algoritem že več kot presega zahteve, druge za dosego potrebujejo še dodatno ročno preverjanje. Z vsako nadgradnjo se ta potreba zmanjšuje. Končni rezultat je kompromis med hitrostjo izvedbe in zahtevano pravilnostjo klasifikacije.

Najpomembnejši doprinos k kvaliteti končnih rezultatov je vsebinsko raznolika, vendar poenoteno pripravljena učna zbirka, ki jo stalno dopolnjujemo z novimi izseki in razredi. Poleg njenega nadgrajevanja načrtujemo implementacijo algoritma za detekcijo objektov znotraj oblaka točk ter vplejavo dodatnih algoritmov za filtriranje in naknadno obdelavo rezultatov. Le-ti bi odpravili trenutne pomanjkljivosti pri razpoznavi razredov točk, ki ležijo na stičiščih dveh ali več objektov različnih razredov. Takšen postopek bo vrnil estetsko lepše rezultate brez preskakovanj med klasifikacijskimi razredi na njihovih stičiščih.

7 Viri in literatura

- Chen, C., Li, G., Xu, R., Chen, T., Wang, M., Lin, L. 2019: Clusternet: Deep hierarchical cluster network with rigorously rotation-invariant representation for point cloud analysis. IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00513>
- Graham, B., Engelcke, M., Van Der Maaten, L. 2018: 3d semantic segmentation with submanifold sparse convolutional networks. IEEE conference on computer vision and pattern recognition. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00961>
- Jaccard, P. 1912: The distribution of the flora in the alpine zone. *New phytologist* 11-2. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x>
- Kranjec, N., Triglav Čekada, M., Kobal, M., 2021. Napovedovanje drevesnih vrst iz geometrije in intenzitete oblaka aerolaserskih točk vrhov drevesnih krošenj. *Geodetski vestnik* 65-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2021.02.234-259>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. 2012: Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*. DOI: <https://doi.org/10.1145/3065386>
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., & Jackel, L. D. 1989: Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*. DOI: <https://doi.org/10.1162/neco.1989.1.4.541>
- Li, Y., Bu, R., Sun, M., Wu, W., Di, X., Chen, B. 2018: Pointcnn: Convolution on x-transformed points. *Advances in neural information processing systems* 31.
- Meng, H. Y., Gao, L., Lai, Y. K., Manocha, D. 2019: VV-net: Voxel vae net with group convolutions for point cloud segmentation. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00859>
- Mlekuž, D. 2018. Vzreja modelov višin iz lidarskih podatkov. *Pokrajina v visoki ločljivosti*. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610501138>
- Mongus, D., Horvat, D. 2015: gLidar – Napredno orodje za obdelavo lidarskih podatkov. *Geodetski vestnik* 59-1.
- Mongus, D., Triglav, M., Žalik, B. 2013. Analiza samodejne metode za generiranje digitalnih modelov reliefa iz podatkov lidar na območju Slovenije. *Geodetski vestnik* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.02.045-259>
- Qi, C. R., Su, H., Mo, K., Guibas, L. J. 2017a: Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation. IEEE conference on computer vision and pattern recognition. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.16>
- Qi, C. R., Yi, L., Su, H., Guibas, L. J. 2017b: Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. *Advances in neural information processing systems* 30.
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. 2015: U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation.
- Thomas, H., Qi, C. R., Deschaud, J.-E., Marcotegui, B., Goulette, F., Guibas, L. J. 2019: KPConv: Flexible and deformable convolution for point clouds. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00651>
- Wang, Y., Sun, Y., Liu, Z., Sarma, S. E., Bronstein, M. M., Solomon, J. M. 2019: Dynamic graph cnn for learning on point clouds. *Acm Transactions On Graphics* 38-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3326362>
- Zeng, W., Gevers, T. 2018: 3dcontextnet: Kd tree guided hierarchical learning of point clouds using local and global contextual cues. *European Conference on Computer Vision (ECCV) Workshops*. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-11015-4_24
- Zhao, H., Jiang, L., Fu, C. W., Jia, J. 2019: Pointweb: Enhancing local neighborhood features for point cloud processing. IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00571>
- Zhao, H., Jiang, L., Jia, J., Torr, P. H., Koltun, V. 2021: Point transformer. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision.

ORIENTACIJE STREH OBSTOJEČEGA STAVBNEGA FONDA V SLOVENIJI

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>

dr. Gašper Stegnar, dr. Marko Kovač

Institut »Jožef Stefan« – Center za energetske učinkovitost

gasper.stegnar@ijs.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-564X>

marko.kovac@ijs.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_24

UDK: 692.413:531.717(497.4)

IZVLEČEK

Orientacije streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji

Študija daje vpogled v orientacijo streh stavb v Sloveniji, enega ključnih podatkov za izračun realnega potenciala sončnih elektrarn, ki je dejansko na voljo na slovenskih strehah. Končni prikaz stanja potenciala proizvodnje električne energije pomeni največji izplen, ki se lahko bodisi odda v omrežje bodisi izkoristi na lokaciji proizvodnje. Glede na nezadostno zmogljivost elektrodistribucijskega omrežja v Sloveniji bo verjetno v bodoče bolj aktualno slednje in bo zato treba preučevati stopnjo možne samooskrbe z električno energijo slovenskih gospodinjstev. Oceno smo opravili na podlagi izračuna nagibov, zasukov in velikosti delov streh posameznih stavb, ki smo jih pridobili iz podatkov aerolaserskega skeniranja in katastra stavb. Z izračunanim potencialom bi pokrili 70 % sedanje proizvodnje električne energije v Sloveniji.

KLJUČNE BESEDE

orientacija, strehe, lidar, aerolasersko skeniranje, kataster stavb, energetski potencial, segmentacija, Slovenija

ABSTRACT

Roof orientations of the existing building stock in Slovenia

The study provides insight into the orientation of building roofs in Slovenia, one of the key data for calculating the real potential of solar PV available on Slovenian rooftops. The final indication of the state of electricity generation potential represents the maximum yield that can either be fed into the grid or used at the generation site. Given the insufficient capacity of the electricity distribution network in Slovenia, the latter is likely to be more relevant in the future. The degree of potential self-supply of electricity to Slovenian households will need to be examined. The assessment was based on the slope, aspect, and size of roof segments of individual buildings, which were computed from airborne laser scanning data. The calculated potential would cover 70 % of the current electricity production in Slovenia.

KEY WORDS

orientation, roofs, lidar, airborne laser scanning, building cadastre, solar energy potential, segmentation, Slovenia

1 Uvod

Orientacija (nagib in zasuk oz. usmerjenost) in velikost uporabnih strešnih površin sta med ključnimi parametri za oceno potenciala sončnih elektrarn na strehah obstoječega stavbnega fonda. Teh podatkov v Sloveniji ni mogoče pridobiti neposredno iz obstoječih podatkovnih zbirk. Namen prispevka je opisati uporabljene podatke, njihovo obdelavo in metodo izračuna orientacije (zasuka in nagiba) streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji. Primeren vir za takšne podatke so ustrezno obdelani podatki aerolaserskega skeniranja Slovenije (ALS) in kataster stavb. Podatki o konkretni orientaciji streh objektov lahko v nadaljevanju služijo za boljši izračun izplena sončnih elektrarn na strehah teh objektov.

V preteklosti je bilo opravljenih več analiz potenciala sončne energije za Slovenijo. Vendar so zadnje celovite ocene stare skoraj desetletje, zato je smiseln njihov pregled in nadgradnja z novimi spoznanji. Poleg tega so potenciali lahko različnih vrst in izračunani z različnimi predpostavkami, ki jih je smiselno poznati, da se lahko izognemo metodološkim napakam in napačnim sklepanjem. Urbančič in sod. (2011) so bili eni izmed zadnjih, ki so podali celovit pregled ocen potenciala (povzeto v preglednici 1). Ocene so zelo raznolike, vendar podobno variirajo tudi tuje analize. Poročilo IRENA (4) navaja, da tehnični potencial za sončno energijo znaša 478 GWh, kar je najmanj med vsemi analizami. V zadnji študiji pa je Kovač (2018) z agregiranim pristopom, ki upošteva geografske razlike v Sloveniji (npr. glede osončenosti in urbanizacije), navedene pa so bile tudi nekatere ovire, kot so nepripravljenost omrežja na večje količine razpršene proizvodnje in problem presežka ponudbe oziroma shranjevanja električne energije (pojav račje-krivulje), potencial ocenil na 27.000 GWh. Pri tem je predpostavil tudi možnost pokritja in izkoristka obstoječih parkirišč.

Pregled literature razkrije, da se v grobem srečujemo z dvema različnima pristopoma ocenjevanja sončnega potenciala za elektrarne. Prvi postopek uporablja večje geografske enote za povprečenje parametrov, npr. površine streh, naklona in osončenosti. Pri tem se naslanja na nekatere obstoječe idealizirane modele in statistično obdelavo območja. Takšen pristop je uporaben za hitro regionalno oceno potenciala in daje zadovoljive rezultate, če obravnavano območje ni preveč heterogeno. Z opisanim postopkom od zgoraj navzdol je bilo poleg v prejšnjem odstavku omenjenih ocen potencialov izvedenih veliko podobnih analiz, tudi oziroma predvsem na ravni EU (PVGIS, 2017).

Z razvojem tehnologije GIS se je izoblikoval drug, močno determinističen pristop od spodaj navzgor, ki iz realnih podatkov pridobljenih s tehnologijo aerolaserskega skeniranja konstruira geometrijo naselja (s tem orientacijo in naklone streh) ter nato za vsako površino izračuna potencial za sončno energijo. Navkljub hitremu razvoju tehnologije je takšen izračun še vedno dolgotrajen in omejen, saj temelji na predpostavljenih podatkih o obsegih stavb.

Preglednica 1: Potencial sončne energije v Sloveniji glede na različne študije.

| študija | tehnični potencial (GWh) |
|-------------|--------------------------|
| UL-FS, 2009 | 961 |
| IREET, 2009 | 20.463 |
| IRENA, 2017 | 478 |
| BOSON, 2017 | 6.500 |
| IJS, 2018 | 27.000 |
| NEPN, 2020 | 20.000 |

2 Uporabljeni podatki in njihova priprava

V študiji smo uporabili kataster stavb, ki je temeljna evidenca podatkov o stavbah, in podatke aerolaserskega skeniranja. Kataster stavb je sestavljen iz zadnjih vpisanih podatkov o stavbah in delih stavb ter iz zbirke listin in podatkov, ki omogočajo historični pregled sprememb. Stavba je objekt, v katerega lahko človek vstopi in je namenjen njegovemu stalnemu ali začasnemu prebivanju, opravljanju poslovne ali druge dejavnosti ali zaščiti ter ga ni mogoče prestaviti brez škode za njegovo substanco. Lahko ima en del ali več delov. V kataster stavb se za stavbo ali del stavbe vpisujejo naslednji podatki: identifikacijska oznaka; lastnik; upravljavalec; lega in oblika; površina; dejanska raba; številka stanovanja ali poslovnega prostora. Podatki katastra stavb se vodijo in vzdržujejo v centralni bazi. Centralna baza podatkov o stavbah se povezuje z drugimi evidencami, ki jih vodi geodetska uprava (zemljiški kataster, register prostorskih enot, register nepremičnin). Podatki katastra stavb so osnova za vpis stavbe ali dela stavbe v zemljiško knjigo (Geodetska uprava RS 2016).

Viri ob vzpostavitvi katastra stavb so bili fotogrametrični zajem, terenski zajem, prevzem iz drugih evidenc in na podlagi tega je odvisna tudi položajna natančnost koordinat, ki variira od 0 do 12 cm za terenske meritve do nad 150 cm za terenske meritve brez navezave na mrežo. Kataster stavb se vzpostavlja v skladu z Zakonom o evidentiranju nepremičnin. Zbirka podatkov se vodi v državnem ETRS koordinatnem sistemu D96/TM (Geodetska uprava RS 2016). Uporabili smo grafične podatke o obrih stavb iz leta 2021 in podatke o centroidih stavb iz leta 2015.

Kot referenčni sloj za izračun nagiba, zasuka in površine delov streh smo uporabili državne podatke aerolaserskega skeniranja Slovenije (Agencija RS za okolje 2015). Posebna prednost laserskih podatkov je razslojevanje na informacije glede na vrsto odboja, saj lahko tako ločimo stanje na površju (model površja) ter stanje na tleh (model reliefa). Z gostoto skeniranja 5 točk/m² so bili podatki večinoma zajeti v letih 2014 in 2015, praviloma spomladi in jeseni, ko drevje niolistano, v visokogorju pa z gostoto 2 točki/m² in v izogib snežiščem tudi poleti. Podatki so brezplačni, prosto dostopni in pokrivajo ozemlje cele države. Georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT) hrani točke, razvrščene v šest razredov: tla, nizka (do višine 1 m), srednja (med 1 m in 3 m) in visoka vegetacija (nad višino 3 m), stavbe ter neklasificirane točke (Triglav-Čekada in Bric 2015).

2.1 Obdelava podatkov katastra stavb

Pri analizi smo želeli uporabiti podatke, ki so bili zajeti čim bolj sočasno. Grafični del (obrise in centroide) katastra stavb iz leta 2015 smo imeli na voljo samo v (stari) projekciji D48. Zaradi lokacijskih napak pri preprojekciji celotne baze podatkov v novi koordinatni sistem (D96) z enotnimi parametri za celo državo, smo pri analizi upoštevali obrise katastra iz leta 2021, ki je na voljo v projekciji D96. Ohranili samo tiste stavbe, katerih centriodi iz leta 2015 padejo v obrise iz 2021. Obrisi iz 2021 so tudi bolj natančni, čeprav se ponekod prekrivajo. Pri nadaljnji analizi smo upoštevali le stavbe večje od 20 m², skupno 1.063.500 poligonov.

Delovanje algoritma za segmentacijo ter izračun zasuka in nagiba segmentov smo opravili na središču Kamnika (2 km²), ki vključuje stavbe z raznolikimi oblikami in velikostmi streh. Del območja prikazuje slika. Posebno pozornost smo namenili devetim vzorčnim stavbam, ki so opisane v preglednici Preglednica in prikazane na sliki *slika*.

2.2 Obdelava podatkov aerolaserskega skeniranja

Izračun posameznih segmentov streh temelji na rastru s prostorsko ločljivostjo 0,5 m, na katerem je odstranjeno vse rastje, ohranjene pa so stavbe. Pri tem je izjemno pomemben način rastriranja, kar nazorno prikazuje *slika*. Način rastriranja z obteženo inverzno razdaljo (ang. Inverse Distance Weighted, IDW), ki lepo ohranja majhne topografske značilnosti, npr. arheološke ostaline, je za izračun nagibov

in zasukov delov streh manj primeren, ker so zelo vidni artefakti (npr. črte), ki so posledica lastnosti laserskega skeniranja (slika 3a). Ponovno izračunani podatki aerolaserskega skeniranja, rastrirani z metodo mreže neenakih trikotnikov (angl. Triangulated Irregular Network, TIN), te artefakte v veliki meri odpravijo (slika 3b). Novo izračunani podatki imajo bistveno manj artefaktov, ki so posledica lastnosti laserskega skeniranja. Strehe so bolj »gladke«, kar poenostavlja izračun posameznih ploskev (segmentov streh). Hkrati je izračun orientacije pravilnejši.

Obodi stavb se v katastru stavb zaradi načina zajema ne ujemajo povsod in povsem z dejanskim stanjem (ALS), zato je treba iz območij površine stavbe odstraniti piksele tal, torej piksele z relativno višino nižjo od 2 m. Relativne višine smo računali z normalizacijo georeferenciranih in klasificiranih oblakov



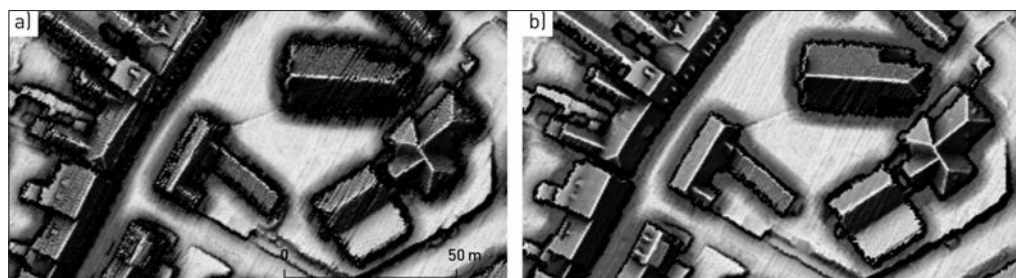
Slika 1: Del Kamnika s prikazanim katastrom stavb iz leta 2021. Prikazane so stavbe, katerih centriodi iz leta 2015 sovpadajo z obrisi iz leta 2021.

Preglednica 2: Vzorčne stavbe.

| slika | SID | |
|---------|----------|--|
| slika a | 22355925 | stanovanjska stavba s členjeno streho in nadstreški |
| slika b | 22452139 | stanovanjska stavba z večkapno streho in prizidkom z dvokapno streho, oboje z nadstreški |
| slika c | 27629462 | proizvodne hale s tipično »harmonikasto« streho |
| slika d | 22355857 | stanovanjska stavba s preprosto dvokapno streho, obris je zamaknjen glede na ortofoto in podatke ALS |
| slika e | 22356591 | členjena stanovanjska stavba s prizidkom |
| slika f | 22356606 | členjena šolska stavba s telovadnico z veliko ravno streho |
| slika g | 27628614 | majhna stavba s preprosto dvokapno streho, obris je zelo zamaknjen glede na podatke ALS |
| slika h | 31503208 | stavba z dvokapno streho in prizidkom z dvokapno streho, oboje z nadstreški in dimniki |
| slika i | 30474027 | kompleks stanovanjskih blokov z zelo členjeno streho in vključeno podzemno garažo |



Slika 2: Vzorčne stavbe.



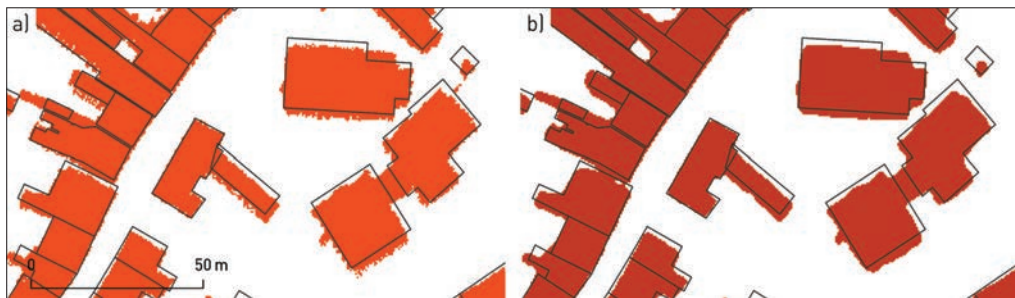
Slika 3: Rastrski podatki aerolaserskega skeniranja, ki prikazujejo tla in stavbe. Način rastriranja, ki lepo ohranja majhne topografske značilnosti, npr. arheološke ostaline, je za izračun nagibov in zasukov delov streh manj primeren, ker so zelo vidni artefakti (npr. črte), ki so posledica lastnosti laserskega skeniranja (a). Ponovno izračunani podatki aerolaserskega skeniranja, rastrirani z metodo mreže neenakih trikotnikov (TIN), te artefakte v veliki meri odpravijo (b).

točk (GKOT) pri čemer smo upoštevali samo točke terena in stavb (kategoriji 2 in 6). Kljub upoštevanju okolice 25 m posameznih izsekov izračuna (1 krat 1 km²) so zaradi načina rastriranja kot teren zaznane zelo velike stavbe in velike stavbe na robovih rastra. Zato podatke o višinah teh stavbah dodamo z masko poligonov velikih stavb (>1000 m²). Vhodni podatek za izračun segmentov je raster, kjer so podatki o nadmorski višini za vse celice, ki imajo v oblaku točk aerolaserskega skeniranja kategorijo 6 (stavba) in dodatno vse celice, ki pripadajo poligonom velikih stavb (slika 4a). Algoritem za izračun segmentov v prvi fazi uporabi filter mediane, saj s tem nekoliko poenostavi podatke (slika 4b) in še izboljša rezultate.

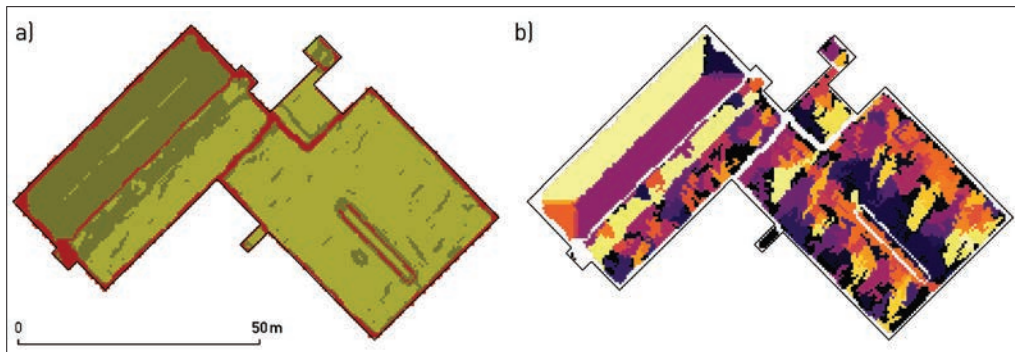
3 Metoda izračuna orientacije delov streh in rezultati

Za izračun segmentov, zasuka in nagibov smo uporabili programski jezik Python s knjižnicami *rasterio*, *numpy*, *geopandas* in *arcpy*. Za paralelizacijo izračunov smo uporabili modul *multiprocessing*, za beleženje časov izračunov pa knjižnico *tqdm*.

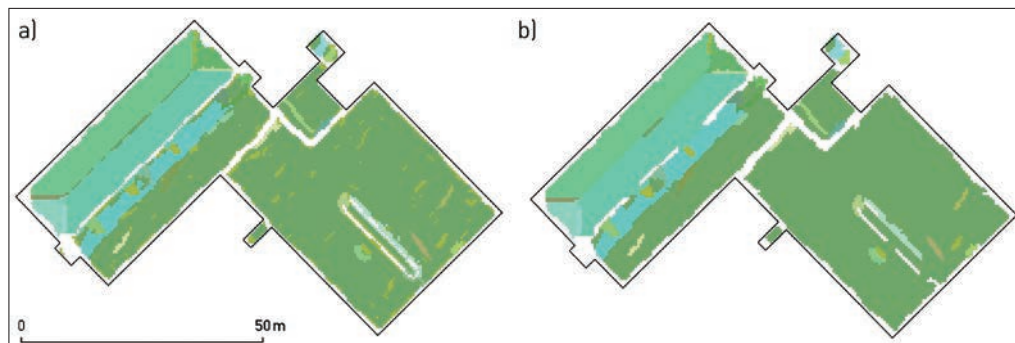
Z vektorskimi obrisi stavb smo izrezali model višin, enkrat na dejanski obris stavbe in drugič na širše območje (*bounding box*) obsega. Pri slednjem smo uporabili filter mediane velikosti 5 krat 5 pikslov in



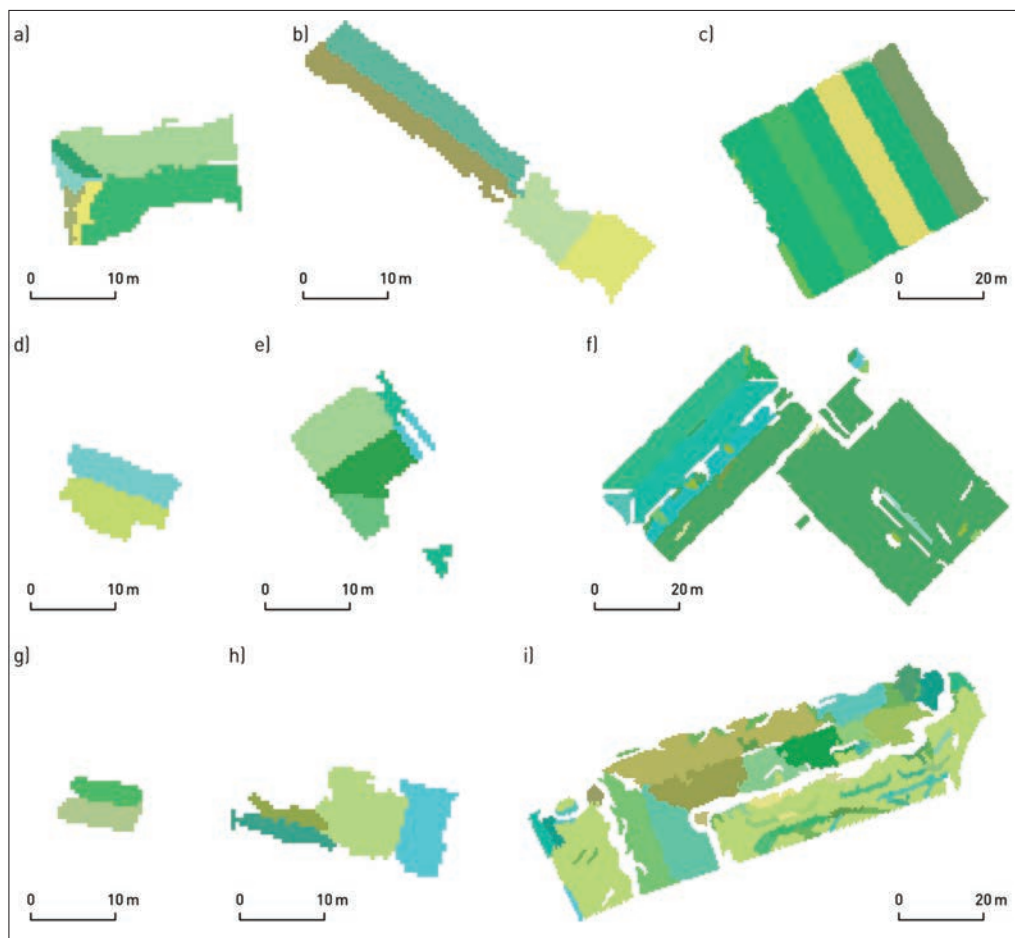
Slika 4: Podatki, kjer so z oranžno označene celice, ki pripadajo stavbam, torej celice, ki so v podatkih aerolaserskega skeniranja označene kot stavbe (kategorija 6) in imajo hkrati višino od tal višjo od 2 m (a). Podatki kjer so z rdečo označene celice, ki pripadajo stavbam po filtriranju s filtrom mediane. Opaziti je neskladje med katastrom stavb (temno sivo) in podatki aerolaserskega skeniranja (b).



Slika 5: Nagibi na strehi Osnovne šole Toma Brejca v Kamniku. Piksele z nagibom večjim od 60° (rdeče) smo izločili iz nadaljnje obravnave, piksele z nagibom manjšim ali enakim 2° (svetlo zeleno) pa smo upoštevali kot svoj segment (a). Deli streh (segmenti) brez posebnega obravnavanja horizontalnih leg. Na ravnih strešnih ploskvah je opaziti zelo veliko število segmentov.



Slika 6: Segmenti po upoštevanju horizontalnih ploskev kot svoj segment in po združevanju severnih leg (a). Segmenti po izločevanju manjših skupin pikslov (b). Končne segmente, po upoštevanju njihove najmanjše velikosti, prikazuje slika 7f.



Slika 7: Izračunani segmenti na vzorčnih stavbah iz slike 2.

izračunali zasuk in nagib. Za nadaljnji izračun smo uporabili samo piksele, ki ležijo znotraj obroisa stavbe in imajo nagib manjši od 60° (slika 5a). Prag je določen izkustveno, saj so tako velik nagibi streh izjemno redki, hkrati pa se s tem znebimo pikslov, ki ležijo med robom strehe in tlemi.

Posamezne ploskve streh (segmente) smo računali na rastru zasuka iz katerega smo kot poseben segment izločili vse piksele z nagibom manjšim od 2° . Na »horizontalnih« ploskvah je namreč zaradi lastnosti podatkov zasuk zelo variabilen in tovrstne ploskve so posledično razbite na veliko število segmentov (slikab).

Pri segmentaciji zasuka je problem cikličnosti, ker na severu skupaj pridejo vrednosti 360° in 0° . Tega se ne da združiti, saj pri vseh variantah normalizacije naletimo na težave, npr. da dobimo enake vrednosti za sever in jug ali vzhod in zahod. K sreči nas severne lege pri izkoriščanju sončne energije ne zanimajo, zato smo kot rešitev združili vse segmente z mediano zasuka v razponu 15° od severa, torej med 345° in 15° .

Po segmentaciji (slikaa) smo rezultat filtrirali s filtrom sieve, ki združuje manjše skupine pikslov s sosednjimi (slika 6b). Pri tem smo upoštevali najmanjšo velikost skupine 10 pikslov, pri čemer se ne štejejo vogalni sosedje piksla (metoda štirih sosedov). S tem pristopom smo v primeru Osnovne šole Toma Brejca prvotno število 62 segmentov zmanjšali na 28 segmentov, po upoštevanju najmanjše velikosti segmenta 8 m^2 , pa na končnih 13 segmentov (slikaf). Segmentov manjših od 10 m^2 je 5,6 %.

8,1 % stavb (92.560) v Sloveniji nima izračunanih segmentov streh s pripisanimi atributi. Od tega jih je 70,3 % manjših od 50 m^2 . Pri veliki večini gre vzrok za neuspehi izračun pripisati temu, da v oblaku točk aerolaserskega skeniranja niso označene kot stavbe in zato na terenu niso razpoznavne (primer prikazuje slika 8). Pri stavbah manjše površine je lahko vzrok tudi v tem, da z algoritmom odstranjevanja velikih naklonov ne ostane dovolj velika površina (npr. pri zvonikih) ali pa so po končanem izračunu vsi segmenti premajhni (nobeden ni večji od 8 m^2).

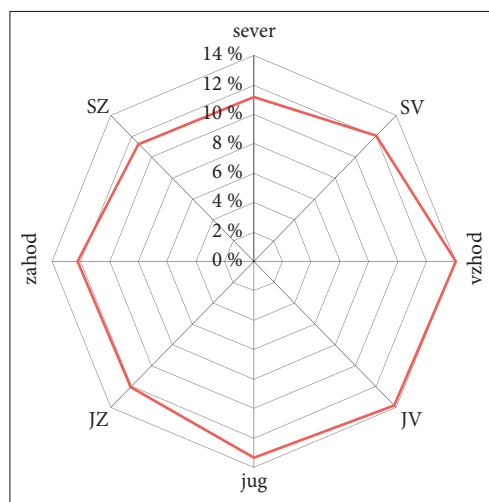


Slika 8: Primer stavbe za katero izračun ni bil uspešen (rdeč pravokotnik), saj v oblaku točk aerolaserskega skeniranja ni označena kot stavba (ni rdečih točk) in zato na rastru stavb ni razvidna. Na sliki je opaziti tudi primer, ko je stavba v oblaku točk označena (desno spodaj), a ni vpisana v kataster stavb. V zelenih tonih so označeni odboji z vegetacije, v rjavih pa odboji s tal.

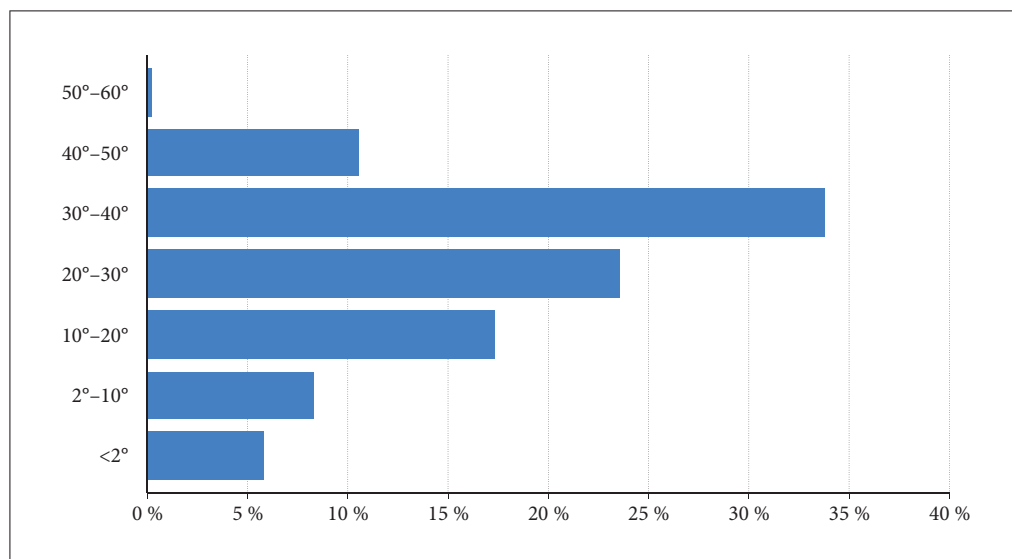
Skupna površina izračunanih segmentov na obravnavanih strehah je 145,3 km². Glede na zasuk so površine razporejene razmeroma enakomerno, čeprav je vseh južnih leg (39,3 %) nekoliko več kot severnih (34,5 %) (slika 9).

Prevladujejo nakloni med 20° in 40° (brez severnih smeri), kar je za zajem sončne energije ugodno (slika 10). Podrobnejšo razporeditev glede na naklonske razrede in zasuk podaja preglednica.

Glede na orientacijo strehe in naklon sončnega panela ocenjujemo skupen potencial na 11,2 TWh letno. Pri tem so kot povprečna vrednost za celotno Slovenijo privzeti podatki za Ljubljano, ki v Sloveniji predstavlja referenčno lokacijo za izračun osončenosti. Z izračunanim potencialom bi pokrili 70 % sedanjne proizvodnje električne energije v Sloveniji (SURs 2021). Izračunan potencial dosega le 41 % potenciala, ki ga v svoji študiji ocenil Kovač (2018) in kjer so bile za postavitev panelov upoštevane površine



Slika 9: Deleži površin segmentov glede na zasuk.



Slika 10: Deleži površin segmentov glede na naklon (brez severnih smeri).

Preglednica 3: Površine segmentov (v 1000 m²) po razredih nagibov in zasuka. Največji skupni letni izkupiček je v razredu pri zasuku na jug (zasuk 180°±15°) in pri naklonskem razredu 31°–33°.

| | >jug+60° | jug+60° | jug+30° | jug | jug-30° | jug-60° | >jug-60° |
|---------|----------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|
| >38° | 7.553 | 2.008 | 2.161 | 2.204 | 2.021 | 2.112 | 7.786 |
| 33°–38° | 7.075 | 2.007 | 2.206 | 2.166 | 1.913 | 2.162 | 7.728 |
| 31°–33° | 2.566 | 750 | 829 | 795 | 724 | 803 | 2.780 |
| 26°–31° | 5.467 | 1.553 | 1.748 | 1.772 | 1.502 | 1.696 | 5.908 |
| <26° | 15.280 | 4.101 | 5.761 | 6.596 | 5.110 | 7.968 | 20.441 |
| skupaj | 37.941 | 10.419 | 12.705 | 13.533 | 11.270 | 14.741 | 44.643 |

celotnih strehe in dodatno še parkirišč, ter 56 % potenciala Nacionalnega energetskega-podnebnega načrta (NEPN, 2020). Razpršen raztros rezultatov med opisano študijo ter študijami drugih avtorjev dajejo težo izbranemu pristopu ter izpostavljajo pomembnost uporabe bolj natančnih metod z namenom celovitega poznavanja stanja v naravi. Več študij, ki so že analizirale potencial je predlagalo, da bi bilo za bolj natančno poznavanje potrebno uporabiti podatke aerolaserskega skeniranja Slovenije. Uporabljen model preračuna izpleta sončnih elektrarn na strehah je bil sicer močno poenostavljen in ni upošteval lokalnih značilnosti posameznih lokacij (npr. vremena). Opisana študija daje odgovore na to, koliko potenciala je dejansko mogoče izkoristiti na slovenskih strehah.

4 Sklep

Študija daje vpogled v orientacijo streh stavb v Sloveniji – enega ključnih podatkov za izračun realnega potenciala sončne energije, ki je dejansko na voljo na slovenskih strehah. Končni prikaz stanja potenciala proizvodnje električne energije pomeni največji izplen, ki se lahko bodisi odda v omrežje bodisi izkoristi na lokaciji proizvodnje. Glede na nezadostno zmogljivost elektrodistribucijskega omrežja v Sloveniji bo verjetno v prihodnje bolj aktualno koriščenje na lokaciji proizvodnje in bo zato treba preučevati stopnjo možne samooskrbe z električno energijo slovenskih gospodinjstev. Dodatni vidik, ki ga bo treba upoštevati in pomembno vpliva na dejanski potencial izkoriščanje sončne energije, je senčenje streh zaradi sosednjih stavb ali hribov, kar bi lahko upoštevali s površinskim izračunom osončenosti v geografskem informacijskem sistemu. Uporabljeno metodo bi lahko izboljšali tudi z izpopolnitvijo podatkov o stavbah, pri čemer bi se izognili nepravilnim ali manjkajočim podatkom o obodih iz katastra stavb. Podatke o večini manjkajočih stavb bi lahko pridobili s ponovno klasifikacijo oblaka točk aerolaserskega skeniranja.

ZAHVALA: Prispevek je nastal s finančno podporo Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnega programa št. P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika iz študije, ki jo je financiral Inštitut Jožefa Stefana v okviru projekta LIFE Podnebna pot 2050 (ClimatePath2050 LIFE 16 GIC/SI/000043). Hvala Žigi Marohu za pomoč pri masovni obdelavi podatkov.

5 Viri in literatura

- Agencija RS za okolje 2015: Podatki aerolaserskega skeniranja Slovenije. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (13. 1. 2022).
- BOSON. Tahir, A. J., in drugi. 2017: Strokovna podpora fokusnim skupinam v sklopu priprave Strategije prostorskega razvoja Slovenije 2050, Sklop 2: prostorske možnosti za nizkoogljično družbo. Ljubljana.
- Geodetska uprava RS 2016: Kataster stavb. Medmrežje: <https://eprostor.gov.si/imps/srv/slv/catalog.search#/metadata/5aa2b97b-2ea3-427f-a9fb-d7827c61c115> (13. 1. 2022).
- IJS. Kovač, M. in sod. 2018: Končno poročilo C1.1: Blaženje podnebnih sprememb 2050; Potenciali in srednjeročni izzivi: Del 5B: Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050. Ljubljana.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). 2017: Joanneum Research and University of Ljubljana. Cost-Competitive Renewable Power Generation: Potential across South East Europe. Abu Dhabi.
- IREET. 2009: Strokovne podlage za akcijski načrt za doseganje ciljnih deležev končne porabe električne energije iz obnovljivih virov do leta 2020. Ljubljana.
- Nacionalni energetske-podnební načrt (NEPN). 2020: Ministrstvo za infrastrukturo. Medmrežje: https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/nepn_5.0_final_feb-2020.pdf (17. 2. 2022).
- Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). 2017. Institute for Energy, Renewable Energy Unit. Medmrežje: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (17. 2. 2022).
- Statistični urad Republike Slovenije, 2021. Medmrežje: <https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/5/88> (17. 2. 2022).
- Triglav-Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- UL FS. 2009: Operativni program ravnanja z ločeno zbranimi frakcijami komunalnih odpadkov v obdobju 2009–2013, osnutek. s. l. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.
- Urbančič, A. in sod. 2011: NEP 2011: Dolgoročne energetske bilance NEP do leta 2030; Izhodišča, IJS-DP-10548, Izdaja: 03. Ljubljana.
- Združenje slovenske fotovoltaične industrije. 2010: Pripombe na osnutek Akcijskega načrta za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020. Ljubljana.

KLASIFIKACIJA POKROVNOSTI Z UPORABO GLOBOKEGA UČENJA NA ČASOVNIH VRSTAH PODATKOV PLANETSCOPE

dr. Aleš Marsetič, dr. Urša Kanjir

ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije

ales.marsetic@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3307-508X>

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

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_25

UDK: 528.8:711.14(497.4)

IZVLEČEK

Klasifikacija pokrovnosti z uporabo globokega učenja na časovnih vrstah podatkov PlanetScope

Semantična segmentacija je postala v daljinskem zaznavanju ena ključnih metod za klasifikacijo pokrovnosti. V zadnjem obdobju se za klasifikacijo uporabljajo predvsem tehnike globokega učenja, ki temeljijo na velikemu naboru kakovostnih učnih vzorcev. Prispevek opisuje uporabo konvolucijske nevronske mreže arhitekture U-Net za učenje klasifikacijskega modela s časovno vrsto visokoločljivih satelitskih posnetkov PlanetScope. Iz vhodnih podatkov smo izdelali več modelov, najboljšega pa smo uporabili za klasifikacijo posnetkov na testnem območju. Doseženi rezultati kažejo na zanesljivost uporabljenega postopka za doseganje kakovostnih rezultatov tudi brez uporabe prenosa znanja.

KLJUČNE BESEDE

daljinsko zaznavanje, časovne vrste, globoko učenje, U-Net, satelitski posnetki, PlanetScope, semantična segmentacija

ABSTRACT

Land cover classification using deep learning on PlanetScope time series data

Semantic segmentation has become one of the key methods in remote sensing for land cover classification. Recently, deep learning techniques based on large sets of high quality training samples have been increasingly used for classification. This paper describes the application of a convolutional neural network of the U-Net architecture to learn a classification model using a time series of high-resolution PlanetScope satellite images. Several models were created from the input data, and the best one was used to classify the images from the test area. The results obtained show the reliability of the method used, which can be used to obtain good results even without the use of transfer learning.

KEY WORDS

remote sensing, time series, deep learning, U-Net, satellite images, PlanetScope, semantic segmentation

1 Uvod

Zaznavanje pokrovnosti oziroma njenih sprememb skozi čas je še vedno zelo pogosto predmet študij v daljinskem zaznavanju, saj pomaga razumeti krajinsko dinamiko. Z razvojem računalniške tehnologije in dostopom velikega nabora satelitskih posnetkov so se tehnike obdelave podatkov za določanje pokrovnosti korenito spremenile. V zadnjih letih se najbolj uveljavljajo različni pristopi strojnega učenja s poudarkom na globokem učenju. Globoko učenje temelji, v primerjavi s tradicionalnimi metodami klasifikacij, izrazito na vhodnih podatkih (Li s sodelavci 2021). Iz njih lahko s tem pristopom izluščimo več značilnosti kot s tradicionalnimi metodami, s čimer dobimo boljše rezultate klasifikacije (Szegedy s sodelavci 2016). Eden od pristopov globokega učenja v računalništvu so konvolucijske nevronske mreže (angleško *convolutional neural networks*). Čeprav se konvolucijske mreže uporabljajo že dolgo časa (LeCun s sodelavci 1989), je bil njihov uspeh zaradi zahtevnosti procesiranja in pomanjkanja učnih vzorcev (angleško *training sets*) omejen. Šele z obstojem prvih nizov večjih učnih vzorcev je uporaba nevronskih mrež doživela širšo praktično uporabo (Krizhevsky, Sutskever in Hinton 2012).

Najpogosteje se konvolucijske nevronske mreže uporabljajo za semantično segmentacijo podatkov. Semantična segmentacija je analiza posnetkov na ravni slikovnega elementa oziroma piksla in jo zato imenujemo tudi pikselska klasifikacija. S semantično segmentacijo vsem pikslom določenega posnetka oziroma slike določimo razred (oznako). S tem procesom pridobimo segmentiran posnetek, ki ga lahko kasneje še dodatno klasificiramo v podrazrede. V preteklosti je bilo opravljenih že precej raziskav na področju semantične segmentacije za potrebe klasifikacije pokrovnosti (Henry s sodelavci 2019; Tong s sodelavci 2020; Li s sodelavci 2022). Semantična segmentacija zahteva veliko število učnih vzorcev visoke kakovosti, kar zna v določenih primerih, kjer smo s terenskimi podatki omejeni, biti tudi njena omejitev.

Poznamo več vrst konvolucijskih nevronskih mrež, ki se ukvarjajo s semantično segmentacijo. Med njimi so najbolj pogoste nevronske mreže arhitekture kodirnik-dekodirnik ter nevronske mreže, ki uporabljajo razširjeno konvolucijo (angleško *dilated convolution*). Slednje so računsko bolj zahtevne. Nevronske mreže kodirnik-dekodirnik pa dosegajo rezultate, primerljive s slednjimi, z uporabo kodirnika (klasifikacijske mreže) in dekodirnika, ki po končanem kodiranju ponovno vzpostavi prvotno ločljivost in slikovnim elementom napove končni razred. V to skupino spadajo arhitekture kot so FCN (Long, Shelhamer in Darrell 2015), SegNet (Badrinarayanan, Kendall in Cipolla 2017) in U-Net (Ronneberger, Fischer in Brox 2015). U-Net smo uporabili tudi v naši raziskavi.

Kodirni del nevronske mreže, ki ga imenujemo tudi ogrodje (angleško *backbone*), je običajno globoka konvolucijska nevronska mreža, ki je sestavljena iz več stopenj konvolucijskih operacij, ki jih ločujejo operacije združevanja. To omogoča kodirniku, da zajame pomembne maske značilk (angleško *feature map*) v različnih merilih. Običajno se za ogrodje uporablja že obstoječe klasifikacijske mreže, kot so ResNet-50 (He s sodelavci 2016), VGG16 (Simonyan in Zisserman 2015), MobileNet (Howard s sodelavci 2017), ki so bile naučene na obsežnih podatkovnih bazah. Dekoderji so zadolženi za izdelavo rezultatov, ki so enake velikosti kot vhodni podatki. Dekonvolucije (angleško *deconvolutions*) (Noh, Hong in Han 2015) se v semantični segmentaciji uporabljajo za ostrenje podatkov v prvotno (izvorno) ločljivost.

Konvolucijske nevronske mreže se uporabljajo tudi v drugih aplikacijah daljinskega zaznavanja. V Sloveniji so raziskovalci uporabili globoko učenje na primer za segmentacijo in klasifikacijo cestišča (Smole 2019), izdelavo visokoločljivega sintetičnega ortofota iz posnetkov Sentinel-2 (Mangafić in Žagar 2020) in za zaznavanje stavb (Šanca s sodelavci 2021).

V tem prispevku smo za pridobitev razredov pokrovnosti s semantično segmentacijo satelitskih posnetkov uporabili nevronske mreže arhitekture U-Net. Nevronsko mrežo smo učili na časovni vrsti posnetkov PlanetScope na območju doline reke Rižane ter njeno uporabnost kasneje preizkusili na testnem območju v okolici mesta Velenje. Pri učenju smo uporabili učne vzorce rabe tal, pridobljene iz evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (MKGP 2022). Raziskava ugotavlja primernost vhodnih podatkov in metode učenja za semantično segmentacijo satelitskih posnetkov visoke ločljivosti.

2 Študijska območja in podatki

V študiji smo uporabili prosto dostopne optične satelitske posnetke PlanetScope, ki zagotavljajo visoko prostorsko in časovno ločljivost. Podjetje Planet Labs zaradi številčnosti njihovih satelitov v nizki zemljini orbiti omogoča skoraj dnevno opazovanje Zemlje. Posnetki, ki jih ponujajo njihovi sateliti *Dove*, zajemajo štiri spektralne kanale (R, G, B in NIR), njihova prostorska ločljivost je 3 m.

Učno območje v raziskavi je bila dolina reke Rižane z obalo in mestom Koper (velikost območja okoli $16 \text{ km} \times 6 \text{ km}$), razvit model pa smo kasneje uporabili in testirali na območju Šaleške doline in mesta Velenje (območje veliko $15 \text{ km} \times 10 \text{ km}$). Za območje Kopra smo od aprila leta 2017 do avgusta 2021 pridobili po en brezoblačen posnetek na mesec (skupaj 53 visokoločljivih posnetkov). Na območju Velenja, kjer smo razvit model globokega učenja testirali, smo uporabili tri različne sezonske posnetke iz leta 2020 – januarskega, aprilskega in julijskega. Leto 2020 namreč sovпада z izdelavo uporabljenih referenčnih oziroma učnih podatkov, kar je pomembno pri ovrednotenju končnih rezultatov.

Terenski oziroma referenčni podatki, ki smo jih uporabljali za učenje in testiranje rezultatov raziskave, so pridobljeni iz podatkovnega sloja dejanske rabe tal. To so podatki evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, ki jo upravlja in vodi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) Republike Slovenije (MKGP 2022). Terenske podatke smo glede na njihovo najbližjo podobnost združili v pet splošnih in številčno najpogostejših razredov pokrovnosti oziroma rabe tal: njiva, travnik, gozd, urbano in voda. Razred njive predstavljajo vse kmetijske površine, razred travnik pa predstavlja vse zelene površine, ki ne spadajo pod gozd ali kmetijske površine. Netipično rabo tal (na primer močvirje, rastlinjaki) in poligone rabe tal manjše od 500 m^2 smo odstranili iz nabora učnih vzorcev. Kasneje smo dodali tudi razred neklasificirano, kamor je model pri klasifikaciji uvrstil vse tiste slikovne elemente, ki ne ustrezajo nobenemu od naštetih petih razredov.

Območje učenja smo določili glede na razmerje pokritosti z izbranimi razredi pokrovnosti. Pazili smo, da je območje imelo približno enak odstotek iz vsakega posameznega razreda. Razen razreda njiva, ki je imel na izbranem učnem posnetku le 5,5 % delež, so bili ostali razredi relativno enakomerno zastopani (preglednica 1). Vse satelitske posnetke v časovni vrsti smo obrezali na izbrano območje, tako, da so na koncu imeli vsi velikost 5564×2148 slikovnih elementov.

Prilagojen vektorski sloj rabe tal (učne vzorce) smo pred uvrstitvijo v model rastrirali na ločljivost slikovnega elementa $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ in ga obrezali na območje posnetkov. Tako pripravljen sloj je predstavljal masko s petimi razredi pokrovnosti in enim neopredeljenim razredom.

3 Metode dela

Za postopek semantične segmentacije smo izdelali program v programskem jeziku Python, ki za globoko učenje uporablja knjižnici *Keras* in *TensorFlow*. Pred vstopom v učenje vhodne podatke najprej razdelimo na majhne slike velikosti 256×256 slikovnih elementov, kar omogoča gladko učenje

Preglednica 1: Odstotek posameznega razreda na učnem območju.

| razred | delež [%] |
|---------|-----------|
| njiva | 5,5 |
| travnik | 22,6 |
| gozd | 28,4 |
| urbano | 21,2 |
| voda | 22,3 |

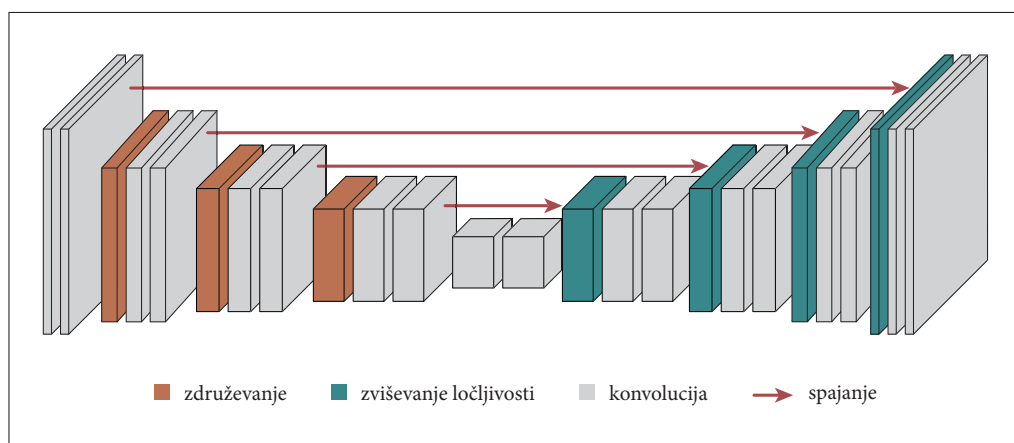
modela na podatkih. Vsi posnetki uporabljajo isto masko referenčnih podatkov, kar lahko povzroča napake pri učenju, posebno na objektih, ki se skozi sezono ali med posameznimi leti precej spreminijo (na primer kmetijske površine). Slike, ki imajo prisotnih več kot 10 % neoznačenih slikovnih elementov oziroma manj kot 90 % veljavnih referenčnih podatkov, odstranimo iz učnega vzorca. Po opisani predpripravi podatkov nam je v podatkovnem nizu ostalo 6032 uporabnih slik. Te smo naključno razdelili v razmerju 4:1, pri čemer smo 80 % slik uporabili za učenje, 20 % pa za testiranje pravilnosti pridobljenih rezultatov.

Kot že omenjeno, smo v študiji uporabili nevronske mreže arhitekture U-Net, ki za osnovo uporablja standardno arhitekturo kodirnik-dekodirnik. Te arhitekture so sestavljene iz osnovnih konvolucijskih nivojev in nivojev združevanja (angleško *pooling layer*), s katerimi zmanjšamo število učnih parametrov. Posebnost mreže U-net je spajanje (angleško *concatenation*) mask značilk iz drugega dela mreže (dekodirnik) s tistimi, ki so bile naučene v prvem delu (kodirnik). Združevanje konvolucijskih nivojev iste ločljivosti se zgodi po nivoju zviševanja ločljivosti. Arhitektura uporabljene mreže U-net je prikazana na sliki 1.

Za aktivacijsko funkcijo, ki uteženo vsoto nevronov preslika v izhodne neurone, smo izbrali pogosto uporabljeno nelinearno funkcijo ReLU (angleško *Rectified Linear Unit*) (Yu s sodelavci 2020). Za določanje uspešnosti učenja smo definirali funkcijo izgube (angleško *loss function*), ki je bila sestavljena iz kombinacije kockaste (angleško *dice*) in žariščne (angleško *focal*) izgube. Kombinacija deluje bolje v primerih, ko odstotek razredov v učnem območju ni uravnotežen (Jadon 2020). Funkcija izgube primerja napoved z učnimi podatki, s čimer lahko ocenimo uspešnost učenja. V procesu učenja pa iščemo takšne parametre nevronske mreže, ki zagotavljajo najmanjšo povprečno vrednost funkcije izgube za vse učne primere. Da to dosežemo, uporabljamo iterativne optimizacijske algoritme. V našem primeru smo uporabili metodo Adam (angleško *Adaptive Moment Estimation*), ki je trenutno eden najpogostejše uporabljenih optimizacijskih algoritmov v globokem učenju (Soydaner 2020).

Izdelana nevronska mreža ne uporablja predhodno naučenih modelov oziroma ne deluje na podlagi prenosa znanja (angleško *transfer learning*), ampak so začetni parametri modela izbrani naključno. Učenje nevronske mreže poteka v naslednjih korakih (glej sliko 2):

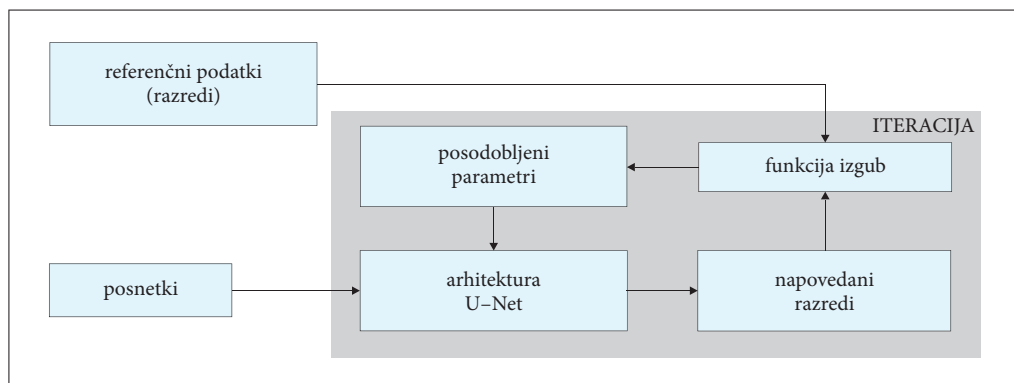
- v mrežo se vstavi vhodne slike in referenčne podatke (učne vzorce) iz česar se izračuna napoved,
- s primerjanjem napovedi in referenčnih podatkov se preko funkcije izgub izračunajo odstopanja,
- z dobljenimi rezultati se izračunajo gradienti aktivacijskih funkcij,
- z uporabo gradientov se posodobijo parametri nevronske mreže.



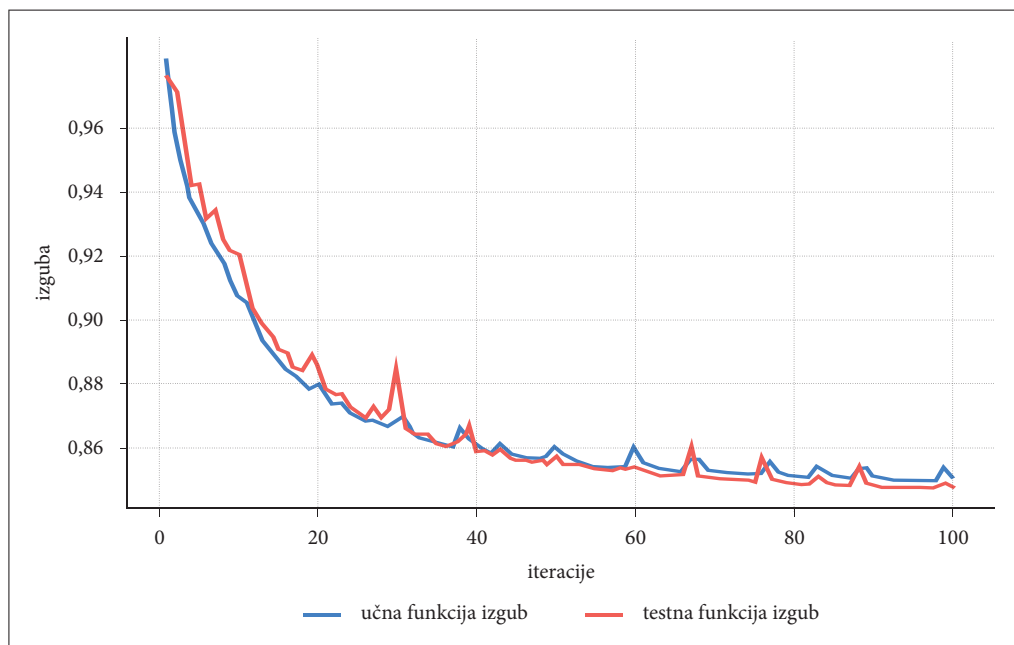
Slika 1: Arhitektura nevronske mreže U-net. Sivi kvadri predstavljajo nivoje konvolucije, oranžni zniževanje, turkizni pa zviševanje ločljivosti. Rdeče puščice kažejo smeri nivojev združevanja oziroma spajanja.

Postopek se ponavlja dokler model ne doseže določenega največjega števila iteracij ali dokler rezultat (funkcija izgub na testnem nizu) ne konvergira. V našem primeru smo izvedli 100 iteracij; njihovo število smo določili empirično. Funkciji za učni in testni niz se obnašata podobno in dosežeta relativno stabilno vrednost že okrog 60. iteracije (slika 3).

Za potrebe testiranja uspešnosti učenja na različnih podatkovnih nizih smo naučili 3 modele, vsakega z različno dolžino trajanja časovne serije. Prvi model je kot vhodne podatke upošteval celotno časovno serijo mesečnih posnetkov od aprila 2017 do avgusta 2021 (53 posnetkov), drugi le posnetke za leti 2018 in 2019, tretji pa samo tiste iz leta 2019.



Slika 2: Shema poteka učenja nevronske mreže. Postopek prehoda celotne podatkovne zbirke čez nevronske mrežo se iterativno ponavlja.



Slika 3: Primer funkcij izgube za učni in testni niz, ki smo ju dobili pri učenju nevronske mreže v trajanju 100 iteracij.

4 Rezultati

Ovrednotenje uspešnosti modelov smo naredili z izračunom evalvacijskih metrik in ovrednotenjem matrik zamenjav (angleško *confusion matrix*). Razvit model smo najprej ovrednotili tako na učnem območju (območje Kopra) kot tudi na testnem območju (območje Velenja). Na območju za učenje smo za kontrolo izbrali posnetek PlanetScope iz julija 2020, na testnem območju pa smo izbrali tri posnetke, iz januarja, aprila in julija leta 2020. Uspešnost klasifikacije smo preverili na podlagi podatkov rabe tal MKGP.

Uspešnost napovedi lahko pri klasifikaciji, kjer zaznavamo več razredov, predstavimo z matriko zamenjav. Ta nam prikaže število pravilno pozitivnih (angleško *true positive*, *TP*), pravilno negativnih (angleško *true negative*, *TN*), napačno pozitivnih (angleško *false positive*, *FP*) in napačno negativnih (angleško *false negative*, *FN*) napovedi. Vrednosti v matriki zamenjav smo uporabili za izračun sledečih evalvacijskih metrik. Klasifikacijska točnost predstavlja delež pravilno napovedanih primerov:

$$\text{točnost} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Preciznost predstavlja razmerje med pravilno pozitivnimi napovedmi in vsemi pozitivnimi napovedmi:

$$\text{preciznost} = \frac{TP}{TP + FP}$$

Priklic predstavlja pozitivne primere, ki so bili pravilno napovedani kot pravilni:

$$\text{priklic} = \frac{TP}{TP + FN}$$

Mera *F1* pa predstavlja harmonično povprečje priklica in preciznosti:

$$F1 = \frac{2 \cdot \text{preciznost} \cdot \text{priklic}}{\text{preciznost} + \text{priklic}}$$

Rezultati evalvacije so predstavljeni v preglednicah 2, 3 in 4. Preglednica 2 prikazuje evalvacijske metrike za posnetek PlanetScope iz julija 2020, ki je bil posnet na učnem območju. Posnetek smo klasificirali z modelom, ki smo ga učili na celotni časovni vrsti. Pričakovano so vrednosti zelo visoke, posebno pri klasifikaciji razredov gozda in vode.

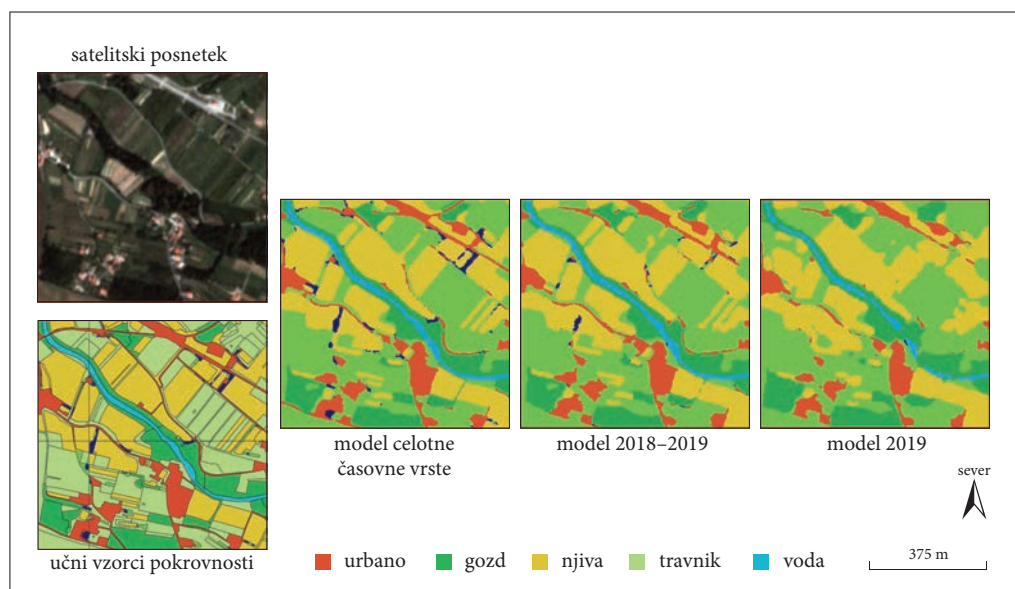
Slika 4 prikazuje klasifikacijo posnetka okolice mesta Koper z modeli, ki smo jih učili na različnih časovnih vrstah. Izboljšava modela z uporabo več učnih primerov se najbolj vidi pri sami klasifikaciji in natančnosti obrisov. Pri klasifikaciji z modelom 2019 se več objektov združi v enega, veliko objektov pa sploh ni zaznanih. Modela s celotno časovno vrsto in model 2018–2019 sta si zelo podobna, pri prvem pa so obrisi vendarle bolj podobni maski učnih vzorcev.

Preglednica 2: Evalvacija posnetka PlanetScope iz julija 2020 na učnem območju (mesto Koper z okolico).

| razred | točnost | preciznost | priklic | F1 |
|---------|---------|------------|---------|--------|
| njiva | 0,9012 | 0,9532 | 0,9429 | 0,9480 |
| travnik | 0,8802 | 0,9251 | 0,9477 | 0,9363 |
| gozd | 0,9294 | 0,9494 | 0,9778 | 0,9634 |
| urbano | 0,8966 | 0,9647 | 0,9270 | 0,9455 |
| voda | 0,9735 | 0,9982 | 0,9752 | 0,9866 |

Uspešnost modela, ki je za učenje uporabljal celotno časovno vrsto, smo preizkusili na treh posnetkih PlanetScope v letu 2020 (januar, april in julij) na območju Velenja (preglednica 3). Najboljše rezultate smo dobili julija, ko je na posnetku najmanj senc in je večina vegetacije na višku ozelenelosti. Najbolj homogeni razredi (gozd, travniki) so imeli tudi najboljšo kombinirano natančnost $F1$. Najslabše rezultate dobimo januarja, ko so na posnetku dolge sence in slabše svetlobne razmere. Večino večjih senc je model klasificiral v vodo, kar je vidno na nizki vrednosti preciznosti. V vseh primerih pa smo dobili zelo slabe rezultate za razred njiva. Razlog za tako slabe vrednosti metrik je v manjšem številu učnih vzorcev za ta razred in v veliki variabilnosti razreda skozi leto. Malenkost boljši rezultati so januarja, ko so njive načeloma brez pridelkov oziroma gole. Kljub uporabi ene same maske učnih vzorcev za vse posnetke so rezultati klasifikacij relativno dobri.

Različni rezultati klasifikacije pokrovnosti za testirane posnetke (Velenje in okolica) so vidni na sliki 5. Naučen model smo testirali na posnetkih, zajetih v treh različnih časovnih obdobjih. Glede na sezono zajema posnetka, so rezultati klasifikacije različni in večinoma odražajo stanje vegetacije.



Slika 4: Primeri klasifikacije pokrovnosti z različnimi modeli.

Preglednica 3: Evalvacija posnetkov PlanetScope iz testnega območja (mesto Velenje z okolico) za vse tri izbrane posnetke, zajete v različnih mesecih v letu 2020.

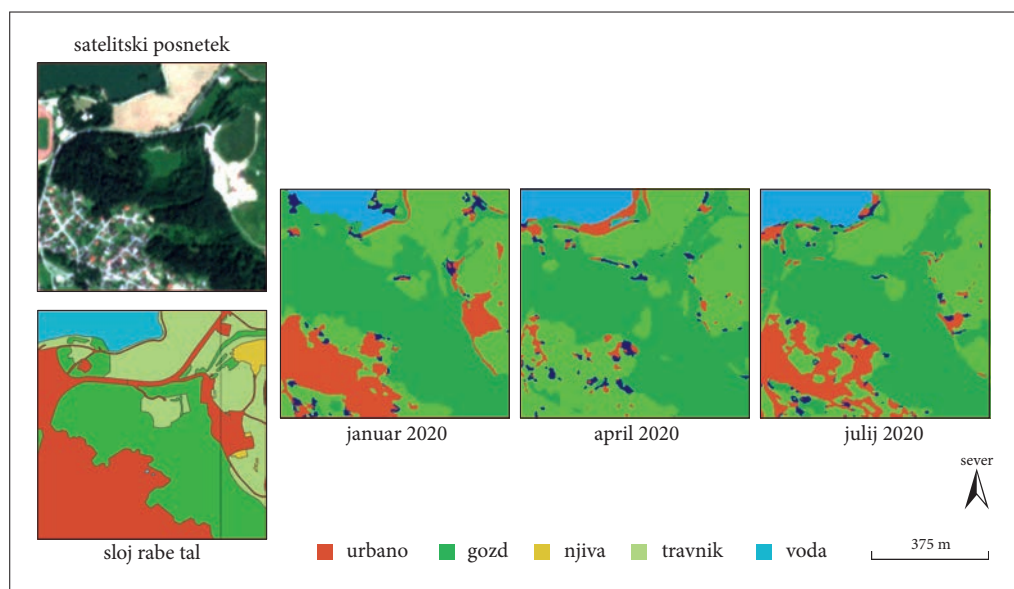
| | januar 2020 | | | april 2020 | | | julij 2020 | | |
|---------|-------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|---------|--------|
| razred | preciznost | priklic | F1 | preciznost | priklic | F1 | preciznost | priklic | F1 |
| njiva | 0,2996 | 0,0221 | 0,0411 | 0,2205 | 0,0176 | 0,0327 | 0,1977 | 0,0117 | 0,0221 |
| travnik | 0,6581 | 0,5468 | 0,5973 | 0,6960 | 0,6788 | 0,6873 | 0,7331 | 0,7056 | 0,7191 |
| gozd | 0,7744 | 0,8839 | 0,8255 | 0,8264 | 0,9496 | 0,8837 | 0,8421 | 0,9641 | 0,8990 |
| urbano | 0,6373 | 0,4516 | 0,5286 | 0,7316 | 0,4881 | 0,5855 | 0,7682 | 0,5648 | 0,6510 |
| voda | 0,2206 | 0,6811 | 0,3332 | 0,9094 | 0,6929 | 0,7865 | 0,8734 | 0,7226 | 0,7909 |

Klasifikacije bolje orišejo obrise nekaterih objektov kot sloj rabe tal MKGP, katerega smo uporabili pri analizi točnosti. Posebno pri julijski klasifikaciji je urbano območje bolje segmentirano, saj so na območju prisotni tudi travniki in gozd. Poleg tega se ponekod na sliki vidi tudi slaba točnost določenih objektov, posebno obdelovalnih površin oziroma njiv.

Na koncu smo izračunali še skupno točnost za vse razrede. Izračunamo jo kot razmerje med pravnimi primeri in vsemi primeri oziroma napovedmi:

$$\text{skupna točnost} = \frac{\text{pravilni primeri}}{\text{število vseh primerov}}$$

Rezultati analiz posnetkov v okolici mest Koper in Velenje so prikazani v preglednici 4. Rezultati na učnem območju, ko uporabimo manjše število vhodnih podatkov, so pričakovano slabši. Presenetni pa le manjši upad točnosti (za približno 4 %), če za učenje uporabimo časovno vrsto v trajanju le enega



Slika 5: Detajl območja mesta Velenje in izračunani rezultati klasifikacije pokrovnosti na treh testnih posnetkih PlanetScope.

Preglednica 4: Skupna točnost analiz na posnetkih PlanetScope. Vse tri modele smo ocenili samo na posnetku Kopra, za območje Velenja pa smo izbrali model celotne časovne vrste.

| posnetek | skupna točnost [%] |
|--|--------------------|
| Koper julij 2020 – model celotne časovne vrste | 95,77 |
| Koper julij 2020 – model 2018 - 2019 | 93,69 |
| Koper julij 2020 – model 2019 | 91,64 |
| Velenje julij 2020 | 80,55 |
| Velenje april 2020 | 78,27 |
| Velenje januar 2020 | 70,44 |

leta. Za posnetke Velenja smo dobili okoli 80 % točnost, razen za januarski posnetek, kjer je bila točnost klasifikacije okoli 70 %. Ta rezultat je posledica slabe klasifikacije njiv in vode ter nekoliko slabše klasifikacije gozda in travnikov, ki sta prevladujoča tipa pokrovnosti na tem območju.

5 Sklep

V prispevku smo opisali uporabo postopka semantične segmentacije satelitskih posnetkov visoke ločljivosti. Za učenje smo uporabili časovno vrsto posnetkov PlanetScope in podatke o rabi tal MKGP, ki smo jih vstavili v nevronske mreže arhitekture U-Net. Kljub temu, da nevronska mreža ni uporabila prenosa znanja oziroma predučenih uteži, so rezultati hitro konvergirali. Testirali smo tri različne modele, ki so služili za klasifikacijo testnih posnetkov iz treh različnih časovnih obdobij. Na testnih posnetkih smo dosegli točnost okoli 80 %, razen za zimski posnetek, kjer je bila točnost okoli 70 %. Slabši rezultati klasifikacije so predvsem posledica neusklajenih razredov med učnimi oziroma referenčnimi podatki (raba tal MKGP) in dejansko situacijo pokrovnosti na satelitskih posnetkih v času zajema. Sloj rabe tal je pogosto posplošen (na primer urbane površine). Obenem je tudi na satelitskih posnetkih težko določiti nekatere razrede. Na primer njive so zaradi ozelenelosti poljščin v določenem časovnem obdobju identične razredu travnik, zato so posledično napake pri klasificiranju tega razreda glede na fenološki razvoj pričakovane. Prav tako so za uspešnost zaznave pomembni deleži učnih vzorcev. Tisti razredi, ki so večinsko zastopani, so ponavadi vedno boljše klasificirani, saj so tudi njihovi učni vzorci pogostejši.

Dobljeni rezultati klasifikacije potrjujejo, da je postopek lahko uspešen in pogojno primeren za klasifikacijo pokrovnosti v osnovne razrede. Uspešnost bi lahko povečali z uporabo daljše časovne vrste ter z uporabo natančnejšega sloja učnih vzorcev, posebno za razred obdelovalnih kmetijskih površin.

Za izboljšanje uspešnosti klasifikacije je na voljo še več možnosti. Poleg izboljšanja učnih vzorcev, razširitev območij učenja in izdelave mask za vsak posnetek posebej, bi lahko učenje prilagodili letnemu času. Prilagojen model bi nato uporabili za klasifikacijo posnetkov iz obdobja, na katerem smo model učili. Klasifikacijo bi lahko izboljšali tudi z uporabo naprednejših arhitektur nevronske mreže ali njihovih kombinacij, ki bi bile prilagojene prav za določeno nalogo (na primer Li s sodelavci 2022).

ZAHVALA: Raziskava je bila opravljena v okviru projekta J2-9251, J6-9395 in programa P6-0079, ki jih financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

6 Viri in literatura

- Badrinarayanan, V., Kendall, A., Cipolla, R. 2017: SegNet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 39. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2644615>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. 2016: Deep residual learning for image recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Piscataway. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- Henry, C. J., Storie, C. D., Palaniappan, M., Alhassan, V., Swamy, M., Aleshinloye, D., Curtis, A., Kim, D., 2019: Automated LULC map production using deep neural networks. *International Journal of Remote Sensing* 40. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1563840>
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., Adam, H., 2017: MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv:1704.04861 [cs]. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.04861>

- Jadon, S. 2020: A survey of loss functions for semantic segmentation. 2020 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB). Piscataway. DOI: <https://doi.org/10.1109/CIBCB48159.2020.9277638>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E., 2012: ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* 25 (NIPS 2012). Red Hook.
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., Jackel, L. D. 1989: Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Computation* 1. DOI: <https://doi.org/10.1162/neco.1989.1.4.541>
- Li, H., Li, Y., Zhang, G., Liu, R., Huang, H., Zhu, Q., Tao, C. 2021: Remote sensing images semantic segmentation with general remote sensing vision model via a self-supervised contrastive learning method. *arXiv:2106.10605v1 [cs.CV]*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.10605>
- Li, X., Li, T., Chen, Z., Zhang, K., Xia, R. 2022. Attentively learning edge distributions for semantic segmentation of remote sensing imagery. *Remote Sensing* 14-1. <https://doi.org/10.3390/rs14010102>
- Long, J., Shelhamer, E., Darrell, T., 2015. Fully convolutional networks for semantic segmentation. *arXiv:1411.4038 [cs]*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4038>
- Mangafić, A., Žagar, T. 2020: Izdelava visokoločljivega sintetičnega ortofota na osnovi posnetkov Sentinel-2 z uporabo super-ločljivostnih generativnih nasprotniških mrež. *Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji* 15. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_07
- MKGP – Portal, 2022. Medmrežje: <https://rkg.gov.si/vstop/> (25. 2. 2022).
- Noh, H., Hong, S., Han, B. 2015: Learning deconvolution network for semantic segmentation. *arXiv:1505.04366 [cs]*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04366>
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. 2015. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *arXiv:1505.04597 [cs]*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>
- Šanca, S., Oštir, K., Mangafić, A. 2021: Zaznavanje stavb z uporabo nevronske mreže, učenih s prenosom znanja. *Geodetski vestnik* 65. <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2021.04.559-593>
- Simonyan, K., Zisserman, A. 2015: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv:1409.1556 [cs]*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>
- Smole, T. 2019: Globoko učenje za segmentacijo in klasifikacijo cestišča. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko. Ljubljana.
- Soydaner, D. 2020: A comparison of optimization algorithms for deep learning. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* 34. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0218001420520138>
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., Wojna, Z. 2016: Rethinking the inception architecture for computer vision. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Piscataway. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>
- Tong, X.-Y., Xia, G.-S., Lu, Q., Shen, H., Li, S., You, S., Zhang, L. 2020: Land-cover classification with high-resolution remote sensing images using transferable deep models. *Remote Sensing of Environment* 237. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111322>
- Yu, Y., Adu, K., Tashi, N., Anokye, P., Wang, X., Ayidzoe, M.A., 2020. RMAF: Relu-Memristor-Like Activation Function for deep learning. *IEEE Access* 8. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987829>

ZBIRANJE PROSTOVOLJNIH FOTOGRAFIJ TOPOGRAFSKIH SPREMEMB TER OCENA NJIHOVE UPORABNOSTI

Natalija Novak

Geodetski inštitut Slovenije

natalija.novak@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-3867>

dr. David Jesenko

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

david.jesenko@um.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4947-9521>

dr. Urška Drešček

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

urska.drescek@fgg.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6450-9821>

dr. Mihaela Triglav Čekada

Geodetski inštitut Slovenije in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

mihaela.triglav@gis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4200-2616>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_26

UDK: 528.7:711.14(497.4)

IZVLEČEK

Zbiranje prostovoljnih fotografij topografskih sprememb ter ocena njihove uporabnosti

V prispevku smo predstavili izvedbo treh zbiranj fotografij topografskih sprememb na izbranih množicah prostovoljcev. Zbirali smo fotografije sprememb v prostoru, ki so lahko uporabne za vzdrževanje topografske karte v merilu 1 : 5000 oziroma podatkov t. i. državnega topografskega modela.

Skupno je v treh zbiranjih prostovoljnih geografskih informacij sodelovalo 195 potencialnih prostovoljcev: vsi zaposleni Geodetskega inštituta Slovenije, del zaposlenih UM FERI, študentje dveh letnikov UM FERI in študentje treh letnikov UL FGG. Na poziv se je skupno odzvalo 62 prostovoljcev s 567 fotografijami, ki so prikazovale 358 sprememb v prostoru (posamezne spremembe so bile posnete z več fotografijami, nekatere spremembe je fotografiralo več prostovoljcev). Ko smo analizirali odziv, smo ugotovili, da se je v skupinah, kjer sodelujoči niso dobili nobenih bonitet odzvalo 26 % potencialnih prostovoljcev, v skupinah, ki so imele manjšo boniteto, pa je bil ta delež celo 40 %. Analiza potencialne uporabnosti fotografij za zajem vektorskih podatkov in/ali samo pridobitev atributnih podatkov je pokazala, da je kar 92 % fotografij potencialno uporabnih za posodabljanje vsebin na topografski karti merila 1 : 5000

KLJUČNE BESEDE

prostovoljne geografske informacije, nemerske fotografije, topografske spremembe, odzivnost prostovoljcev

ABSTRACT

Collecting voluntary photographs of topographic changes and the analysis of their usefulness

This paper presents three controlled campaigns for collecting volunteer photographs of topographic changes. We collected photographs of spatial changes that may be useful for the maintenance of the 1:5000 scale topographic map or the data of the so-called national topographic model. A total of 195 potential volunteers took part in those three volunteered geographic information (VGI) campaigns: all employees of the Geodetic Institute of Slovenia, part of the employees of UM FERI, two classes of students on UM FERI and

three courses of students on UL FGG. A total of 62 volunteers responded to the call with 567 photographs showing 358 spatial changes (some individual changes were captured by several photographs; several volunteers photographed the same changes). The analysis of responses showed that in the groups where the participants were given no bonus, 26% of the potential volunteers responded. In the groups where they received a specific smaller bonus, the response rate was as high as 40%. The analysis of the potential usefulness of the photographs for capturing vector data and/or for extracting only attribute data showed that 92% of the photographs are potentially useful for updating the content of the 1:5000 scale topographic map.

KEY WORDS

volunteered geographic information, nonmetric photographs, topographic changes, response of volunteers

1 Uvod

Vedno večje potrebe po pridobivanju georeferenciranih podatkov o okolju so v zadnjem desetletju privedle do večjega zanimanja za pridobivanje tako imenovanih prostovoljnih geografskih informacij (angleško *volunteered geographic information*, VGI) ali geografskih informacij množičnih virov (angleško *Crowdsourced Geographic Information* – CGI). Prostovoljne geografske informacije so vsi podatki v bodisi besedilni, slikovni, video ali kakršnikoli drugi obliki, ki na kakršenkoli način vsebujejo podatek o geografski lokaciji dogodka. Izraz *volunteered geographic information* je prvi sestavil Goodchild (2007) in prostovoljne geografske informacije opredelil kot podatke o prostoru, ki jih načeloma nestrokovnjaki prostovoljno pridobivajo in delijo preko svetovnega spleta.

Razvoj tehnologije po letu 2007 je povzročil velik razcvet na tem področju. Prostovoljne geografske informacije se uporabljajo na številnih področjih: za spremljanje naravnih nesreč (Triglav Čekada in Radovan 2019; McDougall in Temple Watts 2012; McDougall 2012), za posodabljanje in sodelovalno kartiranje prosto dostopnih spletnih kart (kot na primer *OpenStreetMap*, *Wikimapia*), za posodabljanje uradnih državnih topografskih kart (Triglav Čekada in Lisec 2019), za spremljanje rabe zemljišč ali pokrovnosti tal na svetovni ravni (Fritz, See in Brovelli 2017) in drugo. Številne znanstvene raziskave na temo prostovoljnih geografskih informacij so zbrane v monografiji *European Handbook of Crowdsourced Geographic Information* (Capineri s sodelavci 2016). Poleg različnih primerov uporabe prostovoljnih geografskih informacij se avtorji v posameznih primerih dotaknejo tudi ocene kakovosti tako pridobljenih podatkov (Criscuolo s sodelavci 2016; Ali in Schmid 2014).

V prispevku se bomo osredinili na potencial prostovoljnih geografskih informacij za uporabo pri posodabljanju in vzdrževanju državnih topografskih kart. Izdelava in posodabljanje državnih topografskih kart sta običajno v domeni državnih kartografskih služb oziroma javnih geodetskih uprav. Te imajo v evropskih državah vzpostavljene standardizirane postopke, kako vzdrževati prostorske podatke, ki so pod njihovim okriljem (Triglav Čekada in Lisec 2019). Eden izmed glavnih izzivov uporabe prostovoljnih geografskih informacij še vedno ostaja, kako k sodelovanju pritegniti čim večje število prostovoljcev in kako njihovo dejavnost med akcijo zbiranja podatkov ohraniti. Saj je od tega odvisna ne samo uspešnost akcije zbiranja prostovoljnih geografskih informacij, ampak tudi popolnost in pravilnost podatkovnih slojev, ki so z njihovo pomočjo izdelani (Fritz, See in Brovelli 2017). Pri uporabi prostovoljnih geografskih informacij za posodabljanje državnih kart se moramo zavedati tudi, da odpravljanje napak na kartah za potencialne prostovoljce ni tako zanimivo kot prijavljanje posledic naravnih ujem in bomo zato v vsakem primeru dosegli bistveno manjši odziv (Triglav Čekada in Radovan 2021).

2 Metode dela

V okviru aplikativnega raziskovalnega projekta L2-1826: *Lidarsko podprte prostovoljske geografske informacije za ugotavljanje topografskih sprememb*, želimo razviti optimalno metodologijo za posodabljanje topografskih kart, ki bo vključevala še možnost uporabe podatkov pridobljenih s pomočjo prostovoljnih geografskih informacij, osredinili smo se na prostovoljne fotografije. Obstoječa metodologija za posodabljanje državne topografske karte merila 1 : 5000 oziroma državnega topografskega modela (DTM) temelji na kombiniranem fotogrametričnem zajemu na osnovi izdelkov Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) in Laserskega skeniranja Slovenije (LSS). Kombiniran zajem pomeni, da se za optimalno določitev 3D-razsežnosti in atributov prostorskih objektov uporablja stereozajem na osnovi stereofotografij CAS in podatkov LSS. Pri podatkih LSS se uporabi digitalni model reliefa z velikostjo celice 1 m × 1 m (DMR1) ali georeferenciran in klasificiran oblak laserskih točk (GKOT), pri katerem se uporabi klasifikacijski razred »tla«. Fotointerpretacijo lahko na odprtem terenu v celoti izvedemo s pomočjo uporabe stereofotografij CAS, na olistnatem terenu pa se geometrija pripenja

na posamezne obstoječe točke ali pa interpolira novo vrednost s pomočjo uporabe dveh ali več sosednjih točk DMR1 ali GKOT (Duhovnik s sodelavci 2016).

Po obstoječi metodologiji vzdrževanja državne topografske karte 1 : 5000 se zajema in vzdržuje osem objektnih tipov, znotraj treh objektnih skupin (preglednica 1).

Posnetki cikličnega aerofotografiranja Slovenije so profesionalni, to je orientirani, merski, stereo-grafski in vertikalni (posnetki z letala). Za razliko od profesionalnih fotografij gre pri prostovoljnih fotografijah v večini primerov za nemerske fotografije kar pomeni, da na njih ne moremo neposredno izvajati prostorskih meritev položaja ali razdalj. Lahko pa takšne fotografije v kombinaciji z informacijo o lokaciji zajema fotografije in ustrezno obdelavo predstavljajo dodaten vir za zajem podatkov.

Nemerske fotografije lahko danes orientiramo in uporabimo za 3D-zajem z različnimi novjšimi cenovno dostopnimi fotogrametričnimi metodami ali nestandardnimi fotogrametričnimi metodami za obdelavo posamezne fotografije (več v Triglav Čekada, Novak in Oven 2021). V našem primeru, ko imamo na razpolago povečini samo eno fotografijo, smo se odločili, da bomo uporabili interaktivno metodo orientacije fotografije na podlagi digitalnega modela reliefa (DMR) ali lidarskega georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk (GKOT). Metoda interaktivne orientacije temelji na iskanju najbolj ujemajoče se projekcije točk DMR ali GKOT na prikazano projekcijo vsebine s fotografije, kot pomoč pri orientaciji pa nam lahko služijo na primer vektorji cest. Po uspešno izvedeni orientaciji lahko določimo 3D-koordinate zelenih točk na posnetku tako, da izbiramo projicirane točke DMR ali GKOT, ki se najbolj ujemajo s podrobnostjo na posnetku, ki jo želimo zajeti. Podrobnosti o tej metodi in različni primeri uporabe so opisani v Triglav Čekada, Bric in Zorn (2014), Triglav Čekada s sodelavci (2020) ter Triglav Čekada, Novak in Oven (2021).

V letih 2020 in 2021 smo izvedli tri zbiranja fotografij topografskih sprememb. Da bi lahko proučili delež odziva potencialnih prostovoljcev, smo izvedli nadzorovana zbiranja fotografij različnih topografskih sprememb. To pomeni, da smo poziv poslali skupini ljudi za katero smo vedeli, kako velika je in kdo je vključen v njo. Pri prvem zbiranju topografskih sprememb smo prošnjo za sodelovanje poslali zaposlenim na Geodetskem inštitutu Slovenije (zaposleni GI) in zaposlenim enega oddelka Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerze v Mariboru (zaposleni UM FERI). Pri drugem zbiranju smo za sodelovanje prosili študente enega letnika Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) ter študente enega letnika Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru (UM FERI). Pri tretjem zbiranju pa sta sodelovala dva letnika UL FGG in en letnik UM FERI. V prvem primeru, kjer smo vključili zaposlene, smo zbiranje izvedli tako, da smo jim prošnjo za posredovanje fotografij topografskih sprememb ter navodila poslali preko elektronske pošte. Pri drugem in tretjem zbiranju, torej v primeru študentov, smo zbiranje fotografij sprememb izvedli v okviru praktičnih vaj na omenjenih fakultetah. Zbiranje fotografij je pote-

Preglednica 1: Objektna področja in objektni tipi državne topografske karte merila 1 : 5000 ali državne-ga topografskega modela (DTM), ki se zajemajo po obstoječi metodologiji (Navodila za zajem ... 2019).

| objektna skupina | | objektni tip |
|------------------|-----------|-----------------------------|
| 100 | ZGRADBE | 101 stavba |
| | | 102 druga zgradba |
| | | 103 naprava |
| | | |
| 200 | TRANSPORT | 201 cesta |
| | | 202 cestna površina |
| | | 203 železnica |
| | | 204 žičnica |
| 600 | RABA | 601 površina v posebni rabi |
| | | |

kalo kot dodatna prostovoljna vaja. Študenti so prejeli navodila za izvedbo vaje preko spletne učilnice, kamor so pozneje svoje prispevke tudi odložili.

Prostovoljce smo prosili naj nam pošljejo fotografije iz njihove okolice, ki prikazujejo spremembe v prostoru (novo zgrajen objekt, nova cesta, novo križišče in podobno). Poudarili smo, da naj pri tem ocena ali gre za novost v prostoru temelji zgolj na osebni presoji oziroma da spremembe ni potrebno preverjati na primer *OpenStreetMap* ali drugih spletnih kartah. Pri prvem zbiranju smo prostovoljcem pustili precej na široko odprto kakšen tip sprememb lahko posredujejo, da bi lahko ocenili deleže prejetih fotografij po objektnih tipih. Ker pa smo večinoma dobili samo spremembe na stavbah in cestah, smo se pri naslednjih dveh zbiranjih osredinili le na njih. Poudarek pri drugem zbiranju je bil na stavbah, pri tretjem pa na cestah in cestnih površinah. Velik poudarek v prošnji je bil tudi na tem, da nam naj za vsako fotografijo posredujejo tudi podatek o lokaciji spremembe oziroma točki stojišča fotografije. Večina prostovoljcev je pred zajemom fotografije na svojem pametnem telefonu vklopila možnost *vkluči lokacijo*, kar je omogočilo samodejno shranjevanje lokacije zajema posamezne fotografije. Ostali sodelujoči so lokacijo podali opisno, s prikazom na karti ali pa z različnimi kombinacijami (na primer opisno + prikaz na karti).

Triglav Čekada in Radovan (2021) sta že v sklopu predhodne obsežne spletne ankete potencialnih prostovoljcev ugotovila, da vsem potencialnim prostovoljcem ni dovolj, da lahko oddajajo podatke samo preko e-pošte in posebne namenske aplikacije za zbiranje sprememb na karti, zato smo naše prostovoljce vprašali še o njihovih preferencah. Poleg prošnje z navodili za posredovanje fotografij, oziroma naknadno pri prvi skupini, smo udeležencem zato poslali tudi vprašanje v katerem nas je zanimalo kako (to je preko katere platforme oziroma aplikacije) bi najraje poslali spremembo, če bi lahko prosto izbrali. Ponudili smo jim naslednje možne odgovore: *Viber, elektronska pošta, WhatsApp, Facebook messenger, Instagram, Snapchat, Signal, Google Drive, Dropbox, WeTransfer, posebno namensko aplikacijo za zbiranje sprememb na karti, lahko bi uporabil več aplikacij (naštetih katere) in drugo*.

Pri načrtovanju in izvedbi nadzorovanega zbiranja prostovoljnih geografskih informacij z namenom posodabljanja kart smo si pomagali s primeri iz tujine. Triglav Čekada in Lisec (2019) ter Triglav Čekada in Radovan (2019) so povzeli nekatere glavne poudarke, ki smo jih upoštevali tudi pri načrtovanju naših zbiranj prostovoljnih fotografij:

- potencialne prostovoljce je potrebno intenzivno obveščati o zbiranju,
- navodila za prostovoljce morajo biti kratka in jedrnatna in enostavno razumljiva,
- med prostovoljci je manjšina takih, ki so zelo aktivni in oddajo veliko število željenih podatkov ter večina, ki odda samo en podatek,
- dolga in zahtevna navodila prostovoljce odvrnejo od sodelovanja.

Poudariti je treba, da lahko želja po tem, da prostovoljcem čim bolj približamo in poenostavimo sodelovanje, marsikdaj privede do slabše kakovosti prejetih podatkov. Pomembno je torej, da v naknadnem koraku obdelave in uporabe tako pridobljenih informacij več pozornosti namenimo njihovi kakovosti (Mooney s sodelavci 2016; Olteanu Raimond s sodelavci 2017).

Prejete fotografije topografskih sprememb smo na podlagi dosedanjih izkušenj (Triglav Čekada, Novak in Oven, 2021) z uporabo metode interaktivne orientacije fotografij uvrstili v štiri kategorije uporabnosti (preglednica 2).

3 Rezultati

Prošnjo za sodelovanje smo posredovali 195 potencialnim prostovoljcem, odzvalo se jih je 62. V celoti smo v okviru vseh treh nadzorovanih zbiranj topografskih sprememb v prostoru prejeli 567 fotografij. Te fotografije prikazujejo 358 sprememb v prostoru. Razlika med številom fotografij in sprememb je posledica tega, da so nekateri prostovoljci isto spremembo fotografirali večkrat ter iz različnih stojišč, nekajkrat pa smo fotografijo iste spremembe prejeli od dveh ali več prostovoljcev. Večina sodelujočih je poslala

fotografije, ki prikazujejo več topografskih sprememb, kjer je bila posamezna sprememba posneta z eno ali več fotografijami. Največje število prejetih sprememb od posameznega prostovoljca je 33. Na sliki 1 so prikazane lokacije zajema fotografij topografskih sprememb za fotografije zbrane v vseh treh zbiranjih.

Kot smo izpostavili v drugem poglavju, moramo, da bi dosegli čim boljši odziv prostovoljcev, le-te med drugim sproti in intenzivno obveščati o zbiranju ter pogosto komunicirati z njimi. Za vsako izmed treh zbiranja topografskih sprememb smo določili datum, do katerega naj udeleženci podatke oddajo. Med prvim zbiranjem smo prostovoljce, v kolikor je bilo to mogoče, o zbiranju opominjali še individualno, nekaj dni pred iztekom pa je bil vedno poslan skupni opomnik celotni testni skupini. V primeru drugega in tretjega zbiranja smo vedno opominjali celotno skupino potencialnih prostovoljcev, sproti ustno na vajah in predavanjih, na koncu pa še pisno. V preglednici 3 je prikazano, koliko prostovoljcev se je odzvalo na prošnjo za posredovanje fotografij topografskih sprememb do roka, brez pisnega opomnika in koliko jih je poslala fotografije naknadno, po opomniku. Rezultate smo 2. in 3. skupini prostovoljcev predstavili tudi v okviru rednih predavanj takoj po sami izvedbi zbiranja.

V povprečju, če upoštevamo vsa tri zbiranja, se je do roka odzvalo slabih 46 % tistih, ki so nam oddali prispevek. Preostanek fotografij smo prejeli potem, ko smo udeležence ponovno opomnili. Samo pri zadnjem zbiranju se je največ prostovoljcev odzvalo še preden smo jih ponovno opomnili, najverjetneje pa je dodatno opozorilo prispevalo, da se je na koncu odzvalo še več prostovoljcev. Skupno se je odzvalo 32 % potencialnih prostovoljcev.

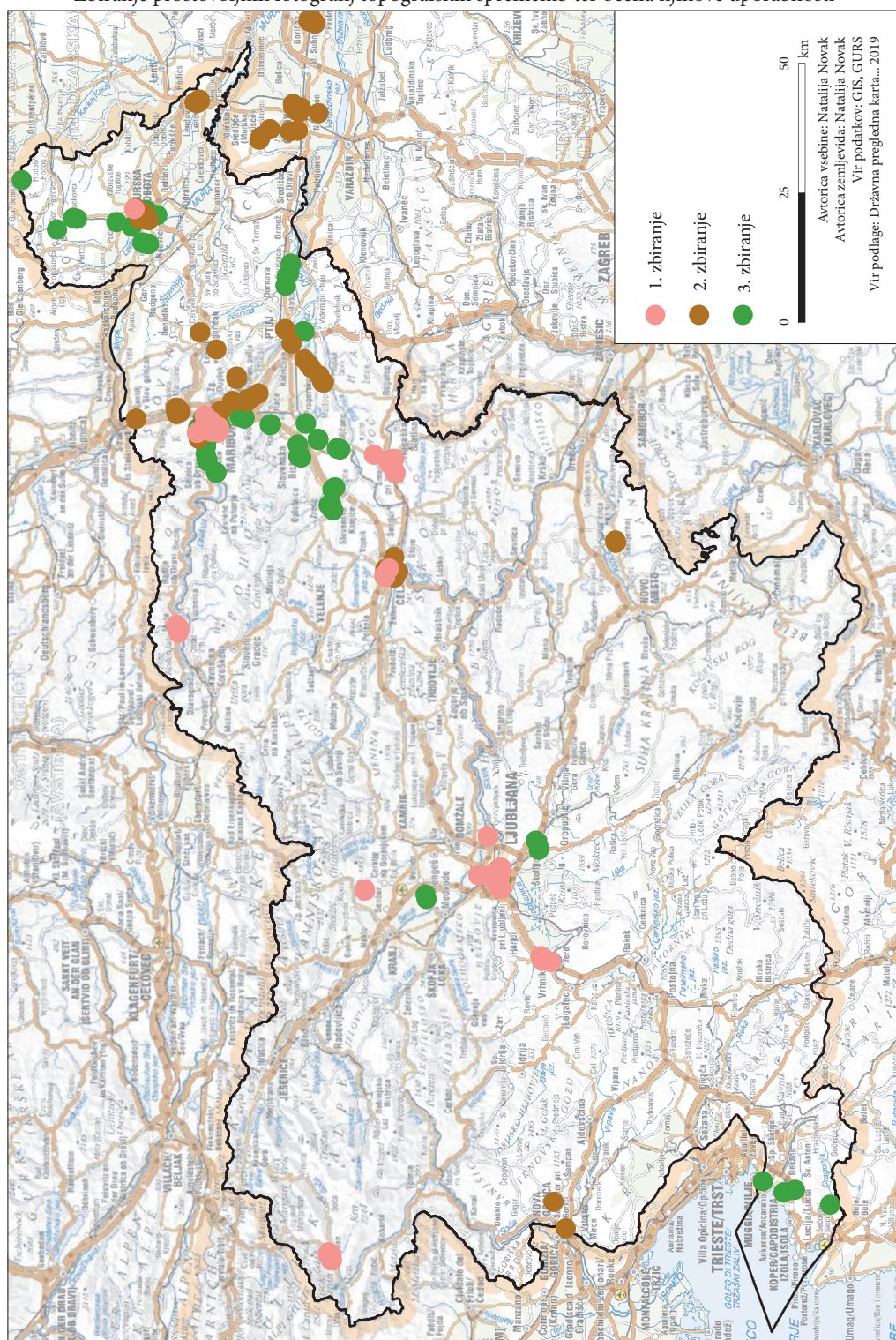
Če si podrobneje ogledamo še razliko med vključenimi študenti v drugo in tretjo zbiranje prostovoljnih fotografij, ugotovimo, da so bili veliko bolj odzivni študenti na UM FERL. V obeh zbiranjih študenti na UL FGG za oddano nalogo niso pri predmetu dobili nobene bonitete pri oceni vaj. Študente UM FERL pa so se v osnovi lahko prostovoljno odločili za sodelovanje, vendar pa so tisti, ki so se zato odločili, vseeno imeli določeno boniteto v okviru vaj v obliki plus točk. Če združimo prvo skupino zaposlenih,

Preglednica 2: Kategorije uporabnosti, v katere smo razdelili prejete prostovoljne fotografije, za zajem podatkov ali samo pridobivanje tematskih atributov.

| kategorija | opis | primeri |
|------------|--|---|
| 1 | Fotografijo lahko orientiramo s programom za interaktivno orientacijo ter iz nje pridobimo predpisano geometrijo in nekatere tematske attribute. | Novozgrajene in obstoječe ali obnovljene stavbe, cestne površine, sprememba poteka vodotoka. |
| 2 | Fotografijo lahko orientiramo s programom za interaktivno orientacijo ter pridobimo lokacijo spremembe (točkovni atribut) in nekatere tematske attribute. | Porušene stavbe. |
| 3 | Fotografije ne moremo orientirati s programom za interaktivno orientacijo, saj je na fotografiji premalo oslonilnih točk, lahko pa iz nje pridobimo nekatere tematske attribute. | Novozgrajene in obstoječe/obnovljene stavbe, porušene stavbe, cestne površine, sprememba poteka vodotoka. |
| 4 | Fotografija je neuporabna. | Fotografija spremembe, ki je neuporabna za posodabljanje DTM, na primer nova fasada. |

Slika 1: Lokacije zajema fotografij topografskih sprememb ločeno po barvah za vsa tri zbiranja: 1. zbiranje – pozimi 2020/2021, 2. zbiranje - letni semester 2020/2021, 3. zbiranje – zimski semester 2021/2022. ► (str. 327)

Zbiranje prostovoljnih fotografij topografskih sprememb ter ocena njihove uporabnosti



ki prav tako ni prejela nobenih bonitet in študente drugih dveh zbiranj iz UL FGG ugotovimo, da se je na zbiranja odzvalo 26 % potencialnih prostovoljcev, pri obeh skupinah študentov UM FERI pa je bil odziv 40 %.

Pri izvedbi prvega zbiranja smo prostovoljce prosili naj nam fotografije sprememb posredujejo po elektronski pošti, med zbiranjem smo na njihovo pobudo dodali tudi možnost pošiljanja preko aplikacij *Viber* in *WhatsApp*. Pri preostalih dveh zbiranjih so prostovoljci zaradi lažje izvedbe fotografije sprememb odložili na spletno učilnico. Nas pa je še vedno zanimalo preko katere platforme oziroma aplikacije bi prostovoljci najraje poslali spremembo, če bi lahko prosto izbirali. Zato smo vsem sodelujočim hkrati s prošnjo za posredovanje fotografij sprememb poslali še vprašanje: »*Katero platformo oziroma aplikacijo bi uporabili za oddajo fotografij, če bi lahko izbirali?*«. Na vprašanje so nam z izjemo enega posameznika odgovorili vsi, ki so nam poslali fotografije, to je 61 prostovoljcev.

Največ udeležencev (33 %) je izbralo možnost *lahko bi uporabil več aplikacij: našej katere*. Zelo prijetna odgovora sta bila tudi *elektronska pošta* (18 %) ter uporaba aplikacije *WeTransfer* (11 %), predvsem so se za slednjo možnost pogosteje opredelili študenti UM FERI. Slabih 5 % vprašanih je izbralo odgovor *drugo*, kamor so dopisali aplikacije: *OneDrive*, *Google Cloud*, *Session* in *Teams*. Samo 8 % pa bi izbralo posebno namensko aplikacijo za zbiranje sprememb na karti.

Prostovoljci so nam skupno posredovali fotografije 358 sprememb, ki so jih opazili v svoji okolici. Spremembe smo na podlagi objektnega kataloga razvrstili v ustrezne kategorije objektnih tipov. Največ sprememb se je uvrstilo v objektni tip *ceste*, in sicer dobrih 47 % sprememb. Slabih 44 % sprememb se uvršča v objektni tip *stavba*. Sledijo cestne površine s 5,3 % in *površina v skupni rabi* z manj kot enim odstotkom. Pod *drugo* so zbrane spremembe, ki jih ne moremo uvrstiti v nobeno kategorijo objektnega kataloga (otroška igrala, nova fasada in podobno). Pri drugem zbiranju prostovoljnih fotografij sprememb smo poudarili, da naj se udeleženci osredinijo predvsem na objektni tip *stavbe*, medtem ko smo pri tretjem zbiranju izpostavili *ceste*. Temu primerne so tudi številke v preglednici 5, kjer je lepo vidno, da so pri drugem zbiranju študenti poslali največ sprememb *stavb*, v tretjem pa *cest*. Pri prvi izved-

Preglednica 3: Število prostovoljcev, ki je podatke poslalo v roku, brez opomnika in število tistih, ki so fotografije poslali po opomniku (št. oddanih/št. vseh vključenih potencialnih prostovoljcev).

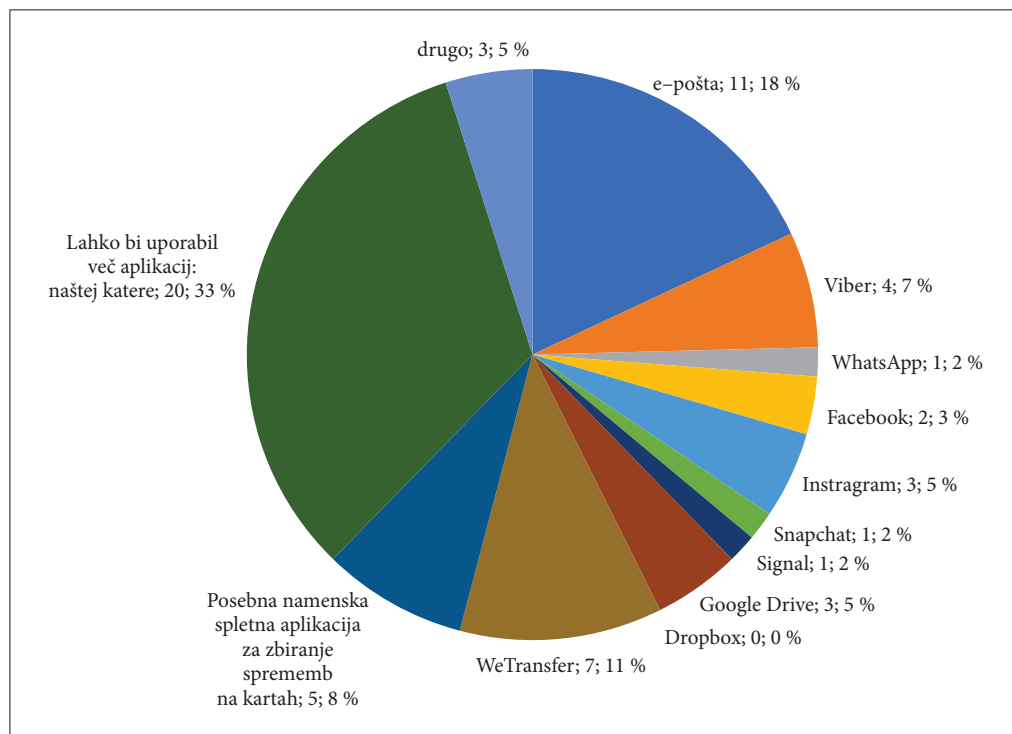
| zbiranje | oddano brez opomnika | oddano po opomniku | skupaj oddano | oddano v roku [%] | naknadno [%] |
|------------------------------|----------------------|--------------------|---------------|-------------------|--------------|
| 1. pozimi 2020/2021 | 9 | 11 | 20/81 | 45,0 | 55,0 |
| 2. letni semester 2020/2021 | 6 | 12 | 18/49 | 33,4 | 66,7 |
| 3. zimski semester 2021/2022 | 14 | 10 | 24/65 | 58,3 | 41,7 |
| | | | povprečje | 45,6 | 54,4 |

Preglednica 4: Število prostovoljcev, ki je podatke poslalo, glede na vse katerim smo poslali poziv (prostovoljci, ki so nam oddali fotografije / celotna skupina kateri se je poslalo poziv).

| Zbiranje | GI + zaposleni UM FERI prejeta/vsi | študenti UM FERI prejeta/vsi | študenti UL FGG prejeta/vsi | skupno število prostovoljcev |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1. pozimi 2020/2021 | 20/81 | / | / | 20 |
| 2. letni semester 2020/2021 | | 16/40 | 2/8 | 18 |
| 3. zimski semester 2021/2022 | | 15/37 | 9/28 | 24 |

bi zbiranja smo bili pri navodilih, kaj nam naj pošljejo, bolj splošni. Kljub temu so največkrat poslali fotografije iz objektnega tipa *stavba*, in sicer v petdesetih primerih.

Prejete fotografije smo na podlagi dosedanjih izkušenj z uporabo interaktivne orientacije (program IOR) uvrstili v štiri kategorije uporabnosti (Triglav Čekada, Novak in Oven 2021), ki so predstavljene tudi v preglednici 1. Največ fotografij smo uvrstili v kategorijo 1, in sicer dobrih 56 % fotografij – to pomeni, da bomo dobro polovico fotografij lahko uporabili za obdelavo vseh podatkov, ki nas zanimajo pri posodabljanju kart merila 1 : 5000. Sledi kategorija 3, v katero smo uvrstili slabih 27 % fotografij.



Slika 2: Grafični prikaz odgovora na vprašanje: »Katero platformo oziroma aplikacijo bi uporabil za pošiljanje fotografij topografskih sprememb, če bi lahko izbirali?«.

Preglednica 5: Objekti tipi prejetih sprememb.

| objektni tip | 1. zaposleni GIS in UM FERI | 2. študenti UM FERI in UL FGG | 3. študenti UM FERI in UL FGG | skupaj | skupaj [%] |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|------------|
| 101 stavba | 50 | 72 | 37 | 159 | 44,4 |
| 201 cesta | 34 | 50 | 86 | 170 | 47,5 |
| 202 cestna površina | 2 | 6 | 11 | 19 | 5,3 |
| 601 površina v skupni rabi | 0 | 3 | 0 | 3 | 0,8 |
| drugo | 1 | 4 | 2 | 7 | 2,0 |
| SKUPAJ | 87 | 135 | 136 | 358 | |

Manj kot 10 % smo jih uvrstili v kategorijo 2, približno 8 % fotografij pa je bilo neuporabnih in smo jih uvrstili v kategorijo 4 (preglednica 6). Če seštejemo kategorije 1, 2 in 3, to so vse kategorije iz katerih lahko potencialno pridobimo vsaj en atribut za posodabljanje kart, lahko uporabimo 92 % fotografij.

V nadaljevanju projekta bomo fotografije, ki spadajo v kategorijo 1, obdelali s pomočjo interaktivne orientacije in ocenili točnost tako izmerjenih geometrijskih podatkov za namene posodabljanja kart merila 1 : 5000.

Za vse spremembe, zajete na fotografijah, smo preverili, koliko poslanih sprememb je dejansko novosti v prostoru (torej sprememba ni vidna na najnovejšem ortofotu) in koliko jih je že vidnih na ortofotu. Pri analizi fotografij sprememb, prejetih v prvem in drugem zbiranju sprememb, ki smo jo izvedli maja 2021, smo stanje v naravi primerjali z zadnjim stanjem ortofota v tistem trenutku, ortofoti so bili posneti v letih 2018–2020. Januarja 2022 smo izvedli še analizo fotografij sprememb, prejetih v tretjem zbiranju. Pri tem smo že upoštevali tudi ortofote posnete v letu 2021.

Preglednica 6: Delež prejetih fotografij po posameznih kategorijah uporabnosti.

| kategorija | | 1. zaposleni GIS in UM FERI | 2. študenti UM FERI in UL FGG | 3. študenti UM FERI in UL FGG | skupaj | skupaj [%] |
|------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|------------|
| 1 | Fotografijo lahko orientiramo s programom za IOR ter pridobimo predpisano geometrijo in nekatere tematske attribute. | 107 | 87 | 125 | 319 | 56,3 |
| 2 | Fotografijo lahko orientiramo s programom za IOR ter pridobimo lokacijo spremembe (točkovni atribut) in nekatere tematske attribute. | 12 | 3 | 35 | 50 | 8,8 |
| 3 | Fotografije ne moremo orientirati s programom za IOR, lahko pa iz nje pridobimo nekatere tematske attribute. | 23 | 89 | 40 | 152 | 26,8 |
| 4 | Fotografija je neuporabna. | 6 | 16 | 24 | 46 | 8,1 |
| skupaj | | 148 | 195 | 224 | 567 | |

Preglednica 7: Rezultati primerjave dejanskega stanja v naravi z stanjem na zadnjih ortofotih CAS za vsa tri nadzorovana zbiranja topografskih sprememb.

| Ali je sprememba že vidna na ortofotu? | 1. zaposleni GIS in UM FERI | 2. študenti UM FERI in UL FGG | 3. študenti UM FERI in UL FGG | skupaj | skupaj [%] |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|------------|
| da | 26 | 15 | 39 | 80 | 22,3 |
| ne | 54 | 98 | 76 | 228 | 63,7 |
| lokacija spremembe ni znana | 7 | 0 | 0 | 7 | 2,0 |
| v gradnji | 0 | 0 | 12 | 12 | 3,4 |
| ne moremo določiti | 0 | 0 | 9 | 9 | 2,5 |
| SKUPAJ | 87 | 135 | 136 | 358 | 100 |

Iz preglednice 7 je razvidno, da več kot 63 % sprememb, vidnih na prostovoljnih fotografijah (na primer nova stavba, novo krožišče), v trenutku obdelave še ni bilo vidnih na takrat ažurnem državnem ortofotu. 22 % sprememb je bilo že vidnih, nekaj več kot 6 % sprememb pa se nahaja na območju Hrvaške in jih v statistiko primerjave z državnim ortofotom nismo vključili. Za sedem sprememb od prostovoljcev nismo prejeli podatka o lokaciji zajema fotografije, 12 sprememb je bilo v trenutku primerjave na ortofotu v procesu gradnje, za preostalih devet primerov pa primerjave nismo uspeli izvesti (sprememba je locirana pod podvozom, na ortofotu ni vidno ali je fasada na objektu nova, obnova talnih oznak na cestišču, streha zakriva pogled na pločnik in podobno).

4 Sklep

V okviru prvega nadzorovanega zbiranja fotografij topografskih sprememb se je izkazalo, da čim bolj se potencialnemu prostovoljcu približaj z vključitvijo zanj enostavnih metod za prenos podatkov, torej z vključitvijo uporabe že obstoječih aplikacij za komuniciranje (na primer *Viber* in *WhatsApp*), več odziva lahko pričakuješ. Da dosežeš odziv, pa ni dovolj samo, da potencialne prostovoljce nagovoriš le enkrat, ampak moraš vseskozi intenzivno delati na opominjanju o akciji, tako takem, ki doseže vse naslovnike v akciji, kot tudi individualnem opominjanju posameznikov. Brez slednjega bi bil odziv na vsa tri zbiranja sprememb bolj skromen. Kljub temu smo s pomočjo uporabe nadzorovanih množic potencialnih prostovoljcev, kjer smo vedeli, kolikim smo poslali poziv, in smo jih potem vse hkrati še opominjali, ugotovili, kolikšen je potencialni odziv prostovoljcev na pobudo o zbiranju sprememb za posodobitev topografskih kart. Prostovoljcev brez bonitete se je odzvalo 26 %, dve skupini pa smo imeli prostovoljcev z minimalno boniteto, ki je pripomogla k večjemu, kar 40 % odzivu. Če bi lahko izbirali, bi večina najraje fotografije poslala preko različnih že obstoječih aplikacij za pošiljanje fotografij (33 %), elektronsko pošto bi uporabilo 18 %, le 8 % pa bi jih najraje uporabilo posebno namensko aplikacijo za zbiranje sprememb na karti. Na ta način smo ugotovili, da smo v predhodni spletni anketi (Triglav Čekada in Radovan 2021) podali anketirancem premalo možnih odgovorov na enako vprašanje (posebna namenska aplikacija, e-pošta, telefon in navadna pošta). Vendar moramo poudariti, da smo v omenjeni anketi imeli bolj enakomerno starostno razporeditev potencialnih prostovoljcev, kot smo jo imeli v tukaj predstavljenih treh nadzorovanih zbiranjih fotografij. Sedaj smo imeli večino, to je 68 % prostovoljcev, iz starostnega razreda 18–24 let. V omenjeni anketi je sodelovalo 33 anketirancev iz tega starostnega razreda, ki bi v 41 % najraje pošiljali fotografije po e-pošti, posebno namensko aplikacijo bi uporabilo 59 %. Takratna celotna skupina anketirancev (570) bi se v 38 % odločila za e-pošto in v 56 % za namensko aplikacijo, manjši delež pa bi uporabil še telefon in navadno pošto.

Skupno smo od 195 potencialnih prostovoljcev dobili prostovoljne fotografije od 62 ljudi. Po analizi uporabnosti tako zbranih fotografij smo ugotovili, da smo kljub kratkim navodilom kako fotografirati in zakaj, prejeli samo 8 % neuporabnih fotografij. Iz vseh ostalih fotografij lahko pridobimo vsaj en podatek, ki bi bil uporaben za posodabljanje državnih topografskih baz. Najbolj uporabnih, to je takih, ki jih lahko uporabimo tako za zajem vektorskih vsebin kot tudi drugih atributnih podatkov, je bilo kar 56 % prostovoljnih fotografij.

ZAHVALA: Najlepše se zahvaljujemo vsem sodelujočim v vseh treh akcijah zbiranja fotografij topografskih sprememb.

Prispevek je nastal v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta L2-1826: Lidarsko podprte prostovoljske geografske informacije za ugotavljanje topografskih sprememb, ki ga izvajamo na Geodetskem inštitutu Slovenije v sodelovanju z Fakulteto za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, pod finančnim okriljem Javne agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS), Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) in Ministrstva za obrambo Republike Slovenije (MORS).

5 Viri in literatura

- Ali, A. L., Schmid, F. 2014: Data Quality Assurance for Volunteered Geo-graphic Information. Geographic Information Science. Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-11593-1_9
- Capineri, C., Haklay, M., Huang, H., Antoniou, V., Kettunen, J., Ostermann, F., Purves, R. 2016: European Handbook of Crowdsourced Geographic Information. Ubiquity Press. DOI: <https://doi.org/10.5334/bax>
- Criscuolo, L., Carrara, P., Bordogna, G., Pepe, M., Zucca, F., Seppi, R., Oggioni, A., Rampini, A. 2016: Handling quality in crowdsourced geographic information. European Handbook of Crowdsourced Geographic Information. Ubiquity Press. DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/bax>
- DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi5110217>
- Državna pregledna karta merila 1 : 1.000.000, 2019. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- Duhovnik, M., Kete, P., Boldin, D., Režek, J. 2016: Novi državni topografski podatkovni model kot podlaga za načrtovanje. Urbani izziv 6.
- Fritz, S., See, L., Brovelli, M. 2017: Motivating and sustaining participation in VGI. Mapping and the Citizen Sensors. Ubiquity Press. DOI: <https://doi.org/10.5334/bbf.e>
- Goodchild, M. F. 2007: Citizens as sensors: The world of volunteered geography. GeoJournal 69. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- McDougall, K. 2012: An assessment of the contribution of the volunteered geographic information during recent natural disasters. Spatially Enabling Government, Industry and Citizens: Research and Development Perspectives. Needham.
- McDougall, K., Temple-Watts, P. 2012: The use of LIDAR and volunteered geographic information to map flood extents and inundation. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 1-4. Melbourne.
- Mooney, P., Minghini, M., Laakso, M., Antoniuu, V., Olteanu-Raimond, A.-M., Skopeliti, A. 2016: Towards a protocol for the collection of VGI Vector data. ISPRS International Journal of Geo-Information 5-11.
- Navodila za zajem topografskih podatkov, verzija 1.3, 2019. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Olteanu-Raimond, A.-M., Laakso, M., Antoniou, V., Forte, C. C., Fonseca, A., Grus, M., Harding, J., Kellenberger, T., Minghini, M., Skopeliti, A. 2017: VGI in National Mapping Agencies: Experiences and Recommendations. Mapping and the Citizen Sensors. Ubiquity Press.
- Triglav Čekada, M., Barbo, P., Pavšek, M., Zorn, M. 2020: Changes in the Skuta Glacier (southeastern Alps) assessed using non-metric images. Acta Geographica Slovenica 60-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.7674>
- Triglav Čekada, M., Bric, V., Zorn, M. 2014: How to decide which oblique image has the highest mapping potential for monoplotted method: a case studies on river erosion and floods. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-5. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-379-2014>
- Triglav Čekada, M., Lisec, A. 2019: Priložnost za uporabo prostovoljnih geografskih informacij v okviru nacionalne prostorske podatkovne infrastrukture. Geodetski vestnik 63-2. DOI: 10.15292/geodetski-estnik.2019.02.199-212
- Triglav Čekada, M., Novak, N., Oven, K. 2021. Potenciali fotografij posnetih s pametnim telefonom za izmero prostovoljnih geografskih informacij. Geografski vestnik 91-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV93104>
- Triglav Čekada, M., Radovan, D. 2019: Primerjava uporabe prostovoljnih geografskih informacij za spremljanje poplav in potresov. Geografski vestnik 91-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91207>
- Triglav Čekada, M., Radovan, D. 2021: Pripravljenost prostovoljcev za sporočanje sprememb na topografskih kartah. Geodetski vestnik 65-3. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2021.03.400-439>

STANDARDIZACIJA HIDRONIMOV V SLOVENIJI IN GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI

dr. Drago Perko, dr. Jure Tičar, dr. Matjaž Geršič

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>

matjaz.gersic@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9640-6037>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_27

UDK: 91:659.2:004(497.4)

811.163.6'373.2

IZVLEČEK

Standardizacija hidronimov v Sloveniji in geografski informacijski sistemi

Geografski informacijski sistemi so uporabno orodje tudi pri standardizaciji zemljepisnih imen, to je poenotenju njihove rabe. Pri tem postopku imajo pomembno vlogo digitalni podatki v obliki imenikov in zbirk zemljepisnih imen, pa tudi digitalni zemljevidi. Na svetovni ravni za zemljepisna imena skrbi Organizacija združenih narodov, pri nas pa Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije, ki je med različnimi vrstami zemljepisnih imen do zdaj v celoti standardizirala samo imena držav. Naslednja so na vrsti vodna imena ali hidronimi iz Registra zemljepisnih imen, ki je največja podatkovna baza zemljepisnih imen v Sloveniji in jo vodi Geodetska uprava Republike Slovenije. Prispevek prikazuje vpetost geografskih informacijskih sistemov v postopku standardizacije zemljepisnih imen, še posebej hidronimov.

KLJUČNE BESEDE

zemljepisno ime, toponim, hidronim, standardizacija, regionalna geografija, imenoslovje, slovenski jezik, Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen

ABSTRACT

Standardization of hydronyms in Slovenia and geographic information systems

Geographic information systems are also a useful tool in the standardization of geographical names, i.e., their unified use. Digital data in the form of gazetteers and registers of geographical names, as well as digital maps, play an important role in this process. At the global level, geographical names are managed by the United Nations and in Slovenia by the Commission for the Standardization of Geographical Names of the Government of the Republic of Slovenia, which has so far fully standardized only country names among various types of geographical names. The next in line are water names or hydronyms from the Register of Geographical Names, which is the largest database of geographical names in Slovenia, managed by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia. The chapter shows the involvement of geographic information systems in the process of standardization of geographical names, especially hydronyms.

KEY WORDS

geographical name, toponym, hydronym, standardization, regional geography, onomastics, Slovene language, Commission for Standardization of Geographical Names

1 Uvod

Geografski informacijski sistemi na prvi pogled niso povezani s standardizacijo zemljepisnih imen, dejansko pa je njihova vloga v standardizaciji oziroma poenotenju rabe zemljepisnih imen vse bolj pomembna. Kaže se predvsem pri digitalnih podatkih, bazah, imenikih oziroma zbirkah zemljepisnih imen ter pri zemljevidih in drugih kartografskih podatkovnih bazah, pa tudi v samem postopku standardizacije zemljepisnih imen.

Na svetovni ravni za zemljepisna imena skrbi Organizacija združenih narodov (OZN). Opreduje jih kot pomemben del kulturne dediščine sveta in vsakega naroda ali jezika, za njihovo ohranjanje pa je njihova standardizacija še posebej pomembna. Poenotena raba zemljepisnih imen je nujna tudi zato, ker sestavlja naš vsakdanjik na vseh ravneh sporazumevanja. Zapisana so na osebnih izkaznicah, vozniškem dovoljenju in poštah pošilkah, vidimo jih na smerokazih, zemljevidih, svetovnem spletu in televiziji.

Formalna standardizacija zemljepisnih imen, ki jih je v Sloveniji vsaj nekaj sto tisoč (Perko in Geršič 2021), se je v Sloveniji začela leta 1995 z ustanovitvijo nacionalnega telesa za njihovo standardizacijo. Doslej je pripravilo več zbirk zemljepisnih imen ter standardiziralo imena držav (Perko 1996a; 1996b; Kladnik s sodelavci 2013; Kladnik in Perko 2015b) ter zemljepisna imena znotraj Slovenije na državnih zemljevidih v merilu 1 : 1.000.000 in 1 : 250.000 (Kladnik, Geršič in Perko 2020). Do leta 2020 je tako standardiziralo samo dobrih 10.000 zemljepisnih imen, kar je 400 imen na leto (Perko 2022).

Vrzel deloma zapolnjuje ciljni raziskovalni projekt *Standardizacija hidronimov v Registru zemljepisnih imen*, ki hidronime obravnava kot del slovenske kulturne dediščine, ugotavlja njihovo zemljepisno in jezikovno ustreznost. Na podlagi mednarodnih in slovenskih standardizacijskih pravil ter v sodelovanju s slovenskimi občinami kot deležniki, ki so soodgovorni za zemljepisna imena na svojem ozemlju, pripravlja standardizacijski dokument s hidronimi, ki bo podlaga za njihovo standardizacijo. Izvajalec je Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, sofinancerja pa sta Geodetska uprava Republike Slovenije in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

Z zemljepisnimi imeni sta se do zdaj ukvarjala le dva prispevka v zbirki GIS v Sloveniji, in sicer z evidenco zemljepisnih imen kot podlago za njihovo standardizacijo (Radovan 1994) in s povezanostjo med pokrajinsko in zemljepisnoimensko raznolikostjo v Sloveniji (Geršič, Ciglič in Perko 2018; Perko, Ciglič in Zorn 2020).

2 Standardizacija zemljepisnih imen

Standardizacija zemljepisnega imena je postopek določanja enotne in obvezujoče pisne oblike imena zemljepisnega pojava na temelju izbranih meril (Dobrovoljc 2013; Perko 2022). Standardizacijsko telo praviloma izbere le eno ime za zemljepisni pojav, opredeli vse njegove sestavine in njihov nespremenljiv vrstni red, po potrebi pa tudi njegov zapis v tujih jezikih (Kladnik in Perko 2013; Perko in Ciglič 2020). Šele tako standardizirano zemljepisno ime omogoča nedvoumno identifikacijo zemljepisnega pojava, ki ga poimenuje, saj je eno samo in nima dvojnic (Furlan, Gložančev in Šivic-Dular 2000).

Standardizacijo otežuje neuskkljenost nekaterih zemljepisnih imen s pravnimi akti, pravopisnimi pravili in zemljepisnimi okoliščinami. Govorimo o pravnoformalni, jezikovni in zemljepisni spornosti zemljepisnih imen, zato imajo pri njihovi standardizaciji odločilno vlogo odločevalci na različnih ravneh, jezikoslovci in zemljepisci.

Sporno je tudi poimenovanje različnih zemljepisnih pojavov z istim imenom. Neobvladljivo število zemljepisnih imen v vseh jezikih praktično onemogoča, da bi vsak zemljepisni pojav imel individualno lastno ime, ki ga ne bi imel noben drug zemljepisni pojav na svetu. S standardizacijo zemljepisnih imen je možno doseči vsaj to, da se znotraj posamezne države in posamezne vrste zemljepisnih imen ne pojavljata dve isti imeni za dva ali več različnih zemljepisnih pojavov. Pri imenih

naselij, na primer, to pomeni, da znotraj posamezne države ne sme biti dveh naselij z istim imenom, lahko pa se enako kot naselje imenuje tudi zemljepisni pojav druge vrste, na primer v Sloveniji naselje *Vipava* in reka *Vipava* (Perko in Geršič 2021). V slovenskem jeziku se problem istih zemljepisnih imen, predvsem imen naselij, najpogosteje rešuje z dodajanjem levega ali desnega pojasnjevalnega določila. Na primer pri imenih naselij Ilirska Bistrica, Slovenska Bistrica in Bistrica pri Trziču sta besedi *Ilirska* in *Slovenska* levo določilo osnove imena *Bistrica*, besedna zveza *pri Trziču* pa je desno določilo.

Pri standardizaciji zemljepisnih imen so najpomembnejši izrazi zemljepisno ime, standardizacijsko telo in standardizirano ime.

3 Zemljepisno ime

Zemljepisno ime ali toponim se oblikuje na določenem jezikovnem območju v določenem času (Šivic-Dular 1988) in se veže na točno določen zemljepisni pojav, ki ga nedvoumno poposamezni (Furlan, Gložančev in Šivic-Dular 2000). OZN opredeljuje zemljepisna imena kot pomembno kulturno dediščino sveta in vsakega naroda ali jezika. Na območjih prekrivanja različnih jezikov ima lahko isti zemljepisni pojav v različnih jezikih različna imena (Perko, Jordan in Komac 2017). Tak primer je tudi Slovenija, kjer imata italijanska in madžarska avtohtona manjšina svoja zemljepisna imena, podobno pa so tudi Slovenci v obmejnih območjih sosednjih držav tamkajšnjim zemljepisnim pojavom dali slovenska imena (Perko, Geršič in Zorn 2023).

Ker se ponekod zakonski in pravopisni okviri razlikujejo glede na vrsto zemljepisnih imen, je za njihovo standardizacijo pomembno, v katero vrsto spadajo. V Sloveniji zakonodaja ločuje med imeni naselij in ostalimi zemljepalnimi imeni, saj samo za imena naselij prepoveduje isto ime za različna naselja, pa tudi pri uporabi velike začetnice velja za imena naselij drugo pravopisno pravilo kot za ostala zemljepisna imena (Perko 2022).

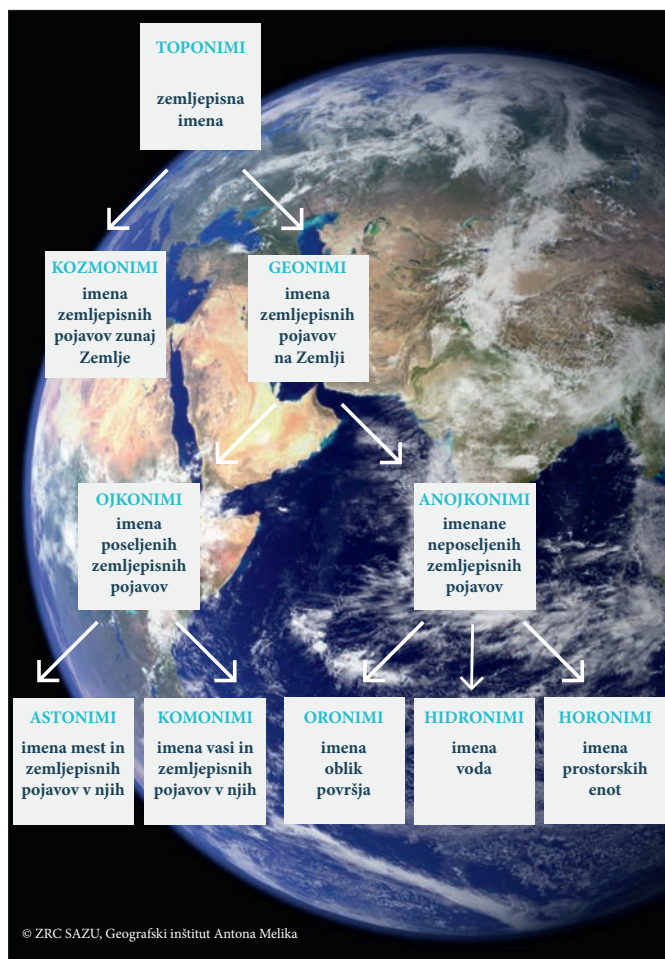
Toponime lahko delimo predvsem na pet načinov (Kladnik, Geršič in Perko 2020). Glede na lego ločimo geonime in kozmonime, glede na razsežnost makrotoponime in mikrotoponime, glede na poseljenost ojkonime in anojkonime, glede na izvirnost endonime in eksonime, glede na vrsto pa različne –nime.

Hierarhično jih lahko razdelimo na tri glavne ravni (Gundacker 2014; Backus Borshi 2015; Urazmetova in Shamsutdinova 2017; Bijak 2019; Kladnik, Geršič in Perko 2020; Perko 2022). Na prvi ravni so kozmonimi in geonimi, na drugi ojkonimi in anojkonimi, na tretji pa astionimi, komonimi, oronimi, hidronimi in horonimi (slika 1). Večina jih ima tudi podvrste. Hidronimi, na primer, se delijo vsaj še na helonime za imena mokrišč, rejtronime za imena potokov, potamonime za imena rek, limnonime za imena jezer, pelagonime za imena morij in okeanonime za imena oceanov (Kladnik, Geršič in Perko 2020).

4 Standardizacijsko telo

Na svetovni ravni za zemljepisna imena skrbi OZN, ki je leta 1959 ustanovila strokovno delovno telo *United Nations Group of Experts on Geographical Names* 'Skupina izvedencev Združenih narodov za zemljepisna imena' ali UNGEGN, v okviru katerega deluje 23 regionalnih jezikovno-zemljepisnih skupin, med katerimi je tudi *East Central and South-East Europe Division* 'Skupina za vzhodni del srednje Evrope in jugovzhodno Evropo', kjer deluje Slovenija (Kladnik in Perko 2013).

Resolucije OZN obvezujejo države k ustanovitvi nacionalnih teles za zemljepisna imena, zato je Slovenija 14. 9. 1995 ustanovila nacionalni standardizacijski organ kot stalno vladno delovno telo in ga poimenovala Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije. Sestavljajo



Slika 1: Shematski prikaz vrste zemljepisnih imen na najvišjih hierarhičnih ravneh.

jo geografi, jezikoslovci, kartografi in predstavniki nekaterih pristojnih ministrstev (Kladnik in Perko 2013). Komisija deluje na več ravneh:

- na nacionalni ravni skladno z zakoni daje soglasja k spremembam zemljepisnih imen, standardizira endonime v Sloveniji in slovenske eksonime v tujini ter izdaja standardizacijske dokumente;
- na regionalni ravni sodeluje s sorodnimi komisijami sosednjih držav, kjer živijo pripadniki slovenske manjšine, in deluje v svojem jezikovno-zemljepisnem oddelku Skupine izvedencev Združenih narodov za zemljepisna imena;
- na globalni ravni pa v imenoslovnih organih OZN zastopa interese Slovenije (Perko in Geršič 2021; Perko 2022).

5 Standardizirano zemljepisno ime

Standardizirano zemljepisno ime je ime, ki nedvoumno določa poimenovani zemljepisni pojav, ga kot najprimernejšega potrdi standardizacijsko telo in je njegova uporaba obvezna (priporočljiva).

Ta splošna definicija standardiziranega zemljepisnega imena se pri nas lahko opredeli takole: Standardizirano slovensko zemljepisno ime je ime, ki nedvoumno določa poimenovani zemljepisni pojav na slovenskem etničnem ozemlju (endonim) ali zunaj njega (eksonim), ga kot najprimernejšega potrди Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije in je njegova uporaba obvezna (priporočljiva). V sodelovanju z italijansko in madžarsko manjšino Komisija standardizira tudi italijanska in madžarska zemljepisna imena na ozemlju Slovenije. Komisija torej standardizira vse endonime znotraj Slovenije, zunaj pa samo slovenske eksonime.

Komisija pri svojem delu upošteva predvsem resolucije OZN o zemljepisnih imenih, slovenski pravopis, slovenska toponimska navodila (Radovan 1995; Radovan in Majdič 1995) in slovensko zakonodajo. Najpomembnejši pravni akt na področju zemljepisnih imen v Sloveniji je Zakon o določanju območij ter o imenovanju in označevanju naselij, ulic in stavb, ki je bil sprejet 29. 2. 2008 in med drugim predpisuje postopek imenovanja ali preimenovanja naselja. Zakon ne more posegati v obstoječa imena naselij, čeprav so lahko sporna z več vidikov, zagotavlja pa red pri vseh novih imenovanjih in preimenovanjih (Perko 2022).

Ves postopek standardizacije pa temeljni na imenikih oziroma zbirkah zemljepisnih imen, ki jih lahko opredelimo tudi za prvostopenjske standardizacijske dokumente.

6 Imeniki in zbirke zemljepisnih imen v Sloveniji

Več resolucij OZN spodbuja standardizacijska telesa držav, da v postopku standardizacije zemljepisnih imen pripravljajo zbirke in izdajajo sezname zemljepisnih imen (imenike ali gazetirje) v različnih jezikih (Kladnik in Perko 2013; 2015b). Do zdaj je Komisija sodelovala pri pripravi štirih zbirk ter standardizaciji in izdaji dveh imenikov. Vsi imeniki in zbirke so prostorsko opredeljeni z geografskimi, geodetskimi ali kartografskimi koordinatami in primerni za delo z geografskimi informacijskimi sistemi.

Najstarejši od omenjenih seznamov je **zbirka imen držav**, ki se je oblikovala leta 1994 kot gradivo za prvo standardizacijo slovenskih imen držav, od takrat pa se stalno posodablja. Zanj skrbi Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU (Kladnik in Perko 2007; 2013; 2015a; 2015b). Na začetku leta 2022 je zbirka obsegala 250 enot (poleg 198 držav še 52 odvisnih ozemelj z visoko stopnjo samostojnosti) s številnimi podatki.

Samo leto mlajša je **zbirka imen naselij**, ki je bila pripravljena leta 1995 kot gradivo za standardizacijo slovenskih in dvojezičnih imen naselij v Sloveniji (Gabrovec in Perko 1996; 1997; Perko in Geršič 2021). Zanj skrbi Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Na začetku leta 2022 je zbirka obsegala 6035 imen in se stalno posodablja skladno z deljenjem ali združevanjem obstoječih naselij in ustanavljanjem novih naselij.

Zbirka slovenskih eksonimov je približno današnji obseg dosegla leta 2010. Nastala je s pregledom več kot 50.000 različnih oblik eksonimov, zajetih iz 14 slovenskih atlasov sveta (Kladnik s sodelavci 2013) ter pomembnejših leksikonov in Slovenskega pravopisa iz leta 2001. Namenjena je standardizaciji slovenskih eksonimov (Kladnik in Geršič 2014; Perko in Kladnik 2017; 2019). Zanj skrbi Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Na začetku leta 2022 je obsegala 5044 enot. Posodablja se občasno.

Leta 2001 je Komisija standardizirala slovenska imena na zemljevidu Slovenije v merilu 1 : 1.000.000. Zemljevid in imenik sta izšla v okviru slovensko-angleško publikacije **Zgoščeni imenik zemljepisnih imen Slovenije**, ki je izšla v okviru Zbirke državnih imenikov zemljepisnih imen Združenih narodov. Imenik je leta 2001 izdala Geodetska uprava Republike Slovenije. Večino knjige zavzemajo dvostranski zemljevid, legenda in imenik vseh zemljepisnih imen (Perko 2001). Na zemljevidu je zapisanih 843 zemljepisnih imen, od tega jih je 464 ali 55,0 % v Sloveniji.

Šest let pozneje je Komisija standardizirala vsa slovenska zemljepisna imena v Sloveniji in slovenske eksonime v Avstriji, na Madžarskem, Hrvaškem in v Italiji še na zemljevidu v merilu 1 : 250.000.

Slovensko-angleška publikacija **Imenik zemljepisnih imen Državne pregledne karte Republike Slovenije v merilu 1 : 250.000** (Furlan s sodelavci 2008) ima na sprednji strani ta zemljevid, na hrbtni strani pa seznam zemljepisnih imen. Leta 2008 ga je izdala Geodetska uprava Republike Slovenije. Na zemljevidu je zapisanih 8203 zemljepisnih imen, od tega jih je 4273 ali 52,1 % v Sloveniji.

Najpomembnejša in najobsežnejša zbirka zemljepisnih imen v Sloveniji pa je **Register zemljepisnih imen**.

7 Register zemljepisnih imen

Register zemljepisnih imen ali REZI je največja zbirka zemljepisnih imen v Sloveniji z več kot 200.000 zapisi. Vodi jo Geodetska uprava Republike Slovenije. Vzpostavljena je bila leta 1997. Vsebuje zemljepisna imena z državnih zemljevidov (slika 2 do 5) v štirih merilih: 1 : 1.000.000, 1 : 250.000, 1 : 25.000 in 1 : 5000 (oziroma 1 : 10.000 za redko poseljena območja).

Vsak zapis zemljepisnega imena ima 21 polj, med katerimi so za standardizacijo zemljepisnih imen najpomembnejša:

- enolični identifikator zapisa zemljepisnega imena (ID_NAPIS),
- enolični identifikator zemljepisnega pojava (ID_DANOST),
- oznaka vrste zemljepisnega pojava (TIP_DANOST),
- enolični identifikator zemljepisnega imena (ID_IME),
- polna oblika zemljepisnega imena (BESEDILO),
- kratka ali okrajšana zemljepisnega imena (KRAJSAVA),
- oznaka jezika zemljepisnega imena (JEZIK),
- oznaka merila zemljevida, na katerem je zapisano zemljepisno ime (MERILO) in
- oznaka države, v kateri je zemljepisno ime (DRZAVA).

V zbirki je od začetka leta 2022 (po njeni posodobitvi leta 2021) 213.849 zapisov zemljepisnih imen:

- glede na merilo je 135.133 ali 63,2 % zapisov na ravni merila 1 : 5000 ali 10.000, 68.053 ali 31,8 % zapisov na ravni merila 1 : 25.000, 9506 ali 4,5 % zapisov na ravni merila 1 : 250.000 in 1157 ali 0,5 % zapisov na ravni merila 1 : 1.000.000,

- glede na državo je 191.230 ali 89,4 % zapisov v Sloveniji, 12.509 ali 5,9 % zapisov na Hrvaškem, 5507 ali 2,6 % zapisov v Avstriji, 4158 ali 1,9 % zapisov v Italiji in 445 ali 0,2 % zapisov na Madžarskem,
- glede na jezik je 193.571 ali 90,5 % zapisov v slovenskem jeziku, 12.365 ali 5,8 % zapisov v hrvaškem jeziku, 3867 ali 1,8 % zapisov v nemškem jeziku, 3241 ali 1,5 % zapisov v italijanskem jeziku in 805 ali 0,4 % zapisov v madžarskem jeziku,
- glede na avtohtonost je 213.424 ali 99,8 % endonimov in 425 ali 0,2 % eksonimov,
- glede na razsežnost je 158.072 ali 73,9 makronimov in 55.777 ali 26,1 % mikronimov,
- glede na vrsto pa 92.969 ali 43,5 % komonimov, 65.003 ali 30,4 % horonimov, 32.130 ali 15,0 % oronimov, 21.878 ali 10,2 % hidronimov in 1869 ali 0,9 % astionimov.

Če upoštevamo samo vrste imen zemljepisnih pojavov, ki jih loči register kot tipe danosti, je 64.360 ali 30,1 % zapisov krajinskih predelov (ID 4201), kar je daleč največ, 48.573 ali 22,7 % zapisov domačij (ID 1201), 23.535 ali 11,0 % zapisov nemestnih naselij (ID 1102), 22.365 ali 10,5 % zapisov vrhov in vzpetin (ID 3102), 16.908 ali 7,9 % zapisov zaselkov (ID 1103) in 15.475 ali 7,2 % zapisov manjših vodotokov (ID 2102), kar je skupaj 89,4 % vseh zapisov. Nobena od ostalih 31 vrst ne presega 2 %.

Zbirka sicer loči 37 vrst zemljepisnih pojavov oziroma imen: 9 vrst oronimov (na primer ime gore ali jame), 10 vrst hidronimov (na primer ime reke ali slapa), 3 vrste horonimov (na primer ime države ali pokrajine), 4 vrste astionimov (na primer ime mesta ali ulice) in 11 vrst komonimov (na primer ime vasi ali kmetije). Od tega je 11 vrst mikronimov (na primer ime cerkve ali osamljene skale) in 26 vrst makronimov (na primer ime gorovja ali železniške proge).

Komisija je leta 2000 pripravila teoretične smernice za standardizacijo zemljepisnih imen v zbirki in jih tudi objavila v skrajšani različici (Furlan, Gložančev in Šivic-Dular 2000) in popolni različici (Furlan, Gložančev in Šivic-Dular 2001).

Do začetka leta 2022 so bila v zbirki standardizirana vsa zemljepisna imena za raven 1 : 1.000.000 in 1 : 250.000, saj gre za ista imena, ki jih je Komisija standardizirala v obeh omenjenih tiskanih imenikih, razlika je le v tem, da je temeljna enota imenikov zemljepisno ime, temeljna enota registra pa zapis zemljepisnega imena. Ker je neko ime lahko zapisano večkrat, dvojezično ali v več različicah, je število zapisov v registru večje od števila imen v imenikih. Za merilo 1 : 1.000.000 je zapisov imen v registru 25,1 % več kot imen v imeniku, za merilo 1 : 250.000 pa 7,4 % več.

Od vseh zapisov zemljepisnih imen v registru je tako standardiziranih le 5,0 % imen. Za raven 1 : 25.000, ki obsega 31,8 % zapisov, so imena le toponomastično preverjena, kar je šele začetna stopnja njihove standardizacije, za raven 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000 s 63,2 % zapisov pa še to ne.

Znotraj Slovenije je na vseh merilih 190.175 zapisov v slovenskem jeziku, 602 v italijanskem jeziku in 453 v madžarskem jeziku oziroma 127.083 zemljepisnih pojavov (danosti), poimenovanih v slovenskem jeziku, 246 v italijanskem jeziku in 324 v madžarskem jeziku, tako da Komisiji dejansko ni treba standardizirati dobrih 200.000 imen, ampak jih mora nekaj manj kot 130.000, kar pa je še vedno izjemno veliko število.

Preglednica 1: Število in delež zemljepisnih imen (oba imenika) in število zapisov zemljepisnih imen (REZI) po vrstah glede na merilo.

| tip | imenik 1.000.000 | imenik 250.000 | REZI 5.000 | REZI 25.000 | REZI 250.000 | REZI 1.000.000 | REZI skupaj |
|-----------|---------------------|-------------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| oronimi | 58 | 559 | 16.016 | 15.275 | 706 | 133 | 32.130 |
| hidronimi | 91 | 612 | 13.212 | 7.718 | 797 | 151 | 21.878 |
| horonimi | 55 | 64 | 54.682 | 10.212 | 80 | 29 | 65.003 |
| astionimi | 85 | 86 | 836 | 817 | 110 | 106 | 1.869 |
| komonimi | 554 | 6.882 | 50.387 | 34.031 | 7.813 | 738 | 92.969 |
| skupaj | 843 | 8.203 | 135.133 | 68.053 | 9.506 | 1.157 | 213.849 |

| tip | imenik 1.000.000 | imenik 250.000 | REZI 5.000 | REZI 25.000 | REZI 250.000 | REZI 1.000.000 | REZI skupaj |
|-----------|---------------------|-------------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| oronimi | 6,9 | 6,8 | 11,8 | 22,5 | 7,4 | 11,5 | 15,0 |
| hidronimi | 10,8 | 7,4 | 9,8 | 11,3 | 8,4 | 13,0 | 10,2 |
| horonimi | 6,5 | 0,8 | 40,5 | 15,0 | 0,8 | 2,5 | 30,4 |
| astionimi | 10,1 | 1,1 | 0,6 | 1,2 | 1,2 | 9,2 | 0,9 |
| komonimi | 65,7 | 83,9 | 37,3 | 50,0 | 82,2 | 63,8 | 43,5 |
| skupaj | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Slika 2: Izsek zapisov zemljepisnih imen v Registru zemljepisnih imen Geodetske uprave Republike Slovenije za raven merila 1 : 1.000.000 (hidronimi so modri). ► (str. 340)

Slika 3: Izsek zapisov zemljepisnih imen v Registru zemljepisnih imen Geodetske uprave Republike Slovenije za raven merila 1 : 250.000 (hidronimi so modri). ► (str. 341)

Slika 4: Izsek zapisov zemljepisnih imen v Registru zemljepisnih imen Geodetske uprave Republike Slovenije za raven merila 1 : 25.000 (hidronimi so modri). ► (str. 342)

Slika 5: Izsek zapisov zemljepisnih imen v Registru zemljepisnih imen Geodetske uprave Republike Slovenije za raven merila 1 : 5000 (hidronimi so modri). ► (str. 343)







8 Hidronimi

Pomemben del slovenskih zemljepisnih imen so tudi imena voda ali hidronimi. V Registru zemljepisnih imen je 21.878 zapisov hidronimov (12.240 različnih hidronimov), kar je 10,2 % od 213.849 vseh zapisov zemljepisnih imen.

Glede na vrsto imena izrazito prevladujejo manjši vodotoki (ID 2102), ki jih je kar 15.475 ali 70,7 %, sledijo pa vodni izviri (ID 2103) z 2798 ali 12,8 % in reke (ID 2101) z 2423 ali 11,1 %, ostalih sedem vrst skupaj je samo 1182 ali 5,4 %.

Razmerja med številom zapisov zemljepisnih imen in številom zemljepisnih imen oziroma številom zemljepisnih pojavov, ki jih ta imena poimenujejo, bolje pojasnjujejo konkretni primeri hidronimov.

Hidronim za zemljepisni pojav ledenika pod Triglavom ima v REZI-ju pet zapisov: trije zapisi so v obliki *Triglavski ledenik* (po enkrat na merilu 1 : 10.000, 1 : 25.000 in 1 : 250.000), dva zapisa pa sta v obliki *Zeleni sneg* (po enkrat na merilu 1 : 10.000 in 1 : 25.000). Različna imena za isti zemljepisni pojav so redka (razen pri dvojezičnih imenih).

Hidronim za zemljepisni pojav morja med Balkanskim in Apeninskim polotokom ima tri najst zapisov: šest zapisov je v slovenskem jeziku v obliki *Jadransko morje* (po enkrat na merilu 1 : 1.000.000 in 1 : 250.000 ter štirikrat na merilu 1 : 25.000), štirje zapisi so v italijanskem jeziku v obliki *Mare Adriatico* (po enkrat na merilu 1 : 1.000.000 in 1 : 250.000 ter dvakrat na merilu 1 : 25.000), trije zapisi pa v hrvaškem jeziku v obliki *Jadransko more* (po enkrat na merilu 1 : 1.000.000, 1 : 250.000 in 1 : 25.000).

Največkrat, kar 194-krat, se pojavi hidronim za zemljepisno ime mejne reke med Slovenijo in Hrvaško na jugovzhodu Slovenije: 96 zapisov je v slovenskem jeziku v obliki *Kolpa* (enkrat na merilu 1 : 1.000.000, petkrat na merilu 1 : 250.000, 40-krat na merilu 1 : 25.000 in 50-krat na merilu 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000),



Slika 6: Hidronim Triglavski ledenik (3 zapisi v REZI-ju) je eno od redkih zemljepisnih imen, ki ima tudi slovensko dvojnico, Zeleni sneg (2 zapisa v REZI-ju).

98 zapisov pa v hrvaškem jeziku v obliki *Kupa* (trikrat na merilu 1 : 1.000.000, šestkrat na merilu 1 : 250.000, 42-krat na merilu 1 : 25.000 in 47-krat na merilu 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000).

Če pa upoštevamo samo slovenske različice hidronimov, se največkrat pojavi zapis *Sava*, in sicer 144-krat (petkrat na merilu 1 : 1.000.000, sedemkrat na merilu 1 : 250.000, 44-krat na merilu 1 : 25.000 in 88-krat na merilu 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000).

Do zdaj je bilo standardiziranih 151 zapisov hidronimov (100 različnih hidronimov) za raven 1 : 1.000.000 in 797 zapisov hidronimov (549 različnih hidronimov) za raven 1 : 250.000, nestandardiziranih pa je 7718 zapisov hidronimov (4737 različnih hidronimov) za raven 1 : 25.000 in 13.212 zapisov hidronimov (6854 različnih hidronimov) za raven 1 : 5000 oziroma 1 : 10.000. Za hidronime torej velja, da je standardiziranih komaj 4,3 % zapisov in 5,3 % različnih imen.

9 Projekt standardizacije hidronimov

Projekt Standardizacija hidronimov v Registru zemljepisnih imen izboljšuje delež standardiziranih zemljepisnih imen v Sloveniji. Glavna vsebina projekta je analiziranje hidronimov v tem največjem seznamu zemljepisnih imen pri nas in ugotavljanje njihove zemljepisne in jezikovne ustreznosti na podlagi mednarodnih in slovenskih standardizacijskih pravil. Razdeljen je na šest polletnih obdobji, ki se razlikujejo predvsem po vsebini in metodah dela.

Prvo obdobje obsega pripravo podatkovne baze hidronimov in kartografskih podlag v programu ArcGIS za vse ravni meril od 1 : 5000 do 1 : 1.000.000 ter njihovo pretvorbo v obliko, ki v drugem obdobju tudi strokovnjakom, neveščim dela z geografskimi informacijskimi sistemi, omogoča izvajanje prvega preverjanja jezikovne in zemljepisne ustreznosti hidronimov in vnašanje popravkov.



BOJAN ERHARTIČ, ARHIV GIMNAZIJA SAZU

Slika 7: Hidronim *Jadransko morje* (6 zapisov v REZI-ju) je zapisan kar v treh jezikih: šestkrat v slovenskem, štirikrat v italijanskem in trikrat v hrvaškem jeziku.

Tretje obdobje v projekt kot deležnike vključuje občine, ki so na svojem območju soodgovorne za zemljepisna imena. Strokovno preverjeni hidronimi (v obliki datotek ArcGIS, Excel ali odtisnjeno, odvisno od želja in možnosti posamezne občine) se pošljejo občinam v pregled, dopolnitev in morebitne popravke. Strokovnjaki, člani projektne skupine, jim po potrebi svetujejo pri morebitnih nejasnostih in dvomih. Četrto obdobje obsega strokovni pregled pripomb, dopolnil in popravkov občin in posodobitev podatkovne baze hidronimov z utemeljenimi oziroma potrjenimi popravki.

Peto obdobje je namenjeno ponovnemu, natančnejšemu preverjanju jezikovne in zemljepisne ustreznosti hidronimov in reševanju posameznih problematičnih, spornih hidronimov, zadnje obdobje pa pripravi standardizacijskega dokumenta s predlogi standardiziranih hidronimov, kakršnega za začetek standardizacije rabi Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije.

Sodeluje tudi Direkcija Republike Slovenije za vode. Pripravila je podatkovno bazo, ki vsebuje razlike med hidronimi v njihovi bazi in hidronimi v Registru zemljepisnih imen. Pregled baze razlik med hidronimi kaže, da je skupno število razlik 965, večinoma pa gre za tipkarske in pravopisne napake, napačno zemljepisno umestitev, pa tudi napačno opredelitev vrste zemljepisnega pojava.

Ključni rezultat projekta je torej takšna jezikoslovno in zemljepisno preverjena podatkovna baza hidronimov, da jih bo Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije lahko po ustaljenem postopku standardizirala. Če se bodo standardizirani hidronimi razlikovali od obstoječih hidronimov v bazah Geodetske uprave Republike Slovenije in Direkcije Republike Slovenije za vode, bosta obe bazi ustrezno posodobljeni.

Podatkovna baza s hidronimi bo vključena v slovensko spletno platformo, namenjeno zemljepisnim imenom (<https://zemljepisna-imena.zrc-sazu.si>), zato bo dostopna vsem zainteresiranim in bo omogočala stalen in dolgoročen prenos znanja med deležniki, hkrati pa bo skrbela za poenoteno rabo hidronimov in ohranjanje hidronimov kot dela slovenske kulturne dediščine.



JURE TIČAR, ARHIV GLAM ZRC SAZU

Slika 8: Mokrišče Jovsi ob spodnjem toku reke Sotle je v REZI-ju zapisano štirikrat, ker pa med vrstami hidronimov ni mokrišč, so Jovsi uvrščeni h krajinskim predelom.

Na tak način projekt povečuje kakovost Registra zemljepisnih imen in z njim povezanih državnih baz podatkov in državnih zemljevidov, na drugi strani pa uresničuje resolucije OZN o zemljepisnih imenih, ki vzpodbujajo h krepitvi nacionalne kulturne dediščine, jezika, nacionalne identitete in kulturne raznolikosti.

10 Sklep

Geografski informacijski sistemi so v postopku standardizacije zemljepisnih imen vključeni od samega začetka, to je od oblikovanja in posodabljanja digitalnih baz zemljepisnih imen ter njihovega povezovanja s kartografskimi in drugimi bazami podatkov, prek preverjanja pravnoformalne, jezikovne in zemljepisne ustreznosti zemljepisnih imen in vključevanja deležnikov na tem področju, do izdelave baze s predlogi standardiziranih imen in končne baze standardiziranih imen, na podlagi katere se popravi oziroma posodobijo osnovne baze zemljepisnih imen, s čimer se sklene standardizacijski krog.

V tem krogu imata najpomembnejšo vlogo Komisija za standardizacijo zemljepisnih imen kot vladno standardizacijsko telo in Register zemljepisnih imen Geodetske uprave Republike Slovenije kot najobsežnejša zbirka zemljepisnih imen v Sloveniji. V njej je 213.849 zapisov zemljepisnih imen za 143.147 različnih zemljepisnih pojavov.

Komisija je skladno z resolucijami OZN o zemljepisnih imenih, slovensko zakonodajo ter jezikovnim, zemljepisnim in pravnoformalnim vidikom do 1. 1. 2022 standardizirala:

- 426 ali 100,0 % imen od 426 imen v zbirki imen držav,
- 3605 ali 59,7 % imen od 6035 imen v zbirki imen naselij,
- 219 ali 4,3 % imen od 5044 imen v zbirki slovenskih eksponimov,



JURE TITČAR, ARHIV GIAM ZRC SAZU

Slika 9: Hidronim Kolpa ima v REZI-ju največ zapisov in se pojavlja na vseh merilih: 96-krat v slovenskem jeziku in 98-krat v hrvaškem jeziku, torej skupaj 194-krat.

- 464 ali 100,0 % imen od 464 imen v Sloveniji in 22 eksonimov zunaj Slovenije v imeniku zemljevida v merilu 1 : 1.000.000,
- 4273 ali 100,0 % imen od 4273 imen v Sloveniji in 26 eksonimov zunaj Slovenije v imeniku zemljevida v merilu 1 : 250.000 in
- 9854 ali 6,9 % imen od 143.147 imen v zbirki Register zemljepisnih imen.

Od leta 1995 je standardizirala dobro dvajsetino slovenskih endonimov in slabo dvajsetino slovenskih eksonimov v omenjenih zbirkah in imenikih.

S standardizacijo vseh 21.878 zapisov hidronimov oziroma 12.240 različnih hidronimov se bo število standardiziranih zemljepisnih imen v Registru zemljepisnih imen več kot podvojilo, kar sicer pomeni bistven napredek, še vedno pa to pomeni samo 15 % ali sedmino vseh zemljepisnih imen, zato naj bi v prihodnosti z uporabo geografskih informacijskih sistemov postopoma standardizirali še ostale vrste zemljepisnih imen v Registru zemljepisnih imen in po potrebi oblikovali nove digitalne sezname zemljepisnih imen.

Dodatno delo pa Komisijo čaka zaradi napovedanih sprememb pravopisnih pravil za pisanje zemljepisnih imen, saj bo morala znova preveriti že standardizirana zemljepisna imena.

ZAHVALA: Prispevek temelji na raziskovalnem projektu Standardizacija hidronimov v Registru zemljepisnih imen (V6-2108), ki ga sofinancirata Geodetska uprava Republike Slovenije Ministrstva za okolje in prostor in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ter raziskovalnem programu Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

11 Viri in literatura

- Backus Borshi, O. 2015: Formal Expression of Definiteness in Albanian. Doktorsko delo, Karlova univerza. Praga.
- Bijak, U. 2019: The Development of Polish Toponomastic Terminology. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska sectio FF, Philologiae* 37-1. DOI: <https://doi.org/10.17951/ff.2019.37.1.91-103>
- Dobrovoljc, H. 2013: Predgovor. Slovenska imena držav. *Geografija Slovenije* 25. Ljubljana.
- Furlan, M., Gložančev, A., Kladnik, D., Perko, D., Šivic-Dular, A. 2008: Imenik zemljepisnih imen Državne pregledne karte Republike Slovenije v merilu 1 : 250.000. Državna pregledna karta Republike Slovenije 1 : 250.000: standardizirana slovenska zemljepisna imena. Ljubljana.
- Furlan, M., Gložančev, A., Šivic-Dular, A. 2000: Pravopisna ustreznost zapisa lastnoimenskega gradiva v registru zemljepisnih imen in registru prostorskih enot. *Geografski vestnik* 72-1.
- Furlan, M., Gložančev, A., Šivic-Dular, A. 2001: Pravopisno ustrezen zapis zemljepisnih in stvarnih lastnih imen v Registru zemljepisnih imen in Registru prostorskih enot [Orthographically correct representation of proper names in the code catalogues Register of Geographical Names and Register of Spatial Units]. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Perko, D. 1996: Seznam predlogov novih uradnih imen za sporna uradna imena naselij v Sloveniji. Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Perko, D. 1997: Imenik uradnih imen naselij v Sloveniji. Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Geršič, M., Ciglič, R., Perko, D. 2018: Pokrajinska in zemljepisnoimenska raznolikost v Sloveniji. Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji 14. Ljubljana.
- Gundacker, R. 2014: The Significance of Foreign Toponyms and Ethnonyms in Old Kingdom. The Late Third Millennium in the Ancient Near East. *Oriental institute seminars* 11. Chicago.
- Kladnik, D., Ciglič, R., Hrvatin, M., Perko, D., Repolusk, P., Volk, M. 2013: Slovenski eksonimi [Slovenian Exonyms]. *Geografija Slovenije* 24. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612546021>
- Kladnik, D., Geršič, M. 2014: A Gazetteer of Slovenian Exonyms. The Quest for Definitions, Proceedings of the 14th UNGEGN Working Group on Exonyms Meeting. Hamburg.

- Kladnik, D., Geršič, M., Perko, D. 2020: Slovenian geographical names. *Acta geographica Slovenica* 61-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.9394>
- Kladnik, D., Perko, D. 2007: Problematična imena držav v slovenskem jeziku. *Geografski vestnik* 79-2.
- Kladnik, D., Perko, D. 2013: Slovenska imena držav. *Geografija Slovenije* 25. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612546052>
- Kladnik, D., Perko, D. 2015a: Družbena občutljivost standardizacije imen držav na primeru Južne Afrike in Moldavije. *Pravopisna razpotja: razprave o pravopisnih vprašanjih*. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504429_20
- Kladnik, D., Perko, D. 2015b: Problematika poimenovanja držav in odvisnih ozemelj. *Pravopisna razpotja: razprave o pravopisnih vprašanjih*. Ljubljana. DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504429_19
- Perko, D. 1996a: Sporna imena držav v slovenskem jeziku. *Geografski obzornik* 43-3.
- Perko, D. 1996b: Standardizirana imena držav v slovenskem jeziku. *Geografski obzornik* 43-4.
- Perko, D. 2001: Zgoščeni imenik zemljepisnih imen Slovenije. Zbirki državnih imenikov zemljepisnih imen Združenih narodov: Slovenija. Ljubljana.
- Perko, D. 2022: Standardizirana zemljepisna imena v slovenskem jeziku. *Pravopis na zrnu graha*. Ljubljana.
- Perko, D., Ciglič, R. 2020: Slovenia's regions. *The Geography of Slovenia: Small but Diverse*. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14066-3_15
- 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., Geršič, M. 2021: Sporna imena naselij v Sloveniji. *Georitem* 32. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610505365>
- Perko, D., Geršič, M., Zorn, M. 2023: Standardization of geographical names on land and sea in Slovenia. *Place Naming, Identities and Geography: Critical Perspectives in a Globalizing and Standardizing World, Key Challenges in Geography*. Cham.
- Perko, D., Jordan, P., Komac, B. 2017: Exonyms and other geographical names. *Acta geographica Slovenica* 57-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.4891>
- Perko, D., Kladnik, D. 2017: Slovenian exonyms in North America. *Acta geographica Slovenica* 57-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.4777>
- Perko, D., Kladnik, D. 2019: Slovenski eksonimi v sosedstvu Slovenije. *Geografski vestnik* 91-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91208>
- Radovan, D. 1994: Evidenca zemljepisnih imen in njihova standardizacija. *GIS v Sloveniji 1993-94*. Ljubljana.
- Radovan, D. 1995: Toponimska navodila za Slovenijo. Ljubljana.
- Radovan, D., Majdič, V. 1995: Toponymic guidelines for Slovenia. Ljubljana.
- Šivic-Dular, A. 1988: K normiranju slovenskih zemljepisnih imen. XXIV. seminar slovenskega jezika, literature in kulture. Ljubljana.
- Urazmetova, A. V., Shamsutdinova, J. H. 2017: Principles of place names classifications. *XLinguae* 10-4. DOI: <https://doi.org/10.18355/XL.2017.10.04.03>

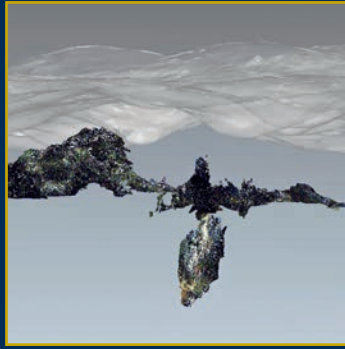


Merilna oprema in rešitve za zajem in obvladovanje prostorskih podatkov
 Pooblaščen prodajalec in certificirani servisni center **Leica Geosystems**
 Geoservis, d.o.o. | (01) 586 38 30 | info@geoservis.si | www.geoservis.si

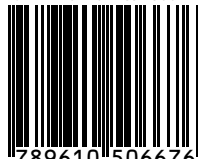
GEO SERVIS
 Izzive spreminjamo v rešitve

- when it has to be **right**

Leica
 Geosystems



ISBN 978-961-05-0667-6



9 789610 506676

39,00 €